

Aus der Abteilung Unfallchirurgie
(Prof. Dr. med. K. M. Stürmer)
der Medizinischen Fakultät der Universität Göttingen

Die Versorgungsrealität der operativen Therapie bei
Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule

INAUGURAL – DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades
für Zahnheilkunde
der Medizinischen Fakultät der
Georg-August-Universität zu Göttingen

vorgelegt von

Lea Schneider

aus

Wolfenbüttel

Göttingen 2016

Dekan: Prof. Dr. rer. nat. H. K. Kroemer

I. Berichterstatter/in: P.D. Dr. med. S. Sehmisch

II. Berichterstatter/in: Prof. Dr. Christian Oliver Ritter

III. Berichterstatter/in:

Tag der mündlichen Prüfung: 21.11.2016

Inhaltsverzeichnis

1.	Abkürzungsverzeichnis.....	6
2.	Einleitung	7
3.	Grundlagen.....	10
3.1	Anatomie	10
3.1.1	Knöchernen Wirbelsäule	10
3.1.2	Aufbau eines Wirbels	11
3.1.3	Halswirbelsäule	11
3.1.4	Brustwirbelsäule.....	12
3.1.5	Lendenwirbelsäule	12
3.1.6	Kreuzbein und Steißbein	12
3.1.7	Bandscheibe (Discus intervertebralis).....	13
3.1.8	Bandapparat der Wirbelsäule	13
3.1.9	Funktionen der Wirbelsäule.....	14
3.2	Epidemiologie	15
3.3	Unfallmechanismus	16
3.4	Klinik	17
3.5	Diagnostik	17
3.6	Klassifikation.....	19
3.7	Therapie.....	20
3.7.1	Konservative Therapie.....	21
3.7.2	Dorsale Operationstechnik.....	21
3.7.3	Ventrale Operationstechnik	23
3.7.4	Kyphoplastie	25
3.8	Komplikationen.....	26
3.9	Vakuumphänomen	28
4.	Material und Methoden.....	30
4.1	Studiendesign	30

4.2	Patienten	30
4.3	Datenerhebung.....	31
4.4	Anamnese	31
4.5	Objektive Daten	32
4.5.1	Patientenbezogene Daten.....	32
4.5.2	Native Röntgenuntersuchung	32
4.5.3	Computertomographische Aufnahmen	34
4.5.4	Vorstellungshäufigkeiten in der postoperativen Verlaufskontrolle.....	39
4.6	Subjektive Daten.....	39
4.7	Statistische Auswertung	39
5.	Ergebnisse	40
5.1	Patientenkollektiv.....	40
5.2	Alter, Geschlecht, Gewicht	40
5.3	Unfallursachen.....	41
5.4	Frakturlokalisierung	43
5.5	Diagnosen	44
5.6	Therapie.....	46
5.7	Pedikelschraubenlage.....	49
5.8	Postoperative Schmerzen.....	50
5.9	Grunddeckplattenwinkel und Kyphosewinkel.....	51
5.9.1	A1- Frakturen.....	51
5.9.2	A2- Frakturen.....	53
5.9.3	A3- Frakturen.....	54
5.9.4	B2- Frakturen.....	56
5.9.5	C1- Frakturen.....	57
5.10	Wirbelkörperhöhe	58
5.11	Vakuumphänomen	58
6.	Diskussion	62
7.	Fazit.....	71
8.	Zusammenfassung	72

9.	Literaturverzeichnis	74
10.	Abbildungs- und Graphikverzeichnis.....	81
10.1	Abbildungen	81
10.2	Graphiken	81
10.3	Tabellen	82

1. Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
AG	Arbeitsgemeinschaft
AO	Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen
BMI	Body Mass Index
BWK	Brustwirbelkörper
BWS	Brustwirbelsäule
bzw.	beziehungsweise
CT	Computertomographie
Fig.	Figur
GDW	Grunddeckplattenwinkel
ggf.	gegebenenfalls
HWK	Halswirbelkörper
HWS	Halswirbelsäule
kg	Kilogramm
LWK	Lendenwirbelkörper
LWS	Lendenwirbelsäule
m	Meter
ME	Metallentfernung
MRT	Magnetresonanztomographie
OP	Operation
PMMA	Polymethylmetacrylat
TLICS	thoracolumbar injury classification and severity score
TLS	Thorakolumbalskoliose
vgl.	vergleiche

2. Einleitung

„Etwa 3-6% der Skelettverletzungen betreffen die Wirbelsäule“ (Eggers und Stahlenbrecher 1998, S.779). Diese Wirbelsäulenverletzungen sind häufig die Ursache für Pflegebedürftigkeit, chronische Schmerzsymptomatik und Nichtwiederaufnahme der beruflichen Tätigkeit. Aufgrund der hohen Anzahl an Patienten, die nach einer solchen Verletzung in die Berufsunfähigkeitsrente eintreten, wird den Wirbelsäulenverletzungen eine hohe sozio-ökonomische Relevanz zugesprochen (Scheiderer und Gruber 2008). Epidemiologische Studien ergeben, dass das Auftreten solcher Verletzungen vermehrt Häufigkeiten bei Männern in der zweiten und dritten Lebensdekade und bei Frauen in höherem Alter zeigt (Hu et al. 1996).

Die Behandlungsmaßnahmen von Frakturen der Wirbelkörper werden schon seit langem weiterentwickelt und optimiert. Das Therapiekonzept hat sich dabei in den letzten Jahrzehnten von einer vorwiegend konservativen zu einer vorwiegend operativen Behandlung entwickelt. Die Lehrmeinungen über die Indikation verschiedener Therapieverfahren sind sehr divergent (Aebi 2010; Benson et al. 1992; Dick 1984; Eysel et al. 1991; Gertzbein 1992; Knop et al. 1997; Liljenqvist und Mommsen 1995). Die bestehenden Unstimmigkeiten in der Literatur beziehen sich dabei vor allem auf die instabilen Frakturen ohne neurologisches Defizit, insbesondere bei Frakturen vom Berstungstyp (van der Roer et al. 2005).

Grundsätzliches Ziel der Therapie einer Verletzung der Wirbelsäule ist die Wiederherstellung ihrer statischen, dynamischen und protektiven Funktion. Entscheidende Maßnahmen sind die Reposition und die Dekompression neuronaler Strukturen (Eggers und Stahlenbrecher 1998). Im Laufe der Zeit wurden unterschiedliche Therapieansätze vertreten:

Die konservative Behandlung wurde zunächst von Böhler beschrieben. Dabei wird die Wirbelfraktur reponiert und vorübergehend mit mindestens dreimonatigem Tragen einer Gipskorsage ruhiggestellt (Böhler 1930).

Nach Magnus erfolgte die konservative Behandlung der Wirbelfrakturen funktionell. Die Patienten werden nach kurzer Bettruhe gipsfrei mobilisiert und krankengymnastisch betreut

(Magnus 1936). Auch von Guttman wurde dieses Verfahren noch in den siebziger Jahren bevorzugt (Guttman 1974, 1978).

Zusätzlich zu den konservativen Verfahren zur Behandlung von Wirbelbrüchen wurde auch ein operativer Ansatz der Therapie verfolgt. Es wurde ein Stabsystem entwickelt, mit dessen Hilfe die Wirbelsäule durch Distraction begradigt wurde. Zusätzlich dazu wurde einige Monate ein Gipskorsett zur Immobilisierung getragen. Seit der Einführung des Stabsystems nach Harrington (Harrington 1962) in den fünfziger Jahren entwickelten sich die operativen Behandlungskonzepte in den nächsten Jahrzehnten rasch weiter. Allerdings brachte die langstreckige Immobilisation der Patienten über mindestens vier Wirbelsegmente mit ergänzenden Gipskorsagen über viele Monate Komplikationen wie Korrekturverlust, Lockerung der Stabilisierungskomponenten, Wundinfektionen und additive Wirbelsäulenoperationen mit sich und ließ Raum für die Weiterentwicklung operativer Methoden und postoperativer Maßnahmen (McAfee und Bohlman 1985).

Mitte der siebziger Jahre entwickelte Magerl ein externes Fixateursystem. Es bestand aus vier Schrauben, die durch die Pedikel in den Wirbelkörper eingebracht wurden und einer verstellbaren externen Einheit, die die Schrauben miteinander fixierte. Die Vielseitigkeit dieser Behandlung erlaubte die Therapie bei allen Formen der Wirbelsäuleninstabilität (Magerl 1984).

In den achtziger Jahren entwickelte Magerl zusammen mit Dick und Kluger dieses externe Stabilisierungssystem weiter zum Fixateur Interne. Nun war es durch die Immobilisierung von lediglich zwei Wirbelsegmenten möglich, die Wirbelsäule während der Heilungsphase flexibel, aber dennoch rotationsstabil zu halten. Einen weiteren Vorteil stellt die Fixation der Lordose bzw. Kyphose dar (Dick et al. 1985). Frühe Studien zu diesem neuen System waren erfolgversprechend und lieferten Ergebnisse über gute Einstellungsmöglichkeiten der Lordose und der frühen Mobilisierung der Patienten mit niedriger Komplikationsrate (Aebi et al. 1987; Chang 1992). Allerdings konnten in Langzeitstudien Spätergebnisse erhoben werden, welche die langfristige Dauerhaftigkeit der positiven postoperativen Ergebnisse nicht bestätigen (Knop et al. 1997). Unter Betrachtung der bisherigen Stabilisierungsmöglichkeiten entwickelten Eysel und Meinig das kombinierte dorsolaterale Verfahren, bei dem, zusätzlich zur Stabilisierung durch einen internen Fixateur, das vordere Wirbelkompartiment durch eine Spongiosaplastik ergänzend versorgt wird (Eysel et al. 1991).

Während der neunziger Jahre hat die operative Behandlung von Wirbelfrakturen mit transpedikulären Implantaten im thorakolumbalen Übergang immer mehr an Bedeutung gewonnen (Knop et al. 1999) und die Entwicklung der thorakoskopischen ventralen Plattenspondylodese gilt als Meilenstein in der operativen Wirbelsäulenversorgung (Beisse 2006; Beisse et al. 1998; Potulski et al. 1999).

Die operative Behandlung von Wirbelfrakturen stellt heute ein sicheres, etabliertes und weitverbreitetes Verfahren dar. Trotz weiterführender Forschung und Arbeit an diesem Thema ist die konkrete Indikationsstellung für die Wahl der Therapie bei bestimmten Frakturen noch nicht sicher möglich. Vor allem für instabile Berstungsfrakturen ohne neurologisches Defizit (van der Roer et al. 2005) kann nur schwer eine allgemeingültige Aussage über die beste Therapie getroffen werden.

Durch die retrospektive Betrachtung der in den letzten fünf Jahren in der Universitätsmedizin Göttingen behandelten Patienten mit Wirbelfrakturen in Bezug auf Unfallursache, Alter, Gewicht, Frakturklasse und Therapieverfahren und durch die Erhebung objektiver Messdaten ist es Ziel dieser Arbeit, einen Bezug zwischen den einzelnen Faktoren herstellen zu können, welcher Hilfestellung bei der Entscheidung über das Therapiekonzept zukünftiger Patienten mit Wirbelerletzungen leisten kann.

3. Grundlagen

3.1 Anatomie

3.1.1 Knöcherne Wirbelsäule

Die Wirbelsäule eines Erwachsenen ist in vier Abschnitte gegliedert. Sie weist in der sagittalen Ebene entsprechend vier typische Krümmungen auf. Diese sind die Folge der Anpassung an die bipede und aufrechte Haltung des Menschen entstanden, um Belastungen abzufedern. Im Einzelnen werden folgende Abschnitte von kranial nach kaudal mit den zugehörigen Krümmungen unterschieden (siehe Abb. 1):

- Halswirbelsäule (HWS) → Zervikallordose
- Brustwirbelsäule (BWS) → Thorakalkyphose
- Lendenwirbelsäule (LWS) → Lumballordose
- Sakralwirbelsäule (Os sacrum) → Sakralkyphose

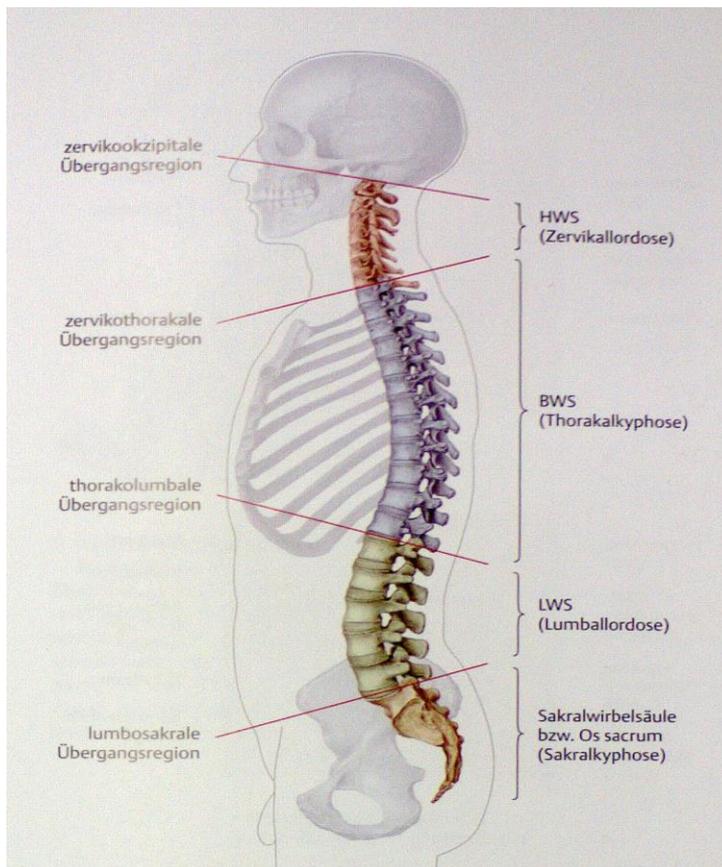


Abbildung 1: Einteilung der Wirbelsäule (Schünke et al 2007.) Mit freundlicher Genehmigung des Thieme Verlags

3.1.2 Aufbau eines Wirbels

Alle Wirbel, mit Ausnahme des ersten und zweiten Halswirbels (Atlas und Axis), folgen einem einheitlichen Grundbauplan und bestehen aus folgenden Bausteinen:

- Wirbelkörper (Corpus vertebrae)
- Wirbelbogen (Arcus vertebrae)
- Dornfortsatz (Processus spinosus)
- Querfortsätze (Processus transversi bzw. costales)
- Gelenkfortsätze (Processus articulares)

Abbildung 2 gibt eine schematische Darstellung der Wirbelkörperkomponenten.

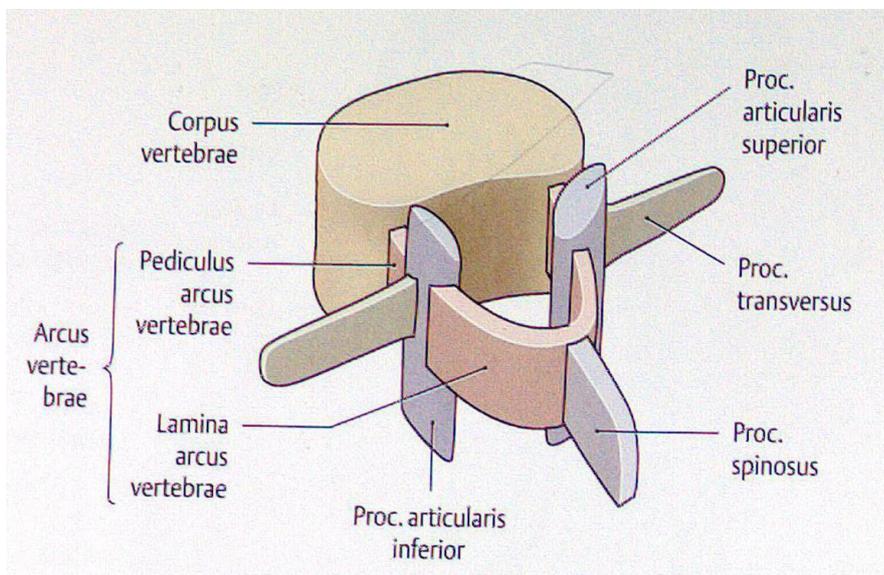


Abbildung 2: Aufbau eines Wirbelkörpers (Schünke et. al. 2007) Mit freundlicher Genehmigung des Thieme Verlags

Die Fortsätze dienen Muskeln und Bändern zum Ansatz. Im Bereich der Brustwirbelsäule bilden sie die Rippen-Wirbel-Gelenke. Der Wirbelkörper umschließt zusammen mit dem Wirbelbogen das Wirbelloch (Foramen vertebrale). Die Gesamtheit der Foramina bildet den Wirbelkanal (Canalis vertebralis), welcher das Rückenmark beinhaltet.

3.1.3 Halswirbelsäule

Von den insgesamt sieben Halswirbeln weichen die beiden ersten (Atlas, Axis) am stärksten von der oben beschriebenen Grundform ab. Sie sind so gebaut, dass sie sowohl die Hauptlast des Kopfes aufnehmen als auch die Bewegungen des Kopfes in allen Freiheitsgraden ermöglichen.

3.1.4 Brustwirbelsäule

Die Brustwirbelkörper werden vom ersten bis zum zwölften Brustwirbel immer höher und breiter, sodass die kaudalen Brustwirbel denen der Lendenwirbelsäule gleichen. Da die Dornfortsätze lang und stark nach kaudal abgeknickt sind, sind die Brustwirbel miteinander verzahnt und wie Dachziegel einander aufgelagert. Die Querfortsätze sind nach dorsal gekippt, um Platz für Gelenkflächen an den Wirbelkörpern und Querfortsätzen zu schaffen. Diese überknorpelten Gelenkflächen dienen den gelenkigen Verbindungen mit den Rippen. Vom ersten bis zum neunten Brustwirbel bilden jeweils zwei übereinanderliegende Wirbelkörper eine komplette Gelenkpfanne (Fovea costalis superior des unteren Wirbels und Fovea costalis inferior des oberen Wirbels). Ausnahme sind sowohl der erste Brustwirbel, der eine vollständige obere Gelenkpfanne enthält, als auch der elfte und zwölfte Brustwirbel, die ebenso jeweils eine komplette Gelenkpfanne (Fovea costalis) enthalten.

3.1.5 Lendenwirbelsäule

Die fünf Lendenwirbel besitzen kräftige, in der Aufsicht querovale Körper, die Wirbelbögen sind wuchtig gestaltet und vereinigen sich dorsal zu einem kräftigen Dornfortsatz, der beidseitig abgeplattet ist. An den Außenflächen der oberen Gelenkfortsätze dienen sogenannte Processus mamillares als Ursprünge bzw. Ansätze der autochthonen Rückenmuskulatur.

3.1.6 Kreuzbein und Steißbein

Das Os sacrum besteht ursprünglich aus fünf selbstständigen Kreuzbeinwirbeln, die nach der Geburt zu einem einheitlichen, dorsoventral abgeplatteten Knochen verschmelzen. Die Basis ist nach kranial gerichtet und steht mit dem fünften Lendenwirbel in Verbindung. Die Kreuzbeinspitze zeigt nach kaudal und ist mit dem Steißbein verbunden.

Das Steißbein (Os coccygis) besteht aus drei bis vier Wirbelrudimenten.

3.1.7 Bandscheibe (Discus intervertebralis)

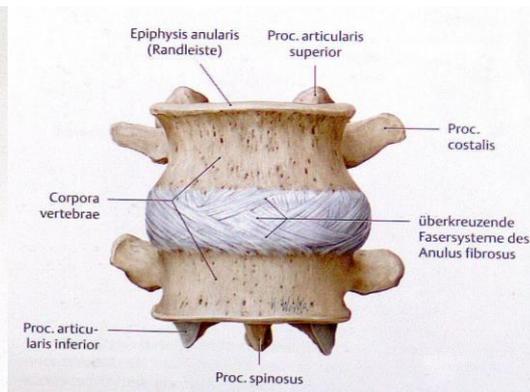
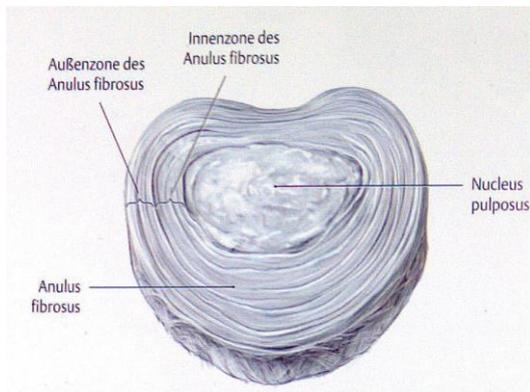


Abbildung 3: Aufbau der Bandscheibe

Abbildung 4: Außenseiten des Anulus fibrosus (Schünke et.al. 2007)

Mit freundlicher Genehmigung des Thieme Verlags

Der Discus intervertebralis besteht aus einem äußeren Faserring (Anulus fibrosus) und einem inneren gelegenen Gallertkern (Nucleus pulposus). Der äußere Faserring kann in eine äußere und in eine innere Zone unterschieden werden. Die äußere Zone besteht aus einer zugfesten Bindegewebshülle, die aus konzentrischen Lamellen vom Typ I Kollagen aufgebaut ist. Ihre Fasern überkreuzen sich und verbinden so die Randleisten zweier benachbarter Wirbelkörper miteinander. Am Übergang in die innere Zone geht der Faserapparat in ein faserknorpeliges Gewebe über, deren Typ II Kollagenfasern in die hyalinknorpeligen Deckplatten der Wirbelkörper einstrahlen. Mit Ausnahme der Außenzone grenzt die gesamte Bandscheibe am hyalinen Teil der Deck- bzw. Bodenplatte an. Der knöcherne subchondrale Teil besteht aus kompaktem Knochen und ist von zahlreichen Poren durchsetzt, über die eine Verbindung zu den Gefäßen des Knochenmarks zur Ernährung der Bandscheibe besteht.

3.1.8 Bandapparat der Wirbelsäule

Die Bänder der Wirbelsäule dienen der stabilen Verbindung der Wirbelkörper untereinander und ermöglichen hohe mechanische Belastungen. Es werden Wirbelkörper- und Wirbelbogenbänder unterschieden (Schünke et al. 2007).

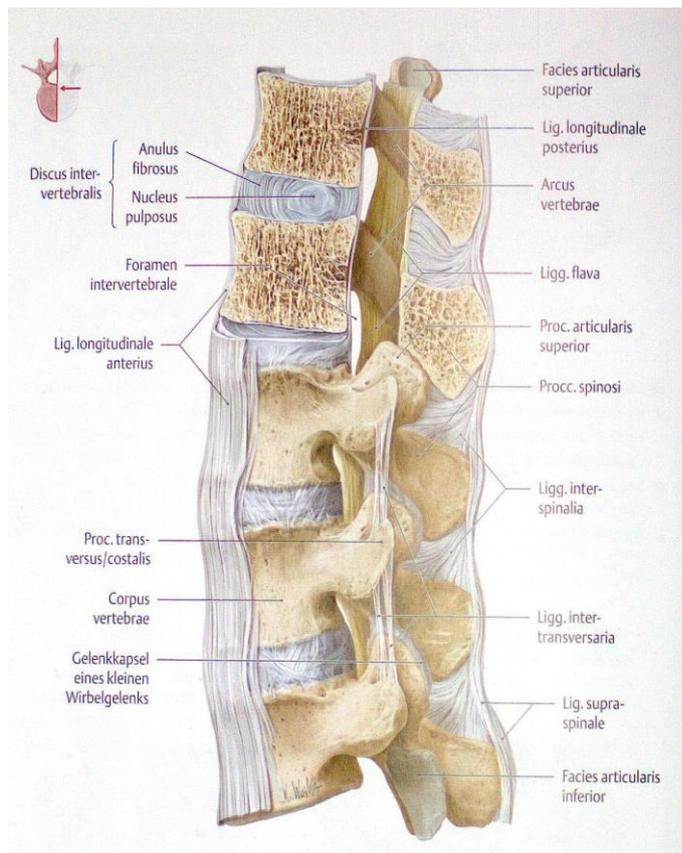


Abbildung 5: Bandapparat der Wirbelsäule (Schünke et. al. 2007) Mit freundlicher Genehmigung des Thieme Verlags

3.1.9 Funktionen der Wirbelsäule

Die menschliche Wirbelsäule bildet das bewegliche Skelett des Körpers und stabilisiert den Kopf, den Oberkörper und das Becken. In Zusammenarbeit mit der Rückenmuskulatur ermöglicht sie den aufrechten Gang des Menschen. Durch die Bipedie wurde das Achsenorgan zur tragenden Säule der Körperlast, welche von kranial nach kaudal zunimmt. Durch die Bauweise der Wirbelsäule und der zugehörigen Strukturen wie die Bandscheiben und der Bandapparat ergibt sich eine widerstandsfähige und bruchfeste Einheit gegen von oben nach unten gerichtete Kräfte, zum Beispiel beim Springen oder Treppengehen. Neben der Statik muss die Wirbelsäule eine weitere wichtige Aufgabe erfüllen, die in der Sicherstellung der Dynamik liegt. Sie muss in der Lage sein, die Bewegungsfreiheit in allen Ebenen des Raumes zu gewährleisten. Die vielgelenkige Wirbelsäule übernimmt nicht nur die Rolle der Federung von Stoßkräften durch die Bandscheiben, sondern sie führt beim Stehen und Gehen Ausgleichsbewegungen durch, um das Gleichgewicht zu halten.

Die passive Beweglichkeit wird durch die Bewegungssegmente, die aktive durch die autochthone Rückenmuskulatur gewährleistet. Nach Junghanns besteht ein Bewegungselement aus dem Wirbelkörper, dem vorderen und hinteren Längsband, der Bandscheibe, dem Facettengelenk, dem Ligamentum Flavum und Bändern und Muskelanteilen der Quer- und Dornfortsätze. Bei einem Trauma der Wirbelsäule kommt es immer auch zu einer Schädigung des Bewegungssegmentes (Scheiderer und Gruber 2008).

Als weitere Aufgabe übernimmt die Wirbelsäule eine Schutzfunktion für das im Wirbelkanal gelegene Rückenmark. Die Wirbelkörper bilden mit ihren Foramina vertebralia den Spinalkanal, in dem das Rückenmark verläuft, welches so durch die angrenzenden Knochen geschützt ist (Eckardt 2011).

3.2 Epidemiologie

„Exakte epidemiologische Daten zur Verletzungshäufigkeit der Wirbelsäule sind vorwiegend aufgrund mangelnder Erfassung milder schwerer und konservativ behandelter Fälle nicht greifbar“ (Bühren 2003, S.55). Es lässt sich hochrechnen, dass in Deutschland pro Jahr mit 10.000 schwerwiegenden Wirbelsäulenverletzungen zu rechnen ist. Dabei lassen sich 80% der Verletzungen im Bereich der Brust- und Lendenwirbelsäule lokalisieren. Davon betreffen mehr als die Hälfte den thorakolumbalen Übergang, also den Übergang von der Thorakalkyphose zu der Lumballordose (Bühren 2003).

90% dieser Verletzungen sind dabei mono- oder bisegmentale Verletzungen, während nur bei einem geringen Anteil mehrere Segmente betroffen sind. Die häufigsten Erscheinungsformen der Verletzungen sind mit 60-70% die Kompressionsfraktur (Typ A nach Magerl), gefolgt von der Distraktionsfraktur (Magerl B) und der Rotationsfraktur (Magerl C) (Katscher und Josten 2007).

Im Jahr 2002 führten 1950 dieser Fälle in die Unfallrente, was die sozialökonomische Relevanz solcher Verletzungen verdeutlicht (Scheiderer und Gruber 2008).

Die Geschlechterverteilung für Verletzungen der Wirbelsäule betrachtet, sind bis zu 70% Männer betroffen. Der Altersgipfel liegt dabei zwischen 20 und 40 Jahren. Es werden als Unfallursachen für diese Altersgruppe hauptsächlich Stürze aus großer Höhe, Verkehrs- und Sportunfälle angegeben. Bei Patienten im höheren Alter reichen aufgrund der häufig osteoporotisch geschwächten Knochensubstanz oft banale Stürze aus, um eine Fraktur eines Wirbelkörpers herbeizuführen (Katscher und Josten 2007).

