

**Diplomarbeit**

**Computer unterstützte 3D-Densvermessung zur  
Ermittlung der optimalen Schraubenlage und  
Schrauben-Anzahl bei ventraler Densverschraubung**

eingereicht von

**Bernhard Jester**

Mat.Nr.: 04333331

zur Erlangung des akademischen Grades

**Doktor der gesamten Heilkunde**

**(Dr. med. univ.)**

an der

**Medizinischen Universität Graz**

ausgeführt am

**Universitätsklinik für Unfallchirurgie**

unter der Anleitung von

**Dr. Paul Puchwein**

**Priv. Doz. Dr .Wolfgang Pichler**

Graz, Januar 2011

## **Eidesstattliche Erklärung**

*Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.*

*Graz, am .....*

## **Danksagung**

Für die Bereitstellung des Themas bedanke ich mich bei Dr. Paul Puchwein. Er stand mir jederzeit mit Rat und Tat zur Seite. Ebenfalls bedanke ich mich bei Frau Dr. Karin Tanzer sowie Priv. Doz. Dr. Wolfgang Pichler für zahlreiche hilfreiche Ratschläge und die Korrektur der Diplomarbeit.

Besonders herzlich möchte ich meinen Eltern danken. Sie ermöglichten mir ein sorgenfreies Studium und unterstützen mich in jeder Lebenslage.

Vielen Dank!

# 1 Inhaltsverzeichnis

<b>Eidesstattliche Erklärung</b> .....	<b>2</b>
<b>Danksagung</b> .....	<b>3</b>
<b>1 Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>4</b>
1.1 Abbildungsverzeichnis.....	6
1.2 Tabellenverzeichnis.....	7
1.3 Abkürzungen.....	8
<b>2 Zusammenfassung</b> .....	<b>9</b>
<b>3 Abstract</b> .....	<b>10</b>
<b>4 Einleitung</b> .....	<b>11</b>
4.1 Initiales Management.....	11
4.1.1 Akutdiagnostik.....	12
4.1.1.1 Anamnese und Verletzungsmuster.....	12
4.1.1.2 Erste klinische und neurologische Untersuchung.....	12
4.1.2 Akutbehandlung.....	13
4.2 Diagnostik.....	14
4.2.1 Klinische Untersuchung.....	15
4.2.2 Neurologische Untersuchung.....	15
4.2.3 Bildgebung.....	16
4.3 Dens-Frakturen.....	19
4.3.1 Epidemiologie.....	19
4.3.2 Begleitverletzungen.....	19
4.3.3 Verletzungsmechanismus.....	19
4.3.4 Einteilung.....	20
4.3.5 Häufigkeit.....	21
4.3.6 Kritik.....	21
4.4 Anatomie.....	22
4.4.1 Obere Halswirbelsäule.....	22
4.4.2 Entwicklung Dens.....	25
4.4.3 Mikroarchitektur Dens.....	26

4.5 Therapie.....	27
4.5.1 Konservative Therapie .....	27
4.5.1.1 Halo-Fixateur.....	28
4.5.2 Operative Therapie .....	29
4.5.2.1 Komplikationen.....	29
4.5.2.2 Direkte Schraubenosteosynthese des Dens.....	30
4.5.2.2.1 Kontraindikationen.....	30
4.5.2.2.2 Durchführung.....	31
4.5.2.3 Schraubenanzahl.....	32
4.5.2.3.1 Ausblicke.....	33
4.5.2.4 Dorsale Stabilisation.....	33
4.5.2.4.1 Indikationen.....	34
4.5.2.4.2 Dorsale atlantoaxiale Fusion mit Drahtcerclagen.....	34
4.5.2.4.3 Dorsale transartikuläre atlantoaxiale Verschraubung n. Magerl.....	34
4.6 Pseudoarthrosen.....	35
<b>5 Material und Methoden .....</b>	<b>37</b>
<b>6 Ergebnisse.....</b>	<b>44</b>
6.1 Dens axis.....	44
6.2 Spinalkanal.....	48
<b>7 Diskussion.....</b>	<b>50</b>
<b>8 Literaturverzeichnis.....</b>	<b>57</b>
<b>9 Lebenslauf.....</b>	<b>62</b>

## 1.1 **Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Zervikalorthese - Stifneck.....	14
Abbildung 2: transorale Zielaufnahme des Dens.....	16
Abbildung 3: CT Halswirbelsäule.....	17
Abbildung 4: 3D-Rekonstruktion C1/C2.....	18
Abbildung 5: Anderson & D'Alonzo Klassifikation.....	20
Abbildung 6: HWS-Röntgen seitlich, Wirbelsäule Farbschema, v.l.n.r.....	22
Abbildung 7: Zeichnung Atlas, von kranial.....	23
Abbildung 8: Zeichnung Axis, links von kranial, rechts von lateral.....	24
Abbildung 9: Zeichnung Medianschnitt im Bereich der oberen HWS.....	25
Abbildung 10: Halo-Fixateur.....	28
Abbildung 11: Osteosyntheseschrauben.....	32
Abbildung 12: Densosteosynthese.....	33
Abbildung 13: Geschlechts- und Altersverteilung.....	37
Abbildung 14: MIMICS® (Materialise, Leuven, Belgien).....	38
Abbildung 15: Messpunkte A B C.....	39
Abbildung 16: Ebene X und Y.....	40
Abbildung 17: Densdurchmesser.....	41
Abbildung 18: Spinalkanal.....	42
Abbildung 19: Boxplot - Messergebnisse Strecke BC.....	43
Abbildung 20: Boxplot – Messergebnisse Winkel $\alpha$ .....	44
Abbildung 21: Boxplot - Messergebnisse Densdurchmesser auf Höhe von 0,66 der Denslänge.....	45
Abbildung 22: Boxplot - Messergebnisse Densdurchmesser auf Höhe von 0,9 der Denslänge.....	46
Abbildung 23: Boxplot - Messergebnisse Spinalkanal.....	47
Abbildung 24: Vermessung des Densdurchmessers.....	51

## **1.2 Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Messerergebnisse Strecke BC.....	43
Tabelle 2: Messerergebnisse Winkel $\alpha$ .....	44
Tabelle 3: Messergebnisse - Densdurchmesser auf Höhe von 0,66 der Denslänge.....	45
Tabelle 4: Messergebnisse - Densdurchmesser auf Höhe von 0,9 der Denslänge.....	46
Tabelle 5: Messergebnisse - Weite des Spinalkanals.....	47
Tabelle 6: Messergebnisse Tun et al. (20).....	49
Tabelle 7: Messergebnisse - Äußerer Densdurchmesser.....	52

### **1.3 Abkürzungen**

*SIDD 0,6: Sagittaler Innerer Densdurchmesser auf Höhe von 0,9 der Denslänge;*

*TIDD 0,6: Transversaler Innerer Densdurchmesser auf Höhe von 0,9 der Denslänge;*

*SÄDD 0,6: Sagittaler Äußerer Densdurchmesser auf Höhe von 0,9 der Denslänge;*

*TÄDD 0,6: Transversaler Densdurchmesser auf Höhe von 0,9 der Denslänge;*

*SIDD 0,9: Sagittaler Innerer Densdurchmesser auf Höhe von 0,9 der Denslänge;*

*TIDD 0,9: Transversaler Innerer Densdurchmesser auf Höhe von 0,9 der Denslänge;*

*SÄDD 0,9: Sagittaler Äußerer Densdurchmesser auf Höhe von 0,9 der Denslänge;*

*TÄDD 0,9: Transversaler Densdurchmesser auf Höhe von 0,9 der Denslänge;*

## 2 Zusammenfassung

Frakturen des Dens axis stellen mit 50-60% der C2-Frakturen und 7-27% der Halswirbelsäulenfrakturen eine nicht seltene Wirbelsäulenfraktur dar. Die ventrale Schraubenosteosynthese wird weit verbreitet zur Therapie von ausgewählten Typ II und III Frakturen angewendet. (1-18)

Diese Studie zielte auf die Vermessung der Morphometrie des Dens axis. Die mit einem 64-zeiligen Computertomografen ermittelten Bilder der Halswirbelsäule wurden mit einer speziellen Computersoftware vermessen. Nach statistischer Auswertung wurden die Ergebnisse hinsichtlich der Anwendbarkeit im Rahmen der operativen Versorgung von Densfrakturen untersucht.

Die durchschnittliche Länge des Dens axis beträgt  $39,95 \pm 2,74$  mm. Der Schraubeneintrittswinkel  $\alpha$  beträgt im Mittel  $59,88 \pm 3,87^\circ$ . Die auf Höhe von 66 % der Denslänge vermessenen Werte ergeben für den innere Densdurchmesser in sagittaler durchschnittlich  $8,34 \pm 0,79$  mm und in transversaler Richtung  $7,33 \pm 1,06$  mm. Der mittlere äußere Densdurchmesser beträgt in sagittaler  $12,87 \pm 0,85$  mm und in transversaler Richtung  $11,77 \pm 1,13$  mm. Die auf Höhe von 90 % der Denslänge gemessenen Werte für den sagittalen inneren Durchmesser des Dens axis weisen einen Mittelwert von  $6,08 \pm 1,16$  mm für den transversalen inneren Durchmesser  $5,41 \pm 1,02$  mm. Der mittlere äußere Durchmesser des Dens beträgt in sagittaler  $11,09 \pm 1,07$  mm und in transversaler Richtung  $9,96 \pm 0,97$  mm.

Moderne Vermessungsprogramme ermöglichen eine effiziente und genaue Beurteilung von anatomischen Gegebenheiten. Die exakte Vermessung des Dens axis ermöglicht ein besseres Verständnis von Densfrakturen und deren operativen Behandlung mittels einer Schraubenosteosynthese. Damit kann die benötigte Schraubenanzahl und Schraubenlänge bereits vor der Operation ermittelt werden und das Risiko von Schraubenfehlagen vermindert werden.

### 3 Abstract

Fractures of the dens axis represent 50-60% of C2-fractures and 7-27% of cervical spine fractures. The ventral screw -osteosynthesis is a widely used form of treatment for selected type II and III fractures. (1-18)

Purpose of this study was to get detailed information about the morphometry of the dens axis. Computer tomography images of the cervical spine were evaluated using a special measuring software. Subsequent to the statistical analysis the results were evaluated regarding their adaptability in the surgical treatment of dens fractures.

$39.95 \pm 2.74$  mm is the average length of the dens axis. The screw entry angle  $\alpha$  averages  $59.88 \pm 3.87$  °. Results at the level of 66% of the dens length measure average values of  $8.34 \pm 0.79$  mm for the inner diameter in the sagittal direction and  $7.33 \pm 1.06$  mm for transverse direction. The mean outer diameter of the dens is  $12.87 \pm 0.85$  mm in the sagittal direction and  $11.77 \pm 1.13$  mm in the transverse direction. The results at the level of 90% of the dens length measure values at an arithmetic mean of  $6.08 \pm 1.16$  mm for the sagittal inner diameter and  $5.41 \pm 1.02$  mm for the transverse inner diameter of the dens axis. The mean outer diameter of the dens is  $11.09 \pm 1.07$  mm in the sagittal direction and  $9.96 \pm 0.97$  mm in the transverse direction.

Modern imaging programs enable efficient and accurate assessment of anatomical structures. The exact measurement of the dens axis allows a better understanding of dens fractures and is therefore a great tool for planning the surgical treatment. Latter is important to determine the number and length of screws needed to be used and minimize the risk of screw misplacement.

## **4 Einleitung**

Frakturen des Dens axis stellen mit 50-60% der C2-Frakturen und 7-27% der Halswirbelsäulenfrakturen 1-2 % aller Wirbelsäulenfrakturen dar. Besonderheiten in der Mikroarchitektur und die hohen biomechanischen Anforderungen erklären gemeinsam mit weiteren Faktoren die Prädisposition dieser Region für Verletzung. Die auf der Lokalisation der Fraktur beruhende Klassifikation nach Anderson und D'Alonzo unterteilt Densfrakturen in drei Typen, wobei Frakturen vom Typ 2 mit 65 - 74 % am weitaus häufigsten vorkommen. Die operativen Therapiemöglichkeiten bei Densfrakturen umfassen ventrale und dorsale Stabilisierungsverfahren. Die ventrale Schraubenosteosynthese wird weit verbreitet zur Therapie von ausgewählten Typ II und III Frakturen angewendet. Im Rahmen der präoperativen Planung ist es möglich, mit Hilfe von CT-Bildern den Durchmesser sowie die Länge des Dens zu vermessen und die Knochenqualität abzuschätzen, um die nötige Schraubenlänge und mögliche Zahl der Schrauben zu bestimmen.

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurde die Morphometrie der oberen Halswirbelsäule, insbesondere des Dens axis, mit Hilfe der Bildbearbeitungssoftware MIMICS® (Materialise, Leuven, Belgien) vermessen, um Rückschlüsse auf die erforderliche Schraubenzlänge und den Schraubeneinbringwinkel bei der ventralen Densosteosynthese zu erhalten. Moderne Vermessungsprogrammen ermöglichen eine effiziente und genaue Beurteilung von anatomischen Gegebenheiten. Damit kann die benötigte Schraubenzahl und Schraubenzlänge bereits vor der Operation ermittelt werden und das Risiko von Schraubenfehllagen vermindert werden. (1-20)

### ***4.1 Initiales Management***

Die initialen Maßnahmen durch den Notarzt oder Ersthelfer nehmen einen nicht zu unterschätzenden Einfluss auf den weiteren Verlauf einer Wirbelsäulenverletzung. Im Rahmen der Erstdiagnostik am Unfallort hat die möglichst frühe Erkennung einer Wirbelsäulenverletzung sowie der Schutz und die Stabilisierung der Wirbelsäule zur Vermeidung

weiterer oder Verschlechterung bereits bestehender Schäden hohe Priorität. (21,1,22) Bis zum Abschluss einer vollständigen Diagnostik sollte eine Verletzung der Halswirbelsäule angenommen und Immobilisierungsmaßnahmen aufrecht erhalten werden. (21-25)

## **4.1.1 Akutdiagnostik**

### ***4.1.1.1 Anamnese und Verletzungsmuster***

Bei einer fraglichen Wirbelsäulenverletzung nimmt die Erhebung einer zielgerichteten Anamnese einen hohen Stellenwert ein. (26,27) Sollte die direkte Befragung des Patienten wegen Bewusstseinsstrübung nicht möglich sein, kann eine Fremdanamnese durch Zeugen wertvolle Hinweise liefern. (22) Neben Angaben über Bewusstlosigkeit und Kopf- und Nackenschmerzen sowie Schmerzen bei Bewegung, sollte besonders auf den zeitlichen Verlauf von sensorischen oder motorischen Funktionsausfällen geachtet werden. (22,23,27,2) Ein besonderes Augenmerk sollte auf den Unfallmechanismus gelegt werden. Dabei sind Sprünge ins flache Wasser, Stürze aus großer Höhe, kranial aufprallende Lasten, Hochrasanztraumen mit dem PKW oder Motorrad sowie direkte Verletzungen in der Hals- und Nackenregion und Kopfverletzungen typisch für Frakturen im Bereich der oberen Halswirbelsäule. (21,1,26,28,29) Im Rahmen eines Polytraumas muss in etwa 30% der Fällen mit einer Beteiligung der Wirbelsäule gerechnet werden. (26) Im Kontrast dazu stehen die Ursachen für Densfrakturen bei älteren Menschen. Das häufigste Verletzungsmuster im höheren Alter stellen Bagatelltraumen mit relativ geringer Energieeinwirkung wie Stürze aus dem Sitzen oder Stehen dar. (27,2-4)

### ***4.1.1.2 Erste klinische und neurologische Untersuchung***

Im Rahmen der ersten klinischen Untersuchung können die für Halswirbelsäulenverletzungen typische Zeichen wie lokale Abschürfungen, Druck- und Klopfschmerzen, eingeschränkte Bewegungsfähigkeit der Halswirbelsäule und Hämatome

wegweisend sein. (28) Zeigen sich im Bereich der Wirbelsäule Weichteil- oder Decollementverletzungen, eine tastbare Instabilität oder Krepitationsgeräusche ist eine relevante Verletzung anzunehmen. (26) Bereits am Unfallort sollte eine orientierende neurologische Untersuchung stattfinden. Neben der Überprüfung der Motorik mit Hilfe von Kennmuskeln wird die Sensibilität entsprechend der segmentalen Versorgung der Dermatome untersucht. (23) Schlanke Areflexie, reine Bauchatmung, Priapismus, fehlende Schmerzreaktion, Bradykardie und Hypotonie weisen auf eine Rückenmarkläsion hin. (21,23)

