

**Funktionelles Outcome von C2-Frakturen nach  
konservativer und operativer Therapie**

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Medizin

der Medizinischen Fakultät  
der Eberhard Karls Universität  
zu Tübingen

vorgelegt von  
Schimmele, Florian

2016

Dekan:	Professor Dr. I. B. Autenrieth
1. Berichterstatter:	Privatdozent Dr. A. Badke
2. Berichterstatter:	Privatdozent Dr. U. Leichtle
Tag der Disputation:	06.09.2016

Meinen Eltern

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>4</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>5</b>
<b>1.1 Anatomie</b>	<b>7</b>
1.1.1 Aufbau des Axis	7
1.1.2 Morphologische Struktur des Dens axis	7
1.1.3 Gelenke	8
1.1.4 Bandapparat	10
1.1.5 Muskulatur	11
1.1.6 Gefäßversorgung	14
1.1.7 Wirbelkanal und Neurologie	15
<b>1.2 Epidemiologie und Ätiologie</b>	<b>18</b>
<b>1.3 Klassifikation</b>	<b>19</b>
<b>1.4 Symptomatik</b>	<b>21</b>
<b>1.5 Diagnostik</b>	<b>22</b>
1.5.1 Natives Röntgen	22
1.5.2 Computertomographie	25
1.5.3 Magnetresonanztomographie	27
<b>1.6 Therapie</b>	<b>28</b>
1.6.1 Konservative Therapie	29
1.6.1.1 Zervikalstützen	30
1.6.1.2 Stifneck®	30
1.6.1.3 Philadelphia-Halskrawatte	31
1.6.1.4 Schanz´sche Halskrawatte	31
1.6.1.5 Halofixateur	32
1.6.2 Operative Therapie	33
1.6.2.1 Densosteosynthese nach Böhler et al. [82]	34
1.6.2.2 Dorsale atlantoaxiale Fusion nach Gallie [83] und Brooks [84]	37
1.6.2.3 Atlantoaxiale Fusion mit transartikulärer Verschraubung nach Magerl [85] und McGuire und Harkey [86]	38
1.6.2.4 Atlantoaxiale Fusion nach Harms [87]	40
1.6.2.5 Okzipitoatlantoaxiale Spondylodese	41
1.6.2.6 Wirbelsäulensystem neon <sup>3</sup> ™ der Firma ulrich medical® zur dorsalen Stabilisierung mittels transartikulärer Schrauben und Atlasklammer	42
<b>1.7 Nachbehandlung</b>	<b>45</b>
<b>1.8 Komplikationen</b>	<b>46</b>
<b>2 Material und Methoden</b>	<b>49</b>
<b>2.1 Studienkollektiv</b>	<b>49</b>
2.1.1 Ein- und Ausschlusskriterien	49
<b>2.2 Nachuntersuchung</b>	<b>51</b>
2.2.1 Anamnese und subjektive Beschwerden	51
2.2.1.1 Allgemeiner Fragebogen	51
2.2.1.2 Berufsspezifische Anamnese	52
2.2.1.3 Schmerzanamnese	53
2.2.2 SF-36	53
2.2.3 Körperliche Untersuchung	57
2.2.4 Röntgenologische Untersuchung	59

2.2.5	Statistische Auswertungen	60
<b>3</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>62</b>
<b>3.1</b>	<b>Zusammenstellung des Patientenkollektivs</b>	<b>62</b>
3.1.1	Beschreibung des Kollektivs	64
3.1.2	Unfallmechanismus	67
<b>3.2</b>	<b>Vergleich von Ergebnissen der körperlichen Untersuchung des konservativen und des operativen Kollektivs</b>	<b>69</b>
3.2.1	Mögliche Einflussfaktoren auf die Bewegungsfähigkeit	74
3.2.1.1	Alter und Bewegungsfähigkeit	74
3.2.1.2	Schmerzen und Bewegungsfähigkeit	75
3.2.1.3	Tragedauer einer Zervikalstütze/ Halofixateur und Bewegungsfähigkeit	75
3.2.1.4	Pseudarthrose als Einflussfaktor auf die Bewegungsfähigkeit	76
3.2.1.5	Dislokationen/ Angulationen des Dens und Bewegungsfähigkeit	76
<b>3.3</b>	<b>Ergebnisse der Visuellen Analogskala</b>	<b>78</b>
3.3.1	Korrelation Schmerzangabe und Pseudarthrose-, Dislokations- und Angulationsrate	80
<b>3.4</b>	<b>Röntgenologische Auswertung</b>	<b>81</b>
3.4.1	Dislokationen des Dens axis	81
3.4.2	Angulationen des Dens axis	82
3.4.3	Pseudarthrosen des Dens axis	84
<b>3.5</b>	<b>Ergebnisse der verschiedenen Operationsmethoden</b>	<b>86</b>
3.5.1	Bewegungsfähigkeit in Abhängigkeit der operativen Methode	86
3.5.2	Schmerzangabe auf der VAS-Skala in Abhängigkeit der OP-Methode	87
3.5.3	Komplikationsrate in Abhängigkeit der gewählten Behandlungsmethode	87
<b>3.6</b>	<b>SF-36 Fragebogen</b>	<b>89</b>
3.6.1	Herkömmliches SF-36 Profil	89
3.6.2	Normbasiertes SF-36 Profil	91
3.6.3	Körperliche und psychische Summenskala	93
<b>3.7</b>	<b>Arbeitsfähigkeit nach einer Densfraktur</b>	<b>96</b>
<b>3.8</b>	<b>Reliabilität der Messverfahren</b>	<b>97</b>
3.8.1	Korrelation zwischen Kinn-Jugulum-Abstand und ROM Vor-/ Rückbewegung	97
<b>3.9</b>	<b>Korrelation zwischen Kinn-Schulter-Abstand und ROM Rotation</b>	<b>97</b>
<b>4</b>	<b>Diskussion</b>	<b>99</b>
4.1	Epidemiologie	99
4.2	Bewegungsausmaß	101
4.3	Schmerzangabe	103
4.4	Dislokation, Angulation und Pseudarthrose	104
4.5	Ergebnisse der verschiedenen Operationsmethoden	106
4.6	SF-36 Fragebogen	108
4.7	Soziale Aspekte	110
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>111</b>
<b>6</b>	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>114</b>
<b>7</b>	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>116</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>119</b>

<b>9</b>	<b>Anlagen</b>	<b>126</b>
9.1	Allgemeiner Fragebogen	126
9.2	Fragebogen zur Berufsanamnese	128
9.3	Visuelle Analogskala	129
9.4	SF-36 Fragebogen	130
9.4.1	Bedeutung der einzelnen Dimensionen des SF-36 Fragebogens	133
9.5	Einteilung der Kraftgrade nach der British Medical Research Council Scale [117]	134
9.6	Messblatt Wirbelsäule der DGUV	135
	Erklärung zum Eigenanteil	136
	Danksagung	137

# Abkürzungsverzeichnis

A.	Arteria
ANOVA	Analysis of variance (englisch)
a.p.	anterior-posterior
AGES	Allgemeine Gesundheitswahrnehmung
CT	Computertomographie
DGUV	Deutsche gesetzliche Unfallversicherung
EMRO	emotionale Rollenfunktion
et al.	et alii
Fa.	Firma
HWK	Halswirbelkörper
HWS	Halswirbelsäule
KÖFU	körperliche Funktionsfähigkeit
KÖRO	körperliche Rollenfunktion
Lig.	Ligamentum
lat.	lateralis
med.	medialis
Mm.	Musculi
MRT	Magnetresonanztomographie
N.	Nervus
PSYC	psychisches Wohlbefinden
Proc.	Processus
ROM	Range of motion
s.	siehe
SCHM	körperliche Schmerzen
SOFU	soziale Funktionsfähigkeit
v.a.	vor allem
VAS	Visuelle Analogskala
VITA	Vitalität
z.B.	zum Beispiel

# 1 Einleitung

Eine Fraktur des Dens axis, umgangssprachlich auch "Genickbruch" genannt, kann weitreichende Folgen haben: Neben einer Mortalität von 0-42% [1-6], können schwerwiegende neurologische Komplikationen bis hin zum Atemstillstand auftreten. Umso wichtiger erscheint daher die adäquate Versorgung einer Densfraktur, ist diese doch maßgeblich für das funktionelle Outcome einer solch schweren Verletzung verantwortlich. Hinzu kommt das epidemiologische Auftreten einer Dens axis Fraktur, welches sich zum einen auf junge Erwachsene erstreckt, und zum anderen vor allem ältere Personen betrifft, bei denen neben der eigentlichen Verletzung oft auch andere, teils schwere Begleiterkrankungen vorliegen [7-9]. Bei der Vielzahl an Versorgungsmöglichkeiten einer Fraktur des Dens axis ist somit die Wahl der passenden Therapie von äußerster Wichtigkeit und auch heute noch eine wichtige Fragestellung innerhalb der unfallchirurgischen Forschung.

Betrachtet man die gesamten Wirbelsäulenverletzungen, ist der Anteil der Dens axis Frakturen mit 9-15% zu beziffern [1, 10-12]. Dabei wird eine Dens axis Fraktur nach Anderson und D'Alonzo in drei Typen eingeteilt [13]: Typ I beschreibt eine Fraktur Nahe der Densspitze, Typ II Frakturen befinden sich im Bereich der Densbasis zwischen Ligamentum transversum und Axiskörper und als Typ III wird eine Densfraktur klassifiziert, wenn der Frakturspalt durch die Densbasis und den Axiskörper zieht. Grauer et al. [14] modifizierte im Jahr 2005 speziell für die Typ II Fraktur die Klassifikation nach Anderson und D'Alonzo und führte die Subtypen IIa, IIb und IIc ein. Während in der Therapie der Typ I und Typ III Frakturen ein weitgehender Konsens besteht, ist die optimale Therapie von Typ II Frakturen Bestandteil intensiver Diskussionen. Die Bandbreite der möglichen Therapieoptionen reicht von der konservativen Therapie mit Immobilisation durch eine starre oder halbstarre Orthese über eine ventrale Schraubenosteosynthese bis hin zur dorsalen Spondylodese von C1/2 mit einem hohen Verlust der Drehbeweglichkeit der Halswirbelsäule.

Bei der Wahl des therapeutischen Vorgehens müssen, vor allem bei älteren Patienten, der körperliche Allgemeinzustand, Komorbiditäten,



Begleitverletzungen und die Einstellung des Patienten zum jeweiligen Behandlungskonzept berücksichtigt werden. Dabei werden die Behandlungsoptionen kontrovers diskutiert: Wie ist das Risiko einer operativen Intervention gegenüber der Morbidität, bedingt durch eine langfristige Immobilisation der Halswirbelsäule, einzuschätzen? Da vor allem nach konservativer Therapie die Pseudarthrosebildung eine große Rolle spielt [8, 15-20], ist weiter zu fragen, wie die Verfahren hinsichtlich der Frakturheilung zu beurteilen sind und ob eventuell stabile Pseudarthrosen bei Patienten über 65 Jahren ein akzeptables Ergebnis der Therapie darstellen [4, 5, 21]. Zudem von Interesse ist die Einschränkung der Bewegungsfähigkeit und der empfundenen Schmerzen nach der jeweiligen Behandlungsmethode.

So soll die vorliegende Arbeit das funktionelle Outcome verschiedener Verfahren bewerten und die Funktion der Halswirbelsäule nach konservativer und operativer Therapie ausgewertet und verglichen werden, um in Zukunft die Indikationsstellung der Therapie einer Dens axis Fraktur vom Typ II / III präzisieren zu können.

## **1.1 Anatomie**

Atlas (CI) und Axis (CII), die ersten beiden Wirbelkörper, unterscheiden sich aufgrund ihres Aufbaus stark von den übrigen Wirbelkörpern. Zusammen bilden sie das „untere Kopfgelenk“ (Articulatio atlantoaxialis). Durch Zusammenspiel mit dem „oberen Kopfgelenk“ (Atlantooccipitalgelenk) werden somit kleinste feinmotorische Bewegungen des Kopfes in drei Achsen ermöglicht. Die große Beweglichkeit des Kopfes wird durch das Fehlen der Disci intervertebrales in diesen Gelenken erreicht [22].

### **1.1.1 Aufbau des Axis**

Relativ zu den anderen Wirbelkörpern betrachtet, ist der Wirbelkörper des Axis groß und massig. Er besteht aus einem Arcus anterior und einem Arcus posterior. Seitlich gehen kleine Processus transversi ab, durch deren Foramen transversaria die Arteria vertebralis zieht. An mehreren Stellen wird der Axis von Gelenkknorpel überzogen und bildet somit die Gelenkflächen Facies articularis superior, Facies articularis inferior und Facies articularis anterior. Auf dem Körper ventral sitzt ein Knochenzapfen, der Dens Axis, welcher in einer abgerundeten Knochenspitze (Apex dentis) endet.

### **1.1.2 Morphologische Struktur des Dens axis**

Der Dens Axis wird entwicklungsgeschichtlich aus insgesamt vier Knochenkernen gebildet. Dabei sind zwei der Knochenkern, die beiden primären Knochenkern, im Corpus axis lokalisiert wohingegen sich die anderen zwei Knochenkern im Densfortsatz befinden. Zwischen diesen beiden Kernen liegt die sogenannte „subdentale Synchondrose“, eine knorpelige, horizontale Scheibe, welche knapp unterhalb der atlantoaxialen Gelenkflächen lokalisiert ist [23]. Es kann vorkommen, dass diese nicht vollständig knöchern durchbaut wird und somit auch noch im Erwachsenenalter Rudimente vorhanden sein können, welche mit einer Typ II Fraktur nach Anderson und D´Alonzo verwechselt werden könnten [23]. Der Bereich der subdentalen Synchondrose zeigt eine überwiegend knorpelige Substanz mit nur wenigen ossifizierten Bändern. Im Bereich der

Densbasis ist überwiegend dünner spongiöser Knochen zu finden, der aus feinen Trabekeln besteht, welche zuweilen auch frei enden und somit wenig Stabilität bringen [24-26]. Hinzu kommt eine geringe Kortikalisdicke im Bereich der Densbasis, verglichen zu anderen Bereichen des Axis [23, 24]. Auch Mikrokallusformationen sind vorzufinden, welche das Ergebnis von Mikrofrakturierungen auf Grund von Spannungsspitzen sein könnten [24].



**Abbildung 1: T1- gewichtete MRT- Aufnahme in sagittaler Schnittenebene: Zu sehen ist eine subdentale Synchronrose im Bereich der Densbasis, aus [27].**

Da im Bereich der Densbasis auch in etwa die Frakturlinie bei einer Typ II Fraktur nach Anderson und D'Alonzo verläuft, könnten diese anatomischen Besonderheiten mit ein Grund sein für die hohe Anzahl an Pseudarthrosen oder die schlechte knöcherne Konsolidierung nach einer Typ II Fraktur [23-26].

### **1.1.3 Gelenke**

Das Atlantoaxialgelenk besteht aus vier Einzelgelenken. Die ventrale Gelenkfläche des Dens Axis, die Facies articularis anterior, artikuliert mit der Fovea dentis des Atlas, welche sich am vorderen Atlasbogen befindet (Articulatio atlantoaxialis mediana). Die dorsale Gelenkfläche artikuliert mit dem Lig. transversum atlantis. Als weitere Gelenke finden sich die Articulationes atlantoaxiales laterales, die durch die oberen Gelenkflächen des Axis und die unteren Gelenkflächen des Atlas gebildet werden. Im Gegensatz zur frontalen Stellung der Gelenkflächen bei den übrigen Halswirbeln, stehen die Gelenkflächen des Articulatio atlantoaxiales lateralis beim zweiten

Halswirbelkörper horizontal. Diese Gelenke entsprechen den übrigen Wirbelbogengelenken der Wirbelsäule, haben hier aber eine Besonderheit: Die Gelenkflächen sind alle konvex geformt, sodass bei der Rotation die Gelenkflächen aneinander abrutschen. Dies verhindert bei der Rotation eine zu starke Belastung der umliegenden Strukturen wie Nerven und Gefäße, da der Kopf durch diesen Mechanismus tiefer sinkt [28]. Zusammen mit der horizontalen Anordnung der Gelenkflächen und dem Fehlen von Disci intervertebrales wird somit aber überhaupt erst die Rotation von ca. 45° der oberen Halswirbelsäule ermöglicht [29].

Damit stehen Atlas und Axis durch vier Gelenke miteinander in Verbindung, welche eine funktionelle Einheit bilden. Vor allem Rotationsbewegungen werden durch dieses Zapfengelenk um die Longitudinalachse des Dens ermöglicht [30, 31]. Aber auch geringfügige Inklinations- und Reklinationsbewegungen sind durch dieses Gelenk durchführbar. Im oberen Kopfgelenk findet v.a. eine Sagittalflexion statt. Ebenso wird ein Großteil der Seitneigung durch das obere Kopfgelenk durchgeführt. Die hohe Beweglichkeit in der Halswirbelsäule hat funktionelle Gründe, sitzen doch ein Großteil unserer Sinnesorgane wie Auge, Nase, Ohren im Kopfbereich.

Gelenkkapseln, bestehend aus Membrana fibrosa und Membrana synovialis, umhüllen die genannten Gelenke und bilden das mit Gelenkflüssigkeit gefüllte Cavum articulare. Sie geben ein gewisses Maß an Stabilität, beschränken aber auch die Bewegungsumfänge. Um die hohen Bewegungsumfänge der Halswirbelsäule zu ermöglichen, müssen die Gelenkkapseln der Gelenke der oberen HWS verhältnismäßig dünn und weit sein [32]. Eine Besonderheit im Bereich des Articulatio atlantoaxialis lat. stellen meniskoide Falten dar [33]. Diese bestehen aus lockerem Bindegewebe, Blutgefäßen und Fetteinschlüssen [28]. Ob sie nun dazu dienen die Synovialflüssigkeit zu bilden [34] oder aufgrund der knöchernen Anatomie als eine Art Gleitlager fungieren [33], muss noch geklärt werden.

Um die hohe Beweglichkeit der Halswirbelsäule und die besondere Statik des Übergangs zwischen Kopf und Halswirbelsäule zu verbinden, bedarf es eines aufwändigen Bandapparats.

#### 1.1.4 Bandapparat

Dieser Bandapparat hat zur Aufgabe, die Stellung des Dens zu festigen und die komplizierten Gelenkstrukturen der oberen Wirbelsäule zu sichern. Dazu ziehen die Ligamenta alaria beidseits ausgehend von den Seitenflächen des Dens und des Dens apicis schräg nach oben in Richtung Foramen magnum und inserieren dort an dessen Innenseite wie auch an den Innenseiten der Condyli occipitales. Diese Bänder bestehen zu großen Teilen aus kollagenen Fasern, was ihnen ein hohes Maß an Stabilität verleiht [35]. Somit können diese kräftig ausgebildeten Bänder die Rotation im Atlantoaxialgelenk begrenzen, wie auch die Ventralflexion hemmen.

Auch das Ligamentum apicis dentis zieht von der Densspitze in Richtung ventral, sodass dieses an der vorderen Seite des Foramen magnum ansetzen kann, besitzt aber bei weitem nicht die Haltefunktionen der Ligg. alaria.

Nach dorsal wird der Dens abgestützt durch das Ligamentum transversum atlantis, welches quer hinter dem Dens zwischen den Massae laterales des Atlas verläuft. Dadurch unterteilt es das Foramen vertebrale atlantis in zwei Teile: Im vorderen Teil befindet sich der Dens axis, durch den hinteren Teil zieht das Rückenmark. Der ventrale Anteil des Bandes, im Bereich der hinteren Gelenkkammer des Articulatio atlantoaxialis, ist mit einer Schicht aus Faserknorpel überzogen und bildet somit die Gleitfläche für den Dens [35]. Auch dieses Band besteht aus kollagenen Fasern, jedoch ist deren Anordnung nicht strikt parallel wie bei den Ligg. alaria, sondern es kreuzen sich die Fasern im zentralen Anteil im 30-Grad Winkel, sodass ein geringes Maß an Elastizität vorhanden ist [35].

Vertikal verlaufende Längszüge bilden die Fasciculi longitudinales, welche deutlich schwächer als das Lig. transversum atlantis ausgeprägt sind. Sie verlaufen von der Hinterfläche des Dens längs nach kranial und inserieren am vorderen Rand des Foramen magnum. Zusammen mit dem Ligamentum transversum bilden sie das Lig. cruciforme atlantis.

Bedeckt wird dieses Band durch die Membrana tectoria, eine kraniale Fortsetzung des hinteren Längsbandes (Lig. longitudinale post.), welches sich über die Dorsalflächen der Wirbelkörper erstreckt. Dieses Band verbreitert und

verstärkt sich ab dem Übergang C2 / C3 und wird dann als Membrana tectoria bezeichnet. Es bildet die vordere Begrenzung des Wirbelkanals und verhindert ein Abkippen des Dens in Richtung Rückenmark. Es inseriert am Clivus ossis occipitalis.

Die Membrana atlantooccipitalis sorgt für Stabilität im ventralen Bereich des Atlantooccipitalgelenks, da sie eine Fortführung des an der ventralen Fläche der Wirbelkörper verlaufenden Lig. longitudinale anterius darstellt und somit das Os occipitale mit dem Tuberculum anterius atlantis verbindet. Dieses Band verhindert eine zu starke Dorsalflexion.

Das Ligamentum flavum, welches aus größtenteils elastischen Fasern besteht und durch deren gelbe Farbe es zu seinem Namen kam, findet seine Fortsetzung in der Membrana atlantooccipitalis posterior. Dieses befindet sich am hinteren Rand des Atlasbogens und zieht zum dorsalen Rand des Foramen magnum.

Wie auch an den anderen Abschnitten der Wirbelsäule, findet man auch an der oberen Halswirbelsäule die Ligg. intertransversaria zwischen den Querfortsätzen der Wirbelkörper. Diese beschränken ebenfalls die Rotation. Ebenfalls vorhanden sind die Ligamenta interspinalia, die sich zwischen den Dornfortsätzen benachbarter Wirbelkörper erstrecken. Das Ligamentum supraspinale erfüllt die gleiche Funktion wie die Ligg. interspinalia, nämlich die Begrenzung der Ventralflexion. Dieses Band erstreckt sich von den Spitzen der Procc. Spinosi und ist aus langen Faserzügen aufgebaut. Im Bereich der Halswirbelsäule geht dieses Band in das Lig. nuchae über, einer Bindegewebsplatte, welche zwischen der Protuberantia occipitalis externa und dem siebten Halswirbelkörper verläuft [22, 29, 36].

Durch diesen aufwändigen Bandapparat kann die komplizierte Verbindung zwischen Kopf und Wirbelsäule stabilisiert werden. Hinzu kommt noch eine Vielzahl an Muskeln.

### **1.1.5 Muskulatur**

Eine große Anzahl an Muskeln wirkt auf den gesamten Kopf- Halsbereich ein. Diese dienen zum einen dazu, die großen Bewegungsumfänge mit feinmotorischen Bewegungen durchführen zu können, und zum anderen den

sensiblen Kopf- Halsbereich zu stabilisieren. Dies erklärt auch das Auftreten kurzer Nacken- und Kopfgelenkmuskeln, die v.a. für differenzierte Bewegungen zuständig sind, wie auch das Vorkommen plurisegmentaler Muskeln, die somit eine nicht nur passive durch den Bandapparat erzeugte Verspannung, sondern auch ein aktives Verspannungssystem darstellen. Die Rückenmuskulatur ist in zwei Gruppen einteilbar: Zum einen in die autochthone Rückenmuskulatur und zum anderen in die nicht-autochthone Rückenmuskulatur. Der Unterschied liegt in der Embryogenese, denn die autochthonen Rückenmuskeln sind alle dort verblieben, wo sie sich ursprünglich differenzierten, wohingegen die nicht-autochthone Muskulatur auf den Rücken verlagerte Muskeln darstellt. Auch an der Innervation der nicht-autochthonen Rückenmuskulatur durch die ventralen Äste der Spinalnerven ist diese Einteilung erkennbar. Die autochthone Rückenmuskulatur lässt sich in einen medialen und einen lateralen Trakt einteilen.

Die Muskulatur, welche den Kopf dorsalexteudieren kann, ist deutlich stärker ausgeprägt als die Muskulatur, die eine Ventralflexion durchführt. Dies hängt damit zusammen, dass ein Großteil der Schädelmasse beim Erwachsenen in der Neutral-Null-Position ventral der Gelenkachse liegt, welche sich für die In- und Reklination zwischen den Processus mastoideus erstreckt. Um den Kopf nun in einer aufrechten Position zu halten, müssen die dorsalen Muskeln mehr Kraft aufbringen.

### Reklination des Kopfes

M. trapezius

M. sternocleidomastoideus

M. erector spinae, medialer Trakt (bei beidseitiger Kontraktion): M. spinalis capitis, M. semispinalis capitis, Mm. interspinales cervicis, Mm. rotatores breves et longi cervicis

M. erector spinae, lateraler Trakt (bei beidseitiger Kontraktion): M. splenius capitis, M. longissimus capitis

Kurze Nacken- und Kopfgelenkmuskeln:

M. rectus capitis posterior major et minor

M. obliquus capitis superior et inferior

**Tabelle 1: Muskeln, welche zur Reklination des Kopfes beitragen.**

Durch das spezielle Masse-/Lageverhältnis verwundert es nicht, dass die Muskulatur zur Ventralflexion des Kopfes weitaus schwächer ausgeprägt ist, zumal hier auch allein die Schwerkraft einen großen Anteil der Inklination übernehmen kann. So findet man deutlich weniger Ventralflektoren als Muskeln zur Durchführung der Dorsalextension.

Inklination des Kopfes
M. longus capitis
M. longus colli
M. rectus capitis anterior
M. scalenus anterior

**Tabelle 2: Muskeln, welche an der Inklination des Kopfes beteiligt sind.**

Eine Vielzahl einzelner Muskeln ist notwendig, um die Seitneigung des Kopfes durchführen zu können.

Seitneigung des Kopfes
M. splenius
M. longissimus capitis et cervicis
M. scalenus anterior, medius, posterior
M. sternocleidomastoideus
M. iliocostalis cervicis
Mm. intertransversarii cervicis
M. spinalis capitis
M. semispinalis capitis
M. multifidus cervicis
M. rectus capitis lateralis
M. rectus capitis posterior major et minor
M. obliquus capitis superior et inferior

**Tabelle 3: Darstellung der für die Seitneigung benötigten Muskeln.**

Um die Bewegungsdimensionen der Kopfgelenke vollständig darzustellen, bleibt noch eine Bewegungsdimension, die Rotation. Diese war ein wichtiger Bestandteil der körperlichen Untersuchung vorliegender Studie, da die Rotation des Kopfes überwiegend im Atlantoaxialgelenk stattfindet [30, 31], und somit durch diese Bewegung auf direkte Schädigungen nach einer Densfraktur geschlossen werden kann, weil der Dens hier durch das Articulatio atlantoaxialis mediana direkt an der Rotationsbewegung beteiligt ist. Bei der Rotation kommen



immer auch Muskeln der kontralateralen Seite zur Kontraktion, d.h. bei einer Rotation nach links, kontrahieren sich sowohl M. splenius capitis, M. longissimus capitis, M. rectus capitis posterior major, M. obliquus capitis inferior der linken Seite, wie auch M. sternocleidomastoideus, M. trapezius, Mm. rotatores breves et longi cervicis der rechten Seite. Dies ist bedingt durch die spezielle räumliche Anordnung einzelner Muskeln.

<b>Rotation des Kopfes</b>
<p><b>Muskeln ipsilaterale Seite:</b>  M. splenius capitis  M. longissimus capitis  M. rectus capitis posterior major  M. obliquus capitis inferior</p> <p><b>Muskeln kontralaterale Seite:</b>  M. sternocleidomastoideus  M. trapezius  Mm. rotatores breves et longi cervicis</p>

**Tabelle 4: Muskeln der ipsilateralen und kontralateralen Seite, die an der Rotation des Kopfes mitwirken.**

All diese Muskeln spielen bei jeder Bewegung in einer komplexen Art und Weise zusammen, sodass deren einzelne Auswirkungen nur schwer abschätzbar sind. Zudem ist dieser aufwändige Muskelapparat in der Lage, eine Vielzahl äußerer Einwirkungen entsprechend abzumildern, sodass die Kräfte, welche auf die knöchernen Strukturen wirken, vermindert werden [37].

Durch die vielen einzelnen Komponenten welche hier am Zustandekommen einer Bewegung beteiligt sind (Gelenke, Bänder, Muskulatur), ist jedoch die Gefahr einer Funktionseinschränkung umso größer, sodass nach einer Fraktur des Dens in der Folgebehandlung nicht nur Augenmerk auf den knöchernen Apparat, sondern vor allem auch auf muskuläre Beeinträchtigungen gelegt werden muss [22, 29, 36, 38].

### **1.1.6 Gefäßversorgung**

Um eine Densfraktur adäquat operativ versorgen zu können, muss auch die Systematik der Leitungsbahnen beherrscht werden. Hierbei spielt die

symmetrisch angelegte Arteria vertebralis eine bedeutende Rolle. Als ein Ast der Arteria subclavia zieht diese zum sechsten Halswirbel und verläuft ab demselbigen in den jeweiligen Foramina transversaria nach kranial. Hierbei liegt sie parallel zur Arteria carotis. Aufgrund der besonderen anatomischen Form der ersten beiden Halswirbelkörper, zieht die A. vertebralis zwischen Axis und Atlas nach lateral um dort das Foramen transversarium atlantis zu erreichen. Auf der Massa lateralis atlantis verläuft sie nach posterior und durchdringt schließlich die Membrana atlantooccipitalis posterior um sich oberhalb des Apex dentis zur Arteria basilaris zu vereinigen und in das Schädelinnere zu ziehen. Durch die Rami spinales der A. vertebralis werden das Rückenmark und die Rückenmarkshäute versorgt, die Rami musculares versorgen die tiefen Schichten der Nackenmuskulatur. Die oberflächlichen Schichten hingegen werden durch die Arteria cervicalis profunda und die Arteria transversa cervicis versorgt.

Die venöse Drainage erfolgt über den Plexus venosus vertebralis externus/internus anterior et posterior

### **1.1.7 Wirbelkanal und Neurologie**

Da eine Rückenmarksverletzung eine mögliche Komplikation bei der operativen Versorgung jeglicher Densfrakturen darstellt, soll auch auf die Anatomie des Wirbelkanals und seiner umliegenden Strukturen kurz eingegangen werden. Die Foramina vertebralia der einzelnen Wirbelkörper fügen sich zum Canalis vertebralis zusammen, welcher sich vom Foramen magnum bis zum Os sacrum erstreckt. In diesem enthalten ist das Rückenmark und ab ca. der Höhe L1/L2 die Cauda equina mit Rückenmarkshäuten und der entsprechenden Gefäßversorgung. Dieser hochsensible Teil wird somit durch die knöcherne Umbauung vor äußeren Einflüssen geschützt.

Nach ventral wird der Wirbelkanal durch die Dorsalseite der Wirbelkörper wie auch abwechselnd von den Disci intervertebrales begrenzt, seitlich von den Bogenwurzeln (Pediculi arcus vertebrae), welche in die die dorsale Begrenzung darstellenden Wirbelbögen übergehen. Dadurch, dass die Pediculi den dünnsten Abschnitt des Wirbelbogens darstellen [22], bilden sie die Incisurae vertebrales

superior et inferior, sodass hier die Spinalnerven durch die Foramina intervertebralia austreten können. Diese werden bei einer Ventralflexion der HWS weiter und bei einer Dorsalextension enger [39].

Ausgekleidet wird der Canalis vertebralis von drei Hirnhäuten. Am oberflächlichsten befindet sich die Dura mater, welche den Epiduralraum begrenzt. Dieser bildet sich zwischen Stratum meningeale und Stratum periostale der Dura mater aus und enthält den epiduralen Venenplexus, welcher in den epiduralen Fettkörper eingebettet ist, wie auch die Nervenwurzeln abgehender Spinalnerven. Vor allem operativ verursachte Blutungen im Bereich des Venenplexus sind nur sehr schwer zu stillen. Des Weiteren befinden sich die arteriellen Rami spinales im Epiduralraum. Durch die intensive Innervation der Dura mater, ist diese sehr schmerzempfindlich. Da das Bindegewebe der Dura mater überwiegend aus kollagenen Fasern besteht, ist ihre Funktion mit der einer Organkapsel vergleichbar.

Nach innen legt sich die Arachnoidea mater an die Dura mater an und begrenzt somit den Subduralspalt, der bei Einblutungen in diesen Bereich entstehen kann. Unter dieser dünnen Membran befindet sich das Spatium subarachnoideum mit dem Liquor cerebrospinalis. Schließlich bedeckt die Pia mater spinalis direkt das Rückenmark.

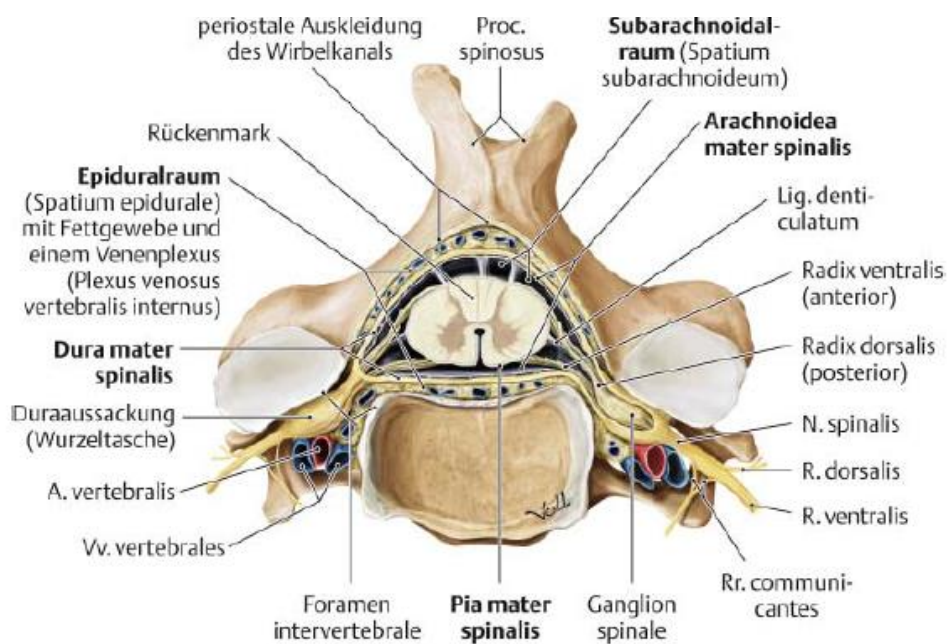


Abbildung 2: Darstellung der Rückenmarkshäute, aus [22], S. 1048.

Die Auswirkungen einer Verletzung des Rückenmarks hängen in erster Linie von der Lokalisation ab. Die Höhe der Schädigung kann grob über die Untersuchung der Kennmuskeln und der Dermatome abgeschätzt werden. Sollte als letztes intaktes Rückenmarksegment C2 bestimmt werden, so spricht man von einem „Querschnitt sub C2“ [40]. Eine neurologische Schädigung in Höhe des Dens, sei es durch das Trauma an sich oder durch chirurgische Manipulationen, kann sehr weitreichende Folgen haben. Neben der Lokalisation der Verletzung spielt aber auch der Schweregrad der Läsion eine Rolle. Um Lokalisation und Ausmaß einer neurologischen Läsion mit einem einfachen klinischen Messinstrument bestimmen zu können [41], wird von der American Spinal Injury Association (ASIA) folgende Klassifikation vorgeschlagen:

<b>Grad</b>	<b>Beschreibung</b>
<b>A</b>	Komplette Verletzung des Rückenmarks: Unterhalb der Verletzungshöhe weder motorische noch sensible Funktionen
<b>B</b>	Inkomplette Verletzung: Sensible Funktionen noch vorhanden
<b>C</b>	Mehr als die Hälfte der Muskeln unterhalb der Läsion haben einen Kraftgrad von weniger als 3
<b>D</b>	Mehr als die Hälfte der Muskeln unterhalb der Läsion haben einen Kraftgrad von mindestens 3
<b>E</b>	Physiologische motorische und sensible Funktionen

**Tabelle 5: Spinal Injury Association Classification of spinal cord injury als Messinstrument zur Klassifikation einer neurologischen Läsion, aus Marino et al., 2003 [42].**

So kann neben einer Tetraplegie, d.h. der Lähmung aller vier Extremitäten, sensiblen Ausfällen, Funktionsstörungen der Blase, des Mastdarmes und des Vegetativums wie auch Sexualfunktionsstörungen, bei einer Läsion sub C1 auch der Ausfall des Nervus phrenicus auftreten, sodass das Diaphragma nicht mehr innerviert wird und eine selbstständige Atmung nicht mehr möglich ist.

## **1.2 Epidemiologie und Ätiologie**

Die Häufigkeit einer Densfraktur wird mit 9-15% aller Wirbelsäulenverletzungen beziffert [1, 10-12]. Patienten im Alter von über 65 Jahren erleiden häufig nach Stürzen Verletzungen der oberen Halswirbelsäule [4, 5, 12, 43-46]. Ab einem Patientenalter von 80 Jahren stellen Densfrakturen sogar den größten Anteil an Wirbelsäulenverletzungen dar [12]. Innerhalb der Verletzungsmuster des zweiten Halswirbelkörpers stellt die Densfraktur mit ca. 60% den Hauptanteil [9]. Bei jüngeren Patienten sind vor allem Hochrasanztraumata für eine solche Verletzung ursächlich, bei älteren Patienten reichen Bagatelltraumata aus, um eine Fraktur des Dens Axis zu erzeugen [7-9]. Die Fraktur wird dabei durch eine Hyperextension beziehungsweise Hyperflexion erzeugt, oft in Kombination mit einer Rotationskomponente [7, 47, 48].