3.3 Unfallmechanismus

Wenn es zu einem Knochenbruch kommt, ist Voraussetzung, dass eine große Kraft auf den Knochen eingewirkt hat. Je nach Richtung und Größe der Kraft fällt die Verletzung unterschiedlich aus. Im Material- und Methodenteil wird die Klassifikation nach Magerl et al. (1994) beschrieben, bei der zwischen Kompressions-, Distraktions- und Rotationsverletzungen unterschieden wird. Diesen unterschiedlichen Frakturtypen liegen demnach auch unterschiedliche Krafteinwirkungen zugrunde. Eggers und Stahlenbrecher (1998) beschreiben den Unfallhergang und die daraus resultierenden unterschiedlichen Verletzungsmuster wie folgt:

„Trifft die Kraft axial auf die physiologisch gestellte Wirbelsäule, wie z.B. beim Sturz auf das Gesäß, entstehen Kompressionsverletzungen unterschiedlichen Ausmaßes. Bei zusätzlicher oder extremer Flexion (Auffahrmechanismus bei geschlossenem Beckengurt) oder Extension, kommt es zur Zerreißung der dorsalen muskulo- ligamentären bzw. der ventralen diskoligamentären Strukturen und dementsprechend zur Distraktionsverletzung. Bei gleichzeitiger Rotation der Wirbelsäule, wie sie beispielsweise durch Aufprall auf die Schulter bei Sturz aus großer Höhe auftritt, kommt es zum Abscheren der Gelenkfortsätze, zu Bogenfrakturen oder zu schräg durch den Wirbelkörper verlaufenden Bruchformen und somit zur Rotationsverletzung.“ (Eggers und Stahlenbrecher 1998, S. 779)

3.4 Klinik

Ist der Verletzte ansprechbar, ist die Schmerzangabe ein Hinweiszeichen auf eine mögliche Verletzung der Wirbelsäule. Das verletzte Segment weist Schmerzen auf Druck, Kompression und Perkussion auf. Es können lokal Hämatome oder Kompressionsmarken präsent sein. Die Bewegung der Wirbelsäule und insbesondere der aufrechte Gang verschlimmern die Schmerzsymptomatik.

Darüber hinaus können Stufenbildung, Fehlstellungen, Distanzierung und Seitenabweichung der Dornfortsätze Hinweise auf eine Läsion der Wirbelsäule geben. Bei Verdacht auf eine Wirbelsäulenverletzung sollten alle spinalen Segmente überprüft werden, da zehn Prozent der Betroffenen Läsionen an zwei verschiedenen Segmenten aufweisen (Wirth 2014).

3.5 Diagnostik

Bei der Aufnahme eines Patienten wird zunächst eine ausführliche allgemeine und spezielle Anamnese erhoben, um auf für die weitere Behandlung relevante Umstände durch Allgemeinerkrankungen oder Medikamenteneinnahmen vorbereitet zu sein.

Das Verfahren zur Diagnostik bei Verdacht auf eine Verletzung der Wirbelsäule beginnt dann mit der Rekapitulation des Unfallhergangs, um gegebenenfalls Hinweise auf Begleitverletzungen zu erfassen. Die Erhebung der Unfallumstände wie Fallhöhe und Aufprallgeschwindigkeit kann die Schwere der Verletzung vor weiterer Untersuchung vermuten lassen. Es folgt die klinische Untersuchung des Patienten mit anschließender Indikationsstellung für bildgebende Verfahren.

Zur speziellen körperlichen Untersuchung zählen Inspektion und Palpation der Wirbelsäule sowie die Untersuchung der im direkten Zusammenhang stehenden Strukturen wie das Rückenmark und angrenzende Organe und große Gefäße. Durch die Palpation und Inspektion können Hämatome, Kontusionen und Fehlstellungen der Dornfortsätze detektiert

werden. Zur Beurteilung der Organläsionen ist die Untersuchung mittels Sonographie obligat.

Um neurologische Defizite festzustellen, sollte die Sensibilität und Motorik der betroffenen Segmente geprüft werden. Die Motorik der Extremitäten wird anhand der segmentalen Kennmuskeln untersucht und in sechs Stufen von normaler Kraftentfaltung bis hin zu völliger Lähmung quantifiziert. Die Sensibilitätsüberprüfung beinhaltet die Kontrolle der Oberflächensensibilität, Temperatur-, Schmerz-, Berührungs-, Bewegungs-, Lage- und Vibrationsempfinden. Außerdem wird ein Reflexstatus über normale und pathologische Körperreflexe erhoben. Des Weiteren stellt der Sphinktertonus bei Querschnittsläsionen eine wichtige prognostische Komponente dar.

Insgesamt ist der neurologische Status wesentlicher Bestandteil der therapeutischen Indikationsstellung (Wirth 2014).

Die Indikation zur radiologischen Untersuchung wird in folgenden Situationen gestellt:

- Positive Schmerzanamnese
- Neurologische Defizite
- Schweres Thoraxtrauma
- Bewusstlosigkeit des Patienten
- Polytrauma

Grundsätzlich sollte die radiologische Untersuchung die gesamte Wirbelsäule betreffen. Es wird mit nativen Röntgenaufnahmen in zwei Ebenen begonnen. Im anterior- posterioren Strahlengang werden zunächst der Abstand zwischen den Dornfortsätzen, die Wirbelkörperform, die Symmetrie der Bogenwurzeln und die Form der Gelenkfortsätze beurteilt. Im seitlichen Röntgenbild stellt sich die Beschaffenheit der Vorder- und Hinterwände der Wirbelkörper besonders gut dar, außerdem lassen sich das Ausmaß der Sinterung der Wirbelkörper, der Intervertebralraum, die Stellung der Gelenkfortsätze und die Konfiguration der Dornfortsätze beurteilen. Nach sorgfältiger Deutung der Röntgenbilder ist es weitestgehend möglich, das Ausmaß der Verletzung abzuschätzen (Eggers und Stahlenbrecher 1998).

Zur näheren Abklärung des Verletzungsausmaßes und der Operationsindikation stellt das CT das Standardverfahren dar. Auch bei Unklarheiten oder mangelnder Qualität des Röntgenbildes kann das CT als erweitertes Diagnostikum dienen. Weiterhin ist es möglich, anhand von Messungen die Implantatplanung für die Operation durchzuführen.

Für die Darstellung von Weichteilverletzungen, Hämatome und Läsionen des Bandapparats kann das MRT zur Diagnostik herangezogen werden. Bei neurologischen Ausfällen ist es somit möglich, Auskunft über das Ausmaß intraduraler Verletzungen zu erhalten (Bühren 2003). Das MRT zählt allerdings nicht zu den diagnostischen Standardmaßnahmen, sondern dient als diagnostisches Hilfsmittel speziell bei Frakturen mit neurologischen Ausfällen (Wawro 2007).

3.6 Klassifikation

Das Klassifizieren von Verletzungen ist notwendig, um eine allgemeingültige Regelung für Therapieindikationen und die Abschätzung des Behandlungserfolgs zu schaffen. Klassifikationen werden als prognostisches Werkzeug benutzt, um das Outcome zu erfassen, den Entscheidungsprozess für die Therapie zu lenken und mögliche Komplikationen vorherzusehen. Außerdem können so verschiedene Therapieverfahren für identische Verletzungen in Studien miteinander verglichen werden. Wie hoch die klinische Relevanz einer Klassifikation ist, ist davon abhängig, wie gut alle Aspekte der Fraktur berücksichtigt werden (van Middendorp et al. 2010). Mirza et al. (2002) fassen die Erwartungen an eine vollkommene Klassifikation so zusammen, dass der Schweregrad der Verletzung, die Pathogenese und die biomechanische Belastung der Wirbelsäule zusätzlich zu den klinischen, neurologischen und radiologischen Charakteristika der Verletzung berücksichtigt werden sollen. Allerdings wird dies als unerreichbares Vorhaben beschrieben (van Middendorp et al. 2010).

Es wurden bisher mehrere Systeme entwickelt, in welchen sich die Faktoren, die Einfluss auf die Behandlungsindikationen haben, der Zustand der beteiligten Strukturen und gegebenenfalls Fehlstellungen wiederfinden sollten (Aebi 2010). Vielzählige Klassifikationssysteme, die

auf verschiedensten Parametern wie Unfallmechanismus, neurologischer Status und Frakturmorphologie basieren, wurden zur Beschreibung von Wirbelsäulenverletzungen vorgestellt (Aarabi et al. 2013; Patel und Vaccaro 2010).

Frühere Systeme bezogen sich hauptsächlich auf lediglich einen dieser Parameter und waren deshalb simpler, aber weniger detailliert (Chance 1948; Ferguson und Allen 1984; Gertzbein und Court-Brown 1988; Rennie und Mitchell 1973; Nicoll 1949). Etablieren konnte sich das Prinzip der dreigeteilten Wirbelsäule von Denis (1983), welches die Wirbelsäule in drei Abschnitte von anterior nach posterior unterteilt und so Aussagen zur Stabilität der Fraktur zuließ, da Frakturen, die ausschließlich die vordere Wirbelsäule betreffen, als stabil galten, während Frakturen, die die hinteren Wirbelabschnitte betreffen, als instabil betrachtet wurden. Allerdings wird diese Einteilung von Chhabra et al. (2015) als nicht ausreichend detailliert beschrieben. Auch die AO- Klassifikation von Magerl et al. (1994), die im Material- und Methodenteil ausführlicher besprochen wird, konnte sich in der Wirbelsäulentraumatologie behaupten. Dabei teilen sich die Frakturklassen in die jeweiligen Verletzungsmuster ein und es wird zwischen Kompressions-, Distraktions- und Rotationsverletzungen unterschieden.

Trotz umfangreicher Forschung zu diesem Thema hat sich noch kein ideales Klassifikationssystem etabliert, welches aussagekräftig und gleichzeitig in den klinischen Alltag integrierbar ist (Chhabra et al. 2015).

3.7 Therapie

Es kamen unterschiedliche Versorgungskonzepte zum Einsatz. Die konservative Therapie ist dabei der operativen gegenübergestellt. Die operativen Verfahren, die in dieser Arbeit bewertet werden, sind die Kyphoplastie und sowohl dorsale als auch dorsoventrale OP-Verfahren.

3.7.1 Konservative Therapie

Stabile Kompressionsfrakturen ohne neurologische Defizite werden konservativ behandelt. Dazu zählen Frakturen der Klassen A1 und A2 und bedingt auch Frakturen der Klasse A3 (Eggers und Stahlenbrecher 1998). Die konservative Therapie erfolgt nach den Hauptlinien nach Böhler oder Magnus. Die Böhler Schule vertritt das Ziel der Korrektur der Fehlstellung nach dem Prinzip der immobilisierenden Knochenbruchheilung, gefolgt von einer intensiven Übungsbehandlung (Böhler 1933), während das Konzept nach Magnus eine funktionelle Nachbehandlung ohne Berücksichtigung der Fehlstellung postuliert (Magnus 1936). Unter Analgetikagabe findet die Mobilisierung unter krankengymnastischer Aufsicht statt. Speziell wird dabei die Rückenmuskulatur trainiert (Bühren 2003). Die Mobilisierung erfolgt am ersten Tag nach Verletzung, wobei in der Regel meist auf additive Verfahren wie Orthesen verzichtet werden kann. Empfehlenswert ist aufgrund der möglichen Beteiligung des Bandapparats eine Röntgenaufnahme im Stehen nach 3-4 Tagen. Kann keine weitere Kyphosierung festgestellt werden, ist die Therapie weiter fortzuführen (Katscher und Josten 2007).

3.7.2 Dorsale Operationstechnik

Der Patient wird auf dem Bauch gelagert. Oberkörper, Beckenkamm, Arme und Beine werden mit Gelpolstern abgestützt. Es ist darauf zu achten, dass das Abdomen aufgrund der Gefahr einer vermehrten Blutung bei venösem Rückstau nicht komprimiert wird.

Die Hautinzision erfolgt mittels eines dorsomedianen Schnitts. Durch Spaltung der Faszie und Präparation der entsprechenden Muskulatur sollen die Dornfortsätze, Bögen und Querfortsätze der Nachbarwirbel der Fraktur subperiostal freigelegt werden. Die Präparation hat streng subperiostal zu erfolgen, um Nerven und Gefäße zu schonen und Blutungen zu vermeiden. Stärkere Blutungen müssen dabei durch Elektrokoagulation und Tamponade gestillt werden. Diese können aus dem Plexus venosus vertebralis externus posterior kommen. Zur Höhenbestimmung im thorakolumbalen Übergang orientiert man sich am besten an dem zwölften Brust- und ersten Lendenwirbel. Der zwölfte Brustwirbel hat einen zurückgebildeten Querfortsatz, unter dem die bewegliche zwölfte Rippe liegt. Der erste Lendenwirbel hat einen unbeweglichen Rippenfortsatz. Danach werden die Eintrittspunkte der Pedikel an den am frakturierten Wirbel angrenzenden Wirbeln aufgesucht und die

Bohrlöcher unter Bildkontrolle durch die Pedikel in den Wirbelkörper gebohrt. Jeder Wirbel, der in den Fixateur integriert werden soll, wird mit jeweils zwei Bohrlöchern und später mit zwei Pedikelschrauben versehen.

Dabei ist auf die Unversehrtheit wichtiger Nachbarstrukturen zu achten. Besonders die mediale Perforation ist zu vermeiden, da man auf diesem Wege in den Spinalkanal gelangen würde und die Gefahr der Rückenmarksverletzung bestünde. Ferner ist zu beachten, dass durch die unterschiedliche anatomische Form der Brust-, bzw. Lendenwirbel die Bohrrichtung variieren kann.

Anschließend ist mit einer Sonde auszutasten, ob die Bohrkanäle zu einer Seite über den Knochen hinaus perforiert sind. Nach Sicherstellung der Intaktheit der Bohrkanäle werden die selbstschneidenden Pedikelschrauben mit individueller Länge und Durchmesser eingebracht. Auf die Pedikelschrauben wird ein Verlängerungsstab gesetzt. Anhand dieser Pedikelschrauben kann nun die Reposition mittels Fixateur stattfinden.

Es werden zunächst die Längsträger eingebracht, die auf beiden Seiten jeweils die einzelnen Pedikelschrauben aufnehmen.

Durch eine Lordosierung und Distraction der Wirbelkörper soll sich der frakturierte Wirbelkörper aufrichten. Dies soll sich durch einen verkleinerten Kyphosewinkel äußern (im Vergleich zum präoperativ gemessenen Kyphosewinkel). Die vorhandenen Längsträger werden mit Fixierschrauben mit den Pedikelschrauben fest verbunden, damit eine winkel- und rotationsstabile Instrumentierung gewährleistet werden kann. In Abb. 6 sind Fixateursysteme zur Veranschaulichung aufgeführt.

Der Wundverschluss erfolgt im Anschluss zweischichtig durch die Naht der paraspinalen Muskulatur und der Faszie (Bauer 1991).

Zusätzlich zu der konventionellen Instrumentierung kann mittels Navigation durch Bildgebung eine Unterstützung des Operationsvorgangs erfolgen. Die navigierte Pedikelschraubenplatzierung an der Wirbelsäule kann entweder CT- basiert oder durch die sogenannte C-Arm- Navigation vorgenommen werden (Grützner et al. 2001). Auf diesem Wege soll eine sicherere Möglichkeit geschaffen werden, Schraubenfehlagen zu vermeiden.

Alternativ zu der konventionellen offenen Operationsmethode ist es möglich, den Fixateur interne durch minimalinvasives Vorgehen einzubringen. Dazu werden die Systeme perkutan über Stichinzisionen direkt über dem zu instrumentierenden Pedikel in den Wirbelkörper

eingbracht und die Navigation erfolgt mittels Bildwandler (Lendemans et al. 2011). Diese Möglichkeit der minimalinvasiven Versorgung hat zum Vorteil, dass die Operationsdauer, der Gewebeschaden und der Blutverlust während des Eingriffs deutlich reduziert werden können. Außerdem können postoperativ zugangsbedingte Wundkomplikationen vermieden werden (Lendemans et al. 2011). Auf der anderen Seite ist dieses Verfahren technisch wesentlich anspruchsvoller, da die intraoperative Visualisierung ausschließlich radiologisch erfolgt (Prokop et al. 2012).

3.7.3 Ventrale Operationstechnik

Hierbei erfolgt die Reposition und Dekompression des Spinalkanals über einen ventralen Zugangsweg. Die Fusion wird mittels eines kortikospongiösen Knochenspans (aus Beckenkamm, Rippen oder Wadenbein) oder auch Cages und ggf. einer ventral oder lateral angelegten Platte vorgenommen.

Bei der kombinierten dorsoventralen Technik wird die Verletzung zunächst dorsal mittels Fixateur Interne repositioniert. Dies kann auch im Zuge eines Notfalleingriffs stattfinden. Anschließend wird im ein- oder zweizeitigen Vorgehen der zweite Zugang für die Einbringung der ventralen Abstützung geschaffen (Knop et al. 2005).

Die Zugangswege variieren dabei, je nachdem, in welchem Wirbelkörperabschnitt die Stabilisierung vorgenommen werden soll.

Der transthorakale Zugangsweg wird bei Frakturen im Bereich BWK 5-11 gewählt. Dabei wird in Seitenlage eine Inzision über der ein bis zwei Level höher gelegenen Rippe gemacht. Nach der subperiostalen Freilegung und der Spreizung der Interkostalnerven und -gefäße werden 10 cm der Rippe entfernt und der Thoraxraum kann im Bett der resizierten Rippe eröffnet werden (Payer und Sottas 2008).

Bei ventraler Stabilisierung der Wirbelkörper BWK 12- LWK 2 wird der transthorakale, transdiaphragmale Zugang gewählt (nach Hodgson). Hier ist eine Inzision über der neunten oder zehnten Rippe auf der lateralen Konvexität der der Thoraxwand erforderlich (Bauer 1991). Nach subperiostaler Eröffnung der Rippe werden 10 cm entfernt. Nach Inzision der parietalen Pleura wird die Lunge nach kranial verlagert und das Zwerchfell wird entlang der Thoraxwand eröffnet. Ein sicherer Abstand zur Aorta abdominalis sollte gewahrt bleiben. Die

parietale Pleura wird in sagittaler Richtung über der lateralen Wölbung der Wirbelsäule gespalten und der M. Psoas wird lateral abgehalten, um den Zugang zum frakturierten Wirbel zu ermöglichen (Payer und Sottas 2008).

Die Wirbelkörper L3 und L4 werden mittels retroperitonealen Zugangs erreicht. Eine horizontale Inzision wird dabei von der Spitze der zwölften Rippe zu dem ipsilateralen M. Rectus Abdominis angelegt. Nach Erreichen des Retroperitonealraums werden Niere und Ureter nach rechts abgeschoben. Nerven des Plexus Lumbalis sollten geschont werden. Im Anschluss wird der M. Psoas lateral verlagert, um Zugang zum Operationsgebiet zu erhalten (Payer und Sottas 2008).

Auch bei der ventralen Spondylodese ist es möglich, neben den oben genannten invasiven Zugangswegen, das Operationsgebiet minimalinvasiv zu erreichen. Dabei wird während der Operation lediglich eine Lunge ventiliert. Der Patient wird auf der Seite gelagert. Die Zugangsseite wird nach der Lage der großen Gefäße gewählt, welche in der präoperativen CT- Aufnahme lokalisiert werden können. In den meisten Fällen erfolgt der Zugang von der linken Seite (Beisse et al. 2005). Ein etwa 4 cm langer Hautschnitt wird lateral in Projektion auf den betroffenen Wirbelkörper gemacht und es wird sorgfältig retroperitoneal mit Hilfe eines Retraktionssystems präpariert. Die Navigation erfolgt mit Hilfe eines Bildwandlers, um intraoperative Komplikationen zu vermeiden (Verheyden et al. 2007).

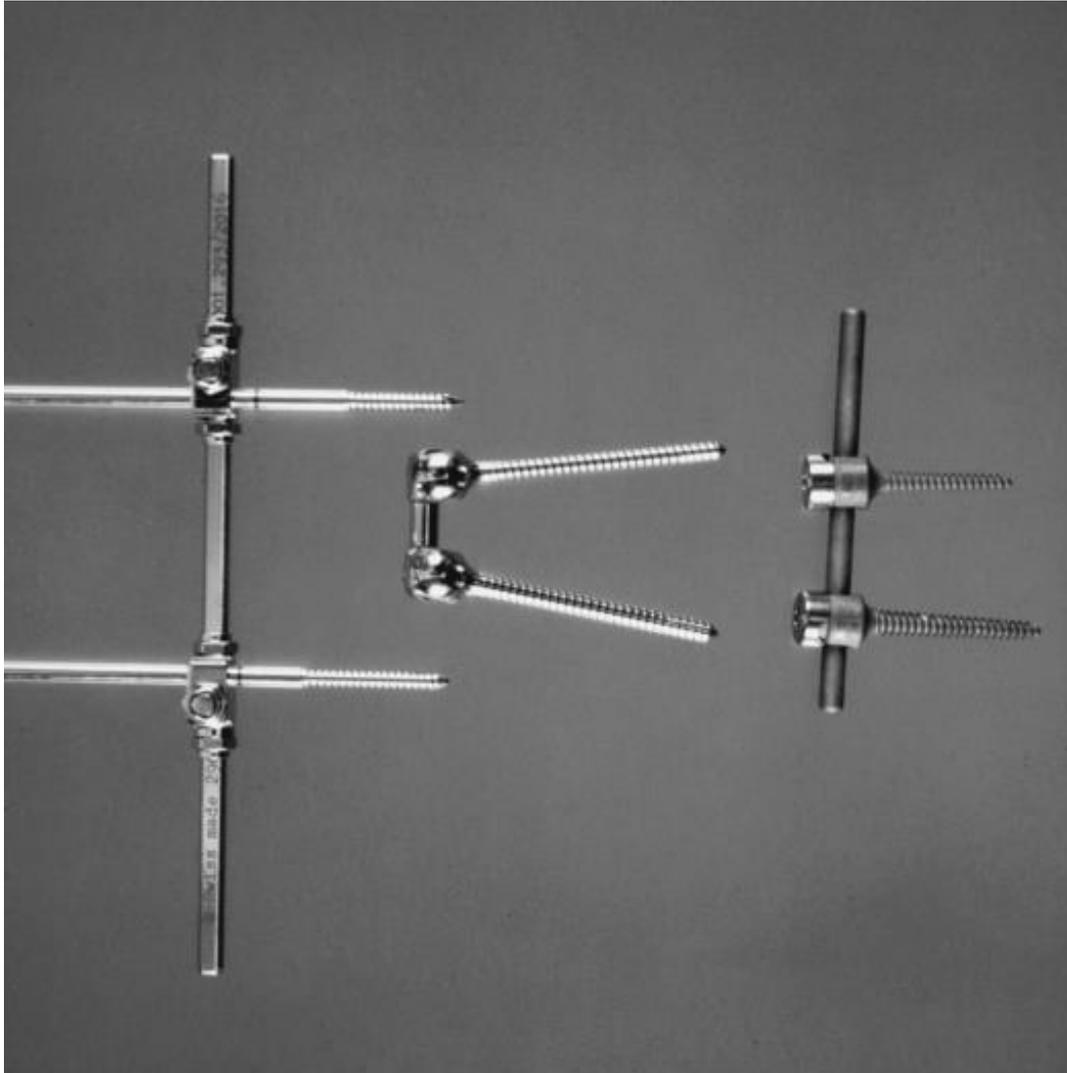


Abbildung 6: Fixateur interne nach Dick (Synthes), TLS nach Kluger (Endotec), Diapason (Stryker) (Bertram et al. 2003)

3.7.4 Kyphoplastie

Die Wiederherstellung der Wirbelsäulenachse wird dabei durch die Einbringung eines expandierbaren Ballons über einen transpedikulären Zugang erreicht. Durch Expansion des Ballons wird eine Kavität geschaffen, die anschließend durch Knochenzement oder PMMA gefüllt wird, um der Nachsinterung vorzubeugen (Mueller und Berlemann 2005). Ziel der Kyphoplastie ist es, die frühere Wirbelsäulenphysiognomie durch Aufrichtung einzelner Wirbelkörpersegmente wieder herzustellen. In mehreren Studien konnte bei Osteoporose eine Verringerung der Kyphose eingestellt werden, während sich das Verfahren bei traumatischen Frakturen nicht als Standard etablieren konnte (Hauck et al. 2004).

Nicht alle Frakturen eignen sich für die Behandlung mittels Kyphoplastie. Nach aktueller Literatur sind es ausschließlich osteoporotische Frakturen ohne adäquates Trauma, die mittels Kyphoplastie behandelt werden können (Hauck et al. 2004; Mueller und Berlemann 2005). Zu berücksichtigen sind verschiedene Faktoren wie Stabilität der Fraktur, Alter des Patienten, Osteoporosegrad des Knochens und Bandscheibenintegrität. Da die Kyphoplastie, die im Jahre 1998 zum ersten Mal Anwendung fand, eine relativ junge Therapiemaßnahme ist, ist die Indikation für Patienten, die jünger als 60 Jahre sind, streng zu stellen. Die beste denkbare Indikation liegt bei einer Kompressionsfraktur ohne Zerstörung der angrenzenden Bandscheiben vor. Frakturen der Typen A1 und A2 nach Magerl lassen sich mittels perkutaner Kyphoplastie versorgen. Die Wirbelsäulenachse lässt sich dabei vollständig wieder aufrichten. Bei Frakturen der Klasse A3 lässt sich die Indikation nur sehr stark eingeschränkt stellen.

3.8 Komplikationen

Für die operative Therapie von Wirbelfrakturen lassen sich die Komplikationsmöglichkeiten anhand der einzelnen Operationsschritte einteilen. Dazu gehören unter anderem Fehler bei der Lagerung des Patienten (die Grobposition der notwendigen Reposition wird auf dem OP Tisch präoperativ vorgenommen) und zugangsbedingte Komplikationen (Reinhold et al. 2005). Das größte Risiko ist - bei dem sonst als wenig komplikationsträchtig geltenden dorsalen Zugangsweg - die Verletzung von gelenkigen Strukturen (Boelderl et al. 2002). Größere Gefahren birgt der ventrale Zugang, da jede Thorakotomie von vorübergehenden Respirationseinschränkungen begleitet ist (Hasse 1984; Payer und Sottas 2008). Ebenfalls besteht bei der ventralen Stabilisierung die Gefahr, größere Abdominalgefäße zu verletzen. Besonders im distalen LWS- Bereich sind Verletzungen der Gefäße an der Kreuzungsstelle von Wirbelsäule und Iliakalgefäßen möglich, wobei Blutungen aus großen Venen häufiger sind als Verletzungen der arteriellen Gefäße (Neudeck et al. 1990).

Die am meisten gefürchtete Komplikation ist die Verschlechterung des neurologischen Befundes. Bei postoperativ verschlechterter Neurologie ist die Ursache mittels Schnittbildverfahren zu klären, und es ist gegebenenfalls eine Revision durchzuführen. Das Auftreten

weiterer neurologischer Defizite ist allerdings als gering anzusehen. Ein eher häufiges Problem stellt die nicht ausreichende intraoperative Dekompression des Spinalkanals dar (Reinhold et al. 2005).

Des Weiteren können Rückenmark und Nerven mit den Pedikelschrauben verletzt werden, wenn diese fehlplatziert werden. Durch eine sorgfältige OP- Technik ist dies zu vermeiden. Komplikationsgefährdet ist in dieser Hinsicht vor allem der Bereich Th 5/ 6, da die Pedikel auf dieser Höhe den geringsten Durchmesser aufweisen (Wirth 2014).

Bei indikatorischen Fehlern können unter Anwendung der falschen Methode Instabilitäten entstehen. Folge der persistierenden Instabilität sind Implantatbrüche und Lockerungen der Schrauben aus den Wirbelkörpern mit Dislokation und Korrekturverlusten.

