

Aus der Klinik und Poliklinik für Unfall-, Hand-, Plastische und  
Wiederherstellungschirurgie  
der Universität Würzburg

Direktor: Professor Dr. med. Rainer H. Meffert

**Kombinierte Versorgung osteoporotischer  
Kompressionsfrakturen mit dorsaler  
Instrumentierung und Ballonkyphoplastie  
des betroffenen Wirbelkörpers – Vergleich  
von konventioneller offener und  
minimalinvasiver Operationstechnik**

**Inaugural - Dissertation**

zur Erlangung der Doktorwürde der

Medizinischen Fakultät

der

Julius-Maximilians-Universität Würzburg

vorgelegt von

**Steffen Bauer**

aus

Krautheim - Altkrautheim

**Würzburg, Juli 2016**

**Referent:** Prof. Dr. Rainer H. Meffert  
**Korreferent:** Priv.-Doz. Dr. Jörn Maroske  
**Dekan:** Prof. Dr. Matthias Frosch

Tag der mündlichen Prüfung: 5. Oktober 2017

Der Promovend ist Arzt

***Meiner Familie gewidmet.***

## **Abkürzungsverzeichnis**

AO	–	Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen
BWK	–	Brustwirbelkörper
BWS	–	Brustwirbelsäule
CK	–	Kreatin Kinase
CT	–	Computertomographie
DGU	–	Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie
DISH	–	Diffuse idiopathische Skeletthyperostose
et al.	–	und andere
GDW	–	Grund-Deckplatten-Winkel
Hb	–	Hämoglobin
HWS	–	Halswirbelsäule
konv.	–	konventionell/es
L	–	Lumbal
LWK	–	Lendenwirbelkörper
LWS	–	Lendenwirbelsäule
m	–	Monat
M.	–	Musculus
MCS	–	Multicenter-Studie
NU	–	Nachuntersuchung
PMMA	–	Polymethylmethacrylat
Rö	–	Röntgen
Rr.	–	Rami
T	–	Thorakal
VAS	–	Visuelle Analogskala
vs.	–	versus
w	–	Woche

# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	1
1.1	Epidemiologie von Frakturen der Wirbelsäule .....	1
1.2	Klassifikationen von Frakturen der Wirbelsäule .....	2
1.3	Indikationsstellung .....	5
1.3.1	Operation .....	5
1.3.2	Kyphoplastie .....	6
1.3.3	minimalinvasive Stabilisierung .....	8
1.4	Zielsetzung der Arbeit .....	10
2	Material und Methoden .....	12
2.1	Studiendesign .....	12
2.2	Patientenkollektiv .....	12
2.3	Frakturlokalisierung und Einteilung .....	14
2.4	Messverfahren .....	16
2.4.1	Visuelle Analogskala .....	16
2.4.2	Grund-Deckplatten-Winkel .....	21
2.4.3	Ermittlung Schmerzmittelbedarf .....	23
2.4.4	Statistische Auswertung .....	24
2.5	Operationsverfahren .....	25
2.5.1	Kyphoplastie .....	25
2.5.2	minimalinvasive dorsale Instrumentierung .....	26
3	Ergebnisse .....	28
3.1	Ergebnisse GDW .....	28
3.1.1	Grad der Wiederaufrichtung .....	28
3.1.2	Korrekturverlust nach 6 Wochen (1. NU) .....	31
3.1.3	Korrekturverlust nach 3-6 Monaten (2. NU) .....	33
3.1.4	Korrekturverlust nach mindestens 9 Monaten (3. NU) .....	35
3.1.5	Verlauf GDW .....	37
3.2	Ergebnisse VAS .....	39
3.2.1	VAS-Pain vor dem Unfall .....	39
3.2.2	VAS-Pain unmittelbar vor Operation .....	40
3.2.3	VAS-Pain >9 Monate nach der Operation .....	41
3.2.4	VAS-Wirbelsäulenscore der Arbeitsgemeinschaft „Wirbelsäule“ der DGU .....	42
3.2.5	Vergleich aller VAS .....	44
3.3	Ergebnisse Schmerzmittelbedarf .....	45

4	Diskussion.....	47
4.1	Vergleichsstudien.....	47
4.1.1	Patientenkollektiv und Frakturlokalisierung.....	47
4.1.2	offenes Vorgehen mit Kyphoplastie.....	48
4.1.3	Vergleich GDW.....	50
4.1.4	Vergleich VAS.....	56
4.1.5	Schmerzmittelbedarf.....	62
4.2	Komplikationen.....	63
4.3	Vergleich offener mit minimalinvasiver Stabilisierung.....	64
4.3.1	Vorteile minimalinvasiver Stabilisierung.....	64
4.3.2	Nachteile minimalinvasive Stabilisierung.....	68
4.3.3	Keine Unterschiede zwischen beiden Verfahren.....	69
4.4	Schwächen der Studie.....	69
4.5	Fazit.....	72
5	Zusammenfassung.....	73
6	Literatur- und Abbildungsverzeichnis.....	75

# **1 EINLEITUNG**

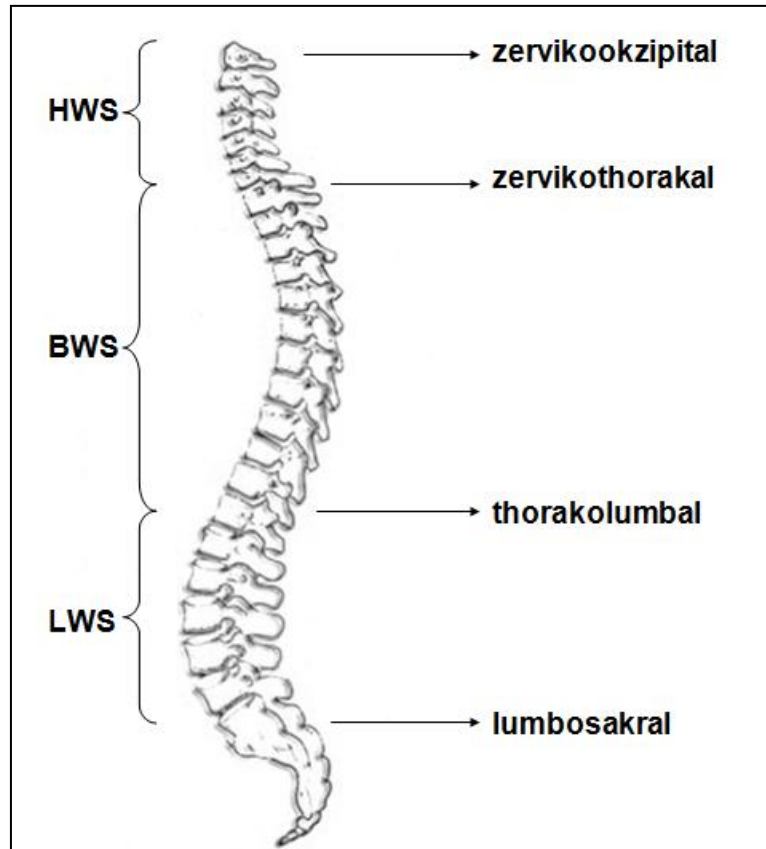
## **1.1 EPIDEMIOLOGIE VON FRAKTUREN DER WIRBELSÄULE**

In Deutschland ist jährlich von 10.000 relevanten Verletzungen der Wirbelsäule auszugehen. Hiervon betreffen 70-80% den Bereich der Brust- und Lendenwirbelsäule, davon wiederum über 50% den thorakolumbalen Übergang<sup>1</sup>. Eine genaue Ermittlung dieser Daten fällt jedoch aufgrund der fehlenden Dokumentation leichterer Verletzungen schwer<sup>1</sup>.

Bei fast der Hälfte aller Verletzungen des thorakolumbalen Übergangs ist der erste Lendenwirbelkörper betroffen, der zwölfte Brustwirbel in 24,9% und der zweite Lendenwirbel in 20,7%<sup>2</sup>.

Der thorakolumbale Übergang umfasst den Bereich von BWK 11 bis LWK 2<sup>1</sup>, wobei diese Einteilung nicht als starr betrachtet werden kann und Abweichungen je nach Autor möglich sind.

Aus mehreren Gründen sind die Übergangsbereiche der Wirbelsäule (*Abbildung 1*) und hier vor allem der thorakolumbale Übergang besonders häufig von Verletzungen betroffen<sup>3</sup>. Dies liegt unter anderem daran, dass die schützende Funktion des Rippenkäfigs, welcher im gewissen Maße die BWS nach vorne und gegen Rotation sichert, in diesem Bereich nicht mehr vorhanden ist. Darüber hinaus findet hier ein Übergang zum einen von der Brustkyphose zur Lendenlordose, zum anderen von der starren BWS zur flexiblen LWS statt.



**Abbildung 1:** Abschnitte und Übergangsregionen der Wirbelsäule

## **1.2 KLASSIFIKATIONEN VON FRAKTUREN DER WIRBELSÄULE**

Frakturen der Wirbelsäule können nach verschiedenen Klassifikationen eingeteilt werden. Das 1968 von Kelly und Whitesides<sup>4</sup> entwickelte Zwei-Säulen-Modell, welches die Wirbelsäule in ein vorderes druckbelastetes und hinteres unter Zugspannung stehendes Segment einteilt, wurde 1983 von Denis<sup>5</sup> zum Drei-Säulen-Modell erweitert. Dieses teilt die Wirbelsäule in eine vordere, mittlere und hintere Säule ein.

Magerl et al<sup>6</sup> entwickelten 1994 eine Klassifikation für die Brust- und Lendenwirbelsäule, welche die Verletzungen in Kompressions- (Typ A), Distraktions- (Typ B) und Rotationsverletzungen (Typ C) einteilt. Darüber hinaus erfolgt noch eine Unterteilung in folgende Subgruppen, wobei nur die in



vorliegender Arbeit eingeschlossenen Typ A- und B-Verletzungen näher erläutert werden.

**Tabelle 1:** Klassifikation zur Beurteilung von Verletzungen der Brust- und Lendenwirbelsäule nach Magerl et al.<sup>6</sup>

Typ A	Kompressionsverletzung			
	A1	Impaktionsbruch		
A1.1		Deckplattenimpression		
A1.2		Keilbruch		
		A1.2.1	kranial	
		A1.2.2	lateral	
		A1.2.3	kaudal	
A1.3		Wirbelkörperimpaktion		
A2		Spaltbruch		
		A2.1	sagittaler Spaltbruch	
		A2.2	frontaler Spaltbruch	
	A2.3	Kneifzangenbruch		
A3	Berstungsbruch			
	A3.1	Inkompletter Berstungsbruch		
		A3.1.1	kranial	
		A3.1.2	lateral	
		A3.1.3	kaudal	
	A3.2	Berstungsspaltbruch		
		A3.2.1	kranial	
		A3.2.2	lateral	
		A3.2.3	kaudal	
	A3.3	kompletter Berstungsbruch		
A3.3.1		Kneifzangenberstungsbruch		

		A3.3.2	kompletter Flexionsberstungsbruch	
		A3.3.3	kompletter axialer Berstungsbruch	
<b>Typ B</b>	<b>Distraktionsverletzung</b>			
	B1	dorsale, vor allem ligamentäre Zerreißung		
	B1.1	mit horizontaler Zerreißung der Bandscheibe		
		B1.1.1	Flexionssubluxation	
		B1.1.2	anteriore Dislokation	
		B1.1.3	B1.1.1 oder B1.1.2 mit Fraktur Gelenkfortsatz	
	B1.2	mit Typ A Verletzung		
		B1.2.1	Flexionssubluxation mit Typ A Verletzung	
		B1.2.2	anteriore Dislokation mit Typ A Verletzung	
		B1.2.3	B1.2.1 oder B1.2.2 mit Fraktur Gelenkfortsatz	
	B2	dorsale, vor allem ossäre Zerreißung		
		B2.1	mit horizontale Wirbel-Zerreißung	
		B2.2	mit horizontaler Zerreißung der Bandscheibe	
			B2.2.1	durch Pedikel und Bandscheibe
		B2.2.2	durch Pars interarticularis und Bandscheibe	
		B2.3	mit Typ A Verletzung	
			B2.3.1	durch Pedikel und Typ A Verletzung
			B2.3.2	durch Pars interarticularis und Typ A Verletzung
		B3	ventrale Zerreißung durch Bandscheibe	
			B3.1	Hyperextensions-Subluxation
	B3.1.1			ohne Verletzung der hinteren Säule
B3.1.2	mit Verletzung der hinteren Säule			
B3.2	Hyperextensions-Spondylolyse			
B3.3	hintere Luxation			

## 1.3 INDIKATIONSSTELLUNG

### 1.3.1 OPERATION

Für die Versorgung von Frakturen der Wirbelsäule stehen verschiedene Therapiestandards zur Verfügung. Außerdem steigt die Anzahl an Methoden und Implantaten stetig an. Daher gibt es derzeit kein einheitliches Vorgehen bei der Behandlung dieser Frakturen<sup>7</sup>.

Patienten mit instabilen Frakturen werden in der Regel frühzeitig operativ versorgt. Instabile Frakturen sind dahingehend definiert, dass durch eine Mobilisierung des Patienten Verschlechterungen der neurologischen Funktionen sowie der knöchernen Strukturen zu erwarten sind, während dies bei stabilen Brüchen nicht zutrifft<sup>8</sup>. Besonders im Übergangsbereich zwischen hochgradig instabilen Frakturen und stabilen Frakturen gehen in die Therapieentscheidung zahlreiche weitere Modifikatoren ein (Alter, Knochenqualität, Funktionsanspruch, Allgemeinzustand usw.).

Eine konservative Therapie kann beim Großteil der Wirbelkörperfrakturen durchgeführt werden. Zu diesen gehören je nach Autor die Frakturen nach Magerl<sup>6</sup> A1.1-3 sowie A2.1-2<sup>9</sup>. Andere Autoren halten eine konservative Therapie grundsätzlich bei allen A-Verletzungen nach Magerl et al. für möglich<sup>8</sup>. B- und C-Verletzungen werden in der Regel operativ versorgt. Grundsätzlich sollten jedoch für eine konservative Therapie keine der nachfolgenden Befunde vorliegen, die eine operative Versorgung nötig machen<sup>8,9</sup>:

- neurologisches Defizit
- instabile Frakturen
- Fehlstellungen >20 Grad
- Sinterung >  $\frac{1}{3}$  Wirbelkörperhöhe
- Therapierefraktäre Schmerzen bei konservativem Vorgehen
- Wirbelsäulenverletzungen mit Begleitverletzungen
- deutliche Separation der Fragmente

Die konservative Therapie sieht eine frühfunktionelle Mobilisierung mit Schmerz- und Physiotherapie vor. Die Verwendung eines Korsetts wird hierbei kontrovers diskutiert<sup>8,9</sup>.

Grundsätzlich stehen für die operative Versorgung dorsale und ventrale sowie kombinierte Verfahren zur Verfügung<sup>1</sup>.

Dorsale Verfahren werden bereits seit mehreren Jahrzehnten vorwiegend zur Stabilisierung instabiler Frakturen eingesetzt<sup>10</sup>. Bei alleiniger dorsaler Stabilisierung, z.B. von Berstungsbrüchen, ist mit einem hohen Korrekturverlust zu rechnen, da hierbei die ventrale Säule nicht rekonstruiert wird<sup>11</sup>. Diese trägt aber im thorakolumbalen Übergang 80% der Last<sup>12</sup>. Daher werden zur Reposition der Fehlstellung und zur Stabilisierung der ventralen Säule zunehmend dorsoventrale Verfahren angewandt<sup>13</sup>. Bei einer Einengung des Spinalkanals mit neurologischen Ausfällen wird eine ventrale Versorgung angestrebt<sup>14</sup>.

### **1.3.2 KYPHOPLASTIE**

Die Kyphoplastie wird mit dem Ziel der Schmerzreduktion, Wiederherstellung der Wirbelkörperhöhe und Reduktion der kyphotischen Fehlstellung angewandt<sup>15</sup>. Sie baut auf den Erfahrungen der Vertebroplastie auf, wurde 1998 das erste Mal angewandt<sup>16</sup> und wird seit 2000 an deutschen Kliniken zunehmend eingesetzt<sup>17</sup>. Bis 2010 wurden weltweit über 600.000 Kyphoplastien durchgeführt<sup>18</sup>. Aufgrund guter Erfahrungen haben sich die Anwendungsbereiche nach und nach erweitert. Anfangs wurden nur osteoporotische Sinterungsfrakturen des thorakolumbalen Übergangs versorgt, welche auch nach wie vor das größte Einsatzgebiet der Kyphoplastie darstellen<sup>15</sup>. Mittlerweile werden aber auch Frakturen im Bereich des Os sacrum und der hohen thorakalen Wirbelsäule versorgt, was jedoch noch keine breite Anwendung gefunden hat und nur von wenigen Operateuren erprobt wird<sup>19</sup>.

Grundsätzlich kann die Kyphoplastie bei folgenden Indikationen eingesetzt werden<sup>15,18,20</sup>:

- Schmerzhaft Frakturen der BWS/LWS bei älteren Patienten
- Traumatische Frakturen der Wirbelsäule, die weniger als drei Monate alt sind
- Pathologische Frakturen, bei palliativer Situation
- Osteoporotische Sinterungsfrakturen
- Primäre benigne Tumore der Wirbelsäule
- Kyphosewinkel >15 Grad
- Sinterung >  $\frac{1}{5}$  der vorherigen Wirbelkörperhöhe

Folgende Kontraindikationen sind jedoch bei der Durchführung einer Kyphoplastie zu beachten<sup>15,20,21</sup>:

- Infektionen der zu behandelnden Bereiche (Haut, Spondylitis, Osteomyelitis)
- Keine OP-/Narkosefähigkeit
- Gerinnungsstörungen (angeboren, Medikamenteneinnahme)
- Schmerzlose, stabile, alte Sinterungsfrakturen
- Hochgradige degenerative Veränderung der Wirbelsäule
- Wirbelkörperresthöhe <  $\frac{1}{3}$  der ursprünglichen Höhe (Vertebra plana)
- Hinterkanteninstabilität, da Gefahr des Zementaustritts (Kontraindikation für eine alleinige Kyphoplastie)
- Osteolyse oder Weichteiltumor mit Einbruch in Spinalkanal
- Unterschiede bei Lokalisation von Schmerzen und Fraktur
- Allergien gegen Inhaltsstoffe des PMMA
- Patienten < 60 Jahren (mit Ausnahme von Tumor-bedingten Frakturen in palliativer Situation)

### 1.3.3 MINIMALINVASIVE STABILISIERUNG

Minimalinvasive dorsale Verfahren an der Wirbelsäule entwickelten sich aus der degenerativen Wirbelsäulen Chirurgie<sup>22</sup>. Magerl führte (seit 1977) zuerst eine minimalinvasive dorsale Platzierung von Pedikelschrauben durch, die zur Behandlung von Frakturen und Osteomyelitis eingesetzt wurde. Hierbei wurden jedoch keine Längsträger in den Körper eingebracht, sondern die Kraft mittels eines Fixateur externe übertragen<sup>23</sup>. Magerl beschrieb jedoch selbst die großen Nachteile des extern angebrachten „Spanners“. So mussten Patienten ein Mieder tragen, um den Spanner zu bedecken, weiterhin eine Matratze mit Aussparung benutzen, um liegen zu können<sup>24</sup>. 1984 beschrieben Dick et al. die Einbringung eines Fixateur interne über einen dorsalen Längsschnitt<sup>25</sup>. Das perkutane Einbringen eines Längsträgers mittels Sextant-Systems wurde 2002 von Foley und Gupta beschrieben. Dieses System wurde zuerst bei Patienten mit Spondylolisthesis und verzögerter Knochenheilung angewandt<sup>26</sup>.

Heutzutage sind degenerative Erkrankungen der Wirbelsäule der Hauptanwendungsbereich von perkutanen Instrumentierungen<sup>27</sup>.

Außerdem können Patienten mit Metastasen in der Wirbelsäule, bei denen in der Regel eine palliative Situation besteht, minimalinvasiv stabilisiert werden. Da durch die Reduktion des iatrogenen Traumas weniger Belastung für den Körper entsteht<sup>28</sup>, profitieren gerade durch das Tumorleiden ohnehin schon geschwächte Patienten von diesem Verfahren<sup>27</sup>. Hier konnte gezeigt werden, dass diese nach perkutaner Versorgung signifikant schmerzärmer waren und schneller mobilisiert werden konnten<sup>29</sup>. Auch der frühere Beginn einer adjuvanten Therapie wird ermöglicht, da z.B. eine Radiatio erst durchgeführt werden kann, wenn die Wundheilung abgeschlossen ist<sup>30</sup>. Die Grenzen des minimalinvasiven Vorgehens liegen jedoch darin, dass bei einem nötigen Tumordebulking das offene Verfahren bevorzugt werden sollte<sup>29</sup>. Zudem sollten stark vaskularisierte Tumore wegen möglichen späteren epiduralen Einblutungen, sowie zirkumferenzielle Tumore weiterhin offen behandelt werden<sup>31</sup>.

Aufgrund der nachfolgenden immunologischen Reaktion<sup>32</sup> nützt auch Patienten eines Polytraumas eine schonende und schnell durchführbare, also perkutane, Stabilisierung<sup>33</sup>. Durch diese kann im Gegensatz zum offenen Verfahren schon am Unfalltag selbst eine vorübergehende Stabilisierung der Wirbelsäule erfolgen. Erst nachdem sich der Zustand des Patienten ausreichend stabilisiert hat, kann ggf. eine notwendige endgültige Versorgung der Wirbelsäule durchgeführt werden<sup>27</sup>.

Ein weiteres Anwendungsgebiet findet die perkutane Instrumentierung in der Versorgung einer Spondylitis oder Spondylodiszitis<sup>34</sup>. Hier konnte gezeigt werden, dass die minimalinvasive Stabilisierung ebenso zuverlässig ist wie die offene Instrumentierung<sup>35</sup>.

Auch werden zunehmend frische Frakturen perkutan versorgt. Aufgrund fehlender geschlossener Repositionsmöglichkeiten ist dies jedoch nicht bei Luxationsverletzungen und instabilen Rotationsverletzungen möglich<sup>34</sup>.

Heutzutage werden perkutane Instrumentierungen zur Versorgung von Frakturen der Wirbelsäule eingesetzt, wenn folgende Kriterien erfüllt werden können<sup>27,36,37</sup>:

- Erreichen eines suffizienten Repositionsergebnisses durch angemessene Lagerung
- gute intraoperative Darstellbarkeit der Wirbelsäule mittels Bildwandler
- Entbehrlichkeit eines zusätzlichen Eingriffs, der ein offenes Vorgehen notwendig macht

Außerdem muss der Operateur in der Lage sein, bei Problemen, die über den perkutanen Zugangsweg nicht mehr zu beherrschen sind<sup>27</sup>, oder eines der oben genannten Kriterien nicht vorliegt, auf das offene Verfahren zu wechseln<sup>9</sup>. Das heißt vor allem, dass bei ungenügender Reposition auf das perkutane Verfahren verzichtet werden sollte<sup>7,9</sup>.

Während sich der Großteil der Studien mit der perkutanen Versorgung im thorakolumbalen Übergang befasst, konnten Schäfer et al.<sup>38</sup> zeigen, dass dies

auch im HWS-Bereich und zervikothorakalen Übergangs möglich ist, wenngleich dies auch bedeutend schwieriger zu bewerkstelligen ist und daher nur erfahrenen Operateuren empfohlen wird.

#### **1.4 ZIELSETZUNG DER ARBEIT**

Ziel der Arbeit waren die Evaluation und der Vergleich von Reposition und Korrekturverlust von Wirbelkörperfrakturen des thorakolumbalen Übergangs bei konventioneller offener und minimalinvasiver Instrumentierung. Weiterhin soll erkundet werden, ob sich ein schonenderes Operationsverfahren im Langzeitverlauf auf das subjektive Empfinden und den Schmerzmittelbedarf der Patienten vorteilhaft auswirkt. Hierzu wurden die in diesem Kollektiv minimalinvasiv versorgten Frakturen mit einem offen operierten Vergleichskollektiv verglichen. Bei beiden Verfahren wurde zusätzlich eine Ballonkyphoplastie des betroffenen Wirbelkörpers durchgeführt.

Für die Versorgung traumatischer Frakturen der Wirbelsäule mittels einer Kombination von Kyphoplastie und perkutaner Stabilisierung lagen bei Beginn dieser Arbeit keine Daten vor, welche im Verlauf den Grad der Aufrichtung und den nachfolgenden Korrekturverlust sowie das subjektive Befinden der Patienten beschreiben.

Grass beschrieb bei einer alleinigen dorsalen Instrumentierung (also ohne Kyphoplastie), dass je nach zu behandelnder Fraktur die physiologische Wirbelsäulenkrümmung nicht vollständig wiederhergestellt wird<sup>36</sup>, da über die perkutanen eingebrachten Polyaxialschrauben nur eingeschränkt reponiert werden kann und dadurch möglicherweise ein schlechteres Repositionsergebnis entsteht<sup>39,40</sup>. Dies sah er bei der Veröffentlichung der Studie 2006 aber auch als Anreiz für neue Entwicklungen<sup>36</sup>.

Wang et al.<sup>41</sup> untersuchten Typ A Frakturen des thorakolumbalen Übergangs hinsichtlich des Grads der Wiederaufrichtung und des Korrekturverlustes. Hierbei erhielten 38 Patienten eine dorsale Instrumentierung, jedoch ohne



Kyphoplastie, wovon 17 minimalinvasiv und 21 offen stabilisiert wurden. Es konnte ein signifikanter Unterschied der Wiederaufrichtung der Wirbelsäule zwischen beiden Verfahren gezeigt werden. Dieser betrug 67,3% (im Vergleich zur normalen Höhe) vor der Operation zu 95,8% beim offenen Vorgehen vs. 69,1% präoperativ zu 90,1% postoperativ beim perkutanen. Der durchschnittliche Winkel der Kyphose verbesserte sich beim offenen um 9,3 Grad im Vergleich zu 10,3 Grad beim perkutanen Vorgehen; dies stellt keinen signifikanten Unterschied dar. Bei der offenen Reposition stellte sich ein Korrekturverlust bei der Nachuntersuchung 8-24 Monate postoperativ ( $\bar{\Delta}$  11,6 Monate) von 3,0 Grad ein (vs. 3,2 Grad perkutan). Zu berücksichtigen ist jedoch, dass bei dieser Studie Patienten mit größerer Fehlstellung eher offen instrumentiert wurden und dass im Vergleich zu dieser Arbeit keine Kyphoplastie durchgeführt wurde.

Es herrscht aber auch Uneinigkeit, inwiefern kyphotische Fehlstellungen überhaupt einen Einfluss auf das Befinden der Patienten haben<sup>42-49</sup>. Deshalb wurden in dieser Arbeit sowohl der Grad der Wiederaufrichtung und der nachfolgende Korrekturverlust ermittelt als auch das subjektive Ergebnis.

## **2 MATERIAL UND METHODEN**

### **2.1 STUDIENDESIGN**

Bei dieser Studie handelt es sich um eine prospektive Verlaufsbeobachtung von Patienten, die bei instabilen Läsionen der Brust- oder Lendenwirbelsäule in Form einer Kombination aus dorsaler Instrumentierung und Ballonkyphoplastie der betroffenen Wirbelkörpers behandelt wurden.

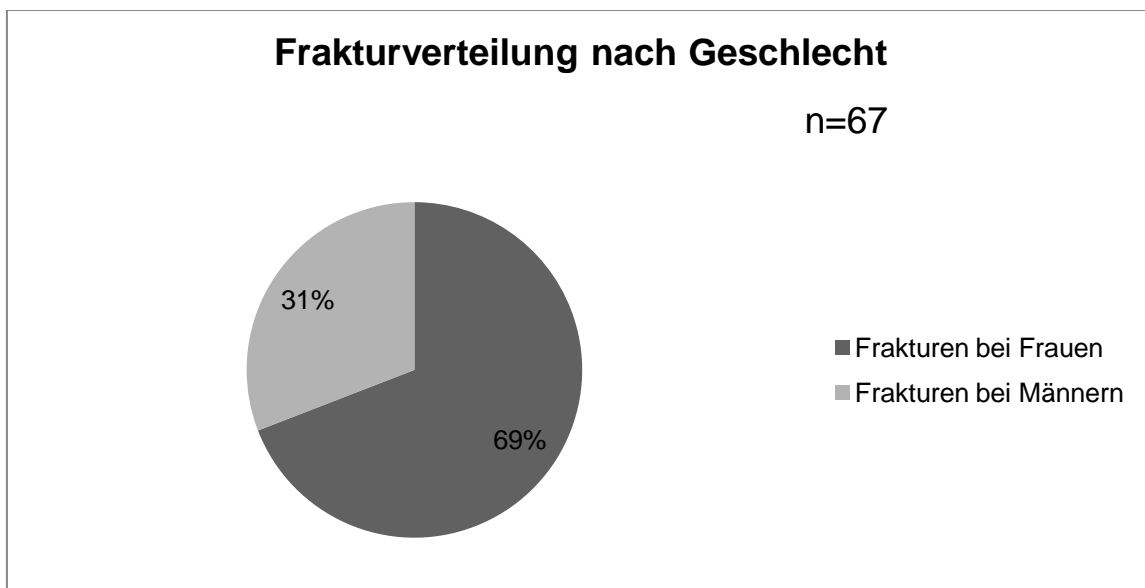
Von der Studie ausgeschlossen wurden Patienten, die eine Typ C Fraktur nach Magerl et al./AO<sup>6</sup> erlitten hatten. Weiterhin durften die Patienten keine neu aufgetretenen neurologischen Begleitverletzungen haben. Diese wurden nach der Klassifikation nach Frankel et al.<sup>50</sup> eingeteilt. Hierbei hatten alle Patienten, welche in diese Studie mit eingeschlossen wurden, den Status „Frankel E“, d.h. kein neurologisches Defizit. Zudem wurden Frakturen von der Studie ausgeschlossen, die bei Versorgung älter als sechs Wochen waren.