### 1.3 Klassifikation

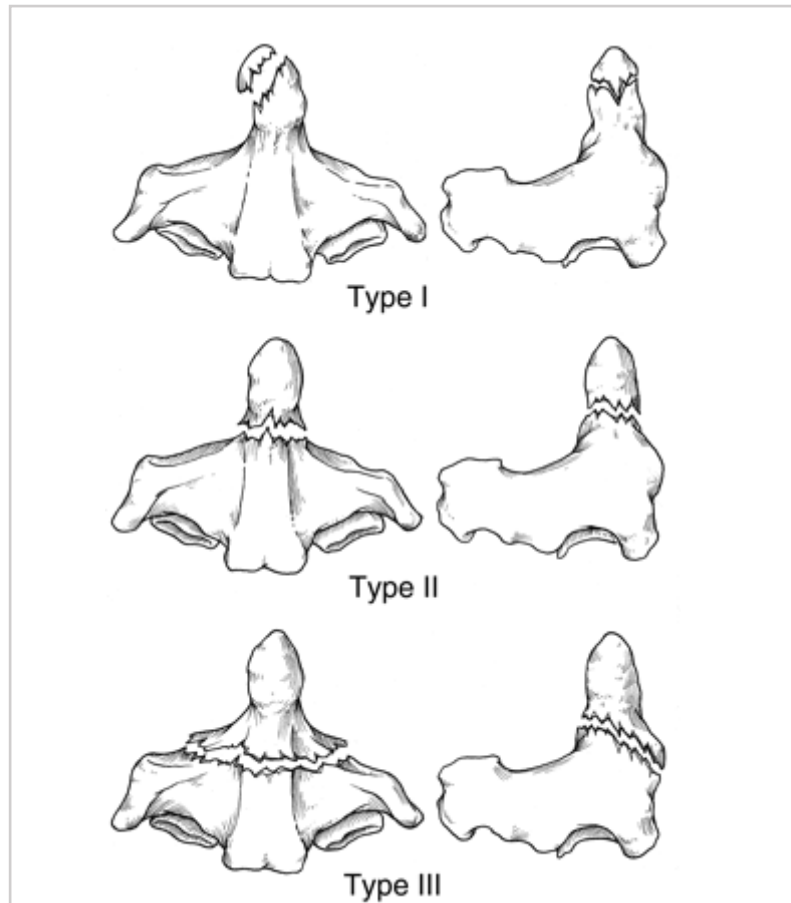
Am gebräuchlichsten ist die Einteilung der Frakturen des Dens axis nach Anderson und D´Alonzo in drei Typen [13]. Hierbei wird ausschließlich auf den anatomischen Verlauf der Frakturlinie eingegangen und die Einteilung besitzt allenfalls einen prädiktiven Wert bezüglich der Pseudarthrosenrate [49].

**Typ I:** Fraktur des Apex dentis: Densspitzennahe Fraktur oberhalb des Lig. transversum mit knöchernem Ausriss der Ligg. alaria [49, 50]

**Typ II:** Fraktur im Bereich der Densbasis zwischen Lig. transversum und Axiskörper, wobei die Frakturlinie immer extraartikulär verläuft [49]. Dabei wird bei einem Hyperextensionstrauma die Densspitze nach dorsal disloziert und beim Flexionstrauma nach ventral. Mit 67% [49] stellt diese die häufigste Form der Densfraktur dar. Hohe Pseudarthrosenrate, v.a. bei Dislokationen.

**Typ III:** Fraktur durch die Densbasis und den Axiskörper. Die Frakturlinie kann bis in die Facies articularis superior axis hineinziehen und somit das Gelenk C1/C2 betreffen. Auch atypische Frakturverläufe von dorsokraniel nach ventrokaudal sind beschrieben [51], sodass hier weniger von einer Dens axis Fraktur als vielmehr von einer Axiskörperfraktur gesprochen werden müsste [52].

**Tabelle 6: Einteilung der Densfrakturen in der Klassifikation nach Anderson und D´Alonzo [13].**



**Abbildung 3: Fraktуреinteilung nach Anderson und D'Alonzo, aus [53].**

## 1.4 Symptomatik

Eine Fraktur des Dens axis kann sich durch unspezifische Symptome wie Kopf- und Nackenschmerzen oder Bewegungseinschränkungen im Nackenbereich präsentieren. Auch bei Druckschmerz im Bereich der HWS sollte an eine Densfraktur gedacht werden. Auch kommt es des Öfteren vor, dass der Patient das Gefühl hat er könne seinen Kopf nicht halten [49]. Eine neurologische Symptomatik muss nicht zwingend vorliegen, wodurch besonders bei polytraumatisierten Patienten (Hochrasanztraumata) leicht eine Densfraktur übersehen werden kann [54]. In ca. 20% der Fälle liegt zusammen mit einer Densfraktur ein Schädel-Hirn-Trauma vor [55]. Neurologische Ausfälle bei einer Densfraktur sind seltener als bei Verletzungen an anderen Abschnitten der Wirbelsäule, da zum einen die apikalen Bänder für eine hohe Stabilität sorgen und auch der intraspinaler Raum auf Höhe von C2 weit ist. Im Falle einer Schädigung des Rückenmarks bei einer Verletzung des Dens axis sind die neurologischen Auswirkungen jedoch sehr viel schwerwiegender und der Patient verstirbt aufgrund dessen häufiger initial. Wird eine instabile Fraktur übersehen, kann es durch spätere Bagateltraumata zu sekundären Dislokationen kommen, wodurch eine schwere neurologische Symptomatik hervorgerufen werden kann. Tetraparesen, Hemiparesen, Tetraplegien und somit verbundene Ausfälle des vegetativen Nervensystems sind Symptome, die bei einer durch die Dislokation der Densfraktur hervorgerufenen Myelopathie auftreten können. Da die Schädigung des Myelons oberhalb der für das Zwerchfell notwendigen Nerven liegt, kann die Atemfunktion stark beeinträchtigt sein.



## **1.5 Diagnostik**

Neben der Anamnese und Untersuchung wird die Diagnose einer Densfraktur wie bei allen Frakturen über ein bildgebendes Verfahren gestellt. Bei Patienten mit entsprechender Anamnese (z.B. Hochrasanztraumata, Stürze aus größerer Höhe, Stürze bei denen der Pat. mit dem Kopf voran stürzt) muss bei der klinischen Untersuchung immer auf oben genannte Symptome geachtet werden und an eine Läsion im Bereich der Wirbelsäule gedacht werden. Aufgrund der schwerwiegenden Komplikationen, die speziell eine Läsion der oberen HWS mit sich bringen kann, sollte ein offensiver Einsatz bildgebender Verfahren erfolgen. Hierbei werden sowohl natives Röntgen, Computertomograph (CT) zur genauen Bestimmung der knöchernen Komponente, wie auch ein Magnetresonanztomograph (MRT) zur Darstellung der Weichteile herangezogen, wobei letzteres eher die Ausnahme darstellt.

### **1.5.1 Natives Röntgen**

Am Beginn jeder bildgebenden Diagnostik im Bereich der HWS steht heute zu einer ersten Orientierung immer noch das konventionelle Röntgen, sodass standardmäßig zunächst a.p.-Aufnahmen, seitliche Aufnahmen sowie Denszielaufnahmen durchgeführt werden [56]. Durch diese Aufnahmen können mit einer Sensitivität von ca. 83% Läsionen im Bereich der HWS entdeckt werden [57].

Bei sämtlichen Aufnahmen ist es wichtig, dass der Patient zunächst seinen Schmuck im Kopf-Halsbereich sowie eventuell vorhandene Zahnprothesen ablegt, um Überlagerungen zu vermeiden. Bei einer frischen Verletzung mit Verdacht auf Densfraktur muss die Röntgen Diagnostik bei angelegter Krawatte erfolgen. Der Patient kann im anterior-posterioren Strahlengang im Liegen geröntgt werden, je nach Frakturverlauf und Stabilität ist auch eine sitzende Position möglich. Bei der Aufnahme im a.p. Strahlengang ist der Kopf in leichter Dorsalextension zu halten, damit so wenig Überlagerungen wie möglich erzeugt werden. Der Zentralstrahl sollte dann im 10-15° Winkel zur Horizontalebene auf die HWS treffen, um auch die Intervertebrälräume darstellen zu können [58]. Es

sollten sowohl der occipital-craniale wie auch der cranio-thorakale Übergang auf der Aufnahme abgebildet sein. Bei der Befundung ist zunächst auf Fehlhaltungen (eventuell Skoliose) zu achten, daraufhin sollte die Verbindungslinie der Dornfortsätze (und deren Abstände untereinander) wie auch die lateralen Konturen der Halswirbelkörper näher betrachtet werden. Der atlantoaxiale Übergang ist ebenfalls einer genaueren Betrachtung zu unterziehen, um zu überprüfen ob Hinweise auf eine Dehiszenz zwischen Massa lateralis und Dens axis vorliegen. Um eine stabile von einer instabilen Verletzung zu unterscheiden ist noch auf eventuell vorhandene Dislokationen oder Angulationen zu achten. Auch die Zwischenwirbelräume sollten betrachtet werden, um differentialdiagnostisch einen Discusprolaps abgrenzen zu können.

Um ein seitliches Röntgenbild der Halswirbelsäule zu erstellen, verfährt man im Grunde wie oben genannt. Anschließend sind die vordere und hintere Wirbelkörperlinie, die spinolaminäre und sowie die Dornfortsatzverbindungslinie zu überprüfen. Dies kann Aufschluss über eventuelle segmentale Verschiebungen oder Angulationen geben [59]. Der Weichteilschatten sollte im Bereich des Retropharyngealraumes (bis etwa C3/C4) ca. 7mm entsprechen und im Bereich des Retrotrachealraumes ca. 22mm [60]. Um zu überprüfen ob das Ligamentum transversum noch intakt ist, misst man den Abstand zwischen Dens axis und Arcus ant. atlantis, welcher zwischen 2-3mm betragen sollte (Cave: Bei rheumatoider Arthritis kann dieser auch vergrößert sein) [61]. Des Weiteren sollten die interlaminaren Abstände überprüft und auf Subluxationen im Bereich der Facettengelenke geachtet werden [59].



**Abbildung 4: Ausschnitt einer seitlichen Aufnahme der Halswirbelsäule. Es ist eine Stufenbildung des Dens axis zu erkennen (große Pfeile) mit konsekutiver Weichteilschwellung (kleiner Pfeil), aus [62].**

Bei einem konkreten Verdacht auf eine Densfraktur sollte neben dem Röntgen in 2 Ebenen auch eine transorale Dens-Zielaufnahme erfolgen. Diese kann sowohl im Liegen wie auch bei ausreichender Stabilität im Sitzen durchgeführt werden; Es ist dabei aber darauf zu achten, dass die Okklusionsebene (Ebene zwischen Ober- und Unterkiefer) orthogonal zur Aufnahmekassette steht und der Mund maximal weit geöffnet ist [58]. Somit wird versucht eine möglichst überlagerungsfreie Darstellung des Dens zu erreichen, was zuweilen nicht einfach ist, sodass man bei sämtlichen unklaren Befunden auf die Anfertigung einer Computertomographie zurückgreifen muss.



**Abbildung 5: Transorale Aufnahme des Dens axis. Keine Fraktur nachweisbar. Aus [63].**

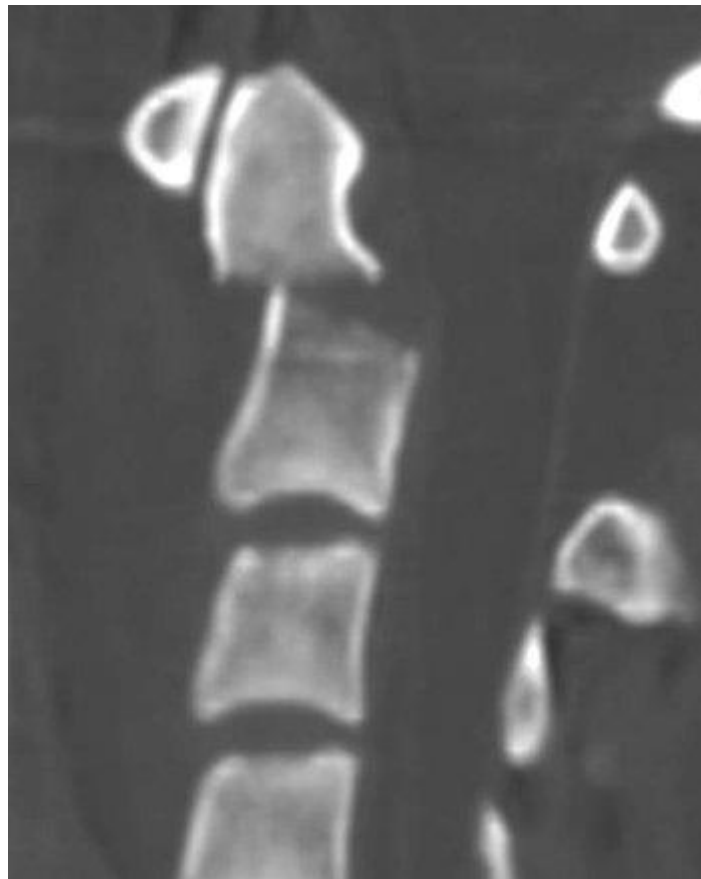
Ein weiteres Verfahren der Bildgebung bei Frakturen des Dens axis stellen sogenannte Funktionsaufnahmen dar. Hierbei wird versucht das Ausmaß der Stabilität des Dens axis bei Inklination und Reklination zu bestimmen.

### **1.5.2 Computertomographie**

Um unklare Befunde zu klären, pathologische Befunde zu evaluieren und auch eine präoperative Planung vornehmen zu können, ist ein CT unersetzlich. Hiermit ist das CT das wohl wichtigste bildgebende Verfahren im Bereich der ossären Veränderungen der HWS [56]. Es ermöglicht im Gegensatz zum Röntgen eine überlagerungsfreie Darstellung der Strukturen. Dabei sollte einem Mehrzeilenspiral-CT trotz höherer Strahlenbelastung der Vorzug gegeben werden, denn hiermit können Schichtdicken die kleiner als 0,5mm sind dargestellt werden. Im Regelfall sollten bei einer Darstellung der HWS Schichtdicken von 3mm gewählt werden [56]. Da Densfrakturen oft bei Patienten mit Polytrauma auftreten, ist ein Ganzkörper-CT hierbei indiziert, um das Verletzungsmuster vollständig überblicken zu können. Diese Vorgehensweise der Schockraumversorgung kann die Überlebenschancen der polytraumatisierten

Patienten um bis zu 25% erhöhen. Die Dauer einer Patientenuntersuchung im Ganzkörper-CT beläuft sich auf ca. 3-6 Minuten [64].

Mit CT-Geräten der heutigen Generation kann aus einem Datensatz sowohl eine 2D- wie auch eine 3D-Rekonstruktion des Dens axis erschaffen werden, die vor allem für die Planung einer Operation von hohem Wert ist. Um einen räumlichen Eindruck zu gewinnen ist die Shaded Surface Display (SSD) Technik zu wählen, die durch eine virtuelle Lichtquelle die Darstellung räumlich erscheinen lässt. So können auch komplizierte Frakturverläufe im Bereich des Dens axis plastisch dargestellt werden.



**Abbildung 6: Seitliche CT-Aufnahme der oberen Halswirbelsäule. Man erkennt eine Fraktur des Dens axis auf Höhe der Densbasis (Typ II nach Anderson und D'Alonzo) mit Dislokation nach ventral, aus [65].**

### **1.5.3 Magnetresonanztomographie**

Mit der Magnetresonanztomographie (MRT) haben sich die diagnostischen Verfahren bei Verletzungen der HWS weiter verbessert. Es können hiermit v.a. die Weichteilstrukturen eingesehen werden. Ligamentöse Verletzungen sind oft nur über das MRT zu identifizieren [66]. In seltenen Fällen werden auch schwere Verletzungen, welche im CT nicht aufgefallen sind, erst im MRT gesehen [64]. Über den routinemäßigen Einsatz eines MRT wird in der Literatur momentan noch diskutiert, da es auch Autoren gibt [66], die keinen zusätzlichen Nutzen einer MRT-Aufnahme sehen, v.a. wenn das CT blande ist und der Patient keine motorischen Defizite aufweist [64, 66-68]. Um das Ausmaß einer Verletzung bei vorhandener neurologischer Symptomatik abschätzen zu können, ist ein MRT zur Diagnostik hinzu zu ziehen. Auch kann durch eine MR-Angiographie der Gefäßstatus dargestellt werden, denn v.a. Verletzungen der A. vertebralis können ernsthafte Schädigungen zur Folge haben [69].

## 1.6 Therapie

Bei der Behandlung einer Fraktur des Dens Axis bestehen prinzipiell zwei unterschiedliche Möglichkeiten der Therapie: Zum einen die konservative Therapie mittels Ruhigstellung der Halswirbelsäule und zum anderen die operative Therapie. Die Behandlung ist vom Frakturverlauf und somit von der Klassifikation nach Anderson und D´Alonzo abhängig, wie auch von der Stabilität der jeweiligen Fraktur. Patienten mit stabiler Fraktur werden tendenziell der konservativen Therapie zugeführt, wohingegen bei einer Angulation oder Dislokation des Dens axis eine operative Therapie in Erwägung gezogen werden muss. Dabei gilt eine Translationsverschiebung größer 20% als instabil, da die Frakturoberflächen für eine knöcherne Ausheilung nicht ausreichen [70, 71].

Somit wird eine Typ I Fraktur nach Anderson und D´Alonzo bei intaktem Bandapparat als stabil betrachtet und damit konservativ versorgt. Liegt eine atlantoaxiale Instabilität vor, sollte wiederum der operativen Therapie der Vorzug gegeben werden. [72]

Typ III Frakturen lassen sich in 2 Subtypen unterteilen: Es lässt sich ein Subtyp mit horizontal verlaufendem Frakturspalt (tendenziell stabil) von einem mit schräg verlaufendem Frakturspalt (tendenziell instabil) unterscheiden [73]. Auch hierbei gilt die Grundregel, dass stabile Verhältnisse konservativ und instabile durch operative Fusion behandelt werden sollten [72-74].

Während somit in der Therapie der Typ I und Typ III ein weitgehender Konsens besteht, ist die optimale Therapie von Typ II Frakturen Bestandteil intensiver Diskussionen. Die Bandbreite erstreckt sich von der konservativen Therapie über eine ventrale Schraubenosteosynthese mit Erhalt des Atlantoaxial-Gelenks bis zur dorsalen Spondylodese C1/ C2 mit Verlust von ca. 70% der Drehbeweglichkeit.

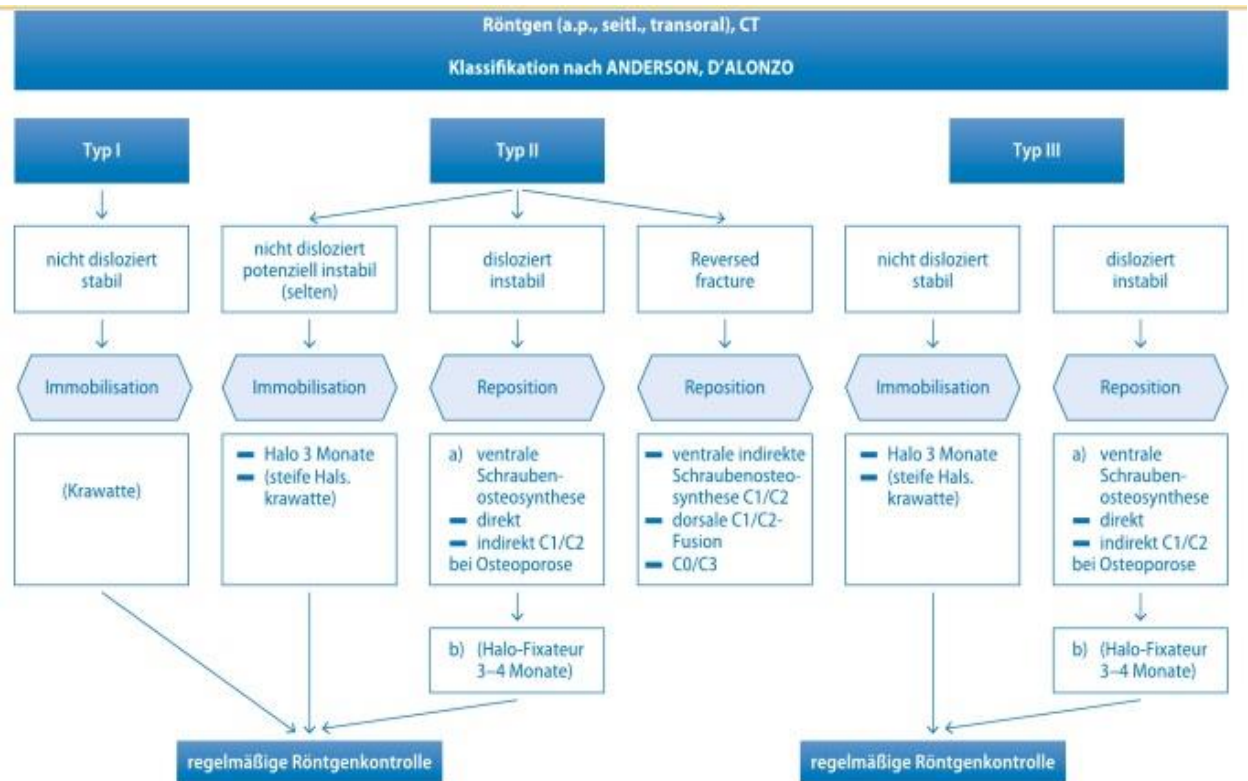


Abbildung 7: Vorschlag der Therapieplanung einer Densfraktur, aus Bühren, 2013 [8].

### 1.6.1 Konservative Therapie

Die Kriterien für die konservative Therapie wurden im vorhergehenden Abschnitt bereits genannt. Auf die unterschiedlichen Hilfsmittel wie auch auf die Durchführung einer konservativen Therapie soll im Folgenden eingegangen werden. Ob eine Therapie mittels Halofixateur oder anderen Halskrawatten durchgeführt werden soll, muss individuell entschieden werden, wobei auch Faktoren wie die Compliance, Alter und Begleitverletzungen eine Rolle spielen. Bedenken sollte man, dass auch primär stabile Frakturen sekundär dislozieren können, sodass in den ersten 4 Wochen eine wöchentliche Röntgenkontrolle erfolgen sollte. Hierbei reicht eine seitliche Aufnahme der HWS. Nach den ersten 4 Wochen ist eine Verlängerung des Kontrollintervalls möglich. [49]

Die Dauer einer Behandlung richtet sich nach dem individuellen Verlauf und reicht von 6-8 Wochen bei einer mit Philadelphia-Halskrawatte versorgten, stabilen Typ III Fraktur bis zu 12-16 Wochen bei Anlegung eines Halofixateurs bei Typ II Fraktur.



Zum Abschluss der Behandlung sollte ein CT und ggf. Röntgenfunktionsaufnahmen durchgeführt werden, um die Konsolidierung der Fraktur beurteilen zu können. [49]

#### **1.6.1.1 Zervikalstützen**

Im klinischen Gebrauch findet sich eine Vielzahl unterschiedlicher Zervikalstützen mit all ihren Vor- und Nachteilen. In vorliegender Untersuchung jedoch wurden folgende Zervikalstützen verwendet:

#### **1.6.1.2 Stifneck®**

Bei Verdacht auf eine Verletzung der Halswirbelsäule ist bereits präklinisch auf eine korrekte Lagerung und Immobilisierung zu achten. Schon die am Unfallort eintreffenden Rettungsdienstmitarbeiter müssen bei Verdacht auf ein Zervikaltrauma (ebenfalls bei Schädel-Hirn-Trauma, Polytrauma) eine immobilisierende Zervikalstütze (Produktname: Stifneck®) anlegen. Dabei ist ein Überstrecken des Kopfes zu vermeiden, damit der Dens axis nicht in die Medulla oblongata ragt. Die Zervikalstütze sollte den Hals und das Kinn umschließen und auf dem Thorax aufsitzen. Durch das harte Material sind Druckstellen möglich, die Zervikalstütze sollte daher nur bis zum Ausschluss/ zur Feststellung einer Fraktur getragen werden. Danach folgt der Wechsel auf eine andere Orthese. [75]



**Abbildung 8: Stifneck® der Firma Laerdal, aus [76].**

### 1.6.1.3 Philadelphia-Halskrawatte

Eine in der konservativen Behandlung häufig eingesetzte Halskrawatte ist die Philadelphia Halskrawatte. Diese aus sehr harten Materialien bestehende Orthese sorgt über eine flächige Abstützung an Brustbein, oberer Brustwirbelsäule, Kinn und Okziput für die Immobilisierung des Kopfes. Da sie aus Schaumstoff und somit aus röntgendurchlässigem Material hergestellt ist, muss sie zur engmaschigen Röntgenkontrolle bei Frakturverletzungen nicht abgenommen werden. Des Weiteren kann sie zur postoperativen Ruhigstellung verwendet werden.



Abbildung 9: Philadelphia Kragen, aus [77].

### 1.6.1.4 Schanz'sche Halskrawatte

Diese weiche Zervikalstütze bietet die geringste Immobilisation und wird daher oft als Anschlussbehandlung nach einer Philadelphia-Krawatte oder einer Halo-Weste gewählt. Sie hat eher geringe bewegungslimitierende Funktion und soll somit den Patienten vor übermäßiger Mobilisation schützen. Durch die starke Auspolsterung besitzt sie einen hohen Tragekomfort.



Abbildung 10: Cellacare® Cervidur® Halskrawatte (modifiziert nach Schanz) der Firma Lohmann & Rauscher, aus [78]

### 1.6.1.5 Halofixateur

Ein Halofixateur kann aufgrund verschiedener Indikationsstellungen eingesetzt werden [79]:

- Zur konservativen Behandlung einer Densfraktur
- Zur intraoperativen Reposition
- Als temporäre Anlage bis zur Operation

Das Prinzip des Halofixateurs ist das eines Fixateur externe, durch welchen eine Verbindung zwischen Kopf und einem Thorax-Jacket besteht. Dieser besteht entweder aus Metall- oder Kohlefaserstangen, in allen Fällen aus MRT-fähigem Material.

Es bestehen folgende Kontraindikationen [79, 80]:

- Schädelfrakturen
- Intrakranielle Verletzungen
- Weichteilinfektionen am Schädel
- Kinder < 3 Jahre

Des Weiteren sind folgende relative Kontraindikationen zu beachten [80]:

- Adipositas (Schwierigkeiten bei der Anlage des Jackets)
- Thoraxverletzungen
- Querschnittlähmung

Die Anlage eines Halofixateurs erfolgt unter Narkose oder lokaler Anästhesie. Dazu wird ein Ring ausgewählt, der ca. 1,5 cm größer als der Kopfumfang ist (Vermeidung von Druckstellen). Dieser wird ca. 1 cm oberhalb der Augenbrauen und oberhalb der Ohrmuschel platziert. Insgesamt ist das Einbringen von vier Pins in die Lamina externa der Schädelkalotte notwendig, die Lamina interna sollte dabei nicht perforiert werden. An den Pin-Eintrittsstellen erfolgt davor die Enthaarung (Vermeidung von Infektionen) und Desinfektion. Zunächst werden die Pins von Hand eingedreht, anschließend mit einem Drehmomentschlüssel (6-8 Nm) „über Kreuz“ festgezogen. Nun wird der Ring mit den Pins durch Muttern verbunden, wobei darauf zu achten ist, dass sich der Ring symmetrisch zum Kopf verhält. Dies lässt sich erreichen, indem das zentrale Loch im Ring über dem Nasensteg zum Liegen kommt. Anschließend erfolgt das Anlegen des Jackets, welches aus zwei mit Lammfell ausgekleideten Plastikschalen besteht. Daraufhin

wird das Jacket über vier Stangen mit dem Ring verbunden. Nach Kontrolle aller mechanischen Verbindungen erfolgt eine Röntgenkontrolle in zwei Ebenen. Nach 24 Stunden sollten die Pins zum ersten Mal nachgezogen werden. Regelmäßige Röntgenkontrollen, eine tägliche Pin-Pflege, sowie in der ersten Woche täglich eine Drehmoment-Kontrolle mit anschließender wöchentlicher Überprüfung der mechanischen Verbindungen mittels Drehmomentschlüssel sind unerlässlich. [7, 49, 79]



**Abbildung 11: ReSolve® Halo System der Firma Össur zur externen Fixation der Halswirbelsäule, aus [81].**

### **1.6.2 Operative Therapie**

Zur Versorgung einer Densfraktur stehen mehrere unterschiedliche Methoden zur Verfügung. Die Entscheidung bezüglich der Wahl der Operationsmethode ist von der Klassifikation nach Anderson und D´Alonzo, vom Frakturverlauf, von der Knochenqualität wie auch vom Alter des Patienten abhängig [7]. Prinzipiell gibt es zwei Zugangswege: Zum einen der Zugang von ventral, zum anderen der Zugang von dorsal. Dabei stellt bei entsprechender Indikation die ventrale Kompressionsosteosynthese das Verfahren der Wahl dar [49].

Es stehen unterschiedliche Operationsverfahren zur Verfügung:

- Densosteosynthese nach Böhler et al. [82]
- Dorsale atlantoaxiale Fusion nach Gallie [83] und Brooks [84]
- Atlantoaxiale Fusion mit transartikulärer Verschraubung nach Magerl [85] und McGuire und Harkey [86]
- Atlantoaxiale Fusion nach Harms [87]
- Okzipitoatlantoaxiale Spondylodese
- Wirbelsäulensystem neon<sup>3</sup>™ der Firma ulrich medical® zur dorsalen Stabilisierung mittels transartikulärer Schrauben und Atlasklammer

### **1.6.2.1 Densosteosynthese nach Böhler et al. [82]**

Eine Densosteosynthese ist vor allem bei Typ II Frakturen oder Typ III Frakturen mit ausreichendem kaudalem Fragment in Erwägung zu ziehen. Dabei kann die Rotationsfähigkeit des Kopfes oft erhalten bleiben. Die Morbidität dieses Verfahrens ist gering. Die Nachbehandlung kann mit einer weichen Halskrawatte (z.B. Schanz-Orthese) durchgeführt werden, was somit eine schnellere Mobilisierung und einen kürzeren Krankenhausaufenthalt ermöglicht. [49]

Kontraindikationen für eine Schraubenosteosynthese sind [72]:

- Frakturverlauf in der Frontalebene
- Osteoporotischer Knochen
- Ausgedehnte Trümmerzone
- Pathologische Fraktur
- Thorakale Kyphose, die es nicht ermöglicht die Schrauben im richtigen Winkel einzubringen

Der Patient wird in Rückenlage und leichter Reklination gelagert, wobei der Kopf in einem Haloring/Kopfschale stabil fixiert werden sollte. Es werden auch hier zwei Bildwandler benötigt, wobei der eine in anterior-posterior Stellung und der andere in eine seitliche Stellung zu bringen ist. Beim ventralen Zugang gilt zu beachten, dass aufgrund des Verlaufs des Nervus laryngeus recurrens der Zugang an der oberen Halswirbelsäule von links erfolgen sollte [88]. Zusätzlich kann der endotracheale Cuff-Druck von Seiten der Anästhesie gesenkt werden, um das Risiko einer Nervenschädigung weiter zu minimieren [88]. Der Kopf wird

leicht zur kontralateralen Seite gedreht und der Mund des Patienten geöffnet, um eine Überlagerung der Strukturen des Dens durch die Zahnreihen zu verhindern. Dies erreicht man, indem man z.B. eine Mullbinde in den Mundraum einlegt. Bei Dislokationen, Angulationen etc. folgt nun unter Röntgenkontrolle die Reposition, wobei diese bei Extensionsfrakturen durch eine Flexion und bei Flexionsfrakturen durch eine Extension erreicht werden kann. Auf eine exakte Reposition muss unbedingt geachtet werden, um das Risiko einer Pseudarthrose minimieren zu können [49]. Der Hautschnitt wird quer entlang den Hautspaltlinien auf Höhe C5/C6 von der Medianlinie bis zum vorderen Rand des M. sternocleidomastoideus angelegt. Zwischen Trachea, Ösophagus auf der medialen Seite und M. sternocleidomastoideus und dem Gefäß-/ Nervenbündel auf der lateralen Seite wird vorsichtig bis zum vorderen Längsband freipräpariert. Sodann erfolgt die weitere Präparation auf dem Längsband nach kranial hin zu C2. Anschließend wird mit einem Kirschner-Draht so vorgebohrt, dass der Eintrittspunkt in den Dens axis an der vorderen, unteren Kante des Axis liegt. Sollte dieser Eintrittspunkt zu weit ventral liegen, begünstigt dies ein Ausbrechen der Schrauben nach ventral, was als typische Komplikation dieser Osteosynthese gilt [89] und Irritationen des Ösophagus verursachen kann. Es können sowohl Kortikaliszugschrauben wie auch Spongiosazugschrauben gewählt werden. Da diese auch in kanülierter Form vorliegen, ist es somit möglich diese über den eingebrachten Kirschner-Draht einzuschrauben. Sofern es die Größe des Dens axis zulässt, sollte er zur Rotationsstabilität über zwei Schrauben gesichert werden - Sofern aber bereits eine Schraube eine ausreichende Stabilität mit sich bringt, kann auf eine zweite Schraube verzichtet werden. [49, 72]

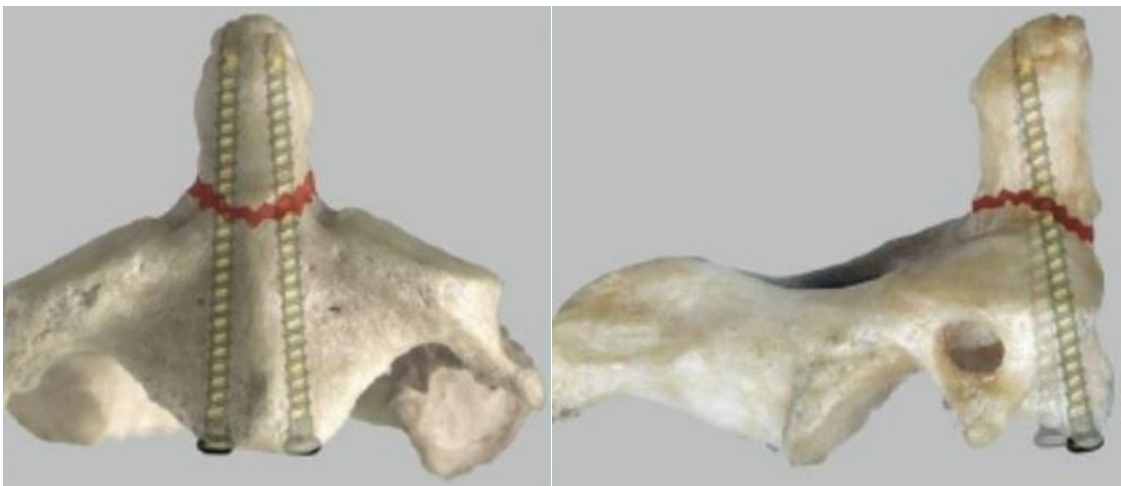
Speziell bei geringer Knochenqualität ist eher eine Spongiosaschraube zu wählen, welche die Kortikalis der Densspitze leicht perforieren soll. Des Weiteren sind Spezialschrauben, z.B. mit doppeltem Gewinde, erhältlich, die somit Kompression auf den Frakturspalt bringen. Im Rahmen dieser Studie wurde die DensAccess Schraube der Firma Synthes verwendet.



**Abbildung 12: DensAccess Schraube der Firma Synthes, aus [90].**

Es ist das Ziel den Frakturspalt komplett zu schließen, um die Chancen einer Ausheilung ohne Pseudarthrose zu steigern. Die Kompression ist vor allem bei älteren Patienten mit tendenziell osteoporotischem Knochen kritisch zu sehen, da durch zu große Kompression ein Versinken des Schraubenkopfes an der Unterkante des Axis provoziert werden kann [89].

Am Ende der Operation ist unbedingt eine Röntgenkontrolle notwendig, die v.a. den Sitz der Schrauben kontrolliert. Dabei ist darauf zu achten, dass die Schrauben an der Unterkante des Axis ausreichend versenkt sind, um Komplikationen im Bereich zwischen C2/C3 zu verhindern und dass die Schraube im kranialen Bereich ebenfalls nicht übersteht, um somit eine neurologische Schädigung zu verhindern. Die Nachbehandlung erfolgt in einer Philadelphia-Halskrawatte für 6-8 Wochen. [49, 72, 89]



**Abbildung 13: Schraubenosteosynthese nach Böhler bei Typ II Fraktur nach Anderson und D'Alonzo, aus Kandziora, 2010 [89].**

### 1.6.2.2 Dorsale atlantoaxiale Fusion nach Gallie [83] und Brooks [84]

Das Grundprinzip dieser atlantoaxialen Fusion besteht aus einer dorsalen Drahtcerclage mit Knochenspan zwischen C1 und C2. Hierfür muss ein stabiler Knochen vorliegen, wie auch ein intakter Atlasbogen. Bei der Fusion nach Gallie [83] handelt es sich um ein preisgünstiges und technisch relativ einfaches Verfahren, da keine speziellen Implantate benötigt werden [49]. Dazu wird ein H-förmiger Knochenspan auf den Dornfortsatz von C1 und gelegt und mittels Drahtcerclage zwischen C1 und C2 verbunden. Allerdings ist eine äußerst vorsichtige Nachbehandlung von Nöten, da es sich um eine relativ instabile Methode handelt [49, 91].

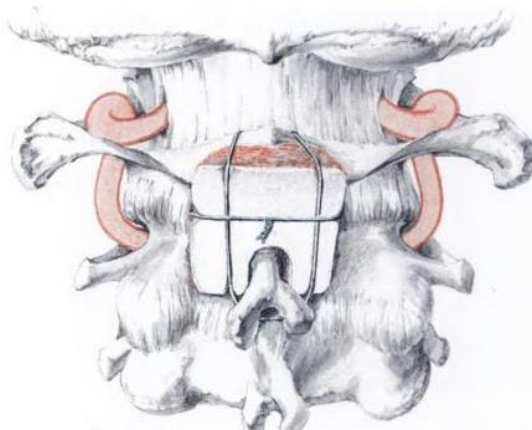


Abbildung 14: Atlantoaxiale Fusion nach Gallie, aus Tscherne, 1998 [49], S. 129.

