

**Mittelfristige Ergebnisse nach Hybridstabilisierung osteoporotisch  
imponierender Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule unter dem  
Aspekt des sagittalen Alignments und des klinischen Outcomes**

Dissertation  
zur Erlangung des akademischen Grades  
Dr. med.

an der Medizinischen Fakultät  
der Universität Leipzig

eingereicht von: Christine Henriette Johanna Anemüller  
geboren am 18.01.1992 in Hamburg

angefertigt an der: Universität Leipzig  
Klinik für Orthopädie, Unfallchirurgie und Plastische  
Chirurgie

Betreuer: PD Dr. med. habil. Ulrich Josef Albert Spiegl  
Prof. Dr. med. habil. Christoph-Eckhard Heyde

Beschluss über die Verleihung des Doktorgrades vom 29.10.2019

meiner Familie

# Inhaltsverzeichnis

Abkürzungen .....	1
1 Einführung .....	3
1.1 Einleitung .....	3
1.2 Wirbelkörperfrakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule.....	4
1.2.1 Klassifikationssysteme.....	5
1.2.1.1 Zwei-Säulen-Konzept nach Whiteside und Drei-Säulen-Konzept nach Denis.	6
1.2.1.2 AO-Klassifikation nach Magerl (1994).....	6
1.2.1.3 AOSpine Thoracolumbar Spine Injury Classification System (2013) .....	9
1.3 Osteoporose .....	11
1.3.1 Definition und Ätiologie .....	11
1.3.2 Diagnostik der Osteoporose .....	12
1.3.3 Therapie der Osteoporose .....	14
1.4 Osteoporotische Wirbelkörperfrakturen .....	17
1.4.1 Definition .....	17
1.4.2 Biomechanik .....	17
1.4.3 OF-Klassifikation (2013) .....	19
1.4.4 Diagnostik .....	19
1.4.5 Konservative Therapie .....	22
1.5 Operative Versorgung osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen.....	24
1.5.1 Besonderheiten der operativen Therapie bei Osteoporose .....	24
1.5.2 Vertebroplastie und Ballon-Kyphoplastie .....	25
1.5.3 Hybridstabilisierung.....	27
1.6 Röntgenologische Beurteilung der sagittalen Balance .....	31
1.6.1 Die thorakale Kyphose und die lumbale Lordose .....	31
1.6.2 Das C7-Lot.....	32
1.6.3 Pelvic Tilt, Sacral Slope und Pelvic Incidence .....	33
2 Aufgabenstellung .....	36
3 Materialien und Methoden.....	37
3.1 Einschlusskriterien .....	37

3.2	Ablauf.....	37
3.3	Fragebögen.....	40
3.3.1	Numerische Rating-Skala (NRS).....	40
3.3.2	Oswestry Disability Index (ODI).....	41
3.3.3	Short Form (36) Gesundheitsfragebogen (SF-36).....	42
3.4	Röntgenologische Parameter .....	42
3.5	Literaturrecherche .....	44
3.6	Datenauswertung .....	44
3.6.1	Berechnung von zentralen Tendenzen .....	44
3.6.2	Berechnung von Zusammenhängen.....	44
4	Ergebnisse .....	46
4.1	Einteilung des Patientenkollektivs.....	46
4.2	Demographische Daten .....	47
4.3	Medizinische Daten.....	47
4.4	Frakturcharakteristika.....	50
4.4.1	Frakturhöhe.....	50
4.4.2	Frakturform .....	52
4.4.3	Frakturhergang .....	52
4.4.4	Vorherige Wirbelkörperfrakturen.....	54
4.5	Operationscharakteristika .....	54
4.6	Outcome.....	55
4.6.1	Charakteristika der Follow-up-Gruppe .....	55
4.6.2	Ergebnisse der Fragebögen .....	56
4.6.2.1	<i>Numerische Rating-Skala „Schmerzen aktuell“</i> .....	56
4.6.2.2	<i>Numerische Rating-Skala „Therapiezufriedenheit“</i> .....	56
4.6.2.3	<i>Oswestry Disability Index</i> .....	57
4.6.2.4	<i>Short Form (36) Gesundheitsfragebogen</i> .....	60
4.6.3	Funktioneller Outcome.....	62
4.6.4	Revisionseingriffe.....	63
4.6.5	Anschluss- und Folgefrakturen .....	64
4.6.6	Röntgenologische Ergebnisse .....	65

4.6.6.1	<i>Wirbelkörpervorderkanten- und –hinterkantenhöhe</i> .....	65
4.6.6.2	<i>Bisegmentaler und regionaler sagittaler Cobb-Winkel</i> .....	66
4.6.6.3	<i>Spinopelvine Parameter</i> .....	67
4.7	Follow-up Gruppe vs. Lost to follow-up.....	68
4.7.1	Demographische Daten .....	68
4.7.2	Medizinische Daten.....	68
4.7.3	Frakturcharakteristika .....	68
4.7.4	Operationscharakteristika .....	69
4.8	Zusammenhänge .....	69
4.8.1	Zusammenhänge der verschiedenen Fragebögen untereinander.....	69
4.8.2	Zusammenhänge der radiologische Ergebnisse untereinander .....	70
4.8.3	Zusammenhänge zwischen den Ergebnissen der Fragebögen und den radiologische Ergebnissen .....	70
4.8.4	Zusammenhänge zwischen den Ergebnissen der Fragebögen und den funktionellen Ergebnissen .....	71
4.8.5	Weitere Zusammenhänge.....	71
5	Diskussion .....	73
5.1	Zusammenfassung der Hauptergebnisse .....	73
5.2	Diskussion der Methoden .....	74
5.2.1	Studiendesign .....	74
5.2.2	Fragebögen.....	74
5.2.3	Röntgenologische Parameter .....	75
5.3	Diskussion der Ergebnisse .....	77
5.3.1	Frakturcharakteristika .....	77
5.3.2	Osteoporose und antiosteoporotische Therapie .....	78
5.3.3	Ergebnisse der Fragebögen .....	79
5.3.3.1	<i>Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Fragebögen</i> .....	79
5.3.3.2	<i>Ergebnisse des SF-36 Gesundheitsfragebogens</i> .....	79
5.3.3.3	<i>Ergebnisse des ODI-Fragebogens</i> .....	80
5.3.3.4	<i>Ergebnisse der NRS „Schmerz“</i> .....	81
5.3.4	Röntgenologische Ergebnisse .....	82
5.3.5	Revisionseingriffe.....	84
5.4	Diskussion der Ergebnisse im Kontext der aktuellen Studienlage .....	86

5.5	Limitationen dieser Studie.....	88
5.6	Ausblick.....	89
6	Zusammenfassung der Arbeit .....	91
7	Verzeichnisse .....	93
7.1	Literaturverzeichnis .....	93
7.2	Tabellenverzeichnis .....	101
7.3	Abbildungsverzeichnis .....	104
8	Erklärung über die eigenständige Abfassung der Arbeit.....	107
9	Appendix .....	108
9.1	Fragebogen Nachuntersuchung .....	108
9.2	Danksagung.....	112
9.3	Lebenslauf .....	113

## Abkürzungen

ap	anterior-posterior
BMI	Body-Mass-Index
BP	Bisphosphonate
BWK	Brustwirbelkörper
BWS	Brustwirbelsäule
COPD	Chronisch obstruktive Lungenerkrankung
CT	Computertomographie
DM	Diabetes mellitus
DVO	Dachverband Osteologie e.V.
DXA	Dual-X-Ray-Absorptiometrie
GC	Glukokortikoide
HI	Herzinsuffizienz
HKH	Hinterkantenhöhe
HT	Arterielle Hypertonie
ksk	körperliche Summenskala (SF-36 Fragebogen)
LWK	Lendenwirbelkörper
LWS	Lendenwirbelsäule
MRT	Magnetresonanztomographie
NRS	Numerische Rating-Skala
NRS_S	Numerische Rating-Skala „Schmerz“
NRS_T	Numerische Rating-Skala „Therapiezufriedenheit“
Ö	Östrogene
ODI	Oswestry Disability Index
PI	Pelvic Incidence
po	postoperativ
psk	psychische Summenskala (SF-36 Fragebogen)
PT	Pelvic Tilt
PTH	Parathormon
QCT	Quantitative Computertomographie
RA	Rheumatoide Arthritis
RANKL-AK	Anti-Receptor-Activator-of-NF- $\kappa$ B-Ligand-Antikörper

$r_s$	Korrelationskoeffizient nach Spearman
SD	Standardabweichung
SERM	Selektive Östrogenrezeptormodulatoren
SF-36	Short Form (36) Gesundheitsfragebogen
SS	Sacral Slope
SVA	sagittal vertical axis
TLICS	AOSpine Thoracolumbar Spine Injury Classification System
TLÜ	Thorakolumbaler Übergang
VKH	Vorderkantenhöhe
WHO	Weltgesundheitsorganisation



# 1 Einführung

## 1.1 Einleitung

Nach Angaben der Weltgesundheitsorganisation (WHO) sind mehr als 75 Millionen Menschen in Europa, Japan und den USA von Osteoporose betroffen [1]. In einer immer älter werdenden Gesellschaft wird die Relevanz dieser Systemerkrankung zukünftig noch an Bedeutung gewinnen. Im Jahr 2015 waren in Europa etwa 23,9% der Menschen 60 Jahre oder älter, im Jahr 2030 wird dieser Anteil schätzungsweise auf 29,6% angestiegen sein [2]. Osteoporose ist der Grund für mehr als 8,9 Millionen Frakturen weltweit pro Jahr [3]. Das geschätzte Lebenszeitrisko, eine Handgelenks-, Hüftkopf- oder Wirbelkörperfraktur zu erleiden, liegt in den entwickelten Ländern bei schätzungsweise 30-40% und ist damit fast so hoch wie die Wahrscheinlichkeit, an einer koronaren Herzkrankheit zu erkranken [3]. Wegen der entstehenden Einschränkungen im Alltag durch Schmerzen und Mobilitätsverlust sinkt die Lebensqualität der Betroffenen signifikant, sogar bei klinisch zunächst unauffälligen Wirbelkörperfrakturen [4]. Diese verminderte Mobilität und die Angst vor erneuten Frakturen führt zu einer Reduktion der körperlichen Aktivität, was wiederum zu einer Verschlechterung der Osteoporose beiträgt [5]. Gleichzeitig stellt eine bestehende Wirbelkörperfraktur mit einem Faktor von vier eine der wichtigsten Risikofaktoren für eine Folgefraktur eines anderen Wirbelkörpers dar [6].

Bei Patient\_innen mit Osteoporose stellt die Wirbelsäulen Chirurgie einerseits wegen der veränderten Knochenstruktur eine Herausforderung dar, kann aber andererseits zur schnelleren Wiedererlangung von Mobilität und Schmerzreduktion beitragen. Die behandelnden Ärzt\_innen müssen sich der Risikofaktoren bewusst sein, um eine angemessene Planung vornehmen und zwischen den verschiedenen therapeutischen Möglichkeiten abwägen zu können [7].

### 1.2 Wirbelkörperfrakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule

Die Wirbel des Menschen - mit Ausnahme der ersten beiden Halswirbel - verfügen über ein Corpus (Corpus vertebrae) und einen dorsalen Wirbelbogen (Arcus vertebrae), der mit Dornfortsätzen und kleinen Wirbelgelenken ausgestattet ist. Zwei angrenzende Wirbel werden zusammen mit dem beteiligten Bandapparat und der dazwischenliegenden Bandscheibe als Bewegungssegment zusammengefasst. Ein solches Bewegungssegment weist in der Rotation, der Seitenneigung und der Scherung zur Seite für beide Richtungen identische Bewegungsumfänge auf [8]. Die Wirbelsäule eines erwachsenen Menschen verfügt physiologischer Weise über vier Krümmungen, wenn man das Sakrum zur Wirbelsäule zählt. Die Hals- und Lendenwirbelsäule (LWS) sind nach ventral konvex gekrümmt, was als Lordose bezeichnet wird, während die Brustwirbelsäule (BWS) und das Kreuzbein konkav gekrümmt sind, was Kyphose genannt wird. Zur Beschreibung der Krümmungen kann der sagittale Cobb-Winkel verwendet werden, der in der gesunden Wirbelsäule auf Höhe der BWS zwischen 20° und 50° und auf Höhe der LWS zwischen 20° und 70° variieren kann [9]. Dabei korrelieren die verschiedenen Krümmungen signifikant miteinander [10]. Heutzutage werden diese Winkel auch als thorakale Kyphose und lumbale Lordose bezeichnet [11]. Ausführlicher werden diese Parameter unter 1.6.1 „Die thorakale Kyphose und die lumbale Lordose“ beschrieben. Beim Sitzen, Stehen oder Gehen wird Druck auf die vorderen Anteile (Wirbelkörper, Bandscheibe) und Zug auf die hinteren Elemente (Bänder, Rückenmuskulatur) der Wirbelsäule ausgeübt [9].

Im Bereich der Brust- und Lendenwirbelsäule treten 70-80% der relevanten Verletzungen an der Wirbelsäule auf [12]. Der thorakolumbale Übergang (TLÜ) stellt wegen seiner anatomischen Beschaffenheit einen besonders frakturgefährdeten Wirbelsäulenabschnitt dar. An dieser Stelle geht die relativ starre, kyphotische Brustwirbelsäule, die eine zusätzliche Stabilisierung durch den Brustkorb erfährt, in die sehr bewegliche lordotische Lendenwirbelsäule über, sodass axial einwirkende Kräfte an dieser Stelle nicht effizient durch Krümmungen gedämpft werden können [13]. Die Arbeitsgemeinschaft „Wirbelsäule“ der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie veröffentlichte 2009 eine Sammelstudie an 865 Patient\_innen, in der unter anderem die Lokalisation von

## **Wirbelkörperfrakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule**

Wirbelkörperfrakturen erfasst wurde. Es zeigte sich, dass 68,8% aller Brust- und Lendenwirbelfrakturen die Wirbelkörper BWK 11, BWK 12 oder LWK 1 betrafen [14].

Zu den häufigsten Ursachen traumatischer Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule zählen Stürze aus der Höhe (31,9%), Verkehrsunfälle (25,9%) und banale Stürze (22,4%) [14]. Weitere Gründe können pathologische Frakturen aufgrund von Osteoporose, Metastasen oder entzündliche Prozesse darstellen, wobei diese Grunderkrankungen auch im Rahmen traumatischer Frakturen vorliegen können [13].

Das Vorliegen neurologischer Auffälligkeiten hat einen großen Einfluss auf die Entscheidungsfindung bezüglich der Therapiestrategie sowie auf den weiteren Verlauf [15]. Je nach Verletzungsmuster können das Rückenmark oder die Cauda equina im Rahmen der Wirbelkörperfrakturen mitverletzt werden. Dies kann sowohl durch eine traumatische Zerreißung als auch durch eine erhöhte Druckbelastung mit Verlegung des Spinalkanals verursacht werden. Auf Höhe der mittleren Brustwirbelsäule stehen das Myelon und der Spinalkanal anatomisch sehr nah zusammen, sodass bereits Spinalkanaleinengungen von 20% zu neurologischen Komplettausfällen führen können. Im Gegensatz dazu könnten auf Höhe des thorakolumbalen Überganges Spinalkanaleinengungen von bis zu 50% vorliegen, ohne dass neurologische Defizite auftreten müssten [12].

### **1.2.1 Klassifikationssysteme**

Im Folgenden werden zunächst das Zwei-Säulen-Konzept nach Whiteside von 1977 und das Drei-Säulen-Konzept nach Denis von 1983 als Klassifikationsgrundlage vorgestellt. Anschließend werden die AO-Klassifikation nach Magerl von 1994 sowie das „AOSpine Thoracolumbar Spine Injury Classification System“ (TLICS) von 2013 erläutert. Die beiden Klassifikationen sind für Patient\_innen ohne osteologische Grunderkrankungen entwickelt worden, während die OF-Klassifikation speziell für osteoporotische Frakturen gedacht ist. Diese wird im Abschnitt 1.4.3 näher erläutert.

### **1.2.1.1 Zwei-Säulen-Konzept nach Whiteside und Drei-Säulen-Konzept nach Denis**

Whiteside beschäftigte sich in seiner Veröffentlichung von 1977 [16] mit der Entstehung traumatischer Kyphosen der thorakolumbalen Wirbelsäule. Er unterteilte die Wirbelsäule biomechanisch in eine vordere und eine hintere Säule. Zu den vorderen Anteilen zählen die Wirbelkörper und die Bandscheiben, während die hintere Säule sich aus dem Bandapparat sowie den Wirbelbögen mit ihren Fortsätzen und Facettengelenken zusammensetzt. Auf die vordere Säule wirken vor allem Kompressionskräfte, wohingegen die hinteren Anteile starker Zugspannung ausgesetzt sind. Rotatorische Stabilität wird durch die Ligamente und die einzelnen Facettengelenke ermöglicht [16].

Denis etablierte durch seine retrospektive Studie von 1983 [17] das Drei-Säulen-Konzept zur Klassifikation akuter Wirbelsäulenverletzungen. Er erweiterte das bestehende Zwei-Säulen-Modell um eine dritte bzw. mittlere Säule, die sich aus dem hinteren Längsband (Ligamentum longitudinale posterius), dem hinteren Anteil des Anulus fibrosus und der Hinterwand des Wirbelkörpers zusammensetzt. Als vordere Säule definierte er das vordere Längsband (Ligamentum longitudinale anterius), den vorderen Anteil des Anulus fibrosus sowie den vorderen Anteil des Wirbelkörpers, die hintere Säule bilden der Wirbelbogen und der hintere Bandapparat [17]. Nach Denis [17] könnte man eine Fraktur als stabil klassifizieren, solange zwei Säulen intakt wären. Darüber hinaus unterschied er drei Arten von Instabilität: mechanische Instabilität durch Ruptur des hinteren Längsbandes, neurologische Instabilität und eine Kombination aus mechanischer und neurologischer Instabilität.

### **1.2.1.2 AO-Klassifikation nach Magerl (1994)**

Magerl et al. [18] führten 1994 eine Klassifikation für Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule ein, die lange Zeit im europäischen Raum die gebräuchlichste zur Diagnostik thorakolumbalen Frakturen darstellte [12]. Die verschiedenen Kategorien wurden anhand des Unfallhergangs, der pathomorphologischen Besonderheiten und der prognostischen Aspekte erarbeitet. Die drei Unfallmechanismen Kompression, Distraction und Rotation finden sich in den verschiedenen Typen A bis C wieder, wobei der Schweregrad der Fraktur in Bezug auf Instabilität und neurologische Beteiligung von A (Kompressionsfraktur) über B

## Wirbelkörperfrakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule

(Distractionsfraktur) bis C (Rotationsfraktur) zunimmt. Die Kompressionsfrakturen (Typ A) stellen mit 66,1% die häufigste Entität dar [18]. Im Folgenden wird überwiegend auf diese Frakturform eingegangen.

Kompressionsfrakturen (Typ A) entstehen aufgrund von axialer Belastung, die unter Umständen mit einer Flexion kombiniert sein kann. Sie betreffen die ventrale und/oder mittlere Säule, während die posteriore Säule intakt bleibt. Radiologisch weisen sie meist einen Verlust der Wirbelkörperhöhe auf, wobei der vordere Anteil häufig stärker abgeflacht ist als der hintere, was zu einer kyphotischen Fehlstellung führen kann. Die Kompressionsfrakturen lassen sich wiederum in drei Subtypen unterteilen, welche ebenfalls genauer spezifiziert werden [18]. Eine Übersicht der verschiedenen Frakturtypen gibt die Abbildung 1.