Außerdem können sich Infekte als problematisch darstellen. Insbesondere bei Operationen mit Implantaten ist dies zu beobachten. Die Infektionsgefahr ist besonders bei bettlägerigen Patienten und Patienten mit posteriorem Zugang erhöht. Bei Bettlägerigen kann eine Infektrate von über 40% verzeichnet werden (White et al. 2006; Fu et al. 2006).

Bei bestehender Erkrankung des Skelettsystems wie zum Beispiel der Osteoporose, kann es zum Schraubenausriss kommen. Es sollte dann eine längerstreckige Stabilisierung vorgenommen werden. Gegebenenfalls kann zur Schraubenaugmentation Knochenzement verwendet werden. Beim Ausbleiben der Verknöcherung kommt es im Verlauf zu Schraubenlockerung und -bruch (Grifka 2011). Die technisch fehlerhafte Verankerung des Stabilisierungssystems wie zum Beispiel die Wahl der falschen Schraubenlänge oder des -durchmessers ist ebenfalls ein Faktor, der zum Schraubenbruch führen kann (Reinhold et al. 2005).

3.9 Vakuumphänomen

Das Vakuumphänomen wurde zuerst von Kümmel beschrieben und ist auch unter dem Namen vertebrale Pseudoarthrose bekannt. Klinisch tritt das Vakuumphänomen in etwa 10% der osteoporotischen Wirbelfrakturen auf, am häufigsten im Bereich des thorakolumbalen Übergangs. Die meisten Patienten sind neurologisch intakt und es besteht ein kontinuierlicher Schmerz, der jedoch durch Stabilisierung der Fraktur zu therapieren ist. Es bestehen zahlreiche Theorien über die Pathogenese des Vakuumphänomens (Pappou et al. 2008). Nach Gohil et al. (2014) ist das Vakuumphänomen eine anatomische Einheit, die zu potentieller Verwechslung bei der Diagnose und Evaluation von Gelenkpathologien führen kann. Anders als der Name besagt, handelt es sich bei dem Vakuumphänomen nicht um ein Vakuum im Sinne eines luftleeren Raums, sondern vielmehr um eine Gasansammlung im Gewebe. Beobachten kann man dieses Phänomen auf einfachen Röntgenbildern, computer- und magnetresonanztomographischen Aufnahmen (Gohil et al. 2014). Untersuchungen von Ford et al. (1977) zeigen, dass das Gas zu 90% aus Stickstoff besteht. Stickstoff wird - im Gegensatz zu Sauerstoff - nicht vom Körper metabolisiert und akkumuliert sich als Gas im Gewebe (Coulter 2004). So kann Stickstoff also im Gewebe verbleiben, bis ein Druckgradient den dort gelösten Stickstoff entfernt oder aus der Lösung bringt. Ein möglicher Mechanismus, das Gas aus der Lösung zu bringen, kann auf die physikalischen Gesetze von Henry und Boyle zurückgeführt werden. Wenn in einem geschlossenen Raum ein Stoff expandiert, steigt das Volumen des geschlossenen Raums an. Nach Boyles Gesetz würde der Druck dort abfallen. Im Weiteren besagt Henrys Gesetz, dass die Löslichkeit des Gases bei gleichbleibender Temperatur sinkt. Die geringere Löslichkeit führt dann dazu, dass der Stickstoff gasförmig und das Vakuumphänomen sichtbar wird (Gohil et al. 2014).

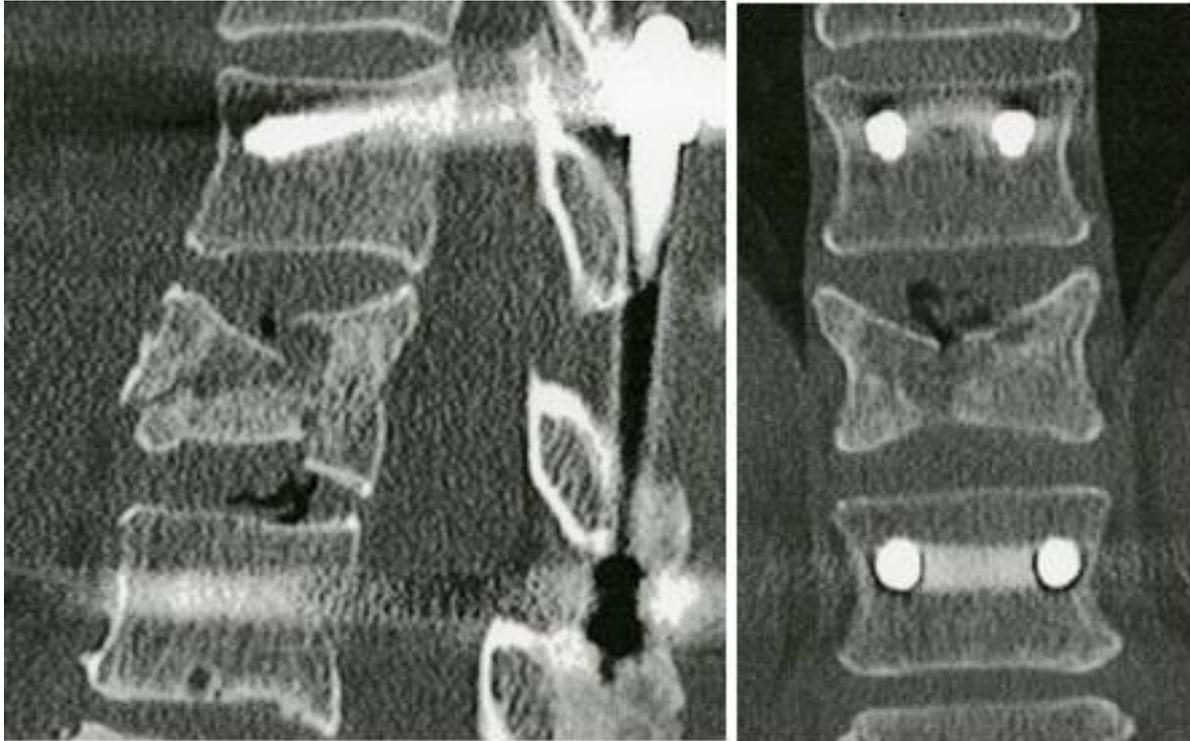


Abbildung 7: CT- Aufnahme, die Vakuumphänomene zwischen den Wirbelkörpern zeigt.

Vakuumphänomene im Bereich der Wirbelsäule können bei Degeneration der Bandscheibe, Bandscheibenverletzung, Wirbelsäulenmetastasen, Pseudarthrose und infektiösen Prozessen beobachtet werden (Lardé et al. 1982).

Die Patienten, bei denen im radiologischen Verlauf ein Vakuumphänomen im Bereich des frakturierten Wirbelkörpers festgestellt werden konnte, wurden vom restlichen Patientenkollektiv getrennt betrachtet, um die verschiedenen Therapieverfahren für Patienten mit Vakuumphänomen gesondert vergleichen zu können und um daraus eventuell eine Therapieempfehlung für Patienten mit einer Wirbelfraktur mit Vakuumphänomen ableiten zu können.

4. Material und Methoden

4.1 Studiendesign

Bei dieser Arbeit handelt es sich um eine rein deskriptive, retrospektive Untersuchung. Alle erhobenen Daten lagen in Form von Aktendokumentation und radiologischen Bildern vor. Im untersuchten Patientenkollektiv wurden Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule in Bezug auf den Heilungsverlauf beobachtet. Es wurde zwischen Patienten mit konservativer und chirurgischer Therapie unterschieden, wobei die chirurgische Therapie in dorsale, dorsoventrale Stabilisierung und Kyphoplastie unterteilt wurde.

4.2 Patienten

In den Jahren 2008 bis 2013 wurden in der Abteilung Unfallchirurgie des Universitätsklinikums Göttingen 817 Patienten aufgrund einer Verletzung der Wirbelsäule aufgenommen. Zur retrospektiven Analyse wurden folgende Einschlusskriterien definiert: eine Fraktur eines Wirbels im Brust-, oder Lendenwirbelsäulenbereich, Röntgenbilder der Frakturen zu definierten Zeitpunkten in der präoperativen Diagnostik und Verlaufskontrolle, ein CT zur Bewertung der Frakturklasse und die abgeschlossene Behandlung an der Universitätsmedizin Göttingen. Ausschlusskriterien waren demnach Frakturlosigkeit, mangelnde Information, unzureichende Bildgebung und fehlende Verlaufsdokumentation (342 Patienten, 41,9%). Das Kollektiv beinhaltet sowohl Patienten, deren Fraktur rein traumatischen Ursprungs war, als auch Patienten mit für eine Fraktur bekannten Komorbiditäten.

Nach Anwendung der Einschlusskriterien konnten für die retrospektive Auswertung insgesamt 475 Patienten mit 513 Frakturen eines Wirbels herangezogen werden.

4.3 Datenerhebung

Die Erhebung der zu bewertenden Daten erfolgte retrospektiv anhand der dokumentierten Patientenakten, der röntgenologischen Bildgebung sowie aus computertomographischen Aufnahmen der Abteilung Radiologie/ Neuroradiologie der Universitätsmedizin Göttingen. Im Rahmen der Untersuchung wurden diese auf bestimmte radiologische Parameter nachuntersucht.

Es wurden sowohl objektive Daten anhand der klinischen Untersuchung und Bildgebung aufgenommen als auch von Patientenseite angegebene subjektive Empfindungen.

Die Daten wurden über den Zeitraum ab der Aufnahme des Patienten in die Universitätsmedizin Göttingen bis zum Zeitpunkt der Entfernung des eingebrachten Osteosynthesematerials erfasst. Im Falle der konservativen Therapie oder des Verzichts auf Metallentfernung gingen die Daten über einen Zeitraum von durchschnittlich zwölf Monaten der Nachsorge mit in die Untersuchung ein.

4.4 Anamnese

Folgende anamnestische Informationen über den präoperativen Status und den postoperativen Verlauf konnten erhoben werden:

- Angaben zum bestehenden Trauma (Frakturort, Unfallhergang)
- Dauer bis zur operativen/ konservativen Therapie in der Universitätsmedizin Göttingen
- Therapieform (dorsale Stabilisierung/ dorsoventrale Stabilisierung/ Ballonkyphoplastie/ konservative Therapie)
- Auftreten erneuter Beschwerden postoperativ
- Vorstellungsfrequenz, -häufigkeit im Verlauf

- Dauer bis zur operativen Entfernung des Osteosynthesematerials im Fall einer dorsalen Stabilisierung
- Auftreten eventueller Komplikationen

4.5 Objektive Daten

Als objektive Daten wurden folgende Kategorien unterschieden:

- Patientenbezogene Daten
- Native Röntgenuntersuchungen
- Computertomographische Untersuchungen
- Vorstellungshäufigkeiten in der postoperativen Verlaufskontrolle

4.5.1 Patientenbezogene Daten

Anhand der Akten wurden Angaben bezüglich des Alters, Geschlechts, der Größe, des Gewichts und allgemeiner Vorerkrankungen erhoben.

4.5.2 Native Röntgenuntersuchung

Radiologisch erfolgten standardisierte Röntgenaufnahmen in zwei Ebenen (anterior-posterior und sagittal) prä-, postoperativ und im Rahmen der ambulanten Nachsorge.

Anhand der von der Seite aufgenommenen Röntgenbilder wurden initial und zur Zeit der Metallentfernung sowohl Vorder- als auch Hinterkantenhöhe des Wirbels ausgemessen und ins prozentuale Verhältnis gesetzt.

Außerdem wurde präoperativ, postoperativ und nach Metallentfernung der Kyphosewinkel bestimmt (siehe Abb. 8). Der Kyphosewinkel ergibt sich aus dem Schnittwinkel der Tangenten der dem frakturierten Wirbel angrenzenden Wirbelkörperhinterkanten. Ähnlich der Methode nach Halmagyi, bei der allerdings die Tangenten der Vorderkanten als Referenz dienen (Reinhardt 2013).

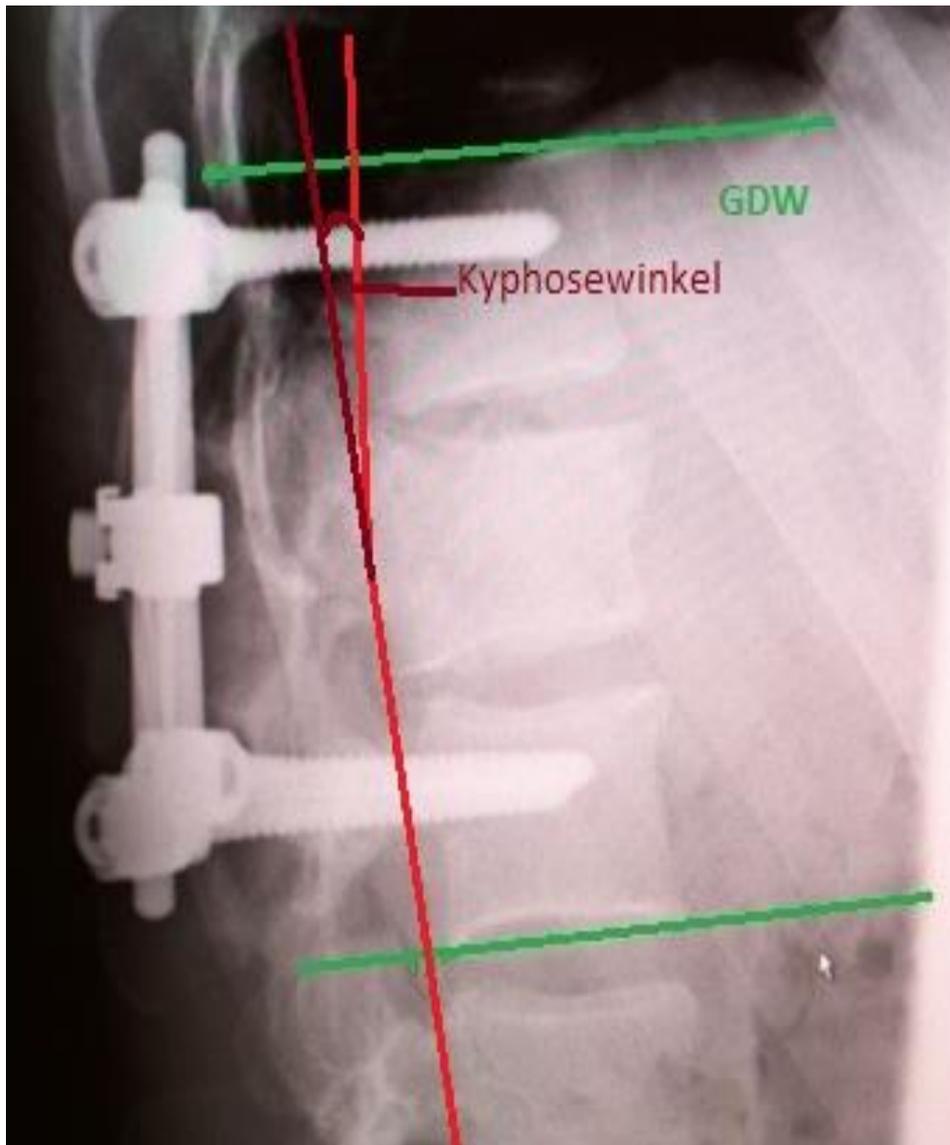


Abbildung 8: Kyphosewinkel

Der Grunddeckplattenwinkel wurde in kleineren und mehreren Intervallen (prä-, postoperativ, zwei Wochen postoperativ, sechs Wochen postoperativ, drei Monate postoperativ und nach Behandlungsschluss) im Verlauf gemessen, um die eventuelle Nachsinterung festzustellen. Dabei wurden jeweils die obere Deckplatte des Wirbels oberhalb des frakturierten Segments und die untere Deckplatte des Wirbels unterhalb des frakturierten Segments betrachtet (siehe Abb. 9 GDW1 (α)).

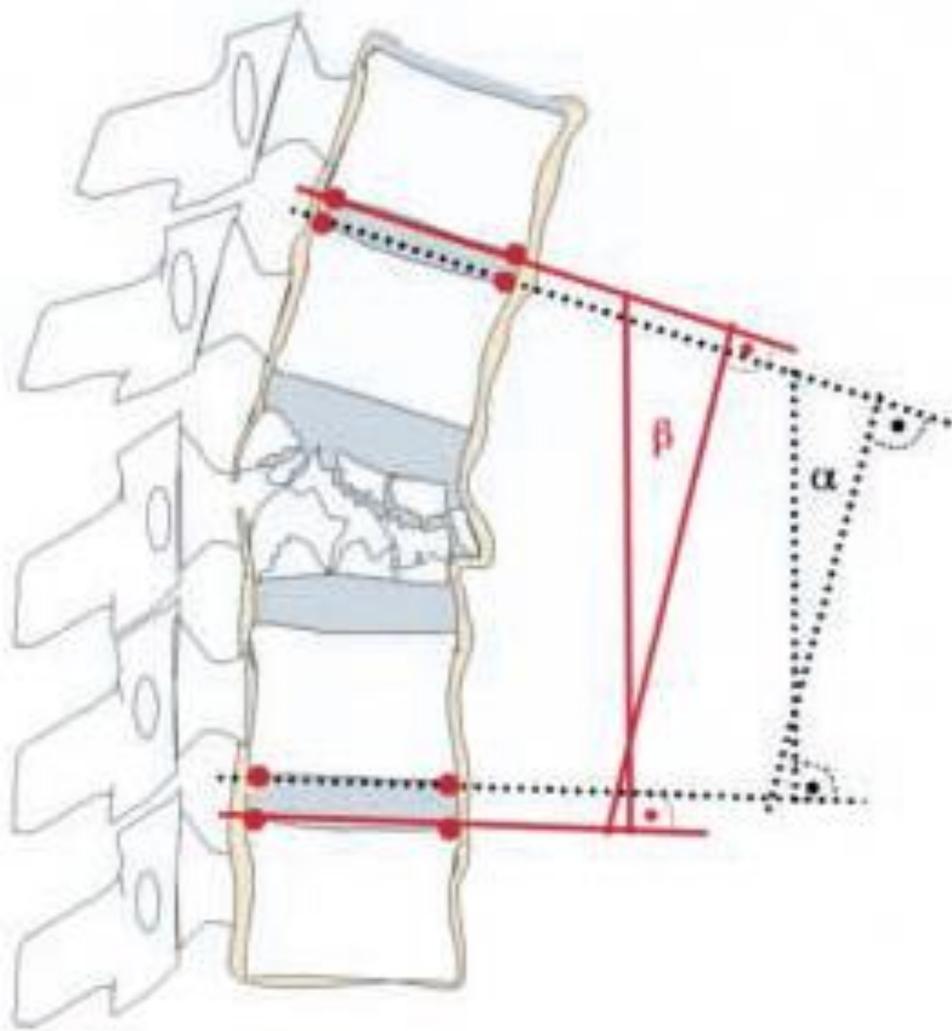


Abbildung 9: Verfahren zur Messung des bisegmentalen GDW 1(α) und GDW 2(β) (Knop et al. 2000)

4.5.3 Computertomographische Aufnahmen

Zur weiteren präoperativen Diagnostik wurde bei jedem Patienten vor dem operativen Eingriff eine CT- Aufnahme angefordert, anhand derer die Frakturklasse nach Magerl et al. (1994) bestimmt wurde.

Die Magerl- Klassifikation unterscheidet drei Hauptgruppen A (vgl. Abb. 10), B (vgl. Abb. 11) und C (vgl. Abb. 12). Hauptgruppe A beinhaltet Kompressionsverletzungen, deren Verletzungsmuster auf den Wirbelkörper beschränkt ist. Läsionen des Typs B sind Distraktionsverletzungen. Sie sind charakterisiert durch schräge Zerreißen des Bandapparats. Verletzungen in Gruppe C gehören den Rotationsverletzungen an. Sie

beschreiben Verletzungsmuster, die aus axialem Drehmoment resultieren. (Magerl et al. 1994)

Es besteht weitgehende Übereinstimmung darüber, dass die Frakturen der Klassen A1 und A2 als stabil eingestuft werden, da sie eine intakte mittlere und hintere Säule aufweisen und sich die Verletzung lediglich auf den vorderen Teil der Säule beschränkt. Auch besteht ein Konsens darüber, dass Frakturen der Klassen B und C als instabil gelten, da dort generell die Kriterien der Instabilität erfüllt werden. Kontrovers beurteilt wird die Definition der Stabilität oder Instabilität bei isolierten Berstungsfrakturen (Typ A3) und damit gleichzeitig die Empfehlung zur operativen oder konservativen Therapie. In der deutschsprachigen Literatur werden Berstungsfrakturen allerdings als instabil angesehen (Müller et al. 2008).

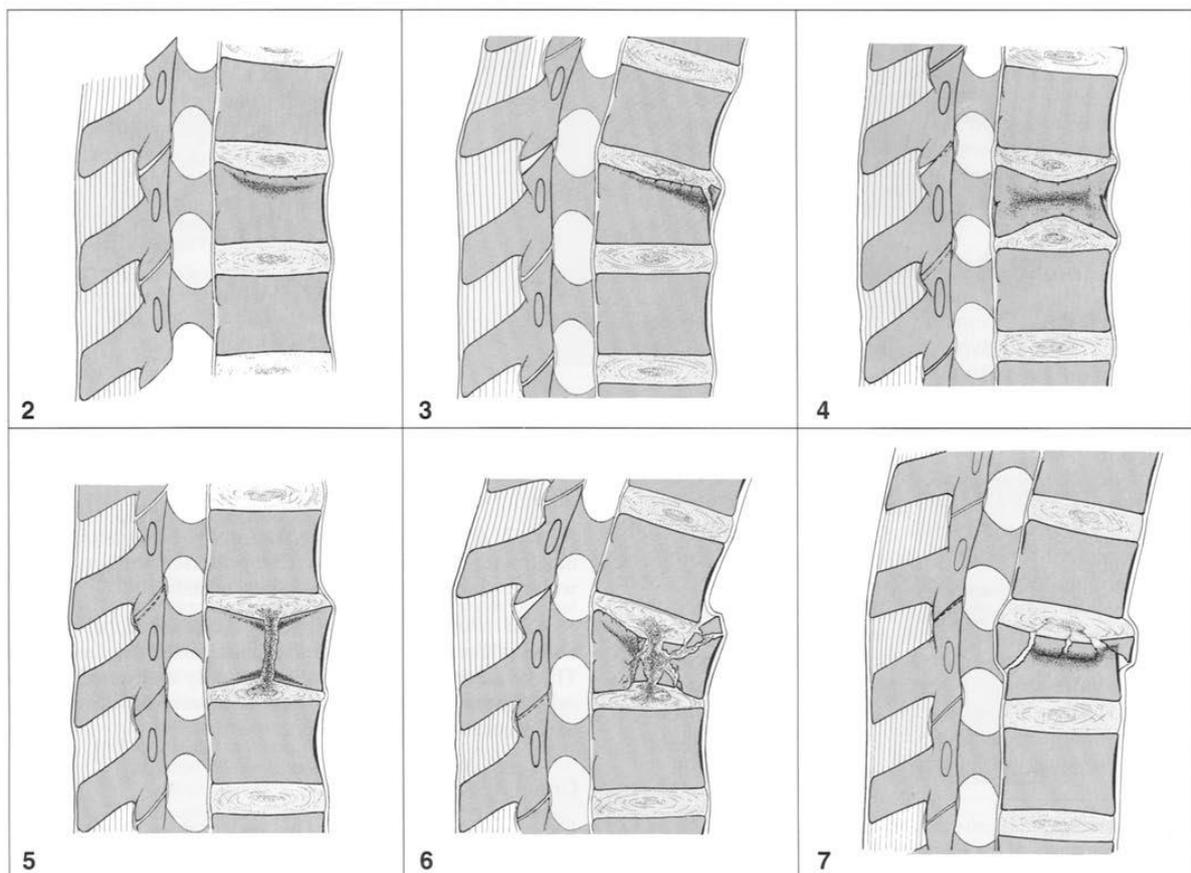


Abbildung 10: AO-Klassifikation nach Magerl et al. (1994)

Fig 2-4: A1

Fig 5-6: A2

Fig 7: A3

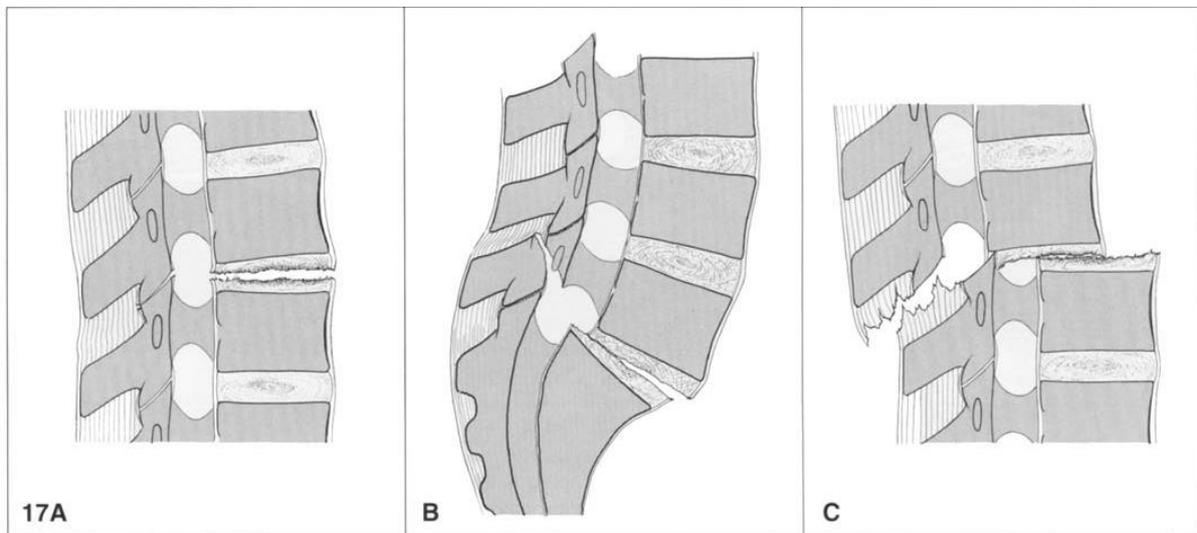
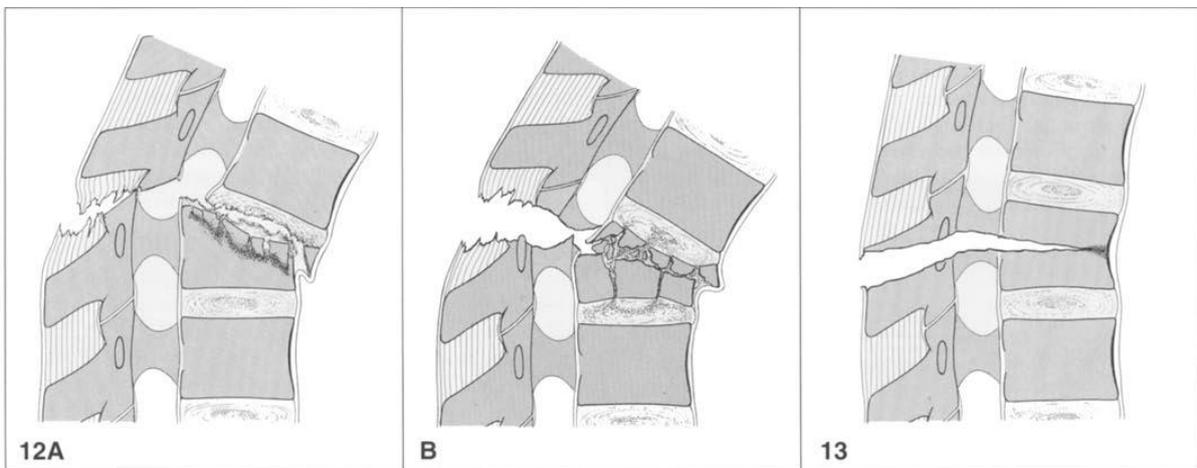
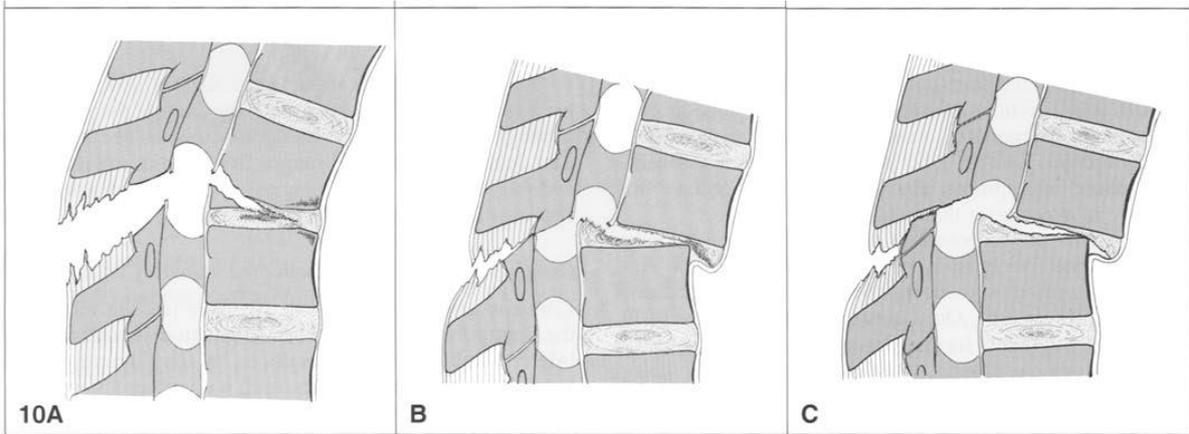