### **2.2 PATIENTENKOLLEKTIV**

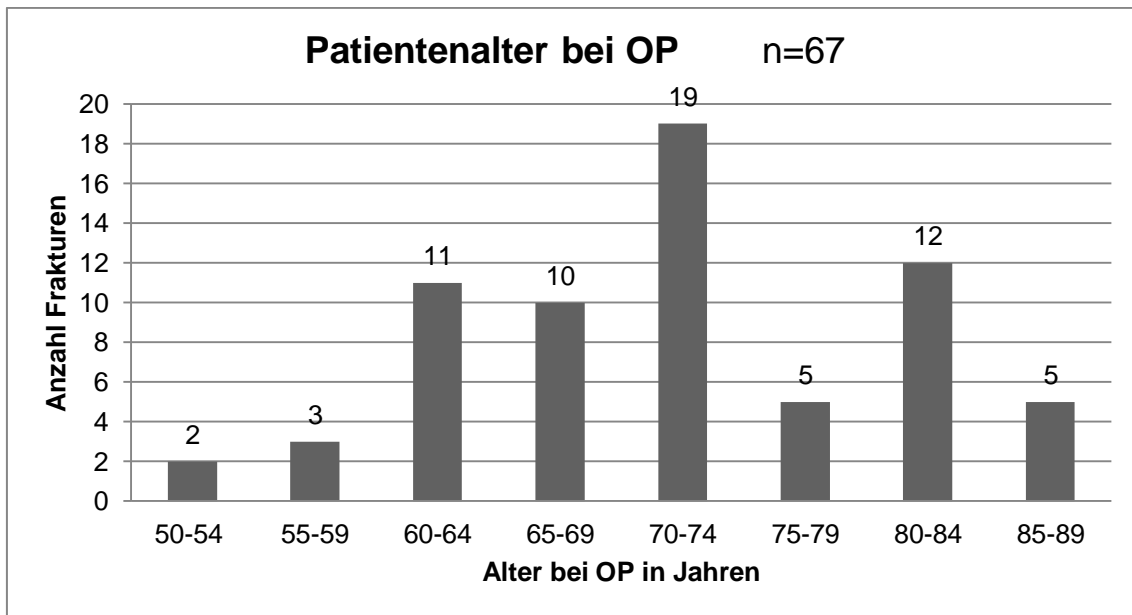
In der Studie wurden Verläufe von 64 Patienten untersucht, die sich im Zeitraum von 1. Juni 2009 bis zum 31. Mai 2011 einer Kyphoplastie kombiniert mit einer minimalinvasiven dorsalen Instrumentierung unterzogen haben. Untersucht wurden insgesamt 67 Frakturen, da bei drei Patienten je zwei Frakturen behandelt wurden. Von diesen Frakturen lagen 68,7 % bei Frauen ( $\cong$  46 Frakturen) und 31,3 % bei Männern vor ( $\cong$  21 Frakturen) (*Abbildung 2*). Das Durchschnittsalter der Patienten bei stationärer Aufnahme betrug  $71,3 \pm 8,9$  Jahre, wobei hier Patienten, die an mehreren Frakturen zu unterschiedlichen Zeitpunkten behandelt wurden, auch mehrfach in die Berechnung mit eingehen (50-87 Jahre) (*Abbildung 3*).

Von den 67 Frakturen konnte bei 59 der Grad der Wiederaufrichtung bestimmt werden. Eine radiologische Untersuchung ließ sich nach sechs Wochen bei 35 Frakturen durchführen, bei 28 nach drei bis sechs Monaten und bei 43 nach mehr als neun Monaten. Beachtet werden muss aber, dass zur Auswertung der Korrekturverluste unmittelbar postoperative konventionelle Röntgenaufnahmen vorliegen müssen, da auch bei der Nachuntersuchung konventionelle Röntgenaufnahmen erstellt wurden. Daher konnten nicht alle der Nachuntersuchungsaufnahmen ausgewertet werden können.

Von 49 der 64 in der Studie eingeschlossenen Patienten konnte ein Jahr nach der Operation die VAS-Pain oder der VAS-Wirbelsäulenscore der DGU erhoben werden. Hiervon wurden zwei VAS-Pain Bögen und 15 Bögen des VAS-Wirbelsäulenscore der DGU von den befragten Patienten nicht oder nicht in richtiger Art und Weise ausgefüllt, folglich bearbeiteten 32 Patienten beide VAS korrekt.



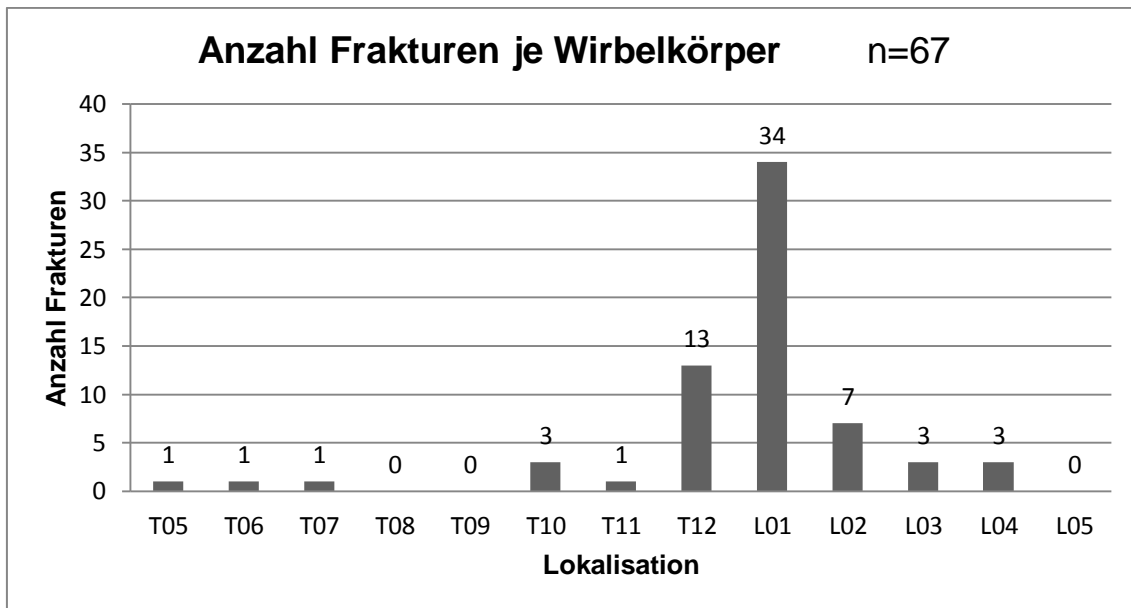
**Abbildung 2:** Diagramm; Frakturverteilung des untersuchten Patientenkollektivs nach Geschlecht



**Abbildung 3:** Diagramm; Alter des untersuchten Patientenkollektivs bei Operation

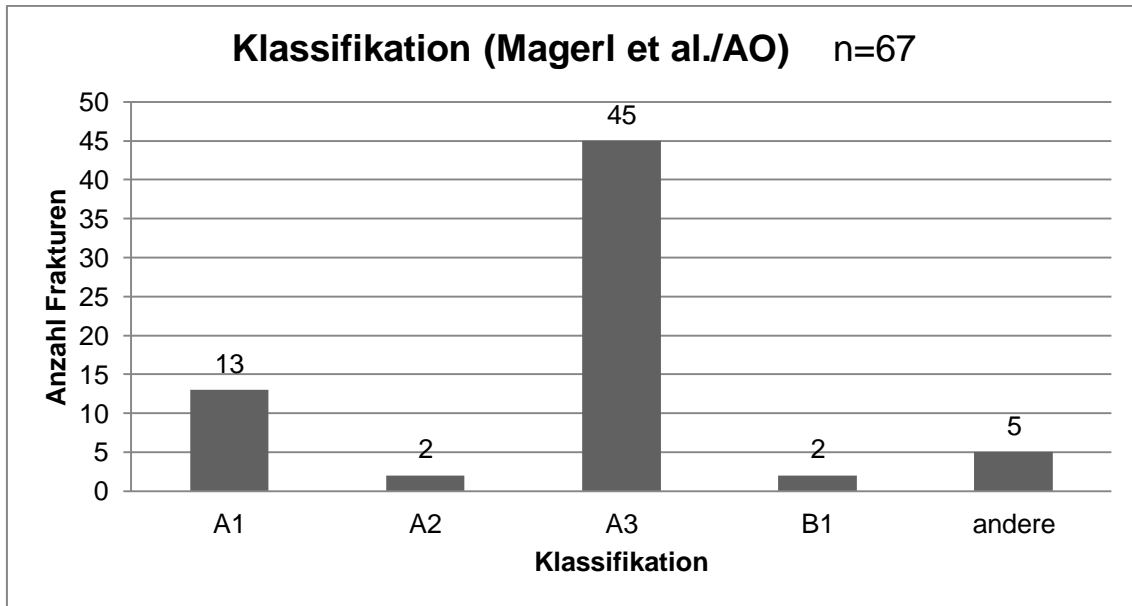
### **2.3 FRAKTURLOKALISATION UND EINTEILUNG**

Die in der dieser Studie versorgten Frakturen liegen im Bereich zwischen T05 und L04. 82,1 % hiervon befinden sich bei den Wirbelkörpern T11 und L02 (Abbildung 4).



**Abbildung 4:** Diagramm; Lokalisation der behandelten Frakturen

Die Klassifikation der Frakturen erfolgte nach Magerl et al<sup>6</sup>. Von den insgesamt 67 versorgten Frakturen können 60 zu „A“ zugeordnet werden. Davon waren 13 A1, zwei A2 und 45 A3. Nach B eingeteilt wurden zwei Frakturen, wobei beide B1 waren. Fünf Frakturen konnten, vorwiegend aufgrund atypischer Morphologie bei schweren degenerativen Erkrankungen (z.B. Morbus Bechterew, DISH), nicht eingeteilt werden (*Abbildung 5*).



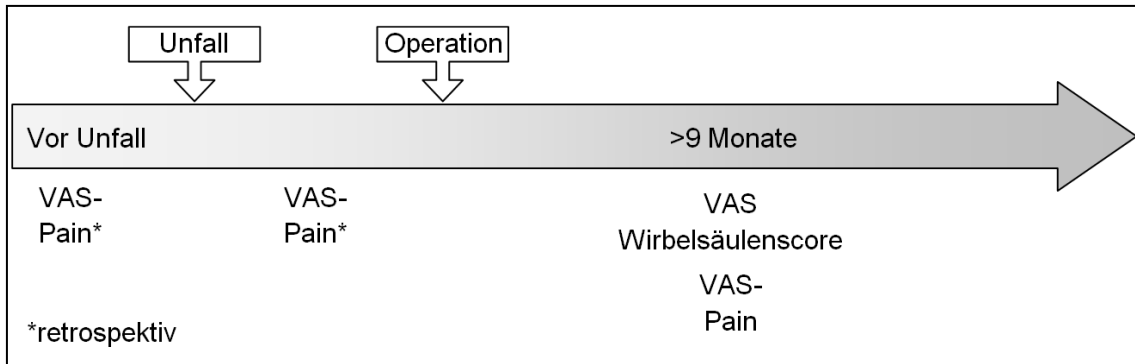
**Abbildung 5:** Diagramm; Fraktureinteilung der untersuchten Frakturen nach Magerl et al./AO<sup>6</sup>

## 2.4 MESSVERFAHREN

### 2.4.1 VISUELLE ANALOGSKALA

Um das subjektive Empfinden der Patienten in Daten fassen zu können, wurden die Patienten zu drei Zeitpunkten zu ihren Schmerzen und Einschränkungen befragt.

Mittels einer visuellen Analogskala (nachfolgend als VAS-Pain benannt) wurde die Schmerzstärke an der Wirbelsäule direkt vor dem Unfallereignis und unmittelbar vor der Operation ermittelt. Mindestens neun Monate nach der Operation sollten die Patienten den VAS-Wirbelsäulenscore der Arbeitsgemeinschaft „Wirbelsäule“ der DGU und die VAS-Pain bearbeiten.



**Abbildung 6:** Zeitpunkte der Erfassung VAS-Pain und VAS-Wirbelsäulenscore der Arbeitsgemeinschaft „Wirbelsäule“ der DGU

#### 2.4.1.1 VAS-PAIN

Die Patienten haben die VAS-Pain für den Zeitraum „vor dem Unfallereignis“ sowie den Zeitpunkt „nach dem Unfall und vor der Operation“ beantwortet sowie zum Zeitpunkt der dritten Nachuntersuchung. Hierbei sollten sie ihre Schmerzen an der Wirbelsäule auf einer Scala angeben, welche links mit dem Extrem „schlimmste Schmerzen“ und rechts durch das Extrem „gar keine Schmerzen“ gekennzeichnet ist. Zwischen beiden Extremen können die Patienten mittels eines Kreuzes oder Striches ihre Lage einschätzen. Die Skala besitzt keine Unterteilung in Form von Wörtern oder Zahlenwerten, da gezeigt werden konnte, dass an solchen Unterteilungen Häufungen von Patientenangaben zu finden sind<sup>51</sup>. Die Auswertung erfolgte durch Ausmessung der Strecke zwischen „gar keine Schmerzen“ und der vom Patienten gesetzten Markierung. Diese Strecke wurde nun in Relation zur Gesamtstrecke gesetzt und dieser Wert in einen Punktwert zwischen „0“ (bei gar keinen Schmerzen) und „10“ (bei schlimmsten Schmerzen) umgerechnet. Hierbei wurde sich auf die Befragung der Schmerzen beschränkt, da zum einen Patienten weniger Fragen beantworten mussten und somit ein größerer Rücklauf erhofft wurde. Zum anderen können Einzelaktivitäten, wie sie z.B. im VAS-Wirbelsäulescore ermittelt werden, in dem langen Zeitraum retrospektiv nicht mehr genau beantwortet werden. Es lässt sich mittels der VAS-Pain zum Zeitpunkt präoperativ zeigen, ob bereits vor dem Unfallereignis ein starkes Schmerzempfinden der Wirbelsäule bestand und somit die nachfolgende

Bestimmung des VAS-Wirbelsäulenscores der DGU ein Jahr nach der Operation beeinflusst wird.

#### **2.4.1.2 VAS-WIRBELSÄULENSCORE DER ARBEITSGEMEINSCHAFT**

##### **„WIRBELSÄULE“ DER DGU**

Für die Nachuntersuchung der Patienten länger als neun Monate nach der Operation wurde ein Test gesucht, der untersucherunabhängig das subjektive Empfinden des Patienten beschreibt.

Hierfür wurde der VAS-Wirbelsäulenscore der Arbeitsgemeinschaft „Wirbelsäule“ der DGU verwendet. Dieser Test erfüllt die empirischen Gütekriterien der Validität und Reliabilität und kann bei Verletzungen der Brust- und Lendenwirbelsäule zum Vergleich von Nachuntersuchungsergebnissen genutzt werden<sup>52</sup>.

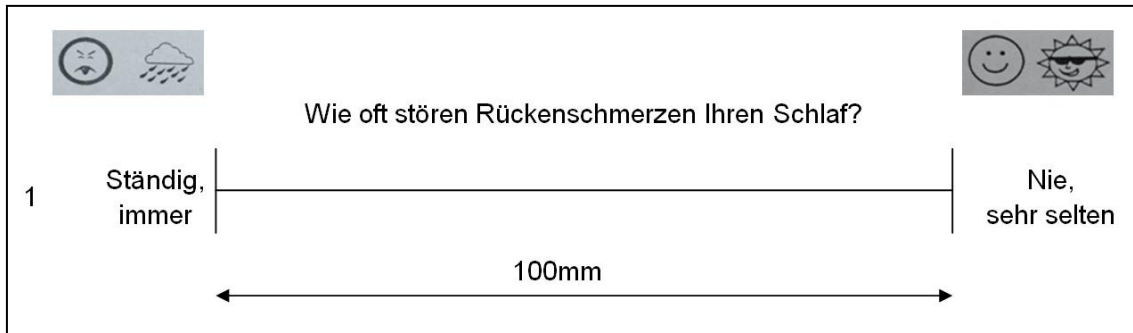
Im Test werden ursprünglich 19 Fragen gestellt. Die hohe Anzahl an Fragen soll bezwecken, dass eine möglichst große Anzahl an Bereichen abgedeckt und somit vermieden wird, dass der Patient ein gutes Ergebnis erzielt, da gewisse Aktivitäten beispielsweise nicht erwähnt werden<sup>52</sup>.



Nr.	Frage	Nr.	Frage
1.	Wie oft stören Rückenschmerzen Ihren Schlaf?	11.	Wie stark schränken Rückenbeschwerden das Hochheben ein?
2.	Wie oft haben Sie in körperlicher Ruhe Rückenschmerzen?	12.	Wie stark schränken Rückenbeschwerden Hausarbeiten ein?
3.	Wie stark sind dann in körperlicher Ruhe die Rückenschmerzen?	13.	Wie lange können Sie ohne Rückenbeschwerden stehen?
4.	Wie oft haben Sie bei körperlicher Belastung Rückenschmerzen?	14.	Wie lange können Sie ohne Rückenbeschwerden gehen?
5.	Wie stark sind dann bei körperlicher Belastung die Rückenschmerzen?	15.	Wie stark schränken Rückenbeschwerden das Laufen ein? (Jogging, Waldlauf etc.)
6.	Wie oft nehmen Sie Schmerzmittel gegen Rückenschmerzen ein?	16.	Wie stark schränken Rückenbeschwerden Aktivitäten des täglichen Lebens ein? (Essen, Waschen etc.)
7.	Wie gut wirken Schmerzmittel dann?	17.	Wie lange können Sie ohne Rückenbeschwerden reisen? (z.B. Autofahren, Zugfahren etc.)
8.	Wie lange können Sie ohne Rückenbeschwerden sitzen?	18.	Wie stark schränken Rückenbeschwerden Ihr Sexualleben ein?
9.	Wie stark schränken Rückenbeschwerden das Vorbeugen ein? (wie z.B. beim Abwaschen)	19.	Wie stark schränken Rückenbeschwerden das Tragen ein?
10.	Wie stark schränken Rückenbeschwerden Ihren Beruf ein?		

**Abbildung 7:** Fragen des VAS-Wirbelsäulenscore der Arbeitsgemeinschaft „Wirbelsäule“ der DGU nach Knop C. et al.<sup>52</sup>

Der Patient soll diese Fragen auf einer je 100mm langen Analogskala beantworten, indem er sein subjektives Empfinden durch ein Kreuz auf dieser markiert. Hierfür werden zu jeder Frage Extremantworten angegeben, zwischen denen sich die Skala befindet. Neben den Extremantworten werden noch Symbole (keine Einschränkungen etc. : lachendes Gesicht, Sonne; unmöglich etc.: unglückliches Gesicht, Regenwolke) angegeben, um Patienten mit Leseschwäche bzw. kognitiven Defizit die Antworten zu erleichtern (*Abbildung 8*)<sup>53</sup>.

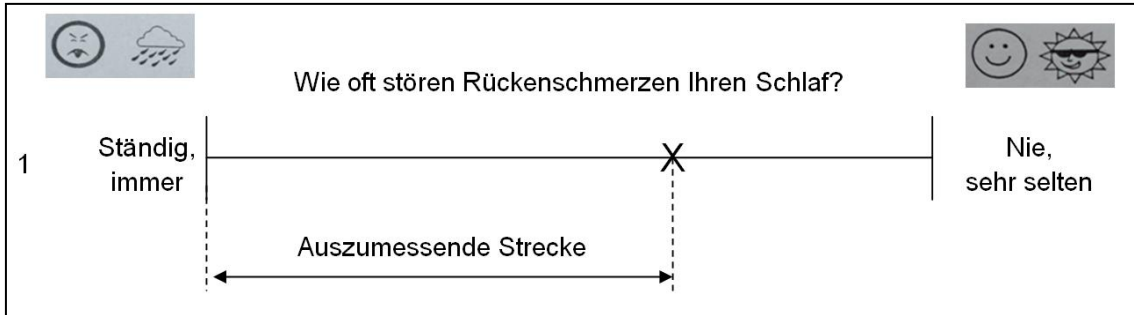


**Abbildung 8:** Frage 1 des VAS-Wirbelsäulenscore der Arbeitsgemeinschaft „Wirbelsäule“ der DGU nach Knop C. et al.<sup>52</sup>

Die Fragebögen wurden im Rahmen der Nachuntersuchungen den Patienten erläutert und dann von diesen ausgefüllt. Patienten, welche aus verschiedenen Gründen den Nachuntersuchungen am Universitätsklinikum Würzburg nicht nachkommen konnten, wurden die Fragebögen mit Möglichkeit zur kostenlosen Rückantwort, postalisch zugesandt. Hierbei wurde eine telefonische Hilfestellung zum Ausfüllen angeboten und folgende schriftliche Erläuterung beigelegt:

*„Sie können Ihr Kreuz auf der kompletten Linie setzen, wobei links die schlimmsten vorstellbaren Schmerzen anzugeben wären. Je weiter Sie Ihr Kreuz von ganz links (☹) entfernt in Richtung rechts (☺) setzen, desto erträglicher wären Ihre Schmerzen. Sollten Sie gar keine Beschwerden haben, müssten Sie Ihre Kreuz ganz rechts (☺) setzen.“*

Die Auswertung erfolgt, indem bei jeder Frage mittels eines Lineals die Strecke in Millimetern zwischen linkem Ausgangspunkt (also „unerträglichen Schmerzen“) und dem vom Patient gesetzten Kreuz in Millimetern ermittelt wird (Abbildung 9). Hierbei wäre bei „keinen Schmerzen“ der Score bei 100, bei „ständigen Schmerzen“ bei 0. Anschließend wird die Summe aller ermittelten Punktwerte durch die Anzahl der beantworteten Fragen dividiert und somit der Mittelwert gebildet. Nicht beantwortete Fragen gehen nicht in den Gesamtscore mit ein. Alternativ wäre eine Auswertung mittels Digitalisierbrett und Computer möglich, welche jedoch aufgrund der überschaubaren Patientenzahl nicht angewandt wurde.



**Abbildung 9:** Ausmessen der Markierung einer einzelnen Frage des VAS-Wirbelsäulenscore der Arbeitsgemeinschaft „Wirbelsäule“ der DGU nach Knop C. et al.<sup>52</sup>

Die Frage 7 wurde aufgrund einer Empfehlung der Entwickler des Scores wegen fehlender Konsistenz mit den übrigen Punkten von der Berechnung des Gesamtscores ausgeschlossen, weswegen nun bei diesem Score 18 Fragen gestellt werden<sup>52</sup>.

## 2.4.2 GRUND-DECKPLATTEN-WINKEL

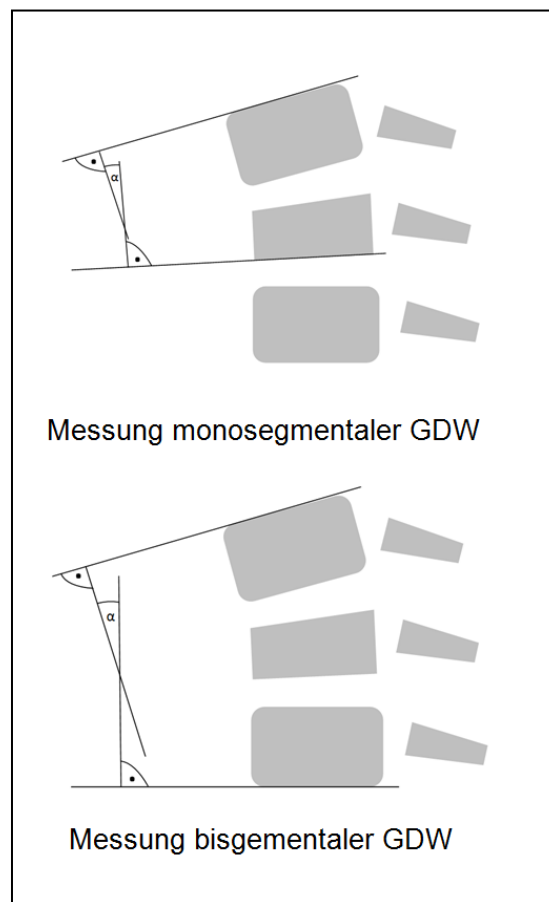
Die Grund-Deckplatten-Winkel wurden bestimmt, um zum einen die Deformität, welche der Wirbelkörper und damit die Wirbelsäule durch die Fraktur erhalten haben zu objektivieren, zum anderen, um eine Aussage über den Grad der Aufrichtung durch die Operation sowie den nachfolgenden Verlauf machen zu können. Hierbei wurden sowohl die monosegmentalen als auch die bisegmentalen GDW digital mittels des Programmes „syngo.plaza“ der Firma „Siemens Healthcare Deutschland“ ermittelt. Während sich der monosegmentale Winkel nur auf den frakturierten Winkel und, je nach Verletzung, seinen kranialen oder kaudalen Nachbarwirbelkörper bezieht, wird bei dem bisegmentalen GDW der Winkel zwischen den kaudalen und kranialen Nachbarwirbelkörpern bestimmt. Beim Vermessen des monosegmentalen Winkels wird hierbei der Winkel z.B. zwischen Grundplatte des frakturierten sowie der Deckplatte des kranial dazu gelegenen Wirbelkörpers gemessen. Bei z.B. einer inkompletten kaudalen Berstung geschieht dies hingegen zwischen

Deckplatte des frakturierten und Grundplatte des kaudal dazu liegenden Wirbelkörpers.

Der bisegmentale GDW wird bestimmt, indem die Grundplatte des kaudal von der Fraktur gelegenen, mit der Deckplatte des kranial davon gelegenen Wirbelkörpers in Relation zueinander gesetzt werden (*Abbildung 10*). Hierbei erhält ein kyphotischer Winkel ein negatives Vorzeichen, eine Lordose wird durch einen positiven Wert gekennzeichnet.

Eine Bestimmung des monosegmentalen GDWs ist hierbei nur bei monosegmentalen Verletzungen sinnvoll. Bei bisegmentalen Verletzungen, z.B. A3.3-Frakturen, ist dieser nicht bestimmbar.

Es konnte gezeigt werden, dass der intra- und interindividuelle Messfehler bei diesem Messverfahren bei  $\leq 2,0$  Grad liegt<sup>54</sup>.

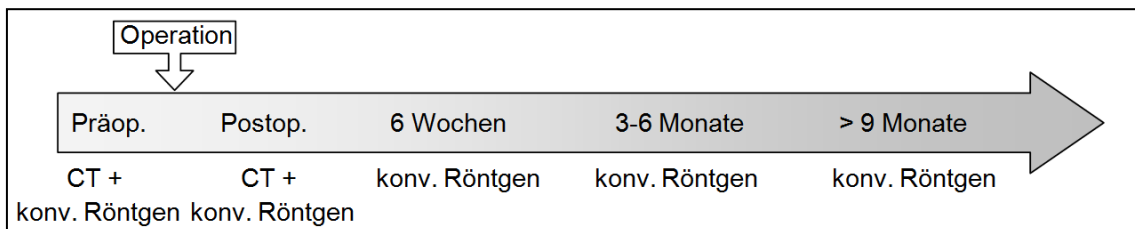


**Abbildung 10:** Bestimmung des mono- und bisegmentalen GDW

Die Winkelwerte wurden anhand der CT- und Röntgenbilder ermittelt, welche im Rahmen der notwendigen Untersuchung zur Stellung der Diagnose und Operationsindikation entstanden sind. Weiterhin wurden die Bilder vermessen, die bei den empfohlenen Nachuntersuchungsterminen erstellt worden sind.

Präoperativ wurden hierzu eine CT-Untersuchung (liegend) sowie zum Teil ein Röntgenbild der Wirbelsäule im Stehen gemacht. Postoperativ erfolgten wieder eine CT-Untersuchung sowie zusätzlich eine Röntgenaufnahme des Patienten im Stehen. Hierbei ist zu beachten, dass ein Vergleich von CT Bildern liegender Patienten mit Röntgenbildern stehender Patienten zu einem scheinbaren stärkeren Korrekturverlust führt, da alleine durch die Belastung im Stehen eine Zunahme der Kyphose erfolgt.