<b>A1 Impaktionsfraktur</b>	A1.1 Deckplattenimpression A1.2 Keilbruch A1.2.1 oberer Keilbruch A1.2.2 seitlicher Keilbruch A1.2.3 unterer Keilbruch A1.3 Wirbelkörperimpaktion
<b>A2 Spaltbruch</b>	A2.1 sagittaler Spaltbruch A2.2 frontaler Spaltbruch A2.3 Kneifzangenbruch
<b>A3 Berstungsbruch</b>	A3.1 inkompletter Berstungsbruch A3.1.1 oberer inkompletter Berstungsbruch A3.1.2 seitlicher inkompletter Berstungsbruch A3.1.3 unterer inkompletter Berstungsbruch A3.2 Berstungsspaltbruch A3.2.1 oberer Berstungsspaltbruch A3.2.2 seitlicher Berstungsspaltbruch A3.2.3 unterer Berstungsspaltbruch A3.3 kompletter Berstungsbruch A3.3.1 Kneifzangenberstungsbruch A3.3.2 kompletter Flexionsberstungsbruch A3.3.3 kompletter axialer Berstungsbruch

Abbildung 1 Typ-A-Frakturen der Wirbelkörper, Klassifikation nach Magerl et al. [18]

Bei den Impaktionsfrakturen (A1) ist ausschließlich der vordere Anteil des Wirbelkörpers betroffen, während die mittlere und die hintere Säule intakt bleiben. Die Frakturen gelten als stabil, neurologische Ausfallerscheinungen sind nicht zu erwarten. Bei den Spaltbrüchen (A2) liegt ein Wirbelkörperbruch in frontaler oder

## Wirbelkörperfrakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule

sagittaler Ebene vor, sodass es zu einer Beteiligung von zwei Bewegungssegmenten kommt. Je nach Ausmaß der Dislokation kann ein Anteil vom Bandscheibenmaterial in den entstandenen Spalt zwischen den beiden Knochenfragmenten treten und die Heilung behindern. Neurologische Ausfallerscheinungen sind bei diesem Frakturtyp ungewöhnlich. Berstungsfrakturen (A3) zeichnen sich durch eine inkomplette bis komplette Berstung des Wirbelkörpers aus, die die Hinterkante mitbetrifft und bei der Knochenfragmente der Hinterkante in den Spinalkanal treten und neurologische Schäden hervorrufen können. Bei der inkompletten Berstung (A3.1) ist neben der Hinterkante nur eine Endplatte frakturiert, während bei der kompletten Berstung (A3.3) beide Endplatten beteiligt sind. Beim Berstungsspaltbruch (A3.2) ist entweder der kraniale oder kaudale Anteil des Wirbelkörpers geborsten mit einem Frakturausläufer in die andere Endplatte (kaudal oder kranial) im Sinne einer Spaltbruchkomponente [18].

Den Übergang zwischen stabiler und instabiler Fraktur und damit unter Umständen den Übergang zwischen konservativer und operativer Versorgung festzulegen, gestaltet sich nicht immer eindeutig [12]. Eine stabile Verletzung liegt vor, wenn nur eine der drei Säulen - meist handelt es sich um die ventrale - verletzt ist. Liegt eine Beteiligung von zwei Säulen vor, ist diese, je nach Schweregrad der knöchernen und ligamentären Beteiligung, als gering bis deutlich instabil anzunehmen. Bei einer Verletzung aller drei Säulen liegt eine hochgradige Instabilität vor, die einer operativen Behandlung bedarf. Bei den Typ-A-Frakturen wird die Beteiligung der Wirbelkörperhinterkante als Stabilitätskriterium angewendet. Anhand dieses Charakteristikums sind A1- und A2-Frakturen als stabil und A3-Frakturen als potentiell instabil anzusehen [13]. Ausnahmen von dieser Kategorisierung stellen der Kneifzangenbruch (A2.3) und der inkomplette Berstungsbruch (A3.1) dar. Der Kneifzangenbruch weist zwar keine Hinterkantenbeteiligung auf, durch seine Frakturmorphologie, die mit einer Bandscheibendestruktion und einer behinderten Heilung einhergehen kann [12], ist er jedoch als instabil zu werten [13]. Der inkomplette Berstungsbruch (A3.1) hingegen weist zwar eine Beteiligung der Hinterkante auf, kann aber bei lediglich geringer Hinterkantenbeteiligung und ohne relevanten begleitenden Bandscheibenschaden sowie tolerablem Alignment als stabil gewertet werden [12].

### 1.2.1.3 AOSpine Thoracolumbar Spine Injury Classification System (2013)

Vaccaro et al. [19] veröffentlichten 2013 das AOSpine Thoracolumbar Spine Injury Classification System (TLICS) als Weiterentwicklung der AO-Klassifikation nach Magerl [18]. Das TLICS berücksichtigt neben der Frakturmorphologie auch den neurologischen Status sowie individuelle Verlaufparameter der Patient\_innen. Das Ziel der Autoren ist die zukünftige Entwicklung eines Punktesystems auf Basis ihrer Klassifikation, welches die Entscheidung zwischen operativer und konservativer Versorgung erleichtern und nachvollziehbarer machen soll [19].

Der neurologische Status weist die Kategorien NX (nicht beurteilbar), N0 (keine neurologischen Ausfälle), N1 (zurückliegende passagere Ausfälle), N2 (radikuläre Symptome), N3 (Rückenmarksverletzungen oder Cauda-equina-Syndrom) und N4 (Querschnittslähmung) auf. Die individuellen Verlaufparameter werden in verletzungsabhängige Charakteristika (M1) und Komorbiditäten (M2) unterteilt [19]. Bei der Frakturmorphologie wird zwischen den drei Typen A (Kompression), B (Distraktion) und C (Translation) unterschieden [19]. Eine Übersicht der verschiedenen Typ-A-Frakturformen im Vergleich zur AO-Klassifikation nach Magerl bietet die folgende Abbildung 2.

TLICS	Magerl
A0 geringfügige Fraktur Bruch ohne Auswirkung auf die Integrität der Wirbelsäule, wie Frakturen des Processus spinosus oder transversus, Wirbelkörperödem im MRT	
A1 Keilbruch Fraktur einer Endplatte ohne Beteiligung der Hinterkante	A1 Impaktionsfraktur
A2 Spaltbruch Beteiligung beider Bewegungssegmente ohne Beteiligung der Hinterkante	A2 Spaltbruch
A3 inkompletter Berstungsbruch Fraktur mit Hinterkantenbeteiligung, die nur eine Endplatte betrifft	A3.1 inkompletter Berstungsbruch
A4 kompletter Berstungsbruch Fraktur mit Hinterkantenbeteiligung, die beide Bewegungssegmente betrifft	A3.2 Berstungsspaltbruch A3.3 kompletter Berstungsbruch

Abbildung 2 Typ-A-Frakturformen im TLICS nach Vaccaro et al. [20] und in der AO-Klassifikation nach Magerl et al. [18] im Vergleich

## **Wirbelkörperfrakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule**

Im Vergleich zur Klassifikation nach Magerl weist das TLICS 5 statt 3 verschiedene Entitäten der Gruppe A auf. Durch die Ergänzung einer Gruppe „A0“ wird die Möglichkeit geboten, auch geringfügige Frakturen zu kategorisieren. Außerdem werden inkomplette und komplette Berstungsfrakturen in der TLICS gesondert aufgeführt [21].

Mattei et al. [22] beschäftigen sich im Rahmen eines Fallberichts mit dem TLICS. Sie sehen die Vorteile dieser neuen Klassifikation in der einfachen Anwendbarkeit und vergleichsweise hohen Reliabilität. Allerdings merken sie an, dass die Frakturmorphologie sich verändern kann, eine inkomplette Berstungsfraktur sich beispielsweise in eine komplette entwickeln kann. Sie empfehlen daher, sich nicht starr an die Kategorien zu halten, sondern weiterhin auch andere Parameter bei der Therapieentscheidung mit einzubeziehen und die Klassifikation nur als Orientierung zu verwenden.



### 1.3 Osteoporose

Im Folgenden wird die Osteoporose als Systemerkrankung definiert und ihre Ätiologie dargelegt. Anschließend werden die Diagnostik und die Therapie der Osteoporose vorgestellt.

#### 1.3.1 Definition und Ätiologie

Bei der Osteoporose handelt es sich um eine Systemerkrankung, die durch eine geringe Knochenmasse sowie einen mikroarchitektonischen Abbau von Knochensubstanz charakterisiert ist. Diese Veränderungen erhöhen die Fragilität der Knochen und führen zu einem gesteigerten Frakturrisiko [23]. Die WHO definiert die Osteoporose über eine deutlich erniedrigte Knochenmineraldichte [1]. Die National Institutes of Health (NIH) haben diese Definition um den Aspekt der Knochenqualität erweitert. Knochendichte stellt die Mineralisation pro Volumen oder Fläche dar, Knochenqualität ist über die Veränderungen in der Knochenarchitektur, Mikroverletzungen und veränderte Umbauprozesse definiert [24].

Pathophysiologisch liegen der Osteoporose eine Insuffizienz der Osteoblasten und eine gesteigerte Aktivität der Osteoklasten zugrunde. Dieses Ungleichgewicht im Knochenstoffwechsel führt im spongiösen Knochen zu Trabekelperforationen, die von den Osteoblasten nicht mehr adäquat repariert werden können, sodass es schließlich zu einer Abkopplung der betroffenen Trabekel kommt. Da die trabekuläre Mikroarchitektur für die mechanische Belastbarkeit des Knochens von großer Bedeutung ist, führen diese Umbauprozesse zu einer potentiellen Instabilität [25].

Die Osteoporose wird ätiologisch in eine primäre (95%) und eine sekundäre Form (5%) unterteilt. Zu den primären Formen gehören die seltene idiopathische Osteoporose, die postmenopausale Osteoporose (Typ-1-Osteoporose) und die senile Osteoporose (Typ-2-Osteoporose) [25]. Der postmenopausalen Osteoporose liegt ein Mangel an Östrogenen zugrunde, der zu einer gesteigerten Frequenz an Knochenumbau führt [26]. Sie ist die häufigste Form der Osteoporose, betrifft hauptsächlich die Knochenspongiosa der Wirbelkörper und kommt fast nur bei Frauen ab dem 50. Lebensjahr vor. Bei der senilen Osteoporose ist neben der Spongiosa auch die Kompakta des Knochens von den

Umbauprozessen betroffen. Frakturen treten dabei besonders häufig am Schenkelhals, am Humerus, am Radius und an den Wirbelkörpern auf. Als Ursachen werden Alterungsprozesse, Bewegungsmangel sowie Mangel an Vitamin D oder Kalzium diskutiert [25]. Zu den Ursachen für die sekundäre Form der Osteoporose gehören unter anderem endokrinologische Grunderkrankungen (bspw. Hyperkortisolismus), Malabsorptionssyndrome (bspw. Morbus Crohn) und medikamentöse Nebenwirkungen (bspw. durch Glukokortikoide (GC)) [27].

### 1.3.2 Diagnostik der Osteoporose

Nach der aktuellen Leitlinie des Dachverbands der deutschsprachigen wissenschaftlichen osteologischen Gesellschaften von 2017 [28] sollte die Basisdiagnostik der Osteoporose aus Anamnese, klinischem Befund, einer Osteodensitometrie, einem Basislabor und - bei klinischem Verdacht auf eine osteoporotisch Wirbelkörperfraktur - einer bildgebenden Diagnostik bestehen.

Anamnese und klinischer Befund sollten folgende Punkte umfassen:

- Allgemeine Risikofaktoren wie Lebensalter, Geschlecht, vorhergehende Frakturen, multiple Stürze, Immobilität, Untergewicht
- Erfassung von Schmerzsymptomatik und Bewegungseinschränkungen bei Patient\_innen mit prävalenten Frakturen
- Erfassung von Frakturrisikofaktoren, die sich beseitigen ließen (bspw. Medikamenteneinnahme) oder einer weiteren Abklärung bedürften (bspw. endokrinologische Störungen)
- Überprüfung von Hinweisen für das Vorliegen eines Malignoms, einer sekundären Osteoporose oder einer Wirbelkörperfraktur
- Erfassung möglicher Kontraindikationen für eine antiosteoporotische Therapie
- Evaluation der Koordination und der Muskelkraft bei Patient\_innen mit Anhaltspunkten für Einschränkungen in diesen Bereichen und generell ab dem 70. Lebensjahr

Die WHO hat die Osteoporose 1994 als eine Knochendichte definiert, die mindestens 2,5 Standardabweichungen unterhalb des Richtwertes für Frauen im Alter von 20-29 Jahren liegt [1]. Diese Abweichung wird als T-Score bezeichnet und liegt folglich bei  $\leq -2,5$ . Die Diagnosekriterien gelten nur als erfüllt, wenn der verminderte Wert nicht durch andere Krankheitszustände erklärt werden kann [1].

Die International Society for Clinical Densitometry (ISCD) empfiehlt eine Messung der Knochendichte unter anderem bei Frauen, die älter als 65 Jahre und Männern, die älter als 70 Jahre alt sind. Außerdem bei Frauen und Männern unter 65 bzw. 70 Jahren, die ein geringes Körpergewicht aufweisen, Frakturen erlitten haben, viele Medikamente einnehmen oder unter Krankheiten leiden, die mit einer verringerten Knochendichte assoziiert sind [29].

Das empfohlene Standardverfahren zur Messung der Knochendichte ist die „Dual-X-Ray-Absorptiometrie“ (DXA) an der LWS und am proximalen Femur [27]. Bei der DXA werden Röntgenstrahlen mit zwei verschiedenen Energien emittiert, die abhängig vom Gewebe verschieden stark abgeschwächt werden. Die daraus berechneten Differenzen geben Auskunft über die Materialzusammensetzung des untersuchten Gewebes. Die DXA ist sehr präzise (Präzisionsfehler=1-3%) und die Strahlenbelastung mit 1-3  $\mu\text{Sv}$  vergleichsweise gering. Die Knochendichte wird normalerweise von LWK 1 - LWK 4 als Dichte/Fläche in  $\text{g}/\text{cm}^2$  berechnet, wobei morphologische Besonderheiten oder degenerative Erkrankungen die Werte verfälschen können [25]. Am proximalen Femur spielen für die Risikobeurteilung der T-Score der Gesamtfemurregion und der T-Score am Schenkelhals die wichtigste Rolle [27].

Neben der DXA kann die Knochendichte auch mittels quantitativer Computertomographie (QCT) ermittelt werden, die die Volumendichte in der Einheit Kalziumhydroxylapatit pro Milliliter misst. Die Ergebnisse der QCT werden im Gegensatz zur DXA nicht durch morphologische Besonderheiten (bspw. Wirbelkörpergröße) oder degenerative Erkrankungen der Wirbelsäule (bspw. Spondylarthrosen) verfälscht. Nachteile stellen jedoch die höhere Strahlenbelastung (etwa 60  $\mu\text{Sv}$ ) und die im Vergleich zur DXA etwas geringere Präzision dar [25].

Das Basislabor sollte das Serum-Kalzium, das Serum-Phosphat, die alkalische Phosphatase im Serum, die Gamma-Glutamyltransferase, die Kreatinin-Clearance, das C-reaktive Protein, ein kleines Blutbild und das Thyreotropin umfassen. Anhand dieser Werte können sich Hinweise für eine sekundäre Osteoporose ergeben oder andere Osteopathien detektiert werden [27].

Eine Bildgebung der Wirbelsäule empfehlen die Autoren der Leitlinie bei „akuten, neu aufgetreten, starken und/oder über Tage anhaltenden umschriebenen Rückenschmerzen“ und „chronischen Rückenschmerzen, die bisher nicht

abgeklärt worden sind“ [28]. Verheyden et al. [30] fordern in ihren Empfehlungen zur Diagnostik und Therapie von Wirbelsäulenverletzungen, dass eine röntgenologische Darstellung in zwei Ebenen nach jedem akuten Trauma der BWS oder LWS durchgeführt werden sollte.

### 1.3.3 Therapie der Osteoporose

In der aktuellen Leitlinie des Dachverbands der deutschsprachigen wissenschaftlichen osteologischen Gesellschaften von 2017 [28] werden Therapieempfehlungen für Männer ab dem 60. Lebensjahr und Frauen in der Postmenopause formuliert, bei denen eine manifeste Osteoporose vorliegt, das Folgefrakturrisiko deutlich erhöht ist und die Therapie eine Reduktion dieses Risikos verspricht. Ein wichtiges Kriterium stellt dabei die Berechnung der 10-Jahresfrakturrisikos dar, welches vorhersagen soll, wie hoch die Wahrscheinlichkeit ist, in den folgenden zehn Jahren eine osteoporotische Fraktur zu erleiden. Zu dessen Berechnung existieren verschiedenen Modelle, ein häufig verwendetes ist das FRAX® von Kanis et al. [31]. Dieses spezielle Rechentool schätzt mit Hilfe verschiedener Parameter wie Knochendichte und individueller Risikofaktoren das 10-Jahresrisiko für das Auftreten von hüftnahen Frakturen, klinischen Wirbelkörperfrakturen, Humerusfrakturen und Unterarmfrakturen ab. Im Speziellen empfiehlt die Leitliniengruppe eine medikamentöse Therapie beim Vorliegen folgender Konstellationen, wobei der geschlechtsspezifische T-Score angewandt werden sollte:

- Nach singulären niedrigtraumatischen Wirbelkörperfrakturen mit einer Höhenminderung über 25% oder nach multiplen niedrigtraumatischen Wirbelkörperfrakturen, wenn diese auf keine andere Ursache zurückzuführen sind und ein DXA T-Score  $< -2,0$  vorliegt, nach individueller Abwägung auch schon bei einem T-Score  $> -2,0$
- Nach niedrigtraumatischen proximalen Femurfrakturen, wenn ein DXA T-Score  $< -2,0$  vorliegt, nach individueller Abwägung auch schon bei einem T-Score  $> -2,0$
- Bestehende oder geplante medikamentöse Therapie mit GC, deren tägliche Dosis das Prednisolonäquivalent von 7,5 mg für mehr als 3 Monate übersteigt,

wenn bereits eine niedrigtraumatische Wirbelkörperfraktur oder multiple periphere Frakturen vorliegen oder wenn der DXA T-Score  $\leq -1,5$

- Ein 10-Jahresfrakturrisiko von  $>30\%$  für das Auftreten einer Wirbelkörperfraktur oder einer proximalen Femurfraktur

Die Präparate zur medikamentösen Therapie der Osteoporose gehören aufgrund ihrer unterschiedlichen Angriffspunkte verschiedenen Wirkstoffgruppen an.

Vitamin D, seine Derivate und Kalzium beeinflussen primär den Kalziumstoffwechsel. Vitamin D bewirkt in seiner aktiven Form Calcitriol eine gesteigerte Kalziumresorption aus dem Duodenum und den Knochen sowie an den Nebenschilddrüsen eine herabgesetzte Sekretion von Parathormon [32]. Die Leitliniengruppe [28] empfiehlt sowohl Patient\_innen ohne als auch Patient\_innen mit spezifischer Osteoporosetherapie eine Zufuhr von 1000 mg Kalzium täglich sowie eine Supplementierung mit 800-1000 Einheiten Vitamin D<sub>3</sub> pro Tag.

Bisphosphonate (BP), selektive Östrogenrezeptormodulatoren (SERM), Östrogene (Ö) und Anti-Receptor-Activator-of-NF- $\kappa$ B-Ligand-Antikörper (RANKL-AK) hemmen den Knochenabbau, indem sie direkt oder indirekt die Osteoklastenaktivität vermindern [32]. Zu den empfohlenen Medikamenten dieser Stoffgruppe gehören Alendronat (BP), Ibandronat (BP), Risedronat (BP), Zoledronat (BP), Raloxifen (SERM), Bazedoxifen (SERM), Östrogene und Denosumab (RANKL-AK) [27].

Parathormon (PTH) ist eine anabole Substanz und führt zu einer Erhöhung des Kalziums im Plasma über dessen Mobilisation aus dem Knochen, dessen Reabsorption aus den Nieren und dessen gesteigerte Resorption aus dem Dünndarm. Darüber hinaus fördert PTH die renale Hydroxylierung von Calcidiol zu dem aktiven Calcitriol [32]. Teriparatid (PTH) stellt ein empfohlenes Medikament dieser Gruppe dar [28].

Strontiumranelat führt zu einer Stimulation der Knochenneubildung und einer Hemmung des Knochenabbaus, wobei der genaue Wirkmechanismus nicht abschließend geklärt ist [32].

Bei Frauen in der Postmenopause hat die Leitliniengruppe folgende Ergebnisse (Tabelle 1) über die Therapieeffizienz zusammengetragen, wobei allen Präparaten eine Reduktion des Frakturrisikos über 3-5 Jahre nachgewiesen werden konnte.

	Weniger Wirbelkörperfrakturen	Weniger periphere Frakturen	Weniger proximale Femurfrakturen
Alendronat	A	A	A
Bazedoxifen	A	B	
Denosumab	A	A	A
Ibandronat	A	B	
Raloxifen	A		
Risedronat	A	A	A
Zoledronat	A	A	A
Teriparatid	A	B	
Östrogene	A	A	A

Tabelle 1 Therapieeffizienz ausgewählter Medikamente bei Frauen in der Postmenopause, A: Empfehlungsgrad A, B: Empfehlungsgrad B, Abbildung übernommen aus den Leitlinien der DVO von 2017 [28], Genehmigung für die Verwendung am 01.08.2018 erhalten.