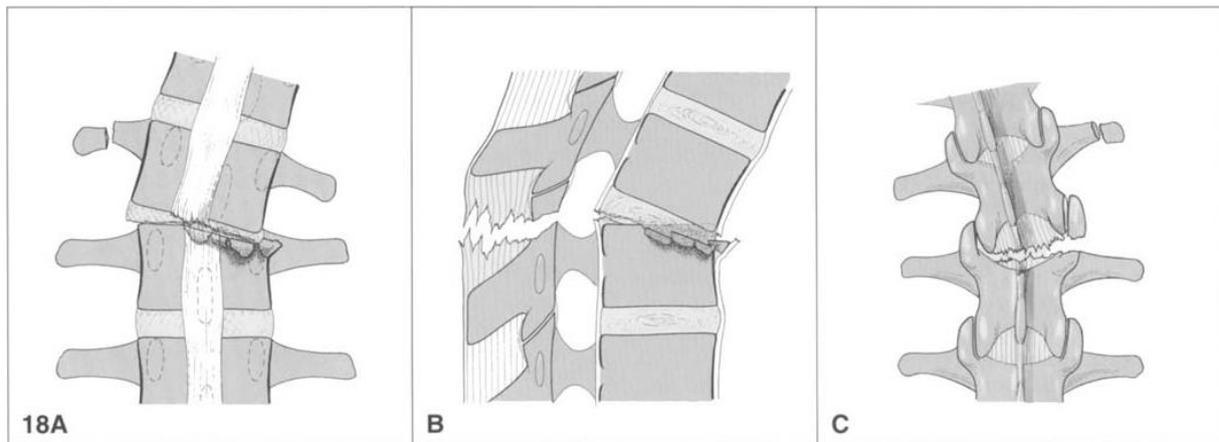
Abbildung 11: AO- Klassifikation nach Magerl et al. (1994)

Fig 10 A-C: B1

Fig 12 A,B: B1 in Kombination mit Frakturen vom Typ A

Fig 13: B2

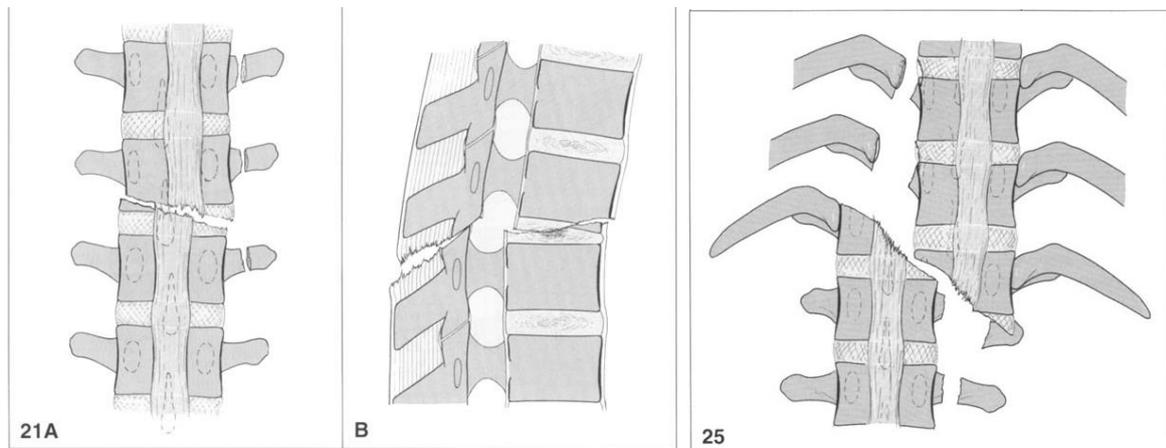
Fig 17 A-C: B3



18A

B

C



21A

B

25

Abbildung 12: AO- Klassifikation nach Magerl et al. (1994)

Fig18 A-C: C1

Fig 21 A,B: C2

Fig 25: C3

Bei den Patienten, bei denen auch ein postoperatives CT vorlag, wurde anhand dessen die Pedikelschraubenlage beurteilt.

Für die Bestimmung der Pedikelschraubenlage wurde die Abweichung der Pedikelschraube von der optimalen Lage in sechs verschiedenen Ausrichtungen (kraniomedial, kraniolateral, inferomedial, inferolateral, medial, lateral) anhand des axialen und koronalen CTs ausgemessen und folgendermaßen eingeteilt (vgl. Abb. 13):

Grad 0: 0mm

Grad 1: Perforationsdistanz zwischen 0 und 2 mm

Grad 2: Perforationsdistanz zwischen 2 und 4 mm

Grad 3: Perforationsdistanz größer als 4 mm

(Mirza et al. 2003)

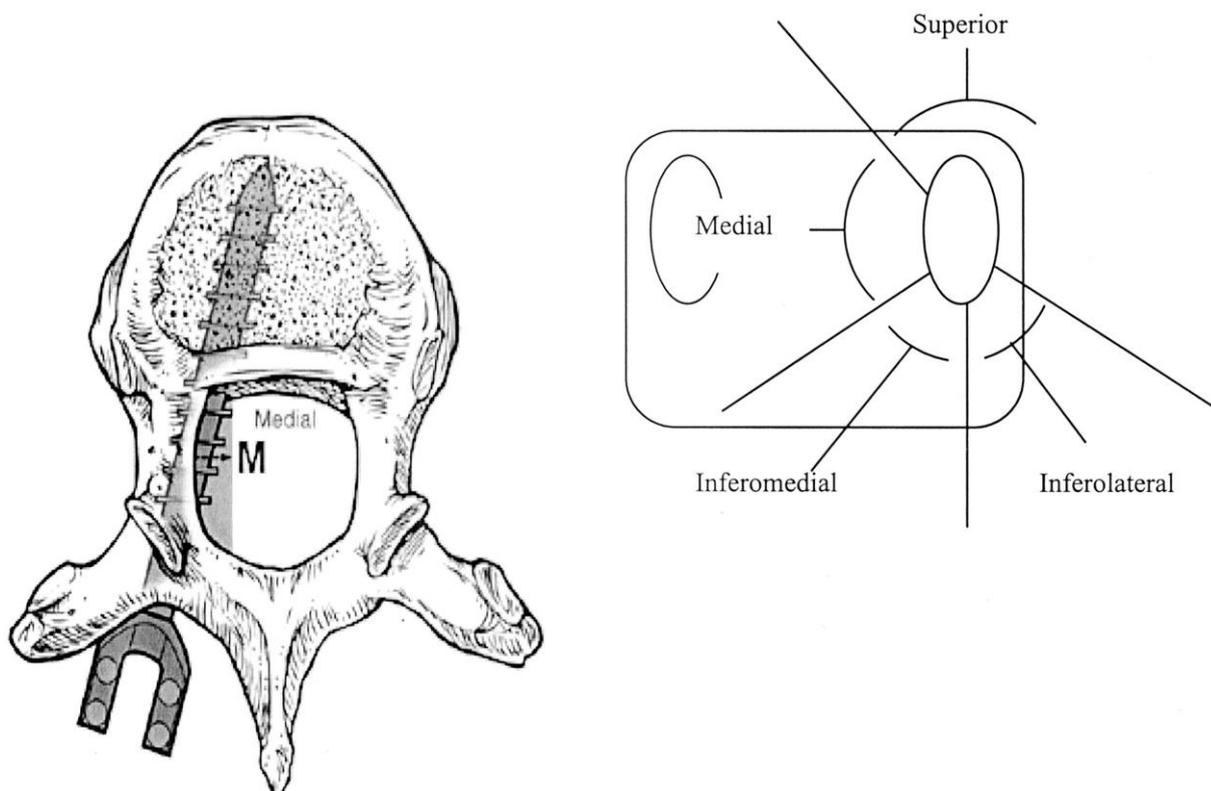


Abbildung 13: Beispiel einer Messung bei Abweichen der Pedikelschraubenlage (Mirza et al. 2003)

Es wurde außerdem anhand der CT- Aufnahmen festgestellt, ob im Verlauf der Behandlung ein Vakuumphänomen auftritt.

4.5.4 Vorstellungshäufigkeiten in der postoperativen Verlaufskontrolle

Anhand der in der Akte dokumentierten Untersuchungen der Patienten konnte eine Aussage über die absolute Häufigkeit der Wiedervorstellungen und der Wiedervorstellungsfrequenz in der Wirbelsäulensprechstunde der Universitätsmedizin Göttingen gemacht werden.

4.6 Subjektive Daten

Die Information für die Einschätzung des subjektiven Befindens wurde im Rückblick aus den Aufzeichnungen der Verlaufskontrolltermine entnommen. Dabei wurde nicht nach einem Fragebogen gehandelt, der weitere Abstufungen des Befindens in Bezug auf Ort des Schmerzes oder Intensität zugelassen hätte. Die aus den Patientenakten ersichtlichen Informationen beliefen sich lediglich darauf, ob im Verlauf Schmerzen auftraten.

Außerdem lag bei der Datenerhebung auch ein Interesse darauf, zu welcher Zeit nach der Therapie der Verletzung der Patient in das Arbeitsleben zurückkehren konnte, bzw. inwiefern der Patient nach Therapieende im alltäglichen Leben eingeschränkt war. Diese Daten konnten jedoch nicht statistisch ausgewertet werden, da keine standardisierte Dokumentation während der Nachsorge erfolgte.

4.7 Statistische Auswertung

Alle Daten wurden in dem Programm Windows Excel zusammengetragen und ausgewertet. Die Berechnung der Mittelwerte erfolgte mit folgender Formel:

$$\bar{x}_{\text{arithm}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Die Berechnung der Standardabweichungen erfolgte mit folgender Formel:

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

5. Ergebnisse

5.1 Patientenkollektiv

Es wurden 475 Patienten mit insgesamt 513 Frakturen im Bereich der Brust- und Lendenwirbelsäule in die Studie aufgenommen, die alle Einschlusskriterien erfüllen.

5.2 Alter, Geschlecht, Gewicht

Das Alter der Patienten betrug zum Zeitpunkt der Aufnahme 4 bis 100 Jahre mit einem Durchschnittswert von 53 Jahren (Standardabweichung $\sigma=21,8$ Jahre).

Es wurden die Patienten weiterhin in Altersklassen unterteilt. Das Kollektiv umfasst 21 junge Patienten (<18 Jahre), 111 Patienten im jungen Erwachsenenalter (18-39 Jahre), 209 Patienten im mittleren Alter (40-69 Jahre) und 134 alte Patienten (≥ 70 Jahre) (siehe Tabelle 1).

Patientenalter	Patientenanzahl
<18	21
18-39	111
40-69	209
>69	134

Tabelle 1: Altersverteilung der Patienten

Das Geschlecht des Patientenkollektivs (n=475) war zu 56% männlich (n=266) und zu 44% weiblich (n=209) (vgl. Graphik 1).

Der Durchschnittliche BMI (Body Mass Index) beträgt 25,74. Es wurde das Gewicht dokumentiert, welches die Patienten zum Zeitpunkt der Aufnahme in das Universitäts-

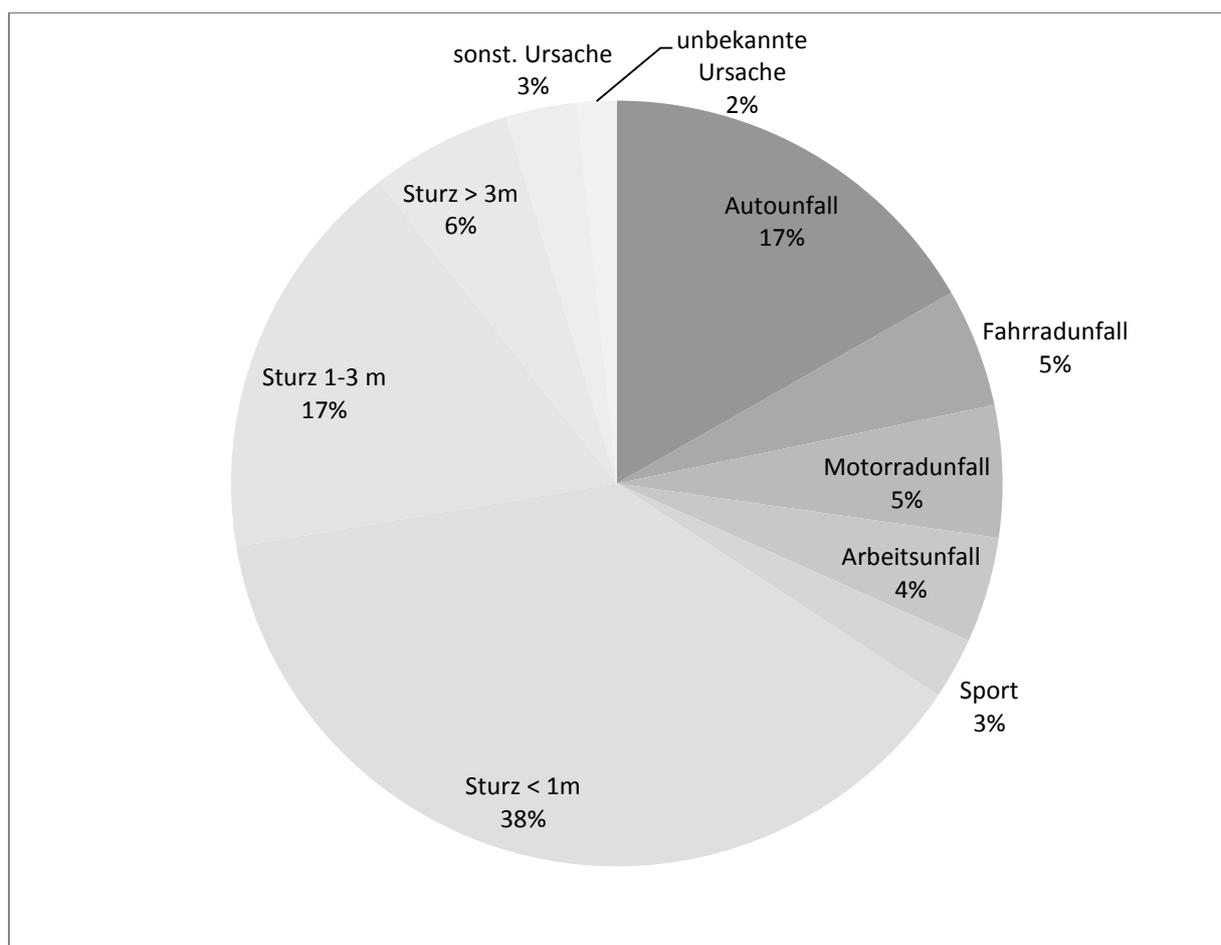
klินิกum hatten. Die Berechnung des BMIs erfolgte ohne Einbeziehung des Alters mit folgender Formel:

$$\text{BMI} = \frac{\text{Gewicht(kg)}}{\text{Körpergröße(m)}^2}$$

47% aller Patienten lagen dabei oberhalb des Durchschnitts.

5.3 Unfallursachen

Die Unfallursachen teilen sich wie folgt auf:

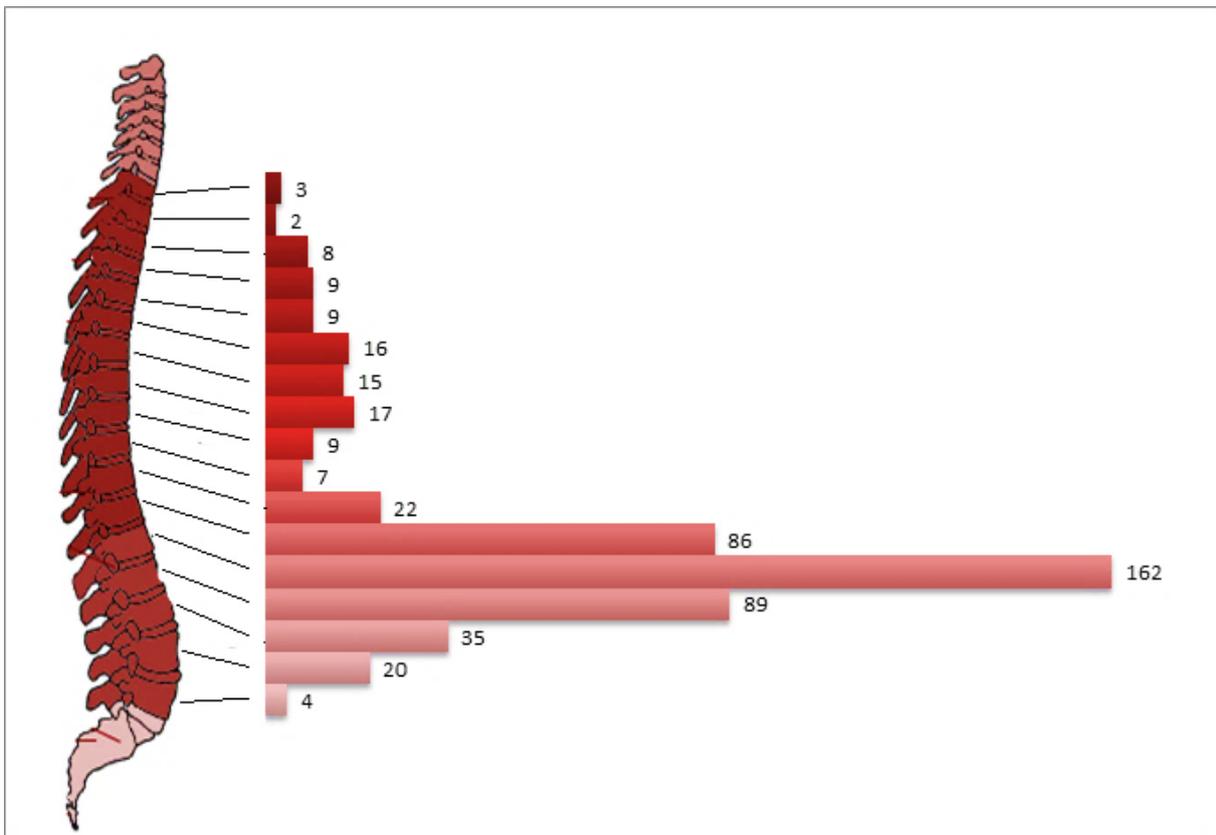


Graphik 1: Diagramm zur prozentualen Verteilung der Unfallursachen im Patientenkollektiv

Den Hauptteil bilden die Verletzungen durch Sturz. 60% der Patienten im Gesamtkollektiv erlitten ihre Verletzung aufgrund eines Sturzes. Es wurde zwischen Stürzen aus großer Höhe (>3 m: Baum, Dach, suizidal) mit 6%, Stürzen aus mittlerer Höhe (1-3 m: Leiter, Treppe, Pferd) mit 17% und häuslichen Stürzen aus kleinerer Höhe (<1 m) mit 38% unterschieden. Gefolgt werden die Verletzungen aufgrund eines Sturzes von denen aufgrund eines Verkehrsunfalls (Autounfall (17%) und Fahrrad- und Motorradunfall (jeweils 5%)). Für Patienten der Altersgruppe >69 Jahre zeigt sich eine andere Verteilung. Auch hier sind Stürze die Hauptursache einer Wirbelsäulenverletzung, allerdings ergibt sich ein Anteil von 66% für häusliche Stürze aus geringer Höhe (<1 m), gefolgt von Stürzen aus 1-3 m Höhe mit 17%. Das macht einen Gesamtanteil an Stürzen von 83% aus (vgl. Gesamtkollektiv: 60%). 14% erlitten die Verletzung aufgrund eines Verkehrsunfalls und bei 3% konnte kein adäquates Trauma nachgewiesen werden.

5.4 Frakturlokalisation

Am häufigsten waren mit 162 Frakturen die Frakturen des ersten Lendenwirbelkörpers (31,6%), gefolgt von den 89 Frakturen des zweiten Lendenwirbels (17,1%). An dritter Stelle stehen die 86 Frakturen des zwölften Brustwirbelkörpers (17%). Die restlichen Daten sind der unten stehenden Graphik zu entnehmen.



Graphik 2: Häufigkeitsverteilung der Frakturen auf einzelne Wirbelsegmente.

Da in der weiteren Auswertung der Kyphose- und Grunddeckplattenwinkel betrachtet wird, wurden die Frakturen in vier Subgruppen unterteilt, in denen der Kyphose-/ Lordoseverlauf vergleichbare Werte findet.

Die Gruppen teilen sich auf in Frakturen der Wirbelkörper BWK 1-5, BWK 6-10, BWK 11- LWK 2 und LWK 3-5.

Von den Insgesamt 513 Frakturen teilten sich die Häufigkeiten in die Subgruppen folgendermaßen auf:

Wirbelsäulensegment	Prozentualer Anteil	Absolute Häufigkeit
BWK 1-5	6	31
BWK 6-10	12,5	64
BWK 11- LWK 2	70	359
LWK 3-5	11,5	59

Tabelle 2: Verteilung der Häufigkeiten in die vorgegebenen Wirbelsäulenabschnitte

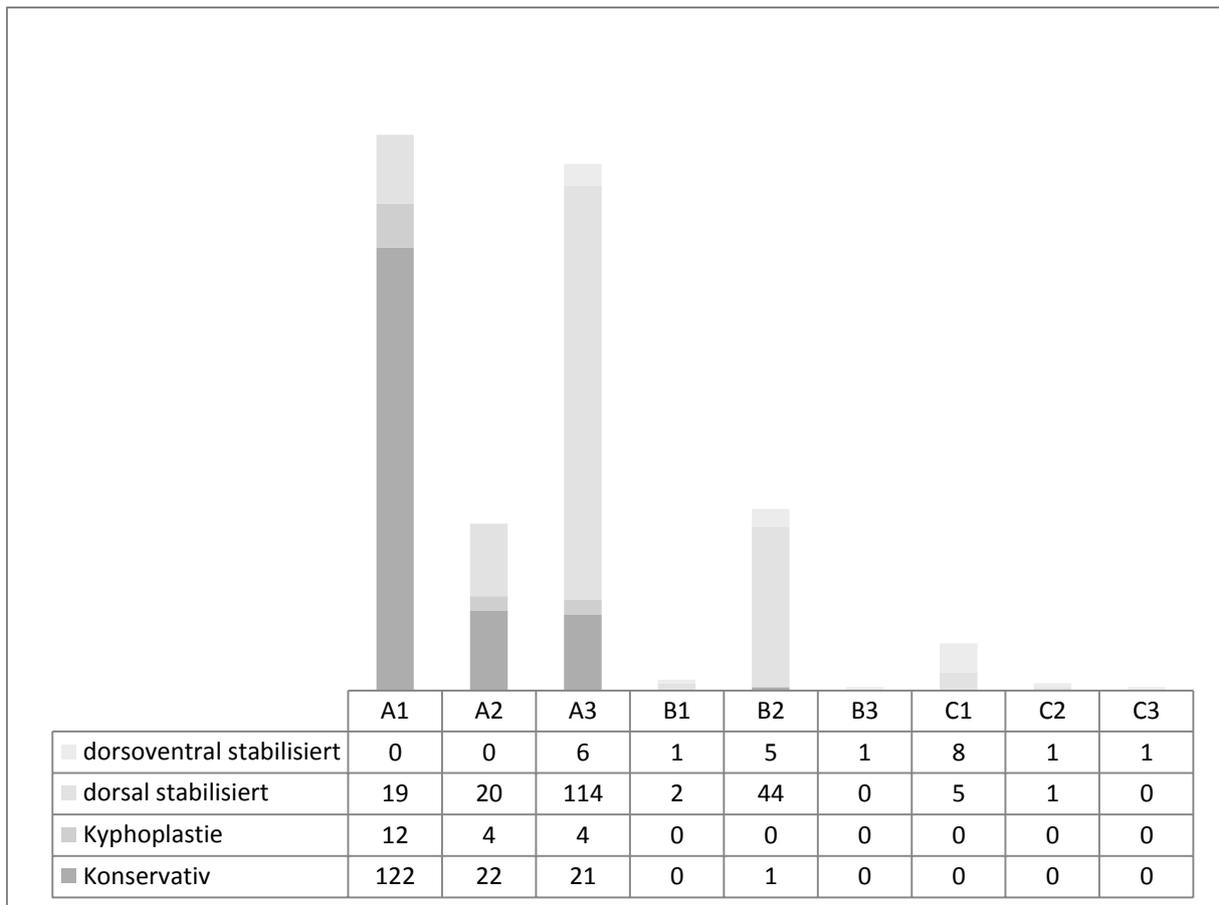
Es ist zu beobachten, dass der Hauptanteil der Frakturen im Bereich des thorakolumbalen Übergangs liegt.

5.5 Diagnosen

Im Kollektiv (n=475) wiesen 9,5% der Patienten Mehrsegmentfrakturen auf (n=45).

Es wurde außerdem zwischen Mono- und Polytraumata unterschieden. 63,6% der Patienten (n=302) wurden mit einer Monoverletzung eingeliefert, während 36,4% (n=173) Begleitverletzungen zeigten. Begleitverletzungen traten am häufigsten im Sinne von Frakturen auf, wobei die Rippenfraktur, Radiusfraktur, Beckenringfraktur und Sternumfraktur den Hauptteil der Begleitverletzungen ausmachen. Häufig wurden die Verletzungen von einem Schädelhirntrauma begleitet.

Bei 414 (87,2%) der Patienten war es anhand einer präoperativen CT- Aufnahme möglich die Frakturklasse zu bestimmen. Insgesamt teilen sich die Frakturklassen wie folgt auf:



Graphik 3: Verteilung der Frakturklassifikation nach Magerl et al. (1994)

Die Frakturen der Klasse A bilden den Hauptteil der im Kollektiv beschriebenen Fälle (83%), bei denen die Bestimmung der Frakturklasse möglich war. In der weiteren Unterteilung konnte für die Frakturenklasse A1 ermittelt werden, dass bei 19 Patienten (12,4%) die Indikation zur dorsalen Stabilisierung gestellt wurde, während 122 Patienten (79,7%) konservativ und 12 Patienten (7,8%) mittels Kyphoplastie behandelt wurden. Für die A2-Frakturen zeigt sich, dass sich das Verhältnis zwischen konservativer Behandlung (n=22; 47,8%) und dorsaler Stabilisierung (n=20; 43,4%) nahezu die Waage hält. Hier wurden 4 Patienten (8,6%) mit einer Kyphoplastie versorgt. Von den Frakturen in A3 wurden 14,5% (n=21) konservativ, 78,6% (n=114) mittels dorsaler Stabilisierung und 4,2% (n=6) mittels ventraler Stabilisierung versorgt. Auch hier bekamen 4 Patienten (2,8%) eine Kyphoplastie.