Durch die Bestimmung der Höhe und Ausprägung einer Querschnittssymptomatik kann eine mögliche sekundäre Verschlechterung und deren Dynamik frühzeitig erkannt werden. (23)

#### **4.1.2 Akutbehandlung**

Die Therapie von Wirbelsäulenverletzungen beginnt bereits am Unfallort. (23) Da die betroffenen Patienten nicht selten multiple lebensbedrohende Verletzungen aufweisen (22,26,27) müssen die allgemeinen Prinzipien der prähospitalen Traumaversorgung beachtet werden. (21) Die Sicherung der Atemwege, Gewährleistung einer ausreichenden Ventilation und die hämodynamische Stabilisierung haben dabei oberste Priorität. (22,27)

Eine vorsichtige orotracheale Intubation sollte stets unter Vermeidung einer starken Reklination fiberoptisch oder unter axialem Zug durch einen Zweithelfer erfolgen. (1,23) Volumensubstitution und optimale Oxygenierung des Blutes dienen neben der hämodynamischen Stabilisierung auch der Vermeidung einer sekundären hypoxischen Schädigung des Rückenmarks und zusätzlicher neurologischer Schäden. (1,22,23)

Bei jeder vermuteten Halswirbelsäulenverletzung stellen die Immobilisierung durch eine Zervikalstütze (Abb.: 1) und die achsengerechte Lagerung mit Hilfe einer Vakuummatratze oder eines Spine-Boards einen Grundpfeiler der Erstversorgung dar. (21,1,22,23,27,29,30,5)

Repositionsversuche am Unfallort ohne exakte Diagnose und der Möglichkeit einer Bildgebung werden nicht empfohlen. (1,29)



**Abbildung 1: Zervikalorthese - Stifneck**

Fotos: James Heilman, MD – auf: [http://en.wikipedia.org/wiki/Cervical\\_collar](http://en.wikipedia.org/wiki/Cervical_collar)

## **4.2 Diagnostik**

Bei Verdacht auf eine Verletzung der Halswirbelsäule beruht eine zielführende Diagnostik auf Kenntnis des Unfallgeschehens, einer genauen klinischen Untersuchung, Erhebung eines differenzierten neurologischen Status sowie einer ausreichenden Bildung. (21,6,5) Im Vordergrund stehen zuerst die Diagnose und Behandlung von akut lebensgefährlichen Verletzungen wie Schädel-Hirn Trauma, Thoraxverletzungen, Abdominal- und Beckentraumata. (26)

Die unfallchirurgische Beurteilung der Wirbelsäule zielt auf die Abklärung der skelettalen und neurologischen Verletzungen sowie auf die Erkennung einer Instabilität, Klassifikation der Verletzung und das Erstellen eines Therapieplanes ab. (21,7)

Da Densfrakturen häufig mit sehr unspezifischen Symptomen verknüpft sind, sollte bis zum Abschluss der Diagnostik eine Fraktur angenommen werden und die Wirbelsäule dementsprechend immobilisiert bleiben. (21-25,2) Zu diesem Zweck sollte der Verunfallte für alle diagnostischen sowie therapeutischen Maßnahmen in Neutralposition verbleiben und nur mehr mit der Log-roll Technik bewegt werden. (21) Torsions- sowie Scherbewegungen der Körperachse müssen vermieden werden. (23)

### **4.2.1 Klinische Untersuchung**

Im Rahmen der klinischen Untersuchung liefern die Inspektion und Palpation des Patienten wichtige Hinweise. Charakteristisch für Wirbelsäulenverletzungen sind Hämatome, Bewegungseinschränkungen, Ödeme, Kontusionsmarken, Fehlstellungen, Stufenbildungen, Spaltbildungen, Nackenbeschwerden und Spasmen der zugehörigen Muskulatur. (21,1,28,30) So können Prellmarken an der Stirn einen Indikator für eine Hyperextensionsverletzung der Halswirbelsäule darstellen. (22)

Bei Palpation weisen sich betroffene Segmente durch Druck- und Klopfschmerz aus. (1,28) Bei einer Verletzung des Rückenmarks im Rahmen einer Fraktur im Bereich der oberen Halswirbelsäule können die klinischen Symptome von geringen Funktionsstörungen, über Schluckbeschwerden bis hin zu massiven Weichteilschwellungen und schweren Hirnstammsymptomen mit Apnoe und Kreislaufstillstand reichen. (23)

### **4.2.2 Neurologische Untersuchung**

Die Erhebung eines exakten neurologischen Status und die Erfassung des Ausmaßes der neurologischen Defizite sind wesentliche Bestandteile der Diagnostik und der therapeutischen Indikationsstellung. (1,23,26)

Wichtige Grundpfeiler der neurologische Untersuchung sind die Überprüfung der Motorik, der Sensibilität und des Reflexstatus. Die Motorik des Patienten kann im Seitenvergleich mit den segmentalen Kennmuskeln an der unteren und oberen Extremität überprüft und durch die Einteilung in Kraftgrade quantifiziert werden. Die beidseitige Untersuchung der Sensibilität aller Dermatome besteht aus der Überprüfung von Berührungs-, Schmerz-, Vibrations-, Propriozeptions-, Temperaturempfinden sowie der Spitz-Stumpf-diskrimination. Der Reflexstatus ergibt sich aus der beidseitigen Überprüfung von physiologischen und pathologischen Reflexen. Eine Rektale Untersuchung mit Beurteilung des Anal- und Bulbocavernosusreflexes sowie der perianalen Sensibilität sind von enormer Bedeutung, wobei sich pathologische Befunde in einigen Fällen auch erst Stunden nach dem Trauma zeigen können. (21,1,22,23,26)

### 4.2.3 Bildgebung

Die entscheidenden Aussagen der radiologischen Diagnostik beziehen sich auf die Frakturform, Höhenlokalisation und Stabilität der Wirbelsäulenverletzung. (1,5) Die primäre Bildgebung besteht noch weit verbreitet aus konventionellen Röntgenaufnahmen der gesamten Halswirbelsäule mit seitlichem und anterior-posterior Strahlengang sowie eine transorale Dens-Zielaufnahme (Abb.: 2). (21,22,24-26,2,28,8,9,5-7) Die Angaben über die Sensitivität von konventionellen Röntgenaufnahmen bei Frakturen der Halswirbelsäule schwanken in der Literatur erheblich – die Häufigkeit von falsch-negativen Befunden werden mit 1 bis 57 % angegeben. (24,3,6,7) Funktionsaufnahmen sind bezüglich ihrer diagnostischen Aussagekraft kritisch zu beurteilen(26) und bei instabilen Wirbelsäulenverletzungen kontraindiziert. (21)



**Abbildung 2: transorale Zielaufnahme des Dens**

*Undislozierte Densfraktur Typ II nach Anderson & D'Alonzo*

Bei fraglichen Halswirbelsäulenfrakturen wird eine großzügigere Indikationsstellung für eine Computertomografie empfohlen. Die vielfältigen Fehlerquellen und die häufigen falsch-negativen Befunde konventioneller Röntgenaufnahmen sowie die Zeiteinsparung, hohe Sensitivität und weite Verbreitung geeigneter CT-Geräte spricht für eine Änderung des Abklärungsalgorithmus zugunsten einer Primärdiagnostik der Halswirbelsäule mittels Computertomografie. (26,5,31,32,6,7)

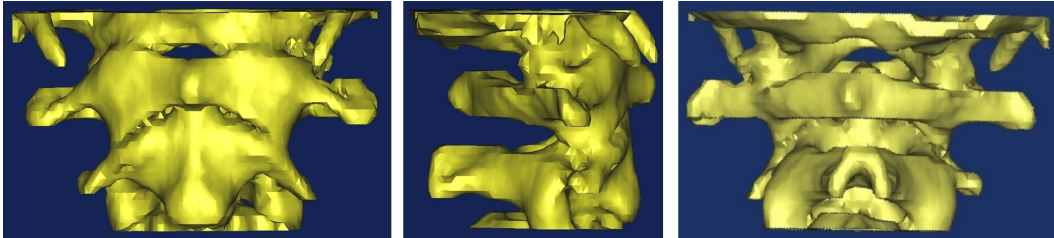


**Abbildung 3: CT Halswirbelsäule**

*Sagittale Ebene, undislozierte Densfraktur Typ II nach Anderson & D'Alonzo*

Die Computertomografie mit der Möglichkeit der multiplanaren Rekonstruktion stellt die sensitivste Methode zum Nachweis einer Densfraktur dar und ermöglicht eine genaue

Klassifikation der Fraktur sowie die präoperative Planung hinsichtlich Frakturdislokation und Schraubenlage. (22,23,28,5,10,8,9) Bei komplexen Frakturen können Volumen-Rendering-Rekonstruktionen (Abb.: 4) helfen, einen wichtigen Überblick aber auch intraoperative Ansichten zu erhalten. (7)



**Abbildung 4: 3D-Rekonstruktion C1/C2**

*Obere Halswirbelsäule von ventral, lateral und seitlich (v.l.n.r)*

Die Magnetresonanztomographie ermöglicht eine strahlungsfreie und verbesserte Darstellung von Weichteilverletzungen im Bereich des Myelon, der Bandstrukturen, Bandscheiben, Nervenwurzeln, Muskulatur und der Gelenke, aber auch von Knochenkontusionen.

Durch die lange Untersuchungszeit und die beschränkte Verfügbarkeit ist die Magnetresonanztomografie in der Primärdiagnostik meist nur bei unklaren neurologischen Symptomen indiziert. (21,1,22,23,25,26,28,3,5,10)

## **4.3 Dens-Frakturen**

### **4.3.1 Epidemiologie**

Obwohl die Zahlen über die Häufigkeit von Frakturen des Dens axis in der Literatur unterschiedlich sind, unterstreichen sie dennoch die Relevanz dieser Verletzung. Vor allem ab einem Alter von 70 Jahren stellt die Densfraktur die häufigste isolierte Verletzung der Halswirbelsäule dar. (2,28,4,11,7,12,8)

Mit 50-60% der C2-Frakturen repräsentieren Verletzungen des Dens axis 7-27 % der gesamten Frakturen der Halswirbelsäule und 1-2 % aller Wirbelsäulenfrakturen. (2-5,7,13-15,8-12,16-18)

### **4.3.2 Begleitverletzungen**

Auf Grund der Verletzungsmechanismen sind Verletzungen der Halswirbelsäule in 10-25% der Fälle mit einem relevanten Schädel-Hirn-Trauma vergesellschaftet. (1,23)

Frakturen des Dens axis treten in 40-50% der Fälle in Rahmen von Mehretagenverletzungen auf. (29,5,8,12)

Obwohl bei 66% der Halswirbelsäulenverletzungen von neurologischen Störungen berichtet wird (23) ist dies bei nur 5-42% der Densfrakturen der Fall. (27,2,29,3,5,8,11-13)

### **4.3.3 Verletzungsmechanismus**

Als Verletzungsmechanismen bei Densfrakturen werden hauptsächlich eine Hyperextensions- und Hyperflexionsbewegung sowie in sagittaler Richtung wirkende Scherkräfte und axiale Kompression beschrieben. Zu Hyperextensionverletzungen kommt es vorwiegend durch den Aufprall mit der Stirn im Rahmen von Autounfällen oder Stürzen.

Kranial aufprallende Lasten und Stürze auf den Hinterkopf führen hingegen zu Hyperflexionsverletzungen. (22,3,5,33,8,9,12,13)

#### 4.3.4 Einteilung

Die für die Lenden-, Brust- und untere Halswirbelsäule verwendete AO-Spine Klassifikation wird für Frakturen der ersten beiden Halswirbel nicht angewendet. (21)

Die gebräuchlichste Einteilung von Frakturen des Dens axis ist die Klassifikation nach Anderson und D'Alonzo (1974). (19) Basierend auf der Lokalisation der Fraktur werden 3 verschiedene Typen unterschieden (Abb.: 5).

- Typ 1 beschreibt eine Fraktur der Densspitze und stellt eigentlich einen knöchernen Ausriss der Ligg. alaria dar.
- Typ 2 Frakturen betreffen den Übergang des Dens axis in den Körper des zweiten Halswirbels.
- Typ 3 ist gekennzeichnet durch den Verlauf der Frakturlinie in den spongiösen Teil des Wirbelkörpers des zweiten Halswirbels.



**Abbildung 5: Anderson & D'Alonzo Klassifikation**

*Einteilung der Densfrakturen nach Lokalisation: Typ I: Fraktur im Bereich der Densspitze. Typ II: Fraktur im Bereich des Halses des Dens axis. Typ III: Fraktur verläuft in den spongiösen Teil des zweiten Halswirbelkörpers. (v.l.n.r)*

### **4.3.5 Häufigkeit**

Dens axis Frakturen vom Typ 2 kommen mit 65 - 74 % am weitaus häufigsten vor. (2,9,14,18) Typ 1 Frakturen sind hingegen ausgesprochen selten. (10)

### **4.3.6 Kritik**

Obwohl sich nahezu jede Arbeit über Densfrakturen auf diese Klassifikation nach Anderson und D'Alonzo bezieht, bestehen doch grundlegende Verständnisunterschiede einerseits betreffend der anatomischen Grenzen des Dens axis als auch den Verlaufes der Frakturlinie und somit bei der Unterscheidung von Typ 2 und Typ 3. Vor allem die Lokalisation der Densbasis sowie der Grenze zwischen dem Processus odontoideus und des Wirbelkörpers C2 wird häufig unterschiedlich aufgefasst. Neuere Arbeiten über die Anatomie des Dens axis versuchen dies auszuräumen, legen aber gleichzeitig eine Überarbeitung der Klassifikationskriterien von Densfrakturen nahe. (34-38,14,18)

Ein weiterer Kritikpunkt stellt die recht grobe anatomische Einteilung in die 3 Typen dar. Auf Grund der sehr unterschiedlichen Frakturmorphologie können Rückschlüsse auf die Stabilität nur bedingt gezogen werden und eine definitive Therapieentscheidung sollte nicht alleinig auf dieser Klassifikation beruhen.

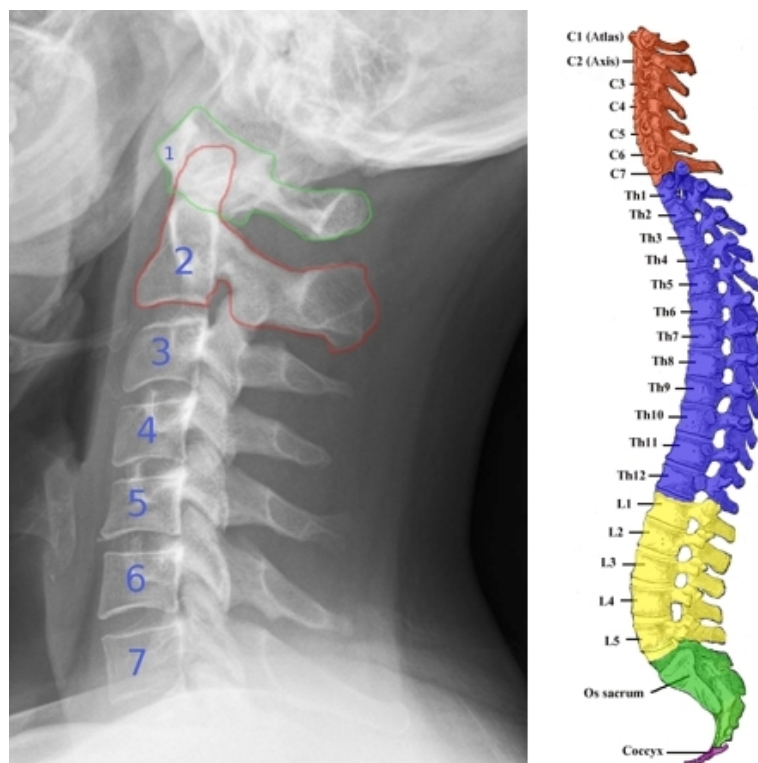
Entscheidende Faktoren, die bei der Wahl der Therapie beachtet werden müssen sind: Frakturverlauf, Ausmaß der Dislokation, Trümmerzonen, Rotationskomponenten, die knöcherne Architektur des Dens axis, Pathogenese, eine relevante Osteoporose sowie anatomische Besonderheiten wie Emphysemthorax und kyphotische Fehlstellung der Halswirbelsäule. (8,39,40,10)

Spezifischere Klassifikationen wie zum Beispiel nach Gaudernak, Eysel u. Roosen und Roy-Camille werden vereinzelt beschrieben (9,15,16), haben sich aber noch nicht durchgesetzt.