Bei Männern wird die Behandlung mit Alendronat, Risedronat, Strontiumranelat, Zoledronat oder Teriparatid empfohlen.

Teriparatid sollte nicht länger als 24 Monate eingesetzt werden, Östrogene sollten immer nur nach Abwägung von Kontraindikationen und Nebenwirkungen verwendet werden und Strontiumranelat ist nur zugelassen, wenn es sich um eine besonders schwere Form von Osteoporose handelt, deren Behandlung durch kein anderes der empfohlenen Medikamente erfolgen kann.

### 1.4 Osteoporotische Wirbelkörperfrakturen

In diesem Abschnitt werden die osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen definiert und ihre biomechanischen Auswirkungen auf die Wirbelsäule beschrieben. Außerdem wird die OF-Klassifikation vorgestellt, die ausschließlich für die Kategorisierung osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen entwickelt wurde. Abschließend wird auf die Diagnostik und die konservative Therapie der Frakturen eingegangen.

#### 1.4.1 Definition

Es hat sich gezeigt, dass die Bestimmung der Knochendichte in Bezug auf die Wahrscheinlichkeit, eine osteoporotische Fraktur zu erleiden, zwar eine hohe Spezifität, aber nur eine geringe Sensitivität aufweist [1]. Folglich ist die Definition einer osteoporotischen Fraktur, insbesondere einer Wirbelkörperfraktur, nicht eindeutig. Eine weitverbreitete Methode ist es, all jene Frakturen als osteoporotisch zu klassifizieren, die aufgrund eines niedrigenergetischen Traumas entstanden sind, als solches gilt beispielsweise ein Sturz aus dem Stand [3]. Eine schwedische Studie hat gezeigt, dass 75% der 50-Jährigen Patient\_innen, die aufgrund einer Wirbelkörperfraktur im Krankenhaus behandelt wurden, ein niedrigenergetisches Trauma erlitten haben. In der Altersklasse der 90-Jährigen lag der Anteil sogar bei beinahe 100% [33].

Die Epidemiologie osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen darzustellen, gestaltet sich ebenfalls schwierig, da ein Großteil der Betroffenen klinisch inapparent ist und sich daher nicht in Behandlung begibt [3]. Die Inzidenz der radiologisch nachgewiesenen Wirbelkörperfrakturen scheint etwa 2,5-mal höher zu sein als die Anzahl der klinischen Wirbelkörperfrakturen. In Europa liegt die Inzidenz, eine Wirbelkörperfraktur zu erleiden, in der Altersklasse der 50- bis 79-Jährigen schätzungsweise bei 1,1% für Frauen und 0,6% für Männer [34].

#### 1.4.2 Biomechanik

Osteoporotische sowie nicht-osteoporotische Wirbelkörperfrakturen können das Gleichgewicht innerhalb der Wirbelsäulenmechanik gefährden. Beispielsweise ist die Rate der Folgefrakturen nach einer osteoporotischen Wirbelkörperfraktur im ersten Jahr 5 - bis 7,4 - mal höher als bei Patient\_innen ohne bestehende

## Osteoporotische Wirbelkörperfrakturen

Frakturen [16, 17]. Kommt es zu einer ventralen Abflachung des frakturierten Wirbelkörpers, kann sich eine Richtungsänderung der Kräfte auf die sich anschließenden Wirbelkörper entwickeln, die zu einer veränderten Kraftübertragung führt.

Aquarius et al. [37] beschäftigten sich in ihrer biomechanischen Studie von 2011 mit der Auswirkung von Winkeländerungen bei der Krafteinwirkung auf osteoporotische Wirbelkörper. Dafür setzten sie Wirbelkörper so lange einer Kompressionskraft aus, bis diese frakturierten. In der einen Gruppe (n=10) legten sie die Kraft senkrecht zur Endplatte und in der anderen (n=10) mit einer Abweichung von  $20^\circ$  zur Endplatte an. Es zeigte sich, dass die Kraft, die nötig ist, damit ein osteoporotischer Wirbelkörper bricht, bei nicht-achsgerechter ( $20^\circ$ ) Krafteinwirkung um 24% geringer ist als bei achsgerechter Krafteinwirkung. Das zugehörige Versuchsmodell ist in der Abbildung 3 veranschaulicht.

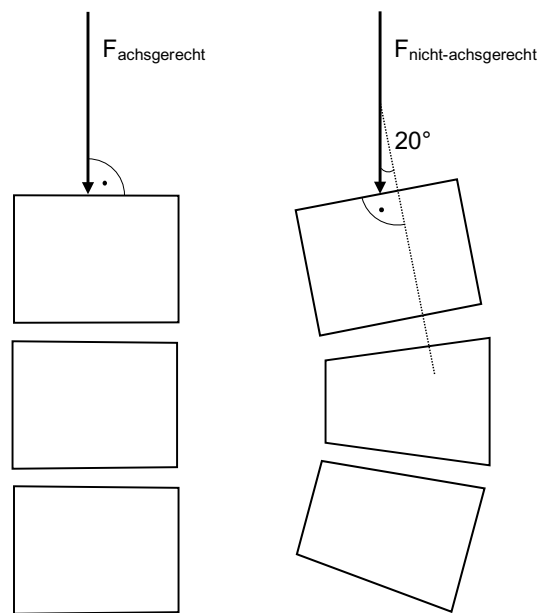


Abbildung 3 Achsgerechte und nicht-achsgerechte Krafteinwirkung auf einen Wirbelkörper, modifiziert nach Aquarius et al. [37]

Zusätzlich zu dieser fehlerhaften Kraftübertragung weist die osteoporotische Wirbelsäule weitere Besonderheiten auf, die zu einer veränderten Biomechanik beitragen. Häufig liegen Bandscheibendegenerationen und ein verringerter Muskeltonus vor, die zu einer weiteren Fehlbelastung, einer Ventralverlagerung des Schwerpunktes und schließlich zu einer Hyperkyphose führen können [38]. Diese Verschiebung des Schwerpunktzentrum bedingt außerdem ein erhöhtes



Sturzrisiko und gesteigerte Druckkräfte auf die ventralen Anteile der Wirbelsäule, was wiederum die Frakturgefahr deutlich erhöht [39].

Osteoporotische Sinterungsfrakturen können aufgrund dieser Gegebenheiten ohne adäquate Traumata auftreten [38]. Bereits das Anheben von Gegenständen, die zwischen 15 und 30 kg wiegen, kann bei osteoporotischen Knochen ein sehr hohes Frakturrisiko darstellen [40].

### 1.4.3 OF-Klassifikation (2013)

Die Sektion „Wirbelsäule“ der Deutschen Gesellschaft für Orthopädie und Unfallchirurgie entwickelte 2013 ein Klassifikationssystem - die OF-Klassifikation [41] - ausschließlich zur Einteilung osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen. Zudem veröffentlichte sie einen Score, der zur therapeutischen Indikationsfindung beitragen soll. Zwei Jahre später wurde die OF-Klassifikation von Schnake et al. [42] im „Global Spine Journal“ veröffentlicht. Die OF-Klassifikation beinhaltet sechs Gruppen, die in der folgenden Abbildung 4 aufgeführt sind.

<b>OF 0</b>	Wirbelfraktur in situ
<b>OF 1</b>	Fraktur einer Endplatte
<b>OF 2</b>	Fraktur einer Endplatte mit geringer Hinterwandbeteiligung (< 1/3)
<b>OF 3</b>	Fraktur einer Endplatte mit ausgeprägter Hinterwandbeteiligung (≥ 1/3)
<b>OF 4</b>	Fraktur beider Endplatten mit Hinterwandbeteiligung
<b>OF 5</b>	Distraktions- oder Rotationsverletzungen

Abbildung 4 OF-Klassifikation osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen nach Schnake et al. [41]

Die Autoren geben an, dass die Klassifikation bei 73% der Patient\_innen (n=707) eindeutig anwendbar und damit zuverlässiger als die Magerl-Klassifikation gewesen sei.

Der OF-Score dient der Therapieentscheidung und inkludiert die Parameter Morphologie (nach der OF-Klassifikation), Knochendichte, Dynamik der Sinterung, Schmerz, Neurologie, Mobilisation und Gesundheitszustand und spiegelt damit die etablierten Evaluationsparameter wieder. In 85% der Fälle entsprach die Therapieentscheidung, die aufgrund des Scores getroffen worden wäre, der, die ohne Verwendung des Scores gewählt wurde [41].

### 1.4.4 Diagnostik

Der klassische diagnostische Algorithmus umfasst Anamnese, klinische Untersuchung und apparative Verfahren.

## Osteoporotische Wirbelkörperfrakturen

Im Rahmen der Anamnese lassen sich bereits wichtige Hinweise auf das Vorliegen einer osteoporotischen Fraktur eruieren. Dabei sind folgende Punkte von besonderer Bedeutung [28]:

- Allgemeine Risikofaktoren wie Lebensalter, Geschlecht, vorhergehende Frakturen, multiple Stürze, Immobilität und Untergewicht
- Risiken durch spezielle Grunderkrankungen wie Cushing-Syndrom, Diabetes mellitus, rheumatoide Arthritis, Herzinsuffizienz und Hyperthyreose
- Risiken durch medikamentöse Therapie mit Präparaten wie GC, Aromatasehemmer, Antidepressiva und Protonenpumpenhemmer

Darüber hinaus sollten der genaue Unfallhergang und die aktuelle Symptomatik erfragt werden. Anhand dessen lässt sich gegebenenfalls eine „Fraktur bei Osteoporose“ [39] von einer „Osteoporotisch bedingten Fraktur“ [39] unterscheiden. Während der Fraktur bei Osteoporose ein adäquates Trauma (bspw. Treppensturz) zugrunde liegt, das kausal als Frakturursache anzunehmen ist, findet sich bei der osteoporotisch bedingten Fraktur häufig eine schleichende Genese ohne adäquates Frakturereignis [39].

Für die körperliche Untersuchung sollte der Patient oder die Patientin sich entkleiden, um den gesamten Bewegungsapparat beurteilen zu können. Bereits beim Entkleiden lassen sich Schonhaltungen oder Funktionseinschränkungen detektieren. In der Frontalebene können nun der Becken- und Schulterstand sowie Abweichungen von der Körperachse (bspw. in Form einer Skoliose) inspiziert werden. Auf Höhe der vermuteten Fraktur können gegebenenfalls lokale Haut- und Weichteilveränderungen wie Hämatome oder Schwellungen auftreten [18]. In der Sagittalebene zeigen sich die physiologischen Körperkrümmungen (Lordose und Kyphose) mit möglichen Abweichungen [43]. Anschließend muss die gesamte Wirbelsäule - beginnend im Nackenbereich, endend am Kreuzbein - palpirt und auf Druck- und Klopfschmerz getestet werden. Gibt der Patient oder die Patientin paravertebral starke Schmerzen an oder lassen sich im Bereich zwischen den Dornfortsätzen Stufen ertasten, können das bereits Hinweise für das Vorliegen von Rotations- oder Distraktionsverletzungen sein [13]. Darüber hinaus sollte eine orientierende neurologische Diagnostik erfolgen [43].

Wenn sich aufgrund der Anamnese oder der klinischen Untersuchung ein Anhalt für das Vorliegen einer Fraktur ergibt, sollte eine bildgebende Diagnostik

## Osteoporotische Wirbelkörperfrakturen

durchgeführt werden [44]. Zunächst wird der verdächtige Wirbelsäulenabschnitt durch eine Röntgenaufnahme in zwei Ebenen - anterior-posterior (ap) und seitlich - dargestellt. Da Frakturen häufig auf Höhe des TLÜ auftreten, sollte dieser Wirbelsäulenabschnitt stets mit abgebildet oder separat aufgenommen werden. Alle Röntgenaufnahmen sollten im Stehen aufgenommen werden. Anhand dieser Röntgenaufnahmen können folgende Frakturkriterien beurteilt werden [43]:

- Ausbuchtungen des paravertebralen Weichteilschattens
- Kompressionen der Deck- oder Bodenplatten
- Vergrößerte interpedikuläre Distanz verglichen mit den angrenzenden Wirbelkörpern als Hinweis auf eine Berstungsfraktur und B-Komponente
- Vergrößerter Abstand zwischen den Dornfortsätzen als Hinweis auf eine Distraktionsfraktur
- Asymmetrie der Pedikel als Hinweis auf eine Rotationsfraktur
- Keilförmige Wirbelkörperdeformationen als Hinweis auf eine alte oder frische Kompressionsfraktur (wenn die Hinterkante 15% flacher als die angrenzenden Hinterkanten ist, liegt mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Fraktur vor [13])

Besteht weiterhin der Verdacht auf eine Fraktur und kann diese anhand der Röntgenbilder nicht adäquat klassifiziert werden, sollte eine weiterführende Diagnostik mit Hilfe der Magnetresonanztomographie (MRT) oder der Computertomographie (CT) erfolgen [45]. Anhand der MRT-Aufnahmen lassen sich insbesondere Weichteilveränderungen sehr detailliert darstellen, sodass sie bei der Detektion frischer Komponenten und damit zur Differenzierung zwischen frischen und alten Frakturmorphologien wegweisend sind [43]. Darüber hinaus können die MRT-Bilder bei einer Beteiligung der Bandscheibe oder der Ligamente sowie bei einer Spinalkanalstenose hilfreich sein [44]. MRT-Aufnahmen eignen sich daher insbesondere bei niedrigtraumatischen Unfallhergängen und Insuffizienzunfällen. Die Computertomographie (CT) eignet sich deutlich besser zur genauen Beurteilung der Frakturmorphologie und Evaluation einer möglichen Instabilität [13]. Daher wird dieses Verfahren insbesondere bei Hochrasanzunfällen und zur Stabilitätsbeurteilung verwendet. Ein wichtiger Nachteil der CT-Untersuchung ist jedoch die hohe Strahlenbelastung [44], wobei diese bei älteren Patient\_innen weniger relevant ist.

### 1.4.5 Konservative Therapie

Die primär konservative Therapie ist bei Wirbelkörperfrakturen ohne Hinterkantenbeteiligung (OF-1) oder mit nur geringer Hinterkantenbeteiligung (OF-2) indiziert, sofern keine relevanten Fehlstellungen oder Spinalkanalstenosierungen vorliegen [15].

Die Dimensionen der konservativen Therapie umfassen eine adäquate Analgesie, die physiotherapeutische Mobilisation, eine Schulung über wirbelsäulengerechtes Verhalten, regelmäßige radiologische Kontrollen, die individuelle Entscheidung über eine Bracetherapie sowie die Diagnostik und Therapie der Osteoporose. Es existieren jedoch keine einheitlichen Empfehlungen [46]. Die früher angewandte Methode der mehrwöchigen Bettruhe wird heutzutage nur noch in Ausnahmefällen angewandt, um Komplikationen durch die damit verbundene Immobilisation zu vermeiden [13].

Zu den empfohlenen analgetischen Präparaten zählen nichtsteroidale Antirheumatika, Paracetamol, Metamizol und Opiate, wobei sich bei der Wirkstoffwahl am WHO-Stufenschema orientiert werden sollte [28]. Hierbei sollte jedoch stets auf das individuelle Neben- und Wechselwirkungsprofil der Patient\_innen geachtet und die Notwendigkeit der jeweiligen Pharmaka abgewogen werden [39]. Bei den Opiaten gilt es insbesondere zu berücksichtigen, dass sie mit einem erhöhten Sturzrisiko assoziiert sind und daher bei diesem überwiegend älteren Patientenkollektiv einer strengen Indikationsstellung unterliegen [28]. Nach Abklingen der akuten Symptome sollten die Patient\_innen unter Anleitung lernen, sich der Verletzung gerecht zu bewegen (bspw. Aufstehen aus dem Vierfüßerstand) und ihre Mobilität allmählich wieder aufbauen [13]. Es sollten regelmäßige radiologische Nachkontrollen im Stehen geplant werden, um eine mögliche Nachsinterung frühzeitig zu detektieren [46]. Das Tragen eines Brace kann die Muskulatur unterstützen und zu einer Schmerzreduktion beitragen [47].

Bei Durchführung einer adäquaten konservativen Therapie sollte es innerhalb der ersten zwei bis drei posttraumatischen Wochen zu einer Schmerzreduktion kommen. Tritt keine Verbesserung des Zustandes ein, kann das auf Komplikationen hindeuten, die einer weiteren Abklärung und gegebenenfalls einer operativen Behandlung bedürfen [48].

## Osteoporotische Wirbelkörperfrakturen

Ob eine Wirbelkörperfraktur ambulant behandelt werden kann oder eine stationäre Aufnahme indiziert ist, sollte vom Ausmaß der Schmerzen sowie der Funktionseinschränkung abhängig gemacht werden [27].

Wood et al. [49] beschäftigten sich in ihrem Übersichtsartikel von 2014 mit den verschiedenen Behandlungsmethoden thorakolumbalen Wirbelkörperfrakturen und gehen unter anderem auf die Therapie osteoporotischer Frakturen ein. Sie kommen zu dem Schluss, dass insbesondere Patient\_innen mit mechanisch stabilen Frakturen von einer konservativen Versorgung profitieren können. Sie führen jedoch auch an, dass die Komplikationen, die sich aus der längeren Immobilisationsdauer sowie der fehlenden Reposition des sagittalen Alignments ergeben, wichtige Nachteile darstellen.

### **1.5 Operative Versorgung osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen**

Im Folgenden werden die operativen Besonderheiten bei der Versorgung osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen vorgestellt und verschiedene operative Optionen zur Behandlung erläutert: zunächst die Vertebroplastie und die Kyphoplastie als etablierte Verfahren, anschließend die Hybridstabilisierung, deren Effekt im Rahmen dieser klinischen Studie untersucht wurde.

#### **1.5.1 Besonderheiten der operativen Therapie bei Osteoporose**

In der operativen Versorgung des Stütz- und Bewegungsapparats stellt Osteoporose eine große Herausforderung dar. Neben der verringerten Knochendichte sind einem Großteil dieser Patient\_innen ein hohes Alter, damit assoziierte Nebenerkrankungen und ein erhöhtes perioperatives Risiko gemein. Um diesen speziellen Umständen gerecht zu werden, sollte eine Versorgung gewählt werden, die ausreichend Stabilität bietet, das Wirbelsäulenalignment biomechanisch rekonstruiert und eine frühzeitige postoperative Mobilisation erlaubt [38].

Im osteoporotischen Knochen besitzen Schrauben einen deutlich schlechteren Halt [50] sowie eine verminderte Auszugskraft, was eine Einschränkung der Repositionsmöglichkeiten mit sich bringt und die Gefahr einer Schraubenwanderung im Rahmen des intraoperativen Repositionsmanövers oder im Langzeitverlauf birgt [48]. Eine Möglichkeit, dieser Gegebenheit entgegenzuwirken, stellt die Verwendung von Schrauben mit einem erhöhten Querdurchmesser dar. Es konnte jedoch gezeigt werden, dass diese insbesondere im osteoporotischen Knochen mit einem gesteigerten Risiko für Pedikelfrakturen einhergehen [48]. Auch die Zementaugmentation der Pedikelschrauben stellt für diese Problematik einen möglichen Lösungsansatz dar, da sie die Rate der Schraubenausrisse im osteoporotischen Knochen signifikant verringert und auf diese Weise zur Stabilität der Instrumentierungen beiträgt [51]. Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass die Zementaugmentation des frakturierten Wirbelkörpers dessen biomechanische Eigenschaften verbessern kann [52].

## **Operative Versorgung osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen**

Bei der operativen Versorgung der osteoporotischen Wirbelsäule gelten längerstreckige Versorgungen als überlegen, da sie die einwirkenden Kräfte auf mehrere Segmente zu verteilen vermögen [48]. Es sollte jedoch berücksichtigt werden, dass eine längerstreckige Versorgung mit einer erhöhten Invasivität des Eingriffes einhergeht und mit einer erhöhten Rate an Anschlussdegenerationen sowie Materialversagen und Anschlussfrakturen kaudal oder kranial der Instrumentierung verbunden ist [7].

Grundsätzlich sollte die Unterscheidung zwischen osteoporotischen Sinterungsfrakturen und traumatischen Frakturen bei Osteoporose berücksichtigt werden, da für letztere dieselben Operationsindikationen (Instabilität, Stenosingungen, Fehlstellungen, neurologische Funktionsstörungen) wie bei knochengesunden Patient\_innen Anwendung finden [15].