Klasse B stellt insgesamt 13% der Frakturen dar (n=54). Eine der Frakturen, die als B1 klassifiziert wurde, wurde zusätzlich ventral stabilisiert (33,33%), während die anderen beiden (66,66%) nur von dorsal operiert wurden. Bei Frakturgruppe B2 verteilte sich die Art

der Versorgung auf 5 dorsoventrale Stabilisierungen (10%), 44 dorsale Stabilisierungen (88%) und einer konservativen Therapie (2%). Die B3- Fraktur wurde dorsoventral stabilisiert.

Frakturen der Klasse C traten mit 4% am seltensten auf (n=16). 13 dieser Frakturen konnten der ersten Untergruppe zugeordnet werden, von denen 8 (61,5%) dorsoventral und 5 (38,5%) dorsal stabilisiert wurden. Von den beiden C2- Frakturen wurde jeweils eine dorsal und dorsoventral versorgt, die C3- Fraktur wurde dorsoventral stabilisiert.

Bei 10 Patienten traten im Verlauf der Behandlung neurologische Defizite im Sinne von Parästhesien und sensomotorischen Störungen auf.

5.6 Therapie

Von den 513 Frakturen wurden 237 (44,4%) mittels dorsalen Fixateurs interne stabilisiert, 26 Patienten davon (11%) wurden im weiteren Verlauf zusätzlich von ventral stabilisiert. 26 Patienten wurden mittels Kyphoplastie versorgt (5,1%) und 233 Frakturen (45,4%) wurden der konservativen Therapie unterzogen.

Das durchschnittliche Alter der Patienten für die jeweilige Therapieform verteilt sich folgendermaßen:

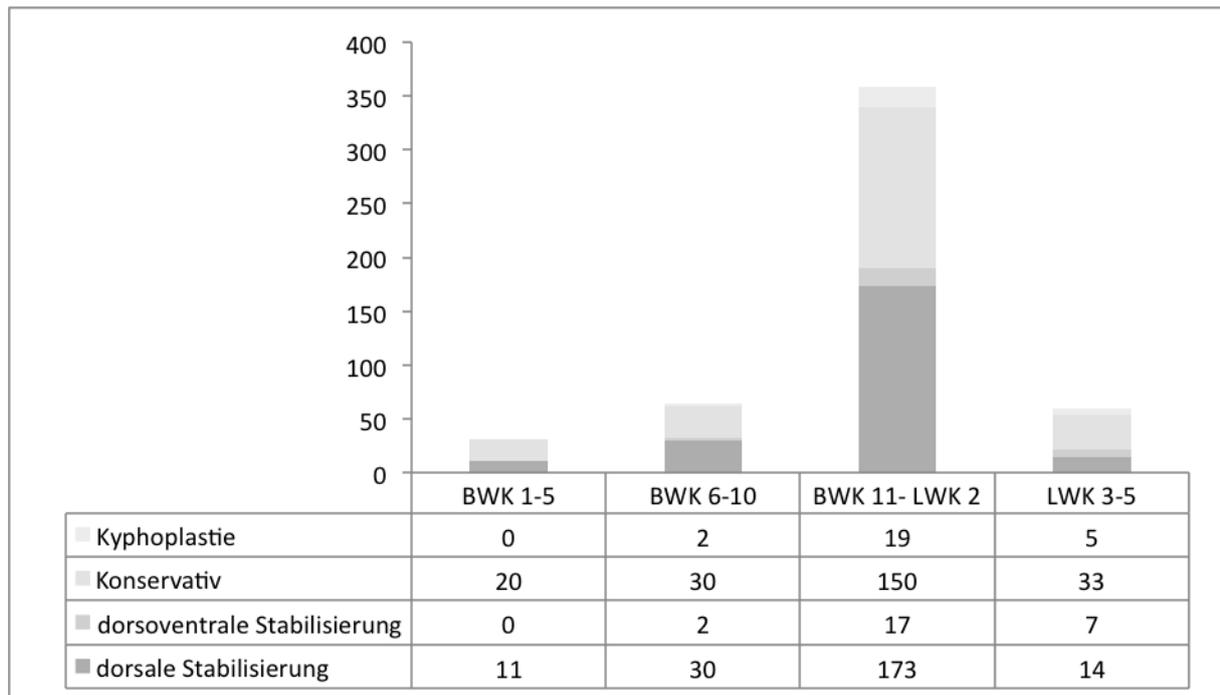
	dorsale Stabilisierung	dorsoventrale Stabilisierung	Konservativ	Kyphoplastie
Ø Alter zum Zeitpunkt der Therapie	49	37	55	74

Tabelle 3: Durchschnittsalter zum Zeitpunkt der Therapie

Mit 74 Jahren ist das Durchschnittsalter der Patienten für die Behandlung mittels Kyphoplastie mit Abstand das höchste, gefolgt von 55 Jahren als durchschnittliches Alter bei der konservativen Therapie. Patienten, die operativ behandelt wurden, sind im Schnitt

jünger (49 Jahre bei dorsaler Stabilisierung und 37 Jahre bei kombiniert dorsoventralem Vorgehen).

Im Folgenden wird gezeigt, wie viele der Frakturen der Wirbelsäule konservativ bzw. operativ therapiert wurden. Dabei werden die vier Subgruppen getrennt voneinander betrachtet.



Graphik 4: Verteilung der Therapieformen absolut

64,5% (n=20) der Frakturen im ersten Segment (BWK 1-5) sind im betrachteten Zeitraum konservativ behandelt worden, 35,5% (n=11) wurden einer dorsalen Stabilisierung unterzogen. Von den insgesamt 64 Frakturen der Wirbelkörper BWK 6-10 haben 46,9% (n=30) eine konservative Therapie erhalten, ebenfalls wurden 46,9% (n=30) dorsal stabilisiert. Sowohl die Kyphoplastie als auch die dorsoventrale Instrumentierung stehen hier mit jeweils 3,1% (n=2) im Hintergrund. Im thorakolumbalen Übergang finden sich im Gegensatz dazu mehr Frakturen, die dorsoventral versorgt worden sind (n=17), was jedoch in der relativen Häufigkeit nicht signifikant ins Gewicht fällt (4,7%). Ähnlich stellt sich der Anteil der Kyphoplastien dar (5,3%; n=19). 48,2% (n=173) der Frakturen sind hierbei dorsal mit einem Fixateur Interne stabilisiert worden, während 41,8% (n=150) konservativ

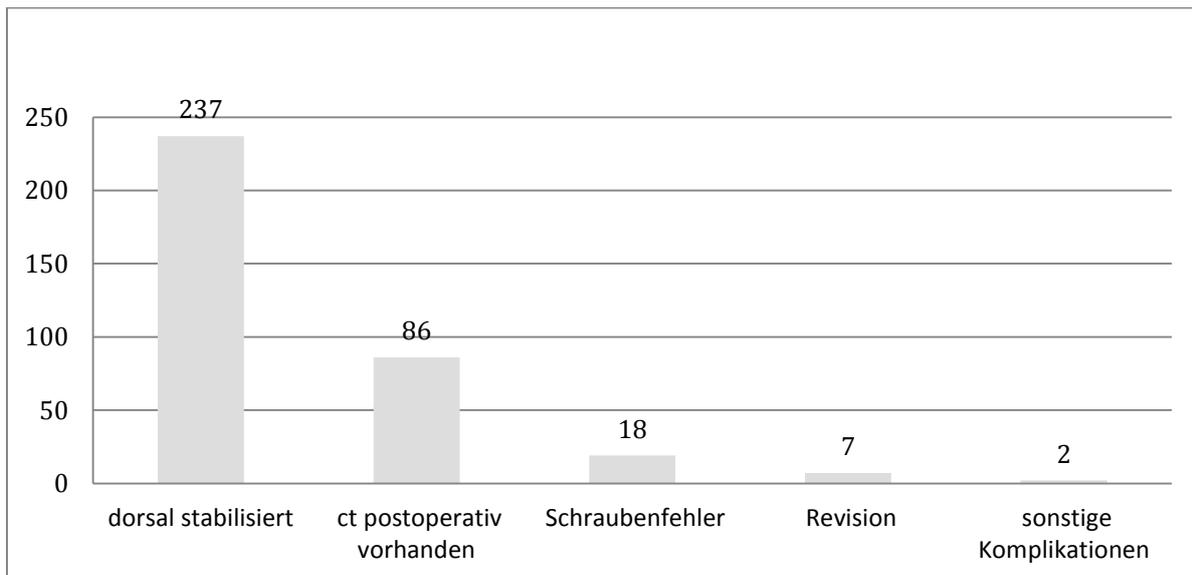
behandelt wurden. Im vierten Segment der Einteilung der Frakturlokalisierungen (LWK 3-5) stehen 56% der Frakturen (n=33) mit nicht operativer Therapie gegenüber 44% (n=26) mit invasivem Eingriff, die sich in 8,5% Kyphoplastie (n=5), 11,9% dorsoventrale Stabilisierung (n=7) und 23,7% dorsale Stabilisierung (n=14) aufteilen. Den größten prozentualen Anteil der operativen Versorgungen bilden die Frakturen des thorakolumbalen Übergangs, während an den Segmenten LWK 3-5 im prozentualen Vergleich die meisten dorsoventralen Eingriffe getätigt wurden.

Im Durchschnitt lag die Zeit zwischen Verletzung und Operation bei 3,8 Tagen mit einer Standardabweichung von $\sigma=0,34$ Tage. Im Falle einer zusätzlichen ventralen Stabilisierung lag die Dauer zwischen den beiden Eingriffen im Mittel bei 120 Tagen mit einer Standardabweichung von $\sigma=39,5$ Tagen.

Von den 263 Patienten, die mit einem Fixateur Interne versorgt worden sind (dorsale- oder dorsoventrale Stabilisierung), fand bei 56,6% der Patienten (n=149) eine Metallentfernung statt, die im Durchschnitt 10,5 Monate nach Implantation des Fixateurs erfolgte (Standardabweichung $\sigma=0,3$ Monate). Die 114 Patienten ohne Metallentfernung setzen sich zusammen aus alten Patienten oder Patienten mit reduziertem Allgemeinzustand, bei denen eine weitere Operation aufgrund von erhöhten Risiken kontraindiziert ist und aus Patienten, die einen weiteren Eingriff zur Entfernung des Osteosynthesematerials ablehnten.

5.7 Pedikelschraubenlage

Von den dokumentierten Patienten mit Implantation eines Fixateurs wurde in 86 Fällen ein postoperatives CT angefertigt, auf dem die Lage der Pedikelschrauben bestimmt werden konnte. Von den 86 postoperativen CT- Aufnahmen, traten bei 18 Fällen (21%) Pedikelschraubenlagen auf, die von dem Beurteilungsgrad 0 (vgl. Abb. 13) abweichen. Lediglich bei zwei Patienten konnte die Aussage der fehlerhaften Schraubenplatzierung auch anhand des Röntgenbildes gemacht werden. In sieben Fällen (8%) wurde eine Revision der Pedikelschrauben durchgeführt. In weiteren zwei Fällen (2,3%) ergaben sich anderweitige Komplikationen im Sinne von Sensibilitätsstörungen des jeweiligen Versorgungsgebiets des betroffenen Spinalabschnitts, ohne dass eine operative Revision in den Akten dokumentiert ist (vgl. Graphik 5).



Graphik 5: Pedikelschraubenlage

Es konnten 28 Schraubenfehllagen bei insgesamt 18 Patientenfällen beobachtet werden. 5 Schrauben befanden sich dabei im Wirbelsäulenabschnitt BWK 1-5, 12 Schrauben zwischen BWK 6 und 11, 10 Schrauben im thorakolumbalen Übergang (BWK 11- LWK 2) und eine Schraube im Bereich LWK 3-5.

In der Einteilung nach Mirza et al. (2003) können die Schraubenfehlagen folgendermaßen eingeteilt werden:

Ort der Abweichung	Grad der Abweichung der Pedikelschraube		
	1	2	3
kraniomedial	0	2	3
kranio-lateral	1	1	3
inferomedial	0	2	0
inferolateral	0	2	1
medial	4	3	3
lateral	0	1	2

Tabelle 4: Pedikelschraubenabweichung nach Mirza et al. (2003)

5.8 Postoperative Schmerzen

Bei 102 Patienten (21,5%) konnte aus den Akten entnommen werden, dass im Verlauf der Nachsorge Schmerzen auftreten, die das normale Maß der Frakturgenesung überschreiten. Allerdings ist die Schmerzdokumentation nicht aus allen Patientenakten gleichermaßen detailliert zu entnehmen.

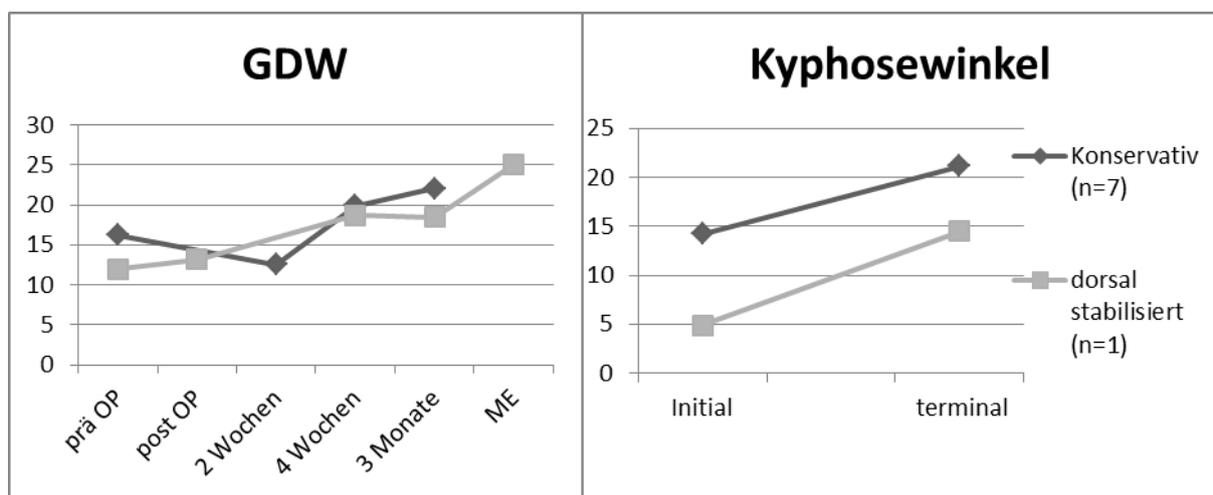
14 dieser Patienten wurden dorsoventral stabilisiert. Dies macht im Vergleich mit allen dorsoventral Stabilisierten einen Anteil von 54% aus. Von den 211 ausschließlich dorsalen Versorgungen wurden bei 24% der Patienten (n=50) Schmerzen dokumentiert. Der Anteil der Patienten mit Schmerzen, die nicht durch eine Stabilisierungsoperation versorgt wurden, liegt bei 13,9% (n=38). Damit konnten bei konservativem Vorgehen weniger Schmerzen aufgezeichnet und das subjektive Befinden als besser bewertet werden, als bei operativer Therapie.

Bei Patienten mit positivem Vakuumphänomen ergibt sich ein Anteil an Patienten mit Schmerzsymptomatik von 32,8% (n=21). Auch hier fand sich ein besseres subjektives Befinden unter den Patienten, die konservativ behandelt wurden (50% Schmerzen bei operativem Vorgehen, 39% Schmerzen bei konservativer Versorgung). Insgesamt ist der Anteil an Patienten mit Schmerzsymptomatik bei positivem Vakuumphänomen größer als in der Patientengruppe ohne Vakuumphänomen.

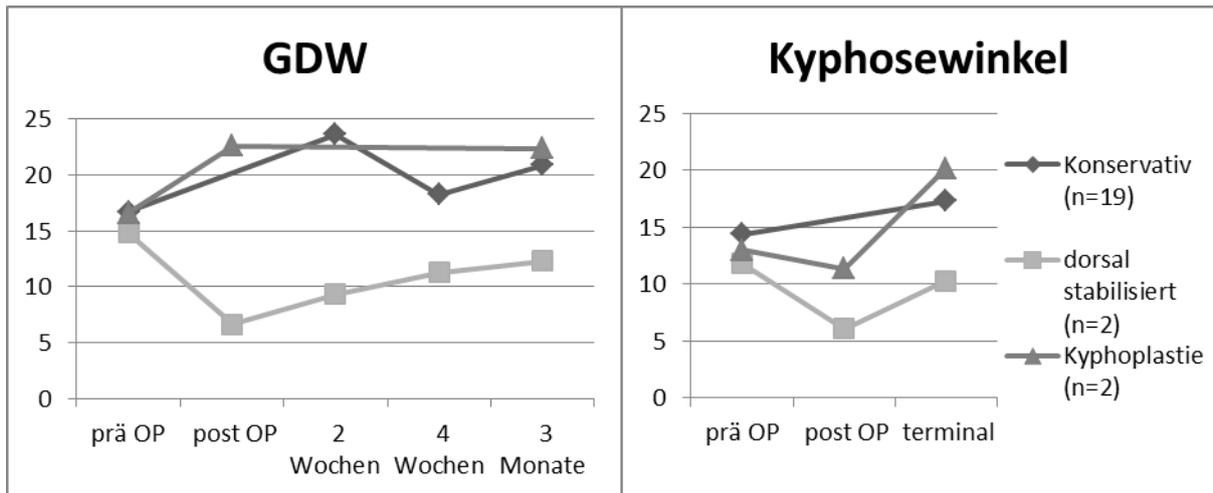
5.9 Grunddeckplattenwinkel und Kyphosewinkel

Im Folgenden werden die Daten, die im Verlauf für den Grunddeckplatten- und Kyphosewinkel erhoben wurden, für die jeweiligen Frakturklassen und Lokalisationsgruppen aufgetragen. Da die Fallzahlen für einige Frakturklassen für eine aussagekräftige Graphik nicht ausreichend sind, werden hier nur die Frakturen der Klassifikationsgruppen A1, A2, A3, B2 und C1 besprochen.

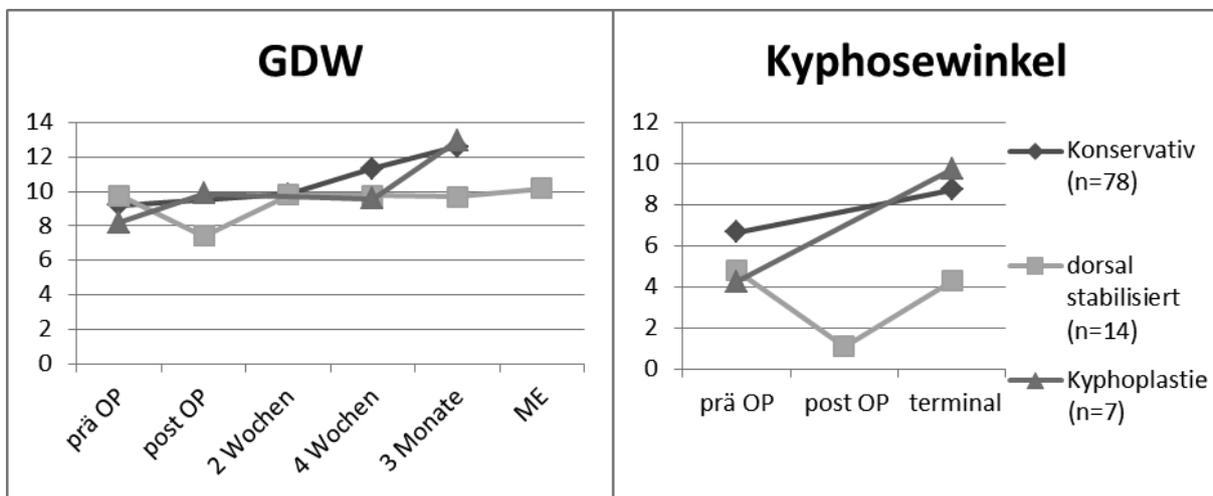
5.9.1 A1- Frakturen



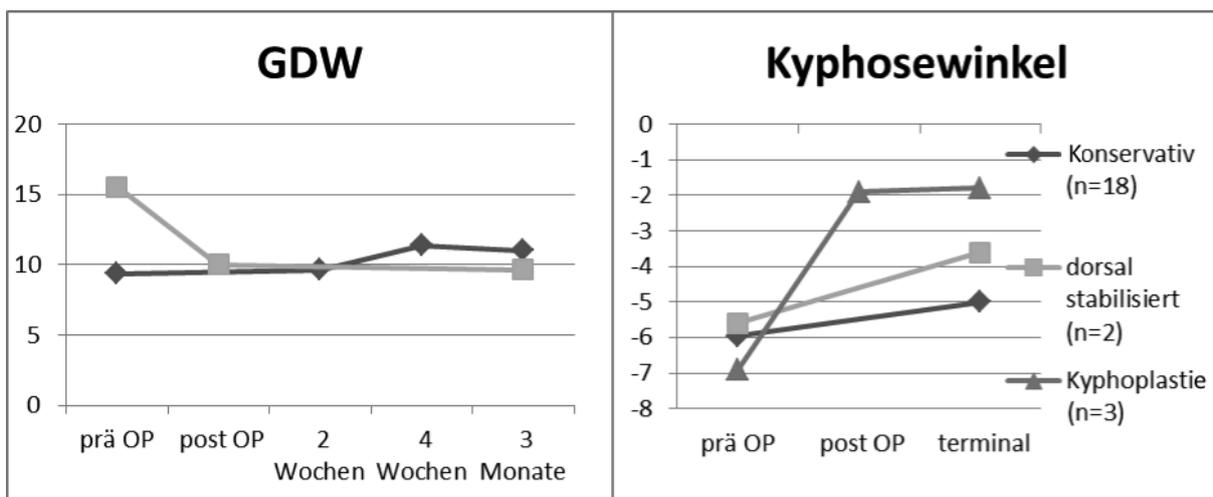
Graphik 6: GDW und Kyphosewinkel bei A1- Frakturen BWK 1-5



Graphik 7: GDW und Kyphosewinkel bei A1- Frakturen BWK 6-10



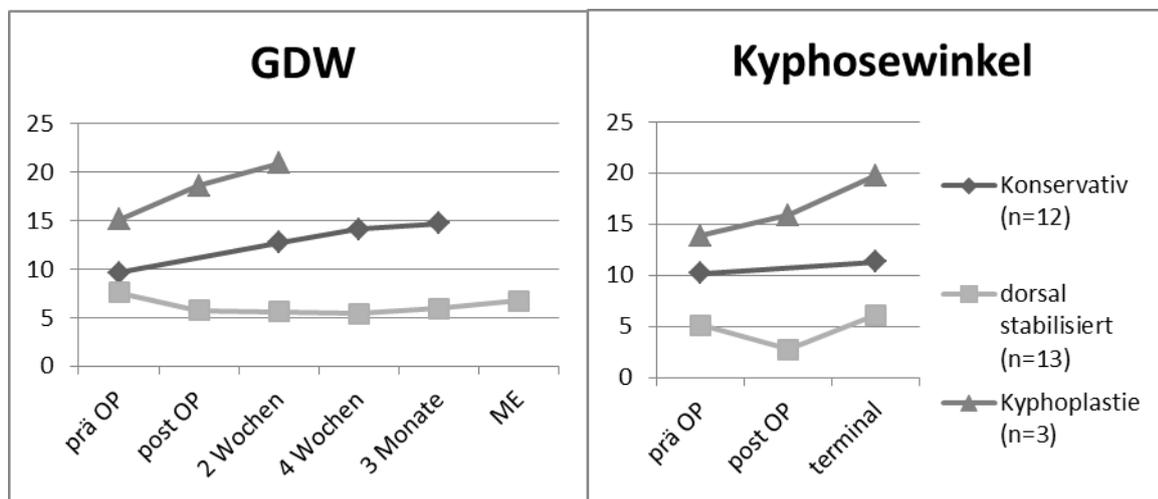
Graphik 8: GDW und Kyphosewinkel bei A1- Frakturen BWK 11-LWK 2



Graphik 9: GDW und Kyphosewinkel bei A1- Frakturen LWK 3-5

Es ist den Graphiken 6-9 zu entnehmen, dass die Wirbel bei A1- Frakturen sowohl bei der konservativen Therapie als auch bei der Behandlung mittels Kyphoplastie und dorsaler Stabilisierung im Verlauf nachsintern. Es ist zwar bei der operativen Therapie eine Korrektur möglich, jedoch stellen sich nach einiger Zeit nahezu wieder die Ausgangswerte ein. Im Vergleich zur konservativen Therapie ist hier kein signifikanter Korrekturgewinn zu erzielen. Allerdings kann vor allem bei den A1- Frakturen im thorakolumbalen Übergang eine Verschlechterung der präoperativen Situation durch dorsale Stabilisierung verhindert werden.

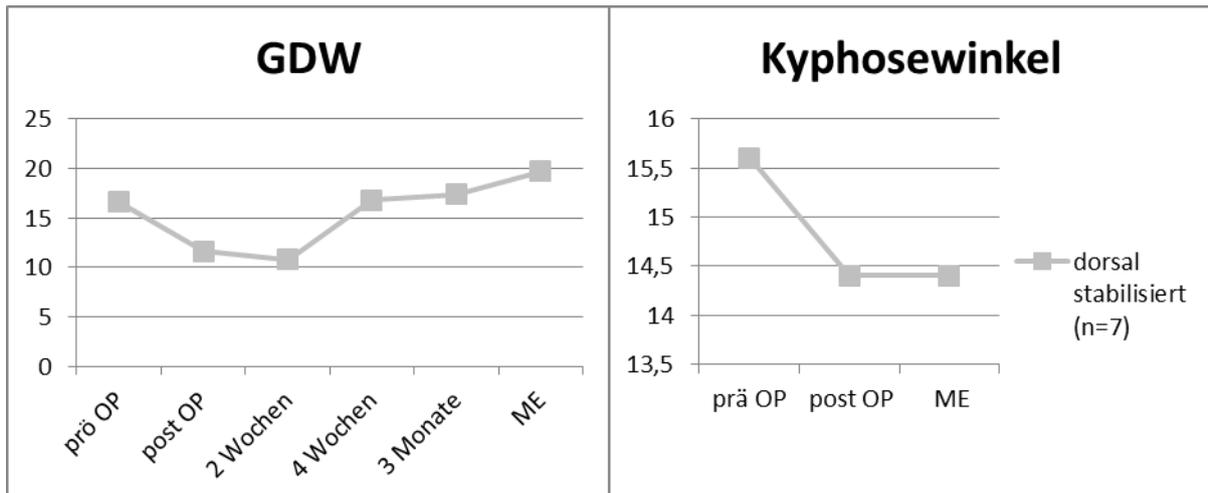
5.9.2 A2- Frakturen



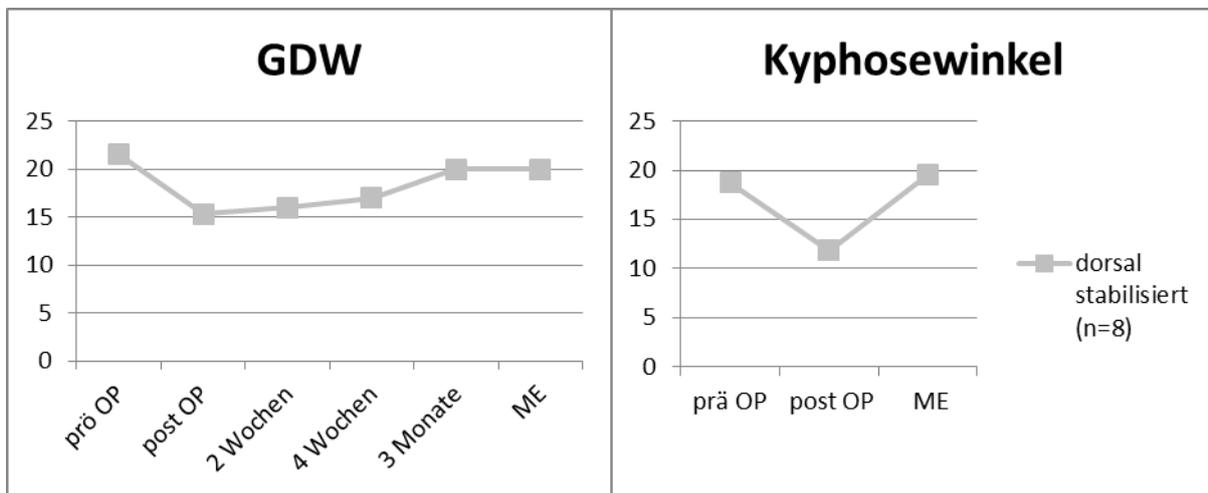
Graphik 10: GDW und Kyphosewinkel bei A2- Frakturen BWK 11- LWK 2

Aufgrund der niedrigen Fallzahlen war eine Aufstellung der Frakturgruppen BWK 1-5, BWK 6-10 und LWK 3-5 nicht sinnvoll. Für die Frakturgruppe BWK 11- LWK 2 zeigt sich, dass bei der operativen Therapie eine Korrektur der Wirbelsäulenkrümmung möglich war, welche im Verlauf allerdings wieder verloren geht. Für konservativ behandelte Patienten und Patienten, die eine Kyphoplastie bekamen, zeigen sich ähnliche Verläufe. Bei beiden Patientengruppen sintern die Wirbel im Beobachtungszeitraum weiter nach, wobei die Kyphoplastie etwas schlechtere Ergebnisse zeigt.