Größere Stabilität ist durch die Methode nach Brooks [84] zu erreichen. Hierbei werden keilförmige Knochenspäne zwischen den Arcus posteriores eingelegt. Dazu werden zunächst über den dorsalen Zugang zwischen Protuberantia occipitalis externa bis C3 die Wirbelbögen von HWK 1 und 2 dargestellt. Danach werden die aus dem hinteren Beckenkamm entnommenen, am hinteren Ende mind. 1 cm hohen Knochenspäne zwischen die angefrischten Wirbelbögen eingebracht und mittels zweier Metalldrähte, welche die beiden Wirbelbögen C1 und C2 jeweils lateral des Proc. spinosus ringförmig umschließen, in ihrer Position gehalten. Dabei sollte besonders darauf Acht gegeben werden, dass beim Durchziehen der Drahtcerclagen empfindliche Strukturen wie die Dura mater oder die Membrana atlantooccipitalis nicht verletzt werden. Zur



Nachbehandlung sollte ein Halofixateur angelegt werden, um eine sekundäre Dislokation zu vermeiden. [49]

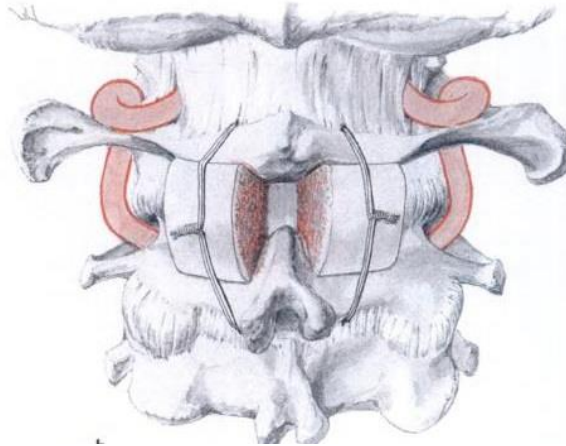
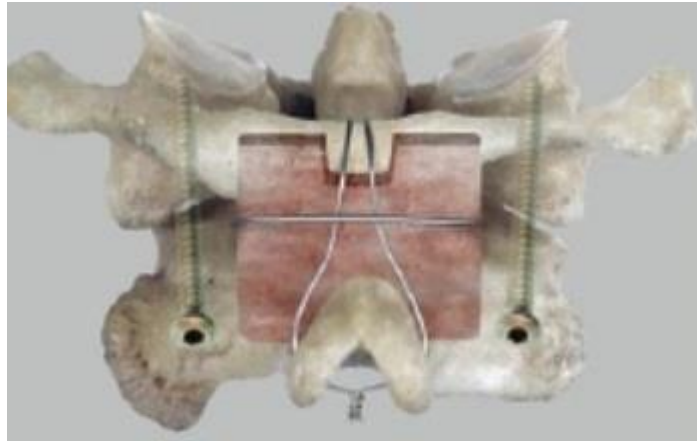


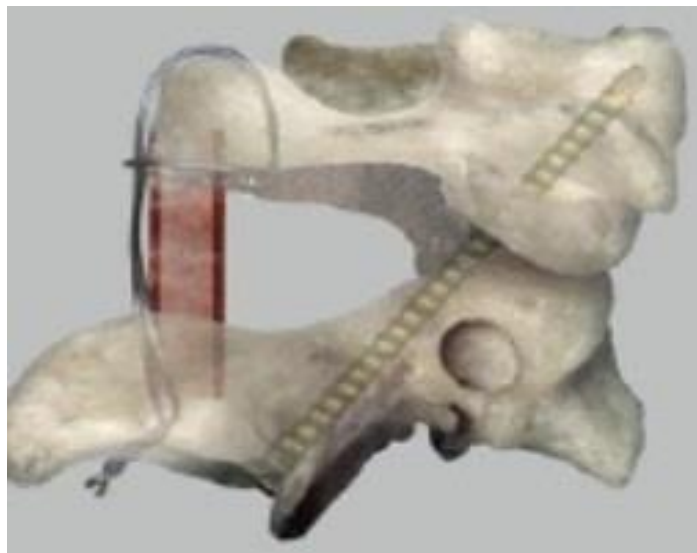
Abbildung 15: Atlantoaxiale Fusion nach Brooks, aus Tscherne, 1998 [49] S. 129.

### **1.6.2.3 Atlantoaxiale Fusion mit transartikulärer Verschraubung nach Magerl [85] und McGuire und Harkey [86]**

Diese Methode ist eine Modifikation der Spondylodese nach Gallie (s.o.), indem zusätzlich zur Fusion eine transartikuläre Verschraubung zwischen C1 und C2 durchgeführt wird. Die Vorteile bestehen in einem Stabilitätsgewinn und somit einhergehend mit einer kürzeren Nachbehandlungszeit von ca. sechs Wochen in einer Philadelphia Halskrawatte. Durch diesen Stabilitätsgewinn ist die Methode nach Magerl der von Gallie deutlich überlegen [83-85]. Indikation für diese Methode besteht vor allem bei ausgeprägter atlantoaxialer Instabilität (z.B. zusätzliche Atlasfraktur oder vorbestehende rheumatoide Arthritis) [92] oder bei einem Frakturverlauf, welcher ein Einbringen der Schrauben von dorsal notwendig macht. [49]



**Abbildung 16: Dorsale Spondylodese nach Magerl mit Drahtcerclage nach Gallie, Ansicht von dorsal, aus Kandziora, 2010 [89].**



**Abbildung 17: Dorsale Spondylodese nach Magerl mit Drahtcerclage nach Gallie in seitlicher Darstellung, aus Kandziora, 2010 [89].**

Hierzu wird nach Darstellung der hinteren Wirbelbögen eine Drahtcerclage, wie in Abbildung 16 und Abbildung 17 gezeigt, am hinteren Atlasbogen angebracht. Anschließend erfolgt das Einbringen zweier Schrauben (als Stellschraube) jeweils lateral des Proc. spinosus von C2. Dabei werden unter strenger Kontrolle zweier Röntgengeräte (in anterior-posterior Stellung und seitlicher Stellung) die Schrauben so eingebracht, dass sie im lateralen Gelenk von C1 möglichst kranial zu liegen kommen. Im Anschluss erfolgt die dorsale Fusion nach Gallie. Durch die Nähe der Schrauben zur A. vertebralis birgt dieses Verfahren neben dem

Vorteil des Stabilitätsgewinns allerdings auch das Risiko, eben diese zu verletzen und es ist somit in manchen Fällen eine präoperative Gefäßdarstellung notwendig. [49, 92]

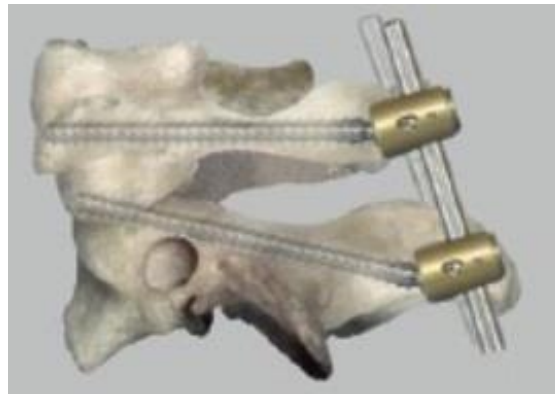
Eine minimal-invasive Modifikation des Vorgehens nach Magerl entwickelten McGuire und Harkey [86] 1995. Dabei sind die Schnitte über C1 und C2 sehr klein, des Weiteren werden zwei Schnitte lateral der Procc. spinosi über Th1 und Th2 gemacht, um von dort die Schrauben einführen zu können. Zunächst wird ein Kirschner-Draht bis zur Lamina C2 vorgeschoben, dann Führungshülsen über den Draht geschoben und dieser schließlich wieder entfernt. Danach ist ein Vorbohren in beliebigem Winkel in der Sagittalebene möglich. Nach Einbringen der Kortikalisschraube erfolgt die Fusion nach Gallie. Die Vorteile sind ein kürzerer Zugang im Bereich von C2, wodurch die Nackenmuskulatur geschont werden kann. Auch der Blutverlust ist geringer und die Operationszeit kürzer. [49]

#### **1.6.2.4 Atlantoaxiale Fusion nach Harms [87]**

Um das Risiko einer A. vertebralis Verletzung etwas minimieren zu können, entwickelte Harms 2001 eine Methode, bei der die Spondylodese mit Polyaxialschrauben und Stäben durchgeführt wird. Auch hierbei erfolgt der Hautschnitt vom Okziput bis C3, um das C1/ C2 Gelenk darstellen zu können. Anschließend wird das Ganglion des Ramus dorsalis nach inferior gehalten, um nicht die Eintrittsstellen der Schrauben zu verdecken. Dann erfolgt das Eindrehen der beiden bikortikalen Atlasschrauben in den posterior-inferioren Teil der Massa lateralis des Atlas in der gleichen Ebene in der sich die Wirbelbögen befinden. Im Anschluss werden die beiden Axisschrauben eingebracht, indem man als Eintrittspunkt die Verlängerung der Pedikelachse wählt. Diese sollten in etwa 20-30° konvergieren und 20-30° aszendieren. Schließlich werden die Polyaxialschrauben von C1 und C2 in Längsrichtung verbunden und winkelstabil gesichert. Sollte keine Metallentfernung angedacht sein, erfolgt nun das Einbringen eines Beckenkammspanns zur definitiven Spondylodese. Allerdings erlaubt dieses Verfahren in Ausnahmefällen auch die Implantatentfernung, sodass bei dieser Methode kein Knochenspan benötigt wird um eventuell wieder eine hohe Beweglichkeit im Atlantoaxialgelenk zu erlangen. [89, 92]



**Abbildung 18: Verschraubung nach Harms, hier ohne Knochenspanimplantat, Ansicht von dorsal, aus Kandziora, 2010 [89].**

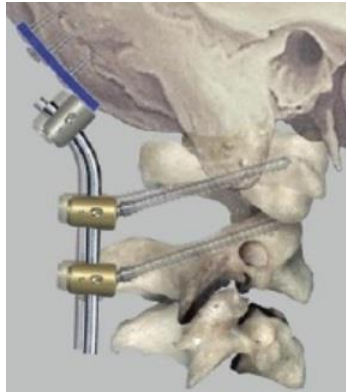


**Abbildung 19: Verschraubung nach Harms, hier ohne Knochenspanimplantat in seitlicher Darstellung, aus Kandziora, 2010 [89].**

### **1.6.2.5 Okzipitoatlantoaxiale Spondylodese**

Dieses Verfahren kommt dann zum Einsatz, wenn der Frakturverlauf genannte Verfahren nicht zulässt, aber auch bei okzipitoatlanter Instabilität sowie bei okzipitozervikaler Dislokation [89]. Dabei kommen verschiedene Verfahren zum Einsatz, z.B. kann die Fixation mittels Y-Platte oder Schrauben-Stab System in Magerl- oder Harmstechnik erfolgen. Die Fusionsstrecke sollte dabei so kurz wie möglich sein, bei jungen Patienten nicht weiter als bis zu C2. Diese Verfahren können auch bei verletztem Atlasbogen angewendet werden, und im Gegensatz zu den Techniken nach Harms/ Gallie müssen keine sublaminären Cerclagen eingebracht werden. Der Vorteil besteht in einer rigiden Spondylodese, die

gegebenenfalls noch durch eine Spondylodese mittels Knochenspan ergänzt werden kann. Die Nachbehandlung kann in einer harten Zervikalstütze erfolgen.



**Abbildung 20: Okzipitocervikale Fusion von C0 bis C2 in Harms-Technik, aus Kandziora, 2010 [89].**

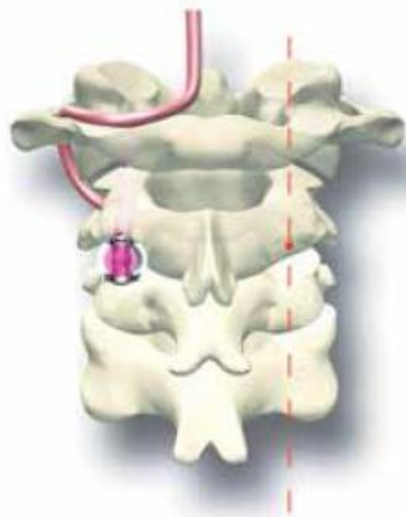
#### **1.6.2.6 Wirbelsäulensystem neon<sup>3</sup>™ der Firma ulrich medical® zur dorsalen Stabilisierung mittels transartikulärer Schrauben und Atlasklammer**

Ein heutzutage oft eingebrachtes System ist das Wirbelsäulensystem neon<sup>3</sup>™ der Firma ulrich medical®. Hierbei erfolgt eine transartikuläre, atlantoaxiale Verschraubung nach Magerl mit zusätzlicher Stabilisation durch eine neon<sup>3</sup>™ Atlasklammer. Um den Verlauf der Arteria vertebralis darstellen zu können, sollte präoperativ unbedingt ein CT mit multiplanarer Rekonstruktion durchgeführt werden, damit eine sichere transartikuläre Schraubenposition gewährleistet ist [93].



**Abbildung 21: Seitliche Darstellung des Verlaufs der Arteria vertebralis und einer transartikulären Schraube C1/ C2, aus [94].**

Die optimale Schraubenposition befindet sich auf einer sagittalen Linie durch die kranialen und kaudalen Gelenkfacetten, ca. 2 mm oberhalb der unteren Kante von C2. Im lateralen Gelenk von C1 sollte die Schraube möglichst kranial liegen, damit eine ausreichende Schraubenlänge gewährleistet ist [93].



**Abbildung 22: Sagittale Linie durch die kaudalen und kranialen Gelenkfacetten. Auf dieser Linie sollte die Schraube in Bezug auf die sagittale positioniert werden, aus [95].**

Über einen perkutanen Zugang erfolgt zunächst ein transartikuläres Vorbohren mittels Bohrdraht mit Hilfe eines Throkars. Unter ständiger lateraler Bildwandlerkontrolle wird nun über den Bohrdraht eine kanülierte Schraube

eingbracht und das Manöver auf der zweiten Seite wiederholt. Um eine hohe Stabilität zu erreichen wird nun zusätzlich eine Atlasklammer eingebracht. Hierzu wird diese am Wirbelbogen des Atlas eingehängt und an der transartikulären Schraube befestigt. Um einer Verletzung der Arteria vertebralis vorzubeugen, sollte das Einhängen der Atlasklammer nicht weiter als 16 mm lateral der Mittellinie erfolgen. Abschließend wird kaudal der Befestigung der Atlasklammer am Wirbelbogen des Atlas ein Gegenhaken eingebracht und fixiert, sodass mit Hilfe einer Distraktionszange der Atlas in die korrekte Position gebracht werden kann [93].



**Abbildung 23: Einbringen der Atlasklammer und anschließende Positionierung des Atlas mit Hilfe einer Distraktionszange im Wirbelsäulensystem neon<sup>3</sup>™ der Firma ulrich medical®, aus [95].**

## 1.7 Nachbehandlung

Die Nachbehandlung nach einer Operation erfolgt immer in einer Zervikalstütze/ Halofixateur zur Immobilisierung der Halswirbelsäule. Dies soll für eine ausreichende Konsolidierung sorgen. Die Art und Weise der Zervikalstütze, wie auch die Entscheidung ob zur rigideren Immobilisierung ein Halofixateur eingesetzt werden muss, ist dabei von der Art und Weise der Operation wie auch vom postoperativen Befund abhängig. Durch wöchentliche Röntgenkontrollen im seitlichen Strahlengang ist eine sekundäre Dislokation erkennbar und kann somit abgewendet werden. Um das Risiko einer sekundären Dislokation zu minimieren, sollten die Patienten Kopfnicken vermeiden, die Rotation der Wirbelsäule einschränken und das Tragen schwerer Gegenstände unterlassen. Ein mögliches Nachbehandlungskonzept wurde von Kaps et al. [96] an der BG Unfallklinik Tübingen entworfen und regelt die Nachbehandlung einer operativ versorgten Densfraktur wie folgt:

<b>Nachbehandlung von Wirbelfrakturen der Hals- und oberen Brustwirbelsäule</b>	
<b>Zeitpunkt</b>	<b>Behandlung</b>
1. postoperative Woche	Bewegungsübergang Rückenlage – Seitenlage Bewegungsübergang Seitenlage – Sitz Mobilisation mit Krawatte, keine Bauchlage (Rotation!)
2. postoperative Woche	Wirbelsäulengruppe „Bücktraining“ Duschen ohne Krawatte nach Fädenextraktion Heben und Tragen bis 5 kg Eigentraining am Pullingtrainer, symmetrisch bis 2,5 kg beidseits Entlassung Ambulante Physiotherapie zur Kräftigung der Halsmuskulatur und zur Kontrolle 1- bis 2-mal pro Woche
7. postoperative Woche	Röntgenkontrolle Abtrainieren der Krawatte Verstärkt Physiotherapie Evtl. MAT für Schultergürtel und Rumpf Fakultativ EAP
12. postoperative Woche	Schwimmen, Radfahren, Joggen, Kontaktsportarten (Kunstturnen, Hochsprung, usw.) erst bei sicherer knöcherner Konsolidierung

*MAT* medizinisches Aufbautraining, *EAP* erweiterte ambulante Physiotherapie

Abbildung 24: Nachbehandlungskonzept einer operativ versorgten Densfraktur an der BG Unfallklinik Tübingen, aus Kaps et al., 2000 [96].



Hierbei wird schon früh versucht (2. Woche) durch eine physiotherapeutische Behandlung ein Auftrainieren der Halsmuskulatur zu erreichen, um somit einem Zurückbilden dieser Muskulatur unter der Anlage der Zervikalstütze entgegenzuwirken. Ist die Fraktur gut konsolidiert, kann unter physiotherapeutischer Anleitung mit dem Abtrainieren der Krawatte begonnen werden.

## 1.8 Komplikationen

Komplikationen sind in jeder medizinischen Behandlung immer mit zu berücksichtigen und der Patient ist darüber ausreichend aufzuklären. Neben den allgemeinen Operationsrisiken wie z.B.:

- Blutungen
- Infektionen
- Komplikationen im Herz- Lungenbereich wie Embolien, Infarkte etc.
- Implantatversagen
- Frakturheilungsstörungen
- Nervenläsionen

sind auch spezielle Risiken bei Operationen der oberen Halswirbelsäule zu erwähnen:

- Verletzungen der A. vertebralis
- Pseudarthrosenbildung
- Verletzungen des ZNS durch Manipulationen oder sekundäre Dislokationen
- Meningitis
- Liquorfisteln
- Verletzungen peripherer Nerven (z.B. N. occipitalis major, N. laryngeus recurrens)
- Verletzungen des Ösophagus
- Ösophagotracheale Fisteln
- Schluckstörungen

Speziell die Bildung einer Pseudarthrose ist eine häufige und wichtige Komplikation in der Behandlung einer Densfraktur. Gegenstand wissenschaftlicher Diskussionen ist vor allem die Frage, wie dieses Risiko minimiert werden kann und ob dazu eine ventrale Schraubenosteosynthese oder eine externe Fixation zielführender ist. Ältere Patienten über 65 Jahre neigen im Besonderen zur Pseudarthrosenbildung [8, 15, 20]. Ebenso bilden Typ II Frakturen nach Anderson und D'Alonzo [13] häufig eine Pseudarthrose [54]. Unzureichende Immobilisierung und ein persistierender Frakturspalt sind prädisponierende Faktoren für die Entstehung einer solchen Komplikation [97]. Dabei spielt auch das Ausmaß der Dislokation eine Rolle: Ab 5 mm (Clarke et al. [54]), 6 mm (Greene et al. [98]), 7 mm (Schatzker et al. [99]) Dislokation besteht ein erhöhtes Risiko einer Pseudarthrose. Auch die Angulation ist mit zu berücksichtigen, so wird ab einer Verkippung von 10 Grad [54] die Wahrscheinlichkeit einer unzureichenden knöchernen Konsolidierung erhöht. Im Ausnahmefall kann eine Pseudarthrose durch Dislokation zu sehr ernsthaften neurologischen Komplikationen führen und somit schnell lebensbedrohlich werden. Dabei sind kongenitale von posttraumatischen Pseudarthrosen zu unterscheiden.

Definiert wird eine Pseudarthrose dadurch, dass auch noch nach 6-9 Monaten eine Knochenheilungsstörung vorliegt und somit eine knöcherne Konsolidierung des Frakturspalts ausbleibt [97]. Blauth et al. [97] schlagen eine Einteilung der posttraumatischen Denspseudarthrosen in folgende 4 Typen vor:

Typ 1: Straffe Pseudarthrose in nahezu anatomischer Stellung mit fehlenden Instabilitätszeichen.

Typ 2: Dislozierte Pseudarthrose, schwierig zu reponieren.

Typ 3: Instabile Pseudarthrose

Typ 4: Posttraumatisches Os odontoideum

Dabei kommen die Pseudarthrosen des Dens axis in unterschiedlicher Häufigkeit vor, je nachdem ob eine konservative Behandlung oder eine operative Vorgehensweise gewählt wurde. Das Risiko bei operativer Behandlung mittels Densschraubenosteosynthese eine Pseudarthrose zu entwickeln, erstreckt sich von 0% in Untersuchungen von Geisler et al. [100], Jeanneret et al. [101],

Hrabalek et al. [102] und Chang et al. [103] über 12-15% bei Aebi et al. [104], Tscherne [49], Montesano et al. [105], Gaudernak und Schultz [106] bis 20% bei Fujii et al. [107]. Dabei findet man in den Untersuchungen, in denen keine Pseudarthrose auftrat, Kollektive zwischen 9-13 Patienten, wohingegen 14-90 Patienten die Kollektive der Studien mit einem Pseudarthrose-Auftreten zwischen 12-15% bilden.

Das Auftreten einer Pseudarthrose bei konservativer Behandlung einer Typ II Fraktur wird wie folgt beziffert: 8,5% bei Schweigel [16] und bis zu 47,5% bei Dunn et al. [15]. Des Weiteren: 28% bei Hadley et al. (N=59) [17], 12% bei Govender und Grootboom (N=42) [18], 43% bei De Morgues et al. (N=35) [19]. Damit ist eine erhöhte Pseudarthroserate bei konservativer Therapie anzunehmen. Demgegenüber sollte aber v.a. bei älteren Patienten das allgemeine und auch spezielle Operationsrisiko bei operativen Interventionen der oberen Halswirbelsäule gestellt werden. Somit muss die Indikationsstellung der Therapie bei einer Typ II Fraktur präzisiert werden und soll Teil vorliegender Arbeit sein.

# 2 Material und Methoden

## 2.1 Studienkollektiv

Für den Zeitraum von 2001 – 2013 wurden aus dem Krankenhausinformationssystem, der seit 1995 fortlaufend geführten Datenbank für Wirbelsäulenoperationen, sowie der separaten Datenbank für Halofixateure alle Patienten ausgewählt, bei denen eine Fraktur des Dens axis vorlag.

Das ermittelte Kollektiv wurde hinsichtlich der Ein- und Ausschlusskriterien überprüft (siehe 2.1.1).

Für die verbliebenen Patienten wurden die Adressdaten aus der Akte herausgesucht. Die Patienten wurden angeschrieben und zur Nachuntersuchung eingeladen.

Bei den Patienten, die auf die schriftliche Einladung nicht reagierten, wurden die Telefonnummern ermittelt. Danach wurden die Patienten angerufen und telefonisch eingeladen.

Bei den Patienten, deren Einladung mit dem Vermerk „unbekannt verzogen“ zurückgesandt wurde, wurde versucht über das Einwohnermeldeamt die aktuelle Adresse zu ermitteln.

Für die Patienten, die nach diesem Verfahren in die Nachuntersuchung einwilligten, wurde in Absprache mit den betreuenden Ärzten der Studie ein Termin zur Nachuntersuchung vereinbart. Einzelne Patienten waren bereit, Fragebögen auszufüllen, jedoch nicht zur Untersuchung zu erscheinen. Diesen wurde der SF-36 Fragebogen zugeschickt.

### 2.1.1 Ein- und Ausschlusskriterien

Die Einschlusskriterien wurden wie folgt festgelegt:

- Fraktur des Dens Axis im Sinne einer Typ II / III Fraktur in der Einteilung nach Anderson und D'Alonzo.
- Das Behandlungsende sollte, gerechnet ab März 2015, mindestens 1,5 Jahre zurückliegen, um eine Ausheilung des Frakturspaltes zu gewährleisten.

- Die Versorgung der HWK 2 Fraktur sollte in der BG Tübingen entweder auf konservative Weise mittels Halofixateurs oder einer Philadelphia Halskrawatte oder auf operative Weise durch eine ventrale interfragmentäre Kompressionsschraubenosteosynthese, C1/2 Verschraubung nach Harms (2001), oder Atlashaken erfolgt sein.

Ausschlusskriterien:

- Jahrgang 1926 (ausschließlich) und älter
- Weitere Halswirbelkörperfrakturen
- Maligne Erkrankungen
- Rheumatische Arthritis mit Auswirkungen auf die Halswirbelsäule
- Schädel- Hirn- Trauma II° und III°
- Demenz

## **2.2 Nachuntersuchung**

Bei der Nachuntersuchung wurde den Teilnehmern die Studie gemäß dem Ethikprotokoll vorgestellt und um deren Einwilligung gebeten. Im Anschluss erfolgten die Anamnese und die Erhebung der subjektiven Beschwerden mit Hilfe eines selbstentwickelten, allgemeinen Fragebogens (s. Anhang 9.1). Gezielt wurde eine berufsspezifische wie auch schmerzspezifische Anamnese erhoben. Auch wurden Beschwerden und Beeinträchtigungen im Alltag mittels des SF-36 Fragebogen abgefragt. Schließlich erfolgte die körperliche Untersuchung der Halswirbelsäule mit Hilfe des von der Deutschen gesetzlichen Unfallversicherung vorgeschlagenen Messblatt Wirbelsäule [108] (s. Kapitel 9).

Der in der Nachuntersuchung erhobene klinische Befund wurde mit dem Studienarzt besprochen. Dieser stellte aufgrund eigener klinischer Befundung ggf. die rechtfertigende Indikation zur radiologischen Untersuchung.

Die erhobenen Daten wurden mit den Statistikprogrammen JMP und SPSS ausgewertet.

### **2.2.1 Anamnese und subjektive Beschwerden**

#### **2.2.1.1 Allgemeiner Fragebogen**

Mit Hilfe eines allgemeinen Patientenfragebogens (s. Anlage 9.1) wurde die Anamnese strukturiert erhoben. Zunächst ist von den Teilnehmern der genaue Unfallhergang erfragt worden, um den Unfallmechanismus einschätzen zu können. Hierbei wurden die unterschiedlichen Unfallmechanismen wie folgt in neun Untergruppen unterteilt, um später eventuell Rückschlüsse zwischen Mechanismus und der gewählten Behandlungsform ziehen zu können:

Unfallmechanismus	Gruppe
Autounfall	1
Motorradunfall	2
Fahrradunfall	3
Sturz beim Gehen	3
Treppensturz	6
Sturz aus großer Höhe	7
Schlag auf Kopf	8
Sportunfall	9

**Tabelle 7: Einteilung der verschiedenen Unfallmechanismen**

Die Daten zur Erstversorgung, zur Art und Weise der Behandlung und zur Weiterbehandlung wurden ebenso wie die Daten über die Nachbehandlung und Rehabilitationsmaßnahmen aus der Patientenakte extrahiert. Bei Unklarheiten oder fehlenden Daten wurden die Patienten hiernach befragt.

Die Anamnese umfasste ebenfalls Fragen zu Begleiterkrankungen, die die Halswirbelsäule betrafen.

Auch relevante Vorerkrankungen wie z.B. muskuläre Erkrankungen des Schultergürtels mussten ausgeschlossen werden. Die aktuelle Medikation, v.a. die Schmerzmedikation, wurde aufgenommen.

### **2.2.1.2 Berufsspezifische Anamnese**

Von Relevanz war auch die Arbeitsfähigkeit und berufliche Situation des Patienten zum Zeitpunkt vor und nach dem Unfall. Diese wurde mit einem selbstentwickelten berufsspezifischen Fragebogen abgefragt (s. Anlage 9.1). Hierbei wird der Beruf vor und nach der Verletzung, die körperliche Beanspruchung am Arbeitsplatz, die Dauer der Arbeitsunfähigkeit und eine eventuelle Umschulung abgefragt.

### **2.2.1.3 Schmerzanamnese**

Um den subjektiven Schmerzzustand der Patienten in eine quantifizierbare Form zu übertragen, wurde als Messinstrument die Visuelle Analogskala (VAS) (s. Anlage 9.3) herangezogen. Hierbei gibt der Patient auf einer visuellen Skala den für ihn aktuellen Schmerzzustand an, wobei der Wert „0“ gleich keinem Schmerz entspricht und „100“ dem größtmöglichen Schmerz, welchen sich der Patient vorstellen kann. Das Ergebnis kann aus einer Skala abgelesen werden und entspricht somit einem objektivierbaren Befund des Schmerzzustands. Die Patienten sollten sich bei der Schmerzangabe nur auf die Schmerzen im Bereich der oberen Halswirbelsäule, welche sie im Ruhezustand empfinden, beschränken. Auch wurden Schmerzqualität, Schmerzdauer (intervallartig, chronisch) und Schmerzumstände (Ruheschmerz, Belastungsschmerz) vermerkt.

### **2.2.2 SF-36**

Da sich wirbelsäulenspezifische Fragebögen wie der „Neck disability Index“ oder der „Cervical Spine Outcomes Questionnaire“ sich hinsichtlich der Validität und somit auch der Reliabilität von krankheitsübergreifenden Fragebögen wie dem SF-36 nicht unterscheiden [109], wurde hier der SF-36 Fragebogen vorgezogen. Es wurde der SF-36 Selbstbeurteilungsbogen in der aktuellen, 2. Auflage (Hogrefe Verlag) gewählt (s. Anlage 9.4).

Der SF-36 ist ein Messinstrument mit ausreichend hoher Reliabilität (Cronbachs Alpha liegt mehrheitlich über dem  $\alpha = 0.70$  Kriterium) [110] und Validität (der Skalenfit beträgt bei allen Skalen zwischen 70% und 100%) [110] zur Erfassung des gesundheitsspezifischen Wohlbefindens bei einer Patientengruppe ab 14 Jahren [111]. Bei einer kurzen Bearbeitungsdauer von ca. 10 Min. [111], umfasst dieser Test 36 Fragen (Items) und bietet als Antwortformat sowohl binäre Skalen wie auch verschiedenstufige Likert-Skalen [112]. Die Standardversion bezieht sich auf das Wohlergehen der letzten vier Wochen.

Die gesundheitsbezogene, subjektive Lebensqualität wird so aufgrund des körperlichen wie auch des psychischen Empfindens erfasst. Diese zwei



Grunddimensionen [113] werden durch jeweils vier Dimensionen beschrieben, welche aus einer unterschiedlichen Anzahl an Items bestehen. Der körperliche Bereich wird durch die Dimensionen körperliche Funktionsfähigkeit (KÖFU), körperliche Rollenfunktion (KÖRO), körperliche Schmerzen (SCHM) und allgemeine Gesundheitswahrnehmung (AGES) definiert. Die psychische Grunddimension unterteilt sich in Vitalität (VITA), soziale Funktionsfähigkeit (SOFU), emotionale Rollenfunktion (EMRO) und psychisches Wohlbefinden (PSYC).

Hinzu kommt eine Frage zur Veränderung des Gesundheitszustands [114].

Diese acht Dimensionen werden wie folgt beschrieben:

<p><b>1. Körperliche Funktionsfähigkeit:</b> Das Ausmaß, in dem der aktuelle Gesundheitszustand körperliche Aktivitäten wie Selbstversorgung, Gehen, Treppensteigen, Bücken, Heben und mittelschwere oder anstrengende Fähigkeiten beeinträchtigt.</p>
<p><b>2. Körperliche Rollenfunktion:</b> Das Ausmaß, in dem der körperliche Gesundheitszustand, die Arbeit oder andere tägliche Aktivitäten beeinträchtigt sind; z.B. durch „weniger schaffen als gewöhnlich“, durch Einschränkungen in der Art der Aktivitäten oder anhand von Schwierigkeiten, bestimmte Aktivitäten auszuführen.</p>
<p><b>3. Körperliche Schmerzen:</b> Das Ausmaß an Schmerzen allgemein und der Einfluss von Schmerzen auf die normale Arbeit, sowohl innerhalb als auch außerhalb des Hauses.</p>
<p><b>4. Allgemeine Gesundheitswahrnehmung:</b> Die persönliche subjektive Beurteilung der eigenen Gesundheit einschließlich des aktuellen Gesundheitszustands.</p>
<p><b>5. Vitalität:</b> Eine subjektive Beurteilung der eigenen Vitalität, sich z.B. „energiegeladener“ im Gegensatz zu „müde und erschöpft fühlen“.</p>
<p><b>6. Soziale Funktionsfähigkeit:</b> Das Ausmaß, in dem der Zustand der körperlichen Gesundheit oder emotionale Probleme gewöhnliche soziale Aktivitäten beeinträchtigen.</p>
<p><b>7. Emotionale Rollenfunktion:</b> Das Ausmaß, in dem emotionale Probleme die Arbeit oder andere alltägliche Aktivitäten beeinträchtigen; z.B. dadurch, weniger Zeit aufzubringen, weniger zu schaffen und allgemein nicht so sorgfältig zu arbeiten wie üblich.</p>
<p><b>8. Psychisches Wohlbefinden:</b> Die allgemeine psychische Gesundheit einschließlich Depression, Angst, emotionale und verhaltensbezogene Kontrolle, d.h. allgemeine positive Gemütsstimmung</p>

**Abbildung 25: Bedeutung der einzelnen Dimensionen des SF-36 Fragebogens, aus Bullinger und Kirchberger, 1998 [111]**

Dimension	Beschreibung	Abkürzung	Itemanzahl
1	Körperliche Funktionsfähigkeit	KÖFU	10
2	Körperliche Rollenfunktion	KÖRU	4
3	Körperliche Schmerzen	SCHM	2
4	Allgemeine Gesundheitswahrnehmung	AGES	5
5	Vitalität	VITA	4
6	Soziale Funktionsfähigkeit	SOFU	2
7	Emotionale Rollenfunktion	EMRO	3
8	Psychisches Wohlbefinden	PSYC	5
Zusatz	Veränderung der Gesundheit		1

**Tabelle 8: Beschreibung der Dimensionen des SF-36 Fragebogens mit Angabe der Itemanzahl, aus Bullinger und Kirchberger, 1998 [111]**

Schließlich wurden die Antwortbögen in die Eingabedatei der dem Test beiliegenden CD-ROM für die Auswertung mit dem Statistikprogramm SPSS (IBM SPSS Statistics, Version 21.0.0.0) übertragen. Mit der enthaltenen Syntaxdatei werden die im SF- 36 erfassten Dimensionen in einen Wertebereich zwischen 0 und 100 transformiert, wobei 0 dem schlechtesten und 100 dem besten Ergebnis entspräche [111]. Somit sind diese Dimensionen untereinander wie auch mit den Dimensionen anderer Patientengruppen vergleichbar.

Um die Anzahl der Subdimensionen zu verringern, wird die psychische und körperliche Summenskala gebildet [115]. Hierbei korrelieren die Dimensionen KÖFU, KÖRO und SCHM besonders stark mit der körperlichen Summenskala und weniger stark mit der psychischen Summenskala. PSYC, EMRO und SOFU korrelieren hingegen stark mit der psychischen Summenskala. Dabei müssen die Dimensionen zunächst standardisiert, d.h. „z-transformiert“ werden. Es liegt eine deutsche Normstichprobe von 1994 vor (N=2914). Um den z- Wert zu erhalten, wird vom Mittelwert der jeweiligen Skala der Mittelwert der Normstichprobe subtrahiert und anschließend durch die Standardabweichung dividiert [115, 116].

$$z\text{-Wert} = \frac{\text{Mittelwert der jeweiligen Skala} - \text{Mittelwert Normstichprobe}}{\text{Standardabweichung der Normstichprobe}}$$

Nun werden durch die Multiplikation der z-Werte mit den Regressionskoeffizienten aus der deutschen Normstichprobe und anschließendem Aufsummieren die Rohwerte der Summenskalen berechnet [115].

Diese Rohwerte müssen schließlich so transformiert werden, dass der Mittelwert 50 und die Standardabweichung 10 beträgt [115].

$$\text{Summenskala-Wert} = 50 + 10 \times \text{Rohwert}$$

Um standardisierte Skalen zu erhalten, wird mit den Mittelwerten der 0-100 Skalen der einzelnen Dimensionen äquivalent verfahren, um z-transformierte Werte zu erreichen. Somit ist ein Vergleich mit der Normstichprobe möglich. Liegt der Wert über 50, so liegt er über dem Mittelwert der Normstichprobe, unter 50 entsprechend darunter [115].

### **2.2.3 Körperliche Untersuchung**

Bei der körperlichen Untersuchung wurde mit der Inspektion der Halswirbelsäule begonnen. Dabei wurde auf die Hautpigmentierung, etwaigen Schulterhochstand, Torticollis und die Lordosierung der Halswirbelsäule geachtet. Es folgte die Palpation der Muskulatur, um z.B. Muskelatrophien, Muskelverspannungen oder Myogelosen erkennen zu können. Daraufhin wurde die Halswirbelsäule auf Druck- und Klopfschmerz geprüft. Die Muskelkraft der oberen Extremitäten, des Schulterbereichs, der paravertebralen Muskulatur wie auch der nuchalen und ventralen Halsmuskulatur wurde getestet und nach Kraftgraden (nach der Skala des British Medical Research Council [117, 118]) eingeteilt (s. Anlage 9.5). Dies ist eine gebräuchliche Skala zur Einteilung der Muskelkraft mit akzeptabler innerer Konsistenz [119, 120]. Dabei ist bei Kraftgrad 0/5 eine komplette Lähmung vorhanden, wohingegen bei Kraftgrad 5/5 die normale Kraft vorhanden ist. Im Anschluss wurde die Sensibilität im Bereich der Dermatome C2-C7 untersucht. Auch die Prüfung des Radialispulses war Teil der Untersuchung. Zudem wurde der Kinn-Jugulum-Abstand (Abstand zwischen Kinnspitze und Jugulum sterni) und der Kinnspitzen-Schulterhöhen-Abstand

(Abstand zwischen Kinnspitze und lateraler Begrenzung des Acromions) gemessen. Die Ergebnisse wurden in freier Form notiert.

Die funktionelle Untersuchung der Halswirbelsäule wurde anhand des Messblatts Wirbelsäule (Formtextnummer: F 6222, Stand 08/05) der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung durchgeführt (s. Anlage 9.6). Dieses ermöglicht eine strukturierte Erhebung der Befunde nach der Neutral-Null-Methode, wie sie auch im Gutachtenwesen eingesetzt wird [108, 121, 122]. Bei der Neutral-Null-Methode werden die Bewegungsausmaße einzelner Gelenke gemessen. Hierbei geht man von einer „Nullstellung“ aus, in welcher sich die Gelenke befinden, wenn der Patient im Stehen seine Arme und Hände mit nach vorne gekehrtem Daumen hängen lässt [123]. Der Winkel des Bewegungsausmaßes beträgt hier für alle Gelenke definitionsgemäß 0° [121]. Bezüglich der Halswirbelsäule bedeutet dies, dass die Frontalebene des Körpers die Referenzebene für die Inklination und die Reklination und die Sagittalebene des Körpers die Bezugsebene für die Lateralflexion darstellt. Die Rotation wird bei fixiertem Schultergürtel in Bezug zur Sagittalebene des Körpers gemessen [38].

Der Bewegungsumfang eines Gelenks wird nun mit Hilfe eines Winkelmessers gemessen und in Winkelgradzahlen dokumentiert. Es können somit nicht nur Angaben über z.B. Streckung/ Beugung gemacht werden, sondern auch darüber, ob die physiologische Nullstellung des Gelenks erreicht werden kann. Die Bewegungsausmaße wurden aktiv und passiv überprüft. Um die funktionellen Einschränkungen nach einer Densfraktur bemessen zu können, beschränkte man sich bei der körperlichen Untersuchung auf die Halswirbelsäule. Die auf dem Messblatt Wirbelsäule aufgeführten Parameter für die Brust- und Lendenwirbelsäule wurden nicht erhoben.

Das Atlantooccipitalgelenk ermöglicht als Ellipsoidgelenk vor allem Inklinations- und Reklinationsbewegungen, das Atlantoaxialgelenk (Zapfengelenk) hingegen ist v.a. für Rotationsbewegungen zuständig [30, 31]. Der Dens Axis artikuliert als Teil des *Articulatio atlantoaxialis mediana* mit der *Fovea dentis* des *Arcus anterior atlantis*. Somit sind bei der körperlichen Untersuchung v.a. Einschränkungen hinsichtlich der Rotationsbewegungen von besonderem Interesse. Da aber das obere (*Articulatio atlantooccipitalis*) und das untere (*Articulatio atlantoaxialis*)

Kopfgelenk eine funktionelle Einheit bilden [32], und zudem - bedingt durch den Muskel- und Bandapparat und die konvexe Form der Gelenkflächen [32] – kaum auf ein Gelenk beschränkte Bewegungsrichtungen vorhanden sind, muss bei der Prüfung der Beweglichkeit immer auch bedacht werden, dass hierbei eigentlich zwei Gelenke als funktionelle Einheit geprüft werden.