### **1.5.2 Vertebroplastie und Ballon-Kyphoplastie**

Die perkutane Vertebroplastie wurde erstmals 1987 von Galibert et al. [53] zur Versorgung von Wirbelkörperhämangiomen vorgestellt. Im Laufe der Zeit wurde die Indikation zunächst um tumorassoziierte Wirbelkörperosteolysen und schließlich um osteoporotische Wirbelkörperfrakturen erweitert [39]. Bei der Vertebroplastie wird unter hohem Druck durch eine oder zwei Kanülen, die in den Pedikeln eingebracht werden, ein niedrigvisköser Zement in den frakturierten Wirbelkörper injiziert. Im besten Fall füllt der Zement den Wirbelkörper aus, während die Hinterkante einen dorsalen Zementaustritt verhindert [54]. Ein Repositionseffekt kann durch die prä- oder intraoperative Lagerung erreicht werden [55].

Die Ballon-Kyphoplastie wurde 1998 von M. A. Reiley entwickelt und publiziert [56], 2001 erschien eine Veröffentlichung über die genaue Methodik [57]. Bei der Ballon-Kyphoplastie werden zunächst über transpedikuläre Kanülen zwei expandierbare Ballone eingeführt, die anschließend mit Kontrastmittel gefüllt werden und dadurch einen ersten Aufrichtungseffekt erzielen [43]. Anschließend werden die Ballonkatheter wieder entfernt und unter geringem Druck wird Zement in die beidseits geschaffenen Lumina instilliert, wodurch das Risiko eines unerwünschten Zementaustritts möglichst gering gehalten werden kann [54]. Bei dieser Methode tragen sowohl die Ballone als auch die hyperlordotische Lagerung zu einer Reposition des Wirbelkörpers bei [55].

## Operative Versorgung osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen

Die beiden Verfahren werden auch als minimalinvasive Zementaugmentationen bezeichnet [15] und finden bei osteoporotischen, pathologischen und teilweise auch bei traumatischen Frakturen Anwendung [55]. Die DVO empfiehlt [27], die Versorgung osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen mit Vertebroplastie oder Kyphoplastie in Erwägung zu ziehen, wenn folgende Konstellation vorliegt:

- Schmerzscore (NRS) höher als fünf
- fehlgeschlagener, umfassender, adäquat dokumentierter konservativer Therapieversuch
- Ausschluss anderer Schmerzursachen
- Interdisziplinäre Einzelfalldiskussion

Laurer et al. [15] fassen in ihrer Arbeit von 2010 die Indikationen für die minimalinvasiven Zementaugmentationen bei osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen anhand der AO-Klassifikation nach Magerl [18] wie folgt zusammen:

- Alle A1-Frakturen, wenn die oben genannten Kriterien zutreffen
- A2-Frakturen ohne relevante Trümmerzone (A2.1, A2.2), besonders bei sekundärer Kyphosierung oder persistierenden Schmerzen
- A3.1-Frakturen ohne neurologische Funktionsausfälle, ohne Ruptur von Ligamenten oder Bandscheiben und einer Spinalkanaleinengung <10%

Felder-Puig et al. [54] untersuchten in ihrem systematischen Review von 2009 die Wirksamkeit sowie die Sicherheit beider Verfahren. Bei 90% der Patient\_innen kam es zu einer Schmerzreduktion, die mit einer durchschnittlichen Veränderung von 5 Punkten des NRS-Scores als klinisch relevant zu beurteilen war. Die beiden Verfahren untereinander schienen sich in Bezug auf die Schmerzreduktion nicht signifikant zu unterscheiden. Ein Zementaustritt trat bei der Vertebroplastie mit 20-40% deutlich häufiger auf als bei der Kyphoplastie mit etwa 8%, wobei diese Komplikation klinisch meistens keine Auswirkungen besaß. Insgesamt waren symptomatische Komplikationen wie bspw. eine Lungenembolie oder Infektionen nach der Vertebroplastie häufiger als nach der Kyphoplastie. Ob nach minimalinvasiven Zementaugmentationen das Risiko einer Folge- oder Anschlussfraktur erhöht ist, konnte nicht ermittelt werden, da die Ergebnisse der verschiedenen Studien sehr uneinheitlich waren.



## **Operative Versorgung osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen**

Buchbinder et al. [58] beschäftigten sich in ihrer doppelblinden placebokontrollierten klinischen Studie von 2009 mit dem Effekt von Vertebroplastie bei schmerzhaften osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen. Die Teilnehmenden (n=71) wurden im Zeitraum von sechs Monaten postoperativ mehrfach untersucht und zur Stärke ihrer Schmerzen befragt. Zu keinem Zeitpunkt ergaben sich signifikante Unterschiede zwischen der Placebo-Gruppe (n=36) und der Vertebroplastie-Gruppe (n=35) in Bezug auf die Lebensqualität, die Schmerzintensität oder den funktionellen Outcome.

Papanastassiou et al. [59] verglichen in ihrem systematischen Review von 2012 die konservative Therapie, die Vertebroplastie und die Kyphoplastie bei der Behandlung osteoporotischer Kompressionsfrakturen miteinander. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass die Zementaugmentationen der konservativen Therapie in Bezug auf Schmerzreduktion und das Risiko, eine Anschlussfraktur zu erleiden, überlegen sind. Im Vergleich zur Vertebroplastie ging die Kyphoplastie mit einer stärkeren Verbesserung der Lebensqualität sowie mit einer verbesserten Reposition der Kyphose einher.

Zhao et al. [60] untersuchten in ihrer Metaanalyse (n=2046) von 2017 den Outcome von konservativer Therapie, Vertebroplastie und Kyphoplastie bei der Behandlung von Kompressionsfrakturen der Wirbelkörper. Die beiden operativen Verfahren zeigten im Vergleich zur konservativen Therapie bessere Ergebnisse in den Bereichen Schmerzreduktion, Alltagsfähigkeiten und Lebensqualität. Für die Vertebroplastie ergab sich eine stärkere Schmerzreduktion, während die Kyphoplastie einen höheren Einfluss auf die Alltagsfähigkeiten und die Lebensqualität zeigte.

### **1.5.3 Hybridstabilisierung**

Bei der Hybridstabilisierung wird die Vertebroplastie oder die Kyphoplastie des frakturierten Wirbelkörpers um eine dorsale Stabilisierung erweitert [61]. Diese klinische Studie beschäftigt sich mit Fällen, in denen ein minimalinvasives Operationsverfahren gewählt wurde und bei denen die dorsale Stabilisierung bisegmental und zementaugmentiert vorgenommen wurde. Deshalb wird im Folgenden auf diese Form der Versorgung eingegangen werden.

Bei der dorsalen Stabilisierung werden die an den verletzten Wirbelkörper angrenzenden Wirbelkörper mit jeweils einem Schraubenpaar besetzt. Dazu wird

## **Operative Versorgung osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen**

zunächst mithilfe einer Yamshidi-Nadel der Pedikel eröffnet und ein Schraubenkanal vorpräpariert. Um sich der korrekten Lage der Schrauben sicher sein zu können, wird Lage mit Hilfe eines Bildverstärkers kontrolliert [62]. Anschließend werden in Seldinger-Technik nach Einbringung eines Drahtes und Entfernung der Yamshidi-Nadeln die passenden kanulierten Schrauben über die Drähte eingedreht, die Löcher für den Durchtritt von Zement besitzen. Der Zement wird in die Schrauben instilliert, in denen er durch die Löcher austreten und den Raum zwischen Knochen und Schraubengewinde füllen kann [63]. An den Schraubenköpfen wird beidseits jeweils ein Längsträger subfaszial minimalinvasiv eingeführt [62]. Die Kyphoplastie bzw. Vertebroplastie des frakturierten Wirbelkörpers wird vor dem Einbringen der Längsträger vorgenommen [64].

Die alleinige dorsale, zementaugmentierte Instrumentierung ist ein etabliertes Verfahren in der Versorgung osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule. Indikationsgebiete stellen Berstungsbrüche, fehlverheilte Frakturen mit sekundärer Kyphosierung, Revisionseingriffe aufgrund einer postoperativen Schraubenlockerung oder eines Korrekturverlusts sowie Distraktions- und Rotationsverletzungen dar [65]. Die Vorteile der zementaugmentierten Überinstrumentierung stellen die gesteigerte Stabilität und verbesserte Repositionsmöglichkeit, die gute Kombinierbarkeit mit anderen Verfahren sowie die nachgewiesene problemlose Option der Schraubenentfernung bei Komplikationen dar. Zu den Nachteilen zählen die längere Operationsdauer, die mit einem erhöhten Blutverlust einhergeht, sowie das Risiko des Zementaustritts in paravertebrale Blutgefäße, intraspinal oder in die angrenzenden Bandscheiben [65].

Da es sich bei der Hybridstabilisierung um ein relativ junges Konzept handelt, haben die Empfehlungen zu deren Verwendung noch keinen Einzug in die aktuellen Leitlinien der DVO gefunden [28]. In vielen Studien zeigt sich, dass das Verfahren überwiegend bei Berstungsbrüchen oder bei schwerwiegenden Spaltbrüchen Anwendung findet [34, 47, 50–52].

Korovessis et al. [61] untersuchten in ihrer Studie von 2008 (n=18) den Effekt der Hybridstabilisierung bei Berstungs- und schweren Kompressionsfrakturen der Lendenwirbelsäule (Durchschnittsalter= 64 Jahre). Ihren Ergebnissen zu Folge bietet das Verfahren eine unmittelbare Verbesserung des klinischen Outcomes

## **Operative Versorgung osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen**

(VAS Schmerz, SF-36), eine Reduktion der segmentalen Kyphosierung sowie eine Wiederherstellung der Wirbelkörperhöhe.

Fuentes et al. [68] befassten sich in ihrer prospektiven Studie von 2010 (n=18) mit dem klinischen und radiologischen Outcome nach der operativen Versorgung von Berstungsfrakturen mittels Hybridstabilisierung (Durchschnittsalter= 53 Jahre). Sie konnten zeigen, dass die lokale Kyphose intraoperativ signifikant verringert und die Wirbelkörperhöhe signifikant erhöht werden kann und die Patient\_innen postoperativ eine deutliche Schmerzabnahme angeben. In einer mittelfristigen radiologischen Nachkontrolle (ca. 2 Jahre postoperativ) konnten darüber hinaus keine signifikanten Veränderungen bezüglich der Kyphosierung und der Wirbelkörperhöhe detektiert werden.

Rahamimov et al. [66] beschäftigten sich in ihrer Studie von 2011 (n=52) mit der Komplikationsrate und den radiologischen Ergebnissen der perkutanen Hybridstabilisierung bei instabilen thorakolumbalen Frakturen (Durchschnittsalter= 57 Jahre). Sie kamen zu dem Schluss, dass die Vorteile dieses minimalinvasiven Vorgehens insbesondere die kurze Operationsdauer, der niedrige Blutverlust und die geringe Komplikationsrate darstellen. Die röntgenologischen Ergebnisse ihrer Kontrolluntersuchung ein Jahr postoperativ waren vergleichbar mit den Ergebnissen ventraler Stabilisierungen und besser als die Ergebnisse anderer dorsaler Verfahren.

Spiegel et al. [64] beschäftigten sich in ihrer Studie von 2012 mit den Langzeitergebnissen der Hybridstabilisierung (Durchschnittsalter= 63 Jahre). Sie konnten aufzeigen, dass die Hybridstabilisierung (n=5) im Vergleich zur Kyphoplastie (n=5) tendenziell einen höheren intraoperativen Repositionsgewinn sowie einen geringeren postoperativen Repositionsverlust aufweist, wobei die Unterschiede statistisch nicht signifikant waren.

He et al. [67] verglichen in ihrer Studie von 2013 die perkutane Kyphoplastie mit der Hybridstabilisierung (Durchschnittsalter= 72 Jahre). Ihren Ergebnissen zu Folge scheint die Hybridstabilisierung (n=21) der Kyphoplastie (n=22) insbesondere hinsichtlich des Erhalts der operativen Reposition, der Rückenschmerzen und der frühzeitigen Rehabilitation überlegen zu sein. Die Autoren empfahlen daher, die Verwendung des Operationsverfahrens in ausgewählten Fällen in Erwägung zu ziehen.

## **Operative Versorgung osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen**

Verlaan et al. [69] beschäftigen sich in ihrer Arbeit von 2015 mit dem langfristigen Outcome nach Hybridstabilisierung (n=20) bei Berstungsfrakturen der thorakolumbalen Wirbelsäule (Durchschnittsalter= 42 Jahre). Bei allen Patient\_innen wurde die dorsale Instrumentation nach 12-18 Monaten entfernt, um die Vergleichbarkeit innerhalb der Studie zu erhalten. Sowohl der röntgenologische als auch der klinische Outcome zeigte größtenteils zufriedenstellende Ergebnisse, sodass die Autoren dieses Verfahren für traumatische Frakturen der thorakolumbalen Wirbelsäule empfehlen.

### 1.6 Röntgenologische Beurteilung der sagittalen Balance

Dass ein Mensch zu stehen vermag, obwohl die Auftrittflächen seiner Füße verhältnismäßig gering erscheinen, ist auf seine sagittale Balance zurückzuführen. Sagittale Balance beschreibt einen Zustand, in dem die einzelnen Krümmungen der Wirbelsäulenabschnitte und die Kippung des Beckens sich so zueinander verhalten, dass sie ausbalanciert sind [11]. Dieses Zusammenspiel zwischen Wirbelsäule und Becken wird auch als spinopelvine Balance bezeichnet [71].

Im Bereich der Wirbelsäulen Chirurgie spielt die Beurteilung der sagittalen Balance eine bedeutende Rolle. Pathologien der Wirbelsäule können zu einer sagittalen Imbalance führen, der sich die Betroffenen durch Handlungsänderungen anzupassen versuchen. Diese Kompensationsmechanismen können jedoch zu Fehlbelastungen und Instabilitäten in anderen Segmenten führen. Die Betroffenen können immobil werden und unter starken Schmerzen leiden. Das Ziel der Behandlung von Wirbelsäulendeformitäten sollte es daher sein, die sagittale Balance so weit wie möglich zu erhalten bzw. wiederherzustellen [71].

Die sagittale Balance lässt sich anhand verschiedener röntgenologischer Parameter bewerten. Zur Beurteilung wird eine seitliche Röntgenaufnahme der gesamten Wirbelsäule im Stehen angefertigt [71]. Zu den Parametern, die auch im Rahmen dieser Studie ausgewertet wurden, gehören die folgenden.

#### 1.6.1 Die thorakale Kyphose und die lumbale Lordose

Die thorakale Kyphose kann als sagittaler Cobb-Winkel zwischen der Deckplatte von BWK 1 und der Bodenplatte von BWK 12 angegeben werden [72]. Die lumbale Lordose ist der sagittale Cobb-Winkel zwischen der Deckplatte von LWK 1 und der Bodenplatte von LWK 5 [71]. In den folgenden Röntgenbildern (Abbildung 5, Abbildung 6) werden die beiden Parameter exemplarisch dargestellt.

## Röntgenologische Beurteilung der sagittalen Balance

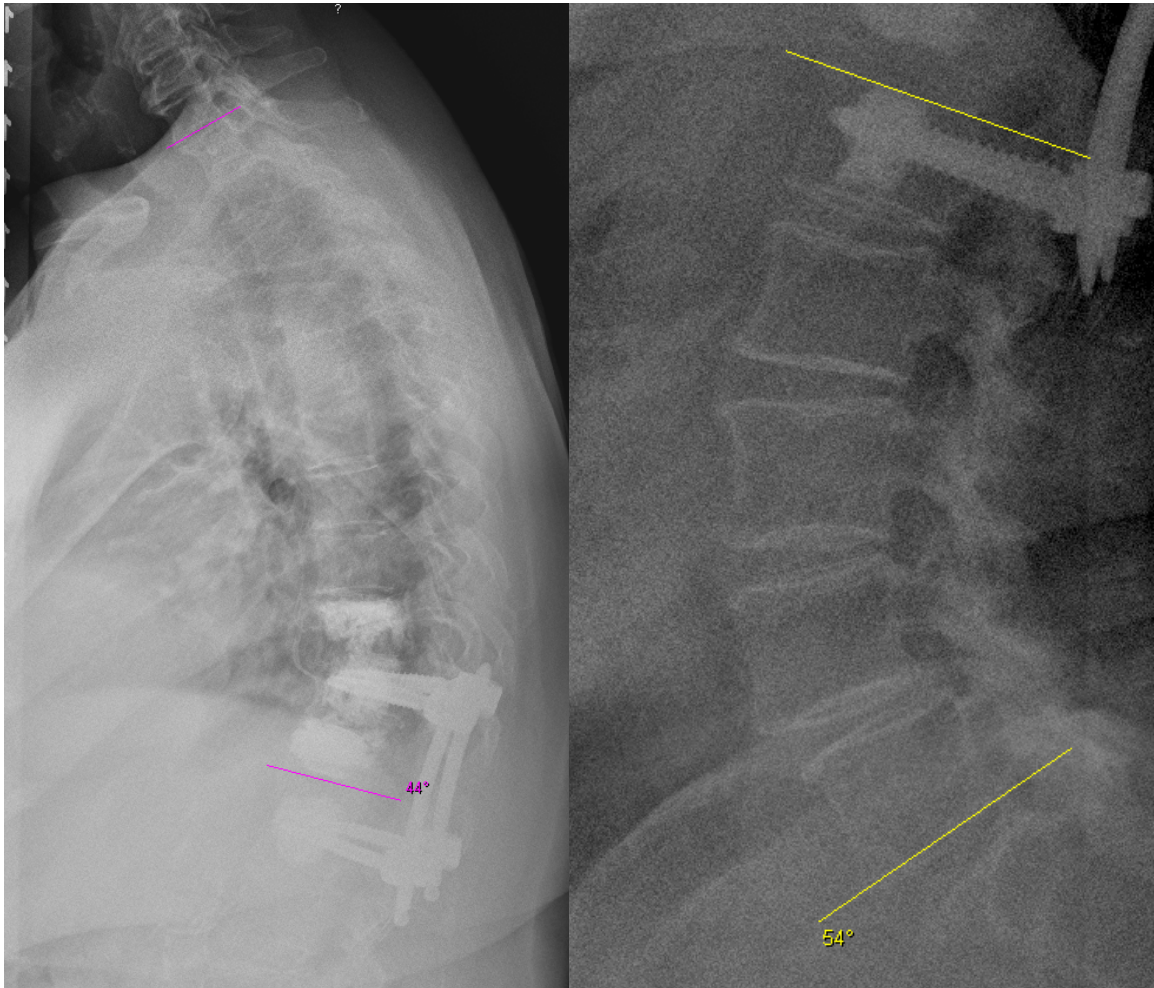


Abbildung 5 Röntgenbild (seitlich, stehend) einer Patientin mit BWK 12-Fraktur nach Hybridstabilisierung, eingezeichnet ist die thorakale Kyphose (pink, 44°)

Abbildung 6 Röntgenbild (seitlich, stehend) einer Patientin mit BWK 12-Fraktur nach Hybridstabilisierung, eingezeichnet ist die lumbale Lordose (gelb, 54°)

### 1.6.2 Das C7-Lot

Das C7-Lot beschreibt eine Gerade, die vom Mittelpunkt des siebten Halswirbelkörpers ausgehend senkrecht nach kaudal verläuft. Zur Evaluation wird der Abstand dieses Lotes zur Hüftgelenksachse und zur Hinterkante der Sakrumdeckplatte (auch als „sagittal vertical axis“ [73] bezeichnet) betrachtet [73]. Im Zustand sagittaler Balance verläuft dieses Lot dorsal der Hüftgelenksachse und schneidet die Deckplatte des Kreuzbeines im hinteren Anteil. Kommt es zu einer Verlagerung dieses Lotes nach ventral, sodass der Abstand zur Hinterkante der Sakrumdeckplatte mehr als 5 cm beträgt, spricht man von einer positiven sagittalen Balance. Verläuft das C7-Lot sogar ventral der Hüftgelenkachse, wird die sagittale Balance als dekompensiert bezeichnet [71]. In der folgenden

## Röntgenologische Beurteilung der sagittalen Balance

Abbildung 7 ist eine schematische Darstellung dieser Zusammenhänge zu sehen. In diesem Beispiel handelt es sich um eine kompensierte positive sagittale Balance, da das C7-Lot dorsal der Hüftgelenksachse, jedoch ventral der Sakrumdeckplatte verläuft.