## 4.4 Anatomie

### 4.4.1 Obere Halswirbelsäule

Die Halswirbelsäule lässt sich morphologisch und funktionell in zwei Abschnitte einteilen: die obere Halswirbelsäule mit den Wirbeln C1 und C2 sowie die untere Halswirbelsäule mit den Wirbeln C3 bis C7. (41)

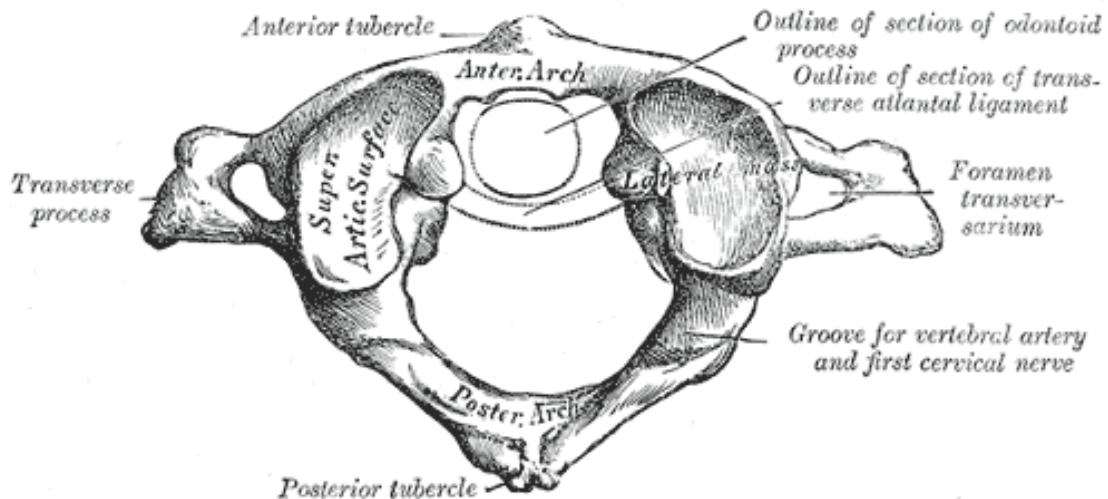


**Abbildung 6: HWS-Röntgen seitlich, Wirbelsäule Farbschema, v.l.n.r.**

Foto links: Hellerhof auf <http://de.wikipedia.org/wiki/Halswirbelsäule>

Der ringförmige erste Halswirbel (Atlas) wird aus dem Arcus anterior und dem Arcus posterior gebildet, die sich lateral in den Massae laterales vereinigen (Abb.: 7). Einzigartig ist das Fehlen eines Wirbelkörpers – dessen Platz wird durch einen kranialen Fortsatz des zweiten Halswirbels, Dens axis, eingenommen. Der Dens axis artikuliert über seine

vordere Gelenksfläche, Facies articularis anterior, mit der Fovea dentis, die an der Rückseite des Arcus anterior gelegen ist. Die Massae laterales setzen sich seitlich in die Processus transversi fort, die je ein Foramen transversarium aufweisen, welches die aufsteigende A. vertebralis aufnimmt. (27,41,42)



**Abbildung 7: Zeichnung Atlas, von kranial**

*Aus: Gray's Anatomy of the Human Body, TWENTIETH EDITION, THOROUGHLY REVISED AND RE-EDITED BY WARREN H. LEWIS, ILLUSTRATED WITH 1247 ENGRAVINGS, PHILADELPHIA: LEA & FEBIGER, 1918*

Der zweite Halswirbel (Axis) besteht aus dem Corpus vertebrae und dem Arcus vertebrae (Abb.: 8). Der Wirbelbogen trägt zwei seitliche Processus transversi mit den Processus articulares superiores und inferiores, und den nach dorsal gerichteten Processus spinosus. Der Wirbelkörper setzt sich nach kranial in den Axiszahn, Dens axis, fort, der entwicklungsgeschichtlich aus der eigentlichen Anlage des Atlaskörpers entsteht. Der Dens axis weist zwei überknorpelte Gelenksflächen auf. Die Facies articularis anterior artikuliert mit der Fovea dentis des Arcus anterior atlantis und die Facies articularis posterior mit dem Ligamentum transversum atlantis. Von der Spitze des Dens axis, Apex dentis, ziehen die Lig. alaria zum seitlichen Rahmen des Foramen occipitale magnum. (27,41,42)

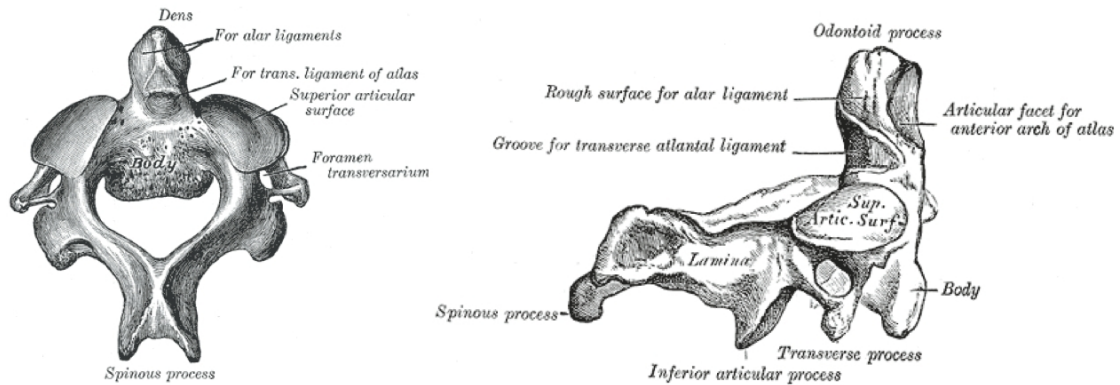


Abbildung 8: Zeichnung Axis, links von kranial, rechts von lateral

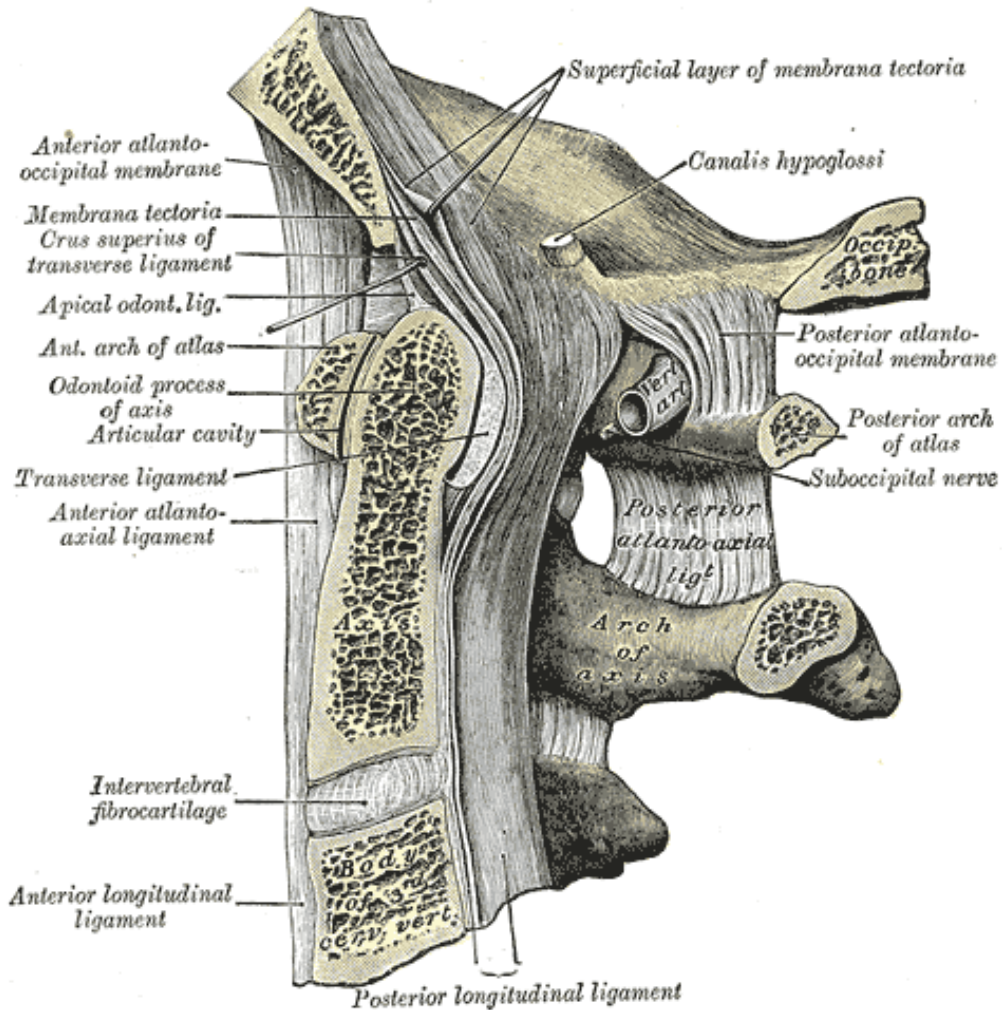
Aus: Gray's Anatomy of the Human Body, TWENTIETH EDITION, THOROUGHLY REVISED AND RE-EDITED BY WARREN H. LEWIS, ILLUSTRATED WITH 1247 ENGRAVINGS, PHILADELPHIA: LEA & FEBIGER, 1918

Die ersten beiden Halswirbel bilden gemeinsam das untere Kopfgelenk, Articulatio atlantoaxialis, das aus vier Teilgelenken besteht. Die Facies articulares inferiores des Atlas und die Facies articulares superiores des Axis artikulieren in der paarigen Articulatio atlantoaxialis lateralis. Der Dens axis artikuliert über seine Facies articularis anterior mit der Fovea dentis des Arcus anterior atlantis und über die Facies articularis posterior mit dem Ligamentum transversum atlantis.

Der Dens axis stellt das mechanische Zentrum der Articulatio atlantoaxialis dar und wird durch einen komplexen Bandapparat stabilisiert (Abb.: 9). Dazu zählen die Ligg. alaria, die von der Densspitze zum seitlichen Rahmen des Hinterhauptloches ziehen, das Lig. transversum atlantis, das durch einen oberen und unteren Schenkel zum Lig. cruciforme ergänzt wird sowie die Membrana tectoria.

Das untere Kopfgelenk ermöglicht eine Rotation des Atlas um den Axis von bis zu 40° zu jeder Seite und ist somit essentiell für die Beweglichkeit der Halswirbelsäule.

(28,41,42,20)



**Abbildung 9: Zeichnung Medianschnitt im Bereich der oberen HWS**

Aus: Gray's Anatomy of the Human Body, TWENTIETH EDITION, THOROUGHLY REVISED AND RE-EDITED BY WARREN H. LEWIS, ILLUSTRATED WITH 1247 ENGRAVINGS, PHILADELPHIA: LEA & FEBIGER, 1918

#### 4.4.2 Entwicklung Dens

Der Dens axis entwickelt sich aus zwei Knochenkernen, die sich noch vor der Geburt vereinen. Diese Knochenkern sind durch die subdentale Synchronchondrose von den Knochenkernen des Corpus axis getrennt. (14,18,35,42)

Neuere Studien berichten über eine Persistenz dieser subdentalen Synchronchondrose, die histomorphologisch und auf MR-Schnittbildern bis ins hohe Erwachsenenalter

nachweisbar ist. (14,18,38,42)

Die deutlich unter der horizontalen Ebene durch die paarige *Articulatio atlantoaxialis lateralis* gelegene subdentale Synchondrose weist eine schlechte trabekuläre Integration in die umliegenden Spongiosa auf. (14,18,35,38)

#### **4.4.3 Mikroarchitektur Dens**

Zahlreiche Arbeiten weisen auf die im Vergleich zum restlichen Axis verringerte Knochendichte und reduzierte trabekuläre Verknüpfung im Bereich der Dens-Basis hin. Gemeinsam mit dem häufigen Persistieren der subdentalen Synchondrose führen diese Besonderheiten in der Mikroarchitektur zu einer verminderten biomechanischen Widerstandsfähigkeit dieser Region. Diese Prädisposition für Verletzungen wird gemeinsam mit anderen Faktoren zur Erklärung der großen Anzahl von Typ II Frakturen und deren häufige Vergesellschaftung mit Pseudoarthrosen herangezogen. (2,14,18,20)

## **4.5 Therapie**

Die Behandlung von Densfrakturen wird in der Literatur teilweise kontrovers diskutiert. Allgemein gültige Standards oder Richtlinien sind kaum verbreitet. Dies führt gemeinsam mit den beschriebenen Problemen bei der Klassifizierung von Densfrakturen zu teilweise gegensätzlichen Therapieempfehlungen bei gleichen Frakturtypen. (4,43,11,17,39)

Grundsätzlich werden konservative und operative Behandlungsmöglichkeit unterschieden. Als konservatives Verfahren steht die Immobilisation mit Halo-fixateur und Halo-Weste oder mit einer Zervikalorthese zur Verfügung. Zu den operativen Möglichkeiten zählen verschiedenen Varianten der dorsalen Fusion von C1 und C2 und die direkte ventrale Densverschraubung.

Die definitive Therapieentscheidung muss unter Beachtung einer Vielzahl von verschiedenen Faktoren getroffen werden. Im Vordergrund stehen dabei neben der Klassifikation die genaue Analyse des Frakturverlaufes, der Ausschluss von Trümmerzonen, das Dislokationsausmaß und die Unterscheidung von Flexions- und Extensionsfrakturen. Ein besonderes Augenmerk muss auf die knöchernen Architektur und Knochenqualität des Dens axis gelegt werden. Auch das Alter des Patienten und das Ausmaß einer eventuell vorhandenen Osteoporose können die Therapieempfehlungen beeinflussen. Nicht zuletzt spielen Begleitverletzungen wie zum Beispiel zusätzliche Frakturen der Wirbelsäule und allgemeine Komorbiditäten eine wichtige Rolle. (1,26,2,4,8,44,17,39)

### **4.5.1 Konservative Therapie**

Die konservativen Therapiemöglichkeiten bei Densfrakturen bestehen aus der Immobilisation mittels Zervikalorthese und Halo-Fixateur. Eine Ruhigstellung mit einer Zervikalorthese wird bei Typ I Frakturen nach Anderson und D'Alonzo empfohlen, wenn eine atlantooccipitale Dislokation sicher ausgeschlossen werden kann. (1,22,23,27,4,30,9)

#### **4.5.1.1 Halo-Fixateur**

Die Indikation zur Therapie von Densfrakturen mittels Halo-Fixateur wird zur definitiven Behandlung von stabilen, nicht dislozierten Typ III Frakturen nach Anderson und D'Alonzo gestellt, da diese bei Ruhigstellung von 8 bis 12 Wochen eine hohe Ausheilungsrate aufweisen. (21,1,22,27,6,8,9,45,46,44)

Weiters wird der Halo-Fixateur zur temporären Ruhigstellung bis zur operativen Versorgung und als intraoperative Repositionshilfe bei Typ II und III Frakturen eingesetzt. (45)



*Abbildung 10: Halo-Fixateur*

Zu den beschriebenen Komplikationen im Rahmen der Therapie mit dem Halo-Fixateur zählen Pinlockerungen, sekundäre Frakturdislokation, Pininfektionen, Osteomyelitis des Schädelknochen, extra- und subdurale sowie zerebrale Abszesse, Druckulzera, Hautnekrosen, Narbenbildung, Kalottenpenetration, Duraverletzungen, Gefäßverletzungen und persistierende Schmerzen an den Pin-Eintrittsstellen. (4,30,6,11,15,47,48,45,46)

Die lange Behandlungsdauer von 8 bis 12 Wochen stellt eine oft schlecht tolerierte psychische Belastung dar und ist vor allem bei älteren Patienten mit zusätzlichen Risiken verbunden. (2,6,15)

Die Zahlen in der Literatur über die Pseudoarthroseraten im Rahmen einer konservativen

Behandlung variieren stark. Über die Entstehung einer Pseudoarthrose bei der Therapie mittels Immobilisation durch die Anlage eines Halo-Fixateurs wird in 18-97% der Typ II (1,30,6,9,11,14,18) und in 20% der Typ III (30) Frakturen des Dens berichtet.

## **4.5.2 Operative Therapie**

Die operativen Therapiemöglichkeiten bei Densfrakturen umfassen ventrale und dorsale Stabilisierungsverfahren. Die ventrale Schraubenosteosynthese wird weit verbreitet zur Therapie von ausgewählten Typ II und III Frakturen angewendet.

Zu den dorsalen Verfahren zählen die transartikuläre Verschraubung von C1/2 nach Magerl, Drahtcerclagen nach Gallie, Brooks und Jenkins sowie diverse dorsale Stabinplantatsysteme.