Im Verlauf wurden noch je nach sechs Wochen, drei bis sechs sowie mindestens nach neun Monaten ein Röntgenbild im Stehen empfohlen (*Abbildung 11*). Es wurden aber nicht bei allen 67 Frakturen alle empfohlenen Aufnahmen durchgeführt.



**Abbildung 11:** Nachuntersuchungszeitpunkte des GDW mittels verschiedener radiologischer Verfahren

### 2.4.3 ERMITTLUNG SCHMERZMITTELBEDARF

Nach dem regelmäßigen Schmerzmittelbedarf wurde mittels einer „Ja-Nein-Frage“ zu drei Zeitpunkten gefragt. Diese waren „vor dem Unfall“, „direkt nach dem Unfall“ und zum Zeitpunkt der dritten Nachuntersuchung. Angaben dazu von 48 Patienten konnten ausgewertet werden.

Eine nähere Auswertung dieser Frage bzgl. Wirkstoff und Dosierung fand nicht statt, da ein Großteil der Patienten sich, vor allem bei den beiden retrospektiv erfragten Zeitpunkten, nicht mehr an diese Details erinnern konnte und die im Klinikum vorhandene Dokumentation nicht bei jedem Patienten ausreichend war.

#### **2.4.4 STATISTISCHE AUSWERTUNG**

Die Auswertung der Daten erfolgte zum einen mittels „Office Excel 2007“ (Microsoft). Hiermit wurden Säulen-, Linien- und Kreisdiagramme erstellt sowie Rechenoperationen und einfache statistische Berechnungen (Mittelwert, Standardabweichung, Median) durchgeführt. Komplexere statistische Auswertungen und das Erstellen von Boxplots erfolgten mittels des Programmes „STATISTICA für Windows, Version 10.0“ (StatSoft, Inc.).

Statistische Signifikanz wurde durch ungepaarte, zweiseitige t-Tests ermittelt, wobei hier eine Normalverteilung vorausgesetzt wurde. Diese wurde mittels des Shapiro-Wilks-Tests überprüft. Ab  $p \geq 0,05$  wurde eine Normalverteilung angenommen. Konnte diese nicht zugrunde gelegt werden, erfolgte die Auswertung mittels des nicht-parametrischen, zweiseitigen Mann-Whitney-U-Tests. Das Signifikanz-Niveau wurde bei allen Tests auf 0,05 festgelegt.

Wenn nicht anders angegeben stellen Säulen- und Liniendiagramme jeweils den Mittelwert dar. Bei Boxplots repräsentieren die Whisker den Bereich ohne Ausreißer. Der obere Boxwert stellt das 75%-Perzentil und der untere Boxwert das 25%-Perzentil dar. Außerdem werden noch der Median ( $\square$ ) sowie, falls vorhanden, Ausreißer ( $\circ$ ) und Extremwerte (\*) angegeben.

## **2.5 OPERATIONSVERFAHREN**

### **2.5.1 KYPHOPLASTIE**

Zuerst wurde bei den Patienten eine Kyphoplastie durchgeführt. Grund dafür war unter anderem, dass sowohl bei der dorsalen Stabilisierung als auch bei der Kyphoplastie die Pedikel als Zugang zum Wirbelkörper genutzt werden und nach Abschluss der Instrumentierung das Einbringen der Arbeitskanülen durch den Längsträger erschwert ist, weil dieser in der Regel über dem Eintrittspunkt zum Liegen kommt. Da bei der minimalinvasiven Instrumentierung intraoperativ nur eingeschränkt reponiert werden kann, hat eine vorherige Kyphoplastie weiterhin den Vorteil, dass dabei eine signifikante Aufrichtung der Wirbelkörper und somit eine Verbesserung des GDW erzielt werden kann<sup>55</sup>. Es werden je nach Autor Wiederaufrichtungen durch alleinige Ballonkyphoplastie von 46,8% bis über 50% angegeben<sup>16,56</sup>. Hierdurch kann das Repositionsergebnis verbessert werden.

Für die Kyphoplastie wurde das System der Firma Kyphon® benutzt. Hierbei werden die Patienten in Bauchlage in ventralem Durchhang auf dem röntgendurchlässigen Karbontisch gelagert. Die Arme werden bei Stabilisierungen der unteren BWS und der LWS abgespreizt und der Kopf in eine Kopfschale gelegt, um Rotationen möglichst zu verhindern<sup>27</sup>. Da für die nachfolgende dorsale Stabilisierung der Patient nicht mehr umgelagert wird, muss hierbei sowohl für die Kyphoplastie selbst, als auch für die Stabilisierung, auf eine ausreichende Reposition geachtet werden. Dies wird durch Längszug sowie Lordosierung des thorakolumbalen Übergangs unter Bildwandlerkontrolle versucht<sup>37</sup>.

Anschließend werden mittels Bildwandler der frakturierte Wirbelkörper und dessen Pedikel aufgesucht und markiert. Über dem Pedikel wird nun eine Nadel platziert und diese dann um 1-2 cm nach lateral verschoben. Hier wird eine Inzision von etwa 2-3 cm durchgeführt. Es folgt das Einbringen einer Punktionsnadel durch die Pedikel in den Wirbelkörper. Anschließend können die Nadeln entfernt und währenddessen ein Führungsdraht eingebracht

werden. Über den Führungsdraht wird nun eine Hohnadel eingebracht. Daraufhin kann der Führungsdraht wieder entfernt werden und durch die Hohnadeln beidseits ein mit Kontrastmittel gefüllter Ballon in den Wirbelkörper eingebracht und anschließend aufgefüllt werden. Hierbei wird der Wirbelkörper aufgerichtet und ein neuer Hohlraum geschaffen.

Nach Entfernen der Ballons kann nun auf jeder Seite durch Einfüllstempel der Zement in dieses Cavum eingebracht werden. Hierfür wird ein PMMA-Knochenzement der Firma Kyphon® verwendet. Dabei ist darauf zu achten, dass der Zement eine hoch visköse Konsistenz hat, um den Austritt des Zementes aus der Fraktur sowie einen Eintritt in die Gefäße zu vermeiden<sup>55</sup>. Ein möglicher Austritt von Zement als auch die richtige Position von Geräten während der Operation sind durch ständige Röntgenkontrollen zu überwachen.

Anschließend erfolgt nun die dorsale offene oder minimalinvasive Stabilisierung.

## **2.5.2 MINIMALINVASIVE DORSALE INSTRUMENTIERUNG**

Bei der minimalinvasiven Instrumentierung wurde das CD HORIZON LONGITUDE™ Multi-Level Percutaneous Fixations System der Firma Medtronic® verwendet.

Hierbei wird zunächst eine Hohnadel (Pedicel Access Kit) eingebracht. Nach dem korrekten Einbringen, wird der Griff zusammen mit dem inneren Anteil der Nadel entfernt, durch die verbleibende Hohnadel ein Führungsdraht eingebracht und anschließend die Hohnadel entfernt. Diese Schritte werden für alle Pedikel wiederholt, wobei i.d.R. die Pedikel der Wirbelkörper über- und unterhalb des frakturierten Wirbelkörpers benutzt werden, da eine Frakturversorgung zumeist über zwei Segmente erfolgt<sup>9</sup>.

Um nachfolgend die Polyaxialschrauben platzieren zu können, werden durch drei aufeinanderfolgende, in der Größe aufsteigende Dilatatoren die Muskeln



und Faszien geweitet. Hierbei werden diese durch den Führungsdraht eingebracht, wobei der letzte und größte Dilatator für das nachfolgende Schneiden der Gewinde als Gewebeschutz im Körper belassen wird. Über die Führungsdrähte können nun die Schrauben in den Wirbelkörper eingebracht werden, wobei ein Extender an den Schrauben verbleibt.

Anschließend wird die Länge des Längsstabes ausgemessen. Der ausgewählte Stab kann dann auf den Inserter aufgesteckt und falls nötig zurechtgebogen werden. Durch eine mittels eines Zielgerätes gesetzte, kranial der Fraktur gelegene Insertion, wird der Stab nach kaudal unterhalb der Muskelfaszie in die dafür vorgesehene Aussparung in den Schrauben eingebracht. Über den Extender kann er nun auf den Schrauben befestigt werden. Daraufhin werden Madenschrauben in die Polyaxialschrauben eingedreht und der Inserter und die Extender entfernt. Abschließend erfolgt ein Faszien- und Hautnaht.<sup>57</sup>

Während der Operation werden Kontrollen mittels Bildwandler durchgeführt, um die richtige Lage und Eindringtiefe der Implantate zu gewährleisten.

### **3 ERGEBNISSE**

#### **3.1 ERGEBNISSE GDW**

##### **3.1.1 GRAD DER WIEDERAUFRIHTUNG**

Da nicht bei allen Patienten Daten der Computertomographie sowie des konventionellen Röntgens vor der Operation und unmittelbar danach vorliegen, wurden je nach Patient die Daten der CTs oder des konventionellen Röntgens miteinander verglichen. Bei Patienten, bei denen beide Aufnahmen zu beiden Zeitpunkten vorhanden sind, wurden die Daten der CT verwendet.

Da die Aufnahmen des CTs im Liegen und die des konventionellen Röntgens im Stehen gemacht wurden, können diese nur bedingt miteinander verglichen werden. Deshalb wurden die Daten von Patienten nicht berücksichtigt, bei denen lediglich je eine dieser Aufnahmen gemacht wurde, sondern nur CT mit CT oder konventionelles Röntgen mit konventionellem Röntgen verglichen.

Daher konnten von den 67 in dieser Studie eingeschlossenen Frakturen nur bei 59 der Grad der Wiederaufrichtung in Form der Veränderung des bisegmentalen GDW bestimmt werden. Der monosegmentale GDW wurde zusätzlich im Fall einer monosegmentalen Verletzung bestimmt.

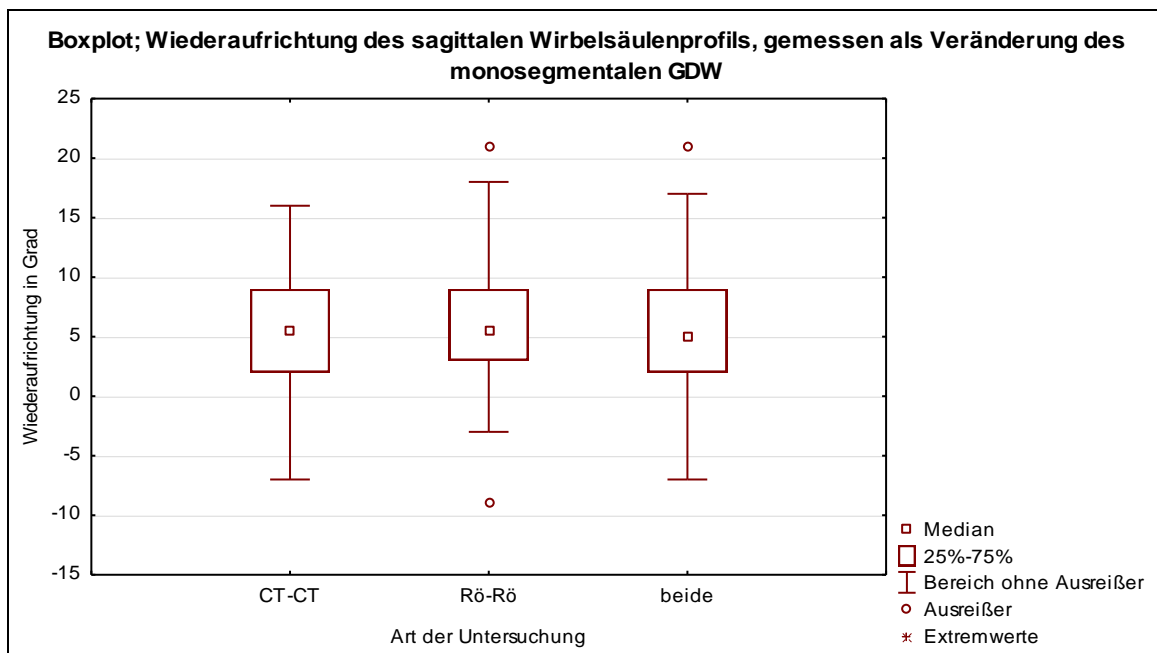
Der Zeitraum zwischen Operation und unmittelbar postoperativen angefertigten CT- bzw. Röntgendokumentation betrug  $0,6 \pm 1,3$  Tage.

### 3.1.1.1 MONOSEGMENTALER GDW

Es ergaben sich folgende Werte der Wiederaufrichtung beim monosegmentalen GDW:

**Tabelle 2:** Wiederaufrichtung des sagittalen Wirbelsäulenprofils, gemessen als Veränderung des monosegmentalen GDW

	Patientenanzahl	Grad der Aufrichtung $\pm$ Standardabweichung	Median
CT	42	5,6 $\pm$ 5,1 Grad	5,5 Grad
konv. Röntgen	38	6,2 $\pm$ 6,3 Grad	5,5 Grad
CT oder konv. Rö	51	5,7 $\pm$ 5,7 Grad	5,0 Grad



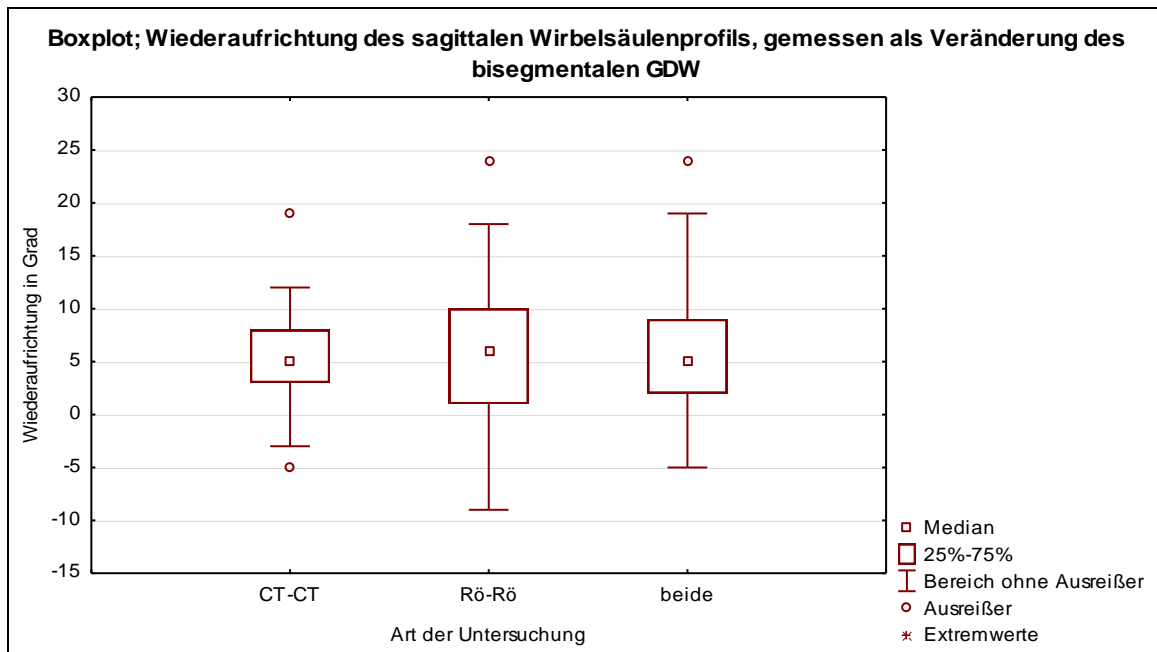
**Abbildung 12:** Boxplot; Wiederaufrichtung des sagittalen Wirbelsäulenprofils, gemessen als Veränderung des monosegmentalen GDW

**3.1.1.2 BISEGMENTALER GDW**

Die Ermittlung der bisegmentalen Winkel ergab folgende Werte:

**Tabelle 3:** Wiederaufrichtung des sagittalen Wirbelsäulenprofils, gemessen als Veränderung des bisegmentalen GDW

	Patientenanzahl	Grad der Aufrichtung ± Standardabweichung	Median
<b>CT</b>	47	5,3 ± 4,2 Grad	5,0 Grad
<b>Konv. Röntgen</b>	42	5,6 ± 6,7 Grad	6,0 Grad
<b>CT oder konv. Rö</b>	59	5,2 ± 5,2 Grad	5,0 Grad



**Abbildung 13:** Boxplot; Wiederaufrichtung des sagittalen Wirbelsäulenprofils, gemessen als Veränderung des bisegmentalen GDW

### 3.1.2 KORREKTURVERLUST NACH 6 WOCHEN (1. NU)

Der Korrekturverlust wurde ermittelt, indem die GDW der postoperativen konventionellen Röntgenbilder (stehend) mit denen zum Nachuntersuchungszeitpunkt (stehend) verglichen wurden. Da von einigen Patienten jedoch nur CT-Bilder unmittelbar postoperativ vorliegen, wurden die hier ermittelten Werte zusätzlich mit den konventionellen Nachuntersuchungsaufnahmen verglichen. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass die CT-Aufnahmen liegend angefertigt wurden und die konventionellen Röntgenaufnahmen im Stehen. Durch die Belastung der Wirbelsäule im Stehen resultiert grundsätzlich eine Zunahme der Kyphose.

Es wurden für den Zeitpunkt der ersten Nachuntersuchung Aufnahmen verwendet, welche durchschnittlich  $46,6 \pm 10,5$  Tage ( $\cong 7,5 \pm 1,5$  Wochen) postoperativ entstanden.

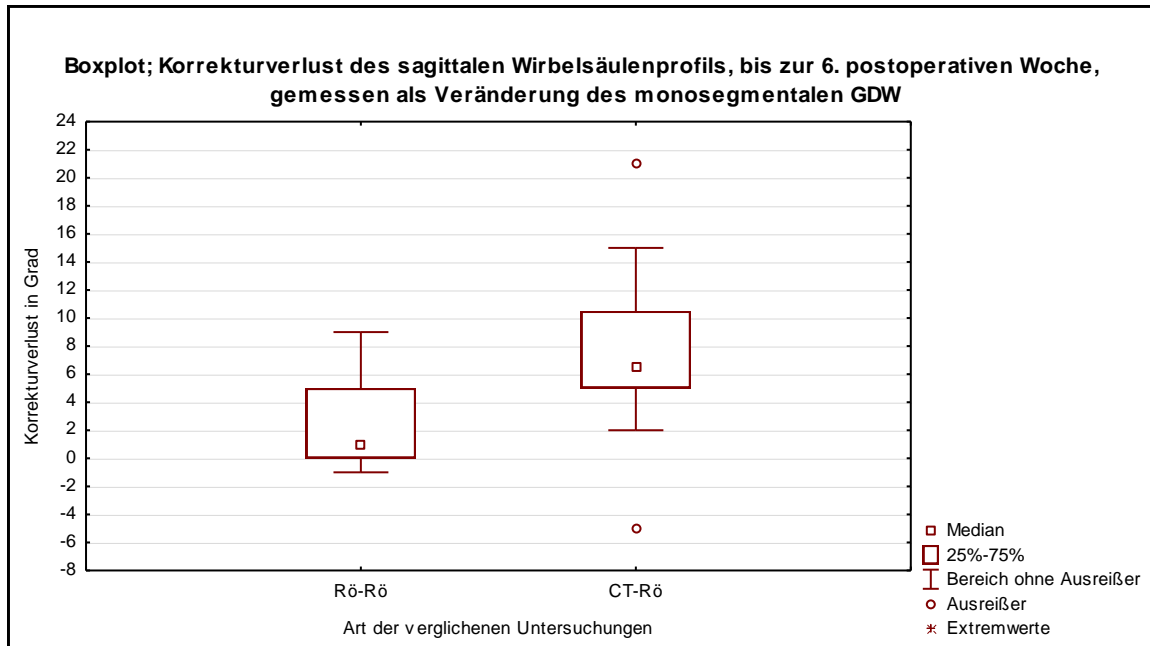
#### 3.1.2.1 MONOSEGMENTALER GDW

Es konnten insgesamt 27 Patienten miteinander verglichen werden. Davon sind 20 Patienten in beiden Gruppen repräsentiert. 3 Patienten befinden sich nur in der Gruppe „Rö-Rö“ und 4 nur in der Gruppe „CT-Rö“.

Es konnten folgende Werte ermittelt werden:

**Tabelle 4:** Korrekturverlust des sagittalen Wirbelsäulenprofils, bis zur 6. postoperativen Woche, gemessen als Veränderung des monosegmentalen GDW

	Patientenzahl	Korrekturverlust $\pm$ Standardabweichung	Median
<b>Rö-Rö</b>	23	$2,3 \pm 3,0$ Grad	1,0 Grad
<b>CT-Rö</b>	24	$7,5 \pm 5,0$ Grad	7,0 Grad



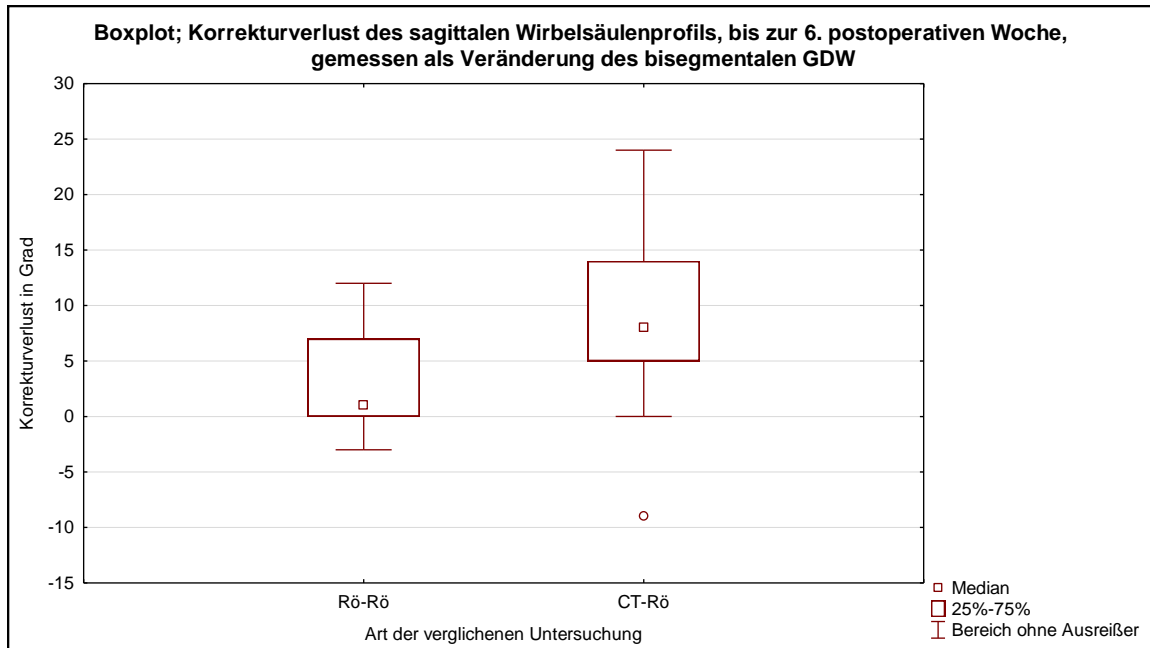
**Abbildung 14:** Boxplot; Korrekturverlust des sagittalen Wirbelsäulenprofils, bis zur 6. postoperativen Woche, gemessen als Veränderung des monosegmentalen GDW

### 3.1.2.2 BISEGMENTALER GDW

Der bisegmentale GDW konnte bei 25 Patienten mit den Röntgen-Aufnahmen nach sechs Wochen verglichen werden, von denen postoperativ CT- und konventionelle Röntgenaufnahmen vorliegen. Bei insgesamt 34 Patienten waren Vergleiche zwischen den Nachuntersuchungsaufnahmen und den postoperativen Röntgen- oder CT-Aufnahmen möglich.

**Tabelle 5:** Korrekturverlust des sagittalen Wirbelsäulenprofils, bis zur 6. postoperativen Woche, gemessen als Veränderung des bisegmentalen GDW

	Patientenzahl	Korrekturverlust ± Standardabweichung	Median
<b>Rö-Rö</b>	29	3,4 ± 4,2 Grad	1,0 Grad
<b>CT-Rö</b>	30	9,3 ± 7,4 Grad	8,0 Grad



**Abbildung 15:** Boxplot; Korrekturverlust des sagittalen Wirbelsäulenprofils, bis zur 6. postoperativen Woche, gemessen als Veränderung des bisegmentalen GDW

### 3.1.3 KORREKTURVERLUST NACH 3-6 MONATEN (2. NU)

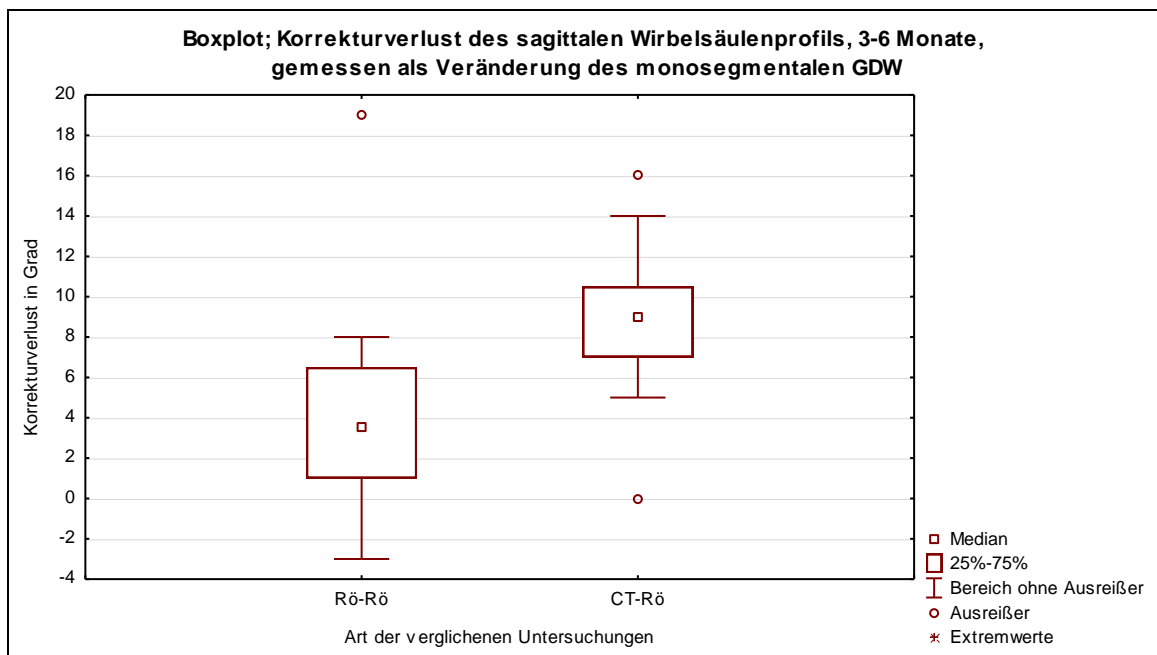
Der durchschnittlich Untersuchungszeitraum des zweiten Nachuntersuchungszeitpunktes beträgt  $147,2 \pm 46,1$  Tage ( $\hat{=} 21,0 \pm 6,6$  Wochen  $\hat{=} 4,9 \pm 1,5$  Monate).

#### 3.1.3.1 MONOSEGMENTALER GDW

Zu diesem Zeitpunkt konnten bei 23 Patienten der Korrekturverlust als Veränderung des monosegmentalen GDW ermittelt werden. Hierunter waren 17 Patienten, bei denen sowohl eine CT- als auch eine konventionelle Röntgen-Aufnahme unmittelbar postoperativ vorlagen und die somit in beiden Aufzählung zu finden sind.