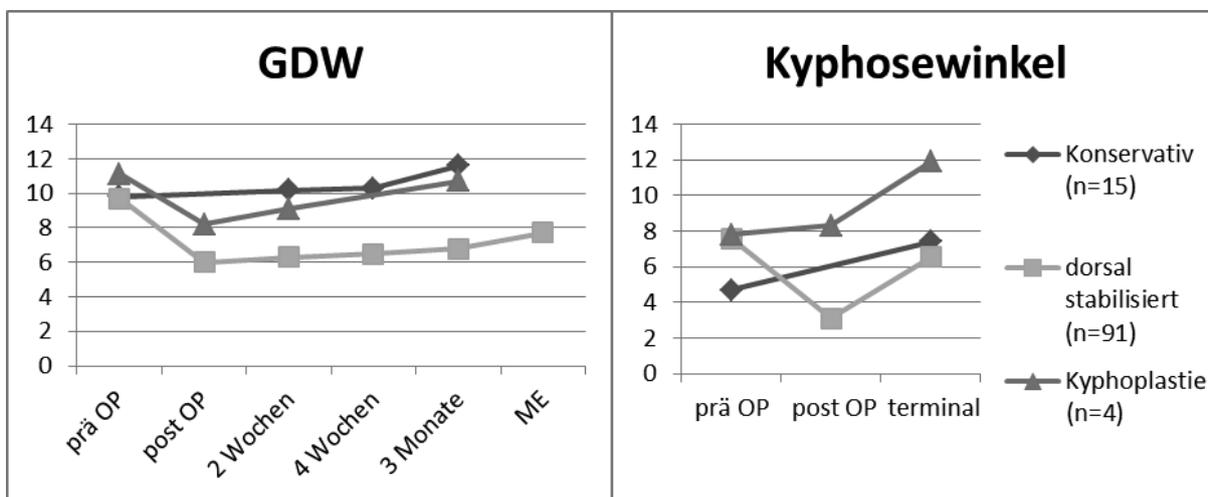
5.9.3 A3- Frakturen



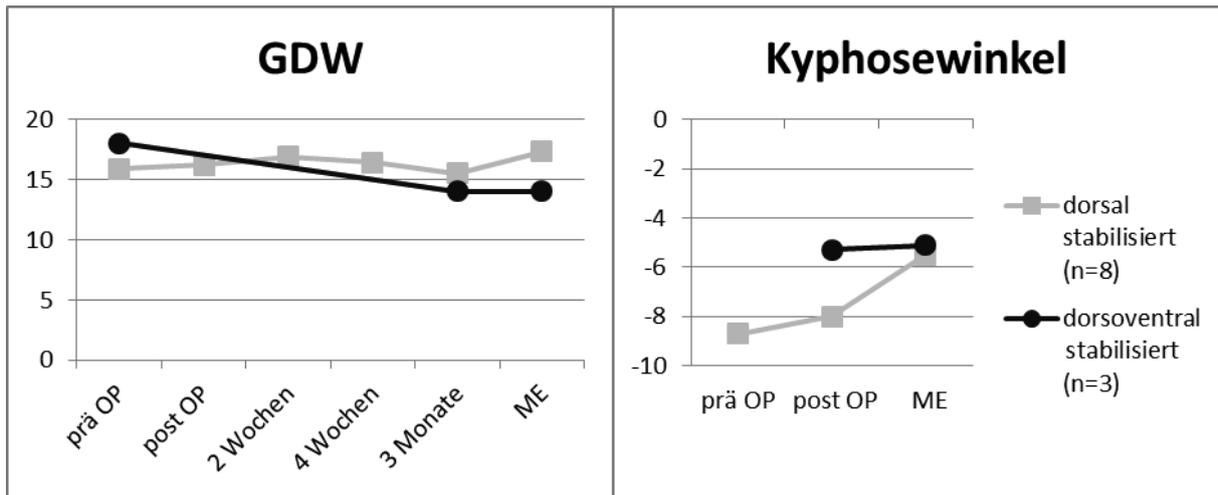
Graphik 11: GDW und Kyphosewinkel bei A3- Frakturen BWK 1-5



Graphik 12: GDW und Kyphosewinkel bei A3- Frakturen BWK 6-10



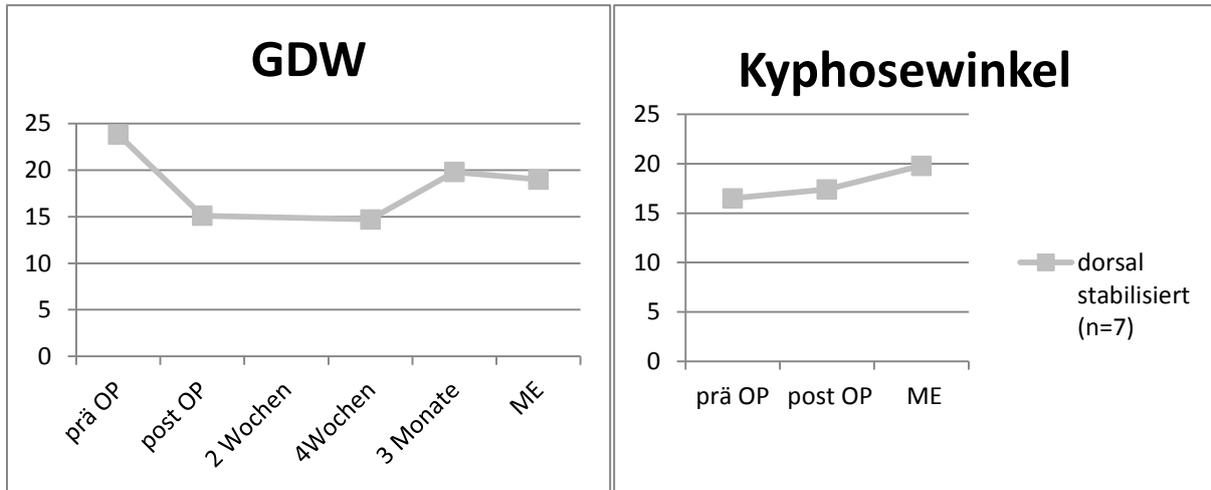
Graphik 13: GDW und Kyphosewinkel bei A3- Frakturen BWK 11- LWK 2



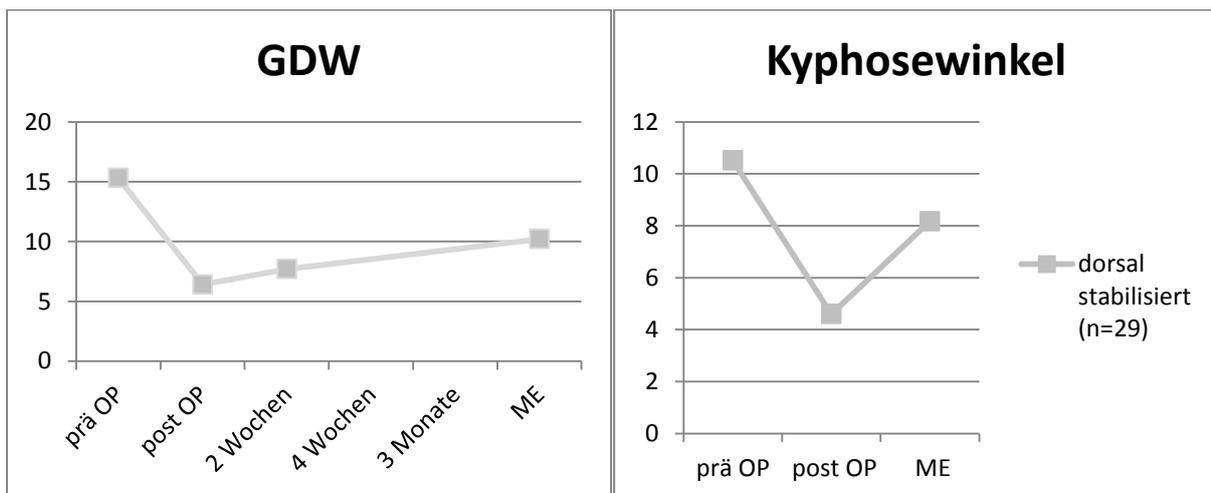
Graphik 14: GDW und Kyphosewinkel bei A3- Frakturen LWK 3-5

Den Graphiken 15-18 ist zu entnehmen, dass bei Frakturen vom Typ A3 nach Magerl unter operativer Therapie mittels dorsaler Stabilisierung durch einen Fixateur Interne eine postoperative Aufrichtung der Wirbelsäule zu erreichen ist. Im weiteren Verlauf ist dann eine zunehmende Nachsinterung zu beobachten, wobei der präoperative Zustand nahezu wieder erreicht wird. Unter konservativer Therapie erfährt das betroffene Wirbelkörpersegment eine fortschreitende Nachsinterung. Auch bei der Behandlung durch Kyphoplastie kann das postoperative Ergebnis in der Verlaufskontrolle nicht stabil gehalten werden. Der Korrekturverlust fällt bei kombiniert dorsoventralem Verfahren am geringsten aus. Dort zeigt sich ein stabileres postoperatives Ergebnis. Die präoperative Situation wird nicht wieder erreicht. Für die Frakturen im Bereich BWK 11- LWK 2 ist auffällig, dass nach Metallentfernung nochmals ein größerer Korrekturverlust eintritt.

5.9.4 B2- Frakturen



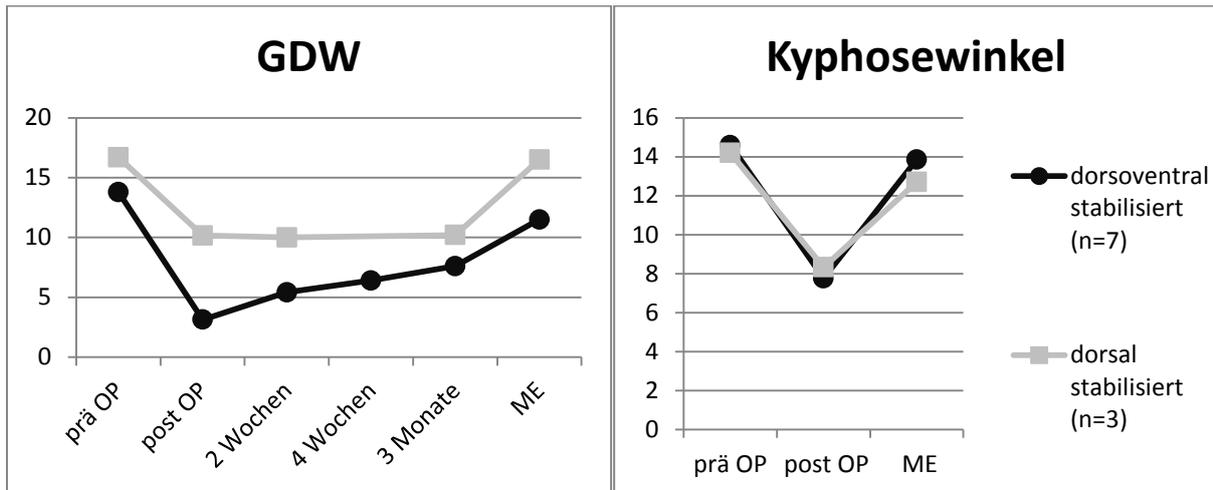
Graphik 15: GDW und Kyphosewinkel bei B2- Frakturen BWK 6-10



Graphik 16: GDW und Kyphosewinkel bei B2- Frakturen BWK 11- LWK 2

Sowohl bei den Frakturen der Gruppe BWK 6-10 als auch BWK 11- LWK 2 konnte durch die dorsale Stabilisierung eine Korrektur vorgenommen werden. In beiden Graphiken lässt sich auch der Korrekturverlust im Verlauf beobachten, es bleibt jedoch auch nach Metallentfernung eine gewisse Korrektur erhalten.

5.9.5 C1- Frakturen



Graphik 17: GDW und Kyphosewinkel bei C1- Frakturen BWK 11- LWK 2

Bei den hier aufgeführten C1- Frakturen im Bereich des thorakolumbalen Übergangs (BWK 11- LWK 2) ist die Korrektur durch die operative Therapie deutlich zu erkennen. Sowohl bei dorsal als auch dorsoventral stabilisierten Frakturen konnte eine Aufrichtung erfolgen. Im weiteren Verlauf ist bei den ausschließlich dorsal stabilisierten Frakturen ein Korrekturverlust zu beobachten, während das Ergebnis bei kombiniert dorsoventralem Verfahren stabil bleibt. Auffällig ist hier, dass bei beiden Therapieverfahren ein starker Korrekturverlust nach Metallentfernung eintritt. Die Werte für GDW und Kyphosewinkel sind nach Metallentfernung weitestgehend identisch mit der präoperativen Situation.

Insgesamt fällt bei Patienten mit einem BMI, der oberhalb des Durchschnitts des Patientenkollektivs liegt, ein größeres Maß an Nachsinterung und Korrekturverlust auf als bei Patienten mit Normalgewicht. Bei den übergewichtigen Patienten konnte häufig durch die operative Therapie kein besseres Ergebnis erzielt werden als durch konservative Vorgehensweise.

5.10 Wirbelkörperhöhe

Anhand der Röntgenaufnahmen in der Verlaufskontrolle konnten die Wirbelkörperhöhen an der Vorder- und Hinterkante sowohl zum Zeitpunkt der Aufnahme des Patienten (präoperativ) als auch zum Zeitpunkt der Metallentfernung (bei nichtoperativem Vorgehen 12 Monate nach Verletzung) ausgemessen und in ein prozentuales Verhältnis gesetzt werden. Für die unterschiedlichen Therapieverfahren stellen sich die jeweiligen gemittelten Höhenabnahmen wie folgt dar:

Wirbelkörperhöhenabnahme	dorsal	ventral
Konservativ	15%	8%
Kyphoplastie	21%	8%
dorsale Stabilisierung	9%	7%
dorsoventrale Stabilisierung	6%	4%

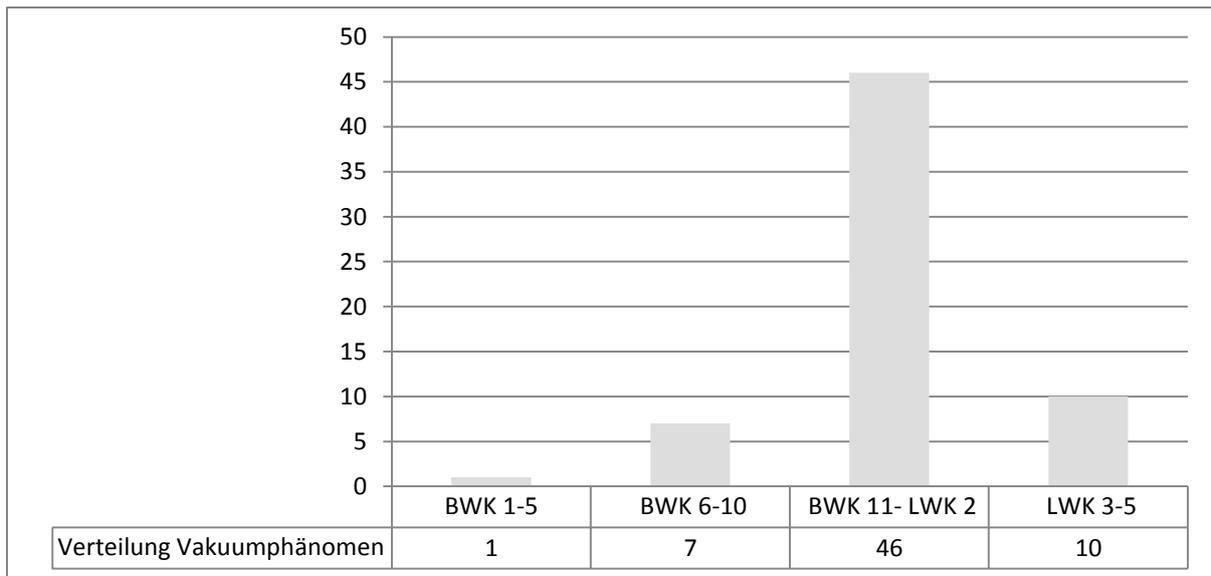
Tabelle 5: Wirbelkörperhöhenabnahme

5.11 Vakuumphänomen

Bei 64 Patienten (13,5%) konnte im Verlauf der Nachuntersuchung anhand der Bildgebung durch Röntgen- und CT- Aufnahmen ein Vakuumphänomen festgestellt werden. Das Durchschnittliche Alter der Patienten mit Vakuumphänomen liegt bei 67 Jahren. Das ist ein im Mittel um 14 Jahre älteres Patientenkollektiv als das der gesamten Studie.

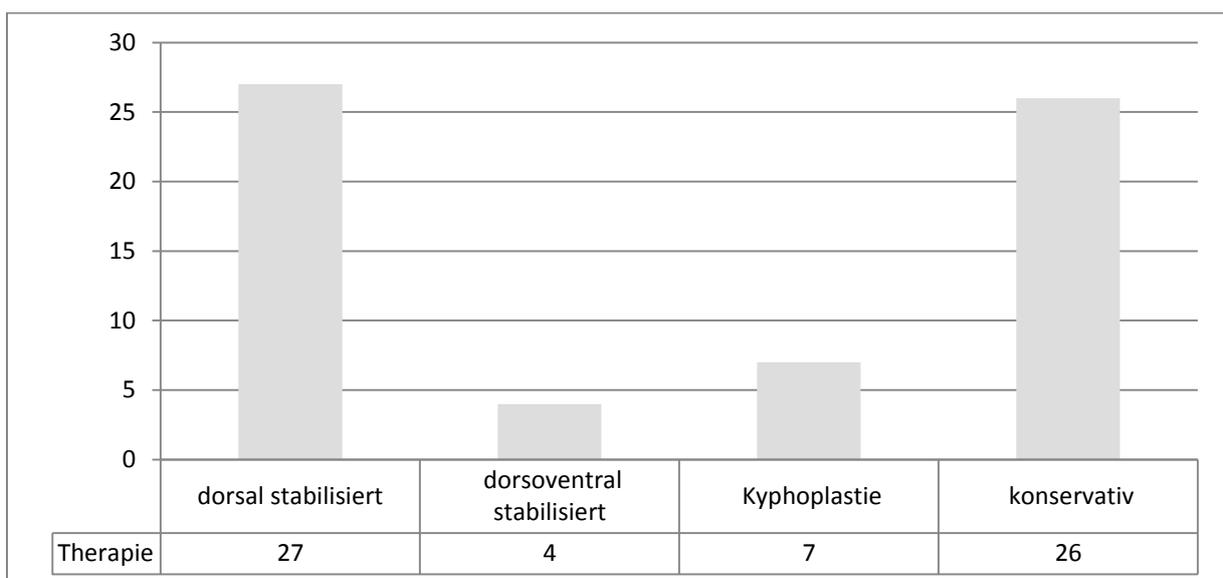
Das Geschlecht für das Auftreten eines Vakuumphänomens teilt sich in 28 Männer (43,8%) und 36 Frauen (56,2%) auf.

Die Verteilung auf die vier Frakturlokalisationsgruppen gestaltet sich wie folgt:



Graphik 18: Verteilung der beobachteten Vakuumphänomene auf die vier Lokalisationssubgruppen

Bei einer Fraktur (1,6%) aus der Lokalisationsgruppe BWK 1-5 konnte ein Vakuumphänomen beobachtet werden, während sieben Frakturen mit Vakuumphänomen dem Wirbelsäulenabschnitt BWK 6-10 zugeordnet werden können (11%). Den Hauptanteil stellt auch hier mit 46 Frakturen (72%) der thorakolumbale Übergang dar. Zehn der 64 Frakturen (15,4%), bei denen ein Vakuumphänomen vorkam, befinden sich im Bereich der Lumbalwirbel drei bis fünf.



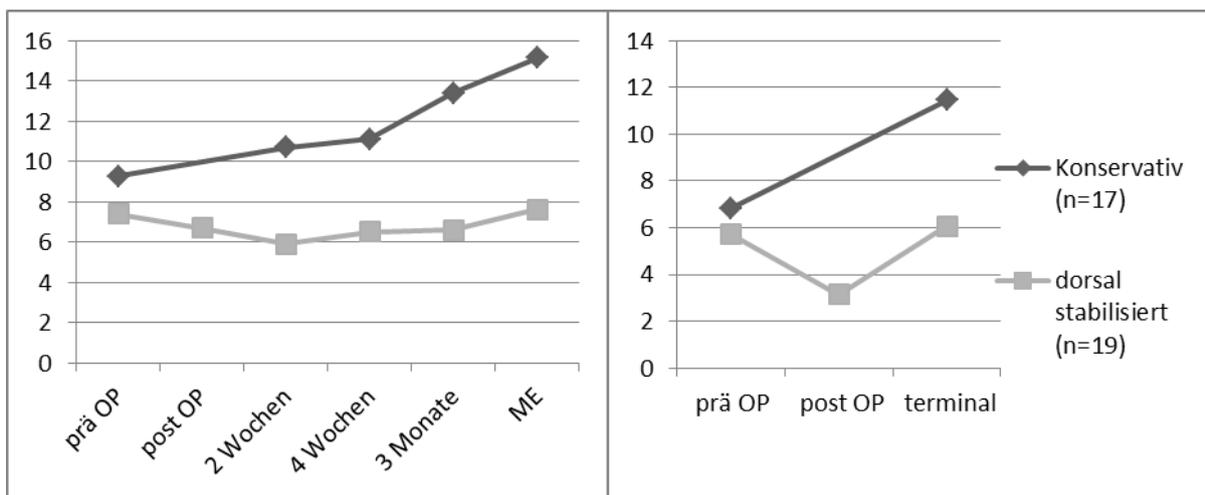
Graphik 19: Therapie bei Frakturen mit beobachtetem Vakuumphänomen

27 der Patienten (42,2%), bei denen ein Vakuumphänomen festgestellt werden konnte, wurden im Zuge der operativen Versorgung von dorsal mit einem Fixateur Interne stabilisiert, bei vier Patienten (6,3%) wurde zusätzlich eine ventrale Stabilisationsoperation vorgenommen. Ein Patient entschied sich gegen ärztlichen Rat gegen die zusätzliche ventrale Stabilisierung.

Sieben Patienten (11%) bekamen eine Kyphoplastie und 26 Frakturen (40,5%) mit Vakuumphänomen wurden konservativ therapiert. Das durchschnittliche Alter der stabilisierten Patienten lag bei 58 Jahren, während ein konservativ versorgter Patient im Mittel 75 Jahre alt war.

Von den 64 Patienten, die hier betrachtet werden, klagten 21 (33%) über starke Schmerzen in der postoperativen Verlaufskontrolle im Rahmen der Wirbelsäulensprechstunde.

Aufgrund der wenigen Fallzahlen, war es nur in der Lokalisationsgruppe BWK 11- LWK 2 (n=46) möglich, einen Vergleich zwischen konservativer Therapie und dorsaler Stabilisierung in Bezug auf die radiologischen Parameter zu ziehen. Hierbei konnte nicht nach Frakturen unterschiedlicher Klassen nach Magerl differenziert werden.



Graphik 20: GDW und Kyphosewinkel bei Frakturen mit Vakuumphänomen BWK 11- LWK 2

	Dorsale Höhenminderung	Ventrale Höhenminderung
dorsale Stabilisierung	2%	1%
Konservativ	4%	15%

Tabelle 6: Wirbelkörperhöhenminderung bei Frakturen mit Vakuumphänomen BWK 11- LWK 2

Den Graphiken 23 und 24 ist zu entnehmen, dass bei Frakturen mit Vakuumphänomen das Ergebnis durch eine dorsale Stabilisierungsoperation stabiler gehalten werden kann als bei konservativer Therapie. Außerdem ergibt sich bei operativer Therapie eine geringere Wirbelkörperhöhenminderung im ventralen Bereich.

6. Diskussion

Das Patientenkollektiv dieser Studie beläuft sich auf die in der Universitätsmedizin Göttingen behandelten Patienten mit einer Fraktur eines Brust- oder Lendenwirbels in der Abteilung Unfallchirurgie und Orthopädie im Zeitraum von 2008 bis 2013. Die Patienten, die aufgrund von neurologischen Defiziten in Zusammenarbeit mit der Neurochirurgie operiert wurden, konnten aufgrund der Trennung der Akten in die jeweilige Abteilung nicht mit in die Studie eingehen.

Das in diesem Kollektiv von 475 Patienten beschriebene Durchschnittsalter lag zum Zeitpunkt der Operation bei 53 Jahren mit einer Standardabweichung von 21 Jahren. Im Vergleich mit der Literatur liegt das durchschnittliche Patientenalter oberhalb der bisher bekannten Werte. Es werden in anderen Studien durchschnittliche Angaben von 37-45 Jahren gemacht (Siebenga et al. 2006; Sasso et al. 2005; Liljenqvist und Mommsen 1995; Korovessis et al. 2006; Knop et al. 1999). Wenn man nur die Patienten betrachtet, bei denen eine Operation vorgenommen wurde, fällt der Altersdurchschnitt im Kollektiv dieser Studie um 1,5 Jahre auf 51,5. Auch dieser Wert liegt noch über den oben genannten Durchschnittswerten. Dies mag darauf zurückzuführen sein, dass sich im vergangenen Jahrzehnt die Operationstechnik auf dem Gebiet der Wirbelsäulenchirurgie immer mehr etabliert hat und durch die größere Sicherheit und reduzierte Morbidität auch ältere Patienten für diesen Eingriff in Frage kommen. In Anbetracht der demographischen Entwicklung werden es in Zukunft immer häufiger Patienten in der Traumatologie sein, die sich in dieser Altersgruppe befinden. Schon heute sind 1/3 der stationären Patienten einer unfallchirurgischen Einrichtung über 70 Jahre alt (Prokop et al. 2012). Im Vergleich weisen von Gertzbein 1992 beschriebene Daten ein Durchschnittsalter von 32 Jahren auf. Dies liegt damit knapp 20 Jahre unterhalb des in dieser Studie beobachteten Alters (Gertzbein 1992).

Das Patientenkollektiv zeigt eine Geschlechterverteilung von 56% männlichen gegenüber 44% weiblichen Patienten. Zum Vergleich kann der Wert aus Hus epidemiologischer Studie einer gesamten Population mit 52% männlichem Anteil herangezogen werden (Hu et al. 1996).