Die operative Behandlung von Densfrakturen ermöglicht im Gegensatz zur langwierigen und oft schlecht tolerierten Ruhigstellung bei konservativer Therapie eine zügige Mobilisation. Die Eingriffe ermöglichen eine effiziente Dekompression von neurologischen Strukturen, vermindern posttraumatische Instabilitäten und fortschreitende Fehlstellungen. (1,2,6,15)

### **4.5.2.1 Komplikationen**

Das Spektrum der Komplikationen der operativen Eingriffe umfasst allgemeine Komplikationen, Lagerungsfehler und verfahrensspezifische Gefahren.

Zu den allgemeinen Komplikationen zählen Blutungen, Wundinfekte und Materiallockerungen.

Im Rahmen von Lagerungsfehlern kann es bei Verzicht auf intraoperativer Kopffixierung mittels Halo-Fixateurs zu Myelopathien kommen. Zur freien Projektion des zervikothorakalen Übergangs wird der Schultergürtel mittels Unterarmmanschetten nach kaudal gezogen, wodurch bei zu langem oder zu festem Zug eine Schädigung des Plexus brachialis auftreten kann. (23,6,47)

Bei der transartikulären Verschraubung von C1/2 nach Magerl kann es zu einer Dissektion der A. vertebralis und in seltenen Fällen zu einer Läsion des N. Hypoglossus kommen. (6)  
Zu den möglichen zugangsbedingten Komplikationen bei der direkten ventralen Densosteosynthese zählen Dysphagie, Parese des N. recurrens, revisionspflichtige Hämatomate und Ösophagusperforation. Weiters werden Verletzungen der A. carotis interna und der A. thyroidea sowie von perforierenden Venen und segmentalen Gefäßen berichtet. (6,12,47)

Verfahrensspezifisch kann es im Rahmen der direkten ventralen Densverschraubung zu einem ventralen Ausbrechen oder zu einem kaudalen Einbruch der Schrauben in den Wirbelkörper des Axis kommen. (6,12,40,47)

Die operative Therapie durch eine direkte ventrale Densverschraubung weist eine Pseudoarthroserate von 0-20 % auf. (6,11,14,18)

#### **4.5.2.2 Direkte Schraubenosteosynthese des Dens**

Die zeitgleiche Erstbeschreibung der ventralen Schraubenosteosynthese des Dens wird Böhler und Nakanishi zugeschrieben. (4,12,15,17,49,47)

Die direkte Schraubenosteosynthese ermöglicht die Erhaltung der atlantoaxialen Rotation und der Beweglichkeit der oberen Halswirbelsäule. Die Methode bietet eine relative hohe Fusionsrate bei mit dorsalen Verfahren vergleichbaren Komplikationsraten. Auf die Gewinnung von autologem Knochenmaterial und die damit verbundenen Komplikationen kann bei diesem Verfahren verzichtet werden. (1,22,27,4,11,50,51,20)

##### **4.5.2.2.1 Kontraindikationen**

Die ventrale Densverschraubung ist kontraindiziert bei schlechtem Allgemeinzustand, superinfizierten Hauterkrankungen, pathologischen Frakturen, entzündlichen und rheumatischen Läsionen, ausgeprägter Osteoporose, Osteolyse im Bruchspalt und einer ausgedehnten Trümmerzone. (2,9,17,52,40,44,45)

Verläuft die Bruchlinie in der Frontalebene besteht die Gefahr einer seitlichen Verschiebung des kranialen Fragmentes. Bei einem Frakturverlauf von dorsokranial nach

ventrokaudal kann es durch die Kompressionskräfte der Schraube zu einer Dislokation nach ventral kommen. In diesem Fall wird das Anbringen einer Antigleitplatte oder alternativ eine dorsale Intervention empfohlen. (1,4,8,9,40,52)

Die zur Einbringung der Schraube nötige Extensionsfähigkeit kann durch eine übermäßige hohe thorakale oder zervikale Kyphose, Mb. Bechterew, eine ausgeprägte degenerative Spinalkanaleinengung, einen Fassthorax und einen kurzen Hals nicht gegeben sein. Bei einer Extensionsfraktur kann die zur Reposition nötigen Flexion die Schraubeneinbringung verhindern. (2,4,9,51,52)

#### **4.5.2.2.2 Durchführung**

Bei dislozierten Typ II und III Frakturen nach Anderson & D'Alonzo wird vor der operativen Osteosynthese eine geschlossene und möglichst anatomische Reposition durchgeführt. Mit Hilfe des Halo-Fixateurs und in Lokalanästhesie reponiert man unter axialem Zug und abhängig von der Dislokationsrichtung durch Extension oder Flexion. Die Kontrolle des Repositionsergebnisses erfolgt durch a.p. und seitliche Bildwandleraufnahmen. (8,12,40,45)

Die richtige Lagerung des Patienten und das Einstellen der beiden erforderlichen Bildwandler (transoral und seitlich) ist entscheidend für den Erfolg der Operation.

Mit einem langen Kirschner-Draht kann im seitlichen Strahlengang überprüft werden, ob die anatomischen Gegebenheiten des Patienten ein Einbringen der Schrauben in den Dens zulassen. (12,40,45)

Der Zugang zur oberen Halswirbelsäule erfolgt über den transoralen oder anterolateralen Weg. Der Hautschnitt für den anterolateralen Zugangsweg soll dabei auf Höhe des 6. Halswirbels erfolgen, damit der erforderliche flache Eintrittswinkel der Schrauben ermöglicht wird. (1,45)

Zur Torsionsvermeidung wird unter Schutz der Weichteile mit einer Gewebeschutzhülse ein Kirschner-Draht paramedian mit ca 5° Konvergenz gesetzt. Ein zweiter Kirschner-Draht wird streng median eingebracht und soll die dorsale Kortikalis an der Spitze des Dens gerade perforieren. Wenn die Osteosynthese mit zwei Schrauben angestrebt wird, werden die Kirschner-Drähte parallel oder leicht konvergierend eingebracht. In beiden Fällen soll die Eintrittsstelle an der ventralen Unterkante des zweiten Wirbelkörpers liegen, wobei die Bandscheibe C2/C3 so weit wie möglich zu schonen ist. Liegt der Eintrittspunkt

zu weit ventral, erhöht sich das Risiko des ventralen Ausbrechens der Schraube.

Nach der Kontrolle der Drahrichtung mittels Bildverstärker erfolgt die Ausmessung der Schraubenlänge. Bei Verwendung von Kortikaliszugschrauben, muss die Kortikalis an der Densspitze erfasst werden, um die nötige interfragmentäre Kompression zu erreichen. Alternativ können auch Kortikalisstellschrauben, Schrauben mit kurzem Gewinde oder Doppelgewindeschrauben verwendet werden. Mit Hilfe des Bildverstärkers wird die adäquate Schraubenlage und Position des Bruchfragmentes überprüft. (1,23,2,8,12,40,45)



**Abbildung 11: Osteosyntheseschrauben**

*links: selbstschneidende durchbohrte Schraube 3,5 mm  $\varnothing$ , mit durchgehendem Gewinde; rechts: selbstschneidende durchbohrte Schraube 3,5 mm  $\varnothing$ , mit kurzem Gewinde;*

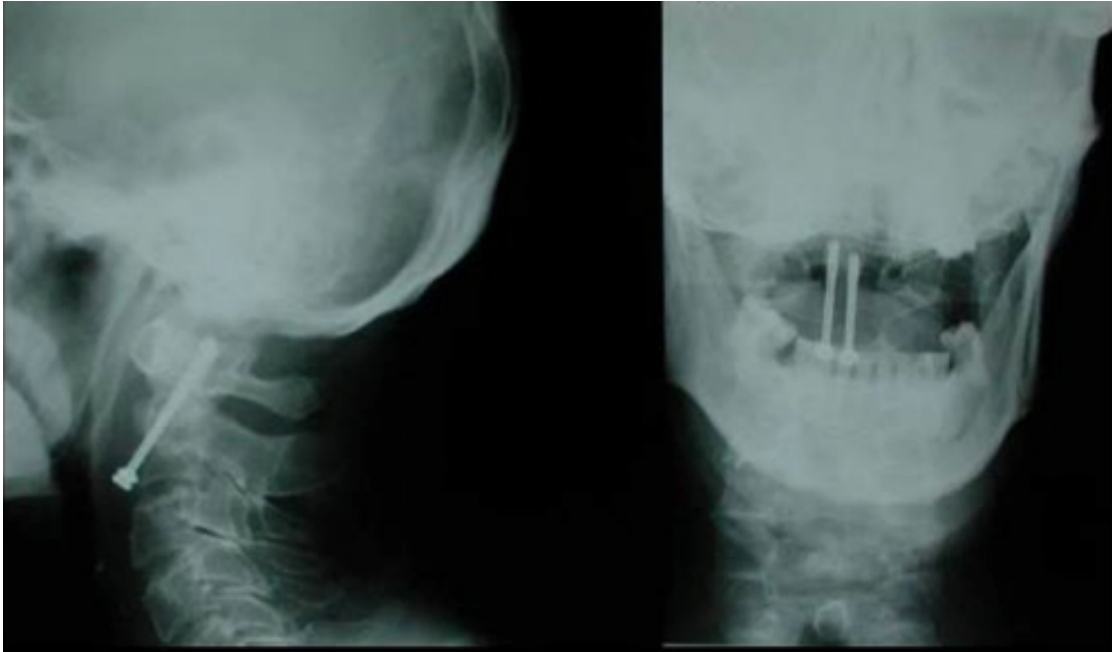
#### **4.5.2.3 Schraubenanzahl**

Die Datenlage zur Wahl der richtigen Schraubenanzahl wird als uneinheitlich beschrieben. Neuere Studien schreiben der Osteosynthese mit zwei Schrauben keine erhöhte Kompression oder verbesserte Stabilität zu. Die Densverschraubung mit einer Schraube reicht biomechanisch aus und weist keine verminderte Steifigkeit auf. Nur bei älteren Patienten mit schlechter Knochenqualität wird die Verschraubung mit zwei Schrauben noch empfohlen.

Die anatomischen Gegebenheiten erlauben es nicht immer zwei Schrauben zu platzieren. Für zwei 3,4 mm Kortikalisschrauben ist ein nötiger Densdurchmesser von mindestens 9 mm beschrieben. (1,2,4,8,11,12,40,20,47,50,51)

Im Rahmen der präoperativen Planung ist es möglich, mit Hilfe von CT-Bildern den

Durchmesser sowie die Länge des Dens zu vermessen und die Knochenqualität abzuschätzen, um die nötige Schraubenlänge und mögliche Zahl der Schrauben zu bestimmen. (4,11,20)



**Abbildung 12: Densosteosynthese**

*Verschraubung des Dens axis mit 4mm Titanlochschauben bei Densfraktur Typ II nach Anderson & D'Alonzo*

#### **4.5.2.3.1 Ausblicke**

Chi et al. (2007) berichtete über eine perkutane und Hashizume (2003) über eine endoskopisch durchgeführte ventrale Densosteosynthese. Die noch nicht ausgereiften aber vielversprechenden Modifikationen dieses Operationsverfahren geben einen Ausblick auf einen schonenderen, nicht invasiven Zugang zur Densosteosynthese. (53,51)

#### **4.5.2.4 Dorsale Stabilisation**

Zu den bei Densfrakturen in Frage kommenden dorsalen Stabilisierungsverfahren zählen die dorsale atlantoaxiale Fusion mit Drahtcerclagen nach Brooks und Gallie, die dorsale transartikuläre atlantoaxiale Verschraubung nach Magerl und verschiedene Stabimplantate. (1,4,30,6,40)

#### **4.5.2.4.1 Indikationen**

Als Indikationen für ein dorsales Vorgehen gelten operationstechnische Schwierigkeiten im Rahmen einer ventralen Densverschraubung wie ein nicht ausreichender Schraubenhalt, ein frühzeitiges Ausbrechen der Schrauben nach ventral oder eine interoperativ nicht erzielbare Reposition. Auch anatomische Besonderheiten wie ein Emphysemthorax oder eine kyphotische Fehlstellung der Halswirbelsäule können die Durchführung einer ventralen Densosteosynthese unmöglich machen.

Zu den Kontraindikationen für eine ventrale Densosteosynthese, die eine dorsale Fusion erfordern, zählen: ausgeprägte Osteoporose, Läsionen des Lig. transversum, instabile Typ II Fraktur des Dens axis mit einem Frakturverlauf von dorsokranial nach ventrokaudal, ausgeprägte Trümmerzonen und Typ III Frakturen des Dens mit einem zu kleinen kaudalem Fragment. (1,2,11,40)

#### **4.5.2.4.2 Dorsale atlantoaxiale Fusion mit Drahtcerclagen**

Die früher häufig verwendeten Drahtcerclageverfahren haben mittlerweile nur mehr als Teilkomponenten von Kombinationsverfahren Bedeutung.

Bei der Drahtcerclage nach Gallie wird ein H-förmiger kortikospongioser Span zwischen die Dornfortsätze C1 und C2 interponiert und durch die Cerclagedrähte fixiert. Im Rahmen der Drahtcerclage nach Brooks werden zwei quaderförmige Knochenspäne beidseits zwischen die Bögen von C1 und C2 eingeklemmt und mit Doppelcerclagen gesichert. Durch ein Anfrischen der Bögen wird die knöcherne Fusion erleichtert.

Eine Duraläsion mit konsekutiver Liquorfistel und eine Dislokation der Knochenspäne stellen spezifische Komplikationen dieser Verfahren dar. (1,23,40,45)

#### **4.5.2.4.3 Dorsale transartikuläre atlantoaxiale Verschraubung n. Magerl**

Vor der transartikulären C1/2 Fusion nach Magerl erfolgt die geschlossene Reposition unter bipolarer Bildverstärkerkontrolle. Die Schrauben werden perkutan über den Axisbogen in die Massae laterales des Atlas eingebracht. Zusätzlich kann eine Drahtcerclage nach Gallie oder Brooks durchgeführt werden.

Die transartikuläre atlantoaxiale Fusion nach Magerl weist eine hohe biomechanische Festigkeit und eine geringe Pseudoarthroserate auf. Dies geht auf Kosten einer

verminderten Beweglichkeit der oberen Halswirbelsäule.

Als eine nicht seltene Komplikation wird über eine Verletzung der A. vertebralis berichtet. (1,23,2,4,6,40)

#### **4.6 Pseudoarthrosen**

Der hohe Anteil von Heilungsverläufen, die in der Ausbildung einer Pseudoarthrose enden, stellt ein zentrales Problem bei der Therapie von Densfrakturen dar. Die Zahlen in der Literatur über die Pseudoarthrosenraten der verschiedenen Therapiemöglichkeiten variieren stark. Über die Entstehung einer Pseudoarthrose bei konservativer Therapie mittels Immobilisation durch die Anlage eines Halo-Fixateurs wird in 18-97% der Typ II (1,30,6,9,11,14,18) und in 20% der Typ III (30) Frakturen des Dens berichtet. Die operative Therapie durch eine direkte ventrale Densverschraubung weist eine Pseudoarthrosenrate von 0-20 % auf. (6,11,14,18)

Die Symptome einer Pseudoarthrose im Bereich des Dens axis reichen von geringen Beschwerden und Bewegungsschmerzen der oberen Halswirbelsäule über passagere neurologische Symptome wie Parästhesien und Tetraspastik bis hin zur selten vorkommenden progressiven Myelopathie. Auch asymptomatische Verläufe und eine straffe Ausheilung mit wenig verbleibenden Beschwerden sind möglich. (4,6,8)

Als Ursachen für die Entstehung einer Pseudoarthrose werden zahlreiche Faktoren diskutiert.