Die auf dem Messblatt aufgeführten Bewegungsausmaße für die Halswirbelsäule wurden mit Hilfe eines Winkelmessers erhoben und im Messblatt dokumentiert. Außerhalb des deutschsprachigen Raumes ist die Angabe des Bewegungsausmaßes als Range of Motion (ROM) gebräuchlicher und auch statistisch zu verwerthen, weshalb im Anschluss die Angaben in der Neutral-Null-Methode als Range of Motion umgeformt wurden. Dabei wird die Angabe nach der Neutral-Null-Methode, die z.B. Seitneigen links / rechts 45/0/45 beträgt, so umgeformt, dass nur noch die zwei Angaben Seitneigen links=45° und Seitneigen rechts=45° verbleiben. Um die ROM zu erhalten müssen diese zwei Werte addiert werden, in diesem Fall also ROM= 90°. Sollte der Patient die physiologische Nullstellung nicht erreichen und somit nach der Neutral-Null-Methode z.B. Werte wie Seitneigen links / rechts 45/10/0 aufweisen, dann müsste die Angabe Seitneigen rechts negativiert werden, also -10. Durch Addition der Werte würde nun eine ROM von 35° resultieren [124, 125].

#### **2.2.4 Röntgenologische Untersuchung**

In den Fällen, bei denen eine radiologische Untersuchung erfolgte, wurde diese von dem die Indikation stellenden Arzt gemeinsam mit dem Autor befundet.

Es wurde zunächst die vordere und hintere Wirbelkörperlinie, wie auch die spinolaminäre und die Dornfortsatzverbindungsline überprüft, was Aufschluss über eventuelle segmentale Verschiebungen oder Angulationen gibt. Des Weiteren wurde auf verschmälerte oder vergrößerte Wirbelkörperzwischenräume geachtet, um differentialdiagnostisch z.B. einen Diskusprolaps ausschließen zu können. Auch Subluxationen im Bereich der Facettengelenke mussten ausgeschlossen werden [59].

Das Röntgenbild wurde auf Anzeichen einer Pseudarthrose im Bereich des ehemaligen Frakturspalts untersucht, da diese eine der häufigsten

Komplikationen in der Therapie der Densfrakturen darstellt [7, 55, 126]. Radiologisch ist bei einer unvollständigen knöchernen Konsolidierung ein Pseudarthrosespalt zu erkennen, bei dem die Fragmentenden häufig sklerosiert sind [127]. Gegebenenfalls ist eine Dislocatio ad axim des Dens gegenüber der Densbasis zu sehen. Bei vorhandener Angulation wurde die Achsverkipfung nach ventral oder dorsal notiert. Aufgrund dieser Merkmale wurden alle untersuchten Patienten in die Kategorien „Pseudarthrose vorhanden“ und „Pseudarthrose nicht vorhanden“ eingeteilt. Diese Einteilung soll Aufschluss geben über die Pseudarthroserate nach konservativer und operativer Behandlung der Densfraktur, die in der Literatur eine große Variationsbreite aufweist [7, 55, 126] (s. Einleitung).

Des Weiteren wurde die Dislocatio ad latus des Dens in der Transversalebene gemessen. Festgehalten wurde, ob der seitliche Versatz des Dens nach ventral oder dorsal erfolgte.

### **2.2.5 Statistische Auswertungen**

Die statistischen Auswertungen erfolgten mit dem Programm JMP (SAS institute Inc.) in der Version 10.0.0, SPSS (IBM SPSS Statistics, Version 21.0.0.0) und mit Microsoft Excel 2010 (Microsoft Corporation, Redmond, USA). Um Effektgrößen zu berechnen wurde das Programm GPower in der Version 3.1.7 (Heinrich Heine Universität Düsseldorf, Buchner et al.) herangezogen. Die Angaben der Ergebnisse sind als Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung (Minimum-Maximum) angegeben. Die Darstellung der deskriptiven Statistik erfolgte mit Boxplots, welche den Median, 25% und 75% Quartil, Minimum und Maximum sowie Ausreißer enthalten. Die Normalverteilung der Daten wurde anhand des Kolmogorow-Smirnow-Tests und von Quantile-Quantile-Plots überprüft. Dementsprechend wurde in der Folge mit parametrischen und nicht-parametrischen statistischen Verfahren gerechnet. Für Vergleiche von zwei unabhängigen Stichproben wurde zunächst ein Doppelter-t-Test mit Levene-Test zur Überprüfung der Varianzhomogenität durchgeführt. Die Gruppenunterschiede wurden mit einer einfaktoriellen ANOVA dargestellt. Lag keine Normalverteilung vor, erfolgte die Anwendung des Man-Whitney-Tests. Ein zweiseitiges Signifikanzniveau wurde auf 5% ( $p \leq 0,05$ ) festgelegt und als

signifikant bezeichnet. Lag  $p$  zwischen 0,05 und 0,1 konnte von einem Trend gesprochen werden.



# 3 Ergebnisse

## 3.1 Zusammenstellung des Patientenkollektivs

Das Patientenkollektiv rekrutiert sich aus Patienten, welche im Zeitraum von 2001 – 2013 in der BG Unfallklinik Tübingen mit einer Typ II / III Fraktur nach Anderson und D´Alonzo [13] behandelt wurden und die Einschlusskriterien erfüllten (s. 2.1.1) (N=113). Durch die vorhandenen Adressdaten wurden diese Patienten allesamt angeschrieben und zur Nachuntersuchung eingeladen (Abbildung 26). Dabei konnte 19 Patienten die Einladung nicht zugestellt werden, da diese unbekannt verzogen waren. Die neue Adresse konnte nicht ermittelt werden. Einige Patienten (N=31) konnten zwar postalisch erreicht werden, antworteten darauf aber nicht und waren auch telefonisch nicht zu erreichen. Vier Patienten waren zwischenzeitlich verstorben. Bei 24 Patienten konnte das Interesse an einer Nachuntersuchung trotz telefonischer Nachfrage nicht geweckt werden. Hierbei muss davon ausgegangen werden, dass ein Anteil von ihnen verzogen war.

Im Zeitraum zwischen 18.04.2015 – 05.07.2015 wurden die verbleibenden 35 Patienten (31%) in der BG Unfallklinik Tübingen klinisch nachuntersucht.

Davon bilden 15 Patienten die Gruppe der konservativ versorgten Typ II / III Verletzungen und 20 Patienten die der operativ Behandelten. Von dieser operativ behandelten Gruppe wurden 12 Patienten mit einer ventralen Schraubenosteosynthese nach Böhler behandelt, bei sechs wurde eine dorsale Operationstechnik angewandt und bei zwei Patienten wurde eine dorsale Technik mit einer ventralen kombiniert.

Das konservativ behandelte Kollektiv wurde in 12 Fällen mit einem Halofixateur und in 3 Fällen mit einer Philadelphia Krawatte versorgt.

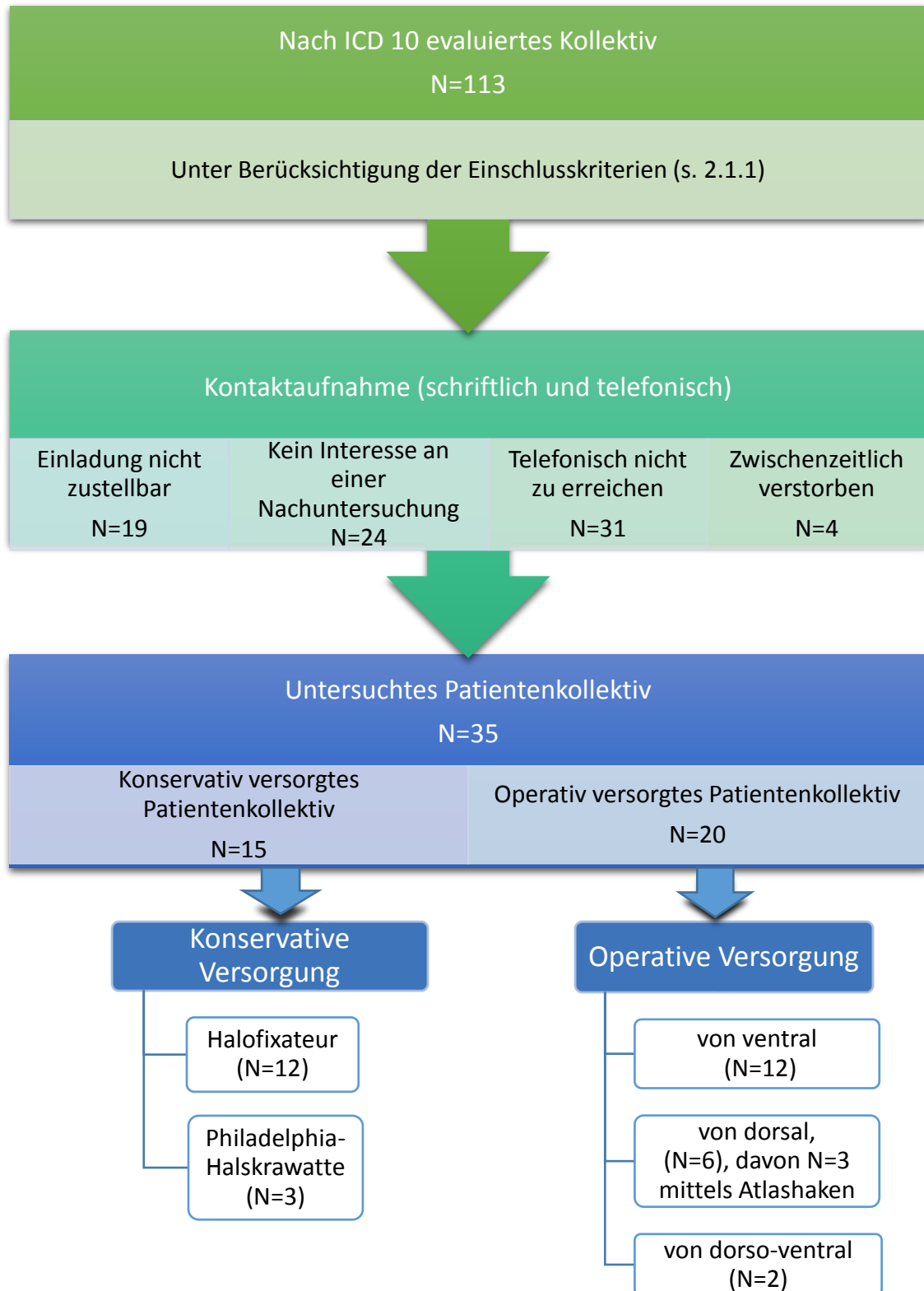


Abbildung 26: Flussdiagramm zur Darstellung der in die Studie eingeschlossenen Patienten.

### 3.1.1 Beschreibung des Kollektivs

Das untersuchte Gesamtkollektiv (N=35) hat ein durchschnittliches Patientenalter von  $61,0 \pm 17,4$  Jahren (Spannweite 21 – 84 Jahre). Die Altersstruktur ist, eingeteilt in Männer und Frauen, aus Abbildung 27 ersichtlich.

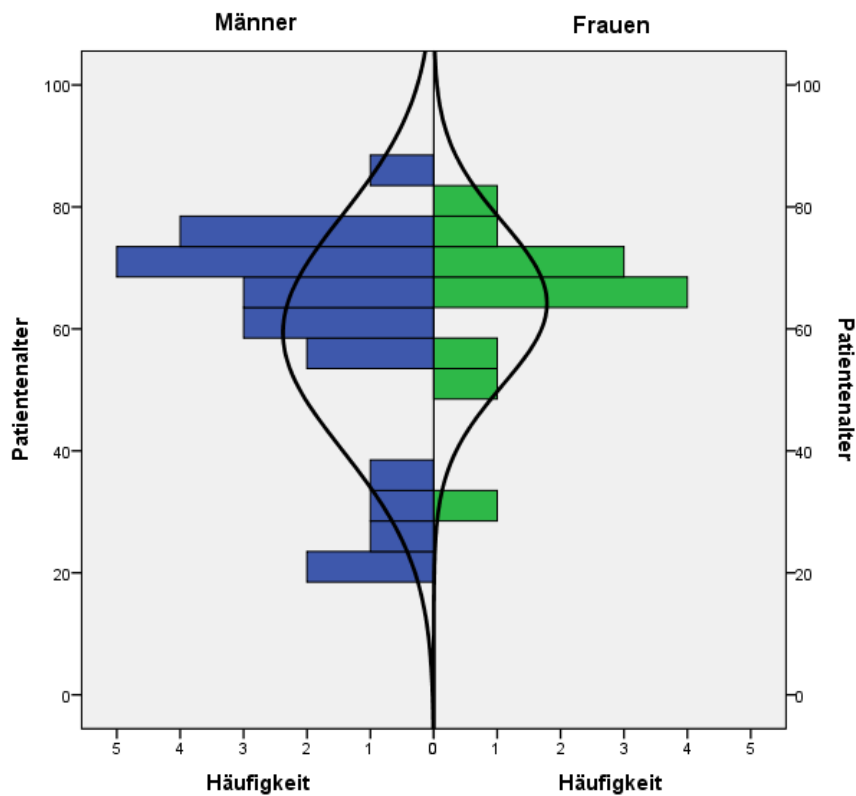


Abbildung 27: Altersstruktur des Gesamtkollektivs, aufgeteilt in Männer und Frauen.

Davon sind 23 Männer und 12 Frauen. Auffallend ist, dass es im Gegensatz zum weiblichen Kollektiv im männlichen Kollektiv zwischen 20 und 40 Jahren deutlich mehr Patienten gibt (5/1).

Da keine Normalverteilung vorlag, wurde zur Überprüfung von Mittelwertunterschieden der Altersverteilungen des konservativen und operativen Kollektivs der Mann Whitney U-Test durchgeführt und die Beschreibung anhand eines Boxplots durchgeführt (Abbildung 28). Dabei zeigt sich in der operativen Gruppe (Tabelle 9) ein höherer Median-Wert, ebenso ein deutlich höheres 25% Quantil und somit liegen 50% der Daten innerhalb 58,5 - 70 Jahre. Die Lage des Median innerhalb der Box lässt auf eine Rechtsschleife der Messdaten schließen.

Tendenziell befinden sich somit die älteren Patienten in der operativen Gruppe. Dies ist insoweit verwunderlich, als dass man prinzipiell den älteren Patienten aufgrund des erhöhten allgemeinen Operationsrisikos eine konservative Therapie zukommen lassen würde.

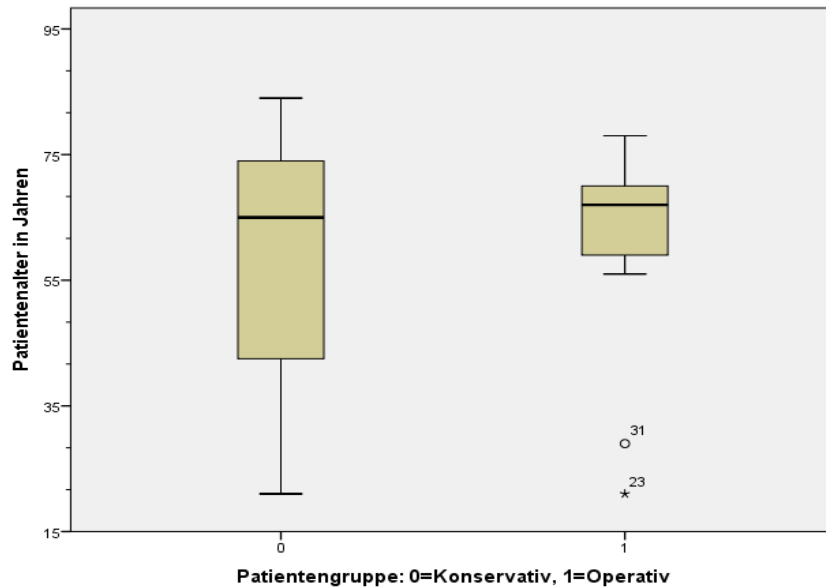


Abbildung 28: Boxplot-Darstellung des Lebensalters in der konservativ behandelten Gruppe und in der operativ behandelten Gruppe. Darstellung der einzelnen Gruppen mit Median, 25% Quantil, 75% Quantil und Minimum, Maximum. In der operativen Gruppe befinden sich zwei Ausreißer.

Zielparameter	Variable	Konservatives Kollektiv	Operatives Kollektiv
Patientenalter	Mittelwert	58,67	62,80
	Min.	21,00	21,00
	Max.	84,00	78,00
	Spannweite	63,00	57,00
	Std.-Abw.	21,15	14,39
	Median	65,00	67,00
	25%-Quartil	36,00	58,50
	75%- Quartil	74,00	70,00

Tabelle 9: Angaben der verschiedenen Variablen für die konservative Gruppe und die operative Gruppe für das Lebensalter in Jahren.

Ein möglicher Grund für die häufigere Zuführung älterer Patienten zur operativen Therapie könnte das bekannte erhöhte Pseudarthrosrisiko bei der konservativen Therapie älterer Patienten sein [8, 15], sodass man diese

Patienten eher operativ versorgte. Um festzustellen, ob in unserem Gesamtkollektiv die Patientengruppe mit Pseudarthrose ein höheres Durchschnittsalter als die Patientengruppe ohne Pseudarthrose hat, wurde ein t-Test für die Mittelwertvergleiche durchgeführt. Dieser ergab einen signifikanten Unterschied ( $p=0,007$ ) der Mittelwerte, sodass die Patienten mit Pseudarthrose im Durchschnitt (Mittelwert  $69,85\pm 8,93$ ) signifikant älter sind als die Patienten ohne Pseudarthrose (Mittelwert  $55,82\pm 8,93$ ).

Der Halofixateur stellt gerade bei älteren Patienten eine erhebliche zusätzliche Belastung, insbesondere durch die durch den Fixateur bedingte pulmonale Einschränkung dar. Außerdem besteht bei älteren Patienten eine wesentliche erhöhte Gefahr für Druckstellen vor allem im Bereich der Spinae scapulae.

Um festzustellen, ob ein höheres Lebensalter mit einer kürzeren Tragedauer des Halofixateurs korreliert, wurde eine bivariate Korrelation mit dem Korrelationskoeffizient nach Pearson durchgeführt. Dabei ergab sich eine schwach negative Pearson-Korrelation ( $r=-0,105$ ) ohne signifikanten Unterschied ( $p=0,720$ ), womit nicht davon auszugehen ist, dass ein höheres Lebensalter mit einer kürzeren Halofixateur-Tragedauer einhergeht. Hieraus ergibt sich, dass wenn die Indikation zur Behandlung mittels Halofixateur gestellt wurde, diese in der Regel auch zu Ende geführt werden konnte.

Die Zeitspanne vom Unfallzeitpunkt bis zur Nachuntersuchung betrug im Mittel  $5,64\pm 2,88$  Jahre (Spannweite 1,5 – 11,1 Jahre). Dabei besteht ein signifikanter Unterschied ( $p=0,031$ ) zwischen der durchschnittlichen Zeitspanne der operativen Gruppe ( $5,02\pm 3,28$ ) und der konservativen Gruppe ( $6,44\pm 2,08$ ).

Das Gesamtkollektiv verteilt sich auf 42,85% ( $N=15$ ) konservativ versorgte Patienten und 57,14% ( $N=20$ ) durch operative Intervention therapierte Patienten. 26 (74,28%) der Patienten erlitten eine Typ II Fraktur nach Anderson und D'Alonzo [13], wohingegen bei 9 (25,71%) eine Typ III Fraktur vorlag.

Bei Typ II Frakturen wurde in 42,3% ( $N=11$ ) die konservative Methode und in 57,7% ( $N=15$ ) die operative Methode gewählt (Tabelle 10).

Patientenkollektiv	Klassifizierung nach Anderson und D'Alonzo	
	Typ II	Typ III
<b>Konservativ</b>	11	4
- Halofixateur	9	3
- Philadelphia-Halskrawatte	2	1
<b>Operativ</b>	15	5
- Ventral	10	2
- Dorsal	3	3
- Dorso-ventral	2	0

Tabelle 10: Angabe der gewählten Behandlungsmethode (operativ/ konservativ) bei den verschiedenen Frakturtypen nach Anderson und D'Alonzo, N=35.

### 3.1.2 Unfallmechanismus

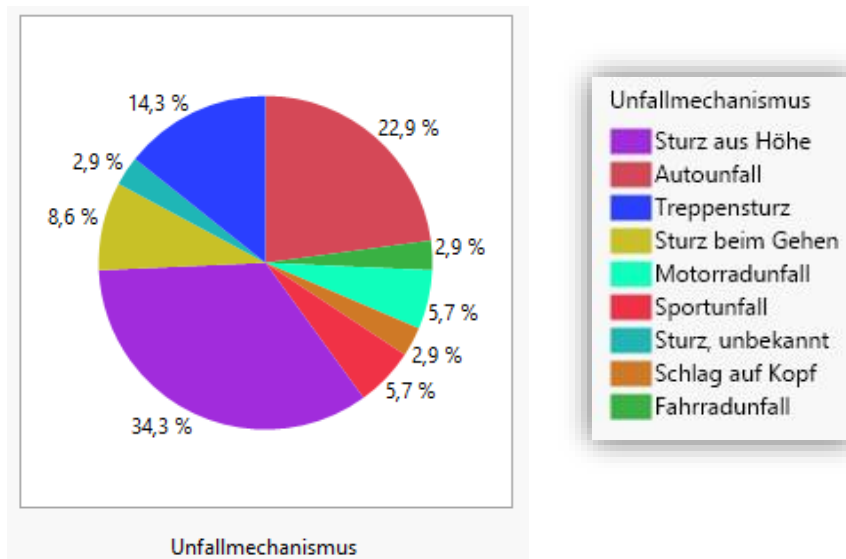


Abbildung 29: Die verschiedenen Unfallursachen der Studienteilnehmer, Angabe in Prozent.

Unterschiedliche Unfallmechanismen waren für die Verletzungen der Studienteilnehmer verantwortlich, wobei die Prozentzahlen der jeweiligen Ursachen aus Abbildung 29 zu entnehmen sind.

Häufigste Ursache dabei waren Stürze aus mindestens 3 Meter Höhe, wie z.B. Sturz vom Balkon, Durchbruch durch Heuboden oder Sturz vom Baugerüst. Die Stürze mit höchster Höhe waren ein Sprung von einer Brücke in suizidaler Absicht und ein Absturz mit einem Segelflieger.

Die zweitgrößte Gruppe wird durch Autounfälle gebildet. Hierbei kamen überwiegend Frontalunfälle vor, lediglich zwei Fälle waren durch seitliches Auffahren bedingt. Das mittlere Alter der Auto- und Motorradfahrer lag bei  $49,6 \pm 22,27$  (21 – 76) Jahren und liegt somit deutlich unter dem Durchschnittsalter des Gesamtkollektivs.

Treppenstürze hingegen haben sich vor allem in einem älteren Patientenkollektiv ergeben: Hier lag das Durchschnittsalter bei  $66,2 \pm 5,01$  (58 – 70) Jahren.

Stürze beim Gehen entstanden aus einem Ausrutschen bei Glätteis und einfachem Stolpern während des Gehens. Die restlichen Fälle sind Einzelfälle. Unsere Daten decken sich somit mit der bisherigen Literatur, die besagt, dass vor allem Hochrasanztraumata bei jungen Patienten für eine Densfraktur verantwortlich sind (s. Kapitel 1.2) [7-9, 20, 128, 129]. Begreift man Stürze und Auto- und Motorradunfälle als Hochrasanztraumata, so sind diese in allein 62,9% aller Unfälle die Unfallursache gewesen. Bei Älteren reichen Bagatelltraumata (z.B. Sturz beim Gehen) aus, um eine Fraktur des Dens axis zu verursachen [7-9].

### 3.2 Vergleich von Ergebnissen der körperlichen Untersuchung des konservativen und des operativen Kollektivs

Um das funktionelle Outcome beurteilen zu können, wurden die Bewegungsausmaße als ROM untersucht<sup>1</sup>. Dazu wurden zunächst visuell und im Zweifelsfall mit dem Shapiro-Wilk-Test die Stichproben auf Normalverteilung geprüft. Diese war in allen Fällen gegeben. Somit wurde dem t-Test für unabhängige Stichproben der Levene-Test der Varianzgleichheit angeschlossen und die Mittelwerte der ROM-Skalen verglichen (Tabelle 11).

		N	Mittelwert	Standardabweichung	t-Test	Signifikanzniveau
<b>ROM: Vorneigen/Rückneigen</b>	Konservativ	15	76,00	31,29	0,896	0,731
	Operativ	20	67,00	27,93		
<b>ROM: Seitneigen</b>	Konservativ	15	60,67	28,40	1,118	0,746
	Operativ	20	50,50	25,23		
<b>ROM: Rotation</b>	Konservativ	15	99,00	45,09	1,675	0,155
	Operativ	20	76,50	34,45		
<b>Kinn-Jugulum Abstand</b>	Konservativ	15	3,60	1,84	-2,319	0,086
	Operativ	20	4,85	1,35		
<b>Kinn-Schulter Abstand</b>	Konservativ	15	36,13	6,25	-1,028	0,344
	Operativ	20	38,15	5,33		

**Tabelle 11: Vergleich des Bewegungsausmaßes der konservativen mit der operativen Gruppe anhand des Mittelwerts, Standardabweichung und t-Tests auf signifikante Unterschiede.**

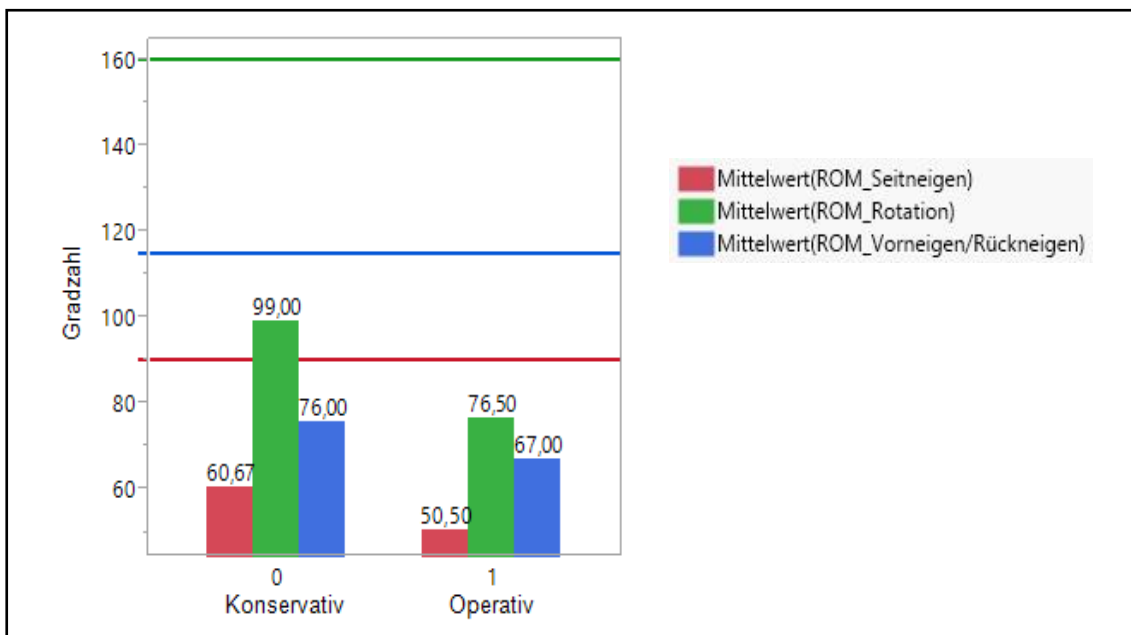
Dabei zeigen sich weder signifikante Unterschiede im Bewegungsausmaß Vorneigen/Rückneigen ( $p=0,731$ ), Seitneigen links/ rechts ( $p=0,746$ ) noch in der Rotation links/ rechts ( $p=0,155$ ) zwischen den konservativen und operativen Kollektiven. Hierbei spiegelt die Rotation die Funktion des Articulatio atlantoaxialis am ehesten wider [30, 31]. Der Kinn-Jugulum Abstand zeigt im Mittel ebenfalls keinen signifikanten Unterscheid ( $p=0,086$ ), ebenso wie der Kinn-Schulterhöhenabstand ( $p=0,344$ ).

Um festzustellen wie groß der Unterschied zu einem gesunden Normalkollektiv ist, wurden die erhobenen ROM-Mittelwerte in

<sup>1</sup> Zur Berechnung des ROM siehe Kapitel 2.2.3



Abbildung 30 eingetragen und als Referenzlinie der zugehörige „Normal“-ROM, welcher sich aus dem Untersuchungsbogen Wirbelsäule der DGUV (s. Anlage 9.6) ergibt. Dieser wurde aus den für die jeweiligen Bewegungsdimensionen angegebenen Soll-Werten ermittelt, indem man die entsprechenden Endgelenkstellungen als Referenz nahm und zu einem ROM-Wert addierte. Waren die Normgradzahlen als Wertebereich angegeben, wie z.B. Rotation links/ rechts 60-80 Grad, dann wurde der untere Wert als Normwert angesehen und es ergab sich ein ROM Rotation von 120 Grad.



**Abbildung 30: Darstellung der Mittelwerte der ROM-Bewegungsdimensionen für die konservative und operative Gruppe. Dabei wurden in der zugehörigen Farbe Referenzlinien als Soll-Wert für die ROM-Bewegungsdimensionen eingezeichnet.**

Um dies auch quantifizieren zu können, wurde in Tabelle 12 die Differenz zwischen Ist- und Sollwert berechnet. Dabei sind Abweichungen von bis zu 36% (ROM Rotation, operative Gruppe) zum Normalwert zu erkennen. Die geringste Abweichung wird beim Bewegungsausmaß Vor- / Rückneigen mit 5% in der konservativen Gruppe erzielt.

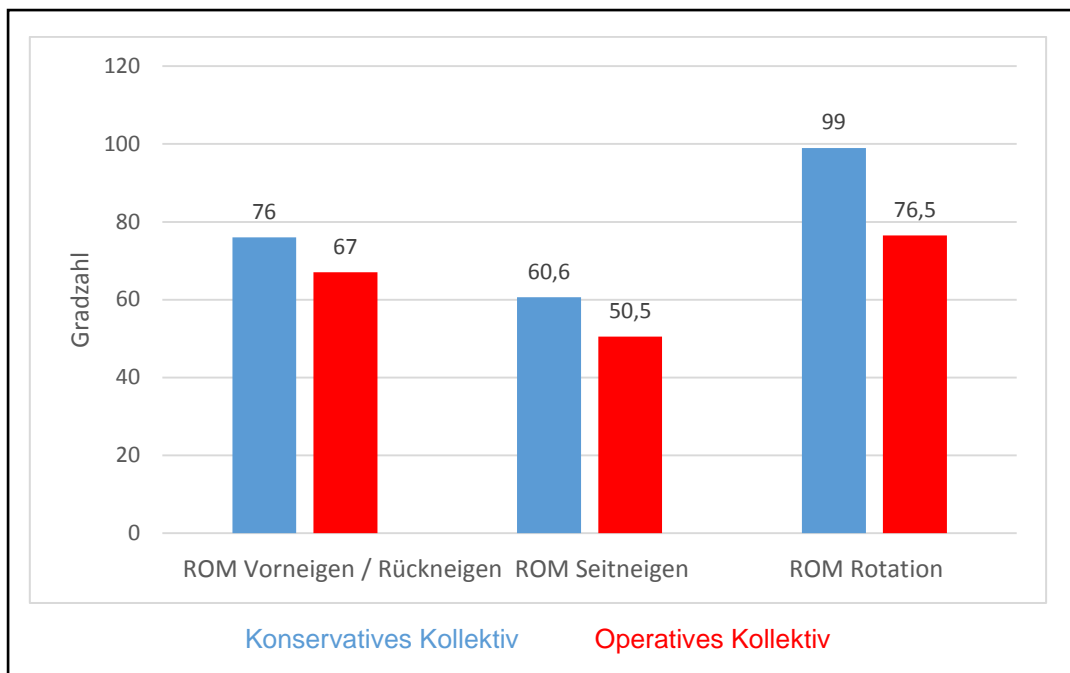
		Mittelwert	Sollwert	Differenz in Gradzahlen	Differenz in %
<b>ROM: Vorneigen/ Rückneigen</b>	Konservativ	76,0	80	4,0	5%
	Operativ	67,0		13,0	16,3%
<b>ROM: Seitneigen</b>	Konservativ	60,6	90	28,4	25,5%
	Operativ	50,5		39,5	34,3%
<b>ROM: Rotation</b>	Konservativ	99,0	120	21,0	17,5%
	Operativ	76,5		43,5	36,2%

**Tabelle 12: Zur Darstellung der Differenz zwischen Sollwert und Mittelwert des jeweiligen Bewegungsausmaßes.**

Dabei erscheinen die Mittelwerte in den ROM Vor- / Rückneigen, Seitneigen und Rotation im konservativen Kollektiv durchgängig höher zu sein, was auch das Diagramm (Abbildung 31) veranschaulicht. Vor allem im Bewegungsausmaß Rotation ist ein Unterschied der Mittelwerte von 22,5 Gradzahlen auffällig. Nimmt man hier die Hälfte des ROM, also im operativen Kollektiv 38,25 Grad für die Rotation z.B. nach links<sup>2</sup>, dann ist doch eine Bewegungseinschränkung im Durchschnitt von 11,25 Grad in der Rotation einseitig feststellbar.

---

<sup>2</sup> Zur Berechnung des ROM siehe Kapitel 2.2.3



**Abbildung 31: Darstellung der durchschnittlichen ROM-Werte der verschiedenen Bewegungsdimensionen des konservativen und operativen Kollektivs. Hierbei ist eine Tendenz zu niedrigeren Werten im operativen Kollektiv zu erkennen, allerdings ohne signifikanten Unterschied.**

Eine Einschränkung der Bewegungsfähigkeit im operativen Kollektiv wäre durch die Anzahl dorsaler Fusionen, da bewegungseinschränkender, in der operativen Gruppe denkbar. Dazu wurde die Gruppe der von dorsal operativ versorgten Patienten (N=6) auf ihre Bewegungsfähigkeit untersucht. Hierbei zeigt sich ein im Vergleich zum restlichen operativen Kollektiv (Mittelwert ROM Rotation  $85,41 \pm 34,07$ ; ROM Vor-/ Rückneigen  $73,33 \pm 24,89$ ; ROM Seitneigen  $25,83 \pm 12,93$ ) signifikant geringerer Mittelwert in den Bereichen ROM Rotation ( $51,66 \pm 25,42$ ;  $p=0,024$ ), ROM Vor-/ Rückneigen ( $46,66 \pm 26,58$ ;  $p=0,050$ ) und ROM Seitneigen ( $46,66 \pm 20,65$ ;  $p=0,035$ ). So zeigt sich, dass diese Gruppe großen Einfluss auf den Mittelwert des gesamten operativen Kollektivs ausüben könnte.

Im Umkehrschluss würde dies bedeuten, dass die von ventral bewegungserhaltend versorgten Patienten (N=12) eventuell gleiche oder höhere Durchschnittswerte als diejenigen des konservativen Kollektivs in den ROM Bewegungsdimensionen erzielen könnten.

	N	Mittelwert	Standardabweichung	Min.	Max.
ROM: Vorneigen/ Rückneigen	12	73,33	74,89	40	115
ROM: Seitneigen	12	51,66	25,87	20	90
ROM: Rotation	12	85,41	35,07	40	160

**Tabelle 13: Darstellung von Mittelwert, Standardabweichung und Min./ Max. der ROM-Bewegungsdimensionen in Grad. Als Kollektiv dient das von ventral operativ versorgte Patientengut. Die Farbe des Mittelwerts gibt an, ob der Wert über (=grün) oder unterhalb (=rot) des vergleichbaren Mittelwerts des konservativen Kollektivs liegt.**

Aus Tabelle 13 ist ersichtlich, dass dies nicht der Fall ist. Auch die Mittelwerte der ROM Bewegungsdimensionen im von ventral versorgten operativen Kollektiv liegen unter denen des konservativen Kollektivs. Somit ist der Einfluss der ROM-Mittelwerte des von dorsal versorgten Kollektivs, trotz der gegenüber dem restlichen operativen Kollektiv signifikant erniedrigten Werte, auf die ROM-Mittelwerte des gesamten operativen Kollektivs eher weniger bedeutend.

Das Patientenalter liegt im von dorsal operierten Kollektiv durchschnittlich bei  $65,00 \pm 8,43$  (56 – 78) Jahren, und somit über dem des konservativen Gesamtkollektivs ( $58,67 \pm 21,15$  Jahre), wie auch über dem des gesamten operativen Kollektivs ( $62,8 \pm 14,39$  Jahre). Somit wurden vor allem ältere Patienten mit tendenziell eher osteoporotischen Knochen von dorsal (und somit bewegungseinschränkender) operativ versorgt.

Um festzustellen, ob sich bei einer höheren Probandenanzahl ein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Bewegungsdimension ROM Vor- / Rückneigen zwischen den Kollektiven ergäbe, wurde eine Effektgröße von 0,32 (=Cohens d) berechnet. Bei einem  $\alpha$ -Fehler von 5% und einer Teststärke von 0,8 ergibt sich eine Stichprobengröße von 310 (155 / 155) Patienten, um einen möglicherweise vorhandenen Effekt messen zu können. Um einen signifikanten Unterschied in der Bewegungsdimension Rotation darstellen zu können, wären bei einer Effektgröße von 0,59 und gleichbleibenden restlichen Parametern eine Probandenanzahl von insgesamt 94 Personen erforderlich. In der Dimension ROM Seitneigen und Cohens  $d=0,39$  ergibt sich eine Patientengruppe von 210, wobei immer von einer gleichmäßigen Verteilung zwischen konservativen und

operativen Patienten ausgegangen wird. Hätte das Gesamtkollektiv somit eine Anzahl von 310 Patienten, wäre ein signifikanter Unterschied in den Bewegungsausmaßen zwischen den Kollektiven messbar.

### 3.2.1 Mögliche Einflussfaktoren auf die Bewegungsfähigkeit

#### 3.2.1.1 Alter und Bewegungsfähigkeit

Eine weitere Möglichkeit einer höheren Bewegungseinschränkung im Kollektiv der operativ versorgten Patienten könnte das Patientenalter sein. Dieses liegt in der operativen Gruppe höher (Median=67,00 Jahre) als im konservativen Patientenkollektiv (Median=65,00 Jahre) (Tabelle 9). Somit muss untersucht werden, wie sich ein älteres Patientenalter auf die Bewegungsfähigkeit auswirkt. Es wird angenommen, dass diese mit zunehmendem Patientenalter abnimmt. Es wurde eine bivariate Korrelation mit dem Pearson'schen Korrelationskoeffizient zwischen dem Patientenalter und den verschiedenen ROM bei einseitig erfolgtem Test auf Signifikanz durchgeführt (Tabelle 14).