Wie im Ergebnisteil beschrieben, geht der Hauptteil der Frakturen auf einen Sturz als Unfallursache zurück. Dieser Teil ist für das vorliegende Patientenkollektiv mit 60% beschrieben. Gefolgt werden die Verletzungen aufgrund eines Sturzes von denjenigen, die in Folge eines Verkehrsunfalles entstanden sind (28%). Zahlreiche Studien belegen diese Häufigkeiten der Unfallursachen (Blauth et al. 1999; Gnanenthiran et al. 2012; Knop et al. 1999; Seybold et al. 1999). Andere Autoren beschreiben jedoch den umgekehrten Fall und beobachten eine verstärkte Häufigkeit an Verkehrsunfallverletzungen (Liljenqvist und Mommsen 1995; Sasso et al. 2005). Es lässt sich auch beobachten, dass bei Patienten in der Altersgruppe >69 Jahre eine andere Unfallursachenverteilung herrscht. Dort treten noch vermehrt Stürze auf (83%), vor allem aus geringer Höhe im Sinne von häuslichen Stürzen (66%).

Am häufigsten waren mit 162 Frakturen die Frakturen des ersten Lendenwirbelkörpers (31,6%), gefolgt von den 89 Frakturen des zweiten Lendenwirbels (17,1%). An dritter Stelle stehen die 86 Frakturen des zwölften Brustwirbelkörpers (17%). Insgesamt kann also beobachtet werden, dass Frakturen des thorakolumbalen Übergangs Frakturen anderer Lokalisation in der Häufigkeit des Auftretens übertreffen. Diese Verteilung kann von anderen Autoren bestätigt werden (Resch et al. 2000; Shen et al. 2001; Siebenga et al. 2006; Wood et al. 2003). Aufgrund der Biomechanik der Wirbelsäule ist die Lastverteilung im Bereich des Übergangs von der Thorakalkyphose zur Lumballordose nicht gleich verteilt. Dort zeigt sich unter physiologischen Bedingungen eine Lastverteilung von 80% auf die vordere zu 20% auf die hintere Wirbelsäule, weshalb es dort zu vermehrten Verletzungen kommt (Beck und Mittlmeier 2008). Bei allen oben genannten Studien steht - wie auch hier - die Fraktur des ersten Lendenwirbelkörpers an erster Stelle. Die gesamte Wirbelsäule betrachtet, findet unsere Lokalisationsverteilung ähnliche Werte wie die von Hu beschriebenen (Hu et al. 1996).

Trotz der steten Weiterentwicklung und wachsender Erfahrung auf dem Gebiet der Therapie von Verletzungen der Wirbelsäule wird weiterhin die optimale Versorgung von verschiedenen Autoren kontrovers diskutiert. Eine Hilfestellung beim Vergleich der unterschiedlichen Frakturen im Patientenkollektiv liefert die Klassifizierung der Frakturen nach einem bestimmten System. In dieser Untersuchung wurde dazu die Klassifikationskala nach Magerl herangezogen (Magerl et al. 1994). Diese Klassifizierung findet in vielen Arbeiten zu

diesem Thema ebenfalls Anwendung und ist daher auf dem Gebiet der Wirbelsäulenchirurgie eine etablierte Kenngröße (Andress et al. 2002; Bühren 2003; Daniaux et al. 1999; Eggers und Stahlenbrecher 1998; Reinhold et al. 2010; Sasso et al. 2005). Vorteil hierbei ist, dass klar festgelegt ist, welche Strukturen der Wirbelsäule betroffen sind (knöcherne Säule, Bandapparat, beides) und inwiefern sich die Wirbelsäule infolge der Verletzung verhält (Distraction/ Rotation). Daneben erhält man durch diese Klassifizierung Information über die neurologische Integration. Frakturen vom Typ A gelten als stabil, Frakturen aus den Gruppen B und C als instabil. Uneinigkeit herrscht allerdings bei der Bewertung der A3- Frakturen (Magerl et al. 1994). Besonders bei diesem Frakturtyp sind sich die Ärzte dieser Disziplin unschlüssig und meinungsdivergent (Blauth et al. 1999).

Systeme zur Klassifikation von Wirbelsäulenverletzungen werden stetig weiterentwickelt. Ein optimales Schema festzulegen ist aufgrund der Komplexität der Wirbelsäule und ihrer Verletzungen auf der einen und unterschiedlichste Philosophien über die Versorgung auf der anderen Seite mit Schwierigkeiten behaftet (Lee et al. 2005). Die meisten Klassifikationen sind zu komplex und limitieren so die routinierte Benutzung im klinischen Alltag. Außerdem werden bei einigen Systemen für den operativen Entscheidungsprozess wichtige anatomische oder physiologische Informationen nicht in die Klasseneinteilung integriert. Zum Beispiel der neurologische Status der Patienten und der Zustand des posterioren Ligaments (Vaccaro et al. 2005a).

Das Konzept des thoracolumbar injury classification and severity score (TLICS) basiert auf einer Umfrage weltweit praktizierender Experten auf dem Gebiet der Wirbelsäulentraumatologie. Ziel der Umfrage war es, aus Ähnlichkeiten der Behandlungskonzepte einen Algorithmus herzuleiten, welcher Charakteristika enthält, die Schlüsselfunktionen bei der Therapieentscheidung übernehmen können. Drei große Kategorien sind in dem Score enthalten: 1) die Morphologie der Verletzung, 2) die Intaktheit des posterioren Bandapparats und 3) der neurologische Status der Patienten. Für jede dieser drei Kategorien werden je nach Schweregrad Punkte vergeben, deren Summe Auskunft über die Notwendigkeit eines operativen Eingriffs geben soll (Lee et al. 2005; Vaccaro et al. 2005b).

Eine andere Klassifikation wird beispielsweise von McCormack beschrieben, bei der die Frakturen eingeteilt werden in 1) die Anzahl der frakturierten Wirbelkörper, 2) die Ausbreitung der Fraktursegmente an der Stelle der Verletzung und 3) die korrigierte trau-

matische Kyphose (McCormack et al. 1994). Diese Skala sollte helfen, potentielle Instrumentenfrakturen während der Heilungsphase durch die Indikationsstellung für eine kombiniert dorsoventrale Operation zu vermeiden. Bei dieser Art der Klassifizierung besteht keine so große Variabilität, sodass dieses Konzept in der Klinik aufgrund weniger Arbeit realisierbar ist. Aus diesem Grund findet diese Klassifikation in einigen Studien Anwendung (Altay et al. 2007). Einige weitere Autoren bevorzugen andere Klassifikationen, z.B. nach Denis (Danisa et al. 1995; Denis 1983).

Da der Verlauf der Frakturheilung vergleichend mit möglichst vielen anderen Arbeiten betrachtet werden soll, ist die Klassifikation nach Magerl hier das Mittel der Wahl, da diese unter anderem auch in der Multicenterstudie der AG Wirbelsäule angewendet wird.

Es ist festzustellen, dass in diesem Patientenkollektiv mit 513 Frakturen nur 414 Frakturen klassifiziert werden konnten und von diesen Frakturen des Typs A mit 83% am häufigsten auftraten (A1: 37%; A2: 11,1%; A3: 35%). Frakturen der Klasse B stellen 13% der gesamten bewerteten Frakturen dar (B1: 0,7%; B2: 12%; B3: 0,24%) und Frakturen der Klasse C waren mit 4% am seltensten zu diagnostizieren (C1: 2,9%; C2: 0,5%; C3: 0,24%).

Andere Autoren beschreiben die Klassenverteilung wie folgt (im Vergleich mit dieser Studie in der letzten Spalte):

Frakturklasse nach (Magerl et al. 1994)	(Daniaux et al. 1999)	(Resch et al. 2000)	(Reinhold et al. 2010)	(Knop et al. 1997)	(Lange et al. 2006)	UMG Göttingen 2008-2013
A	73	66	57,8	59	63	83
B	12	29	24,3	23,2	21	13
C	15	5	17,9	17,8	15,7	4

Tabelle 7: Verteilung der Frakturklassen nach Magerl et al. (1994) im Vergleich mit anderen Studien (alle Angaben in Prozent)

Auffällig ist, dass der Anteil der Frakturen aller Publikationen eine ähnliche Tendenz aufweist. So sind es immer die A- Frakturen, die überwiegen und die C- Frakturen, die am

seltensten auftreten. Trotz geringfügiger Abweichung finden sich hier gut vergleichbare Werte. Es ist möglich, dass Frakturen der Klasse B oder C einen größeren Anteil der in der Universitätsmedizin Göttingen behandelten Frakturen ausmachen, diese jedoch nicht erfasst werden, da sie aufgrund von neurologischen Defiziten durch die Abteilung Neurochirurgie behandelt werden.

Die Therapiemaßnahmen für die in dem Zeitraum von 2008 bis 2013 behandelten Patienten mit einer Wirbelfraktur lassen sich in operative und konservative Behandlung aufteilen, wobei die operativen Verfahren wiederum die dorsale und dorsoventrale Stabilisierung sowie die Kyphoplastie beinhalten.

Operatives Vorgehen		Konservatives Vorgehen
51,7% (n=265)		48,3% (n=248)
dorsal stabilisiert	dorsoventral stabilisiert	Kyphoplastie
79,6% (n=209)	9,8% (n=26)	10,6% (n=28)

Tabelle 8: Therapieverfahren bei Wirbelfrakturen in der UMG (2008-2013) in absoluten und prozentualen Angaben

48,3% der Patienten wurden konservativ therapiert, während 51,7% operativ versorgt wurden. Bei den operativen Eingriffen beläuft sich der Hauptteil auf die dorsale Instrumentierung der Wirbelsäule, während jeweils etwa 10% der Patienten entweder dorsoventral stabilisiert oder mittels Kyphoplastie behandelt wurden. Bei anderen Autoren wird im Gegensatz zu diesem Kollektiv eine größere Anzahl an Patienten kombiniert stabilisiert. Knop et al. (2000) beschreiben einen Anteil von 28,9% dorsoventral stabilisierter Patienten, Reinhold et al. (2010) verzeichnen sogar einen Anteil von 43,5%. Isoliert ventrales Therapievorgehen wurde in diesem Kollektiv an der Brust- und Lendenwirbelsäule nicht durchgeführt, während auch dort bei anderen Autoren 5,4% (Knop et al. 2000) und 4,9% (Reinhold et al. 2010) aufgeführt werden. Aufgrund der Tatsache, dass die Patienten, die von der Neurochirurgie operiert wurden, nicht mit in die Studie eingehen, kann von einem größeren Anteil ventraler Operationen in der Universitätsmedizin Göttingen ausgegangen werden. Um im Speziellen die A3- Frakturen zu betrachten, bei welchen die Wahl der Therapiemaßnahme in der Literatur unterschiedlich ausfällt, lässt sich anhand dieses Patientenkollektivs ein Anteil von 78% dorsalen, 4% dorsoventralen Fixationen sowie Kyphoplastien und 13% konservativer Behandlungen feststellen. Auch in der Literatur wird

ein breites Spektrum an Therapiemöglichkeiten für diesen Frakturtyp angegeben (Ağuş et al. 2005; Danisa et al. 1995; McDonough et al. 2004; McEvoy und Bradford 1985; Vaccaro et al. 2006).

Aufgrund der kontroversen Diskussion über die Therapie der isolierten Berstungsfrakturen ohne neurologisches Defizit wird hier als erstes auf die Frakturen der Klasse A3 eingegangen. Die Ergebnisse des GDW und Kyphosewinkels für A3- Frakturen im Beobachtungszeitraum zeigen, dass ein Korrekturgewinn durch die operative Therapie gegenüber der konservativen zu erreichen ist. Außerdem lässt sich ein geringerer Korrekturverlust durch kombiniert dorsoventrales Vorgehen erzielen als bei isoliert dorsaler Stabilisierung.

Resch et al. (2000) betrachteten ebenfalls die A3- Frakturen separat und konnten trotz Korrekturverlust nach dorsaler Stabilisierung mit operativer Therapie bessere radiologische Ergebnisse erzielen. Auch dort fand sich eine effektive Zunahme der Kyphose bei konservativer Therapie. Ağuş et al. (2005) beschreiben die konservative Behandlung als gute Alternative zum operativen Vorgehen bei Berstungsfrakturen ohne neurologisches Defizit und erreichten gute funktionelle Ergebnisse. Für konservativ behandelte Patienten ergaben sich dort bei der Wirbelkörperhöhenminderung ähnliche Ergebnisse wie in der vorliegenden Arbeit. Allerdings wurden dort die Patienten ausschließlich konservativ behandelt, weshalb sich keine mit operativer Therapie vergleichende Aussage machen lässt. Siebenga et al. (2006) konkludierten in einer vergleichenden Studie, dass A3- Frakturen mittels dorsaler Stabilisierung operativ behandelt werden sollten und stellten auch bei anderen Frakturklassen Vorteile gegenüber der konservativen Therapie fest.

In anderen Studien werden die A3- Berstungsfrakturen nicht gesondert aufgeführt. Hier ist zu beobachten, dass sowohl bei isoliert dorsaler als auch bei ventraler oder kombiniert dorsoventraler Stabilisierung im Verlauf der Behandlung ein Korrekturverlust eintritt (Danisa et al. 1995; Knop et al. 2000; Verlaan et al. 2004). Danisa et al. (1995) konnten keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den drei verschiedenen Operationstechniken dorsal, ventral und kombiniert dorsoventral verzeichnen. Knop et al. (2000) beobachteten einen stärkeren Korrekturgewinn bei dorsoventraler Stabilisierung gegenüber isolierter dorsaler oder ventraler Vorgehensweise. Bezogen auf die ursprünglich durchgeführte Korrektur, konnte für dorsal stabilisierte Patienten ein signifikant größerer relativer Korrekturverlust ermittelt werden (Knop et al. 2001). Verlaan et al. (2004) erreichten un-

abhängig von der Operationstechnik ähnliche postoperative Korrekturen und ebenfalls - unabhängig der Technik - Korrekturverluste im Verlauf. Reinhold et al. (2010) differenzierten nochmals zwischen subjektivem und funktionellem Outcome im Vergleich zu der radiologischen Deformität und konnten funktionell und subjektiv für dorsale Stabilisierungsverfahren mehr Zufriedenheit der Patienten verzeichnen, während der Korrekturgewinn und -erhalt bei kombiniert dorsoventraler Stabilisierung bessere Ergebnisse erfuhr. Weitere Studien zeigen ebenfalls, dass bei stabilen Berstungsfrakturen ohne neurologisches Defizit der Vorteil der operativen gegenüber der konservativen Therapie bezüglich des subjektiven Empfindens der Patienten nicht signifikant vorhanden ist (Wood et al. 2003). Es wird dokumentiert, dass Patienten mit nichtoperativer Behandlung subjektiv zufriedener mit dem Behandlungsergebnis sind als Patienten mit operativer Therapie, obwohl dies aus röntgenologischer Sicht nicht bestätigt werden kann. Dies ist wahrscheinlich auf die durch den belastenden und mit Rehabilitation verbundenen operativen Eingriff zurückzuführen (Briem et al. 2003; Resch et al. 2000).

Bei Frakturen, die als primär stabil gelten (A1- und A2- Frakturen nach Magerl) konnte die funktionelle und konservative Therapie befürwortet werden, da die restliche Wirbelsäule und die umgebende Muskulatur für ausreichende Stabilität sorgt (Ludolph und Hierholzer 1985). Vorteil der konservativen Therapie ist die Vermeidung des operativen Eingriffs und der eventuell damit verbundenen Morbidität (Siebenga et al. 2006). Auch in diesem Patientenkollektiv stellt sich die konservative Therapie als das Mittel der Wahl dar und es konnten im Vergleich zum operativen Vorgehen ähnliche Ergebnisse erzielt werden.

In dem untersuchten Patientenkollektiv ist zu erkennen, dass bei der betrachteten Frakturgruppe C1 das durch dorsoventrales Vorgehen erreichte postoperative Ergebnis im Beobachtungszeitraum stabil bleibt, während bei ausschließlich dorsaler Instrumentierung ein Korrekturverlust eintritt.

Außerdem kann ein großer Korrekturverlust zwischen der letzten Kontrollaufnahme und der ersten Aufnahme nach Metallentfernung beobachtet werden. Der Einfluss des stabilisierenden Materials auf den Korrekturerhalt wird ebenfalls von einigen Autoren beschrieben (Knop et al. 1997; Reinhold et al. 2010). So berichten Knop et al. (2001) in der großen Multicenterstudie der AG Wirbelsäule ebenfalls von einer starken Rekyphosierung nach Entfernung des Fixateurs.

Demnach spielt die Metallentfernung ebenfalls eine wichtige Rolle in der Behandlung von Wirbelfrakturen. Der optimale Zeitpunkt für eine Metallentfernung ist bisher nicht geklärt. In der Regel erfolgt die Entfernung des Fixateurs nach 6-12 Monaten. Ventral eingebrachte Implantate sollen wegen der hohen Zugangsmorbidität belassen werden. Um das Ausmaß des Korrekturverlustes nach der Metallentfernung einschätzen zu können, empfiehlt sich die Aufnahme eines CTs im Stehen. Lässt sich dort ein Vakuumphänomen der Bandscheiben oder eine nicht durchbaute Fraktur erkennen, sollte kritisch geprüft werden, ob zusätzlich eine ventrale Stabilisierung erfolgen sollte, bevor das implantierte Material entfernt wird (Baron et al. 2012).

In 79% der Patientenfälle, die durch einen Fixateur Interne mit Pedikelschrauben versorgt wurden, befanden sich die Pedikelschrauben in zentraler Lage. In 21% der Patientenfälle konnten Fehllagen gemessen werden, die vom Bewertungsgrad 0 abwichen. Insgesamt finden sich bei diesen Fällen 28 fehlplatzierte Pedikelschrauben, was einen Gesamtanteil von 8% Schraubenfehllagen ausmacht. Schnake et al. (2004) untersuchten die Genauigkeit der Pedikelschraubenlagen bei CT- basierter Navigation im Vergleich zur konventionellen Technik und erzielten bei CT- Unterstützung 82,5% und bei konventioneller Insertion 77% zentriert eingebrachte Pedikelschrauben. Khodadadyan-Klostermann (2005) verzeichnete Fehllagen von 16,25% (navigiert) und sogar 39,5% für das konventionelle Verfahren. Diese Ergebnisse zeigen im Vergleich mit anderen Autoren einen deutlich geringeren Anteil an Schraubenfehllagen aus der Abteilung Unfallchirurgie und Orthopädie der Universitätsmedizin Göttingen.

13,5% (n=64) der Patienten entwickelten im Verlauf der Behandlung an den an der Fraktur angrenzenden Bandscheiben ein Vakuumphänomen. 27 der Patienten (42,2%), bei denen ein Vakuumphänomen festgestellt werden konnte, wurden im Zuge der operativen Versorgung von dorsal mit einem Fixateur Interne stabilisiert, bei 4 Patienten (6,3%) wurde zusätzlich eine ventrale Stabilisationsoperation vorgenommen. Ein Patient entschied sich trotz ärztlichen Rates gegen die zusätzliche ventrale Stabilisierung.

Sieben Patienten (11%) bekamen eine Kyphoplastie und 26 Frakturen (40,5%) mit Vakuumphänomen wurden konservativ therapiert.

Die radiologischen Ergebnisse zeigen, dass Frakturen mit Vakuumphänomenen in diesem Patientenkollektiv durch dorsales Einbringen eines Fixateurs stabiler gehalten werden konnten als Frakturen, die konservativ behandelt wurden. Außerdem ergab sich bei Patienten mit Operation eine geringere Wirbelkörperhöhenminderung. 20 Patienten mit Vakuumphänomenen leiden zusätzlich an Osteoporose, was 31,25% der Fälle mit positivem Vakuumzeichen ausmacht. In der aktuellen Literatur lässt sich nur wenig zum Vakuumphänomen im Zusammenhang mit Wirbelkörperfrakturen finden, die nicht durch degenerative Prozesse entstanden sind. Omori et al. (2015) fanden keinen signifikanten Unterschied zwischen Patienten mit oder ohne Vakuumphänomen bezüglich des Alters und des Verletzungsmechanismus. Allerdings konnte dort eine signifikant höhere Anzahl an Frauen beobachtet werden, was aus den Ergebnissen des untersuchten Patientenkollektivs nicht hervorgeht. Es konnte durch Omoris Zweigruppenstudie nicht bestätigt werden, dass das finale Outcome der Behandlung durch das Vorhandensein eines Vakuumphänomens beeinflusst wird. Pappou et al. (2008) beobachteten, dass 10% aller osteoporotischen Frakturen Vakuumphänomene zeigen, hauptsächlich im Bereich des thorakolumbalen Übergangs. Auch in der vorliegenden Arbeit befindet sich der Hauptteil der Vakuumphänomene in diesem Wirbelsäulenabschnitt, was allerdings auch darauf zurückzuführen sein kann, dass insgesamt die Anzahl der Frakturen im Übergang zwischen Brust- und Lendenwirbelsäule im Vergleich zu allen anderen Lokalisationsgruppen am größten ist.

Nach Baron et al. (2012) soll bei Vorhandensein eines Vakuumphänomens vor Entfernung des Osteosynthesematerials abgewägt werden, ob durch eine zusätzliche ventrale Stabilisierung ein besseres Ergebnis erzielt werden kann, da Gaseinschlüsse im Gewebe auf Instabilitäten hindeuten können. Insgesamt muss die Behandlungsstrategie in solchen Fällen individualisiert werden und es muss besonders die Dekompression neurologischer Strukturen und die suffiziente Stabilisierung im Vordergrund stehen (Pappou et al. 2008).

7. Fazit

Aus den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit geht hervor, dass Frakturen nach dorsaler Stabilisierung generell einen besseren radiologischen Verlauf zeigen als Frakturen, die konservativ behandelt wurden. Bei stabilen Frakturen der Klassen A1 und A2 nach Magerl et al. (1994) wiegt der mögliche Korrekturgewinn bzw. die verringerte Nachsinterung die eventuellen Komplikationen durch eine solche Operation nicht auf. Für A3- Frakturen kann jedoch gezeigt werden, dass die Behandlung mittels dorsaler Stabilisierung einen erheblichen Vorteil gegenüber der konservativen Behandlung hat, weshalb diese Therapie der konservativen vorzuziehen ist. Außerdem stellen sich die radiologischen Parameter im Behandlungsverlauf bei kombiniert dorsoventralem Vorgehen als noch besser dar. Dies deutet darauf hin, dass die Indikation zu einem kombinierten dorsoventralen Eingriff häufiger gestellt werden sollte. Des Weiteren zeigt sich aus den objektiven Daten ein signifikanter Korrekturverlust nach Entfernung des Osteosynthesematerials vor allem bei Rotationsfrakturen. Bei dieser Patientengruppe könnte zur Vermeidung dessen ein späterer Zeitpunkt für die Metallentfernung in Erwägung gezogen oder gar auf eine Entfernung des Fixateurs verzichtet werden. Für die Patientengruppe mit Vakuumphänomen kann in diesem Kollektiv lediglich ausgesagt werden, dass die Frakturen durch eine Operation stabiler gehalten werden können, als ohne Operation. Für die Aussage, ob eine kombiniert dorsoventrale Vorgehensweise das Ergebnis gegenüber der rein dorsalen Operation weiterhin verbessern könnte, ist hier die Fallzahl zu gering.

Mit einem Patientenfragebogen hätte zusätzlich das subjektive Empfinden der Patienten erfasst werden können. Somit könnte bewertet werden, ob die radiologischen Ergebnisse bezüglich der Stabilität der Fraktur und der Krümmung der Wirbelsäule in Zusammenhang mit dem Beschwerdebild der Patienten und deren Regeneration in das alltägliche Leben stehen. Selbstkritisch ist anzumerken, dass ein standardisiertes Werkzeug zur Schmerzerfassung von Vorteil wäre. Da Patienten mit neurologischem Defizit durch die Abteilung Neurochirurgie versorgt werden, gehen diese nicht mit in die Arbeit ein. Dadurch spiegeln die vorliegenden Ergebnisse nicht das tatsächliche Patientenkollektiv der Universitätsmedizin Göttingen wider. Für eine derartige Untersuchungsgruppe wäre die Zusammenarbeit mit der Abteilung Neurochirurgie angezeigt.

8. Zusammenfassung

Hintergrund, Patienten und Methode

Aufgrund der Tatsache, dass die Wahl der Therapie bei Wirbelfrakturen der Klasse A3 nach Magerl et al. (1994) weiterhin kontrovers diskutiert wird, wurden in dieser Arbeit die Patientenfälle der Abteilung Orthopädie und Unfallchirurgie der Universitätsmedizin Göttingen betrachtet, die im Zeitraum von 2008 bis 2013 eine Wirbelfraktur im Bereich der Brust- und Lendenwirbelsäule erlitten. Das Durchschnittsalter der Patienten liegt bei 53 Jahren (4-100 Jahre). Das gesamte Kollektiv umfasst 475 Patienten, von denen 266 männlich und 209 weiblich sind. Es wurden objektive Daten wie GDW, Kyphosewinkel und Wirbelkörperhöhenminderung zu fest definierten Zeitpunkten erhoben. Anhand dieser Daten konnte der Verlauf der Stabilität und sowohl der Korrekturgewinn durch die Therapie als auch der Korrekturverlust während der Nachsorge für die jeweiligen Therapiemethoden erfasst werden. Die Therapiemethoden, die hier verglichen werden, sind die konservative Therapie, die Kyphoplastie, die dorsale und die kombiniert dorsoventrale Stabilisierung.

Ergebnisse

Die 513 Frakturen der insgesamt 475 Patienten können den Frakturklassen nach Magerl et al. (1994) und festgelegten Lokalisationsgruppen (BWK 1-5, BWK 6-10, BWK 11- LWK 2, LWK 3-5) zugeordnet werden. 6% (n=31) der Frakturen befinden sich im Bereich BWK 1-5, 12,5% (n=64) können der Lokalisationsgruppe BWK 6-10 zugeteilt werden. Der Großteil der Frakturen (70%; n=359) liegt im Bereich des thorakolumbalen Übergangs (BWK 11- LWK 2) und 11,5% (n=59) sind Frakturen der Lendenwirbelkörper 3-5. Von den 513 Frakturen können 414 einer Frakturklasse nach Magerl et al. (1994) zugeordnet werden. Von den 344 Frakturen der Klasse A (83%) sind 44,4% (n=153) A1- Frakturen, 13,4% (n=45) können A2 klassifiziert werden und 42,2% (n=145) sind Frakturen der Klasse A3. 54 frakturierte Wirbelkörper (13%) können als Distraktionsfrakturen (B) eingestuft werden und 16 Frakturen (3,8%) sind Rotationsverletzungen (C).

Die in der radiologischen Verlaufskontrolle erhobenen Parameter zeigen, dass bei Frakturen der Klassen A1 und A2, die als stabil gelten, die konservative Therapie zu einem guten Ergebnis führt. Bei A3- Frakturen, bei denen in der internationalen Literatur starke Un-

stimmigkeit darüber besteht, ob diese Frakturen als stabil oder instabil gelten und wie solche Frakturen im allgemeinen zu behandeln sind, bringt die operative Vorgehensweise klare Vorteile. Zudem können bei kombiniert dorsoventraler Operation noch stabilere Ergebnisse erzielt werden. Für die Rotationsfrakturen stellt sich heraus, dass nach der Entfernung des eingebrachten Osteosynthesematerials ein größerer Korrekturverlust eintritt.

Des Weiteren wurden Patienten, bei denen im Verlauf der Behandlung ein Vakuumphänomen beobachtet werden konnte, gesondert aufgeführt. Aufgrund der geringen Fallzahlen sind diese Ergebnisse weniger aussagekräftig, jedoch zeigt sich nach radiologischen Kriterien eine Tendenz, dass die operative Therapie gegenüber der konservativen von Vorteil sein kann.

Schlussfolgerungen und Ausblick

Abschließend lässt sich sagen, dass bei isolierten Berstungsfrakturen ohne Beteiligung des Bandapparates die Indikation für die kombiniert dorsoventrale Operation häufiger und frühzeitiger gestellt werden sollte. Außerdem sollte beachtet werden, dass bei instabilen Frakturen die Verlängerung der Tragezeit des Fixateurs einen positiven Einfluss auf den Korrekturerhalt hat.