Eine prognostisch wichtige Einflussgröße stellt die primäre Frakturdislokation dar. Eine anteriore und posteriore Dislokation von mehr als 4 mm, eine Angulation von mehr als 10° und ein Frakturspalt von mehr als 1 mm sind ungünstig und häufig mit der Ausbildung einer Pseudoarthrose vergesellschaftet. Ein verzögerter Behandlungsbeginn und eine insuffiziente Kompression des Frakturspaltes durch eine nicht ausreichende Stabilität der operativen Versorgung oder inadäquate konservative Behandlung sind prognostisch unvorteilhaft. Der Einfluss von Patientenalter und Geschlecht auf die Frakturheilung wird kontrovers diskutiert. (27,2,4,30,6,8,12,15,17)

Die biomechanischen und mikroarchitektonischen Besonderheiten des Dens axis werden vermehrt zu Erklärung der hohen Raten von Pseudoarthrosen herangezogen. Die

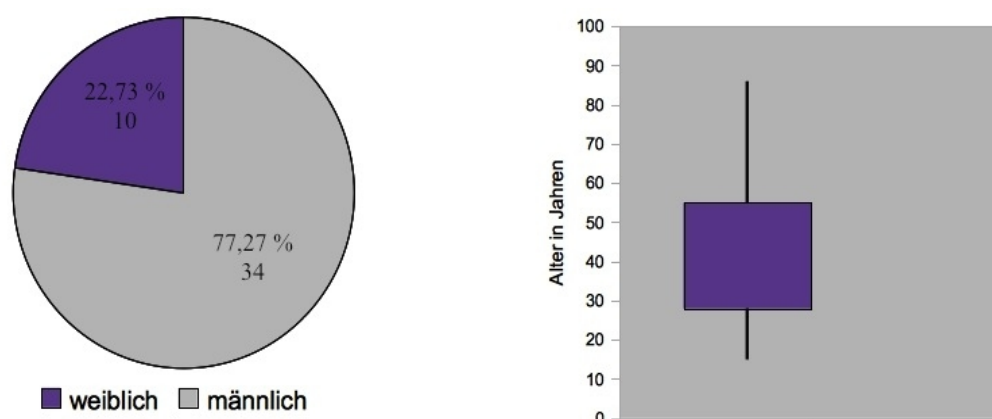
verringerte Knochendichte, die reduzierte trabekuläre Verknüpfung und die Persistenz der subdentalen Synchondrose im Bereich der Dens-Basis sowie der geringe spongiöse Querschnitt und eine mangelnde Blutversorgung im Bereich des Denshalses stellen dabei wichtige Faktoren dar. (2,14,18,35,38,20)

Die Ziele bei der weiteren Behandlung einer Denspseudarthrose sind die Reposition, Fusion und Stabilisierung. Dazu reicht eine alleinige Reosteosynthese meist nicht aus und es wird eine dorsale C1/C2 Fusion empfohlen. (6,8,12)

## 5 Material und Methoden

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurde die Morphometrie der oberen Halswirbelsäule, insbesondere des Dens axis, vermessen. Die dazu nötigen CT-Bilder wurden mit einem 64-zeiligen Computertomografen der Firma Siemens SOMATOM Sensation® CT System (Siemens Medical Solutions USA Inc., 51 Valley Stream Parkway, Malvern, PA 19355, United States) angefertigt.

Die CT-Datensätze stammen von 44 Patienten im Alter von 15 bis 86 Jahren. Das Durchschnittsalter liegt bei 43 Jahren. Von den 44 Personen waren 10 (22,7 %) weiblich und 34 (77,3 %) männlich. Patienten mit radiologischen Hinweisen für eine Verletzung der oberen Halswirbelsäule wurden von der Analyse ausgeschlossen.

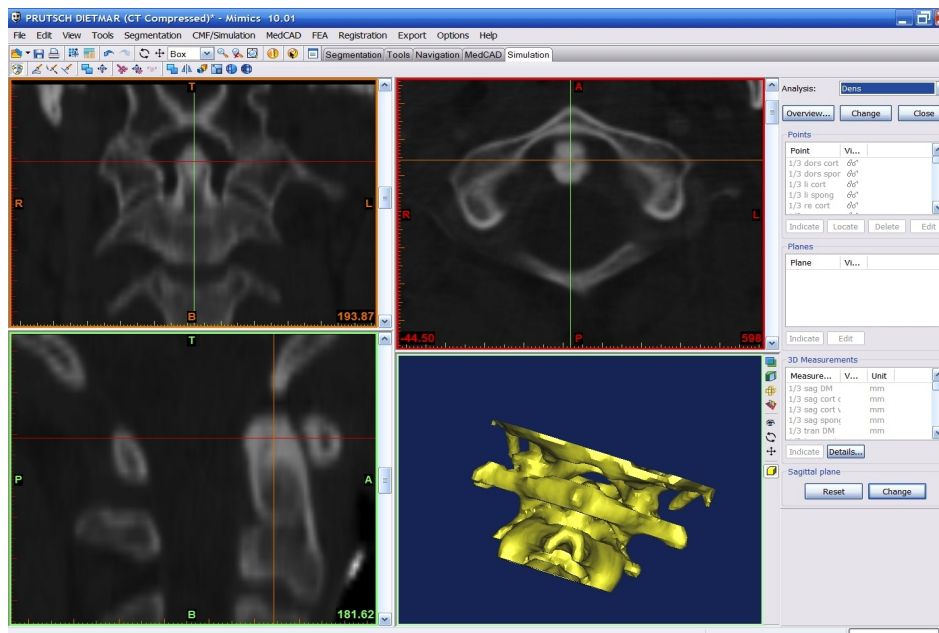


**Abbildung 13: Geschlechts- und Altersverteilung**

*Von den 44 Personen waren 10 (22,7 %) weiblich und 34 (77,3 %) männlich. Das Durchschnittsalter beträgt 43 Jahre (15-86 Jahre).*

Die Vermessung erfolgte mit Hilfe der Bildbearbeitungssoftware MIMICS® (Materialise, Leuven, Belgien). Diese Software ermöglicht eine exakte Vermessung von computertomografischen Aufnahmen und die Erstellung von dreidimensionalen Modellen. (Abb.: 13) Die gewonnenen Messergebnisse wurden exportiert und im Datenverarbeitungsprogramm OpenOffice.org 3 (Copyright © 2000, 2010 Oracle and/or its

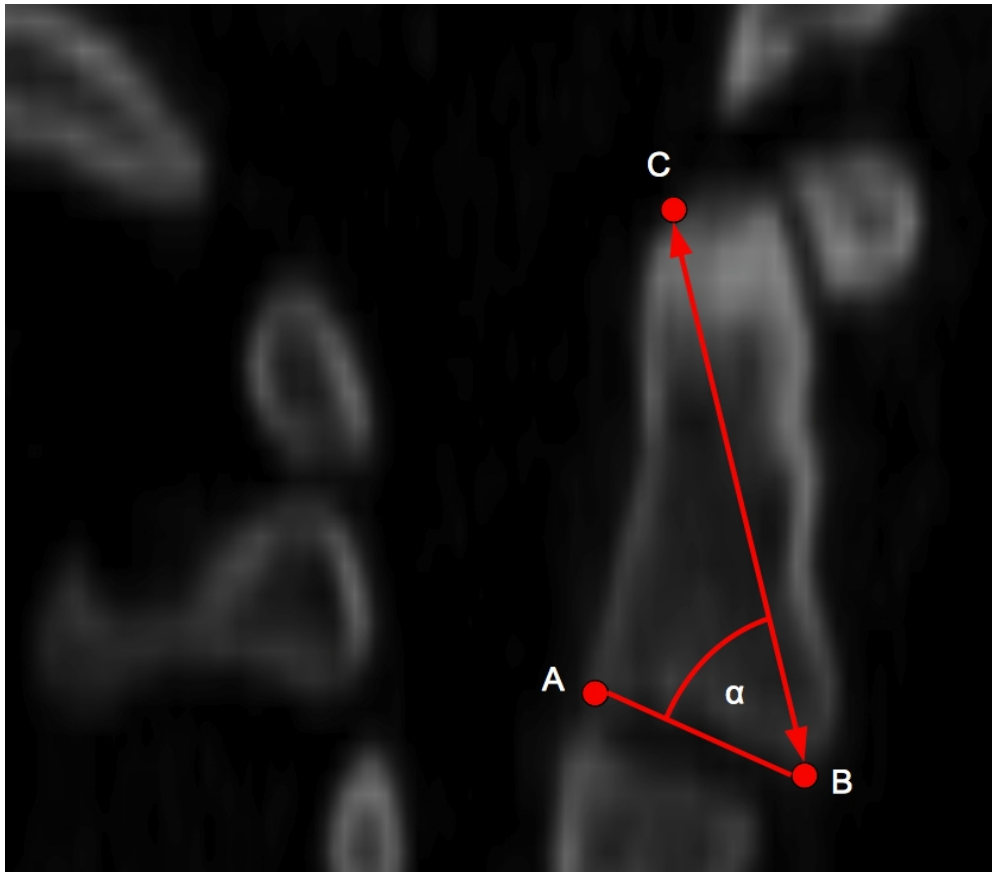
affiliate) bearbeitet. Die statistische Auswertung erfolgte hinsichtlich Mittelwert, Standardabweichung, relative Standardabweichung und Signifikanz.



**Abbildung 14: MIMICS® (Materialise, Leuven, Belgien)**

*Benutzeroberfläche mit unterschiedlichen Ebene der CT-Bilder und 3d-Rekonstruktion.*

Im ersten Schritt wurden die zur Vermessung nötigen Bezugspunkte definiert. Um Rückschlüsse auf die erforderliche Schraubenlänge und den Schraubeneinbringwinkel bei der ventralen Densosteosynthese zu erhalten, wurden drei Punkte (Punkt A, B, C in Abb.: 14) in der Medianebene definiert. Punkt A wurde an der dorsalen Unterkante des zweiten Halswirbelkörpers gesetzt. Der Punkt B entspricht der Eintrittsstelle einer Osteosyntheseschraube und liegt an der ventralen Unterkante des Wirbelkörpers. Der Bereich, in dem Kortikaliszugschrauben die dorsale Kortikalis an der Densspitze perforieren sollte, wird durch den Punkt C dargestellt.

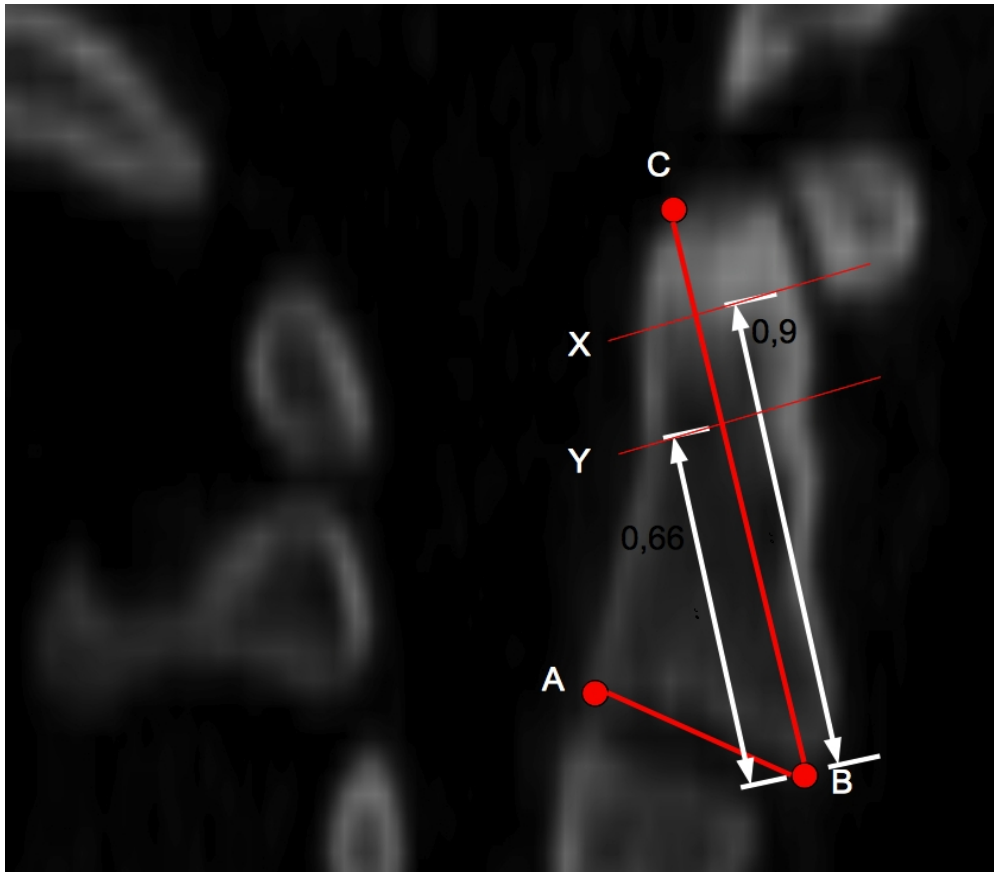


**Abbildung 15: Messpunkte A B C**

*CT-Bild obere Halswirbelsäule in sagittaler Ebene.*

Somit entspricht die Strecke AB der Länge der Bodenplatte des 2. Halswirbelkörpers und die Strecke BC der erwünschten Schraubenlage. Der durch diese beiden Linien eingeschlossene Winkel  $\alpha$  (Abb.: 14) wurde ebenfalls gemessen.

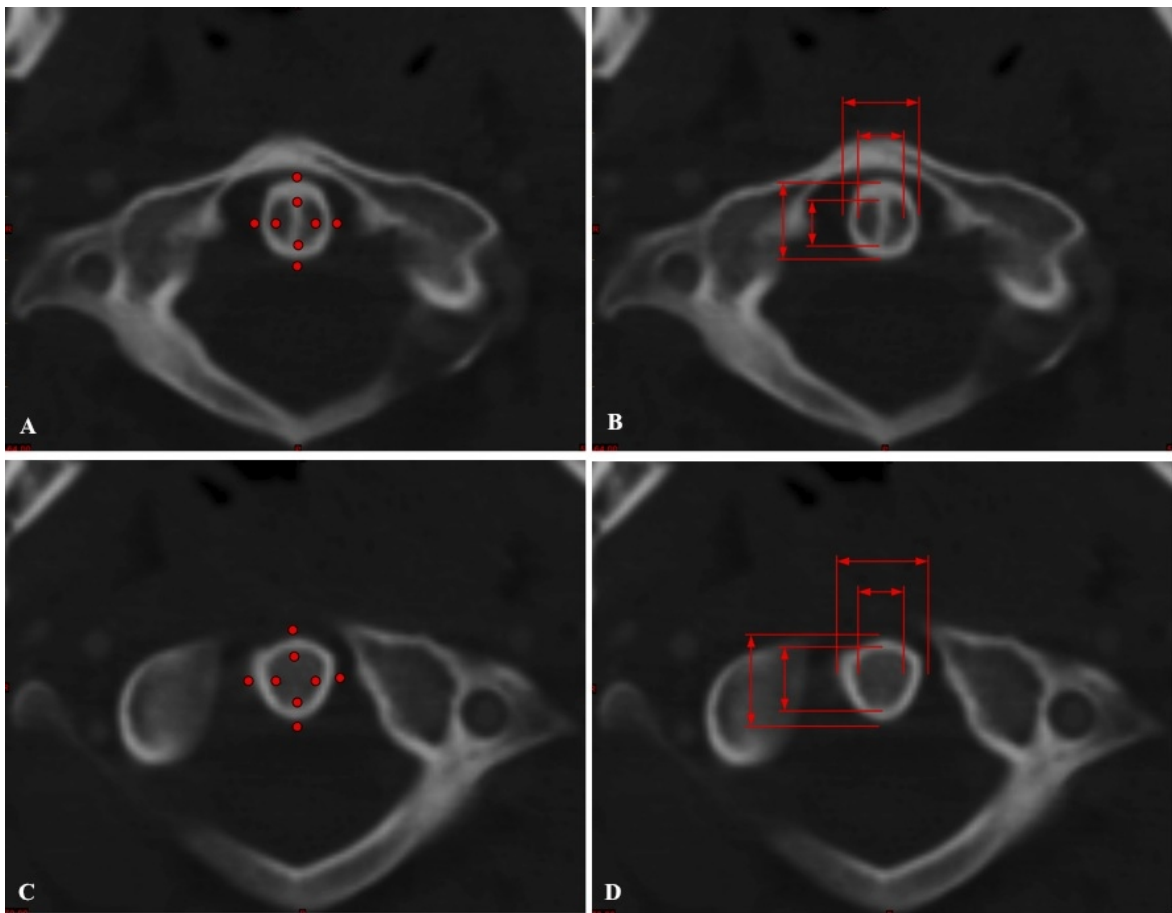
Zur Messung des Densdurchmessers wurden die zwei Ebenen X und Y (Abb.: 15) in unterschiedlicher Höhe orthogonal auf die Strecke BC gelegt. Die Höhe der Ebene Y berechnet sich aus 66 % der Länge der Strecke BC und ermöglicht eine Messung des Densdurchmessers im Bereich des Halses des Dens axis. Mit 90 % der Distanz der Strecke BC liegt Ebene X kaudal der Densspitze.