Patientenalter in Bezug auf	Pearson Korrelationskoeffizient	Signifikanz (1-seitig)
ROM: Vorneigen/ Rückneigen	-0,482	p=0,002*
ROM: Seitneigen	-0,592	p≤0,001*
ROM: Rotation	-0,704	p≤0,001*

**Tabelle 14: Angabe des Pearson'schen Korrelationskoeffizienten und der Signifikanz bei bivariater Korrelation von Patientenalter und den verschiedenen ROM-Mittelwerten. \*Signifikanter Unterschied.**

Dabei zeigt sich, dass ein zunehmendes Patientenalter bei mittlerem (ROM Vor- / Rückneigen und ROM Seitneigen) bis starkem (ROM Rotation) linearem Zusammenhang mit einer geringeren Bewegungsfähigkeit einhergeht. Dies könnte in Zusammenhang mit einer geringeren Beweglichkeit im gegenüber dem konservativ tendenziell älteren operativen Kollektiv stehen.

### **3.2.1.2 Schmerzen und Bewegungsfähigkeit**

Um zu überprüfen inwieweit Schmerzen die Bewegung einschränken können, wurde auch hier eine bivariate Korrelation durchgeführt, wobei vorstellbar wäre, dass bei höherer Schmerzangabe die Bewegung aufgrund des Schmerzes eingeschränkt sein könnte. Dabei zeigen sich in den Bewegungsdimensionen Rotation ( $p=0,246$ ; Pearsons  $r=-0,201$ ) und Vor-/Rückneigen ( $p=0,091$ ; Pearsons  $r=-0,290$ ) in der Grundgesamtheit in Bezug auf die Schmerzen kein linearer Zusammenhang. Die auf der visuellen Analogskala angegebenen Schmerzen korrelieren einzig beim Bewegungsausmaß Seitneigen ( $p=0,008$ ) mäßig stark negativ (Pearsons  $r=-0,439$ ). Somit kann davon ausgegangen werden, dass die Bewegungseinschränkungen in der überwiegenden Zahl der Fälle nicht mit einer höheren Schmerzangabe auf der VAS einhergehen.

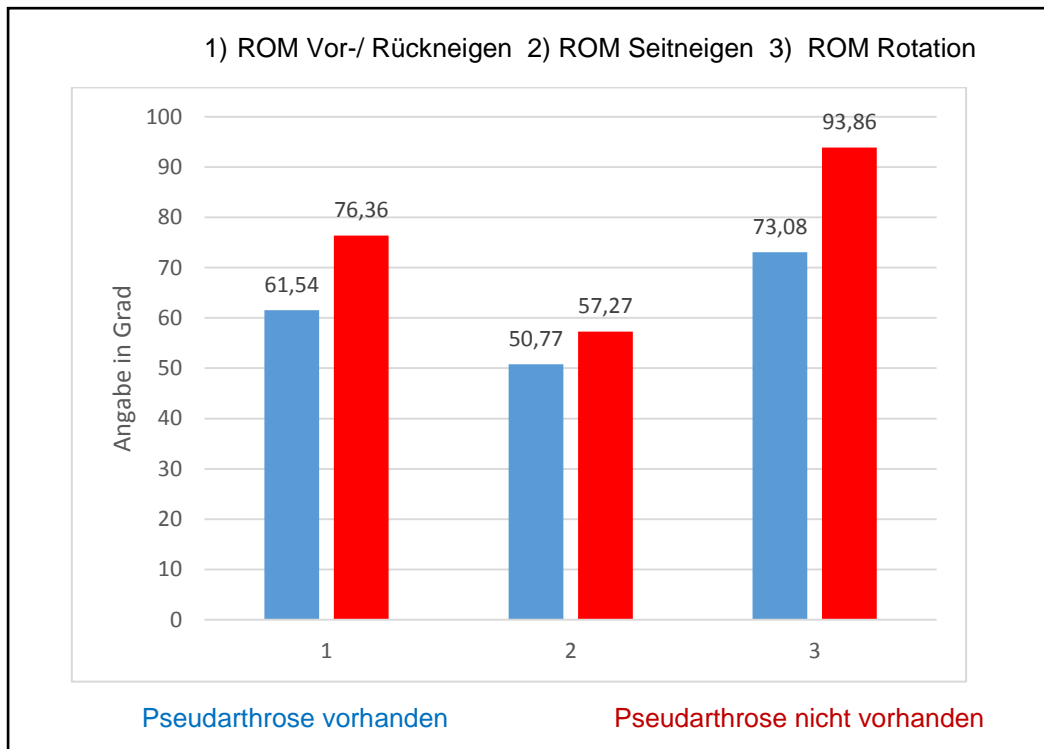
Eine im Anschluss durchgeführte Regressionsanalyse der abhängigen Variablen ROM Rotation, ROM Vor- / Rückneigen und ROM Seitneigen mit den unabhängigen Variablen Patientenalter und Schmerz ergab außerdem R-Quadrat Werte von 0,512 (ROM Rotation), 0,290 (ROM Vor-/ Rückneigen) und 0,429 (ROM Seitneigen), was bedeutet, dass ein erklärter Varianzanteil von 51,2% (ROM Rotation), 29,0% (ROM Vor-/ Rückneigen) und 42,9% (ROM Seitneigen) durch die beiden Prädiktorvariablen vorlag. Das heißt zu 51,2% sind die Unterschiede im Bereich ROM Rotation auf die Variablen Schmerz und Alter zurückzuführen.

### **3.2.1.3 Tragedauer einer Zervikalstütze / Halofixateur und Bewegungsfähigkeit**

Genauso ist zu testen, ob die Tragedauer des Halofixateurs oder der Philadelphia-Halskrawatte eine Auswirkung auf die Bewegungsausmaße im konservativen Kollektiv hat. Dafür wurde eine bivariate Korrelation mit Pearsons Korrelationskoeffizient durchgeführt. Hierbei konnte kein linearer Zusammenhang zwischen der Tragedauer und dem Bewegungsausmaß festgestellt werden: Rotation ( $p=0,761$ , Pearsons  $r=-0,098$ ), Seitneigen ( $p=0,969$ , Pearsons  $r=-0,012$ ) und Vor-/ Rückneigen ( $p=0,575$ , Pearsons  $r=-0,180$ ).

### 3.2.1.4 Pseudarthrose als Einflussfaktor auf die Bewegungsfähigkeit

Um den Einfluss einer Pseudarthrose auf das Bewegungsausmaß festzustellen, wurden die mittleren ROM-Werte der verschiedenen Bewegungsdimensionen des Kollektivs mit Pseudarthrose dem Patientengut ohne Pseudarthrose gegenübergestellt (Abbildung 32).



**Abbildung 32:** Tortendiagramm zur Darstellung der mittleren ROM-Werte in Grad bei vorhandener Pseudarthrose und bei nicht vorhandener Pseudarthrose. Dabei zeigen sich stets höhere Werte im Bewegungsausmaß, wenn keine Pseudarthrose vorliegt.

Der Unterschied der Mittelwerte ist hierbei allerdings nicht signifikant: ROM Rotation ( $p=0,098$ ), ROM Seitneigen ( $p=0,767$ ) und ROM Vor-/ Rückneigen ( $p=0,526$ ).

Dennoch zeigen sich Tendenzen zu einer erhöhten Bewegungsfähigkeit bei nicht vorhandener Pseudarthrose.

### 3.2.1.5 Dislokationen / Angulationen des Dens und Bewegungsfähigkeit

Somit sollte auch geprüft werden, ob Dislokationen oder Angulationen des Dens axis Auswirkungen auf das Bewegungsausmaß haben könnten. Dazu wurden die

Mittelwerte der ROM-Bewegungsdimensionen des Kollektivs mit und ohne Dislokation im t-Test bei unabhängiger Stichprobe geprüft. Ebenso wurde mit den Patientendaten, die eine Angulation des Dens axis aufweisen oder nicht aufweisen, verfahren. Hierbei wurde allein die Tatsache des Vorhandenseins / Nichtvorhandenseins einer Dislokation / Angulation der Berechnung zu Grunde gelegt und nicht das quantitative Ausmaß. Die Daten dazu sind Tabelle 15 zu entnehmen. Dabei zeigt sich weder ein signifikanter Unterschied im durchschnittlichen Bewegungsausmaß hinsichtlich des Vorhandenseins einer Dislokation, noch scheint es einen signifikanten Unterschied in Bezug auf eine vorhandene Angulation zu geben. Dennoch zeigen sich auch hier leichte Tendenzen, bei vorhandener Angulation ein geringeres Bewegungsausmaß aufweisen zu können: Die Mittelwerte der ROM-Bewegungsausmaße sind in allen Dimensionen vermindert.

		N	Mittelwert	Standardabweichung	Signifikanz	t-Wert
<b>ROM: Vorneigen/ Rückneigen</b>	Keine Dislokation	31	71,94	29,59	0,666	0,600
	Dislokation	4	62,5	29,58		
<b>ROM: Seitneigen</b>	Keine Dislokation	31	54,52	26,93	0,767	-0,207
	Dislokation	4	57,5	28,72		
<b>ROM: Rotation</b>	Keine Dislokation	31	86,13	42,18	0,239	-0,006
	Dislokation	4	86,25	25,61		
<b>ROM: Vorneigen/ Rückneigen</b>	Keine Angulation	22	74,77	29,9	0,846	0,690
	Angulation	13	64,23	28,19		
<b>ROM: Seitneigen</b>	Keine Angulation	22	57,27	26,58	0,767	0,690
	Angulation	13	50,77	27,52		
<b>ROM: Rotation</b>	Keine Angulation	22	87,5	40,93	0,851	0,255
	Angulation	13	83,85	40,88		

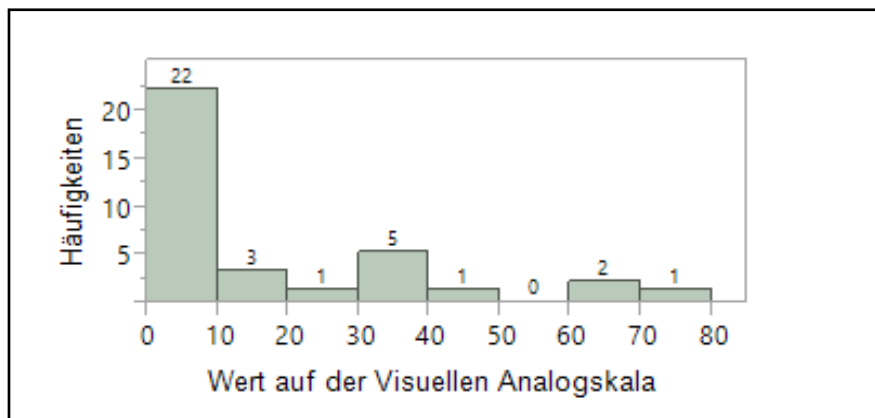
**Tabelle 15: Einfluss von vorhandener / nicht vorhandener Dislokation beziehungsweise Angulation auf die Bewegungsfähigkeit. Dazu wurden die ROM-Mittelwerte der jeweiligen Bewegungsdimensionen gegenüber gestellt und auf Signifikanz geprüft. Dabei weist keine Bewegungsdimension in Bezug auf das Vorhandensein einer Dislokation/ Angulation einen signifikanten Unterschied auf.**

Aufgrund dieser Tendenzen in den Mittelwerten kann somit vermutet werden, dass eine vorhandene Pseudarthrose oder Angulation sich negativ auf das Bewegungsausmaß auswirken könnte.



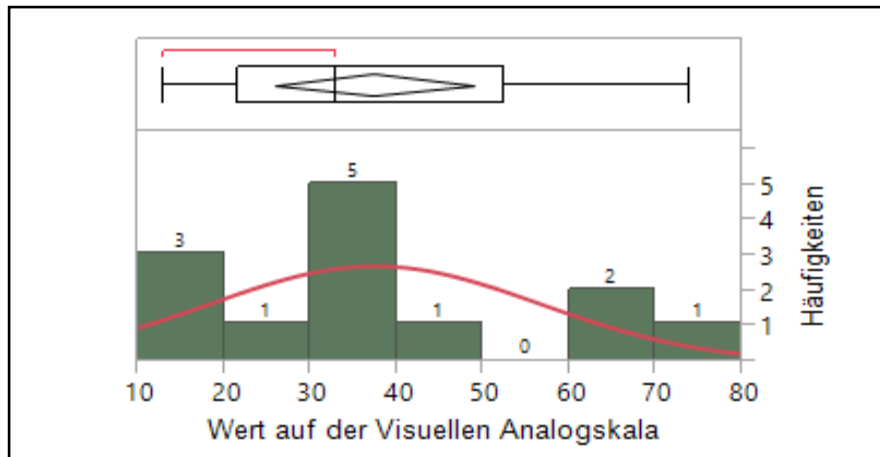
### 3.3 Ergebnisse der Visuellen Analogskala

Abbildung 33 zeigt die Verteilung der auf der VAS angegebenen Werte des Gesamtkollektivs an. Dabei ist der Mittelwert  $13,88 \pm 21,56$  (0 – 74) Punkte. 62,85% (N=22) der Patienten sind zum Untersuchungszeitpunkt komplett schmerzfrei und geben den Wert 0 auf der VAS an. Der Median liegt somit bei 0 Punkten. Lediglich 3 Patienten haben Werte oberhalb von 50 und befinden sich somit in der oberen Hälfte der Visuellen Analogskala.



**Abbildung 33:** Darstellung der Häufigkeiten der Angaben auf der Visuellen Analogskala des Gesamtkollektivs. Der Wert 0 bedeutet kein Schmerz, 100 ist der stärkste vorstellbare Schmerz.

Da die hohe Anzahl schmerzfreier Patienten einen sehr niedrigen Gesamtmittelwert ergibt, wäre somit die Verteilung der Patienten mit subjektiver Schmerzangabe  $>0$  auf der VAS interessant. Um den mittleren VAS-Wert dieser Personen zu erhalten, wurden die 22 Personen ohne Schmerzangabe von der Berechnung dieses Mittelwerts ausgenommen (Abbildung 34). Dabei ist die mittlere Schmerzangabe bei  $37,38 \pm 19,12$  (13 – 74) Punkten, der Median bei 33,00 Punkten. Verteilt auf die beiden Kollektive ergeben sich folgende Mittelwerte der Patienten mit Schmerzen: Konservatives Kollektiv ( $41,66 \pm 22,33$ ) und operatives Kollektiv ( $33,71 \pm 16,77$ ).



**Abbildung 34:** Darstellung der Häufigkeiten der Angaben auf der Visuellen Analogskala ausschließlich von Patienten mit Schmerzangabe. Im oberen Abschnitt der Grafik dargestellt sind die Quartile und der Median als Boxplotgrafik.

Interessant ist auch ein Vergleich der beiden Kollektive konservativ und operativ. Da aufgrund der hohen Anzahl der schmerzfreien Patienten die Kollektive nicht normalverteilt sind, kann der t-Test zum Vergleich der Mittelwerte nicht angewendet werden. Somit wurde der Mann-Whitney-U-Test durchgeführt, ein nicht-parametrischer Test zweier unabhängiger Stichproben. Dabei zeigt sich kein signifikanter Unterschied ( $p=0,730$ ) zwischen konservativem Kollektiv ( $16,66\pm 25,00$ ) und operativem Kollektiv ( $11,80\pm 19,00$ ). So muss die Nullhypothese beibehalten werden und von einer gleichen Verteilung der VAS über die beiden Kategorien konservativ und operativ ausgegangen werden.

Der hohe Anteil von 62,85% ( $N=22$ ) der Patienten, welche gegenwärtig komplett schmerzfrei sind, gibt Anlass zur näheren Betrachtung. Dabei wäre auch hier vor allem die Verteilung auf die beiden Kollektive von Interesse. Es ergibt sich eine Aufteilung von 9 (konservativ) zu 13 (operativ). 40,9% der schmerzlosen Patienten sind somit auf konservative Weise behandelt worden und 59,1% operativ.

Es wurde bereits in Kapitel 3.2.1.2 geprüft, inwieweit eine Korrelation zwischen der Schmerzangabe auf der VAS und den Bewegungsdimensionen besteht.

### 3.3.1 Korrelation Schmerzangabe und Pseudarthrose-, Dislokations- und Angulationsrate

Um mögliche Korrelationen zwischen den Schmerzangaben auf der VAS und vorhandener/ nicht vorhandener Pseudarthrose, Dislokation und Angulation untersuchen zu können, wurde für alle Werte der t-Test mit angeschlossenen Levene-Test durchgeführt und auf signifikante Mittelwertunterschiede geprüft (Tabelle 16).

		N	Mittelwert	Standardabweichung	Signifikanz	F
VAS	Keine Pseudarthrose	22	10,41	17,98	0,047*	4,275
	Pseudarthrose	13	19,77	26,3		
VAS	Keine Dislokation	31	13,65	21,93	0,777	0,082
	Dislokation	4	15,75	21,26		
VAS	Keine Angulation	22	12,27	21,88	0,796	0,068
	Angulation	13	16,62	21,59		

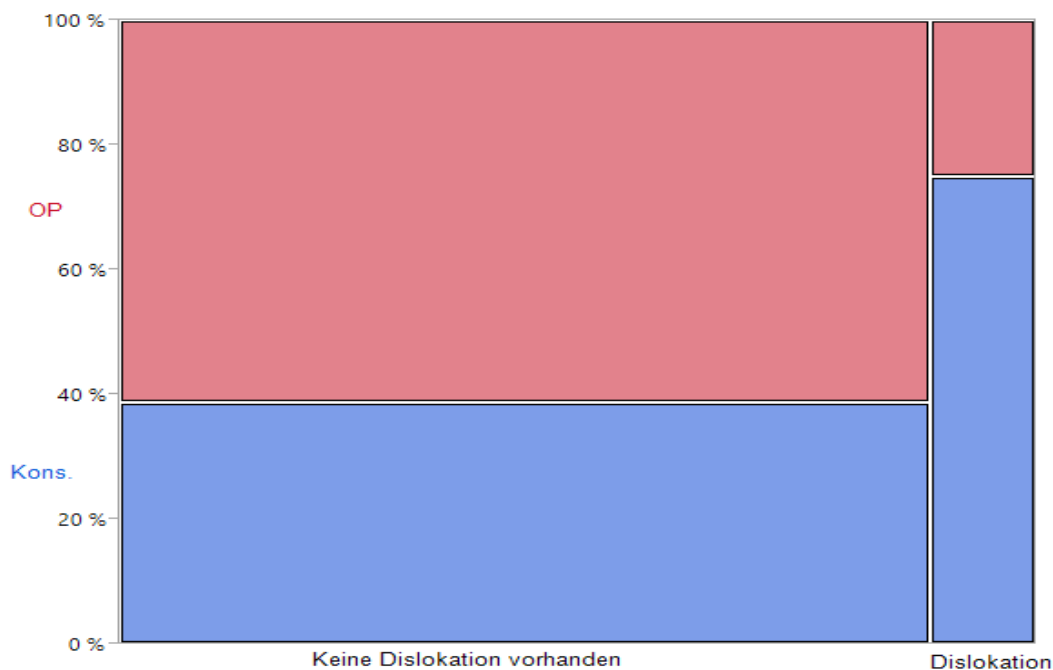
**Tabelle 16: Vergleich der Mittelwerte der VAS bei vorhandener und nicht vorhandener Pseudarthrose, Dislokation und Angulation. Einzig zwischen den VAS Werten bei vorliegender/ nicht vorliegender Pseudarthrose zeigt sich ein signifikanter Mittelwertsunterschied (p=0,047\*).**

Hierbei zeigt sich einzig bei vorhandener Pseudarthrose ein signifikanter Mittelwertunterschied (p=0,047) der VAS-Werte in Bezug auf die Werte bei nicht vorhandener Pseudarthrose, d.h. die Patienten mit Pseudarthrose geben einen signifikant höheren Wert auf der subjektiven Schmerzskala an.

Für die VAS Werte bei Dislokation (p=0,777) und Angulation (p=0,796) kann dies nicht gezeigt werden.

## 3.4 Röntgenologische Auswertung

### 3.4.1 Dislokationen des Dens axis



**Abbildung 35: Mosaikdarstellung der Patienten mit und ohne Dislokation des Dens axis in ihrer Aufteilung auf das operative und konservative Kollektiv.**

Die röntgenologische Auswertung der seitlichen Aufnahmen der Halswirbelsäule ergab folgende Ergebnisse: In Abbildung 35 wird die Aufteilung bei vorhandener und nicht vorhandener Dislokation des Dens axis in die Kollektive operativ und konservativ gezeigt. Hierbei konnten allein Daten über das Vorhandensein oder Nichtvorliegen einer Dislokation erhoben werden, die genaue Quantifizierung hätte in Dens-Funktionsaufnahmen erfolgen müssen, was ethisch nicht vertretbar war.

Im Gesamtkollektiv (N=35) treten vier (11,42%) Dislokationen auf, von denen drei in das konservative und eine in das operative Patientenkollektiv fällt. Der operativ versorgte Patient mit einer Dislokation des Dens axis nach ventral wurde mit einer Schraubenosteosynthese von ventral versorgt. Die konservativen Patienten wurden alle mit einem Halofixateur und der durchschnittlichen Tragedauer von  $13,33 \pm 2,30$  (10 – 16) Wochen therapiert.

Der Dens dislozierte in zwei Fällen nach dorsal und in den anderen zwei Fällen nach ventral. Ein Patient mit einem nach dorsal disloziertem Dens axis weist gleichzeitig eine Pseudarthrose sowie eine Angulation nach dorsal auf, bei den anderen drei liegt eine knöchernerne Konsolidierung vor. Dieser Patient ist momentan auch nicht mehr arbeitsfähig. Bei einem weiteren Patienten mit dorsaler Dislokation tritt ebenfalls eine Angulation nach dorsal auf, sodass bei insgesamt zwei Patienten mit dorsaler Dislokation gleichzeitig eine Angulation nach dorsal vorliegt.

Von den vier Patienten zeigt keiner neurologische Symptome, jedoch liegt die durchschnittliche Schmerzangabe auf der VAS bei  $29,00 \pm 24,64$  (0 – 60) Punkten, wobei nur ein Patient komplett schmerzlos ist. Zum Einfluss der Dislokation auf die Schmerzen siehe Kapitel 3.3.1.

Die möglichen Auswirkungen einer Dislokation auf die Bewegungsfähigkeit wurden bereits in Kapitel 3.2.1.5 geprüft.

### 3.4.2 Angulationen des Dens axis

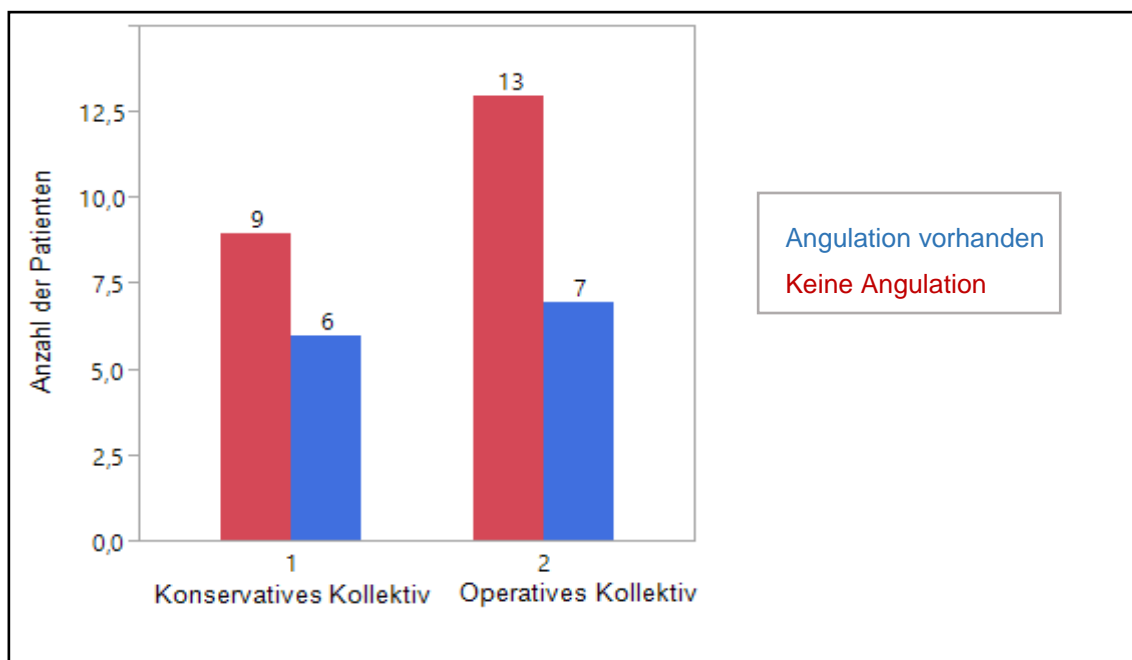


Abbildung 36: Balkendiagramm zur Darstellung der Anzahl der Patienten mit und ohne Angulation des Dens axis, aufgeteilt auf die zwei Patientenkollektive operativ und konservativ.

Ähnlich dem Vorgehen bei der röntgenologischen Auswertung der Dislokation wurde bei den Angulationen ebenfalls auf die quantitative Erfassung der Daten aus ethischen Gründen<sup>3</sup> verzichtet. Somit wurde erfasst, bei welchen Patienten eine Verkipfung des Dens axis vorliegt und in welche Richtung (ventral/ dorsal) diese anguliert. Dabei wurden N=13 (37,14%) Angulationen festgestellt (Abbildung 36). Diese verteilen sich in etwa ähnlich auf das konservative (N=6) und operative (N=7) Kollektiv. Der Dens verkippte insgesamt in sieben Fällen nach dorsal und in 6 Fällen nach ventral (Tabelle 17). Die Richtungen der Angulationen in Bezug auf die beiden Kollektive konservativ und operativ sind Tabelle 17 zu entnehmen.

	Angulation vorhanden	Angulation nach dorsal	Angulation nach ventral
<b>Operatives Kollektiv</b>	7	5	2
<b>Konservatives Kollektiv</b>	6	2	4
<b>Summe:</b>	<b>13</b>	<b>7</b>	<b>6</b>

**Tabelle 17: Aufteilung der Angulationen insgesamt und der Angulationen nach dorsal/ventral auf das operative und konservative Kollektiv.**

Von den operativ behandelten Patienten mit Angulation wurden drei von ventral mittels Schraubenosteosynthese, zwei von dorsal (wovon einer mit einem Atlashaken versorgt wurde) und weitere zwei Patienten von dorso-ventral operiert. Die durchschnittliche Tragedauer des Halofixateurs, der in 12 von 13 Fällen angelegt wurde, betrug  $11,5 \pm 3,98$  (4 – 16) Wochen. Bei einem Patienten wurde eine Philadelphia-Halskrawatte für 20 Wochen angelegt.

Um zu überprüfen, ob die hohe Quote an Angulationen von 37,14% klinische Auswirkungen hat, müssen verschiedene Zusammenhänge erörtert werden. Zunächst ist der Zusammenhang zwischen vorhandener Angulation und Schmerzangabe auf der VAS zu betrachten. Dabei betrug der Durchschnittswert der VAS  $17,61 \pm 25,14$  (0 – 74) Punkte, wovon aber über die Hälfte der Patienten

<sup>3</sup> Um die Angulationen ausmessen zu können wären Dens-Funktionsaufnahmen von Nöten gewesen. Diese waren aus ethischen Gründen nicht durchführbar.

(53,84%) Schmerzen verneinten und den Wert 0 auf der VAS angaben. Zum Einfluss der Angulation auf die Schmerzen siehe Kapitel 3.3.1.

Bei einem Patienten mit nach dorsal anguliertem Dens ist eine inkomplette Tetraplegie festzustellen. Dieser entstammt dem konservativen Kollektiv.

Angulationen könnten sich negativ auf das Bewegungsausmaß auswirken. Dabei sind zwar keine signifikanten Unterschiede der Mittelwerte der ROM Bewegungsdimensionen zu erkennen, doch lassen sich gewisse Tendenzen hin zu geringeren Mittelwerten in den Bewegungsausmaßen bei vorhandener Angulation erkennen. Dies wurde in Kapitel 3.2.1.5 bereits abgehandelt.

### 3.4.3 Pseudarthrosen des Dens axis

Tabelle 18 sind die Häufigkeiten einer Pseudarthrose, aufgeteilt auf das operative wie konservative Kollektiv, zu entnehmen.

	Pseudarthrose	Keine Pseudarthrose
<b>Operatives Kollektiv</b>	6 (30,0%)	14 (70,0%)
<b>Konservatives Kollektiv</b>	7 (46,7%)	8 (53,3%)
<b>Summe:</b>	<b>13 (37,15%)</b>	<b>22 (62,85%)</b>

**Tabelle 18:** Angabe der Häufigkeiten einer Pseudarthrose im operativen und konservativen Kollektiv.

Dabei weist das Gesamtkollektiv eine Pseudarthroserate von 37,15% auf. Diese teilt sich auf in N=6 operativ behandelte Patienten mit Pseudarthrose und N=7 konservativ versorgte Patienten. Die operativ versorgten Patienten mit Pseudarthrose wiesen allesamt eine Typ II Verletzung des Dens auf, im konservativen Kollektiv befinden sich 2 Typ III und 5 Typ II Verletzungen. Die operativ therapierten Patienten wurden in vier Fällen mittels Schraubenosteosynthese von ventral versorgt, in einem Fall wurde von dorsal operiert und in ebenfalls einem Fall kombiniert von dorso-ventral. Die durchschnittliche Tragedauer des Halofixateurs im konservativen Kollektiv mit Pseudarthrose betrug  $10,22 \pm 3,70$  (4 – 16) Wochen.

Sieben Patienten mit Pseudarthrose waren schmerzfrei, die durchschnittliche Schmerzangabe aller Patienten mit einer Pseudarthrose betrug  $19,76 \pm 26,30$  (0 – 74) Punkte. In Kapitel 3.3.1 konnte bereits gezeigt werden, dass es einen signifikanten Mittelwertunterschied ( $p=0,047$ ) der VAS Werte zwischen Patienten mit und ohne Pseudarthrose gibt. Der VAS Mittelwert bei vorhandener Pseudarthrose ist signifikant erhöht.

Zum Zusammenhang zwischen Pseudarthroserate und Bewegungsfähigkeit siehe Kapitel 3.2.1.4.

Keiner der Patienten mit Pseudarthrose zeigte neurologische Symptome zum Untersuchungszeitpunkt, vier Patienten waren nicht mehr arbeitsfähig.

Patienten mit Pseudarthrose sind im Durchschnitt signifikant älter (Mittelwert  $69,85 \pm 8,93$ ) als Patienten ohne Pseudarthrose (Mittelwert  $55,82 \pm 8,93$ ), siehe Kapitel 3.1.1.



### 3.5 Ergebnisse der verschiedenen Operationsmethoden

Gegenstand folgender Betrachtungen soll allein das operative Kollektiv sein. Es soll geprüft werden, inwiefern sich das von ventral mittels Schraubenosteosynthese versorgte Kollektiv sich von der Patientengruppe, welche durch einen dorsalen Zugang operiert wurde, unterscheidet.

#### 3.5.1 Bewegungsfähigkeit in Abhängigkeit der operativen Methode

Da eine von ventral versorgte Fraktur durch eine Schraubenosteosynthese oft mit einem höheren Bewegungsmaß einhergeht [49], wurde ein unabhängiger t-Test zwischen den Mittelwerten ROM Rotation, ROM Seitneigen, ROM Vor-/Rückneigen der beiden Kollektive durchgeführt, um zu überprüfen, ob die ROM-Werte des von ventral versorgten Kollektivs gegenüber den Werte der von dorsal versorgten Patienten erhöht sind.

		N	Mittelwert	Standardabweichung	Signifikanz	t-Wert
ROM Rotation	Ventral	12	85,42	34,07	0,571	2,134
	Dorsal	6	51,67	25,43		
ROM Seitneigen	Ventral	12	51,67	25,87	0,582	0,41
	Dorsal	6	46,67	20,65		
ROM Vor-/Rückneigen	Ventral	12	73,33	24,89	0,744	2,097
	Dorsal	6	46,67	26,58		

**Tabelle 19: Angabe des Mittelwerts, Standardabweichung, Signifikanz und t-Werts der ROM Bewegungsdimensionen in Abhängigkeit der Kollektive ventrale und dorsale OP-Technik.**

Es zeigen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den OP-Techniken in Bezug auf die Beweglichkeit ROM Rotation, ROM Seitneigen und ROM Vor-/Rückneigen (Tabelle 19). Es tritt aber in jeder Bewegungsdimension ein im Vergleich zum von dorsal behandelten Kollektiv erhöhter Mittelwert im ventralen Kollektiv auf. Somit könnte ein vergrößertes Kollektiv von Nöten sein, um diese Tendenzen zu bestätigen und signifikante Mittelwertunterschiede aufzuzeigen, wie sie von Tscherne et al. [49] bereits postuliert wurden. Um zu berechnen, wie viele Probanden man bräuchte um die Nullhypothese zurückweisen zu können,

wurde eine Effektgröße von 1,13 (=Cohens d) berechnet. Bei einem  $\alpha$ -Fehler von 5% und einer Teststärke von 0,8 ergibt sich eine Stichprobengröße von 34 Patienten, um einen hohen Effekt nachweisen zu können.

### 3.5.2 Schmerzangabe auf der VAS-Skala in Abhängigkeit der OP-Methode

Auch die durchschnittlichen Werte der Schmerzangabe auf der VAS-Skala des von ventral operativ versorgten und des von dorsal versorgten Kollektivs sollen untersucht werden. Hierfür wurde ebenfalls ein unabhängiger t-Test durchgeführt.

		N	Mittelwert	Standardabweichung	Signifikanz	t-Wert
<b>Schmerzangabe</b>	Ventral	12	12,33	20,96	0,967	-0,016
	Dorsal	6	12,5	19,36		

**Tabelle 20: Angabe von Mittelwert, Standardabweichung, Signifikanz und t-Wert der durchschnittlichen Schmerzangabe auf der VAS bezüglich des von ventral und von dorsal operierten Kollektivs**

Es können keine signifikanten Unterschiede der durchschnittlichen Schmerzangaben auf der VAS-Skala zwischen den Kollektiven festgestellt werden. Es muss somit von einem ähnlichen, niedrigen Schmerzzustand (durchschnittlich 12,33 Punkte ventrales Kollektiv und 12,5 Punkte dorsales Kollektiv) zum Zeitpunkt von durchschnittlich 4,45 Jahren nach der Operation ausgegangen werden.

### 3.5.3 Komplikationsrate in Abhängigkeit der gewählten Behandlungsmethode

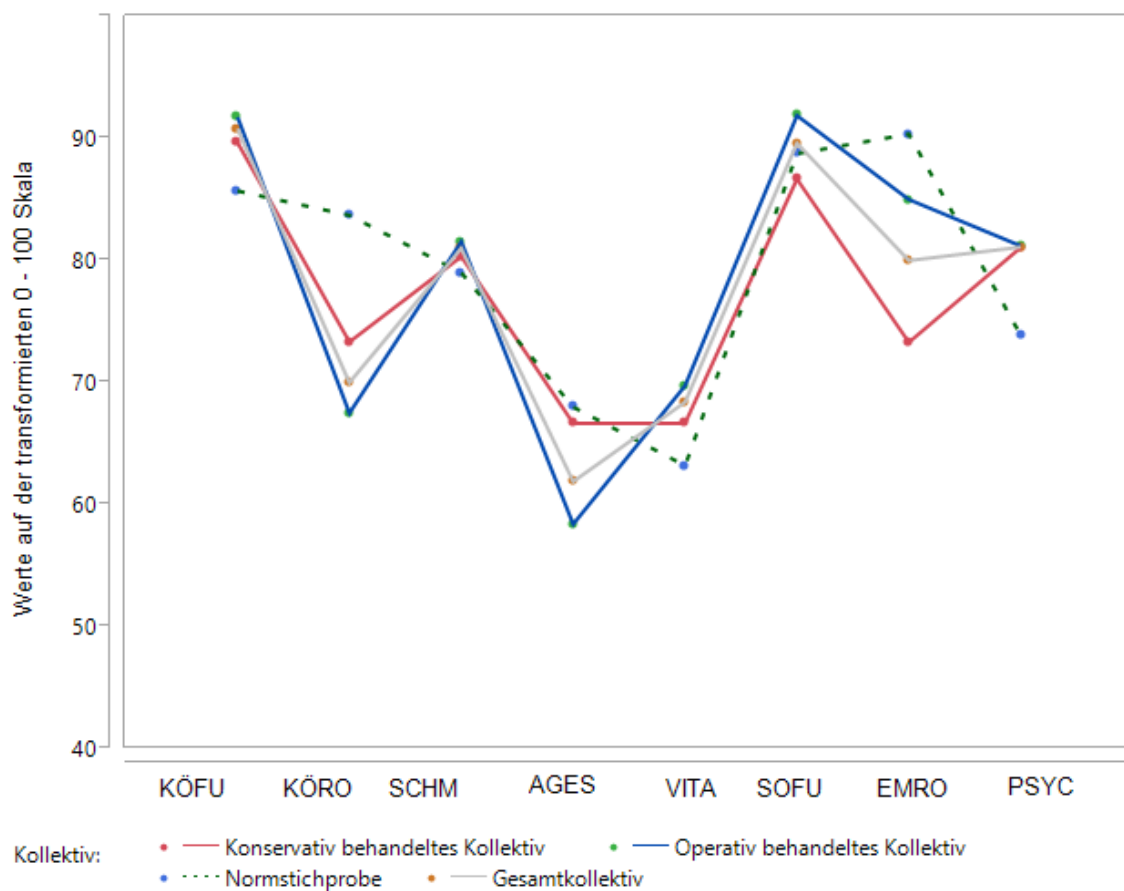
Um abschätzen zu können, ob es Unterschiede hinsichtlich des Vorkommens von Dislokationen, Angulationen und Pseudarthrosen gibt, wurde ein t-Test bei unabhängiger Stichprobe durchgeführt. Da eine Dislokation aber nur in einem Fall auftrat (bei ventraler OP-Methode), wurde diese außer Acht gelassen. Es ergab sich kein signifikanter Unterschied ( $p=0,496$ ) im Auftreten von Angulationen bei Patienten mit dorsalem Zugang (11,1%) zu denen mit ventralem

(16,6%). Ähnlich verhält es sich beim Auftreten einer Pseudarthrose: Auch hier kann kein signifikanter Unterschied im durchschnittlichen Vorkommen zwischen den Kollektiven festgemacht werden ( $p=0,122$ ).

## 3.6 SF-36 Fragebogen

### 3.6.1 Herkömmliches SF-36 Profil

Die Ergebnisse des SF-36 Fragebogens sind in Abbildung 37 im herkömmlichen SF-36 Profil als Mittelwerte auf der transformierten 0-100 Skala der verschiedenen Dimensionen dargestellt. Dabei wurden die Werte des operativen, konservativen und des gesamten Kollektivs gegenüber den Werten der Normalbevölkerung aufgetragen.