**Tabelle 6:** Korrekturverlust des sagittalen Wirbelsäulenprofils, 3-6 Monate, gemessen als Veränderung des monosegmentalen GDW

	Patientenzahl	Korrekturverlust $\pm$ Standardabweichung	Median
<b>Rö-Rö</b>	20	4,2 $\pm$ 4,7 Grad	3,5 Grad
<b>CT-Rö</b>	20	8,9 $\pm$ 3,6 Grad	9,0 Grad



**Abbildung 16:** Boxplot; Korrekturverlust des sagittalen Wirbelsäulenprofils, 3-6 Monate, gemessen als Veränderung des monosegmentalen GDW

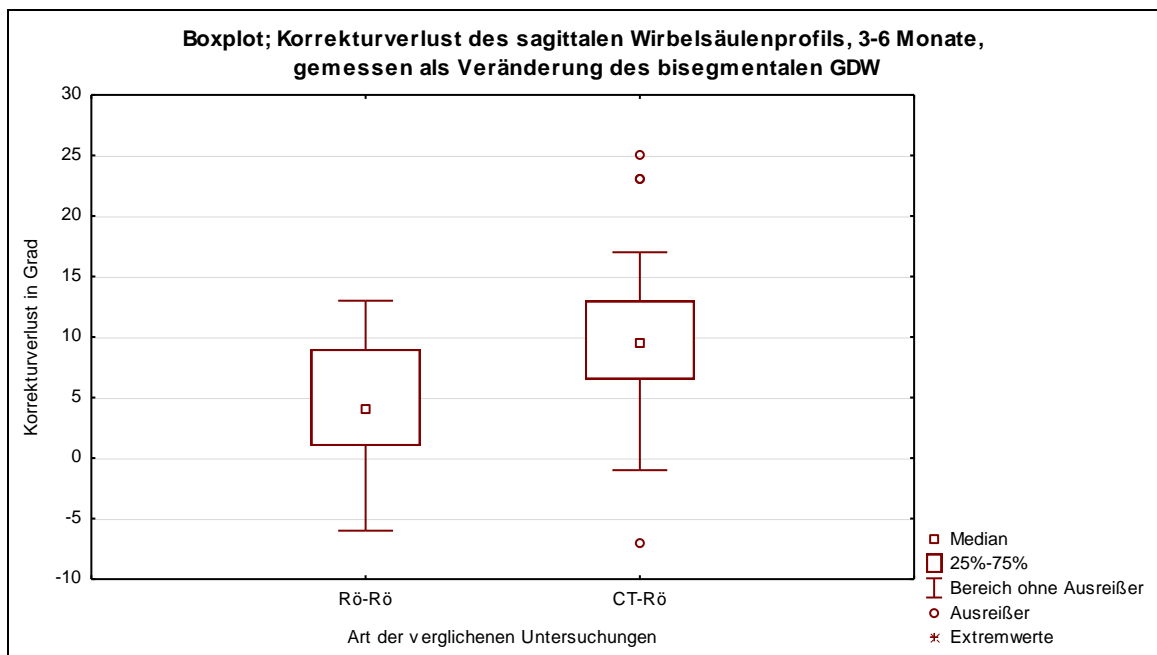
### 3.1.3.2 BISEGMENTALER GDW

In 27 Fällen war es möglich, den bisegmentalen Korrekturverlust zu ermitteln. Bei 20 Patienten war dies sowohl durch postoperative Röntgen- als auch durch CT-Aufnahmen möglich.



**Tabelle 7:** Korrekturverlust des sagittalen Wirbelsäulenprofils, 3-6 Monate, gemessen als Veränderung des bisegmentalen GDW

	Patientenzahl	Korrekturverlust $\pm$ Standardabweichung	Median
<b>Rö-Rö</b>	23	4,6 $\pm$ 5,0 Grad	4,0 Grad
<b>CT-Rö</b>	24	9,8 $\pm$ 7,6 Grad	9,0 Grad



**Abbildung 17:** Boxplot; Korrekturverlust des sagittalen Wirbelsäulenprofils, 3-6 Monate, gemessen als Veränderung des bisegmentalen GDW

### 3.1.4 KORREKTURVERLUST NACH MINDESTENS 9 MONATEN (3. NU)

Der durchschnittliche dritte Nachuntersuchungszeitpunkt beträgt  $548,4 \pm 247,6$  Tage ( $\cong 18,3 \pm 8,3$  Monate  $\cong 1,5 \pm 0,7$  Jahre).

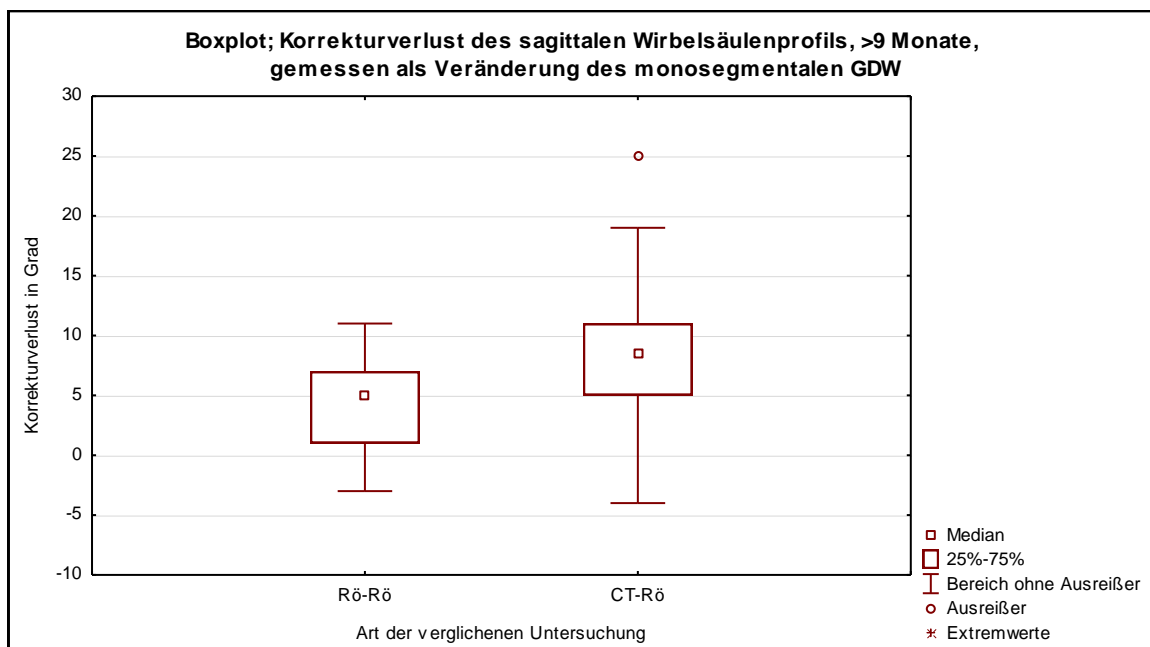
#### 3.1.4.1 MONOSEGMENTALER GDW

Bei 33 Patienten konnten die Korrekturverluste monosegmental ermittelt werden. Hierbei waren in 24 Fällen sowohl CT- als auch konventionelle

Röntgen-Aufnahmen vorhanden. Diese wurden in beide Gruppen mit einbezogen.

**Tabelle 8:** Korrekturverlust des sagittalen Wirbelsäulenprofils, >9 Monate, gemessen als Veränderung des monosegmentalen GDW

	Patientenzahl	Korrekturverlust $\pm$ Standardabweichung	Median
<b>Rö-Rö</b>	29	4,3 $\pm$ 3,6 Grad	5,0 Grad
<b>CT-Rö</b>	28	8,6 $\pm$ 6,2 Grad	9,0 Grad



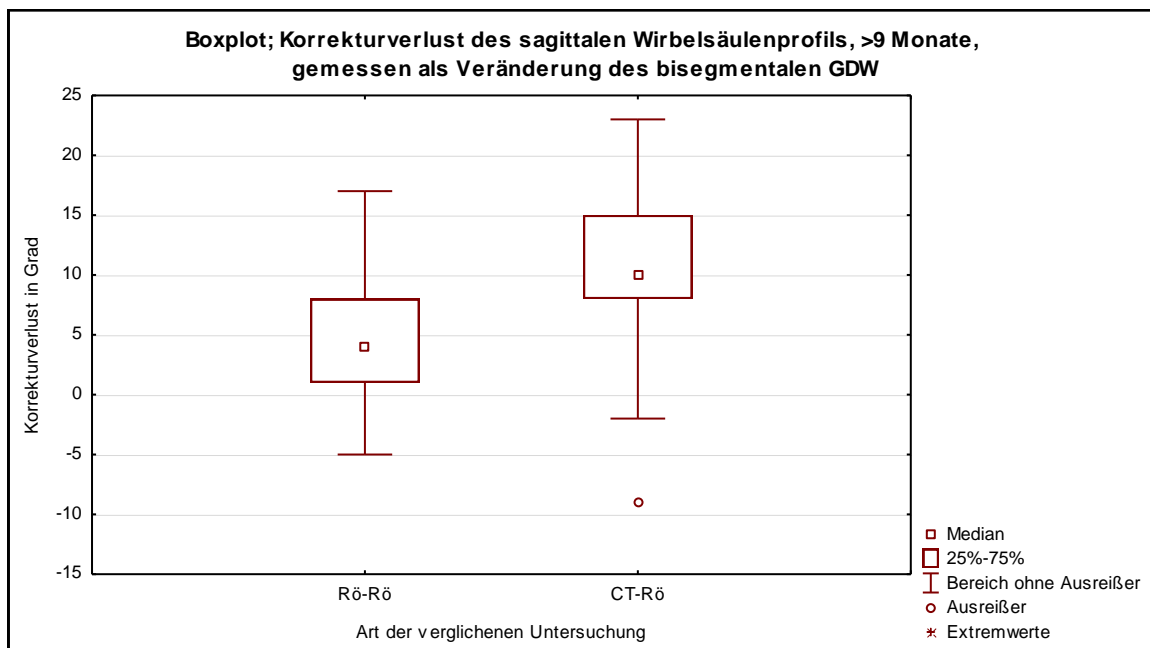
**Abbildung 18:** Boxplot; Korrekturverlust des sagittalen Wirbelsäulenprofils, >9 Monate, gemessen als Veränderung des monosegmentalen GDW

### 3.1.4.2 BISEGMENTALER GDW

Bei 39 Patienten wurde der bisegmentale Korrekturverlust für einen Nachuntersuchungszeitraum von neun Monaten postoperativ oder länger ermittelt. In 28 Fällen war dies sowohl durch postoperative Röntgen- als auch durch CT-Aufnahmen möglich.

**Tabelle 9:** Korrekturverlust des sagittalen Wirbelsäulenprofils, >9 Monate, gemessen als Veränderung des bisegmentalen GDW

	Patientenzahl	Korrekturverlust $\pm$ Standardabweichung	Median
<b>Rö-Rö</b>	34	5,2 $\pm$ 5,6 Grad	4,0 Grad
<b>CT-Rö</b>	33	10,7 $\pm$ 7,5 Grad	10,0 Grad



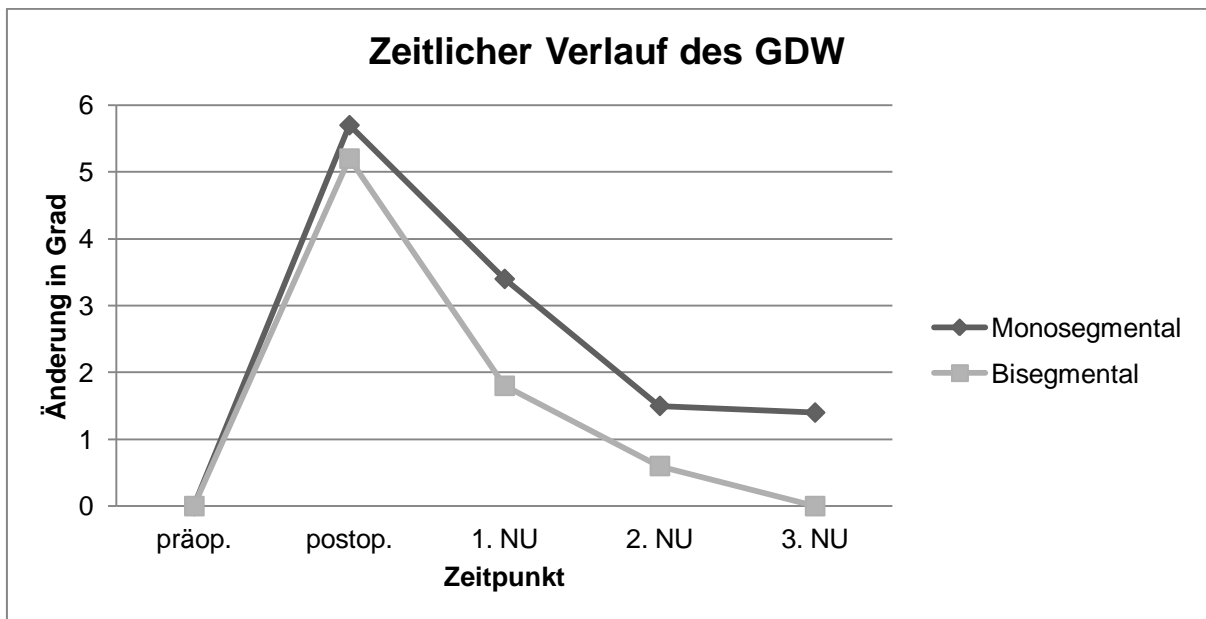
**Abbildung 19:** Boxplot; Korrekturverlust des sagittalen Wirbelsäulenprofils, >9 Monate, gemessen als Veränderung des bisegmentalen GDW

### 3.1.5 VERLAUF GDW

Um den zeitlichen Verlauf darzustellen, wurden bei dem Grad der Wiederaufrichtung sowohl der Vergleich CT-CT als auch Rö-Rö mit einbezogen. Bei den Korrekturverlusten nur Rö-Rö.

**Tabelle 10:** Verlauf des mono- und bisegmentalen GDW des sagittalen Wirbelsäulenprofils zu den verschiedenen Untersuchungszeitpunkten

	<b>Monosegmental ± Standardabweichung</b>	<b>Bisegmental ± Standardabweichung</b>
<b>Wiederaufrichtung</b>	5,7 ± 5,7 Grad	5,2 ± 5,2 Grad
<b>Korrekturverlust 1. NU (6w)</b>	2,3 ± 3,0 Grad	3,4 ± 4,2 Grad
<b>Korrekturverlust 2. NU (3-6m)</b>	4,2 ± 4,7 Grad	4,6 ± 5,0 Grad
<b>Korrekturverlust 3. NU (&gt;9m)</b>	4,3 ± 3,6 Grad	5,2 ± 5,6 Grad



**Abbildung 20:** Diagramm; Verlauf des mono- und bisegmentalen GDW des sagittalen Wirbelsäulenprofils zu den verschiedenen Untersuchungszeitpunkten

### 3.2 ERGEBNISSE VAS

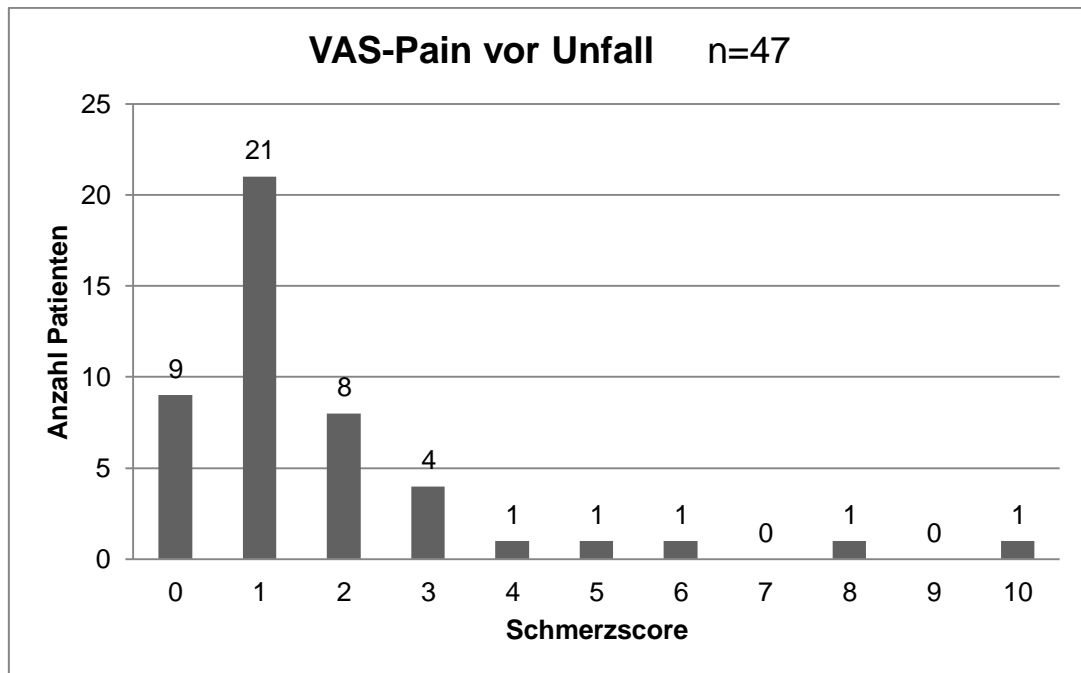
Es wurden alle 64 Patienten gebeten, die VAS-Pain sowie den VAS-Wirbelsäulenscore der Arbeitsgemeinschaft „Wirbelsäule“ der DGU auszufüllen. 47-mal wurde der Fragebogen VAS-Pain zu den drei Zeitpunkten so ausgefüllt, dass eine Auswertung vorgenommen werden konnte. Der VAS-Wirbelsäulenscore konnte 34-mal ausgewertet werden.

#### 3.2.1 VAS-PAIN VOR DEM UNFALL

Für den Zeitpunkt „vor dem Unfallereignis“ gaben die Patienten retrospektiv folgende Schmerzstärken an:

**Tabelle 11:** VAS-Pain vor Unfall

Schmerzscore	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Anzahl Patienten	9	21	8	4	1	1	1	0	1	0	1



**Abbildung 21:** Diagramm; VAS-Pain vor Unfall

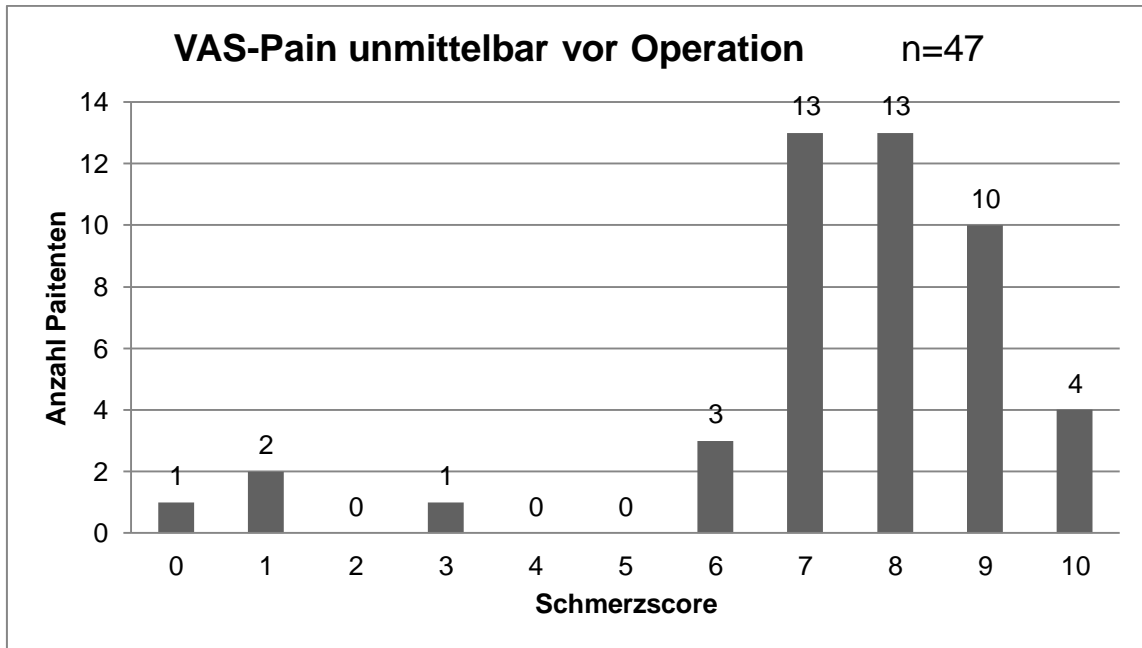
Dies entspricht einem Mittelwert von  $1,7 \pm 2,0$ . Der Median liegt bei 1. Der Minimalwert liegt bei 0, der Maximalwert bei 10.

### 3.2.2 VAS-PAIN UNMITTELBAR VOR OPERATION

Retrospektiv gaben die 47 befragten Patienten folgende Schmerzstärken unmittelbar vor der Operation an:

**Tabelle 12:** VAS-Pain unmittelbar vor Operation

Schmerzscore	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Anzahl Patienten	1	2	0	1	0	0	3	13	13	10	4



**Abbildung 22:** Diagramm; VAS-Pain unmittelbar vor Operation

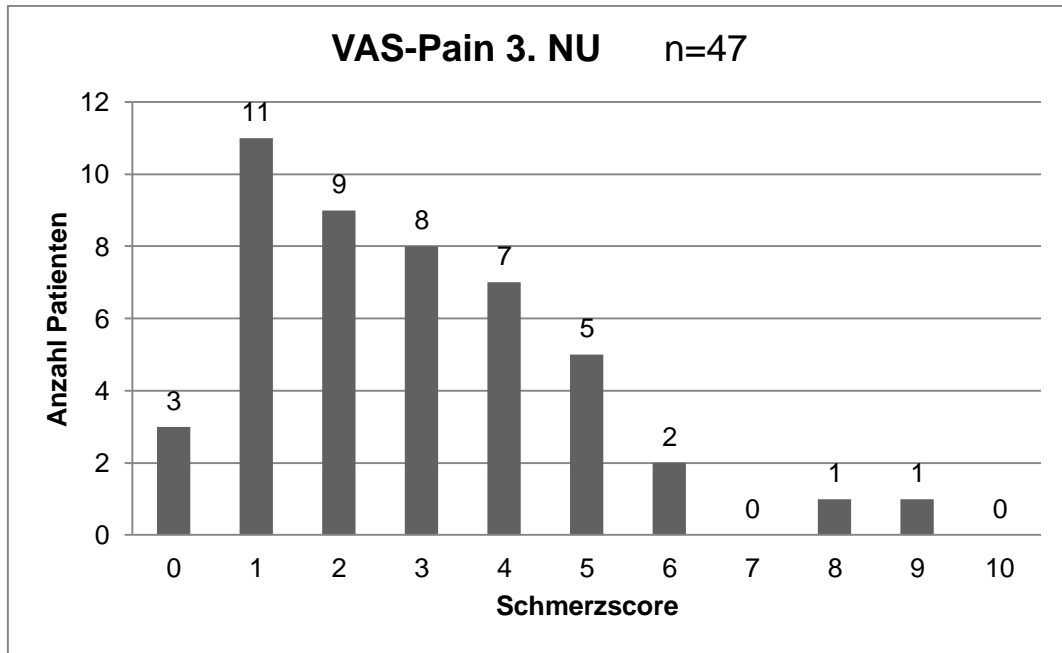
Der Mittelwert der ausgewerteten VAS-Pain liegt bei  $7,4 \pm 2,2$ . Der Median beträgt 8, der Minimalwert 0 und der Maximalwert 10.

### 3.2.3 VAS-PAIN >9 MONATE NACH DER OPERATION

Der Schmerzwert zum Zeitpunkt der dritten Nachuntersuchung konnte bei 47 Patienten wie folgt erfasst werden:

**Tabelle 13:** VAS-Pain >9 m nach der Operation

Schmerzscore	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Anzahl Patienten	3	11	9	8	7	5	2	0	1	1	0



**Abbildung 23:** Diagramm; VAS-Pain >9 m nach der Operation

Hierbei beträgt der Mittelwert  $2,9 \pm 2,0$  und der Median 3. Als Minimalwert wurde 0 und als Maximalwert eine Schmerzstärke von 9 angegeben.

### 3.2.4 VAS-WIRBELSÄULENSCORE DER ARBEITSGEMEINSCHAFT

#### „WIRBELSÄULE“ DER DGU

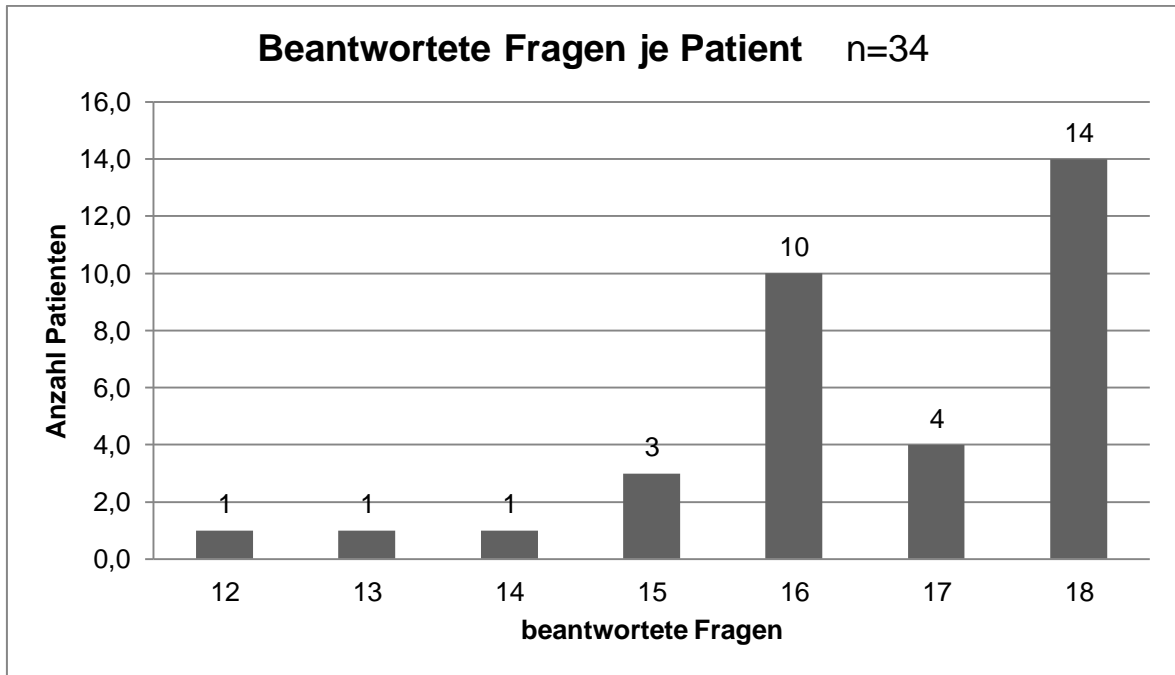
Dieser Fragebogen konnte von 34 Patienten zum Zeitpunkt „>9 Monate“ in richtiger Art und Weise beantwortet werden.

Durchschnittlich wurden  $16,6 \pm 1,6$  Fragen beantwortet.