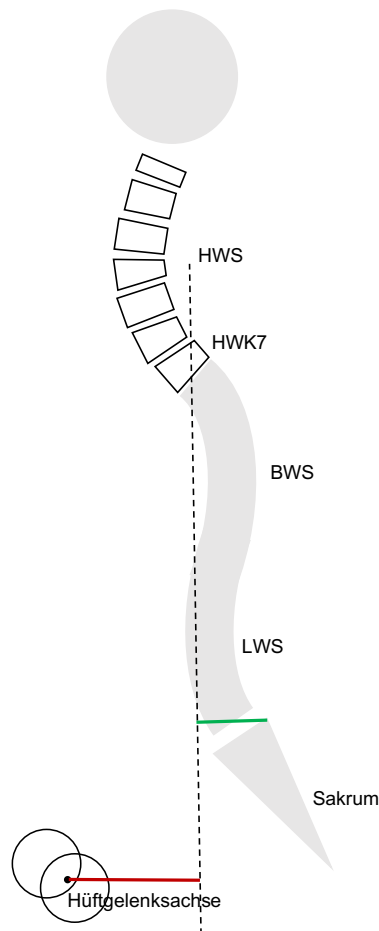


Abbildung 7 Darstellung des C7-Lots (gestrichelte Linie), verläuft durch den Mittelpunkt der Bodenplatte des 7. Halswirbelkörpers (HWK7), grüne Linie: Abstand zwischen C7-Lot und Hinterkante der Sakrumdeckplatte (sagittal vertical axis), rote Linie: Abstand zwischen C7-Lot und Hüftgelenksachse, in diesem Beispiel verläuft das C7-Lot dorsal der Hüftgelenksachse und ist somit kompensiert, Relationen der einzelnen anatomischen Abschnitte nicht realitätsgetreu.

### 1.6.3 Pelvic Tilt, Sacral Slope und Pelvic Incidence

Le Huec unterschied in seiner Arbeit von 2011 [74] morphologische von positionellen Parametern. Während morphologische Parameter wie die Pelvic Incidence (PI) von der individuellen Anatomie eines Menschen abhängen und sich im Laufe des Lebens kaum verändern, unterliegen die positionellen Parameter Veränderungen durch Haltungsänderungen oder den Muskeltonus. Zu den positionellen Parametern zählen unter anderem der Sacral Slope (SS) und der Pelvic Tilt (PT) [74].

## Röntgenologische Beurteilung der sagittalen Balance

Die Parameter Pelvic Tilt, Sacral Slope und Pelvic Incidence beschreiben Winkel, für deren Vermessung verschiedene anatomische Landmarken wichtig sind. Dazu zählt die Hüftgelenksachse, die den Mittelpunkt einer Geraden zwischen den beiden Hüftkopfmittelpunkten darstellt. Darüber hinaus sind der Mittelpunkt der Sakrumdeckplatte sowie eine Tangente, die parallel zur Sakrumdeckplatte verläuft, von Bedeutung [75], [76].

Der Sacral Slope (SS) ist der Winkel der Sakrumdeckplatte zur Horizontalen und beschreibt das Ausmaß der Beckenkipfung [75], [76]. Der Winkel liegt normalerweise zwischen  $32^\circ$  und  $51^\circ$  [71]. Der Pelvic Tilt (PT) beschreibt den Winkel, den die Gerade zwischen Hüftgelenksachse und Mittelpunkt der Sakrumdeckplatte mit der Vertikalen bildet [75], [76]. Er spiegelt die Beckenrotation wider und liegt normalerweise zwischen  $7^\circ$  und  $20^\circ$  [71]. Die Pelvic Incidence (PI) ist der Winkel, der aus der Verbindungsgeraden zwischen dem Mittelpunkt der Sakrumdeckplatte und der Hüftgelenksachse und dem Lot der Sakrumdeckplatte gebildet wird. Sie kann als eine Konstante angesehen werden, die bei jedem Individuum einen anderen Wert besitzen kann und sich im Laufe des Lebens unwesentlich verändert [75], [76]. Die folgende Abbildung 8 stellt die verschiedenen Winkel dar.

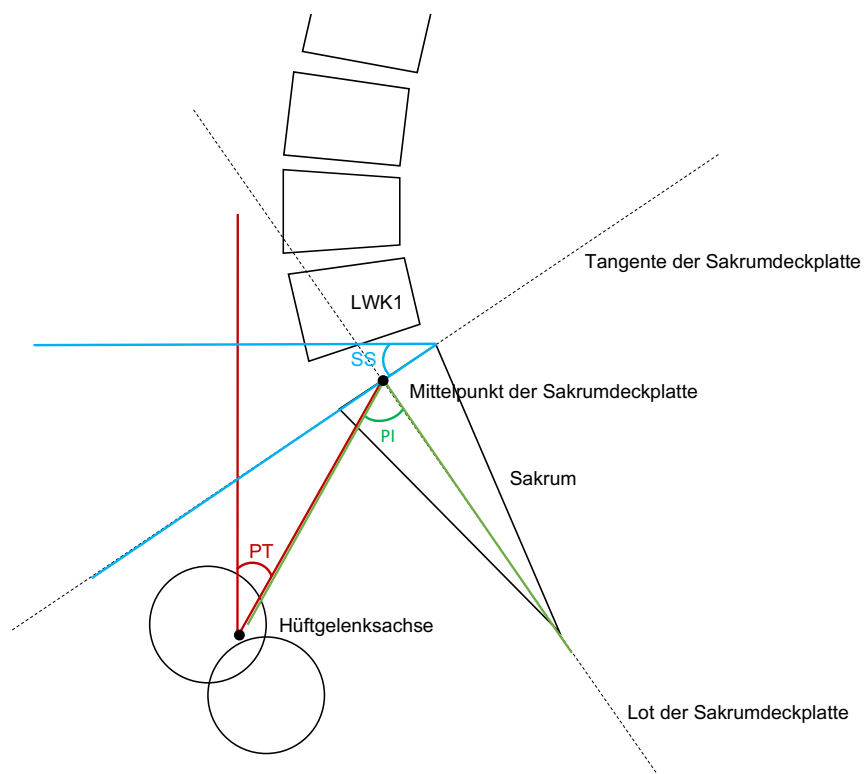


Abbildung 8  
Darstellung der  
Parameter als  
Winkel: Pelvic  
Incidence (PI, grün),  
Pelvic Tilt (PT, rot)  
und Sacral Slope  
(SS, hellblau)



## Röntgenologische Beurteilung der sagittalen Balance

Aufgrund der geometrischen Zusammenhänge, gilt für die drei Parameter folgender Zusammenhang:

$$\text{Pelvic Incidence (PI)} = \text{Pelvic Tilt (PT)} + \text{Sacral Slope (SS)}$$

Da die PI einen konstanten Wert besitzt, führt eine Erhöhung des PT folglich zu einer proportionalen Verringerung des SS und umgekehrt [74].

Schwab et al. [73] beschäftigten sich in ihrer Übersichtsarbeit von 2010 mit den verschiedenen globalen spinopelvinen Parametern und ihrem Stellenwert bei der Therapieplanung. Sie sind der Meinung, dass es wichtig sei, eine spinopelvine Harmonie zu erreichen. Dieser Zustand sei gegeben, wenn die sagittal vertical axis (SVA) nicht größer als 50 mm und der Pelvic Tilt (PT) nicht größer als 20° wären. Außerdem sollte die Lumbale Lordose nicht mehr als 9° von der Pelvic Incidence (PI) als individueller Konstante abweichen.

### 2 Aufgabenstellung

Während die Vertebroplastie und die Kyphoplastie als Therapieoptionen bei Wirbelkörperfrakturen in der klinischen Forschung eine wichtige Rolle spielen und bereits mehrere große Studien bezüglich deren Outcomes existieren, lassen sich zur Hybridstabilisierung von Wirbelkörperfrakturen insbesondere mit Einschluss eines konstant älteren Patientenkollektives mit potentiell reduzierter Knochenqualität nur wenige Arbeiten finden. Darüber hinaus ist in den übrigen Arbeiten das globale Alignment als Outcome-Parameter bisher nicht betrachtet worden. Dass die Hybridstabilisierung jedoch insbesondere bei Patient\_innen mit osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen eine vielversprechende Alternative darstellen könnte, zeigen bereits einige Ergebnisse [58, 63-64, 69].

Die Aufgabe dieser retrospektiven klinischen Studie besteht darin, die mittelfristigen klinischen und radiologischen Ergebnisse der Hybridstabilisierung zu untersuchen und zu diskutieren.

Die folgenden Fragestellungen sind dabei von zentraler Bedeutung:

- Welche Charakteristika weist das Patientenkollektiv insbesondere in Bezug auf Frakturmorphologie und -hergang auf?
- Wie viele Patient\_innen weisen eine Osteoporose auf und wie hoch ist die Therapierate?
- Wie häufig treten postoperative und langfristige Komplikationen auf?
- Gibt es einen Zusammenhang zwischen der Frakturform und dem klinischen bzw. röntgenologischen Outcome, aus dem sich unter Umständen eine Empfehlung für die Indikation der Hybridstabilisierung ableiten ließe?
- In welchem Maße korrelieren die röntgenologischen Ergebnisse mit dem klinischen Outcome?
- Inwiefern korrelieren die verschiedenen röntgenologischen Ergebnisse untereinander?

### 3 Materialien und Methoden

#### 3.1 Einschlusskriterien

In diese Studie eingeschlossen wurden alle Patient\_innen, die im Zeitraum von Dezember 2009 bis Mai 2014 an der Klinik für Wirbelsäulen Chirurgie des Universitätsklinikums Leipzig operiert wurden und zum Operationszeitpunkt mindestens 61 Jahre alt waren. Grund für den Eingriff musste eine monotraumatische Wirbelkörperfraktur auf Höhe Brustwirbelkörper (BWK) 10 bis Lendenwirbelkörper (LWK) 4 sein, die entweder instabil war oder bei der eine konservative Therapie versagt hatte. Eingeschlossen wurden nur die Fälle, in denen eine dorsale, bisegmentale Hybridstabilisierung (wie in Abschnitt 1.5.3 beschrieben) vorgenommen wurde. Die folgende Tabelle 2 gibt eine Übersicht der Einschluss- und Ausschlusskriterien.

Einschlusskriterien	Ausschlusskriterien
Alter >60 Jahre	Neurologische Schädigungen
monotraumatische Fraktur	Pathologische Fraktur anderer Ätiologie (Metastasen, Infektionen)
Frakturhöhe zwischen BWK 10 und LWK 4	
instabile Fraktur oder Versagen der konservativen Therapie	Fehlendes Einverständnis zur Teilnahme an der Studie

Tabelle 2 Einschlusskriterien und Ausschlusskriterien für die Teilnahme an der Studie

#### 3.2 Ablauf

Es erfüllten 113 Patient\_innen (♂=41/♀=72) diese Kriterien und wurden postalisch zu einer Nachuntersuchung eingeladen. Die Nachuntersuchung umfasste eine ausführliche Anamnese und eine körperliche Untersuchung mit Fokussierung auf die Wirbelsäule. Des Weiteren wurden zwei Röntgenbilder angefertigt: eine anterior-posterior (ap) Projektion des thorakolumbalen Überganges (TLÜ) oder der LWS und eine seitliche Wirbelsäulengesamtaufnahme im Stehen.

Für die Durchführung der Studie erhielten wir am 10.11.2015 ein positives Ethikvotum der Medizinischen Fakultät Leipzig (Aktenzeichen: 355/15-ff).

Anhand der Arztbriefe und der Operationsberichte, die im klinikinternen Computersystem SAP gespeichert sind, sowie der Röntgenbilder, die über das

Computersystem MagicWeb abrufbar sind, ließen sich bereits folgende Patientendaten erheben:

- Name<sup>1</sup>
- Geschlecht
- Wirbelkörperhöhe
- Unfallhergang (siehe unten)
- Frakturform nach Magerl und OF-Klassifikation<sup>2</sup>
- Details zur Operation: Operationsdatum, Alter zum Operationszeitpunkt in Jahren, Operationsdauer in min, Operationsverfahren (Kyphoplastie, Vertebroplastie oder andere), Zementmenge pro Wirbelkörper in ml, Zementmenge pro Schraube in ml, Zementaustritt
- Röntgenologische Parameter postoperativ: Wirbelkörpervorderkantenhöhe in mm, Wirbelkörperhinterkantenhöhe in mm, bisegmentaler und regionaler sagittaler Cobb-Winkel in Grad

Die röntgenologischen Parameter werden unter 3.4 Röntgenologische Parameter näher erläutert. Da in den Jahren 2009 bis 2014 keine Aufnahmen bezüglich des sagittalen Alignments erfolgten, konnten die jeweiligen Parameter nur zum Nachuntersuchungszeitpunkt erhoben werden, ohne dass Vergleichswerte vorheriger Aufnahmen vorlagen.

Angaben über den Unfallhergang wurden entweder den Arztbriefen entnommen oder bei den Patient\_innen erfragt. Der Unfallhergang wurde in die folgenden Kategorien unterteilt:

<b>Unfallhergang</b>	<b>Beschreibung</b>
nicht erinnerlich	nicht erinnerlich/nicht dokumentiert
leicht	Stolpersturz
mittelschwer	Sturz aus 1-2m Höhe, <30 km/h
adäquat	Sturz >2m Höhe, ≥30 km/h

Tabelle 3 Unfallhergang und zugehörige Beschreibung

---

<sup>1</sup> Jeder Patient erhielt eine anonyme Patienten-ID. Die Tabelle, in der diese Zuordnung dokumentiert ist, wurde von den anderen Daten separat hinterlegt.

<sup>2</sup> Auswertung anhand von MRT- bzw. CT-Bildern; es wurde bei allen Patient\_innen ein MRT-Bild angefertigt, bei denen keine Kontraindikation für dessen Durchführung vorlag. In diesem Fall erfolgte eine Darstellung mittels CT.

Neben der Einladung zur Nachuntersuchung bekamen die Patient\_innen die folgenden Fragebögen zugesandt:

- Numerische Rating-Skala (NRS) (0-10) „Therapiezufriedenheit“ (vgl. 3.3.1)
- NRS (0-10) „Schmerzen aktuell“ (vgl. 3.3.1)
- Oswestry Disability Index (ODI) nach Fairbank et al. [78] (vgl. 3.3.3)
- Short Form (36) Gesundheitsfragebogen (SF-36) nach Ware et al. [79] (vgl. 3.3.2)

Die genaue Auswertung der verschiedenen Fragebögen wird im Abschnitt 3.3 „Fragebögen“ erläutert.

Im Rahmen der Nachuntersuchung wurden anamnestisch folgende Daten erhoben:

- Körpergröße in m, Körpergewicht in kg, daraus BMI<sup>3</sup> in kg/m<sup>2</sup>
- Unfallhergang und Symptomatik vor der Operation
- Rückenbeschwerden vor der Fraktur
- Vorherige Frakturen, Folgefrakturen oder Anschlussfrakturen<sup>4</sup> der Wirbelsäule
- Andere Frakturen, die mit Osteoporose im Zusammenhang stehen könnten
- Bestehende Diagnose einer Osteoporose und antiosteoporotische Therapie
- Nebendiagnosen: Diabetes mellitus, Arterielle Hypertonie, Herzinsuffizienz, COPD, rheumatoide Arthritis
- Schmerztherapie postoperativ und zum Nachuntersuchungszeitpunkt
- Menge an Physiotherapie und selbstständiger Beübung postoperativ
- Mobilität, Gehstrecke und körperliche Aktivität zum Nachuntersuchungszeitpunkt
- Operationskomplikationen und Revisionseingriffe

Die Patient\_innen wurden aufgrund ihrer BMI-Werte den Gruppen „Untergewicht“, „Normalgewicht“, „Übergewicht“ und „Fettleibigkeit“ zugeordnet. Die Zuordnung erfolgte anhand der Grenzwerte, die die WHO als geschlechts- und altersunabhängig definiert hat [80]. Die folgende Tabelle 4 stellt die jeweiligen Gruppen mit den zugehörigen BMI-Bereichen dar.

---

<sup>3</sup> Der BMI wurde mit der Formel  $BMI = \frac{\text{Körpergewicht [kg]}}{\text{Körpergröße[m]}^2}$  berechnet.

<sup>4</sup> Anschlussfrakturen wurden als Frakturen definiert, die unmittelbar an die Instrumentation und nicht an den frakturierten Wirbelkörper angrenzen.

Gruppe	BMI in kg/m <sup>2</sup>
Untergewicht	< 18,50
Normalgewicht	18,50 – 24,99
Übergewicht	≥ 25,00
Fettleibigkeit	≥ 30,00

Tabelle 4 Zuordnung zwischen BMI-Werten und Gruppen nach der WHO [80]

Anhand der körperlichen Untersuchung und der Röntgenaufnahmen im Rahmen der Nachkontrollen konnten folgende Daten erhoben werden:

- Untersuchung: Flèche-Maß (Hinterkopf-Wand-Abstand) in cm, Finger-Boden-Abstand in cm, Schober-Maß<sup>5</sup> in cm, Ott-Maß<sup>6</sup> in cm, Druckschmerz
- Röntgenologische Parameter: Materiallage, Zustand des Wirbelkörpers, Wirbelkörpervorderkantenhöhe in mm, Wirbelkörperhinterkantenhöhe in mm, bisegmentaler und regionaler sagittaler Cobb-Winkel in Grad, Sacral Slope in Grad, Pelvic Incidence in Grad, Lumbale Lordose in Grad, Thorakale Kyphose in Grad, C7-Lot in cm

Die Daten der Nachuntersuchung wurden mithilfe eines selbsterstellten Fragebogens erhoben, der als Anhang (9.1) zu finden ist. Patient\_innen, die postalisch nicht geantwortet haben, wurden telefonisch kontaktiert und befragt.

### 3.3 Fragebögen

#### 3.3.1 Numerische Rating-Skala (NRS)

Mit Hilfe einer numerischen Rating-Skala (NRS) wurden die Patient\_innen zu ihren aktuellen Schmerzen sowie zu ihrer Zufriedenheit mit der Therapie befragt. Die Skalen umfassten die Zahlen von 0 bis 10, wobei nur ganze Zahlen angekreuzt werden konnten. In der Rubrik „Therapiezufriedenheit“ steht die 0 für „nicht zufrieden“, während die 10 „perfekt“ bedeutet. Bei den aktuellen Schmerzen meint die 0 „kein Schmerz“ und die 10 „maximaler Schmerz“. Die folgende Abbildung 9 zeigt die Skalen, die auch die Studienteilnehmer\_innen zur Beantwortung erhalten haben:

---

<sup>5</sup> Funktionsmaß zur Beweglichkeit der LWS; Veränderung der Entfernung zwischen dem Dornfortsatz des ersten Sakralwirbels und einem Punkt 10cm kranial davon bei maximaler Flexion im Vergleich zur Neutralstellung

<sup>6</sup> Funktionsmaß zur Beweglichkeit der BWS; Veränderung der Entfernung zwischen dem Dornfortsatz des siebten Halswirbels und einem Punkt 30cm kaudal davon bei maximaler Flexion im Vergleich zur Neutralstellung

Meine aktuellen Schmerzen: (kein Schmerz) 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 (maximaler Schmerz)

Zufriedenheit mit der Therapie: (nicht zufrieden) 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 (perfekt)

Abbildung 9 Numerische Rating-Skala „aktueller Schmerz“ und „Therapiezufriedenheit“

### 3.3.2 Oswestry Disability Index (ODI)

Der Oswestry Disability Index (ODI) [78] setzt sich aus zehn Fragen mit jeweils sechs Antwortmöglichkeiten zusammen, wobei die Antwortmöglichkeiten von 0 bis 5 Punkte zählen. In der folgenden Abbildung 10 ist eine solche Frage exemplarisch dargestellt.

Schmerzintensität

- 0 Ich kann meinen Schmerz ertragen, ohne dass ich Schmerzmittel nehme.
- 1 Der Schmerz ist stark, aber ich komme ohne Schmerzmittel aus.
- 2 Schmerzmittel geben mir vollständige Schmerzfreiheit.
- 3 Schmerzmittel geben mir eine mittelmäßige Schmerzerleichterung.
- 4 Schmerzmittel geben mir nur eine geringe Schmerzerleichterung.
- 5 Schmerzmittel haben keine Wirkung auf den Schmerz und ich nehme somit keine.