**Abbildung 16: Ebene X und Y**

*CT-Bild obere Halswirbelsäule in sagittaler Ebene. Orthogonal zur Strecke BC eingezeichnete Ebenen X und Y.*

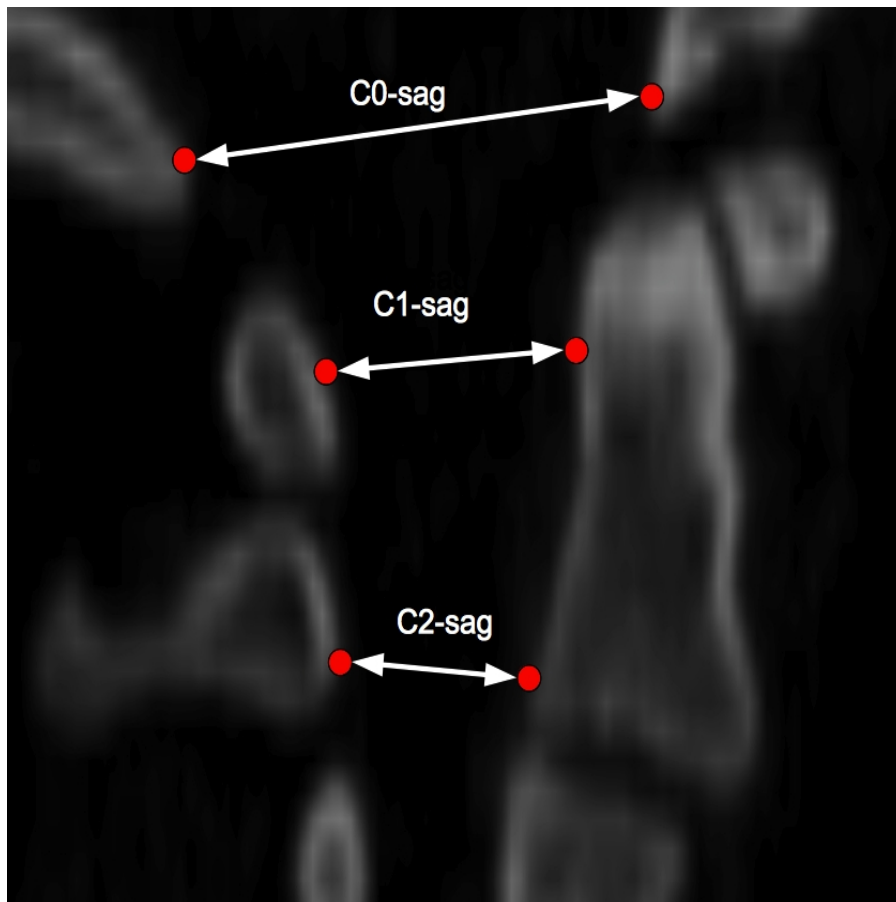
In diesen beiden Ebenen wurde sowohl in sagittaler als auch in transversaler Richtung die Kortikalisbreite sowie der innerer und äußerer Densdurchmesser vermessen. (Abb.: 16)  
 Der Densdurchmesser spielt bei der Wahl der Schraubenanzahl im Rahmen einer ventralen Densosteosynthese eine wichtige Rolle. Die Messung des inneren und äußeren Densdurchmessers sowohl in sagittaler als auch in transversaler Richtung und in zwei unterschiedlichen Höhen ermöglicht eine genaue Beurteilung der Densmorphologie und deren Einfluss auf die Wahl der adäquaten Schraubenanzahl im Rahmen einer ventralen Densosteosynthese.



**Abbildung 17: Densdurchmesser**

*Transversale CT-Bilder im Bereich des Dens axis. A,B: Messpunkte, sagittaler und transversaler Densdurchmesser auf Höhe von 66 % der Strecke BC. C,D: Messpunkte, sagittaler und transversaler Densdurchmesser auf Höhe von 90 % der Strecke BC*

Wie in Abbildung 17 veranschaulicht wurde zusätzlich die Dimension des Spinalkanals im Bereich der Halswirbelsäule vermessen. Dazu wurden Messpunkte an der jeweils engsten Stelle auf Höhe des Foramen magnum sowie der ersten beiden Halswirbel gesetzt. Die Vermessung des sagittalen und transversalen Durchmessers veranschaulicht die Platzverhältnisse im Bereich der Halswirbelsäule und die Auswirkungen von Einengungen des Myelons durch Frakturen.



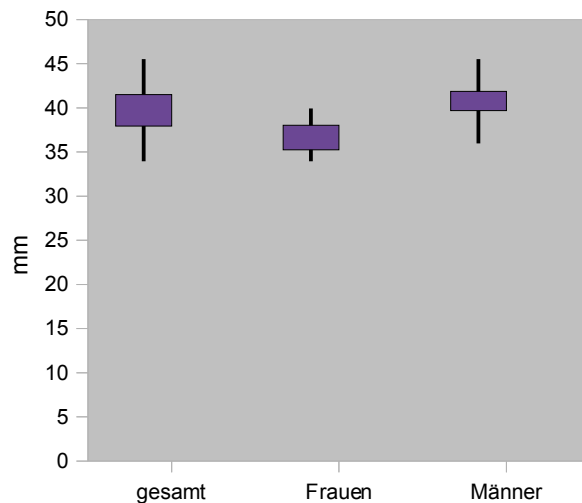
**Abbildung 18: Spinalkanal**

*CT-Bild Spinalkanal in sagittaler Ebene auf Höhe des Foramen magnum, erster und zweiter Halswirbel*

## 6 Ergebnisse

### 6.1 Dens axis

Die durchschnittliche Länge der Strecke BC (Abb.: 14), also die Distanz zwischen der



**Abbildung 19: Boxplot - Messergebnisse Strecke BC**

*Strecke BC: Distanz zwischen Schraubeneintrittsstelle an der ventralen Unterkante C2 und der dorsalen Kortikalis an der Densspitze; n=44, Frauen n=10, Männer n=34*

Schraubeneintrittsstelle an der ventralen Unterkante des 2. Halswirbelkörpers und der dorsalen Kortikalis im Bereich der Densspitze, beträgt 39,95 mm, mit einer Standardabweichung von 2,74 mm (relative Standardabweichung: 6,86 %). Bei einem Medianwert von 40,3 mm variieren die gemessenen Werte von 33,94 mm bis 45,51 mm. Die geschlechtsspezifische Analyse ergibt eine mittler Länge der Strecke BC von  $36,9 \pm 2,02$  mm bei Frauen und  $40,85 \pm 2,24$  mm bei Männern (Tab.: 1). Somit konnte eine hoch signifikante Korrelation zwischen Geschlecht und Länge festgestellt werden (p-Wert: 0,00007).

Länge BC	Mittelwert	$\sigma_{\pm}$	relative $\sigma_{\pm}$	Min	Median	Max
gesamt	39,95 mm	2,74	6,86	33,94	40,3	45,51
Frauen	36,9 mm	2,02	5,47	33,94	37,31	39,91
Männer	40,85 mm	2,24	5,48	35,98	40,84	45,51

**Tabelle 1: Messerergebnisse Strecke BC**

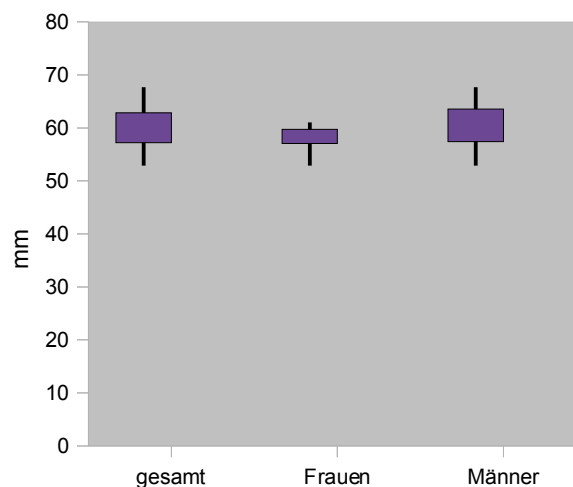
$\sigma_{\pm}$ : Standardabweichung; Strecke BC: Distanz zwischen Schraubeneintrittsstelle an der ventralen Unterkante C2 und der dorsalen Kortikalis an der Densspitze; n=44, Frauen n=10, Männer n=34

Der von der Bodenplatte des zweiten Halswirbelkörpers und der Strecke BC eingeschlossene Winkel  $\alpha$  (Abb.: 14) beträgt im Mittel  $59,88^\circ$ , bei einer Standardabweichung von  $3,87^\circ$  (Relative Standardabweichung: 6,46 %). Die Messwerte reichen von  $52,87^\circ$  bis  $67,69^\circ$  und weisen einen Medianwert von  $59,48^\circ$  auf. Die geschlechtsspezifische Analyse des Winkel  $\alpha$  ergibt einen durchschnittlichen Wert von  $58,06 \pm 2,54^\circ$  bei Frauen und  $60,41 \pm 4,05^\circ$  bei Männern (Tab.: 2). Somit konnte eine signifikante Korrelation zwischen Geschlecht und Winkel festgestellt werden (p-Wert: 0,04).

Winkel $\alpha$	Mittelwert	$\sigma_{\pm}$	relative $\sigma_{\pm}$	Min	Median	Max
gesamt	$59,88^\circ$	3,87	6,46	52,87	59,48	67,69
Frauen	$58,06^\circ$	2,54	4,37	52,87	58,55	61,03
Männer	$60,41^\circ$	4,05	6,7	52,87	59,76	67,69

**Tabella 2: Messerergebnisse Winkel  $\alpha$**

$\sigma_{\pm}$ : Standardabweichung; Winkel  $\alpha$ : Von Strecke BC und der Bodenplatte C2 eingeschlossener Winkel; gesamt  $n=44$ , Frauen  $n=10$ , Männer  $n=34$



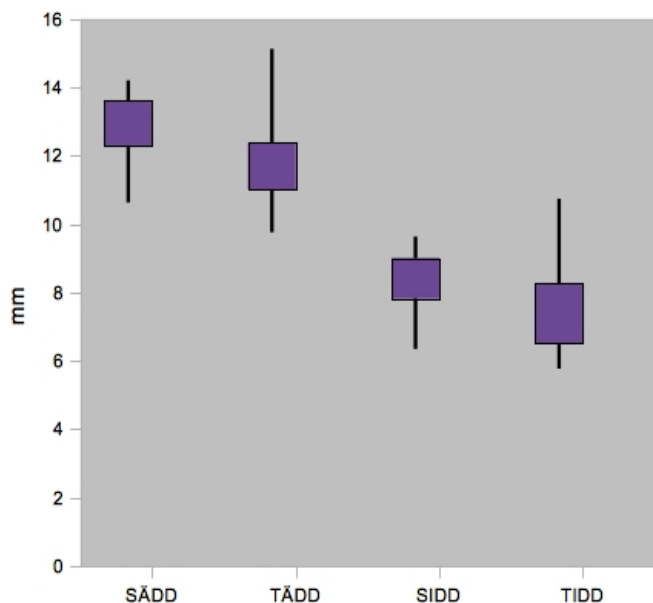
**Abbildung 20: Boxplot – Messerergebnisse Winkel  $\alpha$**

Winkel  $\alpha$ : Von Strecke BC und der Bodenplatte C2 eingeschlossener Winkel; gesamt  $n=44$ , Frauen  $n=10$ , Männer  $n=34$

Eine Korrelation zwischen dem Winkel  $\alpha$  und der Länge der Strecke BC konnte nicht festgestellt werden (p-Wert: 0,93).

Der Densdurchmesser wurde in zwei verschiedenen Höhen sowohl in sagittaler als auch in transversaler Richtung gemessen. Die auf Höhe von 66 % der Denslänge vermessenen Werte in der Ebene Y (Abb.: 15) sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

Der innere Densdurchmesser beträgt in sagittaler Richtung durchschnittlich 8,34 mm, bei



einer Standardabweichung von 0,79 mm (relative Standardabweichung: 9,46 %). Bei einem Median von 8,47 mm erstrecken sich die Werte von 6,35 bis 9,63 mm. In transversaler Richtung weist der Dens axis einen inneren Durchmesser von durchschnittlich 7,33 mm (Standardabweichung: 1,06 mm, relative Standardabweichung: 14,48 %) auf. Die Messwerte variieren dabei von 5,77 bis 10,74 mm (Median: 7,13 mm).

**Abbildung 21: Boxplot - Messerergebnisse Densdurchmesser auf Höhe von 0,66 der Denslänge**

Der mittlere äußere Densdurchmesser beträgt in sagittaler 12,87 ± 0,85 mm (relative Standardabweichung: 6,62 %) und in transversaler Richtung 11,77 ± 1,13 mm (relative Standardabweichung: 9,59 mm).

	Mittelwert	$\sigma_{\pm}$	relative $\sigma_{\pm}$	Min	Median	Max
SIDD 0,66	8,34 mm	0,79	9,46	6,35	8,47	9,63
TIDD 0,66	7,33 mm	1,06	14,48	5,77	7,13	10,74
SÄDD 0,66	12,87 mm	0,85	6,62	10,63	12,96	14,2
TÄDD 0,66	11,77 mm	1,13	9,59	9,76	11,78	15,12

**Tabelle 3: Messergebnisse - Densdurchmesser auf Höhe von 0,66 der Denslänge**

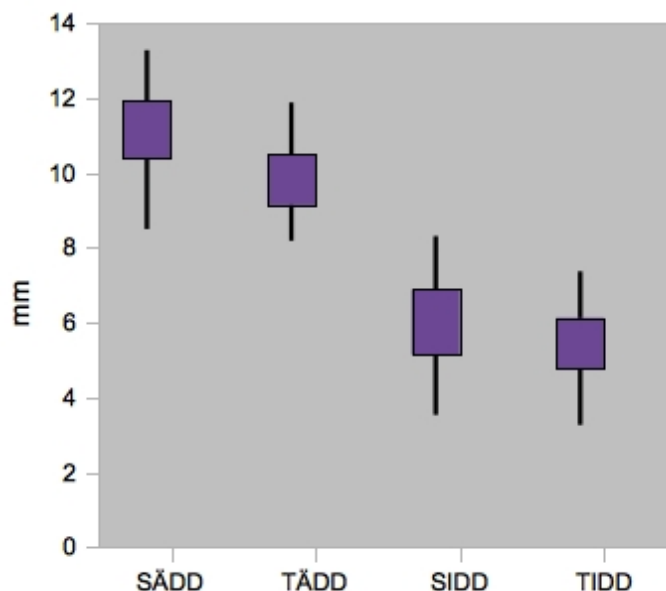
$\sigma_{\pm}$ : Standardabweichung; SIDD 0,66: Sagittaler Innerer Densdurchmesser auf Höhe von 0,66 der Denslänge; TIDD 0,66: Transversaler Innerer Densdurchmesser auf Höhe von 0,66 der Denslänge; SÄDD 0,66: Sagittaler Äußerer Densdurchmesser auf Höhe von 0,66 der Denslänge; TÄDD 0,66: Transversaler Densdurchmesser auf Höhe von 0,66 der Denslänge;

Die auf Höhe von 90 % der Denslänge (Ebene X in Abb.: 15) gemessenen Werte für inneren und äußeren Densdurchmesser sind in Tabelle 4 zu sehen. Die Messergebnisse für den sagittalen inneren Durchmesser des Dens axis variieren von 3,54 bis 8,31 mm (Median: 6,21 mm) und weisen einen Mittelwert von  $6,08 \pm 1,16$  mm (relative Standardabweichung: 19,1 %) auf. In transversaler Richtung beträgt der innere Durchmesser im Mittel  $5,41 \pm 1,02$  mm (relative Standardabweichung: 18,79 %). Der mittlere äußere Durchmesser des Dens beträgt in sagittaler 11,09  $\pm$  1,07 mm (relative Standardabweichung: 9,65 %) und in transversaler Richtung  $9,96 \pm 0,97$  mm (relative Standardabweichung: 9,71 %).