**Tabelle 14:** beantwortete Fragen je Patient

beantwortete Fragen	≤11	12	13	14	15	16	17	18
Anzahl Patienten	0	1	1	1	3	10	4	14



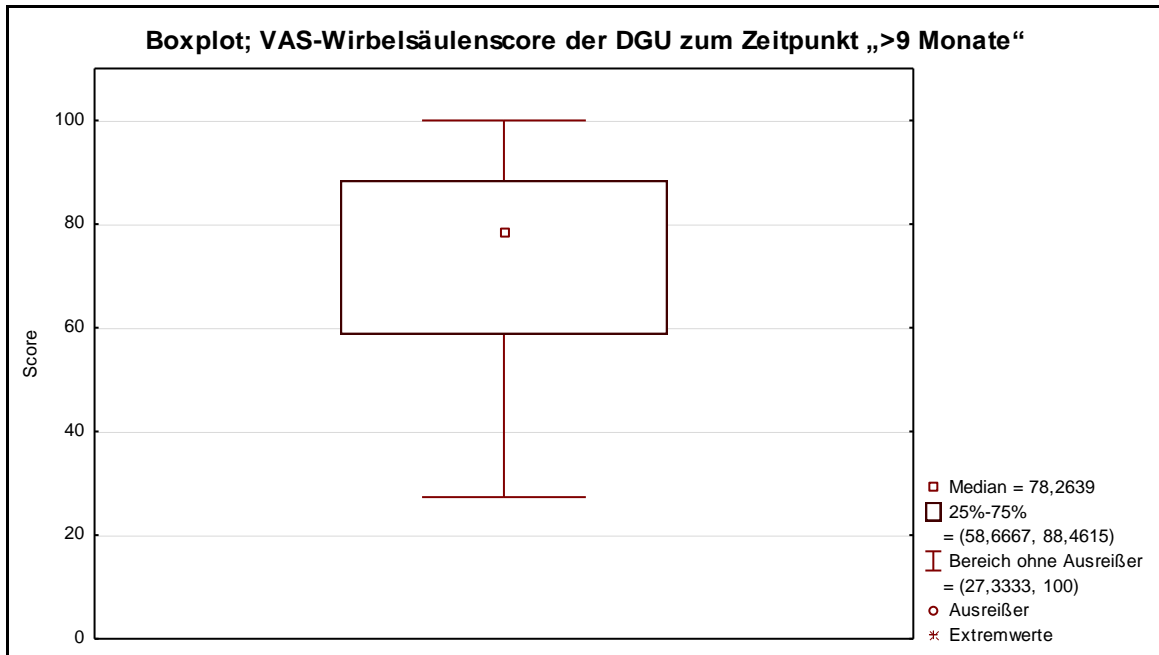


**Abbildung 24:** Diagramm; beantwortete Fragen je Patient im VAS-Wirbelsäulen-Score der DGU zum Zeitpunkt „>9 Monate“

Es ergaben sich folgende Werte:

**Tabelle 15:** VAS-Wirbelsäulenscore der DGU zum Zeitpunkt „>9 Monate“

Score	≤ 24	25 bis 34	35 bis 44	45 bis 54	55 bis 64	65 bis 74	75 bis 84	85 bis 94	≥95
Anzahl Patienten	0	1	3	3	5	1	9	7	5



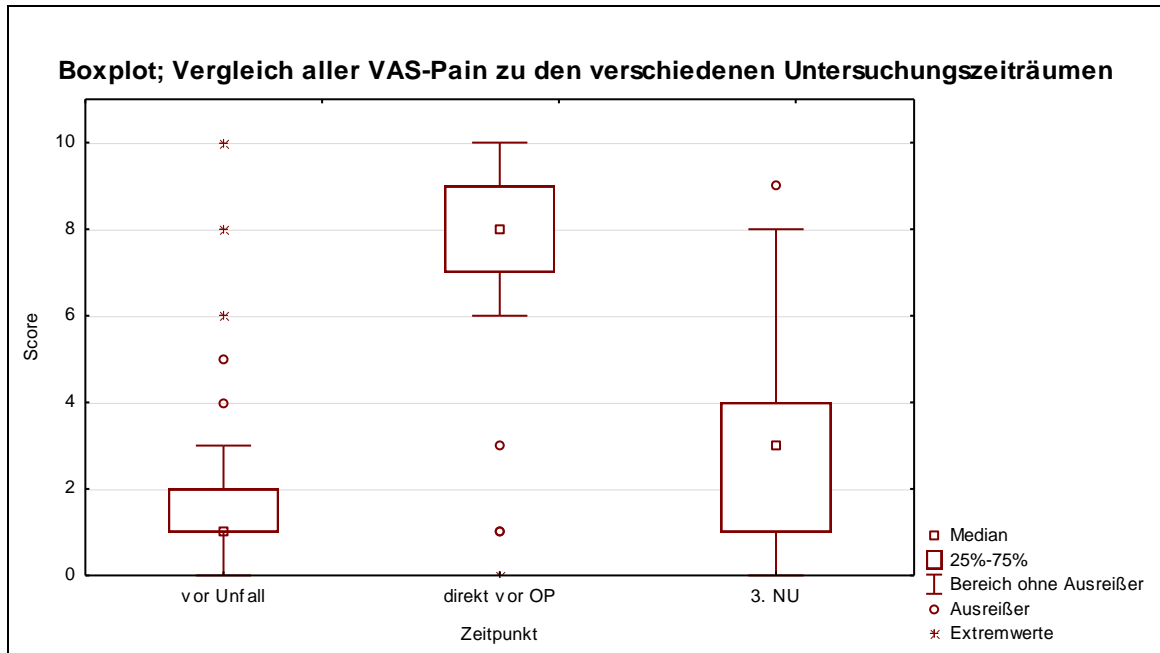
**Abbildung 25:** Boxplot; VAS-Wirbelsäulenscore der DGU zum Zeitpunkt „>9 Monate“

Der Mittelwert beträgt hierbei  $74,2 \pm 19,5$ . Der Median liegt bei 78,3. Da ein Patient völlig beschwerdefrei bzgl. der Wirbelsäule war, beträgt der Maximalwert 100. Der Minimalwert ist 27,3.

### 3.2.5 VERGLEICH ALLER VAS

**Tabelle 16:** Vergleich aller VAS-Pain zu den verschiedenen Untersuchungszeiträumen

	vor Unfall (VAS-Pain) $\pm$ Standardab- weichung	direkt vor OP (VAS-Pain) $\pm$ Standardab- weichung	3. NU (VAS- Pain) $\pm$ Standardab- weichung	3. NU (WS- Score, DGU) $\pm$ Standardab- weichung
<b>Mittelwert</b>	1,7 $\pm$ 2,0	7,4 $\pm$ 2,2	2,9 $\pm$ 2,0	74,2 $\pm$ 19,5
<b>Median</b>	1	8	3	78,3



**Abbildung 26:** Boxplot; Vergleich aller VAS-Pain zu den verschiedenen Untersuchungszeiträumen

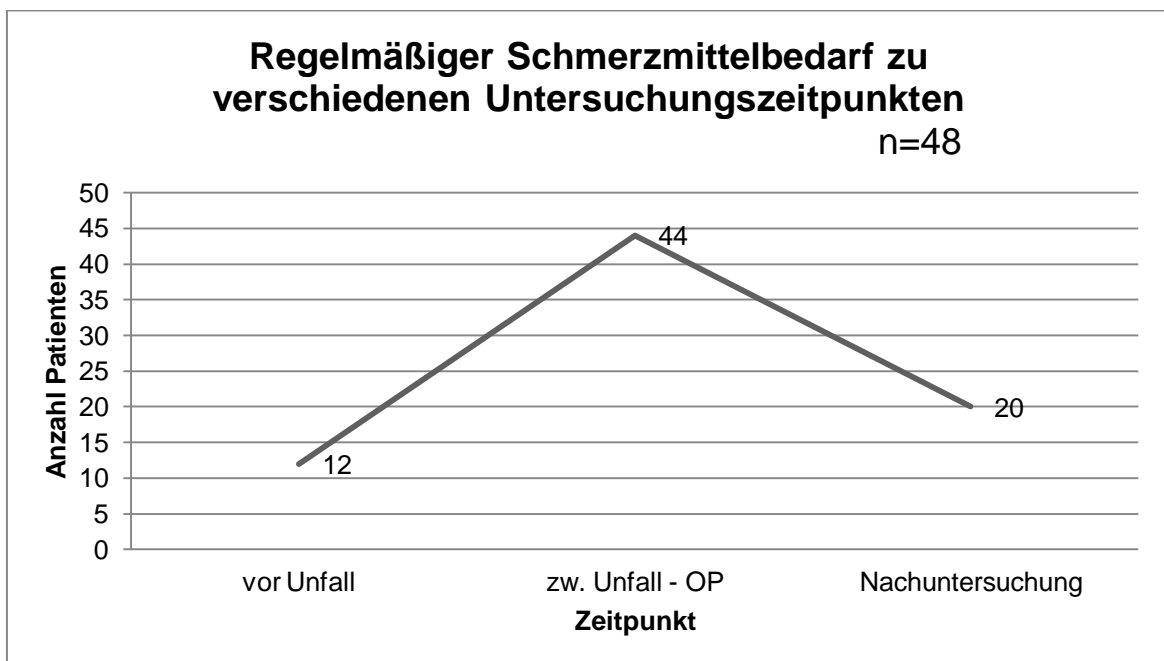
### 3.3 ERGEBNISSE SCHMERZMITTELBEDARF

48 Patienten gaben für die verschiedenen Nachuntersuchungszeiträume verwertbare Angaben zu Ihrem Schmerzmittelgebrauch an.

Von den 48 ausgewerteten Patienten benötigten zwölf vor dem Unfallereignis bereits eine regelmäßige Schmerzmedikation aufgrund ihrer Rückenschmerzen. In der Zeitspanne zwischen Unfallereignis und OP-Zeitpunkt war dies bei 44 der Fall. Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung gaben 20 der 48 Patienten noch an, Schmerzmittel regelmäßig zu benötigen.

**Tabelle 17:** Regelmäßige Schmerzmedikation zu verschiedenen Zeitpunkten, Auswertung von 48 Patienten

	Anzahl Patienten	Prozent aller Befragten
<b>Vor Unfall</b>	12	25%
<b>Zwischen Unfall und OP</b>	44	91,7%
<b>Nachuntersuchung</b>	20	41,7%



**Abbildung 27:** Diagramm; Regelmäßige Schmerzmedikation zu verschiedenen Untersuchungszeitpunkten, Auswertung von 48 Patienten

## **4 DISKUSSION**

### **4.1 VERGLEICHSTUDIEN**

#### **4.1.1 PATIENTENKOLLEKTIV UND FRAKTURLOKALISATION**

Magerl et al.<sup>6</sup> gaben Typ A Verletzungen in 66,1% der Fälle im Gesamtkollektiv an (A1 Frakturen 34,7%; A3 Frakturen 28,0%). In dieser Arbeit konnten 19,1% aller untersuchten Frakturen der Gruppe A1 zugeordnet werden, 66,2% der Gruppe A3. Da A1 Frakturen jedoch weniger häufig operativ versorgt werden müssen, ist der Anteil in diesem Kollektiv entsprechend niedriger und der Anteil der A3 dementsprechend höher. Zudem unterscheiden sich beide Kollektive. Bei Magerl et al. wurden junge „wirbelsäulen-gesunde“ Patienten betrachtet, während in der vorliegenden Arbeit alte Patienten mit z.T. osteoporotischen Frakturen bzw. traumatische Frakturen bei vorbestehender Osteoporose nachuntersucht wurden<sup>13</sup>.

In der Multicenterstudie, in der zum Großteil operativ versorgte Frakturen betrachtet werden, werden A1 Verletzungen in 6,8% und A3 Verletzungen in etwa der Hälfte (49,6%) aller Fälle angegeben<sup>58</sup>. Da in der vorliegenden Arbeit alle Typ C-Verletzungen ausgeschlossen wurden, ergibt sich eine Verschiebung der Häufigkeit zu Typ A und B. Hier wurden beispielsweise 66,2% aller eingeschlossenen Frakturen als A3 klassifiziert (vs. 57,3% in der MCS ohne Typ C).

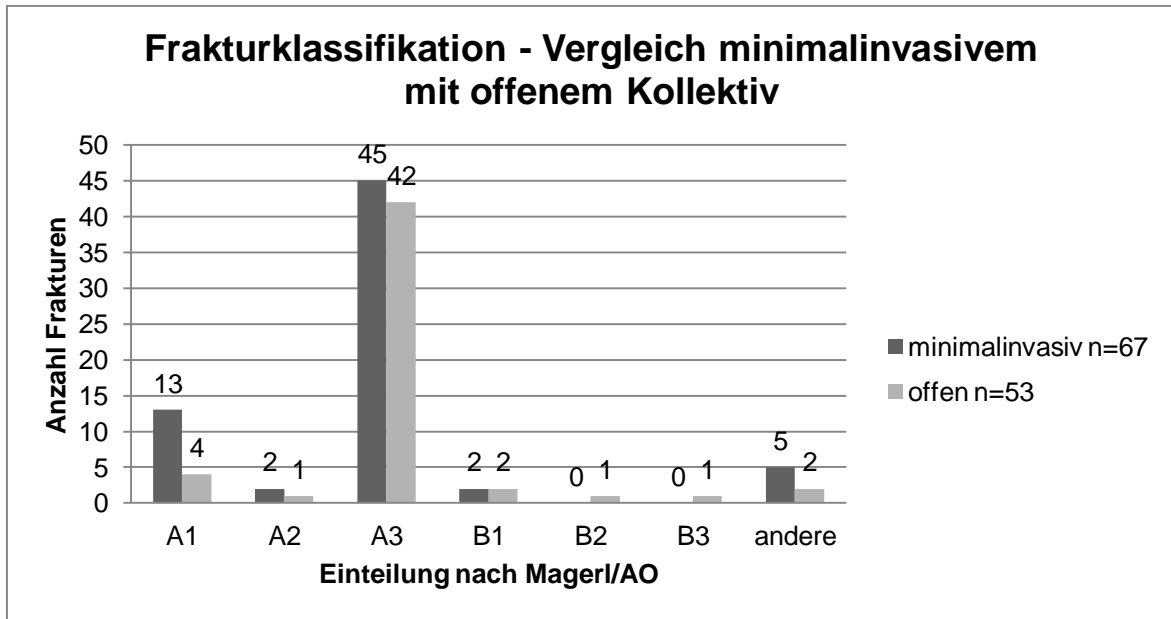
Typ B Verletzungen finden sich auch unter Berücksichtigung des Ausschlusses der Typ C Frakturen deutlich weniger in dieser Arbeit (2,9% vs. 20% in der MCS). Ein Grund hierfür ist, dass bei Typ B Verletzungen häufiger als bei Typ A Verletzungen neurologische Ausfallerscheinungen auftreten und deshalb solche Verletzungen aus dieser Studie ausgeschlossen wurden<sup>59</sup>. Hierdurch erhöht sich wiederum der prozentuale Anteil der Typ A Verletzungen.

Das Durchschnittsalter der Patienten mit versorgten Frakturen ist in der MCS (44 Jahre Gesamtkollektiv; 47,2 Jahre Typ A Verletzungen; 39,2 Jahre Typ B

Verletzungen) deutlich niedriger als in dieser Arbeit. Ein Grund hierfür das Einschlusskriterium der Kyphoplastie, welche eine Altersuntergrenze (je nach Patientenzustand) von 60 Jahren empfiehlt<sup>15</sup>.

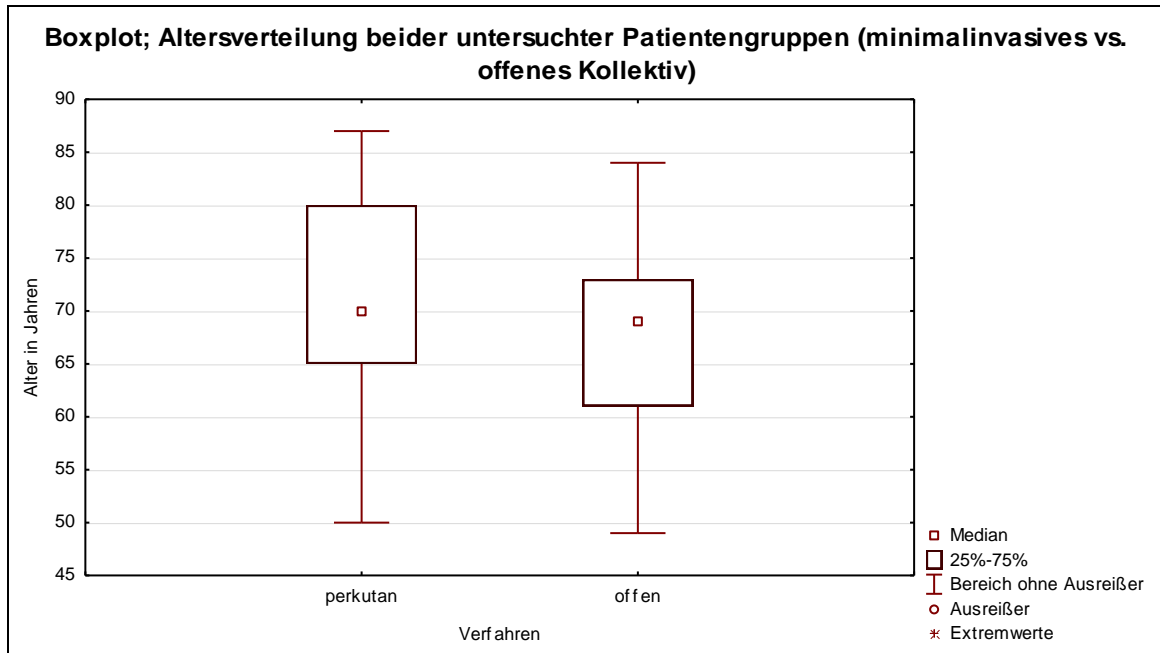
#### **4.1.2 OFFENES VORGEHEN MIT KYPHOPLASTIE**

Die erhaltenen Werte wurden mit dem von Heintel et al.<sup>60</sup> untersuchten Patientengut verglichen. In dieser Studie wurden 53 Frakturen aufgenommen, die im Zeitraum Dezember 2002 bis Februar 2010 am Universitätsklinikum Würzburg eine Kyphoplastie kombiniert mit einem im offenen Verfahren implantierten Fixateur interne erhalten haben. Hierbei ist zu beachten, dass in diesem Zeitraum dort keine minimalinvasive perkutane Instrumentierung durchgeführt wurde und es daher in diesem Kollektiv weniger Selektion gab, welche die Patienten je nach Fraktur dem perkutanen oder offenen Verfahren zugeteilt hätte. Es befanden sich auch in dieser Gruppe hauptsächlich A3 Verletzungen nach Magerl et al. (42 Frakturen). Weiterhin waren A1 Verletzungen viermal vorhanden, A2 einmal, B-Verletzungen viermal und zwei nicht nach Magerl klassifizierbare Frakturen. Sowohl im Kollektiv dieser Arbeit als auch im Vergleichskollektiv wurden im Großteil CT-Aufnahmen zur Klassifikation der Frakturen eingesetzt. Da im Gegensatz zu konventionellen Röntgenaufnahmen hiermit eine genaue Klassifizierung möglich ist, ist von einer sehr geringen Rate an falsch klassifizierten Frakturen auszugehen<sup>9,61</sup>.



**Abbildung 28:** Diagramm; Frakturklassifikation nach Magerl/AO der untersuchten Frakturen, im Vergleich minimalinvasives mit offenem Kollektiv

In diesem Vergleichskollektiv wurde kein Patient mehrfach operiert. Somit entsprechen die 53 Frakturen 53 verschiedenen Patienten. Davon sind 64 % weiblich ( $\hat{=}$  34 Patientinnen) und 36% männlich ( $\hat{=}$  19 Patienten). Das Durchschnittsalter der Patienten betrug bei stationärer Aufnahme  $67,6 \pm 9,4$  Jahre (49 bis 84 Jahre). Das Durchschnittsalter der perkutanen Gruppe war mit  $71,3 \pm 8,9$  Jahre somit signifikant höher als das der offenen Vergleichsgruppe.



**Abbildung 29:** Boxplot; Altersverteilung beider untersuchter Patientengruppen (minimalinvasives vs. offenes Kollektiv)

#### 4.1.3 VERGLEICH GDW

In der Vergleichsgruppe wurde eine Wiederaufrichtung von  $6,4 \pm 3,3$  Grad erreicht (bisegmental). Dies stellt im Vergleich zur perkutan durchgeführten Instrumentierung (Wiederaufrichtung  $5,2 \pm 5,2$  Grad) keinen signifikanten Unterschied dar.

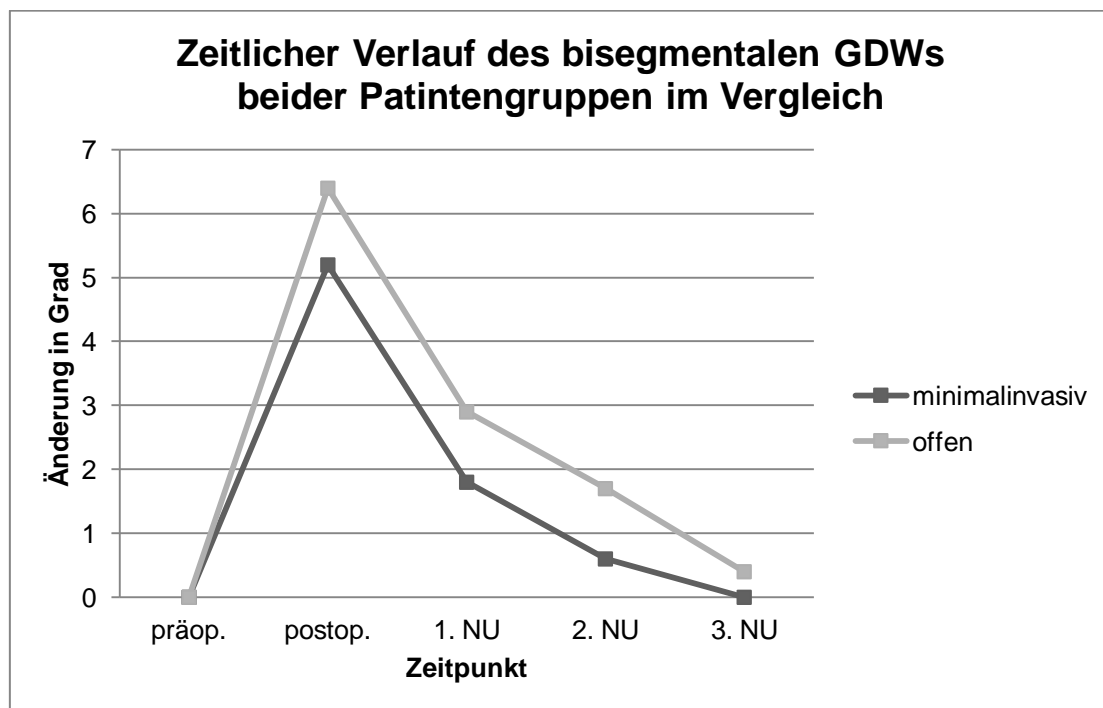
Zum Nachuntersuchungszeitpunkt „6 Wochen“ war kein signifikanter Unterschied zu dem Vergleichskollektiv bzgl. des Korrekturverlustes zu erkennen ( $3,4$  Grad perkutan vs.  $3,5$  Grad offen). Da nicht von allen Patienten Nachuntersuchungsergebnisse vorliegen, ergibt sich zwischen den Altersgruppen der beiden verglichenen Kollektive, von denen tatsächlich der Korrekturverlust sechs Wochen postoperativ bestimmt wurde, in diesem Fall kein signifikanter Unterschied ( $69,3$  Jahre vs.  $67,8$  Jahre).

Ebenfalls kein Unterschied konnte im Nachuntersuchungszeitraum drei bis sechs Monate zum Vergleichskollektiv festgestellt werden (Korrekturverlust:  $4,6$



Grad perkutan vs. 4,7 Grad offen). Auch die Altersgruppen der Patienten, bei denen Daten der zweiten NU vorliegen, waren nicht signifikant unterschiedlich (66,9 Jahre vs. 67,5 Jahre).

Ebenso bei dem Vergleich der Daten zur dritten NU konnte kein signifikanter Unterschied bzgl. des Korrekturverlustes festgestellt werden (Korrekturverlust: 5,2 Grad perkutan vs. 6,0 Grad offen). Auch der Altersdurchschnitt der Patienten, bei denen Daten der dritten NU vorliegen, waren nicht signifikant unterschiedlich (70,7 Jahre perkutan vs. 67,4 Jahre offen).



**Abbildung 30:** Diagramm; Wiederaufrichtung und Korrekturverluste des sagittalen Wirbelsäulenprofils zu den verschiedenen Untersuchungszeitpunkten, gemessen als bisegmentaler GDW, minimalinvasiv und offen operierte Patientengruppen im Vergleich

#### 4.1.3.1 VERGLEICH L1-VERLETZUNGEN

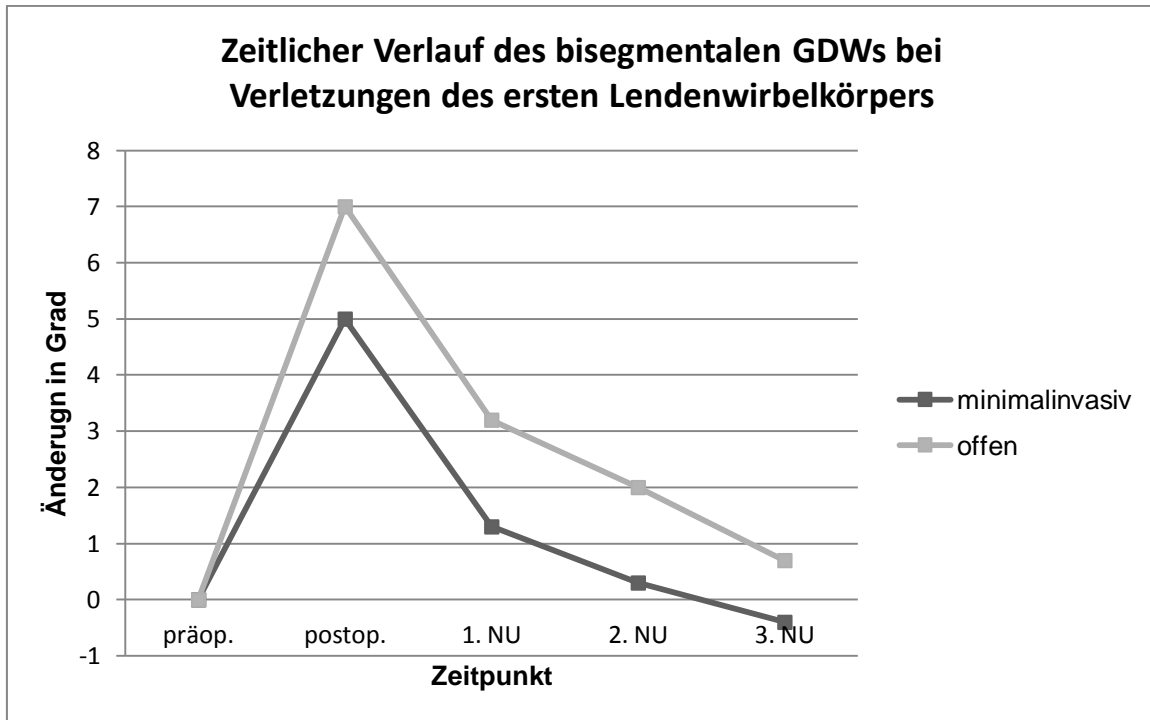
Reinhold et al.<sup>43,58,62</sup> und Weiner et al.<sup>63</sup> konnten einen signifikanten Einfluss der Lokalisation der Fraktur auf den Verlauf der GDW feststellen, sodass nachfolgend die ermittelten Daten aller L1-Frakturen mit den L1-Frakturen des Vergleichskollektivs verglichen werden.

Bei der Gegenüberstellung der Wiederaufrichtung konnten in diesem Fall 30 (perkutan) mit 27 (offen) Patienten verglichen werden. Es ergibt sich hierbei ein Mittelwert von  $5,0 \pm 4,6$  Grad (offen  $7,0 \pm 3,9$  Grad). Dieser Unterschied ist nicht signifikant.

Weiterhin konnte bei beiden Kollektiven kein signifikanter Unterschied der Korrekturverluste zu den verschiedenen Nachuntersuchungsterminen festgestellt werden.

**Tabelle 18:** Korrekturverluste des sagittalen Wirbelsäulenprofils zu den verschiedenen Untersuchungszeitpunkten, gemessen als bisegmentaler GDW bei Verletzungen des ersten Lendenwirbelkörpers, minimalinvasiv und offen operierte Patientengruppen im Vergleich

<b>Zeitpunkt</b>	<b>Mittelwert Korrekturverlust Perkutanes Kollektiv <math>\pm</math> Standardabweichung</b>	<b>Mittelwert Korrekturverlust Vergleichskollektiv (offen) <math>\pm</math> Standardabweichung</b>
<b>6 Wochen</b>	3,7 $\pm$ 4,4 Grad	3,8 $\pm$ 2,0 Grad
<b>3-6 Monate</b>	4,7 $\pm$ 5,1 Grad	5,0 $\pm$ 2,2 Grad
<b>9 Monate</b>	5,4 $\pm$ 5,3 Grad	6,3 $\pm$ 2,4 Grad



**Abbildung 31:** Diagramm; Wiederaufrichtung und Korrekturverluste des sagittalen Wirbelsäulenprofils zu den verschiedenen Untersuchungszeitpunkten, gemessen als bisegmentaler GDW bei Verletzungen des ersten Lendenwirbelkörpers, minimalinvasiv und offen operierte Patientengruppen im Vergleich

#### 4.1.3.2 VERGLEICH INKOMPLETTER BERSTUNGSBRÜCHE

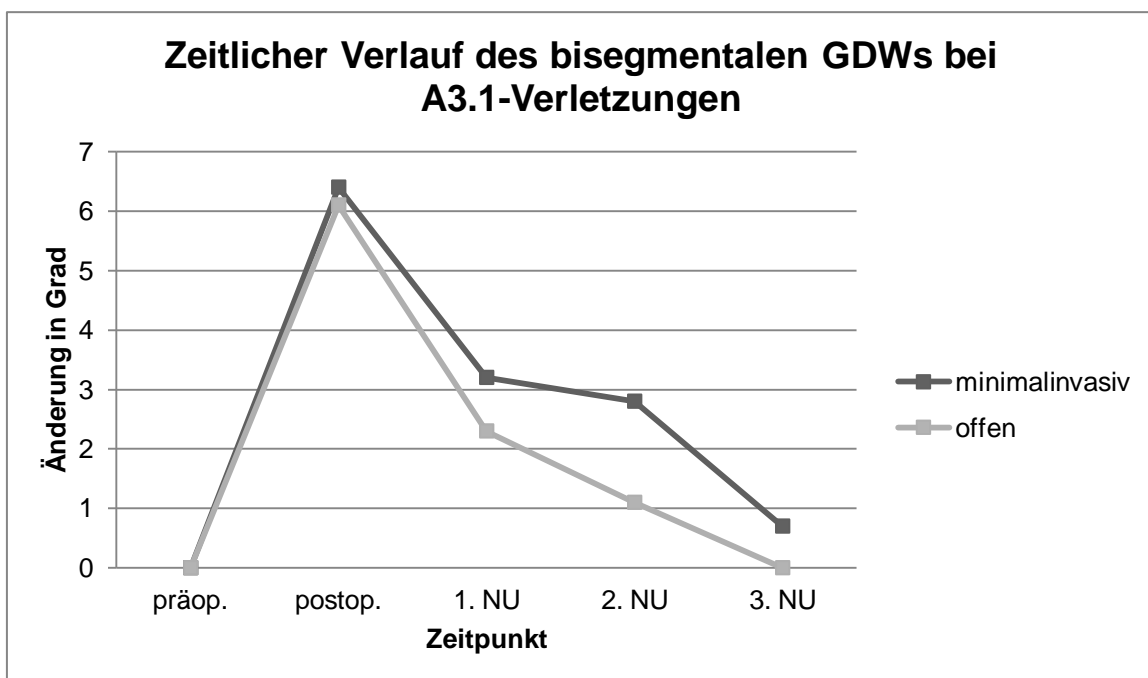
Um Fehler zwischen dem Vergleichskollektiv und den erhobenen Daten bzgl. verschiedener Frakturformen zu vermeiden, werden hier die Daten aller inkompletter Berstungsbrüche (A3.1 nach Magerl et al.<sup>6</sup>) miteinander verglichen. Diese machen den größten Anteil aller versorgten Frakturen sowohl innerhalb der perkutan versorgten Gruppe als auch des Vergleichskollektivs aus.