Abbildung 10 Frage nach Schmerzintensität aus dem ODI-Fragebogen

Zur Auswertung des Fragebogens wird der erhobene Punktwert durch die maximal erreichbare Punktezahl geteilt und mit 100% multipliziert. Wenn beispielsweise nur neun der zehn Fragen beantwortet wurden, ergibt sich ein maximal erreichbarer Wert 45 Punkten [63, 65]. Für den Fall, dass insgesamt 28 Punkte davon erreicht worden wären, würde die Formel folglich lauten:

$$\frac{\text{erreichte Punktzahl}}{\text{maximal erreichbare Punkte}} \times 100\% = \frac{28 \text{ Punkte}}{45 \text{ Punkte}} \times 100\% = 62,22\%$$

Anhand der prozentualen Ergebnisse, die in diesem Fragebogen erreicht wurden, konnten die Patient\_innen folgenden Gruppen (Tabelle 5) zugeordnet werden:

Erreichte Prozentwerte	Maß der Behinderung
0-20%	minimale Behinderung
20-40%	mäßige Behinderung
40-60%	starke Behinderung
60-80%	invalidisierend
80-100%	bettlägerig

Tabelle 5 Zuordnung zwischen den Ergebnissen im ODI-Fragebogen und dem Maß der Behinderung, Tabelle modifiziert nach Tal et al. 2009 [82]

### 3.3.3 Short Form (36) Gesundheitsfragebogen (SF-36)

Der Short Form (36) Gesundheitsfragebogen (SF-36) ist ein etabliertes Instrument zur Messung des Outcomes in medizinischen Studien. Der Fragebogen setzt sich aus 36 Fragen zusammen und soll den Status in den folgenden Bereichen abbilden: körperliche Funktionsfähigkeit, körperliche Rollenfunktion, körperliche Schmerzen, allgemeiner Gesundheitszustand, Vitalität, soziale Funktionsfähigkeit, emotionale Rollenfunktion und psychisches Wohlbefinden. Die ersten vier Bereiche können als körperliche Summenskala zusammengefasst werden, die übrigen vier Bereiche als psychische Summenskala. Die Fragen beziehen sich größtenteils auf die Wahrnehmung in den vorangegangenen vier Wochen [71, 75].

Die Fragen sind in Form von Likert-Skalen [84] konzipiert und werden direkt auf einen Wert zwischen 0 und 100 transformiert. Dabei beschreibt ein Wert von „0“ eine maximale Einschränkung, während ein Wert von „100“ für gänzliche Beschwerdefreiheit im jeweiligen Bereich steht. Grundsätzlich besitzt jedes Item des Fragebogens die gleiche Gewichtung innerhalb der einzelnen Bereiche [79]. Als Vergleichswerte wurden die Normwerte aus der bevölkerungsrepräsentativen Erhebung von Gunzelmann et al. [85] verwendet.

## 3.4 Röntgenologische Parameter

Zu den regionalen Parametern zählen die Wirbelkörpervorderkantenhöhe (VKH) und die Wirbelkörperhinterkantenhöhe (HKH) des frakturierten Wirbelkörpers sowie des Wirbelkörpers kranial des frakturierten Wirbelkörpers. Außerdem lassen sich der regionale sowie der bisegmentale sagittale Cobb-Winkel messen. Der regionale Cobb-Winkel beschreibt den Winkel über dem frakturierten Wirbelkörper und liegt zwischen seiner Deck- und Bodenplatte, im



englischsprachigen Raum wird er als „wedge angle“ [86] bezeichnet. Der bisegmentale Cobb-Winkel liegt zwischen der Deckplatte des kranial angrenzenden und der Bodenplatte des kaudal angrenzenden Wirbelkörpers. Ein negativer Winkel steht für eine konkave Krümmung nach ventral und beschreibt folglich eine Kyphosierung. Ein positiver Winkel hingegen tritt bei einer Lordose auf. Die folgende Abbildung 11 veranschaulicht diese Zusammenhänge.

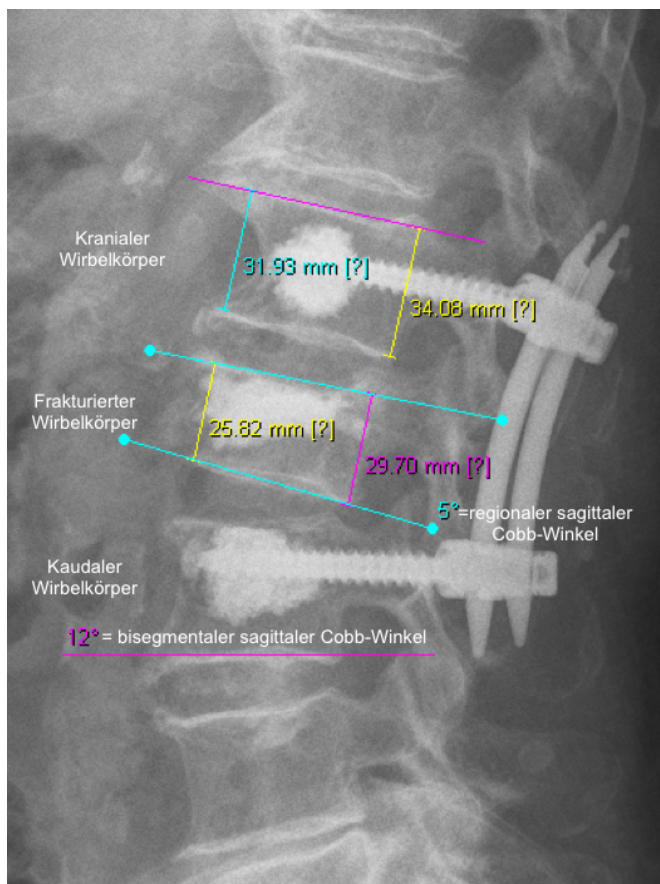


Abbildung 11 Röntgenbild (seitlich, stehend) einer Patientin mit LWK 2-Fraktur nach Hybridstabilisierung, eingezeichnet sind der bisegmentale (pink, 12° → lordotisch) und der regionale (blau, -5° → kyphotisch) sagittale Cobb-Winkel, außerdem VKH (25,9mm) und HKH (29,7mm) des frakturierten Wirbelkörpers und VKH (31,9mm) und HKH (34,1mm) des kranial angrenzenden Wirbelkörpers.

Die VKH und die HKH des frakturierten Wirbelkörpers können jeweils im Verhältnis zur VKH und HKH des kranial angrenzenden Wirbelkörpers angegeben werden. Dieses errechnete Verhältnis wird als relative Wirbelkörpervorder- bzw. -hinterkantenhöhe bezeichnet. Darüber hinaus lässt sich die VKH des frakturierten Wirbelkörpers ins Verhältnis zu dessen HKH setzen. Die berechnete Relation wird als Becks Index [87] oder als „Vertebral Body Compression Ratio“ (VBCR) [86] bezeichnet.

Die globalen Parameter wurden bereits im Abschnitt 1.6 „Röntgenologische Beurteilung der sagittalen Balance“ erläutert.

### 3.5 Literaturrecherche

Die Literaturrecherche erfolgte mit Hilfe der Datenbank Pubmed, zuletzt zugegriffen im Januar 2018.

### 3.6 Datenauswertung

Für die primäre Datenerhebung und Datenverwaltung wurde Microsoft Excel für Mac (Version 15.32) verwendet. Die Datenauswertungen und die statistischen Analysen erfolgten mit der IBM SPSS Statistics Software (Version 24) für Mac.

#### 3.6.1 Berechnung von zentralen Tendenzen

Abhängig von der Stichprobengröße und der Abhängigkeit der Variablen voneinander wurden unterschiedliche Testverfahren angewendet.

Wenn untersucht werden sollte, ob ein bestimmter Wert signifikant von dem Mittelwert einer Stichprobe abwich, wurde der Einstichproben-t-Test verwendet.

Wenn die gleiche Variable zu zwei unterschiedlichen Zeitpunkten bei derselben Stichprobe erhoben wurde, wurden Rechenverfahren für abhängige Stichproben angewendet. Lagen die Variablen normalverteilt und intervallskaliert vor, wurde der t-Test für abhängige Stichproben [88] verwendet. Bei geringeren Stichprobengrößen, bei denen keine Normalverteilung vorlag, wurde mit dem Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test für abhängige Stichproben [89] gerechnet.

Der Wilcoxon-Mann-Whitney-Test wurde für unabhängige Stichproben verwendet [89][90], wenn die gleiche Variable zum selben Zeitpunkt bei zwei unabhängigen Stichproben erhoben wurde. Die Daten mussten nicht normalverteilt vorliegen, sodass eine Berechnung auch bei kleinen Stichprobengrößen möglich war.

#### 3.6.2 Berechnung von Zusammenhängen

Abhängig von der Beschaffenheit der zu untersuchenden Variablen und des Stichprobenumfangs wurden unterschiedliche Testverfahren verwendet.

Ein Zusammenhang zwischen zwei kategorialen Variablen wurde mithilfe des Pearson Chi-Quadrat-Tests [91] untersucht. Dabei konnte herausgefunden werden, ob zwei Merkmale im Zusammenhang miteinander stehen und wie ausgeprägt dieser Zusammenhang ist. Bei kleineren Stichprobengrößen ( $n < 20$ )

oder einer geringen erwarteten Zellhäufigkeit ( $<5$ ) wurde der Test um den exakten Test nach Fisher ergänzt.

Ein Zusammenhang zwischen zwei metrischen Variablen, die nicht normalverteilt waren, wurde mithilfe der Rangkorrelationsanalyse nach Spearman [92] berechnet. Es ergab sich ein Korrelationskoeffizient nach Spearman ( $r_s$ ). Anhand der Effektstärke nach Cohen [93] ließ sich der gefundene Zusammenhang in „unbedeutend“ ( $r_s < 0,1$ ), „schwach“ ( $0,1 \geq r_s < 0,3$ ), „mittel“ ( $0,3 \leq r_s < 0,5$ ) und „stark“ ( $r_s \geq 0,5$ ) unterteilen.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Einteilung des Patientenkollektivs

Von den 113 Patient\_innen, die postalisch und telefonisch kontaktiert wurden, konnten 65 (57,5%) erreicht werden. Diese wurden in der Gruppe mit der Bezeichnung „Follow-up“ zusammengefasst. 32 Patient\_innen (28,3%) waren nicht kontaktierbar und bilden die Gruppe „Lost to follow-up“. 16 Patient\_innen (14,2%) sind bereits verstorben, diese werden in der Gruppe „verstorben“ aufgeführt. Im Folgenden bezieht sich die Formulierung „gesamtes Patientenkollektiv“ auf alle Patient\_innen dieser drei Gruppen. Eine Übersicht der Zuordnung zu den verschiedenen Follow-up-Gruppen bietet die folgende Abbildung 12:

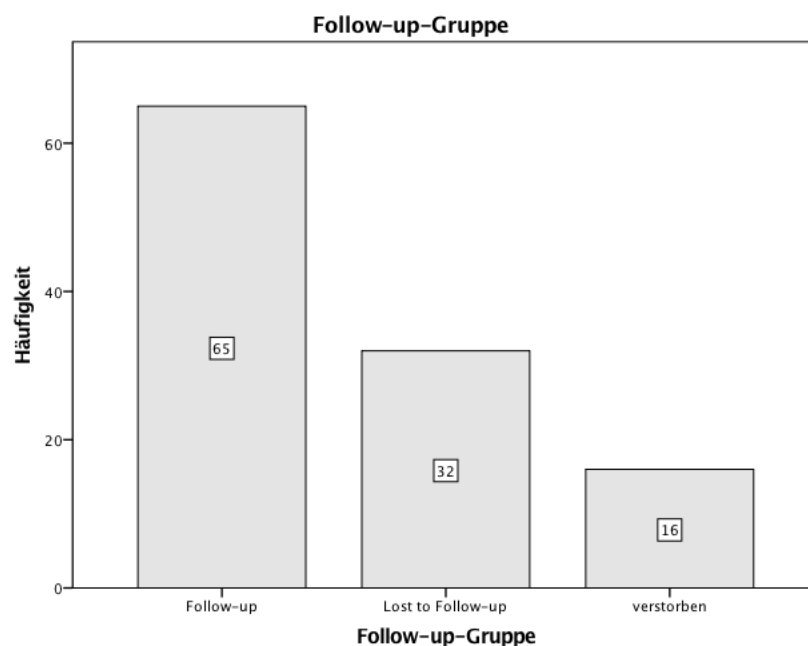


Abbildung 12 Zuordnung zu den Follow-up-Gruppen (n=113)

Von den 65 Patient\_innen ( $\text{♂}=23/\text{♀}=42$ ) der Follow-up-Gruppe nahmen 26 (40%) an der Nachuntersuchung teil, 23 (35,4%) beantworteten die Fragebögen postalisch und 16 (24,6%) wurden per Telefon befragt.

Von den 16 verstorbenen Patient\_innen konnte bei fünf die Todesursache herausgefunden werden. Zu den Todesursachen bzw. den Grunderkrankungen, die schließlich zum Tode führten, zählten intrakranielle Blutung (n=1), Leber- und Niereninsuffizienz (n=1), Leberzirrhose (n=1), Lungenembolie (n=1) und

Lungenkarzinom (n=1). Bei keinem der Patient\_innen konnte ein Zusammenhang zwischen dem operativen Eingriff und dem Tode hergestellt werden.

### 4.2 Demographische Daten

Die Patient\_innen wurden im Zeitraum vom 07.12.2009 bis zum 02.05.2014 operiert. Das Alter der Patient\_innen zum Zeitpunkt der Operation lag durchschnittlich bei 74,6 Jahren (SD=6,8 Jahre). Die jüngste Patientin war zum Operationszeitpunkt 61 und der älteste Patient 98 Jahre alt. Das folgende Histogramm (Abbildung 13), in das zur Orientierung eine Normalverteilungskurve eingefügt wurde, zeigt die Altersverteilung.

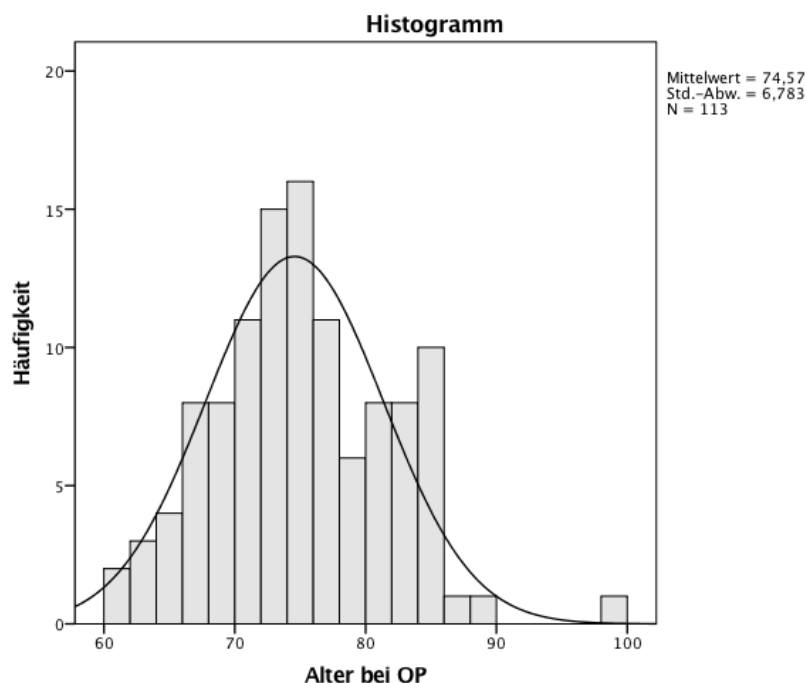


Abbildung 13 Altersverteilung zum Operationszeitpunkt des gesamten Patientenkollektivs (n=113), Normalverteilungskurve eingezeichnet

Insgesamt wurden die Daten von 41 Männern (36,3%) und 72 Frauen (63,7%) ausgewertet. Die Altersverteilung zum Operationszeitpunkt war bei Männern und Frauen verschieden, es ergab sich jedoch kein signifikanter Unterschied ( $p=0,298$ ).

### 4.3 Medizinische Daten

Während der Nachuntersuchungen und Telefongespräche sowie anhand der gespeicherten Daten im SAP wurden Informationen über Nebendiagnosen und

Therapien erhoben und die Körpergröße sowie das Körpergewicht erfragt. Bei den Nebendiagnosen wurde das Vorliegen eines Diabetes mellitus (DM), einer arteriellen Hypertonie (HT), einer Herzinsuffizienz (HI), einer chronisch-obstruktiven Lungenerkrankung (COPD) sowie einer rheumatoiden Arthritis (RA) untersucht. Darüber hinaus wurde die Diagnose einer Osteoporose sowie die Einnahme antiosteoporotischer Medikamente erfragt. Die folgende Tabelle 6 gibt die Verteilung der verschiedenen Nebendiagnosen wider.

Diagnose	Anzahl	Prozent
Diabetes mellitus	36	31,9%
- bei 60-69 Jahren (n=25)	7	28,0%
- bei 70-79 Jahren (n=59)	15	25,4%
Arterielle Hypertonie	74	65,5%
Herzinsuffizienz	5	4,4%
Chronisch obstruktive Lungenerkrankung	4	3,5%
Rheumatoide Arthritis	3	2,7%

Tabelle 6 Verteilung verschiedener Nebendiagnosen innerhalb des gesamten Patientenkollektivs (n=113), Diabetes mellitus separat für die Altersklassen 60-69 (n=25) und 70-79 (n=59).

Insgesamt konnte bei 68 Patient\_innen evaluiert werden, ob zum Operationszeitpunkt eine Osteoporose diagnostiziert wurde oder bereits vorher diagnostiziert worden war. Bei sieben Patient\_innen der Gruppe Lost to follow-up und vier der verstorbenen Patient\_innen konnte die Diagnose „Osteoporose“ aus älteren Arztbriefen entnommen werden. In allen Altersgruppen wurde mindestens bei zwei Dritteln der Patient\_innen eine Osteoporose diagnostiziert. Eine Übersicht der Anteile in den verschiedenen Altersklassen bietet die folgende Abbildung 14.

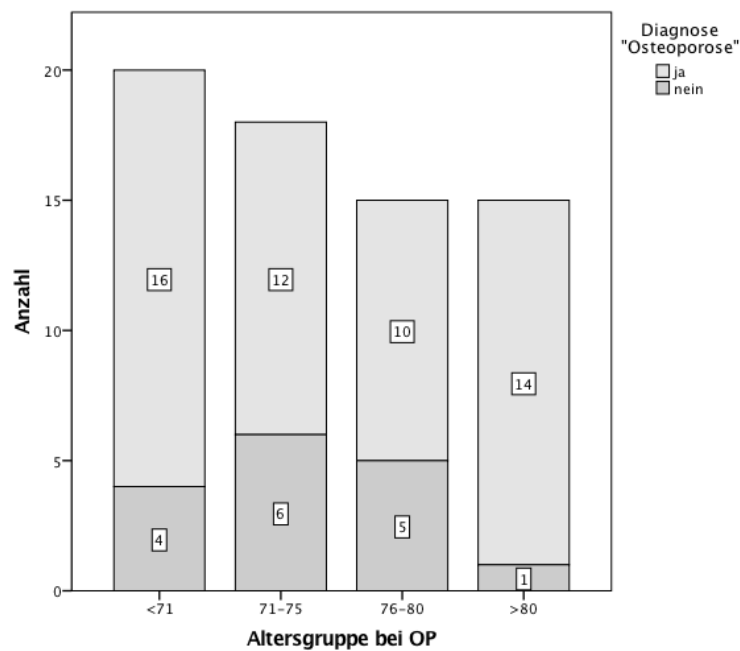


Abbildung 14 Anteil der Patient\_innen mit Osteoporose nach Altersklassen (n=68)

Innerhalb des gesamten Patientenkollektivs (n=113) konnte bei 46% festgestellt werden, ob postoperativ eine antiosteoporotische Therapie eingeleitet wurde. Von den 52 Patient\_innen, bei denen Osteoporose nachweislich diagnostiziert wurde, erhielten 60% eine medikamentöse Therapie (42% Bisphosphonate oder Denosumab, 10% Vitamin D<sub>3</sub>, 2% andere, 6% wussten den Präparatnamen nicht). Das folgende Balkendiagramm (Abbildung 15) stellt diese Verteilung dar.