**Abbildung 37: Darstellung der Mittelwerte der acht Dimensionen des SF-36 Fragebogens im Vergleich zur Normalbevölkerung. KÖFU: Körperliche Funktionsfähigkeit, KÖRO: Körperliche Rollenfunktion, SCHM: Schmerzen, AGES: Allgemeine Gesundheitswahrnehmung, VITA: Vitalität, SOFU: Soziale Funktionsfähigkeit, EMRO: Emotionale Rollenfunktion, PSYC: Psychisches Wohlbefinden <sup>4</sup>.**

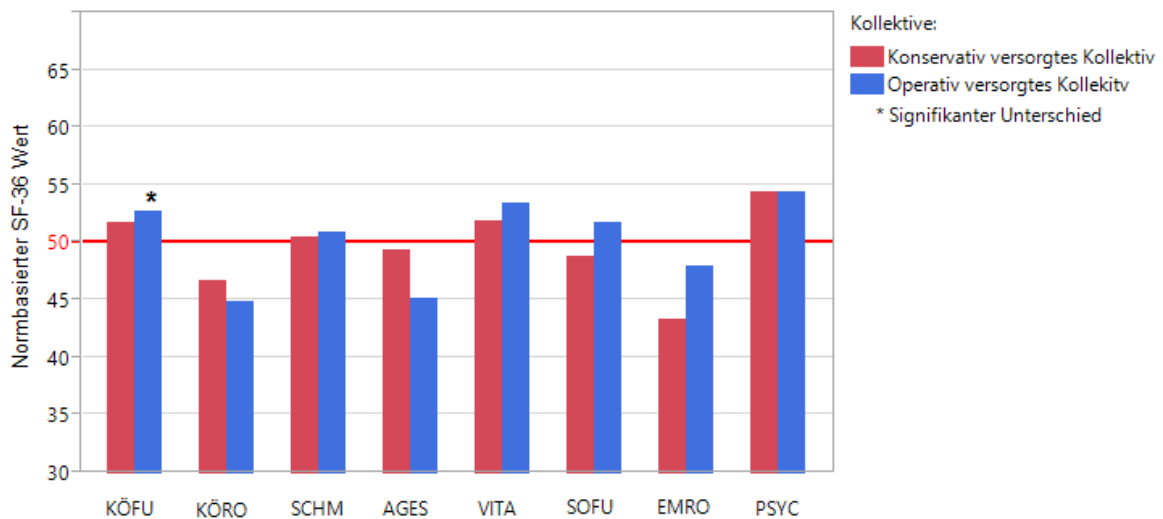
<sup>4</sup> Zur Bedeutung der Dimensionen siehe Kapitel 2.2.2

Mit den Mittelwerten (Tabelle 21) der einzelnen Dimensionen wurde eine einfaktorielle Varianzanalyse durchgeführt, um zu überprüfen, ob zwischen den Kollektiven operativ und konservativ ein signifikanter Unterschied in einzelnen Dimensionen vorhanden ist. Dabei kann in keiner Dimension ein signifikanter Unterschied festgestellt werden, der größte Mittelwertunterschied besteht in der emotionalen Rollenfunktion (Operatives Kollektiv: 85,00±36,63; Konservatives Kollektiv: 73,33±45,77; p=0,105).

<b>MITTELWERT:</b>	<b>Gesamt- kollektiv</b>	<b>Normstich- probe</b>	<b>Operativ. Kollektiv</b>	<b>Kons. Kollektiv</b>
<b>KÖFU (Körperliche Funktionsfähigkeit, 0-100)</b>	90,86	85,71	91,75	89,66
<b>KÖRO (Körperliche Rollenfunktion, 0-100)</b>	70,00	83,70	67,50	73,33
<b>SCHM (Körperliche Schmerzen, 0-100)</b>	81,03	79,08	81,55	80,33
<b>AGES (Allg. Gesundheitswahrnehmung, 0-100)</b>	61,94	68,05	58,40	66,67
<b>VITA (Vitalität, 0-100)</b>	68,43	63,27	69,75	66,67
<b>SOFU (Soziale Funktionsfähigkeit, 0-100)</b>	89,64	88,76	91,88	86,67
<b>EMRO (Emotionale Rollenfunktion, 0-100)</b>	80,00	90,35	85,00	73,33
<b>PSYC (Psychisches Wohlbefinden, 0-100)</b>	81,14	73,88	81,20	81,07
<b>KÖRPERLICHE SUMMENSKALA</b>	48,87	50,21	48,12	49,87
<b>PSYCHISCHE SUMMENSKALA</b>	52,71	51,54	51,54	51,25

**Tabelle 21: Mittelwertangaben auf der transformierten 0-100 Skala für das Gesamtkollektiv, das operativ behandelte Kollektiv und das konservativ versorgte Kollektiv. Zum Vergleich wurden auch die Mittelwerte der Normalbevölkerung angegeben.**

### 3.6.2 Normbasiertes SF-36 Profil



**Abbildung 38:** Auf die gesamtdeutsche Normstichprobe (1994, N=2914) bezogene Daten. Dabei liegt in den einzelnen Dimensionen ein Wert über 50 über dem Wert in der jeweiligen Normstichprobe, ein Wert unter 50 darunter. (KÖFU  $p=0,013^*$ ).

In Abbildung 38 wird das normbasierte SF-36 Profil dargestellt. Dabei wurden die Mittelwerte auf der 0-100 Skala der einzelnen Bewegungsdimensionen durch z-Transformation standardisiert<sup>5</sup>. Ebenfalls wurde der Referenzwert 50 der Normalbevölkerung eingefügt, sodass Werte in den Bewegungsdimensionen, die sich oberhalb der Referenzlinie befinden, höhere Werte als die der Normstichprobe darstellen (KÖFU operativ:  $52,73 \pm 4,48$ / konservativ:  $51,78 \pm 8,57$ ; SCHM operativ  $50,90 \pm 7,38$ / konservativ  $50,46 \pm 10,43$ ; VITA operativ:  $53,50 \pm 14,47$ / konservativ:  $51,84 \pm 17,44$ ; SOFU operativ:  $51,69 \pm 11,72$ ; PSYC operativ:  $54,46 \pm 11,31$ / konservativ  $54,39 \pm 11,28$ ). Die weiteren Werte, welche unterhalb des Referenzwerts von 50 sind, stellen niedrigere Werte dar als der mittlere Referenzwert, welcher aus der Normalbevölkerung ermittelt wurde. Um zu überprüfen, in welchen Dimensionen ein signifikanter Unterschied der z-transformierten Mittelwerte zum Referenzwert von 50 besteht, wurde ein Einstichproben-t-Test durchgeführt, wobei 50 dem Testwert entsprach: Es unterscheidet sich das operative Kollektiv (Mittelwert:  $52,73 \pm 4,48$ ) in seiner körperlichen Funktionsfähigkeit, d.h. in dem Ausmaß, in welchem der aktuelle

<sup>5</sup> Zur genauen Berechnung siehe Kapitel 2.2.2

Gesundheitszustand körperliche Aktivitäten des Alltags beeinflusst, signifikant von der Normstichprobe ( $p=0,013$ ). Die einzelnen Mittelwerte und Standardabweichungen mit Angabe der Signifikanz und des t-Werts sind Tabelle 22 und Tabelle 23 zu entnehmen.

<b>Konservatives Kollektiv</b>	<b>Mittelwert</b>	<b>Standard- abweichung</b>	<b>t-Wert</b>	<b>Signifi- kanz</b>
<b>KÖFU (Körperliche Funktionsfähigkeit, 0-100)</b>	51,78	8,57	0,809	0,432
<b>KÖRO (Körperliche Rollenfunktion, 0-100)</b>	46,73	13,47	0,939	0,364
<b>SCHM (Körperliche Schmerzen, 0-100)</b>	50,46	10,43	0,170	0,867
<b>AGES (Allg. Gesundheitswahrnehmung, 0-100)</b>	49,31	10,40	-0,256	0,802
<b>VITA (Vitalität, 0-100)</b>	51,84	17,44	0,408	0,689
<b>SOFU (Soziale Funktionsfähigkeit, 0-100)</b>	48,86	15,93	-0,277	0,786
<b>EMRO (Emotionale Rollenfunktion, 0-100)</b>	48,86	17,86	-0,144	0,172
<b>PSYC (Psychisches Wohlbefinden, 0-100)</b>	54,39	11,28	1,506	0,154

**Tabelle 22: Normbasierte SF-36 Ergebnisse des konservativen Patientenkollektivs mit Angabe der Signifikanz gegenüber des Referenzwerts von 50 des Normkollektivs. Dabei sind keine signifikanten Unterschiede festzustellen.**

Operatives Kollektiv	Mittelwert	Standardab- weichung	t-Wert	Signifikanz ( $p < 0,05^*$ )
KÖFU (Körperliche Funktionsfähigkeit, 0-100)	52,73	4,48	2,720	0,013*
KÖRO (Körperliche Rollenfunktion, 0-100)	44,89	13,06	1,748	0,097
SCHM (Körperliche Schmerzen, 0-100)	50,90	7,38	0,546	0,591
AGES (Allg. Gesundheitswahrnehmung, 0-100)	45,21	12,37	-1,731	0,100
VITA (Vitalität, 0-100)	53,50	14,47	1,084	0,292
SOFU (Soziale Funktionsfähigkeit, 0-100)	51,69	11,72	0,646	0,526
EMRO (Emotionale Rollenfunktion, 0-100)	47,91	14,30	-0,653	0,522
PSYC (Psychisches Wohlbefinden, 0-100)	54,46	11,31	1,766	0,094

**Tabelle 23: Normbasierte SF-36 Ergebnisse des operativen Patientenkollektivs mit Angabe der Signifikanz gegenüber des Referenzwerts von 50 des Normkollektivs. Hierbei ergibt sich in der Dimension KÖFU ein signifikanter Unterschied gegenüber dem Normkollektiv ( $p=0,013$ ).**

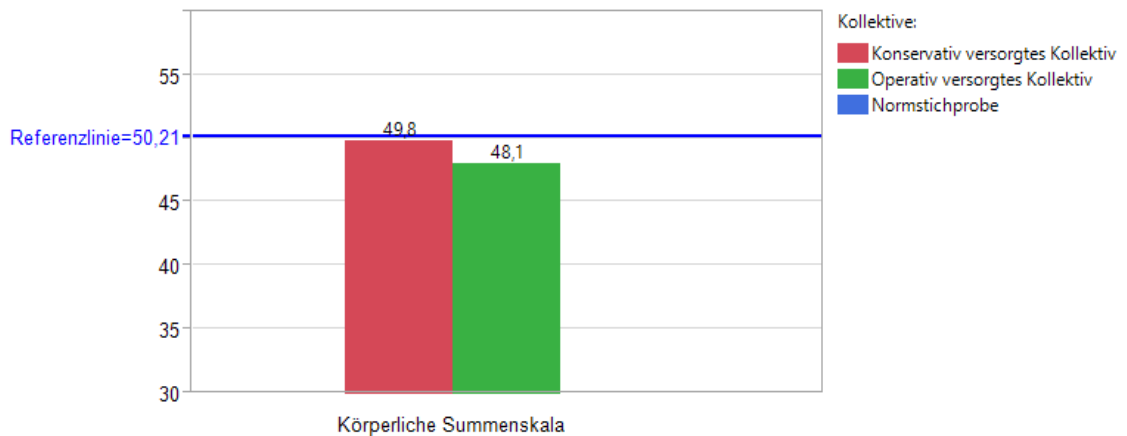
Die körperliche Funktionsfähigkeit (KÖFU) als Dimension beschreibt das Ausmaß, in welchem die Patienten in ihren Alltagsaktivitäten wie Selbstversorgung oder Heben eingeschränkt sind [111]. Dies bedeutet, dass die operativ versorgten Patienten sich gegenüber der Normstichprobe signifikant besser einschätzen, was diese Aktivitäten anbelangt.

### 3.6.3 Körperliche und psychische Summenskala

Betrachtet man nun aber die körperliche Summenskala (Abbildung 39), so scheint hierbei das operative Kollektiv geringere Werte gegenüber der Normpopulation zu haben (Mittelwert:  $48,11 \pm 1,69$ ;  $p=0,225$ ). Dies resultiert daraus, dass die körperliche Summenskala nicht nur stark mit der KÖFU-Skala korreliert, sondern ebenfalls mit der KÖRO- und der SCHM-Skala einhergeht. Dies ergibt den gegenüber dem Normkollektiv verringerten Mittelwert der körperlichen Summenskala des operativ behandelten Kollektivs. Das konservative Kollektiv hingegen hat nahezu identische Werte in der körperlichen Summenskala (Mittelwert  $49,86 \pm 11,79$ ;  $p=0,841$ ) wie die Normstichprobe. Da die in Kapitel 3.6.1 durchgeführte einfaktorielle Varianzanalyse keine signifikanten

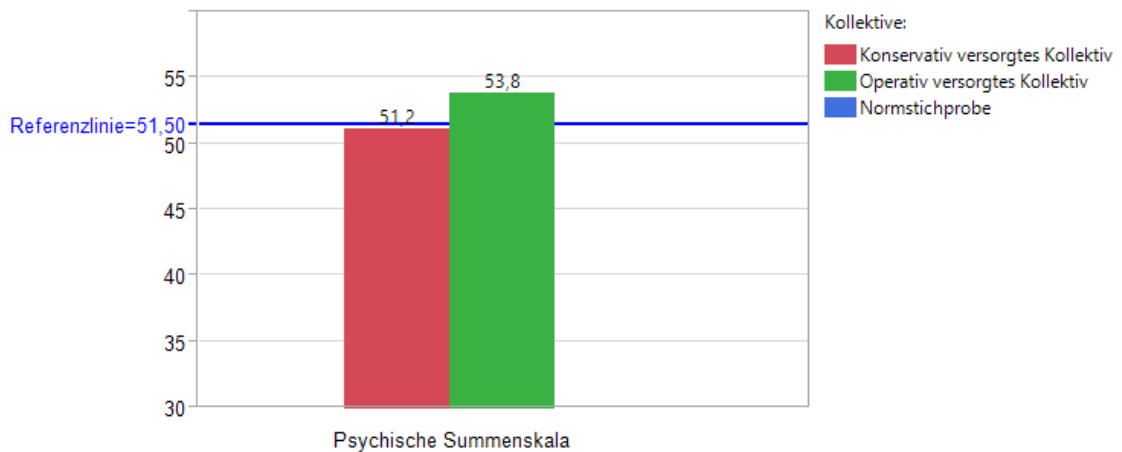


Ergebnisse lieferte, ergab auch ein t-Test der konservativen und operativen Mittelwerte zwischen den Kollektiven wie erwartet keine signifikanten Resultate ( $p=0,515$ ).



**Abbildung 39: Darstellung der Körperlichen Summenskala. Die z-transformierten Werte des konservativen und operativen Kollektivs wurden gegenüber des Referenzwertes von 50,21 der Normstichprobe aufgetragen.**

Abschließend soll anhand der psychischen Summenskala (Abbildung 40) gezeigt werden, dass auch hier keine signifikanten Unterschiede zu erwarten sind. Der Mittelwert des konservativen Kollektivs beträgt  $51,24 \pm 13,87$ , gegenüber der Normstichprobe ist kein signifikanter Unterschied vorhanden ( $p=0,887$ ). Ebenso im operativen Kollektiv: Mittelwert  $53,80 \pm 2,46$ ,  $p=0,117$ . Auch hier ergibt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Kollektiven ( $p=0,422$ ).



**Abbildung 40: Darstellung der psychischen Summenskala. Die z-transformierten Werte des konservativen und operativen Kollektivs wurden gegenüber des Referenzwerts von 51,50 der Normstichprobe aufgetragen.**

Diese Ergebnisse unterstreichen den guten Behandlungserfolg, sowohl im konservativen wie auch im operativen Kollektiv. Auch im Vergleich zur Normalbevölkerung ist die erlebte Funktionsfähigkeit nahezu identisch.

### **3.7 Arbeitsfähigkeit nach einer Densfraktur**

Aufgrund des hohen Durchschnittalters des Patientenkollektivs von 62,8 Jahren im operativen und 58,6 Jahren im konservativen Kollektiv waren zum Unfallzeitpunkt nur wenige Patienten noch beruflich tätig (22,8%). Ein Viertel der noch arbeitstätigen Personen konnte ihren Beruf (in beiden Fällen körperliche Arbeit) nicht mehr ausüben.

Bereits in Rente oder Frührente befindliche Personen wurden nicht nach ihrer beruflichen Arbeitsfähigkeit befragt.

### 3.8 Reliabilität der Messverfahren

#### 3.8.1 Korrelation zwischen Kinn-Jugulum-Abstand und ROM Vor-/Rückbewegung

Um das Messverfahren der klinischen Untersuchung zu überprüfen und auf seine innere Konsistenz zu testen wurde wie folgt vorgegangen: In der Annahme, dass ein hohes Bewegungsausmaß in der Dimension Vor-/ Rückneigung mit einem niedrigen Wert im Kinn-Jugulum-Abstand korreliert, wurde eine bivariate Korrelation durchgeführt. Dies soll dazu dienen, die innere Konsistenz der Untersuchungs-/ Messmethode, welche in vorliegender Studie durch einen Untersucher durchgeführt wurde, zu überprüfen.

	Pearson Korrelationskoeffizient	Signifikanz (1-seitig)
ROM: Vorneigen/ Rückneigen in Zusammenhang mit dem Kinn-Jugulum- Abstand	-0,484	0,002

Tabelle 24: Mittelstarker negativ linearer Zusammenhang zwischen den Werten ROM Vor-/Rückneigen und dem Kinn-Jugulum-Abstand bei hoher Signifikanz ( $p=0,002$ ).

Dabei kann die Vermutung bestätigt werden, dass mit einem hohen ROM Wert in der Dimension Vor-/ Rückneigen ein niedrigerer Wert im Kinn-Jugulum-Abstand einhergeht. Dies zeigt die hohe Signifikanz ( $p=0,002$ ), welche auf einen starken linearen Zusammenhang hindeutet, wie auch Pearsons  $r$  ( $=-0,484$ ), das den negativ linearen Verlauf anzeigt.

#### 3.9 Korrelation zwischen Kinn-Schulter-Abstand und ROM Rotation

Ähnliche Ergebnisse müssten bei einer bivariaten Korrelation zwischen Kinn-Schulter-Abstand und ROM Rotation erreicht werden, denn auch hier ist davon auszugehen, dass ein hoher ROM-Wert im Bewegungsausmaß Rotation mit einem niedrigen Wert im KSA einhergeht, wird doch bei einer Rotation das Kinn zur Schulter geführt. Dazu wurden ähnlich der Methode zur Ermittlung eines ROM-Werts, die KSA-Werte für die linke und rechte Seite zu einem

gemeinsamen KSA-Wert addiert. Diese Werte wurden den Werten der ROM Rotation gegenübergestellt.

	Pearson Korrelationskoeffizient	Signifikanz (1-seitig)
ROM Rotation in Zusammenhang mit dem Kinn-Schulter-Abstand	-0,597	≤0,0001

**Tabelle 25: Mittelstarker bis starker negativ linearer Zusammenhang zwischen den Werten ROM Rotation und dem Kinn-Schulter-Abstand bei sehr hoher Signifikanz ( $p \leq 0,0001$ ).**

Auch hier weist die sehr hohe Signifikanz ( $p \leq 0,0001$ ) auf einen stark linearen Zusammenhang hin, sodass hohe ROM-Werte in der Bewegungsdimension Rotation mit niedrigen Werten im Kinn-Jugulum-Abstand einhergehen (Pearsons  $r = -0,597$ ).

Durch die mittelstarke bis starke Paralleltest-Reliabilität deuten diese Ergebnisse auf eine hohe innere Konsistenz, das heißt das Ausmaß, in dem einzelne Testteile auch wirklich das Gleiche messen, des Messverfahrens hin und ist somit ein valides Verfahren zur Testung der Bewegungsausmaße.

# 4 Diskussion

## 4.1 Epidemiologie

Eine Fraktur des Dens axis ist ein einschneidendes Erlebnis für den Patienten, führt ein „Genickbruch“ bei älteren Patienten doch in 0-42% der Fälle zum Tod [1-3]. Diese hohe Mortalitätsrate ist zwei Faktoren geschuldet, zum einen dem hohen Anteil älterer Patienten mit einer Densfraktur, zum anderen dem Unfallmechanismus, welcher häufig ein Hochrasanztrauma darstellt und somit auch bei jungen Patienten oft zum Tod führt [7-9]. Speziell in einer alternden Gesellschaft wie der unsrigen gewinnt diese Fraktur somit zunehmend an Bedeutung [11, 130]. Aber auch in diesem Bereich der medizinischen Behandlung wurden wegweisende Fortschritte erzielt, wurde doch die Mortalitätsrate von Osgood und Lund im Jahr 1928 [131] noch mit über 50% beziffert. Dabei spielt die Fraktur des Dens axis mit 9-15% Anteil an den Frakturen der Wirbelsäule innerhalb der gesamten Wirbelsäulenverletzungen eine große Rolle [1, 10-12].

Es gibt mehrere Verfahren eine Densfraktur zu therapieren. Hierbei kommen genauso unterschiedliche Orthesen in der konservativen Therapie, wie auch eine Vielzahl verschiedener Operationsmethoden zum Einsatz. Dabei ist insbesondere das Behandlungsverfahren einer Typ II Fraktur nach Anderson und D'Alonzo [13] Bestandteil intensiver Diskussionen in der Literatur, aber auch in der Therapie einer Typ III Fraktur herrscht keine Einigkeit [1, 132-134].

Dazu wurde das Gesamtkollektiv vorliegender Studie nach seiner Behandlungsmethode (konservativ, operativ) unterteilt und das funktionelle Outcome dieser beiden Gruppen beurteilt. Dieses wurde anhand eines allgemeinen, selbst erstellten Fragebogens, einer klinischen Untersuchung mit Ermittlung der ROM Bewegungsausmaße<sup>6</sup>, des SF-36 Fragebogens wie auch anhand einer radiologischen Untersuchung erhoben.

Dabei ist das Durchschnittsalter des vorliegenden Kollektivs bei 61,0±17,4 Jahren und somit ähnlich den Werten vergleichbarer Studien (Spannweite der

---

<sup>6</sup> Zur Berechnung der ROM Werte, s. Kapitel 2.2.3

Durchschnittsalter von 42 Jahren bei Chang et al. [103] (N=12) über 54 Jahre bei Platzer et al. [128] (N=110) und Borne et al. [135], 58 Jahre bei Geisler et al. [100] (N=9), bis hin zu 71 Jahre bei Platzer et al. [20] (N=48)). Dabei ist allerdings das konservative Kollektiv meist älter als das operativ behandelte [136]. Bei vorliegender Studie sind die Werte jedoch umgekehrt verteilt, hier ist das operative Kollektiv im Mittel älter (62,8 Jahre) als das Konservative (58,6 Jahre). Eine mögliche Erklärung für das erhöhte Durchschnittsalter könnte sein, dass mittlerweile bekannt ist, dass ein höheres Patientenalter (>65 Jahre) ein Risikofaktor für die Entstehung einer Pseudarthrose darstellt [8, 15, 20], sodass die älteren Patienten im Versuch der Vermeidung einer solchen Komplikation der operativen Therapie zugeführt werden.

Das Gesamtkollektiv teilt sich im Verhältnis von 57% zu 43% zu Gunsten der operativ behandelten auf und ist somit für statistische Testverfahren geeignet.

Der Zeitraum der Nachuntersuchung betrug im Mittel  $5,64 \pm 2,88$  Jahre und dient somit, bei nur wenig vergleichbaren Studien, mit einer Spannweite von 1,5-11 Jahren der Erfassung von Langzeitverläufen.

Die verschiedenen Unfallursachen decken sich in ihrer Häufigkeit mit denen anderer Studien, wenn man Verkehrsunfälle und Stürze als Hochrasanztraumata ansieht (62,9%). So waren in einer Untersuchung von Apfelbaum et al. (N=147) [129] in 89,7%, bei Platzer et al. (N=110) [128] 55,4% und bei Platzer et al. (N=48) [20] in 77,0% der Unfallursachen Hochrasanztraumata ursächlich. Dabei waren immer Stürze und Verkehrsunfälle an vorderster Stelle zu nennen.

Damit liegt ein Gesamtkollektiv von Patienten mit einer Densfraktur vom Typ II/III vor, welches sowohl in seiner Altersstruktur, wie auch im Unfallmechanismus und der Zuteilung zur operativen/ konservativen Therapie mit anderen Studienkollektiven ähnlicher Arbeiten vergleichbar ist.

## 4.2 Bewegungsausmaß

In einer Metaanalyse von 16 Studien (N=518) [1] zur Evaluation der besten operativen Behandlungsmethoden bei Typ II Frakturen zeigte sich, dass bisher keine quantitativen Daten zum Bewegungsausmaß (ROM) vorlagen. Chang et al. [103], Platzer et al. [20] und Mashhadinezhad et al. [137] erwähnen in ihren Arbeiten ein Vorliegen einer vollen Beweglichkeit in 87% [137], 73% [20] und 23,8% [103] der Fälle, wobei hier keine genaueren Werte aufgeführt werden. Song et al. [138] (N=16) berichten von einer vollen Beweglichkeit in 75% und einer Beeinträchtigung von <25% in 18,75% der Fälle. Butler et al. [139] geben an, dass Patienten über 60 Jahre, welche mit einem Halofixateur behandelt wurden, Einschränkungen im Bewegungsausmaß haben.

Es liegen damit in der Literatur nur wenige Daten zur genauen Beschreibung des Bewegungszustandes nach einer Densfraktur vor. Daher wurde in der vorliegenden Studie anhand des Messblatt Wirbelsäule der DGUV die Bewegungsdimensionen Rotation, Vor-/ Rückneigen und Seitneigen, sowie der Kinn-Jugulum- und der Schulter-Kinn-Abstand erhoben. Zum normalen Bewegungsausmaß in den Dimensionen Rotation, Seitneigen und Vor-/ Rückneigen fehlen in der operativen Gruppe 28,9%, in der konservativen Gruppe 16,0%. Die Spannweite reicht dabei von 5% Minderung (Vor-/ Rückneigen) in der konservativ behandelten Gruppe, bis zu einem durchschnittlichen Defizit von 36,2% in der operativen Gruppe (Rotation) im Verhältnis zum 100%-Wert der Normpopulation. Es erreichen nur sechs Patienten (17,1%) (vier im konservativen Kollektiv, zwei im operativen) in allen drei Dimensionen 100%-Werte. Betrachtet man die Ermittlung des 100%-Werts, wobei bei einem Wertebereich von 60-80 Grad, welcher von der DGUV in der Dimension Rotation als normal betrachtet wird, der untere der beiden Werte als 100%-Wert angesetzt wurde, so sind die ermittelten Werte eher überschätzt, da sich der 100%-Wert im unteren Randbereich der Normalwerte befindet. Hätte man aber den Mittelwert der beiden Extremwerte, hier z.B. ein ROM-Wert Rotation von 140 Grad (120; 160 Grad) als Normwert festgesetzt, dann wären die Werte unterhalb 140 Grad als pathologisch eingestuft worden, obwohl sie nach dem Messblatt der DGUV noch als physiologisch gegolten hätten.



Ein Vergleich der ROM-Werte der beiden Kollektive konservativ und operativ ergab keine signifikanten Unterschiede, jedoch eine Tendenz hin zu niedrigeren Mittelwerten im operativen Kollektiv. Aufgrund der kleinen Unterschiede zwischen den Gruppen und einem vorliegenden Gesamtkollektiv von 35 Patienten ist es statistisch schwierig, signifikante Unterschiede aufzuweisen. Betrachtet man das jetzige Kollektiv als Pilotstudie und führt aufgrund dieser Daten eine Fallzahlschätzung für eine prospektive Anschlussstudie durch, so ergibt sich eine Mindestpatientenzahl von 310 für den Nachweis signifikanter Unterschiede. Diese hohe Zahl zeigt die in Anbetracht der Verletzungshäufigkeit großen Schwierigkeiten, die beim Design prospektiver Studien zu den in dieser Arbeit untersuchten Fragestellungen bestehen. Als Alternative könnten weitere Metastudien wie die von Denaro et al. [1] durchgeführt werden, um so eine möglichst hohe Anzahl an Probanden auszuwerten.

Als Einflussvariable auf die Bewegungsfähigkeit kann das Alter ( $p < 0,05$ ;  $r < -0,4$ ) angeführt werden. Das heißt mit zunehmendem Alter geht ein vermindertes Bewegungsausmaß einher. Die Tragedauer einer Zervikalstütze scheint keinen Einfluss auf die Bewegungsfähigkeit zu nehmen, ebenso wenig wie eine vorhandene Dislokation. Liegt eine Angulation vor, so sind bei diesen Patienten verminderte Mittelwerte in den Bewegungsumfängen ersichtlich. Dies resultiert aus der veränderten Gelenkmechanik bei angulierter Densstellung, v.a. in den lateralen atlantodentalen Gelenken.

Es zeigen sich tendenziell verminderte Mittelwerte in allen ROM Dimensionen bei vorhandener Pseudarthrose. Dies ist im Zusammenhang mit den signifikant erhöhten Werten in der Schmerzskala der Patienten mit Pseudarthrose zu sehen. Durch die verstärkten Schmerzen kann es zu einer Bewegungsvermeidung kommen, die sich dann aufgrund von Kapselschrumpfung oder Bandverkürzung chronifiziert.

Eine Regressionsanalyse ergab, dass zu 51,2% der Varianzanteil im Bereich Rotation von den unabhängigen Variablen Schmerz und Alter abhängt.

### 4.3 Schmerzangabe

Die durchschnittliche Schmerzangabe auf der Visuellen Analogskala für Nacken-/Kopfschmerzen lag bei  $13,88 \pm 21,56$  (0 – 74) Punkten. Dabei waren 62,85% der Patienten komplett schmerzfrei. Es liegen keine signifikanten Unterschiede ( $p=0,731$ ) zwischen den Kollektiven konservativ ( $16,66 \pm 25,00$ ) und operativ ( $11,80 \pm 19,00$ ) vor. Die Angabe erfolgte im Durchschnitt  $67,68 \pm 34,56$  Monate (Spannweite 18 – 133,2 Monate) nach dem Unfallzeitpunkt. In vielen Arbeiten ist auf die Erhebung des Schmerzzustandes nach der Behandlung verzichtet worden [20, 100, 103, 104, 107, 128, 129, 140]. Butler [139] benutzte in seiner Arbeit den „Cervical Spine Outcomes Questionnaire“ um die Schmerzangabe zu quantifizieren. Dabei unterscheidet sich dieser Fragebogen hinsichtlich der Validität und somit auch der Reliabilität nicht vom in vorliegender Studie eingesetztem SF-36 Fragebogen [109]. Butler [139] (N=66) gibt die Schmerzangabe im konservativen Kollektiv mit  $24,67 (\pm 19,25)$  an, bei einem Nachuntersuchungszeitraum von 66 Monaten. Dabei erreichen die mit einer Zervikalstütze behandelten Patienten (N=6, Mittelwert 21,91) bessere Werte, als die Patienten, welche mit einem Halofixateur versorgt wurden (N=44, Mittelwert 23,70). Eine mittlere Schmerzangabe von 10,5% in einem operativen Kollektiv geben Berlemann und Schwarzenbach [141] (N=19) an, Crockard et al. [142] nennen eine durchschnittliche Angabe im operativen Kollektiv von 26,7%. Es liegt kein signifikanter Unterschied ( $p=0,173$ ) zwischen den mittleren Schmerzangaben in dem in dieser Studie untersuchten Kollektiv und den konservativ behandelten Probanden von Butler [139] vor. Aufgrund mangelnder Angaben der operativen Studien können hierbei keine signifikanten Unterschiede berechnet werden. Aber auch hier liegen die Mittelwerte eng bei den Werten des vorliegenden Kollektivs.

Insgesamt kann somit von einer niedrigen Schmerzangabe sowohl im konservativen wie auch im operativen Kollektiv 67 Monate (Mittelwert) nach dem Unfallzeitpunkt gesprochen werden, die so auch in anderen vergleichbaren Studien auftritt.

#### 4.4 Dislokation, Angulation und Pseudarthrose

Dislokationen und Angulationen des Dens axis stellen eine ernst zu nehmende Komplikation dar, liegt doch der Dens in der unmittelbaren Nähe des Rückenmarks und Atemzentrums.

Insgesamt traten in 11,2% der Fälle Dislokationen auf, wovon 75% in die Gruppe der konservativ behandelten Patienten fallen. Ab 5 mm (Clarke et al. [54]), 6 mm (Greene et al. [98]), 7 mm (Schatzker et al. [99]) Dislokation besteht ein erhöhtes Risiko einer Pseudarthrose. In unserem Kollektiv wiesen alle Patienten eine Dislokation > 5 mm auf.

Bei allen vier Patienten mit Dislokation in dieser Studie betrug diese >5 mm. Es zeigte sich jedoch nur eine Pseudarthrose. Die anderen drei Patienten waren in der Dislokationsstellung knöchern konsolidiert.

Ab einer Verkippung von 10 Grad [54] wird von einer Angulation gesprochen und so die Wahrscheinlichkeit einer unzureichenden knöchernen Konsolidierung erhöht. Das Vorkommen von Angulationen beträgt im vorliegenden Patientenkollektiv 37,1%, wobei davon 53,8% dem operativen Kollektiv und 46,2% dem Konservativen zuzuordnen sind. Auch die Richtung der Dislokation kann in 53,8% der Fälle nach dorsal und in 46,2% nach ventral angegeben werden.

Im Kollektiv der Patienten mit Angulation wiesen 7 von 13 Patienten eine Pseudarthrose auf, sodass auch in unserem Kollektiv die Angulation mit einer erhöhten Pseudarthroserate einherging.

Mit einer Pseudarthroserate des Gesamtkollektivs von ebenfalls 37,1% (konservativ 53,8%; operativ 46,2%) decken sich die Daten mit denen der Literatur, welche eine höhere Pseudarthroserate bei konservativer Therapie angeben:<sup>7</sup> 8,5% bei Schweigel [16] bis 47,5% bei Dunn et al. [15]. Des Weiteren: 28% bei Hadley et al. (N=59) [17], 12% bei Govender und Grootboom (N=42) [18], 43% bei De Morgues et al. (N=35) [19].

Untersucht man den Einfluss der Pseudarthrose auf die Bewegungsfähigkeit, so zeigen sich tendenziell erhöhte Werte in den Bereichen ROM Rotation, ROM

---

<sup>7</sup> Zum Vergleich der Pseudarthroserate bei operativer Therapie s. Kapitel 4.5

Seitneigen und ROM Vor- / Rückneigen wenn keine Pseudarthrose vorliegt. Dasselbe erweist sich, wenn man den Einfluss einer Angulation auf die Bewegungsfähigkeit betrachtet; Auch hier wirkt sich eine Angulation negativ auf das Bewegungsmaß aus. Diese Befunde wurden oben bereits diskutiert.

Schwerwiegende Komplikationen konnten nur bei einem konservativ behandelten Patienten mit einem nach dorsal angulierten Dens axis festgestellt werden. Dieser Patient entwickelte eine inkomplette Tetraplegie. Daraus resultiert eine Komplikationsrate schwerwiegender Komplikationen von 2,9%, welche somit unter dem Wert vergleichbarer Studien liegt. Diese bewegt sich zwischen 6,2% bei Crockard et al. [142] und 33,9% bei Platzer et al. [20], was Denaro 2011 [1] in seiner Metastudie darstellte.

## 4.5 Ergebnisse der verschiedenen Operationsmethoden

Die Ergebnisse verschiedener Operationsmethoden wurden in einer Vielzahl von Studien mit unterschiedlichem Design untersucht<sup>8</sup>. In vorliegender Arbeit wurde die Unterteilung in eine operative Versorgung von ventral (N=12), von dorsal (N=6) und von dorso-ventral (N=2) vorgenommen (s. hierzu auch Kapitel 3.1, Abbildung 26), wobei sich keine signifikanten Unterschiede in den Bereichen ROM Rotation, ROM Seitneigen und ROM Vor-/ Rückneigen zwischen den Kollektiven dorsal und ventral ergeben. Auf einen Vergleich mit dem von dorso-ventral versorgten Kollektiv wurde aufgrund der geringen Fallzahl von N=2 verzichtet. Tscherne et al. [49] erreichten in einem Vergleich zwischen den beiden Kollektiven signifikante Mittelwertunterschiede zu Gunsten des von ventral behandelten Kollektivs. Auch Rizvi et al. [143] (N=97) konnten in ihrer Arbeit über die chirurgische Versorgung von Densfrakturen ein höheres Bewegungsmaß der von ventral versorgten Patienten feststellen. Diese Tendenz zeigt sich auch in der vorliegenden Arbeit, allerdings ohne signifikant unterschiedliche Werte aufweisen zu können.

Auch hinsichtlich der Schmerzangabe auf der VAS-Skala gibt es keine signifikanten Unterschiede bezüglich der gewählten Operationsmethode. Dies deckt sich mit den Ergebnissen von Rizvi [143].

Da eine Operationsmethode auch immer an ihren Komplikationen gemessen werden muss, wurden die typischen Komplikationen wie Dislokationen, Angulationen und Pseudarthrosen radiologisch erfasst und verglichen. Es stellten sich in keinem der Bereiche signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der verschiedenen Operationsmethoden dar. Omeis et al. [144] hingegen stellten eine höhere Pseudarthroserate bei den Patienten, welche von dorsal versorgt wurden, fest. Die in der Literatur angegebene Pseudarthroserate bei operativer Behandlung von 0% in Untersuchungen von Geisler et al. [100], Jeanneret et al. [101], Hrabalek et al. [102] und Chang et al. [103] über 12-15% bei Aebi et al. [104], Tscherne [49], Montesano et al. [105], Gaudernak und Schultz [106] bis 20% bei Fujii et al. [107] ist dabei niedriger als die Pseudarthroserate von 30,0%

---

<sup>8</sup> Zur Übersicht über die verschiedenen Operationstechniken s. Kapitel 1.6.2

aller operativ behandelten Patienten in vorliegender Studie. Aufgrund der geringen Fallzahl der vorliegenden Studie ist ein aussagekräftiger Vergleich mit den oben genannten Untersuchungen nicht sinnvoll.

Die perioperative Mortalität erstreckt sich in der Literatur von 3,7% bei Borm et al. [145], über 4% bei Platzer et al. [128], 4,3% bei Etter et al. [146], 5,9% bei Aebi et al. [104], 6% bei Apfelbaum et al. [129] bis hin zu 22,2% bei Borne et al. [135] und 28,6% bei Campanelli et al. [147]. Die Betrachtung des perioperativen Verlaufs aus der Aktenlage ergab, dass in unserem Kollektiv während der stationären Behandlung und im Zeitraum der ambulanten Nachuntersuchungen kein Patient verstarb. Bei den vier Patienten, die zwischen Operation und Studienbeginn verstorben sind, konnte der Todeszeitpunkt nicht festgestellt werden. Insbesondere bei den älteren Patienten werden in der Literatur hauptsächlich vorbestehende, schwere Allgemeinerkrankungen als Todesursache angegeben [148]. In unserem Kollektiv wurde bei diesen Patienten in der Regel konservativ behandelt, was zu der niedrigen Mortalität beigetragen hat.