Den Grad der Wiederaufrichtung konnte in diesem A3.1-Kollektiv-perkutan bei 31 Patienten ermittelt werden (30 Patienten offen). Diese liegt bei der minimalinvasiven Instrumentierung bei  $6,4 \pm 4,8$  Grad (offen  $6,1 \pm 4,1$  Grad). Es konnte hierbei kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Kollektiven festgestellt werden.

Auch der Korrekturverlust der A3.1 Verletzungen ergab zu keinem Zeitpunkt einen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Kollektiven.

**Tabelle 19:** Korrekturverluste des sagittalen Wirbelsäulenprofils zu den verschiedenen Untersuchungszeitpunkten, gemessen als bisegmentaler GDW bei A3.1 Verletzungen, minimalinvasiv und offen operierte Patientengruppen im Vergleich

Zeitpunkt	Mittelwert Korrekturverlust Perkutanes Kollektiv ± Standardabweichung	Mittelwert Korrekturverlust Vergleichskollektiv (offen) ± Standardabweichung
6 Wochen	3,2 ± 3,8 Grad	3,8 ± 2,4 Grad
3-6 Monate	3,6 ± 4,6 Grad	5,0 ± 2,6 Grad
9 Monate	5,7 ± 5,3 Grad	6,1 ± 2,8 Grad



**Abbildung 32:** Diagramm; Wiederaufrichtung und Korrekturverluste des sagittalen Wirbelsäulenprofils zu den verschiedenen Untersuchungszeitpunkten, gemessen als bisegmentaler GDW bei A3.1 Verletzungen, minimalinvasiv und offen operierte Patientengruppen im Vergleich

Zwar lassen sich zwischen den beiden Gruppen keine signifikanten Unterschiede feststellen, jedoch herrscht Uneinigkeit, inwiefern kyphotische Fehlstellungen überhaupt einen Einfluss auf das Befinden der Patienten haben. So konnten viele Studien zeigen, dass die röntgenologischen Korrekturverluste der Wirbelsäule, also das Fortschreiten der Kyphose, für die funktionellen Ergebnisse einer Behandlung keine große Rolle spielen<sup>42-49</sup>. Mehrere Studien geben aber als Einschränkung dieser Aussage an, dass in ihrem Kollektiv zwar die Schmerzen (größtenteils) nicht vom Korrekturverlust abhängen, aber vor allem Patienten mit sehr starken kyphotischen Stellungen von, je nach Autor, über 10-30 Grad die größten Schmerzen im Kollektiv angaben<sup>42,64-66</sup>. Eysel et al. sehen auch einen Zusammenhang zwischen bestehenden Schmerzen und kyphotischer Fehlstellung. Sie begründen den fehlenden Zusammenhang, wie er von vielen Autoren beschrieben wird, als Folge zu kurzer Nachuntersuchungszeiträume<sup>67</sup>. Eine mögliche Einengung des Spinalkanals und dadurch bedingte neurologische Ausfälle können durch eine fortschreitende Kyphosierung erzeugt oder verstärkt werden, weshalb je nach Frakturstabilität, neurologischen Begleiterscheinungen und Spinalkanaleinengung eine operative Therapie unumgänglich werden kann<sup>47,67,68</sup>.

Auffällig ist, dass in beiden Kollektiven zum Zeitpunkt der letzten Nachuntersuchung des GDWs (3. NU) annähernd der Ausgangswert präoperativ erreicht wird. Daher könnte sich die Frage auf tun, ob eine operative Versorgung überhaupt gewinnbringend ist. Betrachtet man jedoch mittels Gipsmieder, Drei-Punkt-Korsett oder frühfunktionell ohne Ruhigstellung konservativ behandelte Frakturen, dann beobachtet man auch dort im Laufe der Zeit Korrekturverluste und somit eine zunehmende Kyphosierung<sup>47</sup>. Diese belaufen sich im Falle der Multicenterstudie der Arbeitsgemeinschaft „Wirbelsäule“ der DGU auf durchschnittlich 2,9 Grad. Hier wurden konservativ versorgte Kneifzangenbrüche (A 2.3) oder schwerere Frakturen im Nachuntersuchungszeitraum von zwölf Monaten oder länger nach dem Unfallereignis untersucht<sup>43</sup>. Andere Studien zeigen bei konservativ behandelten Frakturen Korrekturverluste von 3,4 Grad im thorakolumbalen Übergang und somit größere Verluste als bei operativ versorgten Verletzungen<sup>42</sup>. Neben der

stärkeren kyphotischen Fehlstellung im Nachuntersuchungszeitraum können grundsätzlich im operativ versorgten Kollektiv im Vergleich zur konservativen Behandlung bessere funktionelle Ergebnisse und eine Verkürzung der Berufsunfähigkeit (6,7m vs. 13,8m) erreicht werden<sup>43</sup> oder eine höhere Rate an Patienten, die ihren ursprünglichen Beruf wieder ausüben können<sup>69</sup>.

Da eine Kyphoplastie nicht bei allen Frakturen und Patienten angewandt werden kann (siehe Einleitung), müssen auch andere ventrale Verfahren betrachtet werden. Hierbei konnten Heintel et al.<sup>60</sup> zeigen, dass ebenso bei anderen perkutan dorsoventral versorgten Patienten keine signifikanten Unterschiede bzgl. des Korrekturverlustes bestanden. Eine alleinige dorsale perkutane Stabilisierung instabiler Frakturen des jüngeren Patienten brachte jedoch ein signifikant schlechteres Ergebnis hinsichtlich Wiederaufrichtung und Korrekturverlust<sup>60</sup>.

#### **4.1.4 VERGLEICH VAS**

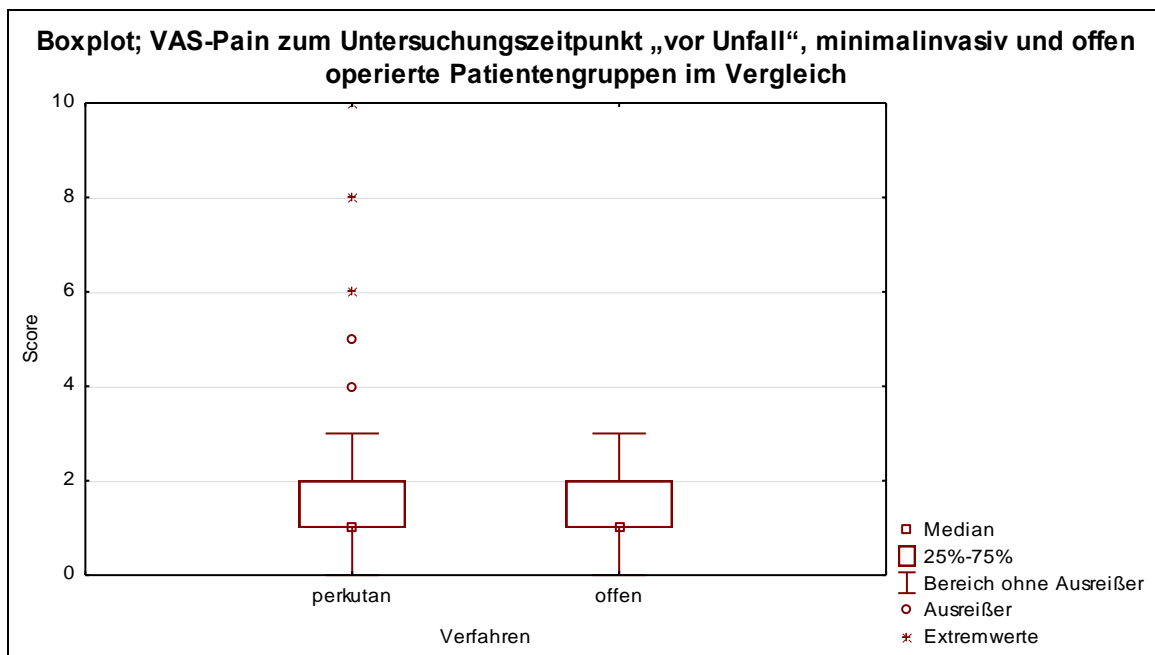
Betrachtet man nur Patienten, die den Fragebogen der DGU ausgefüllt haben, so ergibt sich hier ein Durchschnittsalter der minimalinvasiv versorgten Patienten von  $68,4 \pm 6,8$  Jahren (vs.  $67,4 \pm 8,8$  Jahre in der Gruppe der konventionell offen behandelten Patienten) und damit kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen. Die Geschlechterverteilung war hierbei auch verschieden zu dem gesamten Kollektiv der 67 Frakturen und lag bei 26 ( $\cong 76,5\%$ ) weiblichen Patienten und 8 ( $\cong 23,5\%$ ) männlichen (vs. offen bei 61,4% weiblich, 38,6% männlich).

Altersunterschiede und auch die Geschlechterverteilung der beiden verglichenen Kollektive spielen jedoch bzgl. des VAS-Pain eine untergeordnete Rolle, da beide Faktoren ab einem Alter von 60 Jahren keinen nennenswerten Einfluss auf das Schmerzempfinden haben<sup>70</sup>. So nehmen zwar die chronischen Rückenschmerzen im Alter eher zu<sup>71</sup>, die des akuten Rückenschmerzes aber aus verschiedenen, teilweise ungeklärten Gründen eher ab<sup>72</sup>.

Betrachtet man jedoch nicht nur die Schmerzangaben mittels des VAS-Pain, sondern auch die Möglichkeit, Tätigkeiten auszuführen, konnten andere Quellen eine Abnahme des VAS-Wirbelsäulenscores und somit eine Verschlechterung mit Zunahme des Alters zeigen<sup>43,58,62</sup>.

Die VAS-Pain der Gruppe der konventionell offen behandelten Patienten mit Schmerzangaben bzgl. der Wirbelsäule vor dem Unfallereignis haben 53 Patienten ausgefüllt. Vom Einjahreswert des VAS-Wirbelsäulenscores der DGU liegen von 44 Patienten Daten vor. Hierbei betrug der Mittelwert der VAS-Pain vor Unfallereignis  $1,3 \pm 0,9$ . Der VAS-Wirbelsäulenscore betrug  $57,9 \pm 7,9$ .

Im Vergleich zum Kollektiv der perkutan versorgten Patienten ergab sich zwischen den VAS-Pain Werten vor dem Unfall (perkutan  $1,8 \pm 2,0$ ) kein signifikanter Unterschied.



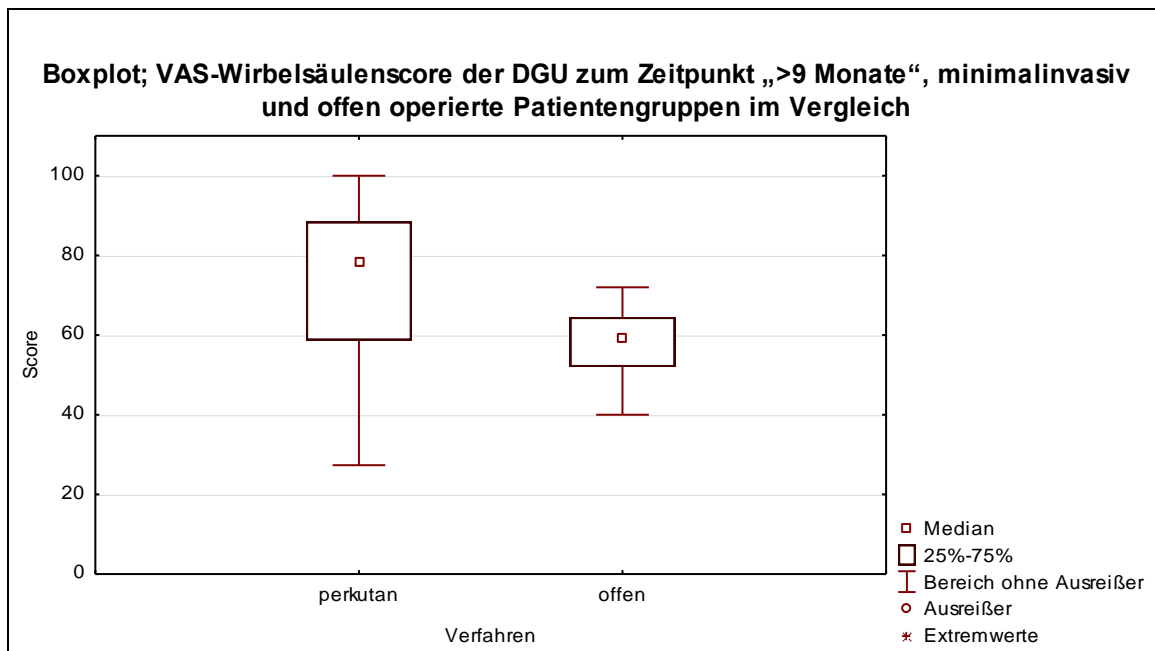
**Abbildung 33:** Boxplot; VAS-Pain zum Untersuchungszeitpunkt „vor Unfall“, minimalinvasiv und offen operierte Patientengruppen im Vergleich

Es liegen keine Vergleichsdaten der „VAS-Pain“ von offen instrumentierten Verfahren zu den Zeitpunkten „vor der Operation“ (also nach dem Unfall) und >9m vor. Der Vergleich dieser Daten spielt jedoch eine untergeordnete Rolle, da zu diesem Zeitpunkt auch der VAS-Wirbelsäulenscore erhoben wurde; mit

diesem lassen sich differenziertere Aussagen über die funktionellen Ergebnisse machen.

Vergleichswerte der VAS-Pain mit anderen minimalinvasiv versorgten Patienten ergaben ähnlich Werte. Unmittelbar präoperativ ergaben sich hier Durchschnittswerte von „7,3-8“ (vs. 7,4 in dieser Studie) und zu dem Nachuntersuchungszeitpunkt 24 Monate „2-2,5“ (vs. 2,9 in dieser Studie). Diese Patienten erhielten jedoch die perkutane Instrumentierung ohne Kyphoplastie. Hierbei wurden aber keine Frakturen der Wirbelsäule stabilisiert, sondern degenerative Erkrankungen, weshalb ein Vergleich dieser Daten schwer fällt<sup>73,74</sup>.

Beim Vergleich des VAS-Wirbelsäulenscores der Arbeitsgemeinschaft „Wirbelsäule“ der DGU (perkutan  $74,2 \pm 19,5$  vs. offen  $57,9 \pm 7,9$ ) konnte ein hochsignifikanter Unterschied festgestellt werden. Die Ergebnisse zeigen damit ein deutlich besseres subjektives Empfinden zum dritten Untersuchungszeitpunkt zugunsten der minimalinvasiven Instrumentierung.



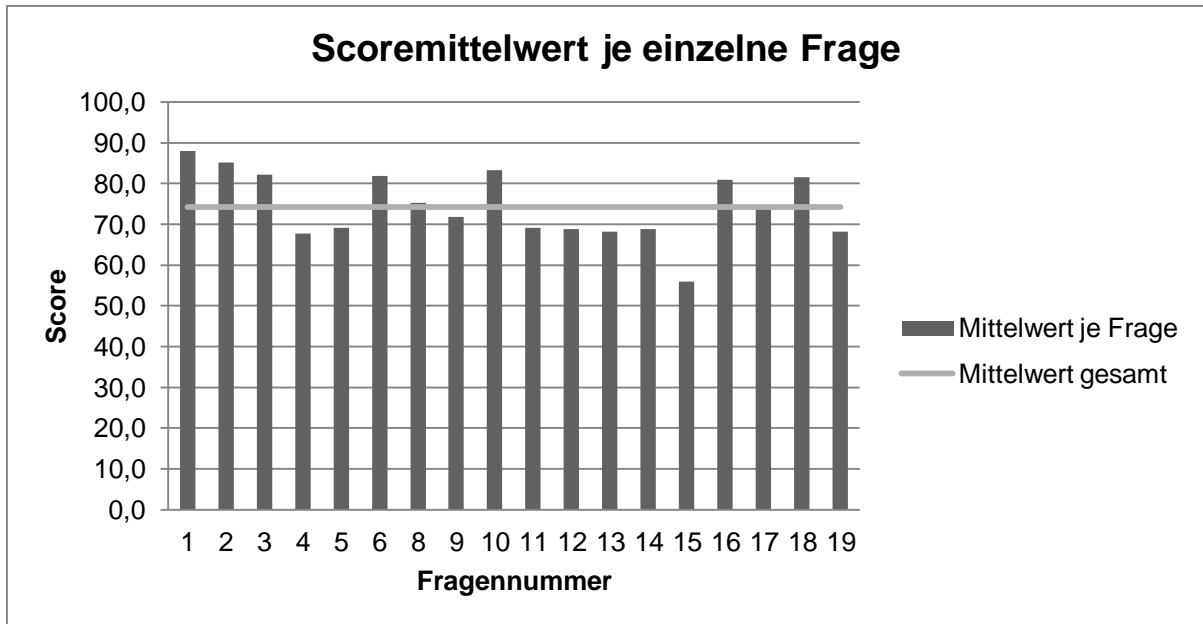
**Abbildung 34:** Boxplot; VAS-Wirbelsäulenscore der DGU zum Zeitpunkt „>9 Monate“, minimalinvasiv und offen operierte Patientengruppen im Vergleich



Der Anteil von Messfehlern, die beim Auswerten der VAS-Pain entstehen können, ist als gering einzuschätzen, da der klinisch relevante Unterschied 10mm beträgt und der mögliche Messfehler darunter liegt<sup>75</sup>.

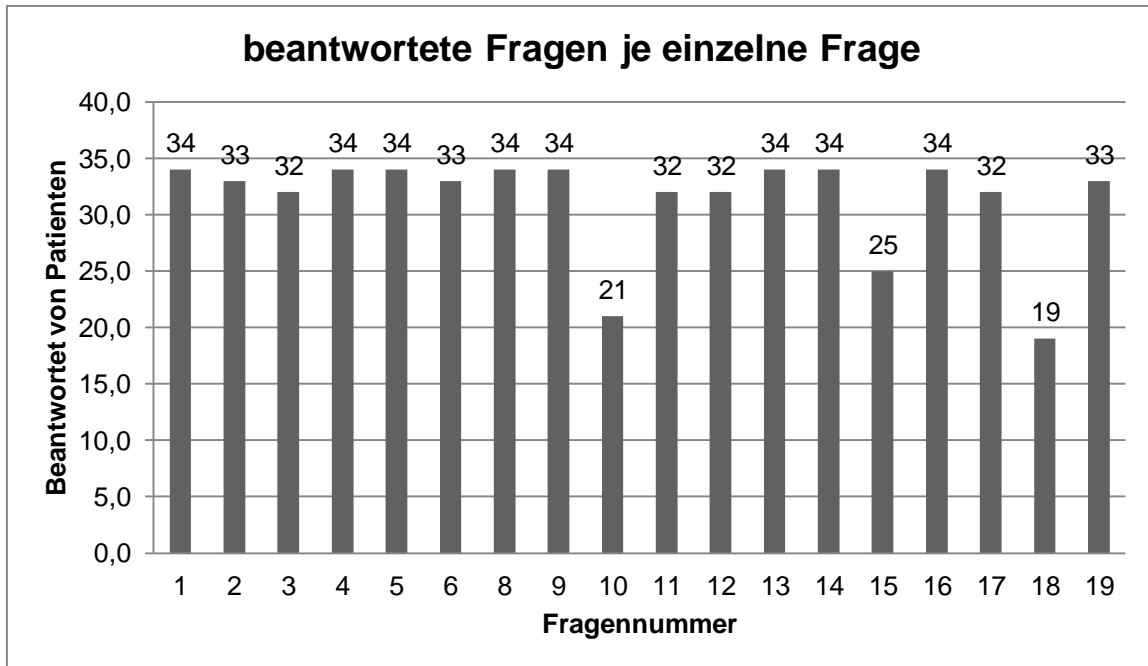
Im Vergleich zu einer gesunden Vergleichsgruppe (ohne chronische oder akute Rückenschmerzen und andere Erkrankungen), die einen durchschnittlichen Score von 92 erreichten, bleiben die Ergebnisse der perkutanen Instrumentierung deutlich zurück<sup>52</sup>.

Den schlechtesten Mittelwert (56,0) aller Fragen erreicht die Frage 15 („Wie stark schränken Rückenbeschwerden das Laufen ein [z.B. Jogging, Waldlauf etc.]?“), wobei bedacht werden muss, dass diese Frage von nur 21 der 34 Patienten beantwortet wurde. Die höchsten Mittelwerte wurden bei Frage 1 („Wie oft stören Rückenschmerzen im Schlaf?“) und 2 („Wie oft haben Sie in körperlicher Ruhe Rückenschmerzen?“) erzielt (87,9 und 85,2). Daraus und beim Betrachten der anderen Werte lässt sich ableiten, dass Tätigkeiten mit weniger körperlicher Anstrengung (Fragen 1–3) eher bessere bewertet wurden als Tätigkeiten, welche größere Anstrengungen (Fragen 4,5,11–15 und 19) erforderten. Dies stimmt größtenteils mit Literaturangaben überein, da auch hier bei Nachuntersuchungen (14–38 Monate, Ø 23 Monate nach Ersteingriff) von ein- oder zweizeitig dorsal und ventral instrumentierten Patienten die Fragen 4, 5, 10, 11, 15 und 19 am schlechtesten bewertet wurden. Durchschnittlich wurde hier ein Score von  $66,1 \pm 25,0$  erreicht, wobei keine nähere Angaben gemacht wurden, wie die dorsale Stabilisierung erfolgte. Es kann aber aufgrund des Zeitraums der Stabilisierung (1995–1996) davon ausgegangen werden, dass keine perkutane Stabilisierung erfolgte. Die ventrale Stabilisierung erfolgte mittels Beckenkammspan<sup>52</sup>, wobei Patienten häufig über Schmerzen an der Entnahmestelle berichten und diese Schmerzen möglicherweise mit in den Score einfließen<sup>11</sup>.



**Abbildung 35:** Diagramm; Scoremittelwert des VAS-Wirbelsäulen Scores der DGU je einzelne Frage mit Angabe des Mittelwerts aller ausgewerteten Fragen, minimalinvasiv versorgtes Kollektiv

Die meisten der 18 Fragen des VAS-Wirbelsäulen Scores wurden von mindestens 90% aller Patienten, welche den Fragebogen in richtiger Art und Weise ausgefüllt haben, beantwortet. Lediglich die Frage 10 („Wie stark schränken Rückenbeschwerden Ihren Beruf ein?“), die Frage 15 („Wie stark schränken Rückenbeschwerden das Laufen ein [z.B. Jogging, Waldlauf etc.]?“) und die Frage 18 („Wie stark schränken Rückenbeschwerden Ihr Sexualleben ein?“) wurden von 21 ( $\cong 61,8\%$ ), 25 ( $\cong 73,5\%$ ) bzw. 19 ( $\cong 55,9\%$ ) Patienten ausgefüllt. Das nicht so häufige Beantworten der Frage 10 erklärt sich dadurch, dass viele der befragten Teilnehmer zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung bereits verrentet waren und dies häufig auch als „Erläuterung“ neben die Frage geschrieben haben, wenn sie diese nicht beantwortet haben.



**Abbildung 36:** Diagramm; ausgewertete Antworten je einzelne Frage des VAS-Wirbelsäulen Scores der DGU, minimalinvasiv versorgtes Kollektiv

#### 4.1.4.1 VERGLEICH L1-VERLETZUNGEN

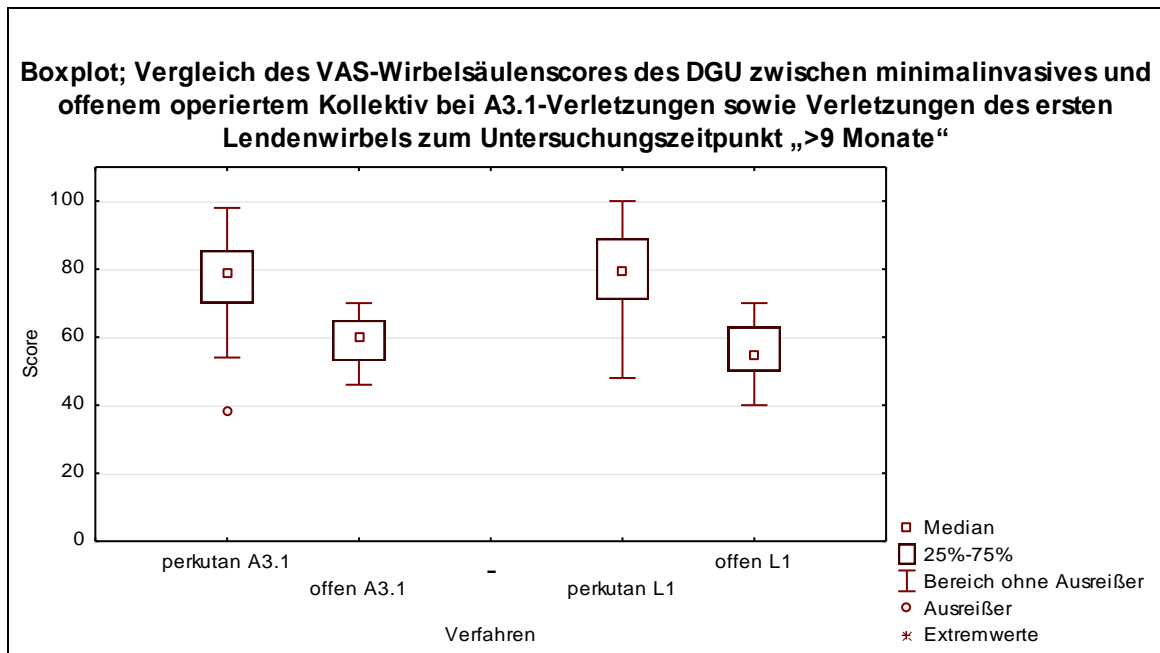
Reinhold et al.<sup>43,58,62</sup> stellten fest, dass die Lokalisation einer Verletzung einen Einfluss auf die Werte des VAS-Wirbelsäulenscores der DGU hat. Deshalb werden noch die Einflüsse der Lokalisation bewertet und hier die L1 Verletzungen, welche den größten Anteil aller untersuchten Verletzungen ausmachen, bzgl. des VAS-Wirbelsäulenscores miteinander verglichen.

In diesem Fall können bei dem Vergleich des VAS-Wirbelsäulenscores der DGU 18 (perkutan) mit 21 (offen) Patienten gegenüber gestellt werden. Hierbei ergibt sich ein Mittelwert von  $80,3 \pm 13,9$  (offen  $56,4 \pm 8,0$ ). Der Unterschied kann als signifikant angesehen werden.

#### 4.1.4.2 VERGLEICH A3.1-VERLETZUNGEN

Es liegen von 20 Patienten Daten bzgl. des VAS-Wirbelsäulescores der DGU vor, bei denen eine A3.1-Verletzung minimalinvasiv versorgt wurden (offen 23 Patienten). Hierbei ergab sich im minimalinvasiven Kollektiv ein Mittelwert von  $77,0 \pm 14,9$  (offen:  $59,2 \pm 7,4$ ). Die Ergebnisse stellen einen signifikanten

Unterschied mit besserem Ergebnis zugunsten der perkutanen Instrumentierung dar.



**Abbildung 37:** Boxplot; Vergleich des VAS-Wirbelsäulenscores des DGU zwischen minimalinvasives und offenem operiertem Kollektiv bei A3.1-Verletzungen sowie Verletzungen des ersten Lendenwirbels zum Untersuchungszeitpunkt „>9 Monate“

#### 4.1.5 SCHMERZMITTELBEDARF

Es wurde zum gleichen Nachuntersuchungszeitpunkt der regelmäßige Schmerzmittelbedarf mittels „Ja-Nein“ und mittels einer VAS befragt. Hierbei handelte es sich um Frage 6 des VAS-Wirbelsäulenscores („Wie oft nehmen Sie Schmerzmittel gegen Rückenschmerzen ein?“). Es wurde ein Mittelwert von 81,8 erreicht. Der zum gleichen Zeitpunkt mittels einer „Ja-Nein-Frage“ erfragte regelmäßige Schmerzmittelbedarf wurde von 41,7% der Befragten bejaht.