	Mittelwert	$\sigma_{\pm}$	relative $\sigma_{\pm}$	Min	Median	Max
SIDD 0,9	6,08 mm	1,16	19,1	3,54	6,21	8,31
TIDD 0,9	5,41	1,02	18,79	3,27	5,46	7,37
SÄDD 0,9	11,09	1,07	9,65	8,5	11	13,28
TÄDD 0,9	9,96	0,97	9,71	8,19	9,94	11,88

**Tabelle 4: Messergebnisse - Densdurchmesser auf Höhe von 0,9 der Denslänge**

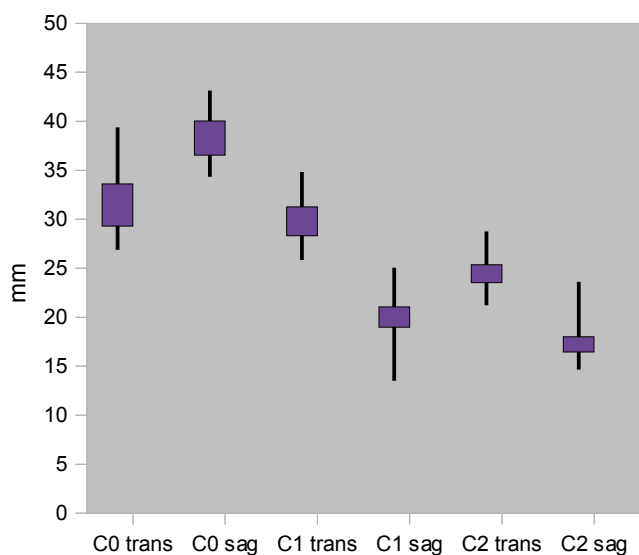
$\sigma_{\pm}$ : Standardabweichung; SIDD 0,9: Sagittaler Innerer Densdurchmesser auf Höhe von 0,9 der Denslänge; TIDD 0,9: Transversaler Innerer Densdurchmesser auf Höhe von 0,9 der Denslänge; SÄDD 0,9: Sagittaler Äußerer Densdurchmesser auf Höhe von 0,9 der Denslänge; TÄDD 0,9: Transversaler Densdurchmesser auf Höhe von 0,9 der Denslänge;



**Abbildung 22: Boxplot - Messergebnisse Densdurchmesser auf Höhe von 0,9 der Denslänge**

## 6.2 Spinalkanal

Die Weite des Spinalkanals wurde auf Höhe des Foramen magnum und der ersten beiden Halswirbel gemessen (Abb.: 17) Die durchschnittliche sagittale Spinalkanal-weite beträgt



**Abbildung 23: Boxplot - Messergebnisse Spinalkanal**

*Kleinster sagittaler und transversaler Durchmesser des Spinalkanals auf Höhe des Foramen magnum und der ersten beiden Halswirbelkörper*

38,18 ± 2,28 mm (relative Standardabweichung: 5,89 %) auf Höhe von C0, 20,06 ± 2,14 mm (relative Standardabweichung: 10,65 %) auf Höhe von C1 und 17,38 ± 1,62 mm (relative Standardabweichung: 9,33%) auf Höhe von C2. In transversaler Richtung gemessen weist der Spinalkanal eine Weite von 31,58 ± 2,78 mm (relative Standardabweichung: 8,79 %) auf Höhe von C0, 29,93 ± 2,32 mm (relative Standardabweichung: 7,76 %) auf Höhe von C1 und 24,68 ± 1,52 mm (relative Standardabweichung: 6,14 %) in Höhe von C2 auf (Tab.: 5).

Spinalkanalweite	Mittelwert	$\sigma_{\pm}$	relative $\sigma_{\pm}$	Min	Median	Max
C0-sagittal	38,18 mm	2,28	5,89	34,33	37,87	43,12
C0-transversal	31,58 mm	2,78	8,79	26,88	31,31	39,37
C1-sagittal	20,06 mm	2,14	10,65	13,51	20,23	25,05
C1-transversal	29,93 mm	2,32	7,76	25,83	29,99	34,81
C2-sagittal	17,38 mm	1,62	9,33	14,65	17,34	23,6
C2-transversal	24,68 mm	1,52	6,14	21,2	24,69	28,76

**Tabelle 5: Messergebnisse - Weite des Spinalkanals**

## 7 Diskussion

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurde die Morphologie des Dens axis anhand von 44 CT-Datensätzen und mit Hilfe des Vermessungsprogrammes Mimics® (Materialise, Leuven, Belgien) untersucht. Besonderer Wert wurde auf die Anwendbarkeit der Messungen bezüglich der ventralen Densosteosynthese bei Densfrakturen gelegt. Die Anzahl der verwendeten Schrauben wird in der Literatur kontrovers diskutiert. Ziel dieser Arbeit war unter anderem die Untersuchung der Densmorphologie hinsichtlich der Möglichkeit, zwei Osteosyntheseschrauben einzubringen. Auch die adäquate Schraubenlage spielt eine zentrale Rolle bei der Stabilisierung von Densfraktur.

Tun et.al. untersuchten in ihrer Arbeit „Anatomical study of axis for odontoid screw thickness, length, and angle“ die Morphometrie des Dens axis. Dabei wurden 20 Knochenpräparate direkt und auf Röntgenaufnahmen sowie CT-Bildern vermessen. Zur Geschlechts- und Altersverteilung der 20 verwendeten Dens Axis Knochenpräparate liegen keine Angaben vor.

Es wurden der Abstand zwischen dem Schraubeneintrittspunkt an der ventralen Unterkante des 2. Halswirbelkörpers und der Densspitze, der Winkel zwischen der Bodenplatte des 2. Halswirbels und der Verbindungslinie Schraubeneintrittspunkt-Densspitze sowie innerer und äußerer Densdurchmesser in sagittaler Richtung vermessen. Nach welchem Kriterium die Höhe der Vermessung des Densdurchmessers gewählt wurde, wird nicht angegeben. (20) Die in Tabelle 6 dargestellten Ergebnisse sind mit den in dieser Diplomarbeit gewonnenen Messwerten vergleichbar.

	Röntgen	CT	Anatomisch	p-Wert
G	6,2 ± 33 mm	6,5 ± 1,9 mm	-	0,191
H	11,8 ± 1,5 mm	11,3 ± 0,9 mm	-	0,131
BA-Linie	39,9 ± 5,1 mm	38,0 ± 4,0 mm	37,6 ± 3,3 mm	0,01
ABC-Winkel	64,2 ± 4,1 °	62,4 ± 4,7 °	-	0,073

**Tabelle 6: Messergebnisse Tun et al. (20)**

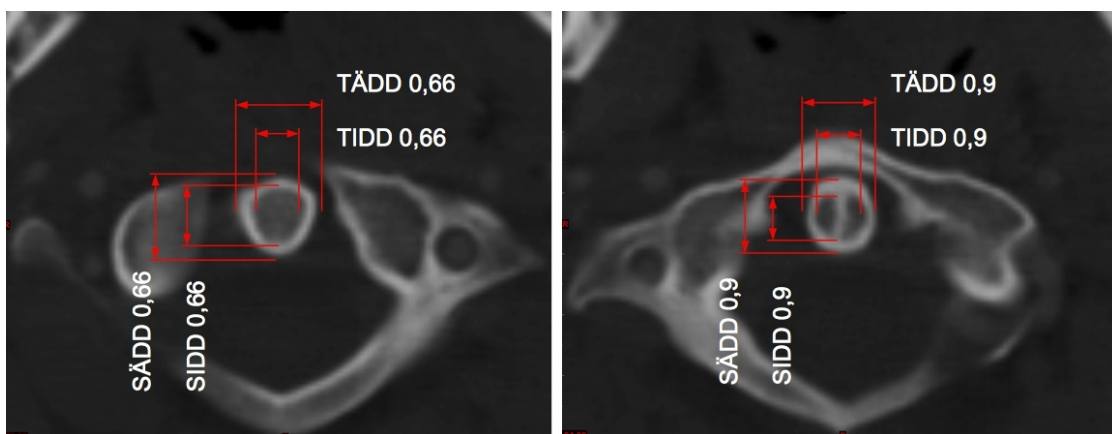
*G* der innere Densdurchmesser, *H* der äußere Densdurchmesser, *BA-Linie* Schraubenslänge, *ABC-Winkel* Schraubenwinkel am Axis

In dieser Diplomarbeit wurde zur Ermittlung der bei Densosteosynthesen nötigen Schraubenlänge die Punkte B und C (Abb.: 14) definiert. Der an der ventralen Unterkante des zweiten Halswirbelkörpers gesetzte Punkt B entspricht dabei der gewünschten Eintrittsstelle einer Osteosyntheseschraube. Punkt C stellt den Bereich dar, in dem Kortikaliszugschrauben die dorsale Kortikalis an der Densspitze perforieren sollten. Die Längenmessung der Strecke BC ergibt somit die erforderliche Mindestlänge von Osteosyntheseschrauben. Bei unseren Messungen wurde für diese Strecke eine durchschnittliche Länge von  $39,95 \pm 2,74$  mm ermittelt. Die geschlechtsspezifische Analyse ergibt eine mittlere Länge der Strecke BC von  $36,9 \pm 2,02$  mm bei Frauen und  $40,85 \pm 2,24$  mm bei Männern. Somit konnte eine hoch signifikante Korrelation zwischen Geschlecht und Länge festgestellt werden (p-Wert: 0,00007).

Messpunkt A (Abb.: 14) wurde an die dorsale Unterkante des zweiten Halswirbelkörpers gesetzt. Durch die Messung des zwischen den Strecken AB und BC eingeschlossenen Winkels  $\alpha$  (Abb.: 14) konnte der optimale Schraubeneinbringwinkel errechnet werden. Der durchschnittlich ermittelte Wert für den Winkel alpha beträgt  $59,88 \pm 3,87^\circ$ . Die geschlechtsspezifische Analyse des Winkel  $\alpha$  ergibt einen durchschnittlichen Wert von  $58,06 \pm 2,54^\circ$  bei Frauen und  $60,41 \pm 4,05^\circ$  bei Männern. Somit konnte eine signifikante Korrelation zwischen Geschlecht und Winkel festgestellt werden (p-Wert: 0,04). Diese im Vergleich zu dem Ergebnis von Tun et al. etwas niedrigere Wert lässt sich durch unterschiedliches Setzen des Punktes C erklären. Der Punkt wurde von uns etwas weiter dorsal gesetzt, da dies unserer Meinung nach für eine korrekte Schraubenlage erforderlich ist. Die präoperative Messung des Winkels der Bodenplatte des zweiten Halswirbelkörpers und der Densspitze (Winkel  $\alpha$  in Abb.: 14) ermöglicht eine Abschätzung, ob intraoperativ die ventrale Oberkante des dritten Halswirbelkörpers abgetragen werden muss, um eine adäquate Schraubenlage zu erzielen. (20) Verfahrensspezifische Komplikationen wie ein ventrales Ausbrechen der Osteosyntheseschraube oder eine ungenügende Kompression der Fraktur und somit das Entstehen einer Denspseudoarthrose können durch eine präoperative Vermessung der anatomischen Gegebenheiten vermieden werden.

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurde besonderen Wert auf die exakte Vermessung des Densdurchmessers gelegt. Die Messungen erfolgten auf zwei unterschiedlichen Höhen, die

relativ zu der Strecke BC, welche die richtige Schraubenlage repräsentiert, gewählt wurden. (Abb.: 15) Die kaudale Messung erfolgte auf Höhe von 66 % der Strecke BC und liegt im Bereich des Halses des Dens axis. Die zweite Messung wurde mit 90 % der Strecke BC etwas kaudal der Densspitze durchgeführt. Die zwei unterschiedlichen Messebenen sind besonders aussagekräftig hinsichtlich der Evaluierung der richtigen Schraubenanzahl im Rahmen einer Densosteosynthese. In beiden Messebenen wurde sowohl in sagittaler als auch in transversaler Richtung der innere und äußere Densdurchmesser ermittelt. Uns ist zu diesem Zeitpunkt keine andere wissenschaftliche Arbeit bekannt, die den Dens axis ähnlich genau und aussagekräftig vermessen hat.



**Abbildung 24: Vermessung des Densdurchmessers**

*Transversale CT-Bilder im Bereich des Dens axis. SIDD 0,66: Sagittaler Innerer Densdurchmesser auf Höhe von 0,66 der Denslänge; TIDD 0,66: Transversaler Innerer Densdurchmesser auf Höhe von 0,66 der Denslänge; SÄDD 0,66: Sagittaler Äußerer Densdurchmesser auf Höhe von 0,66 der Denslänge; TÄDD 0,66: Transversaler Densdurchmesser auf Höhe von 0,66 der Denslänge; SIDD 0,9: Sagittaler Innerer Densdurchmesser auf Höhe von 0,9 der Denslänge; TIDD 0,9: Transversaler Innerer Densdurchmesser auf Höhe von 0,9 der Denslänge; SÄDD 0,9: Sagittaler Äußerer Densdurchmesser auf Höhe von 0,9 der Denslänge; TÄDD 0,9: Transversaler Densdurchmesser auf Höhe von 0,9 der Denslänge;*

In der Literatur wird der für das Einbringen von zwei 3,4mm Ø Kortikalisschrauben mindestens nötige äußere Densdurchmesser mit 9 mm angegeben. (4,12,20,47,50)

In den hier durchgeführten Messungen liegen die Mittelwerte für den sagittalen und transversalen äußeren Durchmesser in beiden gemessenen Höhen klar über 9 mm. (Tab.: 7) Jedoch liegt in 8 Fällen (18,18 %) ein geringerer Wert für den transversalen und in einem

Fall zusätzlich für den sagittalen Densdurchmesser auf Höhe von 0,9 der Denslänge vor. Diese Werte unterstreichen die Bedeutung einer präoperativen Vermessung des Dens axis zur Wahl der richtigen Schraubenanzahl.

	Mittelwert	$\sigma_{\pm}$	Relative $\sigma_{\pm}$	Min	Median	Max
SÄDD 0,6	12,87 mm	0,85	6,62	10,63	12,96	14,2
TÄDD 0,6	11,77 mm	1,13	9,59	9,76	11,78	15,12
SÄDD 0,9	11,09 mm	1,07	9,65	8,5	11	13,28
TÄDD 0,9	9,96 mm	0,97	9,71	8,19	9,94	11,88

**Table 7: Messergebnisse - Äußerer Densdurchmesser**

*SÄDD 0,66: Sagittaler Äußerer Densdurchmesser auf Höhe von 0,66 der Denslänge; TÄDD 0,66: Transversaler Densdurchmesser auf Höhe von 0,66 der Denslänge; SÄDD 0,9: Sagittaler Äußerer Densdurchmesser auf Höhe von 0,9 der Denslänge; TÄDD 0,9: Transversaler Densdurchmesser auf Höhe von 0,9 der Denslänge;*

Vergleicht man den sagittalen mit dem transversalen Durchmesser des Dens axis, ergeben sich in beiden gemessenen Höhen Unterschiede. Auf Höhe von 66 % ist der sagittale äußere Densdurchmesser durchschnittlich um 1,1mm größer als der transversale äußere Densdurchmesser. Der sagittale äußere Densdurchmesser auf Höhe von 90 % misst um 1,13 mm mehr als der transversale äußere Densdurchmesser. Somit weist der Dens axis eher die Form eines Zylinders mit elliptischer Grundfläche auf. Arbeiten, die zur Evaluierung der möglichen Schraubenanzahl nur den sagittalen Durchmesser ermitteln, sind demnach als nicht sehr aussagekräftig zu bewerten.

Eine 2007 von Yusof et.al. in Malaysia durchgeführte Studie befasst sich ebenfalls mit der Vermessung des Dens axis. CT-Bilder von 85 Patienten im Alter von 18 bis 80 Jahren wurden untersucht, davon waren 81 % männlich und 19 % weiblich. Sowohl der sagittale als auch der transversale äußere Densdurchmesser wurde in drei verschiedenen Höhen (Densbasis und 1,2 bzw. 2,4 mm höher) vermessen.

Die untersuchten Patienten sind hinsichtlich Alters- und Geschlechtsverteilung mit unserem Patientenkollektiv vergleichbar und auch die durchgeführten Messungen ähneln bezüglich Lokalisation und Methoden den im Rahmen dieser Diplomarbeit durchgeführten

Vermessungen. Trotzdem können die Messergebnisse nicht verglichen werden. Das Patientenkollektiv der Studie stellt sich zu 93 % aus Malaien und 6 % aus Chinesen zusammen und Yusof et.al. berichten über einen signifikanten Unterschied der Größe des Dens axis zwischen asiatischen und kaukasischen Populationen. So weisen 34 % der untersuchten Patienten einen transversalen Densdurchmesser von weniger als 9,0 mm auf und werden als ungeeignet für eine Densosteosynthese mit zwei 3,5 mm  $\varnothing$  Schrauben beschrieben. Dementsprechend wird in der beschriebenen Arbeit die Verschraubung von Frakturen des Dens axis mit einer einzelnen kannülierten 4,5 mm  $\varnothing$  Schraube oder mit zwei 2,7 mm  $\varnothing$  Schrauben empfohlen. (50)

Nach welchen Kriterien die Höhen der Messungen in der Arbeit von Yusof et al. ausgewählt wurden ist jedoch nicht beschrieben. Wie aus den weiter oben beschriebenen Ergebnissen unserer Diplomarbeit ersichtlich ist, befinden sich die Messwerte für den äußeren Densdurchmesser, die 9 mm unterschreiten, ausschließlich in der kranialen Messebene (90 % der Strecke BC). Somit ist eine wie in der Arbeit von Yusof et al. durchgeführte alleinige Messung im Bereich des Halses des Dens axis als nicht ausreichend anzusehen.