## 4.6 SF-36 Fragebogen

Der SF-36 Fragebogen zur Erfassung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität [110] zeigt im normbasierten Profil, dass keine signifikanten Unterschiede bezüglich des konservativen / operativen Kollektivs der verschiedenen Dimensionen gegenüber dem Kollektiv der Normstichprobe von 1994 vorhanden sind, außer im Bereich Körperliche Funktionsfähigkeit des operativ behandelten Kollektivs (Mittelwert:  $52,73 \pm 4,48$ ;  $p=0,013$ ). Erstaunlich hierbei ist der signifikant höhere Wert gegenüber der gesunden Vergleichsgruppe, da man zunächst nicht annehmen würde, dass Patienten mit einer solch schweren Verletzung sich im Bereich der körperlichen Funktionsfähigkeit höher einstufen als eine gesunde Person. Die Körperliche Funktionsfähigkeit wird im SF-36 Fragebogen wie folgt angegeben: „Das Ausmaß, in dem der aktuelle Gesundheitszustand körperliche Aktivitäten wie Selbstversorgung, Gehen, Treppensteigen, Bücken, Heben und mittelschwere oder anstrengende Fähigkeiten beeinträchtigt.“ [111]. Im Widerspruch zu der höher angegebenen Körperlichen Funktionsfähigkeit scheint aber die gegenüber den Normwerten eines Gesunden geringer eingestufte Bewegungsfähigkeit in den Bereichen Rotation, Seitneigen und Vor-/ Rückneigen (s. Kapitel 3.2, Tabelle 11) des operativen wie auch des konservativen Kollektivs. Dabei ist zu beachten, dass die Items, welche in die Körperliche Funktionsfähigkeit eingehen, auch Fragen nach dem Bewältigen eines Treppenabsatzes oder einer Strecke größer 1 km beinhalten, welche durch eine ausgeheilte Densfraktur nur bedingt beeinflusst werden. Hinzu kommt, dass einige Patienten eine große Dankbarkeit empfinden, eine lebensbedrohliche Verletzung überlebt zu haben, und so eventuell andere Schwerpunkte bezüglich der subjektiven Bewertung ihrer Lebensqualität setzen. Hierfür spricht eben auch die Differenz zwischen den gegenüber der Normpopulation besseren, subjektiv angegebenen Ergebnissen des SF-36 Fragebogens und den der gegenüber schlechteren, objektiven Ergebnissen der körperlichen Untersuchung hinsichtlich der Körperlichen Funktionsfähigkeit.

Betrachtet man die körperliche Summenskala (s. Kapitel 3.6.3, Abbildung 39), in welche alle auf die körperliche Gesundheit bezogenen Items eingehen, erkennt

man aber doch sowohl im konservativen wie auch im operativen Kollektiv wie erwartet einen Wert unterhalb der Referenzgruppe.

Durch diese Diskrepanz zwischen subjektiver Wahrnehmung und tatsächlicher, objektiver Messung, leitet sich die Vermutung ab, dass sich die operativ behandelten Patienten körperlich stärker fühlen, als sie tatsächlich sind.

Des Weiteren zeigt sich, dass im normbasierten Profil des SF-36 Fragebogens in den Dimensionen Vitalität und Psychisches Wohlbefinden sowohl im konservativen wie auch im operativen Kollektiv höhere Werte als in der Normpopulation angegeben werden. Diese zwei Dimensionen, welche in die psychische Summenskala eingehen, zeigen die hohe subjektiv empfundene Zufriedenheit und Vitalität und spiegeln auch dadurch die „positive Gestimmtheit“ über das Überleben eines solchen Schicksalsschlags wider: Meinten im Gespräch doch auch einige Patienten, sie fühlten sich nun „psychisch stärker“ oder feierten einen „zweiten Geburtstag“.

Fasst man nun alle psychisch gewerteten Items zusammen, ergibt sich die Psychische Summenskala (s. Kapitel 3.6.3, Abbildung 40), wobei sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Kollektiven und der Normstichprobe zeigt. Dennoch weist das operative Kollektiv (Mittelwert: 53,8) einen höheren Wert und das konservative Kollektiv einen niedrigeren Wert (Mittelwert: 51,2) als die Normstichprobe (51,5) auf. Somit erfreuen sich vor allem diejenigen Patienten, welche eine aktive Manipulation mittels Operation erfahren haben, im Nachhinein einer besseren psychischen Gesundheit.



## **4.7 Soziale Aspekte**

Die Auswirkungen einer Densfraktur hinsichtlich der psychischen wie körperlichen Funktionsfähigkeit wurden bereits durch den SF-36 Fragebogen erfasst. Des Weiteren müssen aber auch die sozialen Auswirkungen einer solch schwerwiegenden Verletzung berücksichtigt werden. Als guter Indikator für eine gelungene Wiederherstellung der Patienten gilt die Arbeitsfähigkeit.

In vorliegendem Patientenkollektiv waren aufgrund des hohen durchschnittlichen Patientenalters nur wenige Patienten zum Zeitpunkt des Unfallereignisses beruflich aktiv (22,8%), die große Mehrheit war bereits berentet. Bei diesen bereits in Rente befindlichen Patienten konnte somit die berufliche Arbeitsfähigkeit nicht erhoben werden. Die körperliche und psychische Funktionsfähigkeit wurde jedoch mittels des SF-36 Fragebogens erhoben.

## 5 Zusammenfassung

Eine Fraktur des Dens axis stellt mit einem Anteil von 9-15% [1, 10-12] einen wichtigen Teil der gesamten Wirbelsäulenverletzungen dar. Speziell ältere Personen erleiden nach Stürzen häufig Verletzungen im Bereich der Halswirbelsäule. Diese Verletzungen betreffen überwiegend die obere Halswirbelsäule [4, 5, 12, 44, 46, 148, 149]. Besonders eine Densfraktur kann weitreichende Folgen haben, können doch bei einer Mortalität von 0-42% [1-6] auch schwerwiegende neurologische Komplikationen bis hin zum Atemstillstand auftreten. Umso wichtiger erscheint daher die adäquate Versorgung einer Fraktur des Dens axis, ist diese doch maßgeblich für das funktionelle Outcome einer solch schweren Verletzung verantwortlich. Während bei der Therapie einer Typ I und Typ III Verletzung nach Anderson und D'Alonzo [13] ein weitgehender Konsens besteht - wobei aber auch in der Therapie einer Typ III Fraktur keine absolute Einigkeit herrscht - ist die Versorgung einer Typ II Fraktur Bestandteil intensiver Diskussionen.

Um das funktionelle Outcome von C2-Frakturen nach konservativer und operativer Therapie zu beurteilen, wurden alle im Zeitraum von 2001-2013 in der BG Unfallklinik Tübingen behandelten Patienten, welche aufgrund einer Typ II / III Fraktur behandelt wurden, zu einer Nachuntersuchung eingeladen. Von den 113 Patienten, die gemäß der festgelegten Kriterien in die Studie eingeschlossen werden konnten, konnten 35 Patienten nachuntersucht werden, wobei 15 konservativ und 20 operativ behandelt wurden. Das Durchschnittsalter betrug  $61,0 \pm 17,4$  Jahre, der Anteil der männlichen Patienten stellte sich mit 65,7% gegenüber 34,3% weiblichen Studienteilnehmern dar. Es wurde eine körperliche Untersuchung mit Erfassung der Bewegungsgrade durchgeführt und anhand des SF-36 Fragebogens das subjektive Gesundheitsbefinden abgefragt. Bei klinischer Indikation wurden zusätzlich Röntgenbilder im seitlichen Strahlengang angefertigt.

Im Bereich der Bewegungsgrade zeigen sich weder signifikante Unterschiede im Bewegungsgrad Vorneigen / Rückneigen ( $p=0,731$ ), Seitneigen links / rechts ( $p=0,746$ ) noch in der Rotation links / rechts ( $p=0,155$ ) zwischen den

konservativen und operativen Kollektiven. Der Kinn-Jugulum Abstand zeigt im Mittel ebenfalls keinen signifikanten Unterschied ( $p=0,086$ ), ebenso wenig wie der Kinn-Schulterhöhenabstand ( $p=0,344$ ). Die mittlere Schmerzangabe auf der visuellen Analogskala aller Patienten beträgt  $13,88 \pm 21,56$  (0 – 74) Punkte. 62,85% (N=22) der Patienten sind zum Untersuchungszeitpunkt komplett schmerzfrei und geben den Wert 0 an. Dabei zeigt sich kein signifikanter Unterschied ( $p=0,730$ ) zwischen dem konservativen ( $16,66 \pm 25,00$ ) und operativen Kollektiv ( $11,80 \pm 19,00$ ).

Insgesamt traten in 11,2% der Fälle Dislokationen auf. Diese waren in der konservativ behandelten Gruppe deutlich häufiger. Hingegen kamen Angulationen häufiger beim operativen Kollektiv vor.

Die Rate an Pseudarthrosen des Dens axis betrug 37,1%. Im konservativen Kollektiv traten Pseudarthrosen tendenziell häufiger auf als nach Operation (46,7% zu 30,0%). Betrachtet man die Auswirkung der Pseudarthrose auf die Bewegungsfähigkeit, sind die Unterschiede der Mittelwerte der Bewegungsgrade nicht signifikant: ROM Rotation ( $p=0,098$ ), ROM Seitneigen ( $p=0,767$ ) und ROM Vor-/ Rückneigen ( $p=0,526$ ).

Die Auswertung des SF-36 Fragebogens zeigt in der körperlichen Summenskala verminderte z-transformierte Werte sowohl des operativen wie auch des konservativen Kollektivs gegenüber der Normstichprobe von 1994 an. Ein t-Test der konservativen und operativen Mittelwerte zwischen den Kollektiven ergibt keine signifikanten Resultate ( $p=0,515$ ). Auch in der psychischen Summenskala ergibt sich zwischen den Kollektiven kein signifikanter Unterschied ( $p=0,422$ ), jedoch liegt der Wert des operativ behandelten Kollektivs (53,8) oberhalb des Referenzwerts von 51,5 der Normpopulation.

Die Limitationen der Studie liegen hauptsächlich in der hohen Zahl an Drop Outs und der dadurch bedingten relativ geringen Anzahl der nachuntersuchten Patienten. Aufgrund der zahlreichen Einflussfaktoren auf das Outcome der Behandlung konnten somit zwischen dem operativen und dem konservativen Kollektiv keine signifikanten Unterschiede dargestellt werden. Es zeigte sich jedoch, dass auch im Langzeitverlauf eine Pseudarthrose des Dens axis nur zu einem geringgradig schlechteren Outcome führt. Gerade in der Diskussion um

die Operationsindikation bei den in zunehmender Häufigkeit auftretenden Patienten mit Densfraktur im hohen Alter, kann dies als Hinweis dafür gewertet werden, dass bei einer stabilen Pseudarthrose ohne neurologische Defizite auch eine konservative Behandlung gerechtfertigt ist.

# 6 Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: MUSKELN, WELCHE ZUR REKLINATION DES KOPFES BEITRAGEN. ....	12
TABELLE 2: MUSKELN, WELCHE AN DER INKLINATION DES KOPFES BETEILIGT SIND. ....	13
TABELLE 3: DARSTELLUNG DER FÜR DIE SEITNEIGUNG BENÖTIGTEN MUSKELN. ....	13
TABELLE 4: MUSKELN DER IPSILATERALEN UND KONTRALATERALEN SEITE, DIE AN DER ROTATION DES KOPFES MITWIRKEN. ....	14
TABELLE 5: SPINAL INJURY ASSOCIATION CLASSIFICATION OF SPINAL CORD INJURY ALS MESSINSTRUMENT ZUR KLASSIFIKATION EINER NEUROLOGISCHEN LÄSION, AUS MARINO ET AL., 2003 [42]. ....	17
TABELLE 6: EINTEILUNG DER DENSFRAKTUREN IN DER KLASSIFIKATION NACH ANDERSON UND D´ALONZO [13]. ....	19
TABELLE 7: EINTEILUNG DER VERSCHIEDENEN UNFALLMECHANISMEN ....	52
TABELLE 8: BESCHREIBUNG DER DIMENSIONEN DES SF-36 FRAGEBOGENS MIT ANGABE DER ITEMANZAHL, AUS BULLINGER UND KIRCHBERGER, 1998 [111]. ....	56
TABELLE 9: ANGABEN DER VERSCHIEDENEN VARIABLEN FÜR DIE KONSERVATIVE GRUPPE UND DIE OPERATIVE GRUPPE FÜR DAS LEBENSALTER IN JAHREN. ....	65
TABELLE 10: ANGABE DER GEWÄHLTEN BEHANDLUNGSMETHODE (OPERATIV/ KONSERVATIV) BEI DEN VERSCHIEDENEN FRAKTURTYPEN NACH ANDERSON UND D´ALONZO, N=35. ....	67
TABELLE 11: VERGLEICH DES BEWEGUNGSMAßES DER KONSERVATIVEN MIT DER OPERATIVEN GRUPPE ANHAND DES MITTELWERTS, STANDARDABWEICHUNG UND T-TESTS AUF SIGNIFIKANTE UNTERSCHIEDE. ....	69
TABELLE 12: ZUR DARSTELLUNG DER DIFFERENZ ZWISCHEN SOLLWERT UND MITTELWERT DES JEWEILIGEN BEWEGUNGSMAßES. ....	71
TABELLE 13: DARSTELLUNG VON MITTELWERT, STANDARDABWEICHUNG UND MIN./ MAX. DER ROM-BEWEGUNGSDIMENSIONEN IN GRAD. ALS KOLLEKTIV DIENT DAS VON VENTRAL OPERATIV VERSORGTE PATIENTENGUT. DIE FARBE DES MITTELWERTS GIBT AN, OB DER WERT ÜBER (=GRÜN) ODER UNTERHALB (=ROT) DES VERGLEICHBAREN MITTELWERTS DES KONSERVATIVEN KOLLEKTIVS LIEGT. ....	73
TABELLE 14: ANGABE DES PEARSON´SCHEN KORRELATIONSKOEFFIZIENTEN UND DER SIGNIFIKANZ BEI BIVARIATER KORRELATION VON PATIENTENALTER UND DEN VERSCHIEDENEN ROM-MITTELWERTEN. *SIGNIFIKANTER UNTERSCHIED. ....	74
TABELLE 15: EINFLUSS VON VORHANDENER / NICHT VORHANDENER DISLOKATION BEZIEHUNGSWEISE ANGULATION AUF DIE BEWEGUNGSFÄHIGKEIT. DAZU WURDEN DIE ROM-MITTELWERTE DER JEWEILIGEN BEWEGUNGSDIMENSIONEN GEGENÜBER GESTELLT UND AUF SIGNIFIKANZ GEPRÜFT. DABEI WEIST KEINE BEWEGUNGSDIMENSION IN BEZUG AUF DAS VORHANDENSEIN EINER DISLOKATION/ ANGULATION EINEN SIGNIFIKANTEN UNTERSCHIED AUF. ....	77

TABELLE 16: VERGLEICH DER MITTELWERTE DER VAS BEI VORHANDENER UND NICHT VORHANDENER PSEUDARTHROSE, DISLOKATION UND ANGULATION. EINZIG ZWISCHEN DEN VAS WERTEN BEI VORLIEGENDER/ NICHT VORLIEGENDER PSEUDARTHROSE ZEIGT SICH EIN SIGNIFIKANTER MITTELWERTSUNTERSCHIED (P=0,047*).	80
TABELLE 17: AUFTEILUNG DER ANGULATIONEN INSGESAMT UND DER ANGULATIONEN NACH DORSAL/ VENTRAL AUF DAS OPERATIVE UND KONSERVATIVE KOLLEKTIV.	83
TABELLE 18: ANGABE DER HÄUFIGKEITEN EINER PSEUDARTHROSE IM OPERATIVEN UND KONSERVATIVEN KOLLEKTIV.	84
TABELLE 19: ANGABE DES MITTELWERTS, STANDARDABWEICHUNG, SIGNIFIKANZ UND T-WERTS DER ROM BEWEGUNGSDIMENSIONEN IN ABHÄNGIGKEIT DER KOLLEKTIVE VENTRALE UND DORSALE OP-TECHNIK.	86
TABELLE 20: ANGABE VON MITTELWERT, STANDARDABWEICHUNG, SIGNIFIKANZ UND T-WERT DER DURCHSCHNITTLICHEN SCHMERZANGABE AUF DER VAS BEZÜGLICH DES VON VENTRAL UND VON DORSAL OPERIERTEN KOLLEKTIVS	87
TABELLE 21: MITTELWERTANGABEN AUF DER TRANSFORMIERTEN 0-100 SKALA FÜR DAS GESAMTKOLLEKTIV, DAS OPERATIV BEHANDELTE KOLLEKTIV UND DAS KONSERVATIV VERSORGTE KOLLEKTIV. ZUM VERGLEICH WURDEN AUCH DIE MITTELWERTE DER NORMALBEVÖLKERUNG ANGEGEBEN.	90
TABELLE 22: NORMBASIERTE SF-36 ERGEBNISSE DES KONSERVATIVEN PATIENTENKOLLEKTIVS MIT ANGABE DER SIGNIFIKANZ GEGENÜBER DES REFERENZWERTS VON 50 DES NORMKOLLEKTIVS. DABEI SIND KEINE SIGNIFIKANTEN UNTERSCHIEDE FESTZUSTELLEN.	92
TABELLE 23: NORMBASIERTE SF-36 ERGEBNISSE DES OPERATIVEN PATIENTENKOLLEKTIVS MIT ANGABE DER SIGNIFIKANZ GEGENÜBER DES REFERENZWERTS VON 50 DES NORMKOLLEKTIVS. HIERBEI ERGIBT SICH IN DER DIMENSION KÖFU EIN SIGNIFIKANTER UNTERSCHIED GEGENÜBER DEM NORMALKOLLEKTIV (P=0,013).	93
TABELLE 24: MITTELSTARKER NEGATIV LINEARER ZUSAMMENHANG ZWISCHEN DEN WERTEN ROM VOR-/RÜCKNEIGEN UND DEM KINN-JUGULUM-ABSTAND BEI HOHER SIGNIFIKANZ (P=0,002).	97
TABELLE 25: MITTELSTARKER BIS STARKER NEGATIV LINEARER ZUSAMMENHANG ZWISCHEN DEN WERTEN ROM ROTATION UND DEM KINN-SCHULTER-ABSTAND BEI SEHR HOHER SIGNIFIKANZ (P≤0,0001).	98

# 7 Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: T1- GEWICHTETE MRT- AUFNAHME IN SAGITTALER SCHNITTEBENE: ZU SEHEN IST EINE SUBDENTALE SYNCHONDROSE IM BEREICH DER DENS BASIS, AUS [27].	8
ABBILDUNG 2: DARSTELLUNG DER RÜCKENMARKSHÄUTE, AUS [22], S. 1048.	16
ABBILDUNG 3: FRAKTUREINTEILUNG NACH ANDERSON UND D´ALONZO, AUS [53].	20
ABBILDUNG 4: AUSSCHNITT EINER SEITLICHEN AUFNAHME DER HALSWIRBELSÄULE. ES IST EINE STUFENBILDUNG DES DENS AXIS ZU ERKENNEN (GROSSE PFEILE) MIT KONSEKUTIVER WEICHTEILSCHWELLUNG (KLEINER PFEIL), AUS [62].	24
ABBILDUNG 5: TRANSORALE AUFNAHME DES DENS AXIS. KEINE FRAKTUR NACHWEISBAR. AUS [63].	25
ABBILDUNG 6: SEITLICHE CT-AUFNAHME DER OBEREN HALSWIRBELSÄULE. MAN ERKENNT EINE FRAKTUR DES DENS AXIS AUF HÖHE DER DENS BASIS (TYP II NACH ANDERSON UND D´ALONZO) MIT DISLOKATION NACH VENTRAL, AUS [65].	26
ABBILDUNG 7: VORSCHLAG DER THERAPIEPLANUNG EINER DENSFRAKTUR, AUS BÜHREN, 2013 [8].	29
ABBILDUNG 8: STIFNECK® DER FIRMA LAERDAL, AUS [76].	30
ABBILDUNG 9: PHILADELPHIA KRAGEN, AUS [77].	31
ABBILDUNG 10: CELLACARE® CERVIDUR® HALSKRAWATTE (MODIFIZIERT NACH SCHANZ) DER FIRMA LOHMANN & RAUSCHER, AUS [78].	31
ABBILDUNG 11: RESOLVE® HALO SYSTEM DER FIRMA ÖSSUR ZUR EXTERNEN FIXATION DER HALSWIRBELSÄULE, AUS [81].	33
ABBILDUNG 12: DENSACCESS SCHRAUBE DER FIRMA SYNTHES, AUS [90].	36
ABBILDUNG 13: SCHRAUBENOSTEOSYNTHESE NACH BÖHLER BEI TYP II FRAKTUR NACH ANDERSON UND D´ALONZO, AUS KANDZIORA, 2010 [89].	36
ABBILDUNG 14: ATLANTOAXIALE FUSION NACH GALLIE, AUS TSCHERNE, 1998 [49], S. 129.	37
ABBILDUNG 15: ATLANTOAXIALE FUSION NACH BROOKS, AUS TSCHERNE, 1998 [49] S. 129.	38
ABBILDUNG 16: DORSALE SPONDYLODESE NACH MAGERL MIT DRAHTCERCLAGE NACH GALLIE, ANSICHT VON DORSAL, AUS KANDZIORA, 2010 [89].	39
ABBILDUNG 17: DORSALE SPONDYLODESE NACH MAGERL MIT DRAHTCERCLAGE NACH GALLIE IN SEITLICHER DARSTELLUNG, AUS KANDZIORA, 2010 [89].	39
ABBILDUNG 18: VERSCHRAUBUNG NACH HARMS, HIER OHNE KNOCHENSPANIMPLANTAT, ANSICHT VON DORSAL, AUS KANDZIORA, 2010 [89].	41
ABBILDUNG 19: VERSCHRAUBUNG NACH HARMS, HIER OHNE KNOCHENSPANIMPLANTAT IN SEITLICHER DARSTELLUNG, AUS KANDZIORA, 2010 [89].	41
ABBILDUNG 20: OKZIPITOZERVIKALE FUSION VON C0 BIS C2 IN HARMS-TECHNIK, AUS KANDZIORA, 2010 [89].	42
ABBILDUNG 21: SEITLICHE DARSTELLUNG DES VERLAUFS DER ARTERIA VERTEBRALIS UND EINER TRANSARTIKULÄREN SCHRAUBE C1/ C2, AUS [94].	43

ABBILDUNG 22: SAGITTALE LINIE DURCH DIE KAUDALEN UND KRANIALEN GELENKFACETTEN. AUF DIESER LINIE SOLLTE DIE SCHRAUBE IN BEZUG AUF DIE SAGITTALE POSITIONIERT WERDEN, AUS [95]. .....	43
ABBILDUNG 23: EINBRINGEN DER ATLASKLAMMER UND ANSCHLIEßENDE POSITIONIERUNG DES ATLAS MIT HILFE EINER DISTRAKTIONSZANGE IM WIRBELSÄULENSYSTEM NEON <sup>3</sup> ™ DER FIRMA ULRICH MEDICAL®, AUS [95]. .....	44
ABBILDUNG 24: NACHBEHANDLUNGSKONZEPT EINER OPERATIV VERSORGTEN DENSFRAKTUR AN DER BG UNFALLKLINIK TÜBINGEN, AUS KAPS ET AL., 2000 [96]. .....	45
ABBILDUNG 25: BEDEUTUNG DER EINZELNEN DIMENSIONEN DES SF-36 FRAGEBOGENS, AUS BULLINGER UND KIRCHBERGER, 1998 [111]. .....	55
ABBILDUNG 26: FLUSSDIAGRAMM ZUR DARSTELLUNG DER IN DIE STUDIE EINGESCHLOSSENEN PATIENTEN. ....	63
ABBILDUNG 27: ALTERSSTRUKTUR DES GESAMTKOLLEKTIVS, AUFGETEILT IN MÄNNER UND FRAUEN..	64
ABBILDUNG 28: BOXPLOT-DARSTELLUNG DES LEBENSALTERS IN DER KONSERVATIV BEHANDELTEN GRUPPE UND IN DER OPERATIV BEHANDELTEN GRUPPE. DARSTELLUNG DER EINZELNEN GRUPPEN MIT MEDIAN, 25% QUANTIL, 75% QUANTIL UND MINIMUM, MAXIMUM. IN DER OPERATIVEN GRUPPE BEFINDEN SICH ZWEI AUSREIßER. ....	65
ABBILDUNG 29: DIE VERSCHIEDENEN UNFALLURSACHEN DER STUDIENTEILNEHMER, ANGABE IN PROZENT. ....	67
ABBILDUNG 30: DARSTELLUNG DER MITTELWERTE DER ROM-BEWEGUNGSDIMENSIONEN FÜR DIE KONSERVATIVE UND OPERATIVE GRUPPE. DABEI WURDEN IN DER ZUGEHÖRIGEN FARBE REFERENZLINIEN ALS SOLL-WERT FÜR DIE ROM-BEWEGUNGSDIMENSIONEN EINGEZEICHNET..	70
ABBILDUNG 31: DARSTELLUNG DER DURCHSCHNITTLICHEN ROM-WERTE DER VERSCHIEDENEN BEWEGUNGSDIMENSIONEN DES KONSERVATIVEN UND OPERATIVEN KOLLEKTIVS. HIERBEI IST EINE TENDENZ ZU NIEDRIGEREN WERTEN IM OPERATIVEN KOLLEKTIV ZU ERKENNEN, ALLERDINGS OHNE SIGNIFIKANTEN UNTERSCHIED. ....	72
ABBILDUNG 32: TORTENDIAGRAMM ZUR DARSTELLUNG DER MITTLEREN ROM-WERTE IN GRAD BEI VORHANDENER PSEUDARTHROSE UND BEI NICHT VORHANDENER PSEUDARTHROSE. DABEI ZEIGEN SICH STETS HÖHERE WERTE IM BEWEGUNGSMAß, WENN KEINE PSEUDARTHROSE VORLIEGT. ....	76
ABBILDUNG 33: DARSTELLUNG DER HÄUFIGKEITEN DER ANGABEN AUF DER VISUELLEN ANALOGSKALA DES GESAMTKOLLEKTIVS. DER WERT 0 BEDEUTET KEIN SCHMERZ, 100 IST DER STÄRKSTE VORSTELLBARE SCHMERZ. ....	78
ABBILDUNG 34: DARSTELLUNG DER HÄUFIGKEITEN DER ANGABEN AUF DER VISUELLEN ANALOGSKALA AUSSCHLIEßLICH VON PATIENTEN MIT SCHMERZANGABE. IM OBEREN ABSCHNITT DER GRAFIK DARGESTELLT SIND DIE QUARTILE UND DER MEDIAN ALS BOXPLOTGRAFIK. ....	79
ABBILDUNG 35: MOSAIKDARSTELLUNG DER PATIENTEN MIT UND OHNE DISLOKATION DES DENS AXIS IN IHRER AUFTEILUNG AUF DAS OPERATIVE UND KONSERVATIVE KOLLEKTIV. ....	81



ABBILDUNG 36: BALKENDIAGRAMM ZUR DARSTELLUNG DER ANZAHL DER PATIENTEN MIT UND OHNE ANGULATION DES DENS AXIS, AUFGETEILT AUF DIE ZWEI PATIENTENKOLLEKTIVE OPERATIV UND KONSERVATIV. ....	82
ABBILDUNG 37: DARSTELLUNG DER MITTELWERTE DER ACHT DIMENSIONEN DES SF-36 FRAGEBOGENS IM VERGLEICH ZUR NORMALBEVÖLKERUNG. KÖFU: KÖRPERLICHE FUNKTIONSFÄHIGKEIT, KÖRO: KÖRPERLICHE ROLLENFUNKTION, SCHM: SCHMERZEN, AGES: ALLGEMEINE GESUNDHEITSWAHRNEHMUNG, VITA: VITALITÄT, SOFU: SOZIALE FUNKTIONSFÄHIGKEIT, EMRO: EMOTIONALE ROLLENFUNKTION, PSYC: PSYCHISCHES WOHLBEFINDEN . ....	89
ABBILDUNG 38: AUF DIE GESAMTDEUTSCHE NORMSTICHPROBE (1994, N=2914) BEZOGENE DATEN. DABEI LIEGT IN DEN EINZELNEN DIMENSIONEN EIN WERT ÜBER 50 ÜBER DEM WERT IN DER JEWEILIGEN NORMSTICHPROBE, EIN WERT UNTER 50 DARUNTER. (KÖFU P=0,013*).....	91
ABBILDUNG 39: DARSTELLUNG DER KÖRPERLICHEN SUMMENSKALA. DIE Z-TRANSFORMIERTEN WERTE DES KONSERVATIVEN UND OPERATIVEN KOLLEKTIVS WURDEN GEGENÜBER DES REFERENZWERTS VON 50,21 DER NORMSTICHPROBE AUFGETRAGEN. ....	94
ABBILDUNG 40: DARSTELLUNG DER PSYCHISCHEN SUMMENSKALA. DIE Z-TRANSFORMIERTEN WERTE DES KONSERVATIVEN UND OPERATIVEN KOLLEKTIVS WURDEN GEGENÜBER DES REFERENZWERTS VON 51,50 DER NORMSTICHPROBE AUFGETRAGEN. ....	95

## 8 Literaturverzeichnis

1. Denaro, V., et al., The best surgical treatment for type II fractures of the dens is still controversial. *Clin Orthop Relat Res*, 2011. 469(3): p. 742-50.
2. Bednar, D.A., J. Parikh, and J. Hummel, Management of type II odontoid process fractures in geriatric patients; a prospective study of sequential cohorts with attention to survivorship. *J Spinal Disord*, 1995. 8(2): p. 166-9.
3. Alander, D.H., D.A. Andreychik, and E.S. Stauffer, Early outcome in cervical spinal cord injured patients older than 50 years of age. *Spine (Phila Pa 1976)*, 1994. 19(20): p. 2299-301.
4. Hanigan, W.C., et al., Odontoid fractures in elderly patients. *J Neurosurg*, 1993. 78(1): p. 32-5.
5. Lieberman, I.H. and J.K. Webb, Cervical spine injuries in the elderly. *J Bone Joint Surg Br*, 1994. 76(6): p. 877-81.
6. Lind, B., et al., Influence of halo vest treatment on vital capacity. *Spine (Phila Pa 1976)*, 1987. 12(5): p. 449-52.
7. Wirth, C.-J., Wirbelsäule, Thorax; In: Wirth, C.J. Orthopädie und orthopädische Chirurgie. 61 Tabellen, ed. J. Krämer. 2004, Stuttgart [u.a.]: Thieme. XIV, 526 S.
8. Bühren, V. and C. Josten, Chirurgie der verletzten Wirbelsäule : Frakturen, Instabilitäten, Deformitäten. SpringerLink : Bücher. 2013, Berlin, Heidelberg: Springer.
9. Ruchholtz, S., Orthopädie und Unfallchirurgie essentials. 2., vollst. überarb. u. erw. Aufl. ed. Intensivkurs zur Weiterbildung, ed. S. Ruchholtz. 2013, Stuttgart [u.a.]: Thieme. 770 S.
10. Vaccaro, A.R., L. Madigan, and D.M. Ehrler, Contemporary management of adult cervical odontoid fractures. *Orthopedics*, 2000. 23(10): p. 1109-13; quiz 1114-5.
11. Maak, T.G. and J.N. Grauer, The contemporary treatment of odontoid injuries. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2006. 31(11 Suppl): p. S53-60; discussion S61.
12. Ryan, M.D. and J.J. Henderson, The epidemiology of fractures and fracture-dislocations of the cervical spine. *Injury*, 1992. 23(1): p. 38-40.
13. Anderson, L.D. and R.T. D'Alonzo, Fractures of the odontoid process of the axis. *J Bone Joint Surg Am*, 1974. 56(8): p. 1663-74.
14. Grauer, J.N., et al., Proposal of a modified, treatment-oriented classification of odontoid fractures. *Spine J*, 2005. 5(2): p. 123-9.
15. Dunn, M.E. and E.L. Seljeskog, Experience in the management of odontoid process injuries: an analysis of 128 cases. *Neurosurgery*, 1986. 18(3): p. 306-10.
16. Schweigel, J.F., Management of the fractured odontoid with halo-thoracic bracing. *Spine (Phila Pa 1976)*, 1987. 12(9): p. 838-9.
17. Hadley, M.N., et al., Acute axis fractures: a review of 229 cases. *J Neurosurg*, 1989. 71(5 Pt 1): p. 642-7.
18. Govender, S. and M. Grootboom, Fractures of the dens--the results of non-rigid immobilization. *Injury*, 1988. 19(3): p. 165-7.
19. de Mourgues, G., et al., [Fracture of the odontoid process (author's transl)]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot*, 1981. 67(8): p. 783-90.
20. Platzer, P., et al., Surgical treatment of dens fractures in elderly patients. *J Bone Joint Surg Am*, 2007. 89(8): p. 1716-22.
21. Ryan, M.D. and T.K. Taylor, Odontoid fractures in the elderly. *J Spinal Disord*, 1993. 6(5): p. 397-401.
22. Aumüller, G., Anatomie, in 208 Tabellen. 2010, Thieme: Stuttgart. p. Online-Ressource (XVI, 1218 S.).
23. Gebauer, M., et al., [Subdental synchondrosis. Computed tomographic and histologic investigation on morphological aspects of fracture at the base of the dens in 36 human axis specimens]. *Unfallchirurg*, 2007. 110(2): p. 97-103.
24. Amling, M., et al., The microarchitecture of the axis as the predisposing factor for fracture of the base of the odontoid process. A histomorphometric analysis of twenty-two autopsy specimens. *J Bone Joint Surg Am*, 1994. 76(12): p. 1840-6.

25. Amling, M., et al., Structural heterogeneity within the axis: the main cause in the etiology of dens fractures. A histomorphometric analysis of 37 normal and osteoporotic autopsy cases. *J Neurosurg*, 1995. 83(2): p. 330-5.
26. Amling, M., et al., [Structure of the axis--key to the etiology of the dens fracture]. *Chirurg*, 1994. 65(11): p. 964-9.
27. Wang, X.P., et al., Response to reply to the letter to the editor concerning "Gebauer et al.: Subdental synchondrosis and anatomy of the axis in aging: a histomorphometric study on 30 autopsy cases. *Eur Spine J* 15(3):292-298, 2006": The basis of the dens axis. Where is it located? *Eur Spine J*, 2008. 17(12): p. 1771-4; author reply 1775-7.
28. Koebke, J. and H. Brade, Morphological and functional studies on the lateral joints of the first and second cervical vertebrae in man. *Anat Embryol (Berl)*, 1982. 164(2): p. 265-75.
29. Rohen, J.W. and E. Lütjen-Drecoll, Funktionelle Anatomie des Menschen. 11., überarb. und erw. Aufl. ed. *Lehrbuch der makroskopischen Anatomie nach funktionellen Gesichtspunkten; mit ... 44 Tabellen*. 2006, Stuttgart: Schattauer. XII, 404 S.
30. Iai, H., et al., Three-dimensional motion analysis of the upper cervical spine during axial rotation. *Spine (Phila Pa 1976)*, 1993. 18(16): p. 2388-92.
31. Panjabi, M., et al., Three-dimensional movements of the upper cervical spine. *Spine (Phila Pa 1976)*, 1988. 13(7): p. 726-30.
32. Putz, R., [Functional anatomy of the vertebral joints]. *Norm Pathol Anat (Stuttg)*, 1981. 43: p. 1-116.
33. Putz, R. and A. Pomaroli, [Form and function of the lateral atlanto-axial articulation]. *Acta Anat (Basel)*, 1972. 83(3): p. 333-45.
34. Mercer, S. and N. Bogduk, Intra-articular inclusions of the cervical synovial joints. *Br J Rheumatol*, 1993. 32(8): p. 705-10.
35. Saldinger, P., et al., Histology of the alar and transverse ligaments. *Spine (Phila Pa 1976)*, 1990. 15(4): p. 257-61.
36. Schünke, M., ed. *Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem : 182 Tabellen*. 3., überarb. und erw. Aufl. ed. Prometheus / Michael Schünke; Erik Schulte; Udo Schumacher. Ill. von Markus Voll; Karl Wesker. 2011, Thieme: Stuttgart ; New York. XV, 607 S.
37. Mercer, S.R. and N. Bogduk, Joints of the cervical vertebral column. *J Orthop Sports Phys Ther*, 2001. 31(4): p. 174-82; discussion 183.
38. Schünke, M., *Funktionelle Anatomie - Topographie und Funktion des Bewegungssyst.* 2000: Thieme Verlag, Stuttgart.
39. Kitagawa, T., et al., Morphologic changes in the cervical neural foramen due to flexion and extension: in vivo imaging study. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2004. 29(24): p. 2821-5.
40. Büttner, J., Management der Querschnittlähmung. *Anästh Intensivmed*, 2004. 45: p. 190-204.
41. Waters, R.L., et al., Prediction of ambulatory performance based on motor scores derived from standards of the American Spinal Injury Association. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 1994. 75(7): p. 756-760.
42. Marino, R.J., et al., International standards for neurological classification of spinal cord injury. *J Spinal Cord Med*, 2003. 26 Suppl 1: p. S50-6.
43. Muller, E.J., M. Wick, and G. Muhr, [Surgical management of posttraumatic malalignments and arthroses in the ankle]. *Orthopade*, 1999. 28(6): p. 529-37.
44. Olerud, C., et al., Cervical spine fractures in the elderly: factors influencing survival in 65 cases. *Acta Orthop Scand*, 1999. 70(5): p. 509-13.
45. Daneshvar, P., et al., Spinal cord injuries related to cervical spine fractures in elderly patients: factors affecting mortality. *Spine J*, 2013. 13(8): p. 862-6.
46. Pepin, J.W., R.B. Bourne, and R.J. Hawkins, Odontoid fractures, with special reference to the elderly patient. *Clin Orthop Relat Res*, 1985(193): p. 178-83.
47. Althoff, B., Fracture of the odontoid process. An experimental and clinical study. *Acta Orthop Scand Suppl*, 1979. 177: p. 1-95.
48. Laurer, H., et al., [Fractures of the cervical spine]. *Orthopade*, 2010. 39(3): p. 237-46.
49. Tscherne, H., *Unfallchirurgie in 13 Bänden, Bd. 2 Wirbelsäule*, M. Blauth, Editor. 1998, Tscherne H. (Hrsg.): Berlin ; Heidelberg. p. XIII, 441 S.
50. Grifka, J. and J. Krämer, *Orthopädie Unfallchirurgie*. 9., überarbeitete Auflage ed. Springer-Lehrbuch. 2013, Berlin, Heidelberg: Springer.