Der regelmäßige Schmerzmittelbedarf wurde zu den anderen Zeitpunkten nur mittels einer „Ja-Nein-Frage“ erfragt. Daher lassen sich keine sicheren Aussagen machen, da schwach ebenso wie sehr stark wirksame Medikamente den gleichen Wert erhalten haben. 41,7% der Befragten litten zum dritten

Nachuntersuchungszeitpunkt immer noch unter solchen Einschränkungen, dass ein regelmäßiger Schmerzmittelbedarf vorhanden war. In der Studie von Rodríguez-Vela et al.<sup>76</sup> benötigte im minimalinvasiven Kollektiv nach 40 Tagen kein Patient mehr eine regelmäßige und 20% eine sporadische Schmerzmedikation. Es forderten aber 53,8% der offen instrumentierten Patienten eine weitere Schmerzmedikation. Hierbei wurden aber keine Frakturen, sondern degenerative Erkrankungen untersucht. Außerdem wurde in diesem Kollektiv keine Kyphoplastie durchgeführt, was für sich schon eine Schmerzreduktion bewirkt<sup>77</sup>.

## **4.2 KOMPLIKATIONEN**

Zu den wichtigsten Komplikationen von dorsalen Instrumentierungen zählen Infektionen und Schraubenfehlagen<sup>78</sup>. Die Schraubenlagen wurden in dieser Studie nicht überprüft.

Schraubenfehlagen und auch andere operative Komplikationen können aber zu neurologischen Erscheinungen führen, welche dokumentiert wurden<sup>79</sup>. In dieser Studie fand bei keinem Patienten zwischen prä- und postoperativ eine Verschlechterung der neurologischen Fähigkeiten statt. Es wurden vor (Einschlusskriterium) und nach der Operation alle Patienten mit „E“ nach Frankel<sup>50</sup> bewertet. Im Vergleichskollektiv bestand lediglich bei einer Patientin bereits vor dem Unfallereignis, welches zu der Wirbelkörper-Fraktur geführt hat, ein dokumentiertes inkomplettes sensorisches Defizit. Diese blieb jedoch durch die Fraktur und nachfolgende Versorgung unverändert bei „D“ nach Frankel. In der Multicenterstudie werden bei 0,2% der Patienten Verschlechterungen des neurologischen Status angegeben, wobei auf die Ursache nicht näher eingegangen wird<sup>62</sup>.

Infektionen traten in dem untersuchten Kollektiv keine auf. Bei einer Patientin ( $\cong 1,5\%$ ) musste postoperativ nach perkutan erfolgter OP eine operative Versorgung eines Hämatoms stattfinden. Im Vergleich sind revisionspflichtige

Infektionen bei stattgehabter operativer Versorgung der BWS und LWS im Allgemeinen in 2,2% aller Fälle beschrieben; notwendige operative Hämatomausräumungen in 1,8%<sup>80</sup>.

### **4.3 VERGLEICH OFFENER MIT MINIMALINVASIVER STABILISIERUNG**

Nachfolgend werden die bereits von anderen Studien gezeigten Vorteile der perkutanen dorsalen Instrumentierung aufgeführt, welche mögliche Erklärungen für das in dieser Arbeit festgestellte bessere subjektive Resultat sein können. Es werden aber auch von verschiedenen Autoren beschriebene Punkte aufgezeigt, welche keinen Vorteil oder gar einen Nachteil im perkutanen Verfahren darstellen.

#### **4.3.1 VORTEILE MINIMALINVASIVER STABILISIERUNG**

Der intraoperative Blutverlust beim minimalinvasiven Verfahren ist signifikant geringer (durchschnittlich 757ml offen vs. 318ml perkutan)<sup>76</sup>. Auch Grass et al.<sup>36</sup> konnten einen signifikanten Unterschied (870ml offen vs. 43ml perkutan) zeigen. Hierbei wurde jedoch auch der postoperative Blutverlust berücksichtigt. Diese wurden mittels Drainagenfüllmengen bestimmt, wobei nur beim offenen Verfahren standardmäßig Drainagen eingebracht werden. Beim perkutanen Verfahren kommen diese nur in Ausnahmefällen zum Einsatz. Da nur ein niedriger Blutverlust zu erwarten ist, müssen bei Patienten, die eine perkutane Instrumentierung erhalten, keine Blutkonserven mehr routinemäßig bereit gestellt werden. Außerdem kann auf eine standardmäßige intraoperative Benutzung eines Cell-Savers verzichtet werden<sup>34</sup>.

Da eine positive Korrelation zwischen Blutverlust und einer möglichen postoperativen Infektion besteht, sinkt aufgrund des niedrigeren Hb-Abfalls beim perkutanen Verfahren auch das Risiko einer Infektion und dadurch auch das der Mortalität<sup>81</sup>.

Weiterhin haben aufgrund der kleineren Zugänge und des geringeren Weichteilschadens Patienten beim minimalinvasiven Verfahren weniger Schmerzen<sup>82</sup>. Dadurch fällt der postoperative Schmerzmittelbedarf niedriger aus. Rodríguez-Vela et al.<sup>76</sup> konnten in einer Gruppe von 30 Personen (je 15 Patienten offen oder perkutan) zeigen, dass sich in beiden Gruppen der Schmerzmittelbedarf unmittelbar postoperativ ähnlich senkte. Nach 20 Tagen traten jedoch Unterschiede zwischen beiden Gruppen auf, und nach 40 Tagen benötigte kein Patient der minimalinvasiven Kohorte mehr eine tägliche Schmerzmedikation, während dies bei beim offenen Kollektiv noch bis zu drei Monate nach der Operation der Fall war.

Neben den geringeren Schmerzen fällt auch das kosmetische Ergebnis aufgrund des kleineren Hautschnittes deutlich besser aus (*Abbildung 38*)<sup>82</sup>.



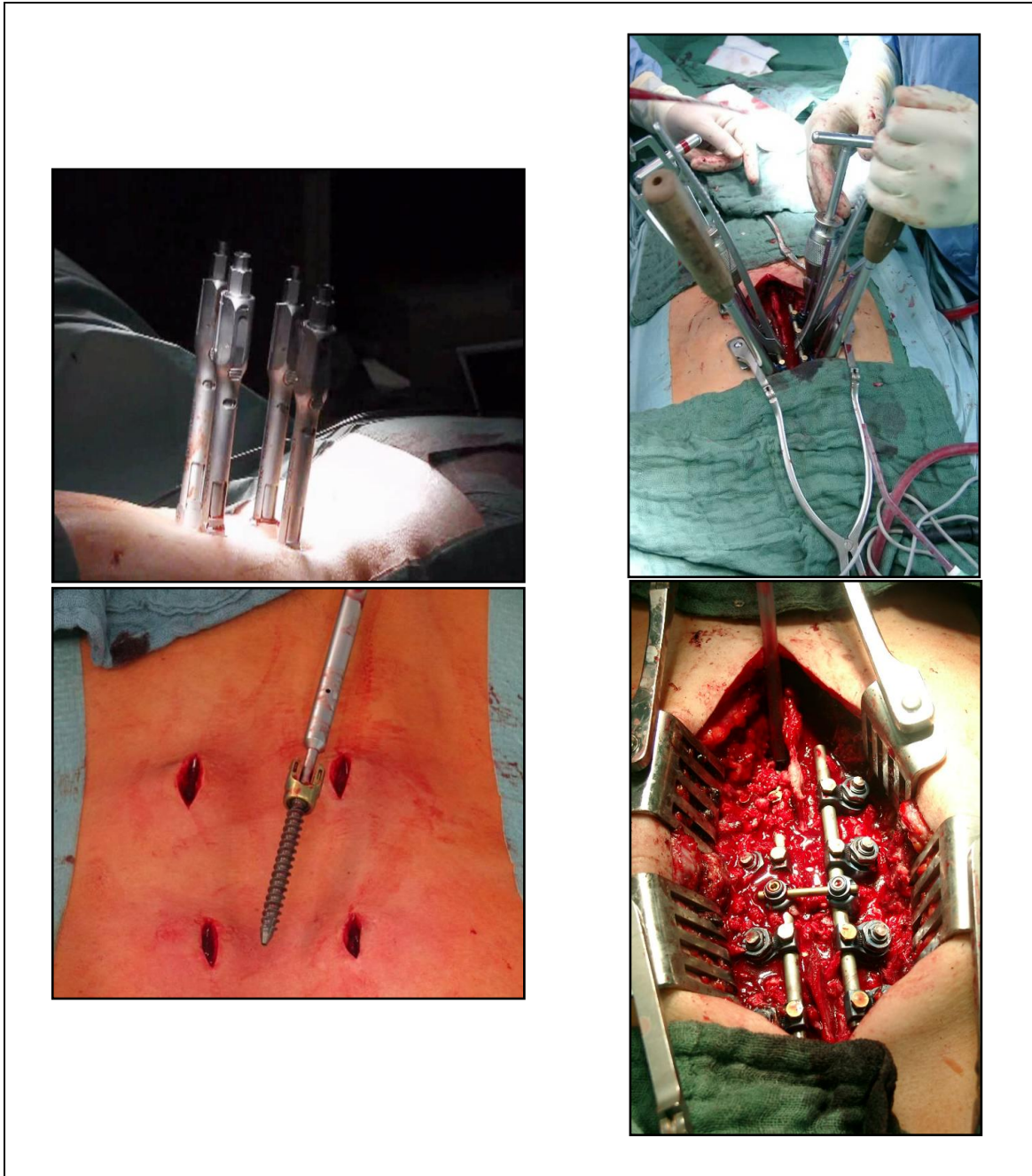
**Abbildung 38:** *minimalinvasive dorsale Instrumentierung, postoperative Hautverhältnisse*

Außerdem stellten Rodríguez-Vela et al.<sup>76</sup> in ihrer Studie fest, dass Tätigkeiten, die eine mäßige Anstrengung erfordern, wie einfaches Gehen, Stehen, Reisen und Sexualleben, in der perkutanen Gruppe drei Monate postoperativ signifikant besser durchgeführt werden können. Signifikante Unterschiede konnten aber nicht für Tätigkeiten gezeigt werden, bei denen ein leichter (z.B. Ankleiden) oder schwerer Kraftaufwand (z.B. Dinge anheben) nötig ist.

Da beim offenen Vorgehen die autochthone Rückenmuskulatur präpariert werden muss, ist hierbei ein erhöhter Schaden dieser Muskulatur zu verzeichnen. Dies wird zum einen durch einen erhöhten Wert der Kreatinkinase sichtbar<sup>83,84</sup>, da die Schädigung von Muskelmasse mit der Höhe der postoperativ gemessenen CK korreliert<sup>85</sup>. Zum anderen ist eine stärkere Reduzierung des Muskelquerschnitts des M. multifidus postoperativ zu sehen<sup>83,86</sup>. Durch die Schädigung wird die Aktivität des M. multifidus messbar herabgesetzt, während kompensatorisch die des M. iliocostalis in unphysiologischer Weise erhöht ist<sup>87</sup>. Der M. multifidus ist einer der wichtigsten Muskeln für die segmentale Stabilität der Wirbelsäule und somit für die Zentrierung der Gelenke sowie die Steifigkeit der Wirbelsäule von großer Bedeutung<sup>88</sup>.

Die Schäden der Muskulatur entstehen zum einen Teil dadurch, dass die Sehnenansätze des Muskels abgelöst werden, also Ansatz oder Ursprung verloren geht, und dadurch Muskelmasse selbst zerstört wird. Beim perkutanen Vorgehen wird im Gegensatz dazu das Gewebe geschont und es entsteht insgesamt weniger Narbengewebe. In der Medianlinie wird das Gewebe, aufgrund der Winkel, in dem die Schrauben eingebracht werden, vollständig geschont. Dadurch werden mögliche spätere Zweiteingriffe erleichtert<sup>89</sup>. Zum anderen, vermutlich größeren Teil, werden durch die Präparation die Rr. posteriores nervi spinalis geschädigt, welche die autochthone Rückenmuskulatur innervieren<sup>90</sup>. Aus der fehlenden Innervation der Muskulatur resultiert deren Degeneration<sup>36</sup>. Die Reinnervation erfolgt, indem wieder Nervenfasern einsprossen, wobei sich Kollateralen ausbilden. Es lassen sich deshalb nun bei den neu innervierten Muskelfasern polyphasische Potenziale nachweisen<sup>91</sup>. Durch diese Potenziale kann eine Quantifizierung der Denervierung erfolgen. Hierbei hat sich gezeigt, dass beim offenen Verfahren über 80% polyphasische Potenziale nachweisbar sind (vs. minimalinvasives Verfahren unter 20%)<sup>36</sup>, wobei beachtet werden muss, dass wenige polyphasische Potentiale auch bei gesunden Muskeln gefunden werden können<sup>92</sup>.





**Abbildung 39:** Vergleich Operationsgebiet: minimalinvasive (links) vs. offene (rechts) dorsale Instrumentierung

Aufgrund der geringeren Schmerzen und Schonung der Muskulatur kann beim perkutanen Verfahren schon am ersten postoperativen Tag mit der Mobilisierung und der Frührehabilitation begonnen werden. Hierdurch können bessere Rehabilitationsergebnisse erreicht und die Rehabilitation beschleunigt werden<sup>34</sup>. Ebenso werden die Krankenhausliegezeiten um durchschnittlich vier Tage verkürzt<sup>39</sup>.

Neben dem Ergebnis der kürzeren Liegezeit konnte der Großteil der Studien auch zeigen, dass die durchschnittliche Operationszeit bei der perkutanen Instrumentierung geringer ausfällt<sup>35,36,39,40</sup>. Jedoch berichten auch einige Autoren von einer anfänglich längeren oder nach einer Lernphase der Operateure von einer in etwa gleich langen Operationszeit<sup>30,76</sup>.

Adipöse Patienten haben bei Operationen der Wirbelsäule grundsätzlich ein erhöhtes Risiko für perioperative Komplikationen<sup>93</sup>. Beim perkutanen Verfahren wirken sich die Vorteile des geringeren Gewebetraumas dahingehend aus, dass im Vergleich zu normalgewichtigen Patienten, keine Unterschiede im Bezug auf diese Komplikationen auftreten<sup>94</sup>.

#### **4.3.2 NACHTEILE MINIMALINVASIVE STABILISIERUNG**

Eine Gefahr des minimalinvasiven Verfahren besteht darin, dass durch das „nonvisuelle“ Vorgehen, Weichteilstrukturen durch scharfe Gewindegänge oder stumpf quetschende Instrumente geschädigt werden<sup>27</sup> und es hierdurch zu Nachblutungen, Infektionen oder Nekrosen kommen kann<sup>30</sup>.

Teurer sind derzeit die Materialkosten des perkutanen Systems<sup>82</sup>; diese können jedoch durch Einsparungen aufgrund der kürzeren OP-Zeiten sowie der kürzen Verweildauer der Patienten amortisiert werden<sup>39</sup>.

Ein weiterer Nachteil besteht darin, dass, je nach System, eine längerstreckige Versorgung von mehr als drei Bewegungssegmente, aufgrund der begrenzten Möglichkeit, den Längsträger perkutan einzubringen, nicht möglich ist, und damit bei dieser Indikation auf das offene Verfahren zurück gegriffen werden muss<sup>39</sup>. Auch Querverbinder, welche eine erhöhte Stabilität bei dorsalen Instrumentierungen ermöglichen, können perkutan nicht implantiert werden<sup>40</sup>.

### **4.3.3 KEINE UNTERSCHIEDE ZWISCHEN BEIDEN VERFAHREN**

Das Einbringen von Pedikelschrauben kann bei beiden Verfahren als sicher eingestuft werden<sup>34</sup>. Es befinden sich 94–98% aller perkutan eingebrachten Schrauben an der korrekten Stelle<sup>34,36,39</sup>, was nach Zdichavsky<sup>95</sup> als 1A klassifiziert wird. Dies bedeutet, dass mehr als die Hälfte des Schraubendurchmessers sich sowohl im Pedikel als auch im Wirbelkörper befindet. 1–5% der Schrauben (minimalinvasiv) penetrierten die laterale Wand, was als 1B klassifiziert wird<sup>34,39</sup>. Somit ist das Verfahren vergleichbar mit offenen, computernavigierten Verfahren<sup>34</sup>. In der Literatur werden hier Schraubenfehlagen von 4,8% beschrieben<sup>96</sup>. Beim offenen, nicht navigierten Verfahren sind Fehllagen (1B bis 3B) von 9,7% bis 12% beschrieben<sup>36,96</sup>.

Weiterhin konnte in vielen Studien keine Unterschied zwischen den intraoperativen Durchleuchtungszeiten festgestellt werden<sup>36,39,97</sup>. Teilweise waren aber auch Tendenzen hinsichtlich einer kürzeren Zeit beim offen Verfahren zu verzeichnen<sup>40,76</sup>. Die Autoren führen dies auf die geringe Erfahrung mit dem neuen perkutanen Verfahren und dem schwierigeren radiologischen Aufsuchen von anatomischen Landmarken zurück<sup>40</sup>. Jedoch ist zu beobachten, dass im Verlauf der Lernkurve eine Verringerung der Durchleuchtungszeit zu erreichen ist<sup>76</sup>.

## **4.4 SCHWÄCHEN DER STUDIE**

Eine Schwäche der Studie ist, dass eine relativ geringe Nachuntersuchungsrate der Patienten vorliegt. Von den 67 Frakturen liegen je nach Untersuchungszeitpunkt zwischen 41,8% und 88,1% verwertbare Ergebnisse hinsichtlich der Wiederaufrichtung oder des Korrekturverlustes vor. Die verschiedenen VAS-Scores füllten zwischen 53,1% und 73,4% aller 64 Patienten in korrekter Art und Weise aus.

Dies hat verschiedene Ursachen. So konnten Patienten aus diversen Gründen nicht an den Nachuntersuchungen teilnehmen. Darüber hinaus war es bei einigen vorhandenen Röntgenbildern der Nachuntersuchung nicht möglich diese auszuwerten, da von unmittelbar postoperativ keine konventionellen Röntgenbilder im Stehen vorliegen und deshalb keine Vergleichsaufnahmen zur Verfügung stehen.

Einen Teil der Probleme konnte damit umgangen werden, dass Patienten die Fragebögen postalisch zugesandt bekamen, um somit die VAS-Werte zu erhalten. Hier ergab sich eine Rücklaufquote von unter 50%. Außerdem wurden nicht alle Bögen, hauptsächlich der VAS-Wirbelsäulenscore der DGU, korrekt ausgefüllt. Der größere Rücklauf an richtig ausgefüllten Fragebögen VAS-Pain erklärt sich dadurch, dass hierzu aufgrund der einfacher gestellten Fragen eine geringere kognitive Leistung notwendig ist.

Bei 15 Patienten konnte weder der VAS-Pain noch der VAS-Wirbelsäulenscore der Arbeitsgemeinschaft „Wirbelsäule“ der DGU erhoben werden. Sieben Patienten waren zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung bereits verstorben; ein Bogen konnte komplett aufgrund fehlerhafter Bearbeitung nicht verwendet werden; ein Patient war an Demenz erkrankt; ein Patient lehnte die Bearbeitung der Fragen ab, und fünf Patienten waren nach unbekannt verzogen oder sonst nicht erreichbar.

Eine weitere Schwäche der Studie ist, dass die Patienten zu Schmerzen und Schmerzmittelbedarf retrospektiv befragt wurden. Da die Zeitspanne der Nachuntersuchung, bei der die Befragung durchgeführt wurde, bis zu drei Jahre betrug, sind hier Fehler nicht auszuschließen. Da der VAS-Wirbelsäulescore der DGU jedoch zum Zeitpunkt der dritten Nachuntersuchung erhoben wurde, tritt hier dieser Fehler nicht auf. Es tritt aber ein Fehler dahingehend auf, dass Patienten in dieser Studie im Mittel nach 1,5 Jahre postoperativ den letzten Nachuntersuchungstermin wahrnahmen. Hierbei wurde der VAS-Wirbelsäulenscore ermittelt. Weil bei den Vergleichsdaten dieser Wert neun Monate postoperativ erhoben wurde, kann durch den längeren Nachuntersuchungszeitraum ein weiterer Heilungsprozess abgebildet werden.

Da zum Zeitpunkt der Datenerhebung des Vergleichskollektivs an dem Universitätsklinikum keine minimalinvasive dorsale Stabilisierung durchgeführt wurde, erfolgte hierbei auch keine Einteilung in zwei Gruppen. Da jedoch im Zeitraum dieser Studie (ab 2009) beide Verfahren angewandt wurden, besteht die Möglichkeit, dass im Vergleichskollektiv Daten von Stabilisierungen erhoben wurden, die aufgrund verschiedener Faktoren auch im Zeitraum 2009–2011 nicht minimalinvasiv behandelt worden wären und somit unter Umständen schlechtere Werte erzielen.

Weiterhin muss beachtet werden, dass die Messungen des VAS-Wirbelsäulenscores sowohl im Vergleichskollektiv als auch in dieser Studie zu einem Zeitpunkt stattgefunden haben, sich die Messergebnisse jedoch von einem zum anderen Zeitpunkt unterscheiden können, da Schmerz nicht konstant ist<sup>98</sup>.

Auch muss einschränkend erwähnt werden, dass es sich bei den herausgefundenen Werten um Momentaufnahmen handelt und keine präoperativen Werte des VAS-Wirbelsäulenscores im perkutanen Kollektiv erhoben wurden. Hierdurch wäre jedoch die Möglichkeit gegeben, das Outcome über den Scoreverlust zu beurteilen<sup>99</sup>.

Es wurde von beiden Kollektiven der VAS-Pain präoperativ erhoben, um sicher zu stellen, dass keine Unterschiede im Patientengut zu diesem Zeitpunkt bestanden und man zum Nachuntersuchungszeitpunkt vorbestehende Defizite mit bewertet. Dass dies jedoch keine so deutliche Aussage erlaubt, wie im Falle, dass vor dem Unfall der VAS-Wirbelsäulenscore ermittelt worden wäre, muss beachtet werden, da hierbei nur die Schmerzen als Momentaufnahmen befragt wurden und nicht nach den Möglichkeiten, Tätigkeiten auszuführen.

Weiterhin muss bedacht werden, dass zwar ältere Patienten eher stärkere Schmerzen und mehr Schwierigkeiten beim Ausführen von Tätigkeiten angeben und dadurch bei besseren Ergebnissen, wie sie in dieser Studie erhalten wurden, trotz des höheren Alters diese zur Verstärkung der guten Ergebnisse führen. Hingegen können bei älteren Patienten aber auch eher Schwierigkeiten

beim Ausfüllen der Fragebögen und daher auch mehr Fehler beobachtet werden<sup>100,101</sup>.

#### **4.5 FAZIT**

Diese Arbeit zeigt den klinischen und radiologischen Verlauf eines älteren Patientenkollektivs mit kombinierter Versorgung traumatischer Frakturen der thorakolumbalen Wirbelsäule in Form einer minimalinvasiven dorsalen Instrumentierung und Ballonkyphoplastie des betroffenen Wirbelkörpers. Hierbei konnte festgestellt werden, dass die perkutane Versorgung im Vergleich zur offenen Instrumentierung, bei hinsichtlich Reposition und Korrekturverlust identischem radiologischem Ergebnis, bessere funktionelle Ergebnisse liefert.

## **5 ZUSAMMENFASSUNG**

In dieser Studie wurden Daten zur minimalinvasiven dorsalen Versorgung instabiler Frakturen der thorakolumbalen Wirbelsäule in Kombination mit Kyphoplastie erhoben. Das Patientenkollektiv umfasst 64 Patienten, welche im Zeitraum von 6/2009 bis 5/2011 an 67 Frakturen versorgt wurden. Das Durchschnittsalter bei Operation betrug  $71,3 \pm 8,9$  Jahre. Es wurden hierzu die mono- und bisegmentalen Grund-Deckplatten-Winkel präoperativ, postoperativ sowie an drei Nachuntersuchungszeitpunkten (6w, 3–6m, >9m) bestimmt. Weiterhin wurden mittels der Visuellen-Analog-Skala die Beschwerden vor dem Unfall und unmittelbar vor der Operation retrospektiv erhoben. Das funktionelle Ergebnis wurde am dritten Nachuntersuchungszeitpunkt mittels der VAS-Pain und des VAS-Wirbelsäulenscores der Arbeitsgemeinschaft „Wirbelsäule“ der DGU ermittelt. Außerdem wurde nach einer regelmäßigen Schmerzmitteleinnahme zu den Zeitpunkten „vor dem Unfall“, „direkt nach dem Unfall“ und „zurzeit“ gefragt.

Es konnten in anderen Studien schon einige Vorteile der minimalinvasiven dorsalen Stabilisierung hinsichtlich eines geringeren Blutverlustes, eines geringeren Gewebetraumas mit weniger postoperativer Schmerzen, einer besseren postoperativen Muskelfunktion, eines besseren kosmetischen Ergebnisses, schnellerer Mobilisierung sowie geringeren operativen Komplikationen gezeigt werden. Bisher gibt es aber keine Langzeitdaten, welche die funktionellen Ergebnisse und die Wiederaufrichtung oder den Korrekturverlust einer minimalinvasiven dorsalen Instrumentierung mit zeitgleicher Kyphoplastie von traumatischen Frakturen der thorakalen und lumbalen Wirbelsäule beschreiben.

Hierbei konnten zu einem offen operierten Vergleichskollektiv keine signifikanten Unterschiede bzgl. der Wiederaufrichtung (5,2 Grad perkutan vs. 6,4 Grad offen, GDW bisegmental ermittelt) und des Korrekturverlustes des Grund-Deckplatten-Winkels gefunden werden (5,2 Grad perkutan vs. 6,1 Grad offen bei 3. NU, GDW bisegmental ermittelt). Hochsignifikante Unterschiede

ergaben sich aber bei den funktionellen Ergebnissen (VAS-Wirbelsäulenscore der Arbeitsgemeinschaft „Wirbelsäule“ der DGU) zugunsten des minimalinvasiv versorgten Kollektivs zum Zeitpunkt der dritten Nachuntersuchung.

Außerdem wurde keine postoperative Infektion bei der minimalinvasiven Versorgung beobachtet.

Nicht zuletzt aufgrund dieser Vorteile nimmt der Anteil der minimal-invasiven Versorgung in der Wirbelsäulentraumatologie stetig zu.



## **6 LITERATUR- UND ABBILDUNGSVERZEICHNIS**

### **Literaturverzeichnis**

1. Bühren V. [Injuries to the thoracic and lumbar spine]. *Der Unfallchirurg* 2003;106:55-68; quiz -9.
2. Knop C, Blauth M, Bühren V, et al. [Surgical treatment of injuries of the thoracolumbar transition. 1: Epidemiology]. *Der Unfallchirurg* 1999;102:924-35.
3. Niethard F, Pfeil J. *Duale Reihe Orthopädie*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2005.
4. Kelly RP, Whitesides TE, Jr. Treatment of lumbodorsal fracture-dislocations. *Annals of surgery* 1968;167:705-17.
5. Denis F. The three column spine and its significance in the classification of acute thoracolumbar spinal injuries. *Spine* 1983;8:817-31.
6. Magerl F, Aebi M, Gertzbein SD, Harms J, Nazarian S. A comprehensive classification of thoracic and lumbar injuries. *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society* 1994;3:184-201.
7. Verheyden AP. [Thoracolumbar spine]. *Der Unfallchirurg* 2011;114:8.
8. Verheyden AP, Holzl A, Ekkerlein H, et al. [Recommendations for the treatment of thoracolumbar and lumbar spine injuries]. *Der Unfallchirurg* 2011;114:9-16.
9. Lendemans S, Hussmann B, Kauther MD, Nast-Kolb D, Taeger G. [Minimally invasive dorsal stabilization of the thoracolumbar spine]. *Der Unfallchirurg* 2011;114:149-59; quiz 60.
10. Müller U, Berlemann U, Sledge J, Schwarzenbach O. Treatment of thoracolumbar burst fractures without neurologic deficit by indirect reduction and posterior instrumentation: bisegmental stabilization with monosegmental fusion. *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society* 1999;8:284-9.
11. Knop C, Blauth M, Bühren V, et al. [Surgical treatment of injuries of the thoracolumbar transition--3: Follow-up examination. Results of a prospective multi-center study by the "Spinal" Study Group of the German Society of Trauma Surgery]. *Der Unfallchirurg* 2001;104:583-600.
12. Briem D, Rueger JM, Linhart W. [Osseous integration of autogenous bone grafts following combined dorso-ventral instrumentation of unstable thoracolumbar spine fractures]. *Der Unfallchirurg* 2003;106:195-203.
13. Bühren V, Josten C. *Chirurgie der verletzten Wirbelsäule*. Berlin Heidelberg: Springer Medizin; 2013.
14. Haas N, Blauth M, Tscherne H. Anterior plating in thoracolumbar spine injuries. Indication, technique, and results. *Spine* 1991;16:S100-11.
15. Schmidt-Rohlfing B, Reilmann H, Pfeifer R, Kobbe P, Pape HC. [Kyphoplasty and vertebroplasty. Indications, techniques, complications and results]. *Der Unfallchirurg* 2011;114:431-40; quiz 41-2.