Zur Untersuchung der Platzverhältnisse im Bereich der Halswirbelsäule wurden die Dimensionen des Spinalkanals im Bereich der oberen Halswirbelsäule untersucht. Dazu wurden die Messpunkte im Bereich der engsten Stellen auf Höhe des Foramen magnum sowie der ersten beiden Halswirbel gesetzt und sowohl der sagittale als auch der transversale Durchmesser des Spinalkanals vermessen.

Diese Vermessung der anatomischen Gegebenheiten der oberen Halswirbelsäule dient zur Veranschaulichung der Auswirkungen von Spinalkanaleinengungen auf das Myelon.

Die durchschnittliche sagittale Spinalkanalweite beträgt  $38,18 \pm 2,28$  mm (relative Standardabweichung: 5,89 %) auf Höhe von C0,  $20,06 \pm 2,14$  mm (relative Standardabweichung: 10,65 %) auf Höhe von C1 und  $17,38 \pm 1,62$  mm (relative Standardabweichung: 9,33%) auf Höhe von C2.

In transversaler Richtung gemessen weist der Spinalkanal auf Höhe des Foramen magnum eine Weite von  $31,58 \pm 2,78$  mm (relative Standardabweichung: 8,79 %), in Höhe von C1  $29,93 \pm 2,32$  mm (relative Standardabweichung: 7,76 %) und in Höhe von C2  $24,68 \pm 1,52$  mm (relative Standardabweichung: 6,14 %) auf.

In der Arbeit von Koller et al. wurde die Morphometrie der oberen Halswirbelsäule auf Röntgenaufnahmen von 100 Patienten erfasst. Das mittlere Alter der 54 weiblichen und 46 männlichen Personen lag bei 49,8 Jahren und wies eine Streuweite von 15 bis 94 auf.

Obwohl die ersten beiden Halswirbelkörper umfangreich vermessen wurden, können auf Grund von unterschiedlicher Positionierung der Messpunkte nur wenige Werte direkt verglichen werden.

Unter anderem ergab die Vermessung des sagittalen Durchmessers des Spinalkanals auf Höhe von C1  $24,11 \pm 2,69$  mm und auf Höhe C2 mit  $21,49 \pm 2,91$  mm. Da der transversale Durchmesser des Spinalkanals nicht vermessen wurde, können anhand dieser Studie keine Rückschlüsse auf die Platzverhältnisse im Bereich der Halswirbelsäule gezogen werden. (54)

Diese Diplomarbeit unterstreicht die Bedeutung der präoperativen Planung im Rahmen der Densosteosynthese. Moderne Vermessungsprogramme ermöglichen eine effiziente und genaue Beurteilung von anatomischen Gegebenheiten. Damit kann die benötigte Schraubenanzahl und Schraubenlänge bereits vor der Operation ermittelt werden und das Risiko von Schraubenfehllagen vermindert werden. Die Positionierung der Messpunkte wurde mit besonderem Augenmerk auf die praktische Anwendbarkeit bezüglich der korrekten Wahl der Schraubenanzahl und adäquater Schraubenlage im Rahmen der ventralen Densosteosynthese von Densfrakturen gelegt. Die exakte Vermessung des Dens axis ermöglicht ein besseres Verständnis von Densfrakturen und deren operativen Behandlung mittels einer Schraubenosteosynthese.

## 8 Literaturverzeichnis

1. Wirth C, Mutschler W. Wirbelsäule. In: Praxis der Orthopädie und Unfallchirurgie. Stuttgart, New York: Thieme; 2009. p. 462-477.
2. Blauth M, Lange UF, Knop C, Bastian L. Wirbelsäulenfrakturen im Alter und ihre Behandlung. Der Orthopäde. 2000 Apr 1;29(4):302-317.
3. Lomoschitz F, Blackmore C, Stadler A, Linnau K, Mann F. Frakturen des Atlas und Axis bei älteren Patienten: Untersuchung des Radiologischen Spektrums der Frakturen und bedeutsamer Faktoren für die Bildgebende Diagnostik. Rofo Fortschr Geb Rontgenstr N. 2004 2;176(2):222-228.
4. Germán Ochoa. Surgical management of odontoid fractures. Injury. 2005 Jul 1;36(2):S54-S64.
5. Laurer H, Sander A, Maier B, Marzi I. Frakturen der Halswirbelsäule. Orthopäde. 2010 2;39(3):237-246.
6. Rüter M, Mutschler W. Komplikationen bei der Behandlung von Wirbelsäulenverletzungen. In: Wirth CJ, Mutschler W, Bischoff HP, Püschmann H, Neu J. Komplikationen in Orthopädie und Unfallchirurgie. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag; 2010. p. 440-448.
7. Rieger M, Mallouhi A, El Attal R, Kathrein A, Knop C, Blauth M, et al. Akutdiagnostik des Wirbelsäulentraumas. Radiologe. 2006 6;46(6):527-543.
8. Scharf H, Rüter A, Pohlemann T, Marzi I, Kohn D, Günther KP. Wirbelsäule. In: Orthopädie und Unfallchirurgie Facharztwissen nach der neuen Weiterbildungsordnung. Munich, Jena: Elsevier; 2009. p. 626-630.
9. Krämer J. Wirbelsäule, Thorax. In: Wirth, CJ. Orthopädie und orthopädische Chirurgie. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag; 2004. p. 420-429.
10. Bohndorf K, Imhof H, Fischer W. Traumatologie. In: Radiologische Diagnostik der Knochen und Gelenke. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag; 2006. p. 46-53.
11. Müller EJ, Wick M, Russe OJ, Palta M, Muhr G. Die direkte Verschraubung von Frakturen des Dens axis. Der Unfallchirurg. 2000 Jan 1;103(1):38-43.
12. Oestern H. Komplikationen bei Densfrakturen. Trauma Berufskrankh. 2005 12;7(S02):S271-S276.
13. Mewe P, van Frank E, Ward J. Densfraktur mit primärer Myelopathie. European Journal of Trauma. 1998 Dec 1;24(1):38-41.

14. Gebauer M, Lohse C, Barvencik F, Pogoda P, Rueger JM, Püschel K, et al. Subdental synchondrosis and anatomy of the axis in aging: a histomorphometric study on 30 autopsy cases. *Eur Spine J.* 2005 9;15(3):292-298.
15. Henry AD, Bohly J, Grosse A. Fixation of odontoid fractures by an anterior screw. *J Bone Joint Surg Br.* 1999 May 1;81-B(3):472-477.
16. Seelig M, Roth R, Wörsdörfer O, Keerl R. Transorale Korrekturosteotomie einer in Fehlstellung verheilten transdentalen Luxationsfraktur. *Der Unfallchirurg.* 2000 Sep 1;103(9):791-794.
17. Moon M, Moon J, Sun D, Moon Y. Treatment of dens fracture in adults: A report of thirty-two cases. *Bull Hosp Jt Dis.* 2006;63(3-4):108-112.
18. Gebauer M, Barvencik F, Beil FT, Lohse C, Pogoda P, Püschel K, et al. Die subdentale Synchondrose. *Unfallchirurg.* 2007 2;110(2):97-103.
19. Anderson LD, D'Alonzo RT. Fractures of the Odontoid Process of the Axis. *J Bone Joint Surg Am.* 1974 Dec 1;56(8):1663-1674.
20. Tun K, Kaptanoglu E, Cemil B, Yorubulut M, Karahan S, Tekdemir I. Anatomical study of axis for odontoid screw thickness, length, and angle. *European Spine Journal.* 2009 Feb 1;18(2):271-275.
21. Rüedi T, Buckley R, Moran C. Wirbelsäule. In: *AO-Prinzipien des Frakturmanagements, Band 2 – Sepzifische Frakturen.* Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag; 2008. p. 933-947.
22. Skinner HB. Disorders, Diseases, & Injuries of the Spine. In: *Current Diagnosis & Treatment in Orthopedics.* McGraw-Hill; 2006. p. 277-290.
23. Vastmans J, Vogel M, Högel F, Bühren V. Verletzungen des Rückenmarks. *Orthopädie und Unfallchirurgie up2date.* 2009 12;4(06):367-394.
24. Clancy MJ. Clearing the cervical spine of adult victims of trauma. *J Accid Emerg Med.* 1999 May;16(3):208-214.
25. Josten C, Katscher S. Radiologische Diagnostik bei Wirbelsäulenverletzungen. *Akt Traumatol.* 2003 8;33(4):157-164.
26. Ketterl R. Vorgehen bei Wirbelsäulenverletzungen des polytraumatisierten Patienten. *Trauma Berufskrankh.* 2009 9;12(S2):168-175.
27. Okubadejo GO, Taylor BA, Lenke LG, Bridwell KH. Fractures and dislocations of the spine. In: *Elstrom JA, Virkus WW, Pankovich AM. Handbook of Fractures.* McGraw-Hill; 2006.
28. Madert J, Eggers C. Fallstricke in der Wirbelsäulendiagnostik. *Trauma Berufskrankh.*

- 2008 5;11(S1):78-84.
29. Ulrich, C, Bühren V. Verletzungen der Halswirbelsäule. Orthopädie und Unfallchirurgie up2date. 2006 10;1(5):415-441.
  30. MacRae R. Wirbelsäule. In: Praxis der Frakturbehandlung. München: Elsevier Urban & Fischer; 2009. p. 238-257.
  31. Gärtner C. CT in der Traumadiagnostik. Trauma Berufskrankh [Internet]. 2004 7;6(S02). Available from: <http://springerlink.metapress.com/openurl.asp?genre=article&id=doi:10.1007/s10039-003-0776-2>
  32. Platzer P, Thalhammer G, Jaindl M, Dittrich S, Vecsei V, Gaebler C. Clearing the Cervical Spine in Polytrauma Patients: Current Standards in Diagnostic Algorithm. Eur J Trauma. 2006 12;32(6):570-575.
  33. Heinemann U, Freund M. Akute Rückenmark- und Wirbelsäulenverletzungen. Radiologie up2date. 2004 9;4(3):261-287.
  34. Gebauer M, Amling M. 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. Eur Spine J. 2008 6;17(8):1127-1129.
  35. Gebauer M, Amling M. The development of the axis vertebra: the key to a topographic classification of dens fractures. Eur Spine J. 2008 10;17(12):1775-1777.
  36. Wang X, Deng Z, Liang Z, Tu Y. 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 10;17(12):1771-1774.
  37. Wang X, Qi W, Kong K, Wang X. Letter to the editor concerning: “Subdental synchondrosis and anatomy of the axis in aging: a histomorphometric study on 30 autopsy cases by M. Gebauer et al. (2006) Eur Spine J 15(3):292–298”. Eur Spine J. 2008 6;17(8):1124-1126.
  38. Aydin K, Cokluk C. The segments and the inferior boundaries of the odontoid process of C2 based on the magnetic resonance imaging study. Turk Neurosurg. 2008 Jan;18(1):23-29.
  39. Vitzthum H, Mühle E. Beitrag zur Wahl des Behandlungsverfahrens von Odontoidfrakturen. Akt Traumatol. 2004 10;34(5):222-224.
  40. Kandziora F, Schnake K, Hoffmann R. Operationsverfahren zur Stabilisierung der oberen Halswirbelsäule. Unfallchirurg. 2010 9;113(10):845-859.

41. Koebke J, Bade H. Rücken, Dorsum. In: Waldeyer - Anatomie des Menschen. Berlin [u.a.]: de Gruyter; 2003. p. 629-656.
42. Standring S. The Back. In: Gray's Anatomy, The Anatomical Basis of Clinical Practice. Churchill Livingstone Elsevier; 2008. p. 705-735.
43. Koller H, Acosta F, Forstner R, Zenner J, Resch H, Tauber M, et al. C2-fractures: part II. A morphometrical analysis of computerized atlantoaxial motion, anatomical alignment and related clinical outcomes. *Eur Spine J.* 2009 2;18(8):1135-1153.
44. Matschke S, Wagner C, Wentzensen A. Stabilisierungsverfahren an der HWS. *Trauma Berufskrankh.* 2008 1;10(S3):391-398.
45. Ewerbeck V, Wentzensen A, Hozl F, Krämer KL, Pfeil J, Sabo D. Verletzungen und Erkrankungen der Halswirbelsäule. In: Standardverfahren in der operativen Orthopädie und Unfallchirurgie. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag; 2007. p. 220-236.
46. Strohm P, Müller C, Köstler W, Reising K, Südkamp N. Halo-Fixateur - Indikationen und Komplikationen. *Zentralbl Chir.* 2007 2;132(1):54-59.
47. Arand M, Lemke M, Kinzl L, Hartwig E. Inzidenz von Komplikationen der Schraubenosteosynthese von Frakturen des Dens axis - Literaturübersicht, Ergebnisse und Management -. *Zentralbl Chir.* 2001;126(8):610-615.
48. Lögters T, Hoppe S, Linhart W, Habermann C, Windolf J, Rueger JM, et al. Zur Problematik des Halofixateurs beim alten Patienten. *Unfallchirurg.* 2006 4;109(4):306-312.
49. Bohler J. Anterior stabilization for acute fractures and non-unions of the dens. *J Bone Joint Surg Am.* 1982 Jan 1;64(1):18-27.
50. Yusof MI, Yusof AH, Abdullah MS, Hussin TMAR. Computed tomographic evaluation of the odontoid process for two-screw fixation in type-II fracture: a Malaysian perspective. *J Orthop Surg (Hong Kong).* 2007 Apr;15(1):67-72.
51. Chi Y, Wang X, Xu H, Lin Y, Huang Q, Mao F, et al. Management of odontoid fractures with percutaneous anterior odontoid screw fixation. *Eur Spine J.* 2007 3;16(8):1157-1164.
52. Tscherne H, Blauth M. Obere Halswirbelsäule. In: *Wirbelsäule.* Berlin Heidelberg: Springer-Verlag; 1998. p. 88-98.
53. Hashizume H, Kawakami M, Kawai M, Tamaki T. A clinical case of endoscopically assisted anterior screw fixation for the type II odontoid fracture. *Spine.* 2003 Mar 1;28(5):E102-105.
54. Koller H, Acosta F, Tauber M, Komarek E, Fox M, Moursy M, et al. C2-fractures: part

I. Quantitative morphology of the C2 vertebra is a prerequisite for the radiographic assessment of posttraumatic C2-alignment and the investigation of clinical outcomes. Eur Spine J. 2009 2;18(7):978-991.

## 9 Lebenslauf

### Persönliche Daten

Namen: Bernhard Jester  
Geburtstag: 15.02.1985 in Klagenfurt, Österreich  
Anschrift: Hügelweg 6, 9020 Klagenfurt, Österreich  
E-Mail: Jester.bernhard@gmail.com  
Familienstand ledig

### Schulbildung

1991 - 1995 Besuch der Volksschule Annabichl, Klagenfurt  
1995 - 2003 Besuch des Bundesrealgymnasiums Lerchenfeld, Klagenfurt  
13.05.03 Absolvierung der Reifeprüfung mit gutem Erfolg

### Präsenzdienst

10/2003 – 06/2004 Jägerbataillon 26, Spittal/Drau

### Studium

2004 - 2011 Studium der Humanmedizin an der Medizinischen Universität Graz

### Praktika

Juli/2005 Zweiwöchige Famulatur am Institut für Pathologie, LKH-Klagenfurt  
Februar/2007 Zweiwöchige Famulatur am Institut für Pathologie, LKH-Klagenfurt  
Juli/2007 Zweiwöchige Famulatur an der Abteilung für Orthopädie und orthopädische Chirurgie, LKH-Klagenfurt

September/2008	Vierwöchige Famulatur an der 2. Medizinischen Abteilung, LKH-Klagenfurt
Juli/2009	Zweiwöchige Famulatur an der Universitätsklinik für Neurologie der Medizinischen Universität Graz
Juli/2009	Zweiwöchige Famulatur an der 1. Medizinischen Abteilung, LKH-Klagenfurt
August/2009	Zweiwöchige Famulatur Unfallchirurgie am Unfallkrankenhaus Klagenfurt
Februar/2010	Zweiwöchige Famulatur an der Abteilung für Allgemein- und Viszeralchirurgie, LKH-Klagenfurt
Juni/2010	Sechswöchiges Auslandspraktikum an der Abteilung für Gastroenterology am Monash Medical Centre in Melbourne, Australien

### Sonstige Qualifikation

Sprachkenntnisse:	Deutsch Muttersprache Englisch schriftlich und mündlich fließend Italienisch Grundkenntnisse Latein Grundkenntnisse
EDV:	MS Word, Excel, PowerPoint; OpenOffice; SPSS; MIMICS;