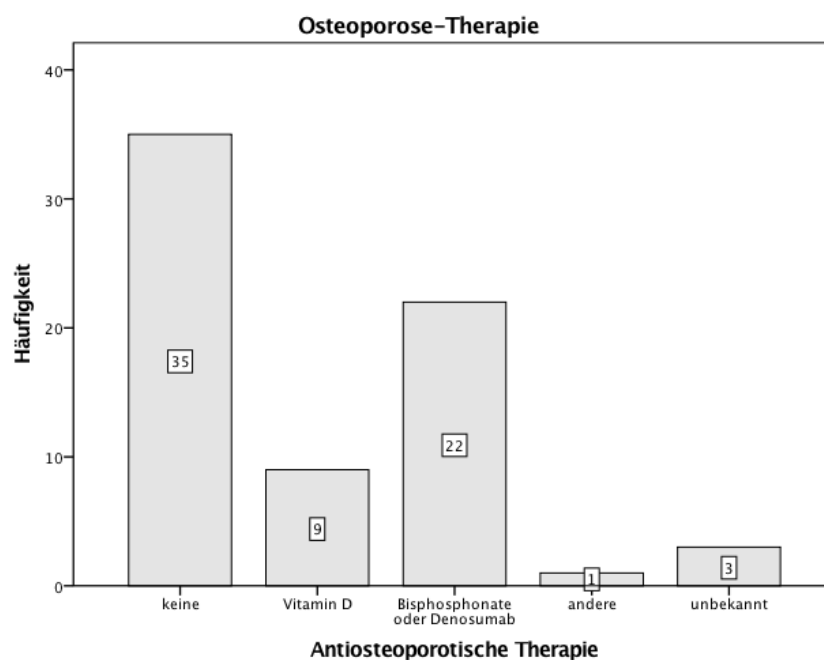


Abbildung 15 Häufigkeit der antiosteoporotischen Therapeutika (n=52); andere: andere Präparate als die aufgeführten, unbekannt: Name des Präparates unbekannt

Von 48 Patient\_innen konnte die Körpergröße und das Körpergewicht zum Untersuchungs- bzw. Befragungszeitpunkt erhoben werden. Die berechneten BMI-Werte lag durchschnittlich bei  $27 \text{ kg/m}^2$  ( $SD=5,5 \text{ kg/m}^2$ ).

Anschließend wurden die Patient\_innen ( $n=48$ ) anhand ihres BMIs den verschiedenen Gruppen „Untergewicht“, „Normalgewicht“, „Übergewicht“ und „Fettleibigkeit“ zugeordnet. Es zeigt sich, dass keiner der Patient\_innen untergewichtig war und 40% normalgewichtig waren. Der Rest war entweder übergewichtig (33%) oder fettleibig (27%). Einen Überblick dieser Verteilung bietet das folgende Kreisdiagramm (Abbildung 16).

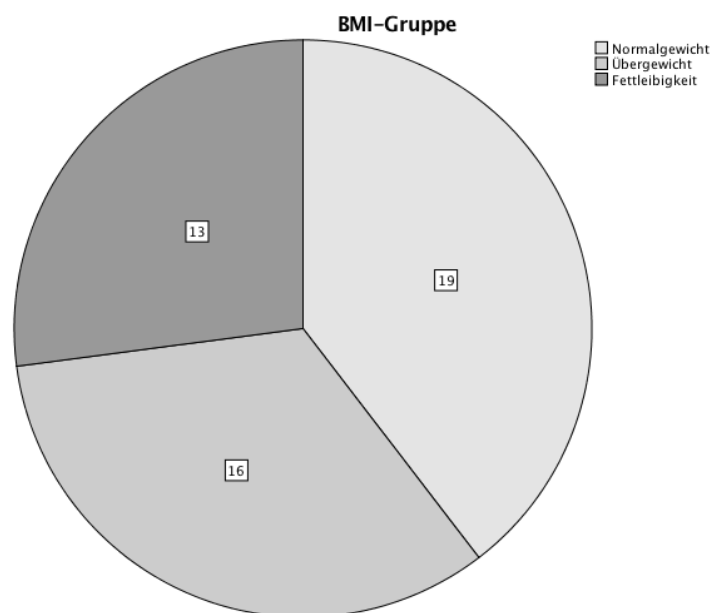


Abbildung 16 Anteil der Patient\_innen an den verschiedenen BMI-Gruppen mit absoluten Häufigkeiten ( $n=48$ )

## 4.4 Frakturcharakteristika

### 4.4.1 Frakturhöhe

Die Wirbelkörperfrakturen traten zwischen BWK 10 und LWK 4 auf. Das folgende Balkendiagramm (Abbildung 17) gibt die Verteilung der Lokalisation innerhalb des gesamten Patientenkollektivs wider ( $n=113$ ).



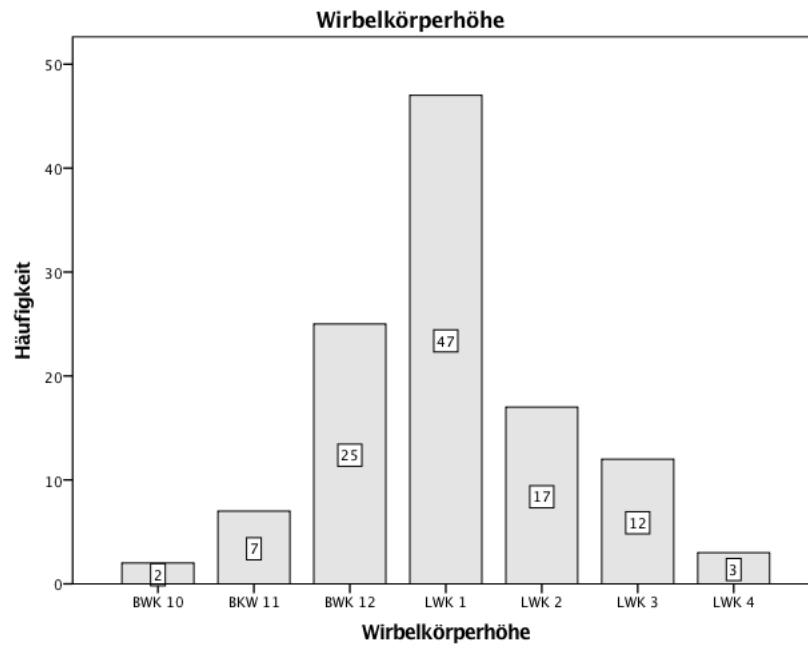


Abbildung 17 Lokalisation der Wirbelkörperfraktur, absolute Häufigkeiten (n=113)

Dementsprechend entfallen etwa 85% der Frakturen auf den thorakolumbalen Übergang. Dieser umfasst den elften und zwölften Brustwirbel- sowie die ersten beiden Lendenwirbelkörper. Eine Übersicht der Verteilung bietet das folgende Kreisdiagramm, wobei an der BWS im Rahmen dieser Studie nur Frakturen des zehnten Brustwirbelkörpers berücksichtigt wurden (Abbildung 18).

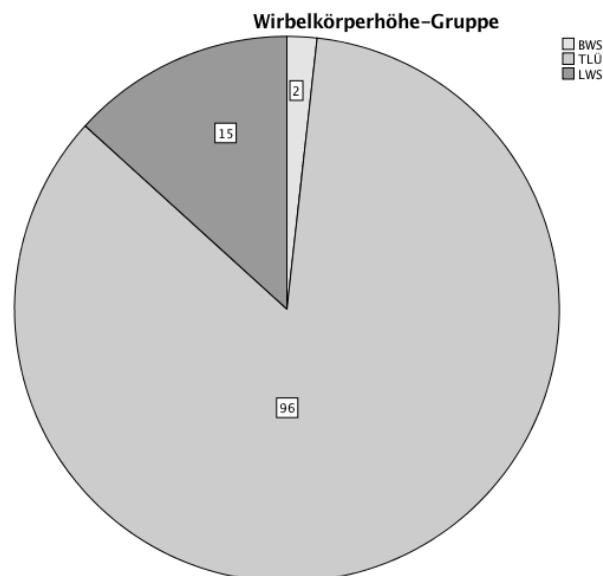


Abbildung 18 Verteilung der Wirbelkörperfrakturen auf die verschiedenen Abschnitte mit absoluten Häufigkeiten (n=113), BWS: BWK 10, TLÜ: BWK 11 – LWK 2, LWS: LWK 3 – LWK 5

#### 4.4.2 Frakturform

Mithilfe von MRT- und CT-Bildern konnten die Wirbelkörperfrakturen sowohl anhand der AOSpine Klassifikation (TLICS) sowie nach der OF-Klassifikation eingeteilt werden. Die folgende Tabelle (Abbildung 19) gibt die Verteilung auf die verschiedenen Kategorien der AO-Klassifikation wieder.

	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig A1	29	25,7	25,7	25,7
A2	6	5,3	5,3	31,0
A3	60	53,1	53,1	84,1
A4	17	15,0	15,0	99,1
B	1	,9	,9	100,0
Gesamt	113	100,0	100,0	

Abbildung 19 Einteilung der Wirbelkörperfrakturen anhand des AOSpine Thoracolumbar Spine Injury Classification System von 2013 (TLICS)

In der folgenden Tabelle (Abbildung 20) ist die Einteilung der Patient\_innen nach der OF-Klassifikation darstellt.

	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig OF 2	29	25,7	25,7	25,7
OF 3	71	62,8	62,8	88,5
OF 4	13	11,5	11,5	100,0
Gesamt	113	100,0	100,0	

Abbildung 20 Einteilung der Wirbelkörperfrakturen anhand der OF-Klassifikation

#### 4.4.3 Frakturhergang

Es zeigt sich, dass ein Großteil der Patient\_innen (68%) ein mittelschweres Trauma erlitten hat. Bei 15% der Patient\_innen führte bereits ein leichtes Trauma zur Fraktur, während ein adäquates Trauma nur bei 4% der Patient\_innen auftrat. Von 12% der Patient\_innen liegen entweder keine dokumentierten Angaben vor und/oder sie können selber keine Auskunft mehr darüber geben. Das folgende Balkendiagramm (Abbildung 21) veranschaulicht die Verteilung des Unfallhergangs.

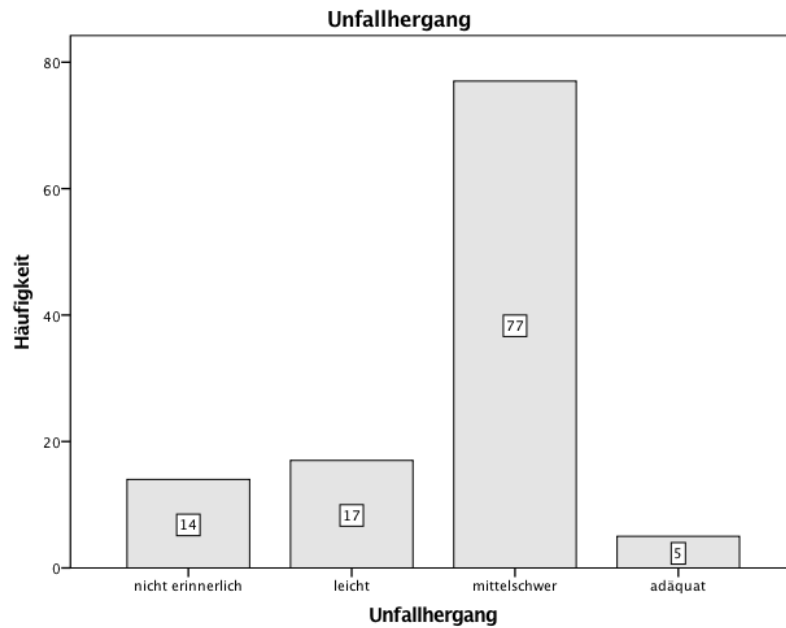


Abbildung 21 Unfallhergang der Wirbelkörperfraktur mit absoluten Häufigkeiten (n=113), leicht: Stolpersturz; mittelschwer: Sturz aus 1-2m Höhe, <30km/h; adäquat: Sturz aus >2m Höhe,  $\geq 30$ km/h

Es konnten 42 Patient\_innen über Rückenprobleme vor der Fraktur befragt werden. Davon gaben 26 an, vor der Wirbelkörperfraktur keine Beschwerden am Rücken gehabt zu haben. Lediglich zwei Patient\_innen gaben an, bereits vor der Wirbelkörperfraktur unter starken oder mittleren Schmerzen gelitten zu haben. Folgendes Balkendiagramm (Abbildung 22) gibt diese Verteilung wider.

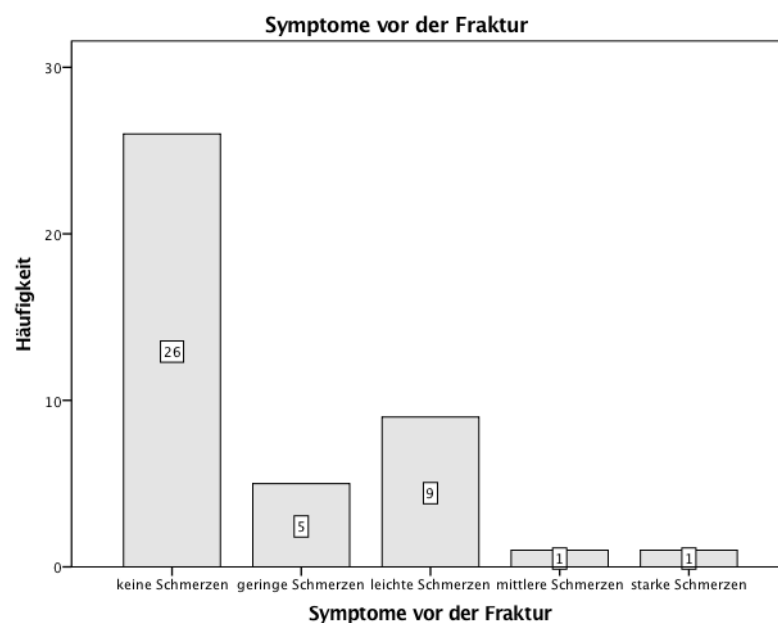


Abbildung 22 Angabe über Rückenbeschwerden vor der Wirbelkörperfraktur mit absoluten Häufigkeiten (n=42)

#### 4.4.4 Vorherige Wirbelkörperfrakturen

Von den Patient\_innen der Follow-up-Gruppe (n=65) konnten 49 bezüglich des Vorliegens einer vorherigen Wirbelkörperfraktur befragt werden. Es ergab sich eine Häufigkeit von 8,2%. Innerhalb der Gruppen Lost to follow-up und der Gruppe der Verstorbenen ließ sich anhand der Arztbriefe bei 14,6% das Vorliegen einer vorherigen Wirbelkörperfraktur beobachten. Für alle Patient\_innen (n=113) ergibt sich damit eine Häufigkeit von 9,7% für das Vorliegen einer vorherigen Wirbelkörperfraktur.

Welche Wirbelkörper von den vorherigen Frakturen betroffen waren, gibt das folgende Balkendiagramm Abbildung 23 wider.

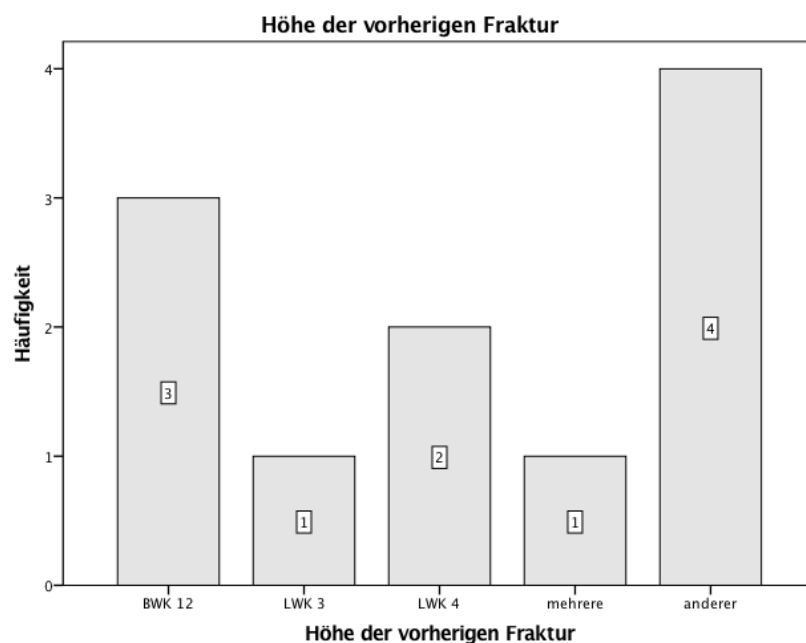


Abbildung 23 Höhe der vorherigen Wirbelkörperfraktur mit absoluten Anzahlen; LWK: Lendenwirbelkörper; BWK: Brustwirbelkörper; mehrere: es lagen mehrere Frakturen vor; anderer: Wirbelkörper, der nicht im thorakolumbalen Übergang liegt

#### 4.5 Operationscharakteristika

Von den 113 Patient\_innen wurden 102 mit einem minimalinvasiven (90,3%) und elf mit einem offenen (9,7%) Verfahren operiert. Es ergab sich in Hinblick auf die Operationszeit zwischen den beiden Gruppen kein signifikanter Unterschied ( $p=0,997$ ).

Die Operationszeit konnte bei 108 Patient\_innen erfasst werden und lag bei durchschnittlich 95,5 Minuten (SD=35,5 Minuten). Die kürzeste Operationsdauer betrug 37 Minuten, die längste 280 Minuten.

Insgesamt wurden 99 Patient\_innen (87,6%) mit einer Kyphoplastie, zwölf (10,6%) mit einer Stentoplastie oder einem Vertebro-Body-Stenting (VBS) und zwei (1,8%) mit einer Vertebroplastie versorgt.

Die Zementmenge, die pro Wirbelkörper verwendet wurde, konnte bei 80 Patient\_innen analysiert werden. Die Zementmenge, die pro Schraube eingebracht wurde, konnte für 71 Patient\_innen evaluiert werden. Dabei beschreibt der Wert das durchschnittliche Volumen aller vier Schrauben, das bei dem jeweils Betroffenen verwendet wurde. Die folgende Tabelle 7 gibt eine Übersicht der erhobenen Werte.

Zementmenge pro...	Anzahl (n)	Mittelwert	Median	Minimum	Maximum
Wirbelkörper	80	6,49 ml	6 ml	3 ml	14 ml
Schraube	71	1,89 ml	1,75 ml	1,2 ml	3 ml

Tabelle 7 Übersicht der Zementmengen pro Wirbelkörper (n=80) und pro Schraube (n=71), bezogen auf die durchschnittlich verwendete Zementmenge aller vier Schrauben

Bei zwölf Patient\_innen (10,6%) wurde ein Zementaustritt während der Operation dokumentiert. In keinem dieser Fälle besaß der Zementaustritt klinische Relevanz. Bei fünf Patient\_innen (4,4%) traten postoperative Komplikationen auf. Ein Patient erlitt ein Konus-Kauda-Syndrom, das noch am selben Tag durch einen Revisionseingriff mit Dekompression behandelt und dadurch vollständig behoben werden konnte. Drei Patient\_innen entwickelten eine Wundheilungsstörung, wobei einer davon ein offenes Operationsverfahren erhalten hatte. Die Wundheilungsstörungen konnten ebenfalls mit Hilfe eines Revisionseingriffes kontrolliert werden, der zwischen dem vierten und achten postoperativen Tag durchgeführt wurde. Ein Patient erlitt eine Pneumonie, die durch eine intravenöse antibiotische Therapie erfolgreich behandelt werden konnte.

## 4.6 Outcome

### 4.6.1 Charakteristika der Follow-up-Gruppe

Die Nachuntersuchungen fanden im Zeitraum von November 2016 bis Januar 2017 statt. Zum diesem Zeitpunkt waren die Teilnehmenden (n=26)

durchschnittlich 78,6 Jahre (SD=5,3 Jahre) alt, die Operation lag durchschnittlich 53 Monate (SD=16,1) zurück.

#### 4.6.2 Ergebnisse der Fragebögen

##### 4.6.2.1 Numerische Rating-Skala „Schmerzen aktuell“

Die numerische Rating-Skala (NRS) „Schmerzen aktuell“ wurde von 64 Patient\_innen ausgefüllt. Es ergibt sich ein durchschnittlicher Wert von 3,5 (SD=2,5). Im folgenden Histogramm (Abbildung 24) sind die Ergebnisse dargestellt.