16. Garfin SR, Yuan HA, Reiley MA. New technologies in spine: kyphoplasty and vertebroplasty for the treatment of painful osteoporotic compression fractures. *Spine* 2001;26:1511-5.
17. Kruger A, Hierholzer J, Bergmann M, Oberkircher L, Ruchholtz S. [Current status of vertebroplasty and kyphoplasty in Germany: an analysis of surgical disciplines]. *Der Unfallchirurg* 2013;116:813-24.
18. Hillmeier J. [Balloon kyphoplasty]. *Der Orthopade* 2010;39:665-72.
19. Prokop A, König B, Schultheiss M, Andresen R. [Kyphoplasty update : What are the limits - what is possible?]. *Der Unfallchirurg* 2011;114:1035-40.
20. Kasperk C, Hillmeier J, Nöldge G, et al. Kyphoplastie – Konzept zur Behandlung schmerzhafter Wirbelkörperbrüche. *Dtsch Arztebl* 2003;25.
21. Kasperk C, Nöldge G, Grafe I, Meeder P, Huber F, Nawroth P. [Indications and results of kypho- and vertebroplasty]. *Der Internist* 2008;49:1206, 8-10, 12-18.
22. Weiss T, Hauck S, Bühren V, Gonschorek O. [Repositioning options with percutaneous dorsal stabilization : For burst fractures of the thoracolumbar junction.]. *Der Unfallchirurg* 2013.
23. Magerl FP. Stabilization of the lower thoracic and lumbar spine with external skeletal fixation. *Clinical orthopaedics and related research* 1984:125-41.
24. Magerl F. Verletzungen der Brust- und Lendenwirbelsäule Langenbecks *Archiv für Chirurgie* 1980.
25. Dick W. [Internal fixation of the thoracic and lumbar vertebrae]. *Aktuelle Probleme in Chirurgie und Orthopädie* 1984;28:1-125.
26. Foley KT, Gupta SK. Percutaneous pedicle screw fixation of the lumbar spine: preliminary clinical results. *Journal of neurosurgery* 2002;97:7-12.
27. Blattert TR, Katscher S, Josten C. [Percutaneous techniques in the thoracic and lumbar spine]. *Der Unfallchirurg* 2011;114:17-25.
28. Logroscino CA, Proietti L, Tamburrelli FC. Minimally invasive spine stabilisation with long implants. *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society* 2009;18 Suppl 1:75-81.
29. Schwab JH, Gasbarrini A, Cappuccio M, et al. Minimally Invasive Posterior Stabilization Improved Ambulation and Pain Scores in Patients with Plasmacytomas and/or Metastases of the Spine. *International journal of surgical oncology* 2011;2011:239230.
30. Josten C, Glasmacher S, Franck A. [Indications and limitations of minimally invasive stabilization of metastatic spinal disease]. *Der Orthopade* 2013;42:755-64.
31. Rose PS, Clarke MJ, Dekutoski MB. Minimally invasive treatment of spinal metastases: techniques. *International journal of surgical oncology* 2011;2011:494381.
32. Wick M, Köller M, Muhr G. Immunologische Veränderungen beim Polytrauma. *Trauma und Berufskrankheit* 2000;3:220-2.
33. Kossmann T, Trease L, Freedman I, Malham G. Damage control surgery for spine trauma. *Injury* 2004;35:661-70.

34. Matschke S. [Perkutane minimalinvasive Instrumentierung der Wirbelsäule]. *Trauma und Berufskrankheit* 2011;4:253-9.
35. Viezens L, Schaefer C, Schroeder M, Dreimann M, Beyerlein J, Hansen-Algenstaedt N. Perkutane versus Offene dorsale Stabilisierung bei der Spondylitis/Spondylodiszitis der BWS und LWS – eine retrospektive Analyse von 148 Patienten aus den Jahren 2003-2011 In: *Deutscher Kongress für Orthopädie und Unfallchirurgie (DKOU 2013)*. Berlin; 2013.
36. Grass R, Biewener A, Dickopf A, Rammelt S, Heineck J, Zwipp H. [Percutaneous dorsal versus open instrumentation for fractures of the thoracolumbar border. A comparative, prospective study]. *Der Unfallchirurg* 2006;109:297-305.
37. Heintel TM, Berglehner A, Meffert R. Accuracy of percutaneous pedicle screws for thoracic and lumbar spine fractures: a prospective trial. *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society* 2013;22:495-502.
38. Schaefer C, Begemann P, Fuhrhop I, et al. Percutaneous instrumentation of the cervical and cervico-thoracic spine using pedicle screws: preliminary clinical results and analysis of accuracy. *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society* 2011;20:977-85.
39. Prokop A, Lohlein F, Chmielnicki M, Volbracht J. [Minimally invasive percutaneous instrumentation for spine fractures]. *Der Unfallchirurg* 2009;112:621-4, 6-8.
40. Schmidt OI, Strasser S, Kaufmann V, Strasser E, Gahr RH. Role of early minimal-invasive spine fixation in acute thoracic and lumbar spine trauma. *Indian journal of orthopaedics* 2007;41:374-80.
41. Wang HW, Li CQ, Zhou Y, Zhang ZF, Wang J, Chu TW. Percutaneous pedicle screw fixation through the pedicle of fractured vertebra in the treatment of type A thoracolumbar fractures using Sextant system: an analysis of 38 cases. *Chinese journal of traumatology = Zhonghua chuang shang za zhi / Chinese Medical Association* 2010;13:137-45.
42. Katscher S, Verheyden P, Gonschorek O, Glasmacher S, Josten C. [Thoracolumbar spine fractures after conservative and surgical treatment. Dependence of correction loss on fracture level]. *Der Unfallchirurg* 2003;106:20-7.
43. Reinhold M, Knop C, Beisse R, et al. [Operative treatment of traumatic fractures of the thoracic and lumbar spinal column: Part III: Follow up data]. *Der Unfallchirurg* 2009;112:294-316.
44. Weinstein JN, Collalto P, Lehmann TR. Long-term follow-up of nonoperatively treated thoracolumbar spine fractures. *Journal of orthopaedic trauma* 1987;1:152-9.
45. Mumford J, Weinstein JN, Spratt KF, Goel VK. Thoracolumbar burst fractures. The clinical efficacy and outcome of nonoperative management. *Spine* 1993;18:955-70.

46. Reid DC, Hu R, Davis LA, Saboe LA. The nonoperative treatment of burst fractures of the thoracolumbar junction. *The Journal of trauma* 1988;28:1188-94.
47. Reinhold M, Knop C, Lange U, Bastian L, Blauth M. [Non-operative treatment of thoracolumbar spinal fractures. Long-term clinical results over 16 years]. *Der Unfallchirurg* 2003;106:566-76.
48. Agus H, Kayali C, Arslantas M. Nonoperative treatment of burst-type thoracolumbar vertebra fractures: clinical and radiological results of 29 patients. *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society* 2005;14:536-40.
49. Briem D, Lehmann W, Ruecker AH, Windolf J, Rueger JM, Linhart W. Factors influencing the quality of life after burst fractures of the thoracolumbar transition. *Arch Orthop Trauma Surg* 2004;124:461-8.
50. Frankel HL, Hancock DO, Hyslop G, et al. The value of postural reduction in the initial management of closed injuries of the spine with paraplegia and tetraplegia. I. Paraplegia 1969;7:179-92.
51. Scott J, Huskisson EC. Graphic representation of pain. *Pain* 1976;2:175-84.
52. Knop C, Oeser M, Bastian L, Lange U, Zdichavsky M, Blauth M. [Development and validation of the Visual Analogue Scale (VAS) Spine Score]. *Der Unfallchirurg* 2001;104:488-97.
53. Tyler DC, Tu A, Douthit J, Chapman CR. Toward validation of pain measurement tools for children: a pilot study. *Pain* 1993;52:301-9.
54. Knop C, Blauth M, Buhren V, et al. [Surgical treatment of injuries of the thoracolumbar transition. 2: Operation and roentgenologic findings]. *Der Unfallchirurg* 2000;103:1032-47.
55. Schofer MD, Illian CH, Illian JB, Kortmann HR. [Balloon kyphoplasty for recent vertebral fractures in the elderly]. *Der Orthopade* 2008;37:462-9.
56. Lieberman IH, Dudeney S, Reinhardt MK, Bell G. Initial outcome and efficacy of "kyphoplasty" in the treatment of painful osteoporotic vertebral compression fractures. *Spine* 2001;26:1631-8.
57. Dekutosk M, Anand N. CD HORIZON LONGITUDE - Multi-Level Percutaneous Fixation System. Memphis: MEDTRONIC; 2008.
58. Reinhold M, Knop C, Beisse R, et al. [Operative treatment of traumatic fractures of the thoracic and lumbar spinal column. Part I: epidemiology]. *Der Unfallchirurg* 2009;112:33-42, 4-5.
59. Wirth CJ, Mutschler W. *Facharztprüfung Orthopädie und Unfallchirurgie*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG; 2007.
60. Heintel TM, Berglehner A, Meffert R. V17 - Konventionelle offene versus minimalinvasive Technik der dorsalen Instrumentierung instabiler Frakturen der thorakolumbalen Wirbelsäule - Ergebnisse einer prospektiven monozentrischen Studie. In: *Deutscher Wirbelsäulenkongress - 8 Jahrestagung der Deutschen Wirbelsäulengesellschaft*; 2013; Frankfurt/Main; 2013.
61. Brown CV, Antevil JL, Sise MJ, Sack DI. Spiral computed tomography for the diagnosis of cervical, thoracic, and lumbar spine fractures: its time has come. *The Journal of trauma* 2005;58:890-5; discussion 5-6.

62. Reinhold M, Knop C, Beisse R, et al. [Operative treatment of traumatic fractures of the thorax and lumbar spine. Part II: surgical treatment and radiological findings]. *Der Unfallchirurg* 2009;112:149-67.
63. Weiner X, El Saman A, Ruger F, Laurer H, Marzi I. [Impact of surgical strategy on quality of life and radiological outcome in traumatic fractures of the thoracolumbar spine]. *Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie* 2013;151:264-71.
64. Gertzbein SD. Scoliosis Research Society. Multicenter spine fracture study. *Spine* 1992;17:528-40.
65. Trojan E. [Long-term results of 200 vertebral fractures of the thoracic and lumbar spine without paralysis]. *Zeitschrift für Unfallmedizin und Berufskrankheiten Revue de medecine des accidents et des maladies professionnelles* 1972;65:122-34.
66. McLain RF, Sparling E, Benson DR. Early failure of short-segment pedicle instrumentation for thoracolumbar fractures. A preliminary report. *The Journal of bone and joint surgery American volume* 1993;75:162-7.
67. Eysel P, Hopf C, Furderer S. [Kyphotic deformation in fractures of the thoracic and lumbar spine]. *Der Orthopäde* 2001;30:955-64.
68. Harms J, Stoltze D. The indications and principles of correction of post-traumatic deformities. *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society* 1992;1:142-51.
69. Siebenga J, Leferink VJ, Segers MJ, et al. Treatment of traumatic thoracolumbar spine fractures: a multicenter prospective randomized study of operative versus nonsurgical treatment. *Spine* 2006;31:2881-90.
70. Gunzelmann T, Schumacher J, Braehler E. [The prevalence of pain in the elderly German population: results of population-based studies with the Giessen Subjective Complaints List (Giessener Beschwerdebogen GBB)]. *Schmerz* 2002;16:249-54.
71. Raspe H. Rückenschmerzen. *Gesundheitsberichterstattung des Bundes* 2012;53:36.
72. Raspe H, Wasmus A, Greif M, Kohlmann T, Kindel P, Mahrenholtz M. Rückenschmerzen in Hannover. *Akt Rheumatol* 1990;15:32-7.
73. Wimmer C. [Percutaneous fusion technique on the thoracolumbar spine with the Expedium LIS]. *Operative Orthopädie und Traumatologie* 2008;20:511-24.
74. von Stempel A. [Dynamic posterior stabilization with the cosmic system]. *Operative Orthopädie und Traumatologie* 2010;22:561-72.
75. Briggs M, Closs JS. A descriptive study of the use of visual analogue scales and verbal rating scales for the assessment of postoperative pain in orthopedic patients. *Journal of pain and symptom management* 1999;18:438-46.
76. Rodriguez-Vela J, Lobo-Escolar A, Joven-Aliaga E, et al. Perioperative and short-term advantages of mini-open approach for lumbar spinal fusion. *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society* 2009;18:1194-201.

77. Weisskopf M, Herlein S, Birnbaum K, Siebert C, Stanzel S, Wirtz DC. [Kyphoplasty - a new minimally invasive treatment for repositioning and stabilising vertebral bodies]. *Zeitschrift für Orthopädie und ihre Grenzgebiete* 2003;141:406-11.
78. Roth R, Wörsdorfer O. Gefahren und Komplikationen bei der operativen Behandlung von Verletzungen der Brust- und Lendenwirbelsäule. *OP-Journal* 2001;17: 177–84.
79. Jarvers J-S, Bormann S, Franck A, Glasmacher S, Schmidt C, Josten C. Brauchen wir die Navigation überhaupt? Konventionelle vs. Navigierte Pedikelschraubenbesetzung der BWS. Eine retrospektive CT- Analyse von 1529 Schrauben In: *Deutscher Kongress für Orthopädie und Unfallchirurgie (DKOU 2013)*. Berlin; 2013.
80. Knop C, Bastian L, Lange U, Oeser M, Zdichavsky M, Blauth M. Complications in surgical treatment of thoracolumbar injuries. *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society* 2002;11:214-26.
81. Koutsoumbelis S, Hughes AP, Girardi FP, et al. Risk factors for postoperative infection following posterior lumbar instrumented arthrodesis. *The Journal of bone and joint surgery American volume* 2011;93:1627-33.
82. Prokop A, Chmielnicki M. [Percutaneous treatment of unstable spine fractures - OP video and results from over 300 cases]. *Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie* 2014;152:15-7.
83. Fan S, Hu Z, Zhao F, Zhao X, Huang Y, Fang X. Multifidus muscle changes and clinical effects of one-level posterior lumbar interbody fusion: minimally invasive procedure versus conventional open approach. *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society* 2010;19:316-24.
84. Arts MP, Nieborg A, Brand R, Peul WC. Serum creatine phosphokinase as an indicator of muscle injury after various spinal and nonspinal surgical procedures. *Journal of neurosurgery Spine* 2007;7:282-6.
85. Kumbhare D, Parkinson W, Dunlop B. Validity of serum creatine kinase as a measure of muscle injury produced by lumbar surgery. *Journal of spinal disorders & techniques* 2008;21:49-54.
86. Kim DY, Lee SH, Chung SK, Lee HY. Comparison of multifidus muscle atrophy and trunk extension muscle strength: percutaneous versus open pedicle screw fixation. *Spine* 2005;30:123-9.
87. Kramer M, Katzmaier P, Eisele R, Ebert V, Kinzl L, Hartwig E. Surface electromyography-verified muscular damage associated with the open dorsal approach to the lumbar spine. *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society* 2001;10:414-20.
88. Wilke HJ, Wolf S, Claes LE, Arand M, Wiesend A. Stability increase of the lumbar spine with different muscle groups. A biomechanical in vitro study. *Spine* 1995;20:192-8.

89. Holly LT, Schwender JD, Rouben DP, Foley KT. Minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion: indications, technique, and complications. *Neurosurgical focus* 2006;20:E6.
90. Drenckhahn D, Waschke J. Benninghoff Drenckhahn - Taschenbuch Anatomie. München: Elsevier GmbH; 2008.
91. Masuhr KF, Neumann M. Duale Reihe Neurologie. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2007.
92. Poeck K, Hacke W. Neurologie. Heidelberg: Springer Medizin Verlag; 2006.
93. Patel N, Bagan B, Vadera S, et al. Obesity and spine surgery: relation to perioperative complications. *Journal of neurosurgery Spine* 2007;6:291-7.
94. Park P, Upadhyaya C, Garton HJ, Foley KT. The impact of minimally invasive spine surgery on perioperative complications in overweight or obese patients. *Neurosurgery* 2008;62:693-9; discussion -9.
95. Zdichavsky M, Blauth M, Knop C, et al. Accuracy of Pedicle Screw Placement in Thoracic Spine Fractures. *European Journal of Trauma* 2004;4:234-40.
96. Kosmopoulos V, Schizas C. Pedicle screw placement accuracy: a meta-analysis. *Spine* 2007;32:E111-20.
97. Wild MH, Glees M, Plieschegger C, Wenda K. Five-year follow-up examination after purely minimally invasive posterior stabilization of thoracolumbar fractures: a comparison of minimally invasive percutaneously and conventionally open treated patients. *Arch Orthop Trauma Surg* 2007;127:335-43.
98. Jensen MP, McFarland CA. Increasing the reliability and validity of pain intensity measurement in chronic pain patients. *Pain* 1993;55:195-203.
99. Guyatt GH, Kirshner B, Jaeschke R. Measuring health status: what are the necessary measurement properties? *Journal of clinical epidemiology* 1992;45:1341-5.
100. Kremer E, Atkinson JH, Ignelzi RJ. Measurement of pain: patient preference does not confound pain measurement. *Pain* 1981;10:241-8.
101. Jensen MP, Karoly P, Braver S. The measurement of clinical pain intensity: a comparison of six methods. *Pain* 1986;27:117-26.

**Abbildungsverzeichnis**

**Abbildung 1:** Abschnitte und Übergangsregionen der Wirbelsäule..... 2

**Abbildung 2:** Diagramm; Frakturverteilung des untersuchten Patientenkollektivs nach Geschlecht ..... 13

**Abbildung 3:** Diagramm; Alter des untersuchten Patientenkollektivs bei Operation..... 14

**Abbildung 4:** Diagramm; Lokalisation der behandelten Frakturen ..... 15

**Abbildung 5:** Diagramm; Fraktуреinteilung der untersuchten Frakturen nach Magerl et al./AO<sup>6</sup> ..... 16

**Abbildung 6:** Zeitpunkte der Erfassung VAS-Pain und VAS-Wirbelsäulenscore der Arbeitsgemeinschaft „Wirbelsäule“ der DGU..... 17

**Abbildung 7:** Fragen des VAS-Wirbelsäulenscore der Arbeitsgemeinschaft „Wirbelsäule“ der DGU nach Knop C. et al.<sup>52</sup> ..... 19

**Abbildung 8:** Frage 1 des VAS-Wirbelsäulenscore der Arbeitsgemeinschaft „Wirbelsäule“ der DGU nach Knop C. et al.<sup>52</sup> ..... 20

**Abbildung 9:** Ausmessen der Markierung einer einzelnen Frage des VAS-Wirbelsäulenscore der Arbeitsgemeinschaft „Wirbelsäule“ der DGU nach Knop C. et al.<sup>52</sup> ..... 21

**Abbildung 10:** Bestimmung des mono- und bisegmentalen GDW ..... 22

**Abbildung 11:** Nachuntersuchungszeitpunkte des GDW mittels verschiedener radiologischer Verfahren ..... 23

**Abbildung 12:** Boxplot; Wiederaufrichtung des sagittalen Wirbelsäulenprofils, gemessen als Veränderung des monosegmentalen GDW ..... 29

**Abbildung 13:** Boxplot; Wiederaufrichtung des sagittalen Wirbelsäulenprofils, gemessen als Veränderung des bisegmentalen GDW ..... 30

**Abbildung 14:** Boxplot; Korrekturverlust des sagittalen Wirbelsäulenprofils, bis zur 6. postoperativen Woche, gemessen als Veränderung des monosegmentalen GDW ..... 32

**Abbildung 15:** Boxplot; Korrekturverlust des sagittalen Wirbelsäulenprofils, bis zur 6. postoperativen Woche, gemessen als Veränderung des bisegmentalen GDW..... 33

**Abbildung 16:** Boxplot; Korrekturverlust des sagittalen Wirbelsäulenprofils, 3-6 Monate, gemessen als Veränderung des monosegmentalen GDW ..... 34

**Abbildung 17:** Boxplot; Korrekturverlust des sagittalen Wirbelsäulenprofils, 3-6 Monate, gemessen als Veränderung des bisegmentalen GDW ..... 35

**Abbildung 18:** Boxplot; Korrekturverlust des sagittalen Wirbelsäulenprofils, >9 Monate, gemessen als Veränderung des monosegmentalen GDW ..... 36

**Abbildung 19:** Boxplot; Korrekturverlust des sagittalen Wirbelsäulenprofils, >9 Monate, gemessen als Veränderung des bisegmentalen GDW ..... 37

**Abbildung 20:** Diagramm; Verlauf des mono- und bisegmentalen GDW des sagittalen Wirbelsäulenprofils zu den verschiedenen Untersuchungszeitpunkten ..... 38

**Abbildung 21:** Diagramm; VAS-Pain vor Unfall ..... 40

**Abbildung 22:** Diagramm; VAS-Pain unmittelbar vor Operation ..... 41

**Abbildung 23:** Diagramm; VAS-Pain >9 m nach der Operation ..... 42

**Abbildung 24:** Diagramm; beantwortete Fragen je Patient im VAS-Wirbelsäulen-Score der DGU zum Zeitpunkt „>9 Monate“ ..... 43



<b>Abbildung 25:</b> Boxplot; VAS-Wirbelsäulenscore der DGU zum Zeitpunkt „>9 Monate“ .....	44
<b>Abbildung 26:</b> Boxplot; Vergleich aller VAS-Pain zu den verschiedenen Untersuchungszeiträumen.....	45
<b>Abbildung 27:</b> Diagramm; Regelmäßige Schmerzmedikation zu verschiedenen Untersuchungszeitpunkten, Auswertung von 48 Patienten .....	46
<b>Abbildung 28:</b> Diagramm; Frakturklassifikation nach Magerl/AO der untersuchten Frakturen, im Vergleich minimalinvasives mit offenem Kollektiv. 49	
<b>Abbildung 29:</b> Boxplot; Altersverteilung beider untersuchter Patientengruppen (minimalinvasives vs. offenes Kollektiv) .....	50
<b>Abbildung 30:</b> Diagramm; Wiederaufrichtung und Korrekturverluste des sagittalen Wirbelsäulenprofils zu den verschiedenen Untersuchungszeitpunkten, gemessen als bisegmentaler GDW, minimalinvasiv und offen operierte Patientengruppen im Vergleich .....	51
<b>Abbildung 31:</b> Diagramm; Wiederaufrichtung und Korrekturverluste des sagittalen Wirbelsäulenprofils zu den verschiedenen Untersuchungszeitpunkten, gemessen als bisegmentaler GDW bei Verletzungen des ersten Lendenwirbelkörpers, minimalinvasiv und offen operierte Patientengruppen im Vergleich .....	53
<b>Abbildung 32:</b> Diagramm; Wiederaufrichtung und Korrekturverluste des sagittalen Wirbelsäulenprofils zu den verschiedenen Untersuchungszeitpunkten, gemessen als bisegmentaler GDW bei A3.1 Verletzungen, minimalinvasiv und offen operierte Patientengruppen im Vergleich .....	54
<b>Abbildung 33:</b> Boxplot; VAS-Pain zum Untersuchungszeitpunkt „vor Unfall“, minimalinvasiv und offen operierte Patientengruppen im Vergleich .....	57
<b>Abbildung 34:</b> Boxplot; VAS-Wirbelsäulenscore der DGU zum Zeitpunkt „>9 Monate“, minimalinvasiv und offen operierte Patientengruppen im Vergleich ..	58
<b>Abbildung 35:</b> Diagramm; Scoremittelwert des VAS-Wirbelsäulen Scores der DGU je einzelne Frage mit Angabe des Mittelwerts aller ausgewerteten Fragen, minimalinvasiv versorgtes Kollektiv .....	60
<b>Abbildung 36:</b> Diagramm; ausgewertete Antworten je einzelne Frage des VAS-Wirbelsäulen Scores der DGU, minimalinvasiv versorgtes Kollektiv .....	61
<b>Abbildung 37:</b> Boxplot; Vergleich des VAS-Wirbelsäulenscores des DGU zwischen minimalinvasives und offenem operiertem Kollektiv bei A3.1-Verletzungen sowie Verletzungen des ersten Lendenwirbels zum Untersuchungszeitpunkt „>9 Monate“ .....	62
<b>Abbildung 38:</b> minimalinvasive dorsale Instrumentierung, postoperative Hautverhältnisse.....	65
<b>Abbildung 39:</b> Vergleich Operationsgebiet: minimalinvasive (links) vs. offene (rechts) dorsale Instrumentierung.....	67

**Tabellenverzeichnis**

**Tabelle 1:** Klassifikation zur Beurteilung von Verletzungen der Brust- und Lendenwirbelsäule nach Magerl et al.<sup>6</sup> ..... 3

**Tabelle 2:** Wiederaufrichtung des sagittalen Wirbelsäulenprofils, gemessen als Veränderung des monosegmentalen GDW ..... 29

**Tabelle 3:** Wiederaufrichtung des sagittalen Wirbelsäulenprofils, gemessen als Veränderung des bisegmentalen GDW ..... 30

**Tabelle 4:** Korrekturverlust des sagittalen Wirbelsäulenprofils, bis zur 6. postoperativen Woche, gemessen als Veränderung des monosegmentalen GDW ..... 31

**Tabelle 5:** Korrekturverlust des sagittalen Wirbelsäulenprofils, bis zur 6. postoperativen Woche, gemessen als Veränderung des bisegmentalen GDW ..... 32

**Tabelle 6:** Korrekturverlust des sagittalen Wirbelsäulenprofils, 3-6 Monate, gemessen als Veränderung des monosegmentalen GDW ..... 34

**Tabelle 7:** Korrekturverlust des sagittalen Wirbelsäulenprofils, 3-6 Monate, gemessen als Veränderung des bisegmentalen GDW ..... 35

**Tabelle 8:** Korrekturverlust des sagittalen Wirbelsäulenprofils, >9 Monate, gemessen als Veränderung des monosegmentalen GDW ..... 36

**Tabelle 9:** Korrekturverlust des sagittalen Wirbelsäulenprofils, >9 Monate, gemessen als Veränderung des bisegmentalen GDW ..... 37

**Tabelle 10:** Verlauf des mono- und bisegmentalen GDW des sagittalen Wirbelsäulenprofils zu den verschiedenen Untersuchungszeitpunkten ..... 38

**Tabelle 11:** VAS-Pain vor Unfall ..... 39

**Tabelle 12:** VAS-Pain unmittelbar vor Operation ..... 40

**Tabelle 13:** VAS-Pain >9 m nach der Operation ..... 41

**Tabelle 14:** beantwortete Fragen je Patient ..... 42

**Tabelle 15:** VAS-Wirbelsäulenscore der DGU zum Zeitpunkt „>9 Monate“ ..... 43

**Tabelle 16:** Vergleich aller VAS-Pain zu den verschiedenen Untersuchungszeiträumen ..... 44

**Tabelle 17:** Regelmäßige Schmerzmedikation zu verschiedenen Zeitpunkten, Auswertung von 48 Patienten ..... 46

**Tabelle 18:** Korrekturverluste des sagittalen Wirbelsäulenprofils zu den verschiedenen Untersuchungszeitpunkten, gemessen als bisegmentaler GDW bei Verletzungen des ersten Lendenwirbelkörpers, minimalinvasiv und offen operierte Patientengruppen im Vergleich ..... 52

**Tabelle 19:** Korrekturverluste des sagittalen Wirbelsäulenprofils zu den verschiedenen Untersuchungszeitpunkten, gemessen als bisegmentaler GDW bei A3.1 Verletzungen, minimalinvasiv und offen operierte Patientengruppen im Vergleich ..... 54

**Danksagung**

Bedanken möchte ich mich bei Prof. Dr. med. Rainer H. Meffert, Direktor der Klinik und Poliklinik für Unfall-, Hand-, Plastische und Wiederherstellungschirurgie der Universitätsklinik Würzburg, für die Überlassung des Themas sowie dafür, diese Arbeit unter seiner Leitung durchführen zu können.

Weiterhin möchte ich mich besonders bei Dr. Timo Heintel für die hervorragende Betreuung, Unterstützung und Hilfsbereitschaft während der gesamten Entstehungszeit dieser Arbeit herzlich bedanken.

Dank sagen möchte ich auch Juliane Konrad und Prof. Dr. Ulrich Konrad für die Korrektur und Anregungen sowie meiner Familie für das fortwährende Interesse an dieser Arbeit und nicht zuletzt für die Unterstützung während meines gesamten Studiums.

---