51. Maki, N.J., A transverse fracture through the body of the axis. A case report. *Spine (Phila Pa 1976)*, 1985. 10(9): p. 857-9.
52. Benzel, E.C., et al., Fractures of the C-2 vertebral body. *J Neurosurg*, 1994. 81(2): p. 206-12.
53. Hsu, W.K. and P.A. Anderson, Odontoid fractures: update on management. *J Am Acad Orthop Surg*, 2010. 18(7): p. 383-94.
54. Clark, C.R. and A.A. White, 3rd, Fractures of the dens. A multicenter study. *J Bone Joint Surg Am*, 1985. 67(9): p. 1340-8.
55. Rürger, M. and W. Mutschler, Komplikationen bei der Behandlung von Wirbelsäulenverletzungen. In: Wirth CJ, Mutschler W, Bischoff HP, Püschmann H, Neu J. *Komplikationen in Orthopädie und Unfallchirurgie*. 2010: Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag.
56. Schilling, A.M., J.O. Heidenreich, and K.J. Wolf, [Pitfalls and special features of modern imaging diagnostics of the upper cervical spine]. *Orthopade*, 2006. 35(3): p. 237-43.
57. West, O.C., et al., Acute cervical spine trauma: diagnostic performance of single-view versus three-view radiographic screening. *Radiology*, 1997. 204(3): p. 819-23.
58. Schmidt, M., *Röntgeneinstelltechniken*. ABW Wissenschaftsverlag; Auflage: 1., Aufl., 2008.
59. Weissleder, R.e.a., *Kompendium der bildgebenden Diagnostik*. 2. Ausg. des amerikan. Orig. Aus dem Amerikan. übers. ed, ed. U.u.b.v.S. Puig. 2003: Wien [u.a.] : Springer. XVIII, 812 S. : Ill., graph. Darst.
60. Oda, I., et al., Biomechanical evaluation of five different occipito-atlanto-axial fixation techniques. *Spine (Phila Pa 1976)*, 1999. 24(22): p. 2377-82.
61. Hosten, N. and T. Liebig, *Computertomographie von Kopf und Wirbelsäule. Referenz-Reihe radiologische Diagnostik*. 2000, Stuttgart ; New York: Thieme.
62. Kauffmann, G.W., E. Moser, and R. Sauer, eds. *Radiologie : student consult*. 3., völlig überarb. Aufl. ed. 2006, Urban & Fischer in Elsevier: München. 772 S.
63. Flechtenmacher, J., D. Sabo, and N. Abolmaali, *Praktische Röntgendiagnostik Orthopädie und Unfallchirurgie : Indikation, Einstelltechnik, Strahlenschutz*. 2014, Stuttgart [u.a.]: Thieme.
64. Fisher, B.M., et al., Is magnetic resonance imaging in addition to a computed tomographic scan necessary to identify clinically significant cervical spine injuries in obtunded blunt trauma patients? *Am J Surg*, 2013.
65. CT-Aufnahme einer Densfraktur. [cited 2015 08.07.].
66. Chew, B.G., et al., Cervical spine clearance in the traumatically injured patient: is multidetector CT scanning sufficient alone? *J Neurosurg Spine*, 2013.
67. Schuster, R., et al., Magnetic resonance imaging is not needed to clear cervical spines in blunt trauma patients with normal computed tomographic results and no motor deficits. *Arch Surg*, 2005. 140(8): p. 762-6.
68. Tomycz, N.D., et al., MRI is unnecessary to clear the cervical spine in obtunded/comatose trauma patients: the four-year experience of a level I trauma center. *J Trauma*, 2008. 64(5): p. 1258-63.
69. Lebl, D.R., et al., Vertebral artery injury associated with blunt cervical spine trauma: a multivariate regression analysis. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2013. 38(16): p. 1352-61.
70. Southwick, W.O., Management of fractures of the dens (odontoid process). *J Bone Joint Surg Am*, 1980. 62(3): p. 482-6.
71. Stannard, J.P., *Spezielle Unfallchirurgie*. Thieme, 2012: p. p. 142-146.
72. Weigel, B. and M. Nerlich, eds. *Praxisbuch Unfallchirurgie*. SpringerLink : Bücher. 2005, Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Heidelberg. Online-Ressource (XVI, 1600 S. 1128 Abb. in 2319 Einzeldarstellungen (2 Bände, nicht einzeln erhältlich), digital).
73. Niethard, F.U., J. Pfeil, and P. Biberthaler, *Orthopädie und Unfallchirurgie : ... 78 Tabellen*. 6., vollst. überarb. und erw. Aufl. ed. MLP : Duale Reihe. 2009, Stuttgart: Thieme.
74. Abdolvahab, F. and C.-J. Wirth, eds. *Praxis der Orthopädie und Unfallchirurgie : 292 Tabellen*. 2007, Thieme: Stuttgart [u.a.]. XXVII, 963 S.
75. Secchi, A. and T. Ziegenfuß, *Checkliste Notfallmedizin : 73 Tabellen*. 4., vollst. überarb. Aufl. ed. *Checklisten der aktuellen Medizin*. 2009, Stuttgart [u.a.]: Thieme.

76. Stifneck. 08.07.2015, 10:07 Uhr, Laerdal Medical GmbH: <http://www.laerdal.com/de/doc/125/Stifneck-Immobilisationskragen>.
77. Philadelphia Tracheotomy Collar 08.07.2015, 10:26 Uhr, Össur Deutschland GmbH: <http://www.ossur.de/Losungen-fur-verletzungen/Wirbelsaule/Cervicalorthesen/Philadelphia-Tracheotomy-Collar>.
78. Cellacare® Cervidur®. 08.07.2015, 10:54 Uhr, Lohmann & Rauscher GmbH & Co. KG: <http://www.lohmann-rauscher.de/de/produkte/bandagen-orthesen/hals/cellacare-cervidur.html>.
79. Parsch, D., V. Ewerbeck, and H. Cotta, eds. Standardverfahren in der operativen Orthopädie und Unfallchirurgie : 12 Tabellen. 3., vollst. überarb. Aufl. ed. 2007, Thieme: Stuttgart [u.a.]. XXII, 899 S.
80. Schmolke, S. and F. Gossé, Das besondere Instrument Der Halo-Fixateur. Operative Orthopädie und Traumatologie, 2008. 20(1): p. 3-12.
81. ReSolve® Halo 08.07.2015, 11:07 Uhr, Össur Deutschland GmbH: <http://www.ossur.de/Pages/16714>.
82. Böhler, J., et al., Die Schraubenosteosynthese des Dens axis. Operative Orthopädie und Traumatologie, 1990. 2(2): p. 75-83.
83. Gallie, W.E., SKELETAL TRACTION IN THE TREATMENT OF FRACTURES AND DISLOCATIONS OF THE CERVICAL SPINE. Ann Surg, 1937. 106(4): p. 770-6.
84. Brooks, A.L. and E.B. Jenkins, Atlanto-axial arthrodesis by the wedge compression method. J Bone Joint Surg Am, 1978. 60(3): p. 279-84.
85. Magerl, F.P. and P.S. Seemann, Stable posterior fusion of the atlas and axis by transarticular screw fixation. Cervical Spine I. Springer, Wien New York, 1986: p. 322-327.
86. McGuire, R.A., Jr. and H.L. Harkey, Modification of technique and results of atlantoaxial transfacet stabilization. Orthopedics, 1995. 18(10): p. 1029-32.
87. Harms, J. and R.P. Melcher, Posterior C1-C2 fusion with polyaxial screw and rod fixation. Spine (Phila Pa 1976), 2001. 26(22): p. 2467-71.
88. Jung, A. and J. Schramm, How to reduce recurrent laryngeal nerve palsy in anterior cervical spine surgery: a prospective observational study. Neurosurgery, 2010. 67(1): p. 10-5; discussion 15.
89. F. Kandziora, K.J.S., Operationsverfahren zur Stabilisierung der oberen Halswirbelsäule. Unfallchirurg, Vol. 113, Heft 10, Seite 845-859, 2010.
90. DensAccess Schraube. Firma Synthes GmbH: Verkaufsbroschüre der Firma Synthes GmbH, 30.10.2013, Version 1.
91. Hajek, P.D., et al., Biomechanical study of C1-C2 posterior arthrodesis techniques. Spine (Phila Pa 1976), 1993. 18(2): p. 173-7.
92. Börm, W. and F. Meyer, Spinale Neurochirurgie: Operatives Management von Wirbelsäulenerkrankungen Schattauer, Stuttgart-New York 460 Seiten, 503 Abbildungen, 107 Tabellen ISBN 978-3-7945-2577-5. Sport-Orthopädie - Sport-Traumatologie - Sports Orthopaedics and Traumatology, 2009.
93. . Firma ulrich medical®: OP-Technik Anleitung des Wirbelsäulensystem neon3™ der Firma ulrich medical®, WS 3901 R1/2014-05.
94. Verlauf der Arteria vertebralis. Firma ulrich medical®: OP-Technik Anleitung des Wirbelsäulensystem neon3™ der Firma ulrich medical®, S. 45, WS 3901 R1/2014-05.
95. , A.u.o.d. Atlas, Editor., Firma ulrich medical®: OP-Technik Anleitung des Wirbelsäulensystem neon3™ der Firma ulrich medical®, S. 49, WS 3901 R1/2014-05.
96. Kaps, H.-P., M. Schreiner, and A. Badke, Spezielle Probleme der Begleit- und Nachbehandlung bei Wirbelsäulenverletzungen und Verletzungsfolgeständen nach operativer Versorgung instabiler Wirbelfrakturen. Trauma und Berufskrankheit, 2000. 2(4): p. S493-S499.
97. Blauth, M., et al., [Operative versus non operative treatment of odontoid non unions. How dangerous is it not to stabilize a non union of the dens?]. Chirurg, 1999. 70(11): p. 1225-38.
98. Greene, K.A., et al., Acute axis fractures. Analysis of management and outcome in 340 consecutive cases. Spine (Phila Pa 1976), 1997. 22(16): p. 1843-52.

99. Schatzker, J., C.H. Rorabeck, and J.P. Waddell, Fractures of the dens (odontoid process). An analysis of thirty-seven cases. *J Bone Joint Surg Br*, 1971. 53(3): p. 392-405.
100. Geisler, F.H., et al., Anterior screw fixation of posteriorly displaced type II odontoid fractures. *Neurosurgery*, 1989. 25(1): p. 30-7; discussion 37-8.
101. Jeanneret, B., et al., Atlantoaxial mobility after screw fixation of the odontoid: a computed tomographic study. *J Spinal Disord*, 1991. 4(2): p. 203-11.
102. Hrabalek, L., S. Burval, and M. Vaverka, [Anterior osteosynthesis of odontoid fractures]. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech*, 2008. 75(5): p. 332-8.
103. Chang, K.W., et al., One Herbert double-threaded compression screw fixation of displaced type II odontoid fractures. *J Spinal Disord*, 1994. 7(1): p. 62-9.
104. Aebi, M., C. Etter, and M. Coscia, Fractures of the odontoid process. Treatment with anterior screw fixation. *Spine (Phila Pa 1976)*, 1989. 14(10): p. 1065-70.
105. Montesano, P.X., et al., Odontoid fractures treated by anterior odontoid screw fixation. *Spine (Phila Pa 1976)*, 1991. 16(3 Suppl): p. S33-7.
106. Gaudernak, T. and A. Schultz, Technik und Ergebnisse der Densverschraubung. Analyse der Komplikationen. *Verletzungen der Wirbelsäule*, Huber, Bern, ed. R. Szyszkowitz and P. Schleifer. 1995. 100-103.
107. Fujii, E., K. Kobayashi, and K. Hirabayashi, Treatment in fractures of the odontoid process. *Spine (Phila Pa 1976)*, 1988. 13(6): p. 604-9.
108. Weise, K. and M. Schiltenswolf, *Grundkurs orthopädisch-unfallchirurgische Begutachtung*. mit ... 41 Tab., ed. K. Weise. 2008, Heidelberg: Springer. XI, 296 S.
109. Skolasky, R.L., L.H. Riley, 3rd, and T.J. Albert, Psychometric properties of the Cervical Spine Outcomes Questionnaire and its relationship to standard assessment tools used in spine research. *Spine J*, 2007. 7(2): p. 174-9.
110. Bullinger, M., German translation and psychometric testing of the SF-36 Health Survey: preliminary results from the IQOLA Project. *International Quality of Life Assessment. Soc Sci Med*, 1995. 41(10): p. 1359-66.
111. Bullinger, M. and I. Kirchberger, SF-36, Fragebogen zum Gesundheitszustand - Handanweisung. 1998, Göttingen [u.a.]: Hogrefe.
112. Ware, J.E., Jr. and R.D. Hays, Methods for measuring patient satisfaction with specific medical encounters. *Med Care*, 1988. 26(4): p. 393-402.
113. Ware, J.E., Jr., et al., Comparison of methods for the scoring and statistical analysis of SF-36 health profile and summary measures: summary of results from the Medical Outcomes Study. *Med Care*, 1995. 33(4 Suppl): p. AS264-79.
114. McHorney, C.A., et al., The MOS 36-item Short-Form Health Survey (SF-36): III. Tests of data quality, scaling assumptions, and reliability across diverse patient groups. *Med Care*, 1994. 32(1): p. 40-66.
115. Ellert, U. and B.M. Kurth, [Methodological views on the SF-36 summary scores based on the adult German population]. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz*, 2004. 47(11): p. 1027-32.
116. Ware, J.E., Jr., SF-36 health survey update. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2000. 25(24): p. 3130-9.
117. Medical Research Council, *Aids to the investigation of peripheral nerve injuries*. 2nd ed. London: Her Majesty's Stationery Office, 1943.
118. Compston, A., *Aids to the investigation of peripheral nerve injuries*. Medical Research Council: Nerve Injuries Research Committee. His Majesty's Stationery Office: 1942; pp. 48 (iii) and 74 figures and 7 diagrams; with aids to the examination of the peripheral nervous system. By Michael O'Brien for the Guarantors of Brain. *Saunders Elsevier*: 2010; pp. [8] 64 and 94 Figures. *Brain*, 2010. 133(10): p. 2838-44.
119. Hislop, H. and J. Montgomery, *Daniels and Worthingham's muscle testing: techniques of manual examination*. 7th ed. Philadelphia: WB Saunders Co., 2002:1-10.
120. James, M.A., Use of the Medical Research Council muscle strength grading system in the upper extremity. *J Hand Surg Am*, 2007. 32(2): p. 154-6.
121. Grosser, V., *Gesundheitliche Beeinträchtigungen und Funktionsstörungen*. *Trauma und Berufskrankheit*, 2009. 11(4): p. 218-230.
122. Wolff, H.D. and C. Lonquich, Einfache Messmethode der HWS-Funktion nach der Neutral-Null-Methode. *Manuelle Medizin*, 2000. 38(5): p. 284-288.

123. Thomann, K.-D., Orthopädisch-unfallchirurgische Begutachtung. 2. Aufl. ed. Handbuch der klinischen Begutachtung, ed. K.-D. Thomann. 2013, München: Elsevier, Urban & Fischer. XI, 596 S.
124. Reese, N.B. and W.D. Bandy, Joint range of motion and muscle length testing. 2. ed. ed. Saunders Elsevier. 2010, St. Louis, Mo. [u.a.]. XI, 509 S. : zahlr. Ill., graph. Darst.
125. American Academy of Orthopaedic, S., Joint motion : method of measuring and recording. 1965, Chicago: American Academy of Orthopaedic Surgeons.
126. Gebauer, M., et al., Subdental synchondrosis and anatomy of the axis in aging: a histomorphometric study on 30 autopsy cases. *Eur Spine J*, 2006. 15(3): p. 292-8.
127. Allenberg, J.-R. and J. Durst, eds. Traumatologische Praxis : in einem Band ; Standards in Diagnostik und Therapie für alle Fachgebiete ; mit 91 Tab. 1997, Schattauer: Stuttgart [u.a.]. XXII, 666 S.
128. Platzer, P., et al., Anterior screw fixation of odontoid fractures comparing younger and elderly patients. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2007. 32(16): p. 1714-20.
129. Apfelbaum, R.I., et al., Direct anterior screw fixation for recent and remote odontoid fractures. *J Neurosurg*, 2000. 93(2 Suppl): p. 227-36.
130. Vaccaro, A.R., et al., Functional and Quality-of-Life Outcomes in Geriatric Patients with Type-II Dens Fracture. *J Bone Joint Surg Am*, 2013. 95(8): p. 729-35.
131. Osgood, R. and C. Lund, Fractures of the odontoid process. *New England J Med* 198:61-72, 1928.
132. Huybregts, J.G., W.C. Jacobs, and C.L. Vleggeert-Lankamp, The optimal treatment of type II and III odontoid fractures in the elderly: a systematic review. *Eur Spine J*, 2013. 22(1): p. 1-13.
133. Chiba, K., et al., Treatment protocol for fractures of the odontoid process. *J Spinal Disord*, 1996. 9(4): p. 267-76.
134. Lennarson, P.J., et al., Management of type II dens fractures: a case-control study. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2000. 25(10): p. 1234-7.
135. Borne, G.M., et al., Odontoid process fracture osteosynthesis with a direct screw fixation technique in nine consecutive cases. *J Neurosurg*, 1988. 68(2): p. 223-6.
136. Fagin, A.M., et al., Odontoid fractures in the elderly: should we operate? *J Trauma*, 2010. 68(3): p. 583-6.
137. Mashhadinezhad, H., et al., Clinical results of surgical management in type II odontoid fracture: a preliminary report. *Turk Neurosurg*, 2012. 22(5): p. 583-7.
138. Song, K.J., K.B. Lee, and K.N. Kim, Treatment of odontoid fractures with single anterior screw fixation. *J Clin Neurosci*, 2007. 14(9): p. 824-30.
139. Butler, J.S., et al., The long-term functional outcome of type II odontoid fractures managed non-operatively. *Eur Spine J*, 2010. 19(10): p. 1635-42.
140. Harrop, J.S., et al., Efficacy of anterior odontoid screw fixation in elderly patients with Type II odontoid fractures. *Neurosurg Focus*, 2000. 8(6): p. e6.
141. Berlemann, U. and O. Schwarzenbach, Dens fractures in the elderly. Results of anterior screw fixation in 19 elderly patients. *Acta Orthop Scand*, 1997. 68(4): p. 319-24.
142. Crockard, H.A., A.E. Heilman, and J.M. Stevens, Progressive myelopathy secondary to odontoid fractures: clinical, radiological, and surgical features. *J Neurosurg*, 1993. 78(4): p. 579-86.
143. Rizvi, S.A., et al., Surgical management of acute odontoid fractures: surgery-related complications and long-term outcomes in a consecutive series of 97 patients. *J Trauma Acute Care Surg*, 2012. 72(3): p. 682-90.
144. Omeis, I., et al., Surgical treatment of C2 fractures in the elderly: a multicenter retrospective analysis. *J Spinal Disord Tech*, 2009. 22(2): p. 91-5.
145. Borm, W., et al., Anterior screw fixation in type II odontoid fractures: is there a difference in outcome between age groups? *Neurosurgery*, 2003. 52(5): p. 1089-92; discussion 1092-4.
146. Etter, C., et al., Direct anterior fixation of dens fractures with a cannulated screw system. *Spine (Phila Pa 1976)*, 1991. 16(3 Suppl): p. S25-32.
147. Campanelli, M., et al., Posterior C1-C2 transarticular screw fixation in the treatment of displaced type II odontoid fractures in the geriatric population--review of seven cases. *Surg Neurol*, 1999. 51(6): p. 596-600; discussion 600-1.

148. Muller, E.J., et al., Management of odontoid fractures in the elderly. *Eur Spine J*, 1999. 8(5): p. 360-5.
149. Weller, S.J., A.M. Malek, and E. Rossitch, Jr., Cervical spine fractures in the elderly. *Surg Neurol*, 1997. 47(3): p. 274-80; discussion 280-1.



# 9 Anlagen

## 9.1 Allgemeiner Fragebogen

### Allgemeiner Fragebogen

**Anamnese**

**Name:**

**Datum:**

**Unfallhergang (genaue Beschreibung):**

- |                       |                          |
|-----------------------|--------------------------|
| Autounfall            | <input type="checkbox"/> |
| Motorradunfall        | <input type="checkbox"/> |
| Fahrradunfall         | <input type="checkbox"/> |
| Sturz beim Gehen      | <input type="checkbox"/> |
| Treppensturz          | <input type="checkbox"/> |
| Sturz aus großer Höhe | <input type="checkbox"/> |
| Schlag auf Kopf       | <input type="checkbox"/> |
| Sportunfall           | <input type="checkbox"/> |
| Sonstiges             | <input type="checkbox"/> |

**Erstversorgung** (Ersthelfer, falls erinnerlich Art und Weise der Lagerung, eventuell Bergung):

**Transport in Klinik** (Art und Weise des Transports):

**Ort der initialen Versorgung:**

**Therapie:**

**Nachbehandlungskonzept (welche Therapieformen, Dauer, Ort):**

**Jetzige Beschwerden:**

**Vegetative Anamnese:**

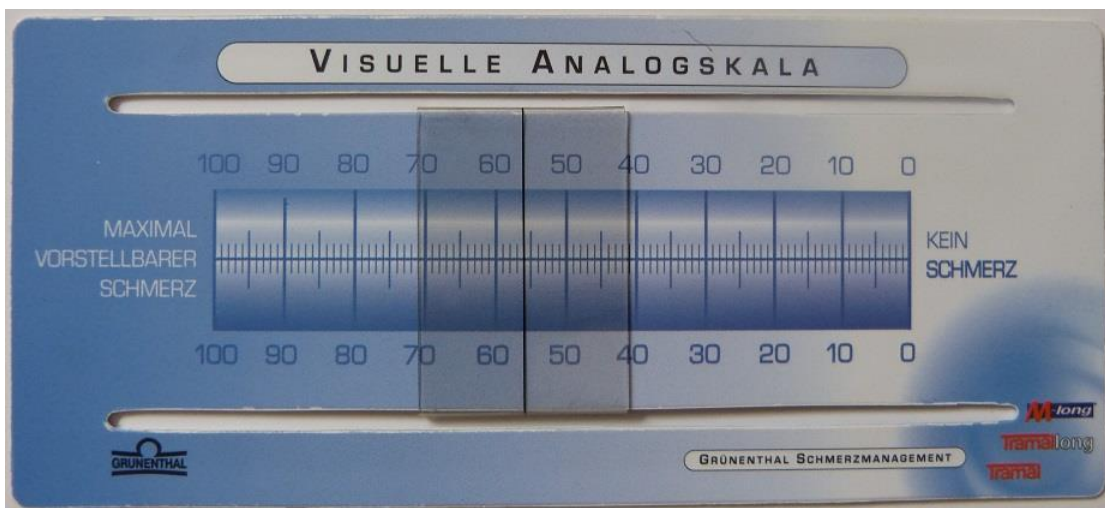
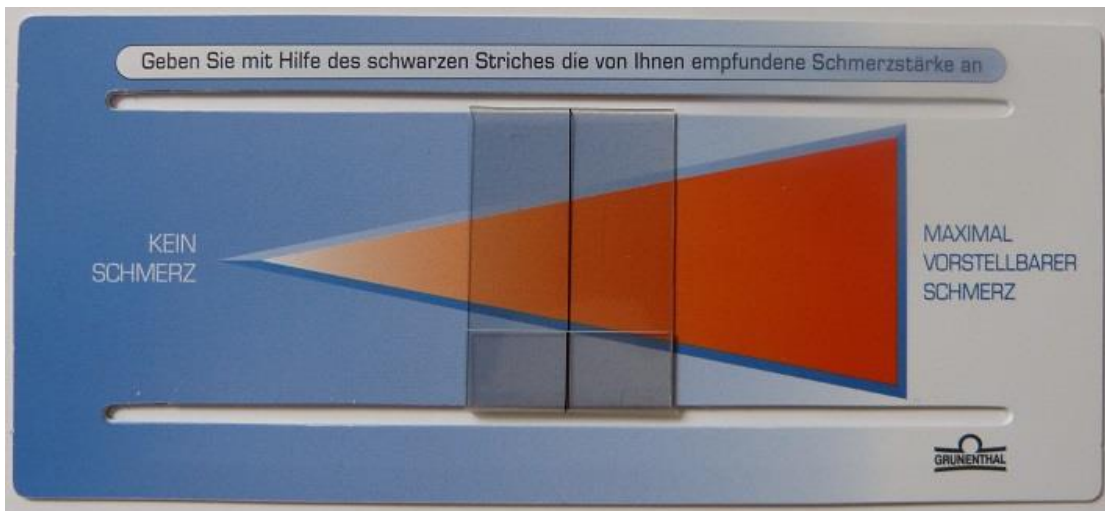
**Suchtanamnese:**

**Vorerkrankungen** (Ausschluss von malignen Erkrankungen, Rheumatoide Arthritis, Demenz, muskuläre Erkrankungen):

## 9.2 Fragebogen zur Berufsanamnese

Beruf vor Unfall:	
Körperliche Anforderungen an den ausgeübten Beruf vor dem Unfall (Schreibtischtätigkeit, leichte körperliche Tätigkeit, mittelschwere körperliche Tätigkeit, schwere körperliche Tätigkeit):	
Körperliche Anforderungen an den ausgeübten Beruf nach dem Unfall (Schreibtischtätigkeit, leichte körperliche Tätigkeit, mittelschwere körperliche Tätigkeit, schwere körperliche Tätigkeit):	
Dauer der Arbeitsunfähigkeit in Wochen:	
Wiedereingliederungsmaßnahmen:	
Umschulung nötig?	
Umschulung zu welchem Beruf?	

### 9.3 Visuelle Analogskala



## 9.4 SF-36 Fragebogen

Monika Bullinger und Inge Kirchberger

### Fragebogen zum Allgemeinen Gesundheitszustand SF 36

Selbstbeurteilungsbogen

Zeitfenster 1 Woche

In diesem Fragebogen geht es um die Beurteilung Ihres Gesundheitszustandes. Der Bogen ermöglicht es, im Zeitverlauf nachzuvollziehen, wie Sie sich fühlen und wie Sie im Alltag zurechtkommen.

Bitte beantworten Sie jede der (grau unterlegten) Fragen, indem Sie bei den Antwortmöglichkeiten die Zahl ankreuzen, die am besten auf Sie zutrifft.

	Ausgezeichnet	Sehr gut	Gut	Weniger gut	Schlecht
1. Wie würden Sie Ihren Gesundheitszustand im allgemeinen beschreiben?	1	2	3	4	5

	Derzeit viel besser	Derzeit etwas besser	Etwa wie vor einer Woche	Derzeit etwas schlechter	Derzeit viel schlechter
2. Im Vergleich zur vergangenen Woche, wie würden Sie Ihren derzeitigen Gesundheitszustand beschreiben?	1	2	3	4	5

Im folgenden sind einige Tätigkeiten beschrieben, die Sie vielleicht an einem normalen Tag ausüben.			
3. Sind Sie durch Ihren derzeitigen Gesundheitszustand bei diesen Tätigkeiten eingeschränkt? Wenn ja, wie stark?	Ja, stark eingeschränkt	Ja, etwas eingeschränkt	Nein, überhaupt nicht eingeschränkt
3.a anstrengende Tätigkeiten, z.B. schnell laufen, schwere Gegenstände heben, anstrengenden Sport treiben	1	2	3
3.b mittelschwere Tätigkeiten, z.B. einen Tisch verschieben, staubsaugen, kegeln, Golf spielen	1	2	3
3.c Einkaufstaschen heben oder tragen	1	2	3
3.d mehrere Treppenabsätze steigen	1	2	3
3.e einen Treppenabsatz steigen	1	2	3
3.f sich beugen, knien, bücken	1	2	3
3.g mehr als 1 Kilometer zu Fuß gehen	1	2	3
3.h mehrere Straßenkreuzungen weit zu Fuß gehen	1	2	3
3.i eine Straßenkreuzung weit zu Fuß gehen	1	2	3
3.j sich baden oder anziehen	1	2	3

Hatten Sie <i>in der vergangenen Woche</i> aufgrund Ihrer <b>körperlichen</b> Gesundheit irgendwelche Schwierigkeiten bei der Arbeit oder anderen alltäglichen Tätigkeiten im Beruf bzw. zu Hause?	Ja	Nein
4.a Ich konnte nicht <b>so lange</b> wie üblich tätig sein	1	2
4.b Ich habe <b>weniger geschafft</b> als ich wollte	1	2
4.c Ich konnte <b>nur bestimmte Dinge</b> tun	1	2
4.d Ich hatte <b>Schwierigkeiten</b> bei der Ausführung	1	2

Hatten Sie <i>in der vergangenen Woche</i> aufgrund <b>seelischer</b> Probleme irgendwelche Schwierigkeiten bei der Arbeit oder anderen alltäglichen Tätigkeiten im Beruf bzw. zu Hause (z.B. weil Sie sich niedergeschlagen oder ängstlich fühlten)?	Ja	Nein
5.a Ich konnte nicht <b>so lange</b> wie üblich tätig sein	1	2
5.b Ich habe <b>weniger geschafft</b> als ich wollte	1	2
5.c Ich konnte nicht so <b>sorgfältig</b> wie üblich arbeiten	1	2

	Überhaupt nicht	Etwas	Mäßig	Ziemlich	Sehr
6. Wie sehr haben Ihre körperliche Gesundheit oder seelischen Probleme in der <i>vergangenen Woche</i> Ihre normalen Kontakte zu Familienangehörigen, Freunden, Nachbarn oder zum Bekanntenkreis beeinträchtigt?	1	2	3	4	5

	Keine Schmerzen	Sehr leicht	Leicht	Mäßig	Stark	Sehr stark
7. Wie stark waren Ihre Schmerzen in der <i>vergangenen Woche</i> ?	1	2	3	4	5	6

	Überhaupt nicht	Ein bißchen	Mäßig	Ziemlich	Sehr
8. Inwieweit haben die Schmerzen Sie in der <i>vergangenen Woche</i> bei der Ausübung Ihrer Alltagstätigkeiten zu Hause und im Beruf behindert?	1	2	3	4	5

In diesen Fragen geht es darum, wie Sie sich fühlen und wie es Ihnen <i>in der vergangenen Woche</i> gegangen ist. (Bitte kreuzen Sie in jeder Zeile die Zahl an, die Ihrem Befinden am ehesten entspricht).	Immer	Meistens	Ziemlich oft	Manchmal	Selten	Nie
Wie oft waren Sie <i>in der vergangenen Woche</i>						
9.a ... voller Schwung?	1	2	3	4	5	6
9.b ... sehr nervös?	1	2	3	4	5	6
9.c ... so niedergeschlagen, daß Sie nichts aufheitem konnte?	1	2	3	4	5	6
9.d ... ruhig und gelassen?	1	2	3	4	5	6
9.e ... voller Energie?	1	2	3	4	5	6
9.f ... entmutigt und traurig?	1	2	3	4	5	6
9.g ... erschöpft?	1	2	3	4	5	6
9.h ... glücklich?	1	2	3	4	5	6
9.i ... müde?	1	2	3	4	5	6

	Immer	Meistens	Manchmal	Selten	Nie
10. Wie häufig haben Ihre körperliche Gesundheit oder seelischen Probleme in der <i>vergangenen Woche</i> Ihre Kontakte zu anderen Menschen (Besuche bei Freunden, Verwandten usw.) beeinträchtigt?	1	2	3	4	5

Inwieweit trifft <i>jede</i> der folgenden Aussagen auf Sie zu?	trifft ganz zu	trifft weitgehend zu	weiß nicht	trifft weitgehend nicht zu	trifft überhaupt nicht zu
11.a Ich scheine etwas leichter als andere krank zu werden	1	2	3	4	5
11.b Ich bin genauso gesund wie alle anderen, die ich kenne	1	2	3	4	5
11.c Ich erwarte, daß meine Gesundheit nachläßt	1	2	3	4	5
11.d Ich erfreue mich ausgezeichneter Gesundheit	1	2	3	4	5

**Vielen Dank.**

### 9.4.1 Bedeutung der einzelnen Dimensionen des SF-36 Fragebogens

Aus Bullinger und Kirchberger, 1998 [111]:

<p><b>1. Körperliche Funktionsfähigkeit:</b> Das Ausmaß, in dem der aktuelle Gesundheitszustand körperliche Aktivitäten wie Selbstversorgung, Gehen, Treppensteigen, Bücken, Heben und mittelschwere oder anstrengende Fähigkeiten beeinträchtigt.</p>
<p><b>2. Körperliche Rollenfunktion:</b> Das Ausmaß, in dem der körperliche Gesundheitszustand, die Arbeit oder andere tägliche Aktivitäten beeinträchtigt sind; z.B. durch „weniger schaffen als gewöhnlich“, durch Einschränkungen in der Art der Aktivitäten oder anhand von Schwierigkeiten, bestimmte Aktivitäten auszuführen.</p>
<p><b>3. Körperliche Schmerzen:</b> Das Ausmaß an Schmerzen allgemein und der Einfluss von Schmerzen auf die normale Arbeit, sowohl innerhalb als auch außerhalb des Hauses.</p>
<p><b>4. Allgemeine Gesundheitswahrnehmung:</b> Die persönliche subjektive Beurteilung der eigenen Gesundheit einschließlich des aktuellen Gesundheitszustands.</p>
<p><b>5. Vitalität:</b> Eine subjektive Beurteilung der eigenen Vitalität, sich z.B. „energiegeladener“ im Gegensatz zu „müde und erschöpft fühlen“.</p>
<p><b>6. Soziale Funktionsfähigkeit:</b> Das Ausmaß, in dem der Zustand der körperlichen Gesundheit oder emotionale Probleme gewöhnliche soziale Aktivitäten beeinträchtigen.</p>
<p><b>7. Emotionale Rollenfunktion:</b> Das Ausmaß, in dem emotionale Probleme die Arbeit oder andere alltägliche Aktivitäten beeinträchtigen; z.B. dadurch, weniger Zeit aufzubringen, weniger zu schaffen und allgemein nicht so sorgfältig zu arbeiten wie üblich.</p>
<p><b>8. Psychisches Wohlbefinden:</b> Die allgemeine psychische Gesundheit einschließlich Depression, Angst, emotionale und verhaltensbezogene Kontrolle, d.h. allgemeine positive Gemütsstimmung</p>



## 9.5 Einteilung der Kraftgrade nach der British Medical Research Council Scale [117]

Kraftgrad	Beschreibung
0/5:	Lähmung, keine muskuläre Aktivität
1/5:	Keine Bewegung möglich, jedoch sind Muskelkontraktionen tastbar/ sichtbar
2/5	Bewegung möglich, aber nicht gegen die Schwerkraft
3/5	Bewegung gegen Schwerkraft möglich
4/5	Bewegung gegen leichten Widerstand möglich
5/5	Normales Kraftausmaß

## 9.6 Messblatt Wirbelsäule der DGUV

Az.: , Name:

### Messblatt Wirbelsäule (nach der Neutral-0-Methode)

Größe in cm:

Gewicht in kg:

HWS

Vorneigen/Rückneigen

(Abb. 1)

Seitneigen re./li.

(Abb. 2)

Drehen re./li.

(Abb. 3)

Kinnspitzenschulterhöhenabstand  
bei maximaler Drehseitneigung re./li.

BWS und LWS

Seitneigen re./li.

(Abb. 4)

Drehen im Sitzen re./li.

(Abb. 5)

Liegen/Jugulumabstand (cm) (Abb. 6)  
Aktive Aufrichtung aus Rückenlage  
Messstrecke Liege - DF C7

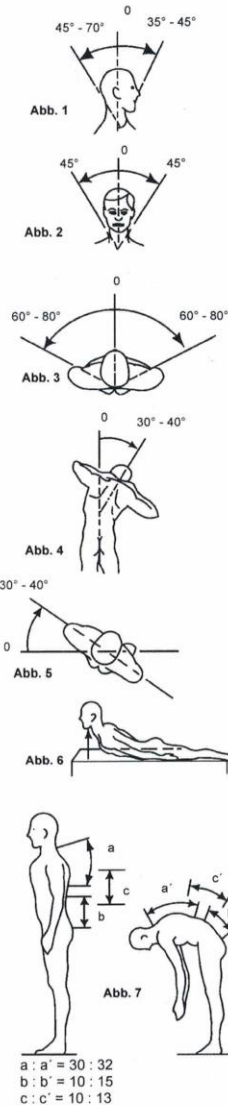
Finger - Boden - Abstand (cm)  
a) Ott (Abb. 7)  
Messstrecke DF C7 30 cm caudal  
b) Schober (Abb. 7)  
Messstrecke DF S1 10 cm cranial  
c) Messstrecke 10 cm mit Mittelpunkt (Abb. 7)  
DF L 1

Beckentiefstand (cm) re./li.

Seitverbiegung

Schulterstand (rechts tief/links tief)

Sagittale Verbiegung (kyphotische oder lordotische Fehlf orm):



# Erklärung zum Eigenanteil

Die Arbeit wurde in der berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik Tübingen unter Betreuung von Herrn PD Dr. Badke durchgeführt.

Die Konzeption der Studie erfolgte in Zusammenarbeit mit Herrn PD Dr. Badke, Chefarzt der Abteilung für Querschnittgelähmte, Technische Orthopädie und Wirbelsäulenchirurgie und Herrn Dr. Baron, leitender Oberarzt der Abteilung für Querschnittgelähmte, Technische Orthopädie und Wirbelsäulenchirurgie

Sämtliche Untersuchungen wurden nach Einarbeitung durch Herrn Dr. Baron von mir eigenständig durchgeführt.

Die statistische Auswertung erfolgte nach Beratung durch Dr. Julia Grünwald durch mich.

Ich versichere, das Manuskript selbständig verfasst zu haben und keine weiteren als die von mir angegebenen Quellen verwendet zu haben.

Köngen, den

# Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die mich direkt oder indirekt bei der Fertigstellung dieser Arbeit unterstützt haben.

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Herrn PD Dr. Badke, für die Bereitstellung dieses interessanten Themas, sowie für den ein oder anderen Einblick auf den realen Dens axis im OP.

Großer Dank gilt auch meinem Betreuer Herrn Dr. Baron. Er hat mir von Anfang an außerordentlich gut bei sämtlichen Fragestellungen geholfen und ist mir sowohl mit seinem Wissen wie auch durch seinen hohen zeitlichen Einsatz bei der Durchführung der Studie stets eine große Unterstützung gewesen.

Ganz herzlich möchte ich mich in diesem Zusammenhang bei Frau Dr. Julia Grünwald für die unermüdliche und geduldige Zusammenarbeit bedanken. Ihre Anregungen und objektive Kritik waren nicht nur hilfreich, sondern sorgten auch für die manchmal nötige Ablenkung.

Herzlich möchte ich meinen Freunden und Wegbestreitern Dr. Benjamin Maier, Dr. Tobias Marx, Dr. Leonard Grünwald, Dr. Maurice Jordan und Dr. Marcel Kopp danken. Zusammen fanden wir die nötige Abwechslung zum Studium und der Dissertation. Die gemeinsamen Gespräche, Diskussionen und Unternehmungen waren ein wertvoller Ausgleich.

Tiefsten Dank bin ich meinen Eltern verpflichtet, die mich stets auf meinem Weg bestärkt haben. Ihrer Unterstützung konnte ich immer sicher sein. Für ihre Geduld und ihren großen Beistand bin ich meiner Familie und meiner Freundin sehr dankbar.