9. Literaturverzeichnis

- Aarabi B, Walters BC, Dhall SS, Gelb DE, Hurlbert RJ, Rozzelle CJ, Ryken TC, Theodore N, Hadley MN (2013): Subaxial cervical spine injury classification systems. *Neurosurgery* 72 Suppl 2, 170–186
- Aebi M (2010): Classification of thoracolumbar fractures and dislocations. *Eur Spine J* 19 Suppl 1, S2-7
- Aebi M, Etter C, Kehl T, Thalgott J (1987): Stabilization of the lower thoracic and lumbar spine with the internal spinal skeletal fixation system. Indications, techniques, and first results of treatment. *Spine* 12, 544–551
- Ağuş H, Kayali C, Arslantaş M (2005): Nonoperative treatment of burst-type thoracolumbar vertebra fractures: clinical and radiological results of 29 patients. *Eur Spine J* 14, 536–540
- Altay M, Ozkurt B, Aktekin CN, Ozturk AM, Dogan O, Tabak AY (2007): Treatment of unstable thoracolumbar junction burst fractures with short- or long-segment posterior fixation in magerl type a fractures. *Eur Spine J* 16, 1145–1155
- Andress H, Braun H, Helmberger T, Schürmann M, Hertlein H, Hartl WH (2002): Long-term results after posterior fixation of thoraco-lumbar burst fractures. *Injury* 33, 357–365
- Baron HC, Ochs BG, Stuby FM, Stöckle U, Badke A (2012): Metallentfernung an der Wirbelsäule. *Unfallchirurg* 115, 339–342
- Bauer Rudolf (Hrsg.): Orthopädische Operationslehre (Wirbelsäule 1); Thieme, Stuttgart 1991
- Beck M, Mittlmeier T (2008): Thorakolumbale Frakturen – Operative Versorgung. *Trauma Berufskrankh* 10, 182–186
- Beisse R (2006): Endoscopic surgery on the thoracolumbar junction of the spine. *Eur Spine J* 15, 687–704
- Beisse R, Mückley T, Schmidt MH, Hauschild M, Bühren V (2005): Surgical technique and results of endoscopic anterior spinal canal decompression. *J Neurosurg Spine* 2, 128–136
- Beisse R, Potulski M, Temme C, Bühren V (1998): Endoscopically controlled division of the diaphragm. A minimally invasive approach to ventral management of thoracolumbar fractures of the spine. *Unfallchirurg* 101, 619–627
- Benson DR, Burkus JK, Montesano PX, Sutherland TB, McLain RF (1992): Unstable thoracolumbar and lumbar burst fractures treated with the AO fixateur interne. *J Spinal Disord Tech* 5, 335–343
- Bertram R, Bessem H, Diedrich O, Wagner U, Schmitt O (2003): Vergleich von dorsolateralen mit dorsoventralen Stabilisierungsverfahren in der Behandlung von Wirbelsäulenfrakturen. *Z Orthop Ihre Grenzgeb* 141, 573–577
- Blauth M, Bastian L, Knop C, Lange U, Tusch G (1999): Interobserverreliabilität bei der Klassifikation von thorakolumbalen Wirbelsäulenverletzungen. *Orthopade* 28, 662–681
- Boelderl A, Daniaux H, Kathrein A, Maurer H (2002): Danger of damaging the medial branches of the posterior rami of spinal nerves during a dorsomedian approach to the spine. *Clin Anat* 15, 77–81

- Böhler L: Die Technik der Knochenbruchbehandlung. 2., verb. und verm. Auflage; Maudrich, Wien 1930
- Böhler L: Die Technik der Knochenbruchbehandlung. 4. verm. Auflage; Maudrich, Wien 1933
- Briem D, Linhart W, Lehmann W, Bullinger M, Schoder V, Meenen NM, Windolf J, Rueger JM (2003): Untersuchung der Lebensqualität nach dorsoventraler Stabilisierung von Wirbelkörperfrakturen des thorakolumbalen Übergangs. Unfallchirurg 106, 625–632
- Bühren V (2003): Verletzungen der Brust- und Lendenwirbelsäule. Unfallchirurg 106, 55-68; quiz 68-9
- Chance GQ (1948): Note on a type of flexion fracture of the spine. Br J Radiol 21, 452
- Chang KW (1992): A reduction-fixation system for unstable thoracolumbar burst fractures. Spine 17, 879–886
- Chhabra HS, Kaul R, Kanagaraju V (2015): Do we have an ideal classification system for thoracolumbar and subaxial cervical spine injuries: what is the expert's perspective? Spinal Cord 53, 42–48
- Coulier B (2004): The spectrum of vacuum phenomenon and gas in spine. JBR-BTR 87, 9–16
- Daniaux H, Wagner M, Kathrein A, Lang T (1999): Frakturen des thorakolumbalen Übergangs. Die konservative Behandlung. Orthopade 28, 682–691
- Danisa OA, Shaffrey CI, Jane JA, Whitehill R, Wang GJ, Szabo TA, Hansen CA, Shaffrey ME, Chan DP (1995): Surgical approaches for the correction of unstable thoracolumbar burst fractures: a retrospective analysis of treatment outcomes. J Neurosurg 83, 977–983
- Denis F (1983): The three column spine and its significance in the classification of acute thoracolumbar spinal injuries. Spine 8, 817–831
- Dick W (1984): Innere Fixation von Brustund Lendenwirbelfrakturen. Aktuelle Probl Chir Orthop 28, 1–125
- Dick W, Kluger P, Magerl F, Woersdörfer O, Zäch G (1985): A new device for internal fixation of thoracolumbar and lumbar spine fractures: the 'fixateur interne'. Paraplegia 23, 225–232
- Eckardt A: Praxis LWS-Erkrankungen: Diagnose und Therapie ; mit 64 Tabellen. Springer, Berlin [u.a.] 2011
- Eggers C, Stahlenbrecher A (1998): Verletzungen der BWS und LWS. Unfallchirurg 101, 779–790
- Eysel P, Meinig G, Sanner F (1991): Vergleichende Untersuchung unterschiedlicher dorsaler Stabilisierungsverfahren bei frischen Frakturen der Rumpfwirbelsäule. Unfallchirurgie 17, 264–273
- Ferguson RL, Allen BL (1984): A mechanistic classification of thoracolumbar spine fractures. Clin Orthop Relat Res 189, 77–88
- Ford LT, Gilula LA, Murphy WA, Gado M (1977): Analysis of gas in vacuum lumbar disc. AJR Am J Roentgenol 128, 1056–1057
- Fu C, Liu Y, Zhang S, Song Z (2006): Biomechanical study on pullout strength of thoracic extrapedicular screw fixation. Chinese journal of traumatology = Zhonghua chuang shang za zhi / Chinese Medical Association 9, 374–376

- Gertzbein SD (1992): Scoliosis Research Society. Multicenter spine fracture study. *Spine* 17, 528–540
- Gertzbein SD, Court-Brown CM (1988): Flexion-distraction injuries of the lumbar spine. Mechanisms of injury and classification. *Clin Orthop Related Res* 227, 52–60
- Gnanenthiran SR, Adie S, Harris IA (2012): Nonoperative versus operative treatment for thoracolumbar burst fractures without neurologic deficit: a meta-analysis. *Clin Orthop Relat Res* 470, 567–577
- Gohil I, Vilensky JA, Weber EC (2014): Vacuum phenomenon: Clinical relevance. *Clin Anat* 27, 455–462
- Grifka J: Orthopädie und Unfallchirurgie: Für Praxis, Klinik und Facharztprüfung ; mit 155 Tabellen. Springer, Berlin [u.a.] 2011
- Grützner PA, Vock B, Köhler T, Wentzensen A (2001): Rechnergeschütztes Operieren an der Wirbelsäule. *OP-Journal* 17, 185–190
- Guttmann L (1974): Zur Problematik der Wirbelsäulenfrakturen bei Querschnittsläsionen des Rückenmarks. *Z Orthop Ihre Grenzgeb* 112, 910–918
- Guttmann L (1978): Total responsibility of the surgeon in the management of traumatic spinal paraplegics and tetraplegics. *Paraplegia* 15, 285–292
- Harrington PR (1962): Treatment of scoliosis. Correction and internal fixation by spine instrumentation. *J Bone Joint Surg Am* 44-A, 591–610
- Hasse J (1984): Pathophysiologische und technische Aspekte bei transthorakalen Wirbelsäulenoperationen. *Z Orthop Ihre Grenzgeb* 122, 509–512
- Hauck S, Beisse R, Bosczyk B, Bühren V (2004): Wirbelfrakturbehandlung. *Trauma Berufskrankh* 6, 279–285
- Hu R, Mustard CA, Burns C (1996): Epidemiology of incident spinal fracture in a complete population. *Spine* 21, 492–499
- Junghanns H: Die Wirbelsäule unter den Einflüssen des täglichen Lebens, der Freizeit, des Sportes. *Die Wirbelsäule in Forschung und Praxis*, Band 100, Stuttgart 1986; Hippokrates Verlag
- Katscher S, Josten C (2007): Wirbelsäulenverletzungen des thorakolumbalen Übergangs. *Trauma Berufskrankh* 9, S237–S244
- Khodadadyan-Klostermann C (2005): Fehllage und Implantatversagen bei dorsaler Instrumentierung. *Trauma Berufskrankh* 7, S299–S306
- Knop C, Blauth M, Bastian L, Lange U, Kesting J, Tscherner H (1997): Frakturen der thorakolumbalen Wirbelsäule. Spätergebnisse nach dorsaler Instrumentierung und ihre Konsequenzen. *Unfallchirurg* 100, 630–639
- Knop C, Blauth M, Bühren V, Hax PM, Kinzl L, Mutschler W, Pommer A, Ulrich C, Wagner S, Weckbach A et al. (1999): Operative Behandlung von Verletzungen des thorakolumbalen Übergangs: Teil 1: Epidemiologie. *Unfallchirurg* 102, 924–935
- Knop C, Blauth M, Bühren V, Hax PM, Kinzl L, Mutschler W, Pommer A, Ulrich C, Wagner S, Weckbach A et al. (2000): Operative Behandlung von Verletzungen des thorakolumbalen Übergangs: Teil 2: Operation und röntgenologische Befunde. *Unfallchirurg* 103, 1032–1047

- Knop C, Blauth M, Bühren V, Arand M, Egbers HJ, Hax PM, Nothwang J, Oestern HJ, Pizanis A, Roth R et al. (2001): Operative Behandlung von Verletzungen des thorakolumbalen Übergangs: Teil 3: Nachuntersuchung. Ergebnisse einer prospektiven multizentrischen Studie der Arbeitsgemeinschaft "Wirbelsäule" der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie. *Unfallchirurg* 104, 583–600
- Knop C, Schmid R, Reinhold M, Blauth M (2005): Fixateur interne und Wirbelkörperersatz. *Trauma Berufskrankh Z*, S346–S353
- Korovessis P, Baikousis A, Zacharatos S, Petsinis G, Koureas G, Iliopoulos P (2006): Combined anterior plus posterior stabilization versus posterior short-segment instrumentation and fusion for mid-lumbar (L2-L4) burst fractures. *Spine* 31, 859–868
- Lange U, Edeling S, Knop C, Bastian L, Krettek C, Blauth M (2006): Wirbelkörperersatz mit höhenvariablem Titanimplantat. Ergebnisse einer prospektiven klinischen Studie. *Unfallchirurg* 109, 733–742
- Lardé D, Mathieu D, Frija J, Gaston A, Vasile N (1982): Spinal vacuum phenomenon: CT diagnosis and significance. *J Comput Assist Tomogr* 6, 671–676
- Lee JY, Vaccaro AR, Lim MR, Oner FC, Hulbert RJ, Hedlund R, Fehlings MG, Arnold P, Harrop J, Bono CM et al. (2005): Thoracolumbar injury classification and severity score: a new paradigm for the treatment of thoracolumbar spine trauma. *J Orthop Sci* 10, 671–675
- Lendemans S, Hussmann B, Kauther MD, Nast-Kolb D, Taeger G (2011): Minimal-invasive dorsale Stabilisierung der thorakolumbalen Wirbelsäule. *Unfallchirurg* 114, 149–59; quiz 160
- Liljenqvist U, Mommsen U (1995): Die operative Behandlung thorakolumbalen Wirbelsäulenverletzungen mit dem Fixateur interne und transpedikulärer Spongiosaplastik. *Unfallchirurgie* 21, 30–39
- Ludolph E, Hierholzer G (1985): Funktionelle Therapie bei primär instabilen Verletzungen der Brust- und Lendenwirbelsäule. Indikation und Grenzen. *Zentralbl Chir* 110, 585–591
- Magerl F, Aebi M, Gertzbein SD, Harms J, Nazarian S (1994): A comprehensive classification of thoracic and lumbar injuries. *Eur Spine J* 3, 184–201
- Magerl FP (1984): Stabilization of the lower thoracic and lumbar spine with external skeletal fixation. *Clin Orthop Relat Res* 189, 125–141
- Magnus G (1936): Grundsätzliches zur Knochenbruchbehandlung. *Unfallheilkunde*, 39–68
- McAfee PC, Bohlman HH (1985): Complications following Harrington instrumentation for fractures of the thoracolumbar spine. *J Bone Joint Surg Am* 67, 672–686
- McCormack T, Karaikovic E, Gaines RW (1994): The load sharing classification of spine fractures. *Spine* 19, 1741–1744
- McDonough PW, Davis R, Tribus C, Zdeblick TA (2004): The management of acute thoracolumbar burst fractures with anterior corpectomy and Z-plate fixation. *Spine* 29, 1901–8; discussion 1909
- McEvoy RD, Bradford DS (1985): The management of burst fractures of the thoracic and lumbar spine. Experience in 53 patients. *Spine* 10, 631–637
- Mirza SK, Mirza AJ, Chapman JR, Anderson PA (2002): Classifications of thoracic and lumbar fractures: rationale and supporting data. *J Am Acad Orthop Surg* 10, 364–377

- Mirza SK, Wiggins GC, Kuntz C, York JE, Bellabarbara C, Knonodi MA, Chapman JR, Shaffrey C (2003): Accuracy of Thoracic Vertebral Body Screw Placement Using Standard Fluoroscopy, Fluoroscopic Image Guidance, and Computed Tomographic Image Guidance: A Cadaver Study. *Spine* 28, 402–413
- Mueller CW, Berlemann U (2005): Kyphoplasty: chances and limits. *Neurology India* 53, 451–457
- Müller CW, Hüfner T, Gössling T, Krettek C (2008): Traumatologie der Wirbelsäule. *Chirurg* 79, 918, 920-6
- Neudeck F, Hanke J, Schmit-Neuerburg KP (1990): Gefahren und Komplikationen der Therapie von Frakturen und Luxationen an der LWS. *OP-Journal* 6, 42–49
- Nicoll EA (1949): Fractures of the dorso-lumbar spine. *J Bone Joint Surg Br* 31B, 376–394
- Omori K, Ishikawa K, Obinata M, Mishima K, Fukusato S, Ohsaka H, Oode Y, Yanagawa Y (2015): Significance of the vacuum phenomenon in patients with trauma evaluated by whole-body computed tomography. *Am J Emerg Med* 33, 282–285
- Pappou IP, Papadopoulos EC, Swanson AN, Cammisa FP, Girardi FP (2008): Osteoporotic vertebral fractures and collapse with intravertebral vacuum sign (Kümmel's disease). *Orthopedics* 31, 61–66
- Patel AA, Vaccaro AR (2010): Thoracolumbar spine trauma classification. *J Am Acad Orthop Surg* 18, 63–71
- Payer M, Sottas C (2008): Mini-open anterior approach for corpectomy in the thoracolumbar spine. *Surg Neurol* 69, 25–31
- Potulski M, Beisse R, Bühren V (1999): Die thorakoskopisch gesteuerte Behandlung der "vorderen Säule". *Technik und Ergebnisse. Orthopade* 28, 723–730
- Prokop A, Koukal C, Dolezych R, Chmielnicki M (2012): Minimalinvasive Versorgung von thorakolumbalen Wirbelfrakturen. *Trauma Berufskrankh* 14, 335–343
- Reinhardt K: Röntgendiagnostik der Wirbelsäule Teil 3 / Roentgen Diagnosis of the Vertebral Column Part 3: Krankhafte Haltungsänderungen Skoliosen und Kyphosen; Springer, Berlin [u.a.] 1976
- Reinhold M, Schmid R, Knop C, Blauth M (2005): Komplikationsspektrum operativ versorgter Wirbelsäulenverletzungen. *Trauma Berufskrankh* 7, S281–S291
- Reinhold M, Knop C, Beisse R, Audigé L, Kandziora F, Pizanis A, Pranzl R, Gercek E, Schultheiss M, Weckbach A et al. (2010): Operative treatment of 733 patients with acute thoracolumbar spinal injuries: comprehensive results from the second, prospective, Internet-based multicenter study of the Spine Study Group of the German Association of Trauma Surgery. *Eur Spine J* 19, 1657–1676
- Rennie W, Mitchell N (1973): Flexion distraction fractures of the thoracolumbar spine. *The J Bone Joint Surg Am* 55, 386–390
- Resch H, Rabl M, Klampfer H, Ritter E, Povacz P (2000): Operative vs. konservative Behandlung von Frakturen des thorakolumbalen Übergangs. *Unfallchirurg* 103, 281–288
- Sasso RC, Best NM, Reilly TM, McGuire RA (2005): Anterior-only stabilization of three-column thoracolumbar injuries. *J Spinal Disord Tech* 18 Suppl, S7-14

- Scheiderer W, Gruber HP (2008): Verletzungen der Wirbelsäule. Trauma Berufskrankh 10, 386–390
- Schnake KJ, König B, Berth U, Schroeder RJ, Kandziora F, Stöckle U, Raschke M, Haas NP (2004): Genauigkeit der CT-basierten Navigation von Pedikelschrauben an der Brustwirbelsäule im Vergleich zur konventionellen Technik. Unfallchirurg 107, 104–112
- Schünke M, Schulte E, Schumacher U: Prometheus - LernAtlas der Anatomie: Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem ; 182 Tabellen, 2., überarb. und erw. Auflage; Thieme, Stuttgart 2007, mit freundlicher Genehmigung des Thieme Verlags
- Seybold EA, Sweeney CA, Fredrickson BE, Warhold LG, Bernini PM (1999): Functional outcome of low lumbar burst fractures. A multicenter review of operative and nonoperative treatment of L3-L5. Spine 24, 2154–2161
- Shen WJ, Liu TJ, Shen YS (2001): Nonoperative treatment versus posterior fixation for thoracolumbar junction burst fractures without neurologic deficit. Spine 26, 1038–1045
- Siebenga J, Leferink, Vincent J M, Segers, Michiel J M, Elzinga MJ, Bakker FC, Haarman, Henk J Th M, Rommens PM, Duis H ten, Patka P (2006): Treatment of traumatic thoracolumbar spine fractures: a multicenter prospective randomized study of operative versus nonsurgical treatment. Spine 31, 2881–2890
- Vaccaro AR, Lehman RA, Hurlbert RJ, Anderson PA, Harris M, Hedlund R, Harrop J, Dvorak M, Wood K, Fehlings MG et al. (2005a): A new classification of thoracolumbar injuries: the importance of injury morphology, the integrity of the posterior ligamentous complex, and neurologic status. Spine 30, 2325–2333
- Vaccaro AR, Lim MR, Hurlbert RJ, Lehman RA, Harrop J, Fisher DC, Dvorak M, Anderson DG, Zeiller SC, Lee JY et al. (2006): Surgical decision making for unstable thoracolumbar spine injuries: results of a consensus panel review by the Spine Trauma Study Group. J Spinal Disord Tech 19, 1–10
- Vaccaro AR, Zeiller SC, Hurlbert RJ, Anderson PA, Harris M, Hedlund R, Harrop J, Dvorak M, Wood K, Fehlings MG et al. (2005b): The thoracolumbar injury severity score: a proposed treatment algorithm. J Spinal Disord Tech 18, 209–215
- van der Roer N, de Lange ES, Bakker FC, de Vet HC, van Tulder MW (2005): Management of traumatic thoracolumbar fractures: a systematic review of the literature. Eur Spine J 14, 527–534
- van Middendorp J, Audigé L, Hanson B, Chapman JR, Hosman, Allard J F (2010): What should an ideal spinal injury classification system consist of? A methodological review and conceptual proposal for future classifications. Eur Spine J 19, 1238–1249
- Verheyden A, Koch N, Katscher S, Hölzl A (2007): Versorgungsstrategien bei Verletzungen der Lendenwirbelsäule. Trauma Berufskrankh 9, S245–S248
- Verlaan JJ, Diekerhof CH, Buskens E, van der Tweel, I, Verbout AJ, Dhert, W J A, Oner FC (2004): Surgical treatment of traumatic fractures of the thoracic and lumbar spine: a systematic review of the literature on techniques, complications, and outcome. Spine 29, 803–814
- Wawro W (2007): BWS-/LWS-Verletzung. Trauma Berufskrankh 9, S227–S230
- White KK, Oka R, Mahar AT, Lowry A, Garfin SR (2006): Pullout strength of thoracic pedicle screw instrumentation: comparison of the transpedicular and extrapedicular techniques. Spine 31, E355-8

Wirth CJ (Hrsg.): Praxis der Orthopädie und Unfallchirurgie, 3., vollst. überarb. Auflage; Thieme, Stuttgart, 2014

Wood K, Buttermann G, Butterman G, Mehbod A, Garvey T, Jhanjee R, Sechriest V (2003): Operative compared with nonoperative treatment of a thoracolumbar burst fracture without neurological deficit. A prospective, randomized study. J Bone Joint Surg Am 85-A, 773–781

10. Abbildungs- und Graphikverzeichnis

10.1 Abbildungen

Abbildung 1: Einteilung der Wirbelsäule (Schünke et al. 2007)	10
Abbildung 2: Aufbau eines Wirbelkörpers (Schünke et. al. 2007)	11
Abbildung 3: Aufbau der Bandscheibe (Schünke et. al. 2007)	13
Abbildung 4: Außenseiten des Anulus Fibrosus (Schünke et.al. 2007)	13
Abbildung 5: Bandapparat der Wirbelsäule (Schünke et. al. 2007)	14
Abbildung 6: Fixateur Interne nach Dick (Synthes), TLS nach Kluger (Endo- tec), Diapason (Stryker) (Bertram et al. 2003)	25
Abbildung 7: CT- Aufnahme, die Vakuumphänomene zwischen den Wirbelkörpern zeigt.	29
Abbildung 8: Kyphosewinkel	33
Abbildung 9: Verfahren zur Messung des Grunddeckplattenwinkels (α) (Knop et al. 2000)	34
Abbildung 10: AO- Klassifikation nach Magerl et al. (1994) A- Frakturen	35
Abbildung 11: AO- Klassifikation nach Magerl et al. (1994) B- Frakturen	36
Abbildung 12: AO- Klassifikation nach Magerl et al. (1994) C- Frakturen	37
Abbildung 13: Beispiel einer Messung bei Abweichen der Pedikelschraubenlage, (Mirza et al. 2003)	38

10.2 Graphiken

Graphik 1: Diagramm zur prozentualen Verteilung der Unfallursachen im Patientenkollektiv	41
Graphik 2: Häufigkeitsverteilung der Frakturen auf einzelne Wirbelsegmente	43
Graphik 3: Verteilung der Frakturklassifikation nach Magerl et. al. 1994	45

Graphik 4: Verteilung der Therapieformen absolut	47
Graphik 5: Pedikelschraubenlage	49
Graphik 6: GDW und Kyphosewinkel bei A1- Frakturen BWK 1-5	51
Graphik 7: GDW und Kyphosewinkel bei A1- Frakturen BWK 6-10	52
Graphik 8: GDW und Kyphosewinkel bei A1- Frakturen BWK 11- LWK 2	52
Graphik 9: GDW und Kyphosewinkel bei A1- Frakturen LWK 3-5	52
Graphik 10: GDW und Kyphosewinkel bei A2- Frakturen BWK 11- LWK 2	53
Graphik 11: GDW und Kyphosewinkel bei A3- Frakturen BWK 1-5	54
Graphik 12: GDW und Kyphosewinkel bei A3- Frakturen BWK 6-10	54
Graphik 13: GDW und Kyphosewinkel bei A3- Frakturen BWK 11- LWK 2	54
Graphik 14: GDW und Kyphosewinkel bei A3- Frakturen LWK 3-5	55
Graphik 15: GDW und Kyphosewinkel bei B2- Frakturen BWK 6-10	56
Graphik 16: GDW und Kyphosewinkel bei B2- Frakturen BWK 11- LWK 2	56
Graphik 17: GDW und Kyphosewinkel bei C1- Frakturen BWK 11- LWK 2	57
Graphik 18: Verteilung der beobachteten Vakuumphänomene auf die vier Lokalisationssubgruppen	59
Graphik 19: Therapie bei Frakturen mit beobachtetem Vakuumphänomen	59
Graphik 20: GDW und Kyphosewinkel bei Frakturen mit Vakuumphänomen BWK 11- LWK 2	60

10.3 Tabellen

Tabelle 1: Altersverteilung der Patienten	40
Tabelle 2: Verteilung der Häufigkeiten in die vorgegebenen Wirbelsäulenabschnitte	44
Tabelle 3: Durchschnittsalter zum Zeitpunkt der Therapie	46
Tabelle 4: Pedikelschraubenabweichungen nach Mirza et al. (2003)	50

Tabelle 5: Wirbelkörperhöhenabnahme	58
Tabelle 6: Wirbelkörperhöhenminderung bei Frakturen mit Vakuumphänomen	61
Tabelle 7: Verteilung der Frakturklassen nach Magerl et. al. (1994) im Vergleich mit anderen Studien	65
Tabelle 8: Therapieverfahren bei Wirbelfrakturen in der UMG (2008-2013) in absoluten und prozentualen Angaben	66

Danksagung

Bedanken möchte ich mich bei PD Dr. S. Sehmisch für die Überlassung des Themas und die Unterstützung bei allen Fragen und Anregungen im Laufe der Zusammenarbeit.

Außerdem bedanke ich mich bei Dr. Ch. Spering für die Zusammenarbeit und Unterstützung bei der Erhebung der Daten und für die Hilfe bei der Klassifikation der Wirbelfrakturen.

Für die Bereitstellung aller zur Durchführung meiner Promotion erforderlichen Daten danke ich den Abteilungen Orthopädie und Unfallchirurgie und Radiologie/ Neuroradiologie.

Lebenslauf

Am 22. April 1990 wurde ich, Lea Schneider, als zweite von drei Töchtern in Wolfenbüttel geboren. Meine Eltern sind die Eventmanagerin Anke Bergmann und der Dipl.- Ing. Jens Schneider. Meine Schwestern sind Nora Schneider, Promovendin der Rechtswissenschaften an der Universität Göttingen und Gesa Schneider, B.Sc. der Betriebswirtschaftslehre.

Nach dem Besuch der Grundschule Lehdorf in Braunschweig 1996 bis 2000 erfolgte eine zweijährige Ausbildung auf der Jugenddorf Christophorusschule bis 2002. Die allgemeine Hochschulreife schloss ich 2009 auf der Gaußschule, Gymnasium am Löwenwall, mit der Note 1,5 in Braunschweig ab.

Nach der Schulzeit begann ich im Wintersemester 2009 das Studium der Zahnmedizin an der Georg August Universität in Göttingen, wo ich im Sommersemester 2010 die Naturwissenschaftliche Prüfung und im Wintersemester 2012 die Zahnärztliche Vorprüfung jeweils mit der Note „sehr gut“ ablegte.

Im Wintersemester 2014 absolvierte ich das Staatsexamen der Zahnmedizin mit der Note „sehr gut“ zum Erlangen der Zahnärztlichen Approbation am 2.12.2014.

Seit Februar des Jahres 2015 bin ich als Assistenz Zahnärztin in der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik an der Universitätsmedizin Göttingen tätig.