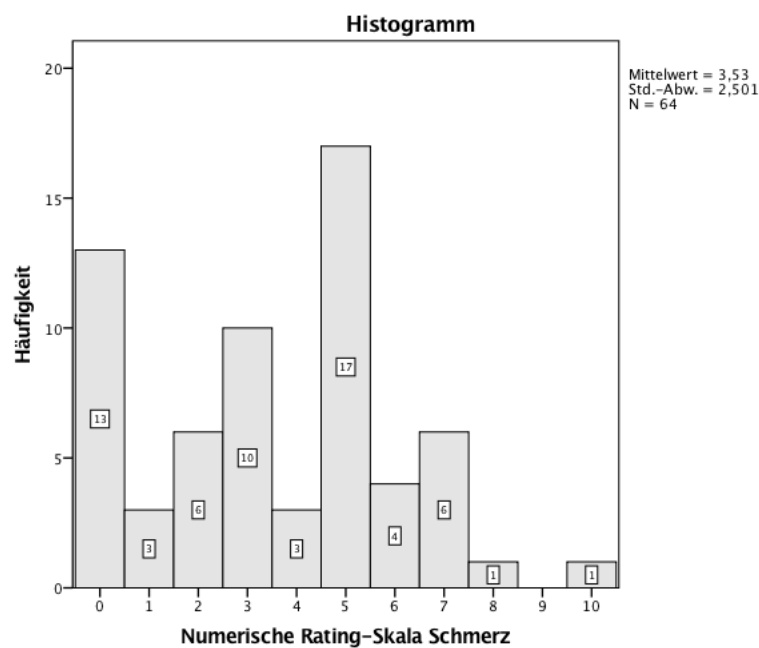


Abbildung 24 Numerische Rating-Skala „Schmerzen aktuell“ mit absoluten Häufigkeiten (n=64)

##### 4.6.2.2 Numerische Rating-Skala „Therapiezufriedenheit“

Die numerische Rating-Skala „Therapiezufriedenheit“ haben 56 Patient\_innen beantwortet. Es ergibt sich ein durchschnittlicher Wert von 6,6 (SD=3,1). Im folgenden Histogramm (Abbildung 25) sind die Ergebnisse dargestellt.

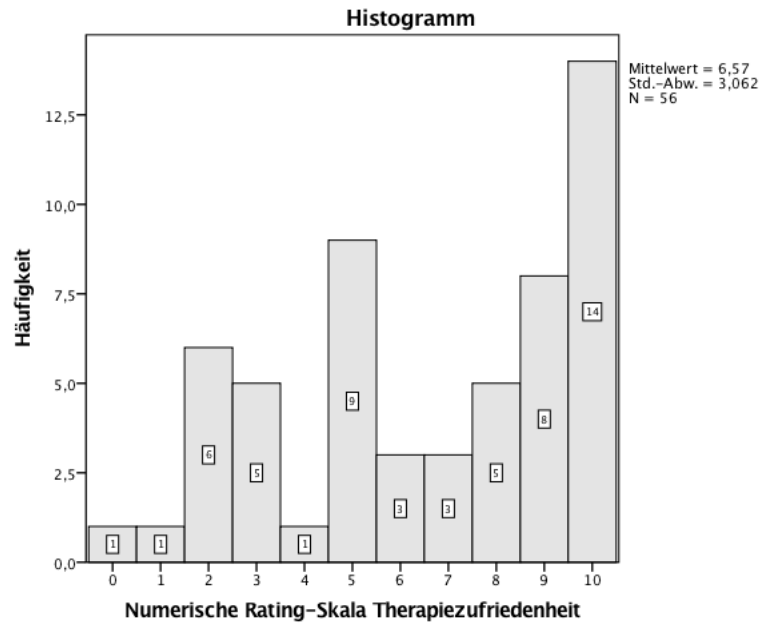


Abbildung 25 Numerische Rating-Skala „Therapiezufriedenheit“ mit absoluten Häufigkeiten (n=56)

#### 4.6.2.3 Oswestry Disability Index

Die Ergebnisse des ODI-Fragebogens konnten bei 57 Patient\_innen erhoben werden und ergaben einen durchschnittlichen Wert von 29,9% (SD=22,2%). Eine Übersicht der Verteilung bietet das folgende Histogramm (Abbildung 26).

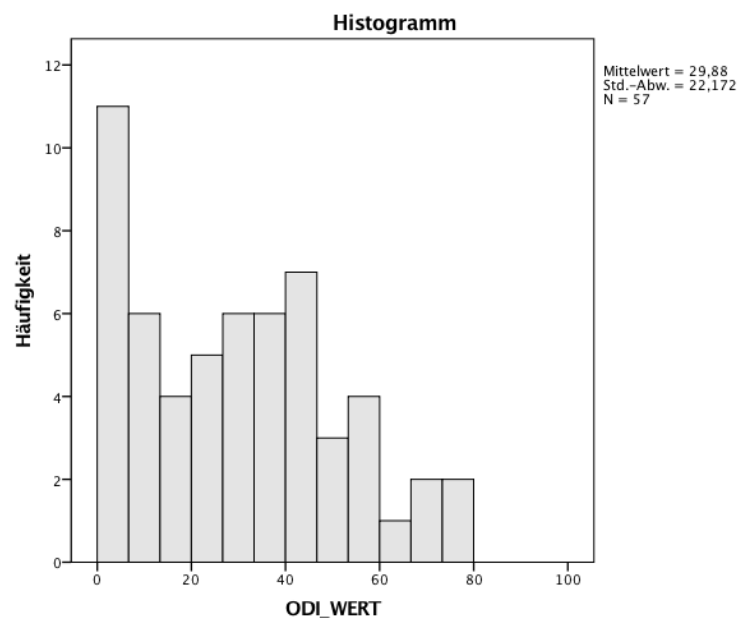


Abbildung 26 Verteilung der Ergebnisse des ODI-Fragebogens mit absoluten Häufigkeiten (n=57)

Ordnet man diese Prozentwerte den Maßen der Behinderung zu (Abbildung 27), zeigt sich, dass zwei Drittel der Patient\_innen durch ihre Beschwerden leicht bis mäßig behindert sind.

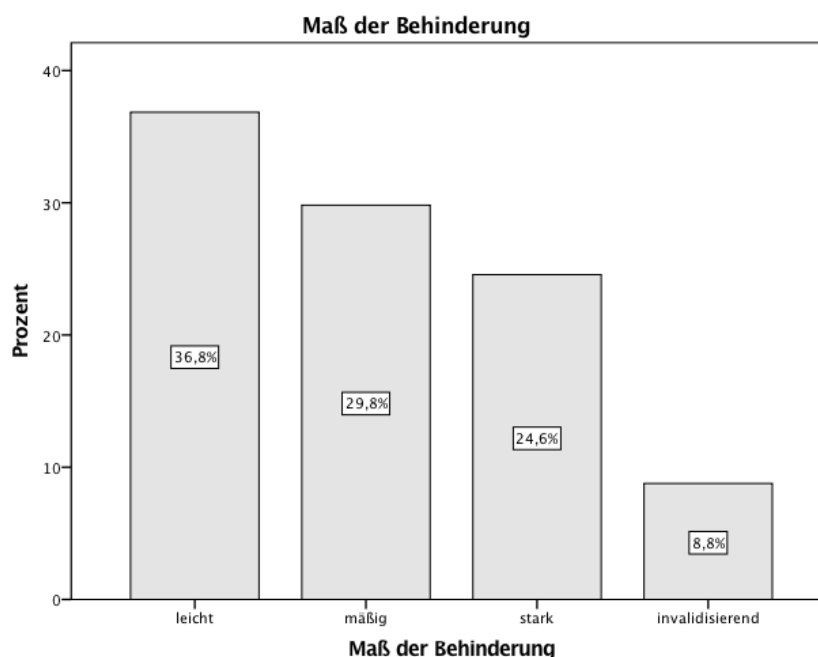


Abbildung 27 Maß der Behinderung nach ODI-Fragebogen mit relativen Häufigkeiten (n=57)

Die fünf Patientinnen, die durch ihre Beschwerden so stark behindert werden, dass sie ein invalidisierendes Maß an Behinderung erfahren, wurden erneut betrachtet, um mögliche Besonderheiten zu detektieren. Im Folgenden werden spezielle Charakteristika tabellarisch dargestellt:

Pat_ID	Alter [Jahre]	♂/♀	OP-Dauer [min]	ODI	NRS_T	NRS_S	ksk	psk
1	75	♀	75	80	3	10	21	30
2	81	♀	152	78	2	7	-	-
3	72	♀	73	66	-	5	20	28
4	83	♀	80	70	5	5	29	32
5	78	♀	67	73	-	3	-	-
Mittelwert dieser Patientinnen				73	3	6	23	30
Mittelwert aller Patient_innen				95,5	30	6,6	37,1	47,5

Tabelle 8 Charakteristika der Patientinnen mit hohen ODI-Werten (n=5) im Vergleich zu den Mittelwerten aller Patient\_innen (n=unterschiedlich); Alter: Alter zum Operationszeitpunkt in Jahren; OP-Dauer: Operationsdauer in Minuten; ODI: Gesamtergebnis im ODI-Fragebogen in Prozent; NRS\_T: numerische Rating-Skala „Therapiezufriedenheit“; NRS\_S: numerische Rating-Skala „Schmerz“; ksk: körperliche Summenskala aus dem SF-36-Fragebogen; psk: psychische Summenskala aus dem SF-36-Fragebogen



Die fünf Patientinnen mit den höchsten Ergebnissen im ODI-Fragebogen haben tendenziell angegeben, unter mehr Schmerzen zu leiden und mit der Therapie unzufriedener zu sein als der Durchschnitt. Die körperlichen und seelischen Summenskalen aus dem SF-36-Fragebogen deuten darauf hin, dass diese Patientinnen auch im Allgemeinbefinden durchschnittlich eingeschränkter sind als die anderen Patient\_innen.

Darüber hinaus wurden die Daten dieser fünf Patientinnen auf spezielle Nebenerkrankungen oder andere Besonderheiten untersucht.

Die Patientin „1“ erlitt etwa ein Jahr nach der operativen Versorgung mittels der Hybridstabilisierung eine Anschlussfraktur im BWK 11 sowie ein Materialversagen mit sekundärer Kyphosierung. Drei Jahre später wurden Frakturen der Lendenwirbelkörper 3, 4 und 5 diagnostiziert. Sie hatte die Diagnose einer Osteoporose und erhielt Bisphosphonate als antiosteoporotische Therapie.

Die Patientin „2“ erlitt im Anschluss an die operative Versorgung eine weitere Fraktur der Lendenwirbelsäule sowie eine Fraktur in der Brustwirbelsäule. Die Tochter der Patientin hat auf dem Fragebogen handschriftlich vermerkt, dass sie sehr unzufrieden damit sei, dass erst nach den Folgefrakturen eine antiosteoporotische Therapie mit Vitamin D eingeleitet worden sei.

Die Patientin „3“ wies alte Deckplattenimpressionsfrakturen der Brustwirbelkörper 5, 6 und 7 sowie nebenbefundlich eine rezidivierende Depression mit psychotischen Symptomen auf. Außerdem war sie 6 Monate vor der Hybridstabilisierung wegen einer Schenkelhalsfraktur mit einer Duokopfprothese versorgt worden. Die Patientin konnte keine Angaben über ihre antiosteoporotische Therapie machen.

Die Patientin „4“ weist nebenbefundlich ein depressives Syndrom und ein chronisches Schmerzsyndrom auf.

Bei der Patientin „5“ waren ein Parkinson-Syndrom sowie ein dementielles Syndrom bekannt. Außerdem war sie einen Monat vor der Hybridstabilisierung wegen einer proximalen Humerusfraktur mit einer Plattenosteosynthese versorgt worden. Sie hat auf dem ODI-Fragebögen in großen Lettern „Altersschwäche“ vermerkt.

#### 4.6.2.4 Short Form (36) Gesundheitsfragebogen

In der folgenden Tabelle 9 sind die Ergebnisse innerhalb der einzelnen Bereiche des SF-36 Gesundheitsfragebogen sowie die zugehörigen Summenskalen aufgeführt.

Skala	Mittelwert	SD	n	Summenskalen (n=51)
körperliche Funktionsfähigkeit	46,2	29,9	58	körperliche Summenskala= 37,1 (SD=11,9)
körperliche Rollenfunktion	41,8	45,0	54	
körperliche Schmerzen	56,4	27,1	57	
allgemeiner Gesundheitszustand	52,0	21,8	54	
Vitalität	46,8	19,2	56	psychische Summenskala= 47,5 (SD=9,9)
soziale Funktionsfähigkeit	69,1	27,2	57	
emotionale Rollenfunktion	58,2	45,9	55	
psychisches Wohlbefinden	63,1	19,4	56	

Tabelle 9 Ergebnisse im SF-36; SD: Standardabweichung des Mittelwertes; n: Stichprobengröße

In der folgenden Tabelle 10 werden die Ergebnisse innerhalb der einzelnen Bereiche des SF-36 Gesundheitsfragebogen im Vergleich zu den Normwerten nach Gunzelmann et al. [85] aufgeführt. Zunächst wird eine Unterteilung abhängig vom Geschlecht vorgenommen. Es ergibt sich in einigen Kategorien ein signifikanter ( $p < 0,05$  bzw.  $p < 0,01$ ) Unterschied zwischen der Mittelwertverteilung der Befragten im Vergleich zu den Normwerten.

Skala		Männer			Frauen		
		Mittelwert	SD	n	Mittelwert	SD	n
körperliche Funktionsfähigkeit	Studie	46,0**	28,9	20	46,3**	30,7	38
	Normwerte	80,9	21,1		69,6	24,6	
körperliche Rollenfunktion	Studie	36,0**	44,3	19	45,0**	45,7	35
	Normwerte	74,9	23,8		67,2	25,2	
körperliche Schmerzen	Studie	54,4**	24,7	20	57,5	28,6	37
	Normwerte	72,6	24,7		63,3	26,0	
allgemeiner Gesundheitszustand	Studie	49,6**	13,8	18	53,1	25,0	36
	Normwerte	62,5	19,9		55,4	18,8	
Vitalität	Studie	48,6**	14,7	20	45,8**	21,4	36
	Normwerte	64,9	17,9		55,8	17,7	
soziale Funktionsfähigkeit	Studie	68,8**	22,8	20	69,3*	29,6	37
	Normwerte	86,3	19,1		81,7	22,1	
emotionale Rollenfunktion	Studie	56,7*	48,5	20	59,1*	45,1	35
	Normwerte	82,0	22,9		75,3	26,0	
psychisches Wohlbefinden	Studie	66,2*	17,1	20	61,3	20,6	36
	Normwerte	74,6	15,4		68,2	18,0	

Tabelle 10 Ergebnisse im SF-36 im Vergleich zu den Normwerten nach Gunzelmann [85], nach Männern und Frauen getrennt aufgeführt; die mit \*\*-markierten Mittelwerte weichen signifikant ( $p < 0,01$ ) vom Normwert ab; die mit \*-markierten Mittelwerte weichen signifikant ( $p < 0,05$ ) vom Normwert ab; SD: Standardabweichung des Mittelwertes; n - Stichprobengröße

In der folgenden Tabelle 11 werden die Ergebnisse in den verschiedenen Bereichen abhängig von der Altersgruppe und im Vergleich zu den jeweiligen Normwerten dargestellt. Es zeigt sich nur in wenigen Bereichen ein signifikanter ( $p < 0,05$ ) Unterschied zwischen den Ergebnissen und den Normwerten.

Skala	Altersgruppen								
	70-74 Jahre			75-79 Jahre			≥80 Jahre		
	M	SD	n	M	SD	n	M	SD	n
körperliche Funktionsfähigkeit	52,2	28,8	12	50,0	28,4	18	39,2*	31,7	21
	70,1	25,0		63,7	24,3		55,4	22,4	
körperliche Rollenfunktion	34,9*	40,6	11	38,2*	44,3	17	48,7	47,5	19
	67,3	25,5		61,6	26,5		57,3	25,3	
körperliche Schmerzen	58,5	22,5	12	54,5	27,6	17	55,2	27,0	21
	63,1	26,4		62,0	26,0		57,8	27,6	
allgemeiner Gesundheitszustand	54,7	23,5	10	53,7	22,3	17	45,9	21,3	21
	54,5	20,3		53,5	19,3		51,5	20,9	
Vitalität	51,2	22,4	11	47,7	19,6	17	42,4	17,0	21
	58,6	17,6		54,7	17,8		48,5	20,4	
soziale Funktionsfähigkeit	70,8	20,2	12	71,3	30,2	17	65,5	29,3	21
	81,6	21,6		83,3	23,0		73,8	24,1	
emotionale Rollenfunktion	61,1	46,8	12	49,0*	47,3	17	59,7	45,2	19
	73,6	25,2		76,0	24,6		66,3	30,9	
psychisches Wohlbefinden	63,3	16,5	11	59,2*	16,8	17	63,3	23,7	21
	71,2	16,2		68,5	17,1		66,5	21,1	

Tabelle 11 Ergebnisse aus dem SF-36 im Vergleich zu Normwerten nach Gunzelmann [85] (*kursiv*), nach Altersgruppen getrennt aufgeführt; die mit \*-markierten Mittelwerte weichen signifikant ( $p < 0,05$ ) vom Normwert ab; M - Mittelwert; SD - Standardabweichung des Mittelwertes; n - Stichprobengröße

### 4.6.3 Funktioneller Outcome

Bei 42 Patient\_innen konnten Angaben zur Mobilisation, Gehstrecke und körperlichen Aktivität erhoben werden. Eine Übersicht der Ergebnisse bieten die folgenden Tabellen (Tabelle 12, Tabelle 13, Tabelle 14). Ein Großteil (85,7%) der Patient\_innen benötigt keine Hilfsmittel beim Gehen. Etwas weniger als zwei Drittel der Befragten verfügen über eine maximale Gehstrecke von mehr als einem Kilometer und mehr als zwei Drittel der Patient\_innen geben an, eine überdurchschnittliche körperliche Aktivität zu besitzen.

**Mobilisation**

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	ohne Hilfsmittel	36	31,9	85,7	85,7
	Gehstock	2	1,8	4,8	90,5
	Unterarm-Gehstützen	1	,9	2,4	92,9
	Rollator	3	2,7	7,1	100,0
	Gesamt	42	37,2	100,0	
Fehlend	System	71	62,8		
Gesamt		113	100,0		

Tabelle 12 Art der Mobilisation zum Nachuntersuchungszeitpunkt (n=42)

**Gehstrecke**

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	unbegrenzt	27	23,9	64,3	64,3
	1 km	12	10,6	28,6	92,9
	500 m	2	1,8	4,8	97,6
	100 m	1	,9	2,4	100,0
	Gesamt	42	37,2	100,0	
Fehlend	System	71	62,8		
Gesamt		113	100,0		

Tabelle 13 Maximale Gehstrecke zum Nachuntersuchungszeitpunkt (n=42)

**körperliche Aktivität**

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	überdurchschnittlich	29	25,7	69,0	69,0
	mittel	11	9,7	26,2	95,2
	gering	2	1,8	4,8	100,0
	Gesamt	42	37,2	100,0	
Fehlend	System	71	62,8		
Gesamt		113	100,0		

Tabelle 14 Körperliche Aktivität zum Nachuntersuchungszeitpunkt (n=42)

#### 4.6.4 Revisionseingriffe

Bei 44 Patient\_innen der Follow-up-Gruppe (n=65) konnte herausgefunden werden, ob ein Revisionseingriff nötig wurde, bei 15,9% davon wurde eine Revisionsoperation vorgenommen. Innerhalb der Gruppe Lost to follow-up und der Gruppe der Verstorbenen (n=48) konnte anhand der Arztbriefe die Häufigkeit eines Revisionseingriffes bei fünf (10,4%) Patient\_innen beobachtet werden. Auf alle Patient\_innen (n=113) gerechnet ergibt sich eine Häufigkeit von mindestens 10,6%.

Bei sieben Patient\_innen (58,3%) war die Ursache für die Durchführung eines Revisionseingriffes das Auftreten einer Anschlussfraktur, die entweder nur mit einer Kyphoplastie versorgt wurde oder eine komplette beziehungsweise anteilige Materialentfernung mit oder ohne anschließender Reinstrumentierung nach sich zog. Ein Patient erlitt eine Folgefraktur des siebten Brustwirbelkörpers, die mittels

Hybridstabilisierung versorgt und an die bestehende Instrumentierung angeschlossen wurde. Bei drei Patient\_innen (25%) kam es zu einem Materialversagen mit Schrauben Cut-Out oder Dislokation, das zu einer Materialentfernung mit oder ohne anschließender Reinstrumentierung führte. Ein Patient erlitt einen Korrekturverlust, der mit einer Materialentfernung und anschließender verlängerter Reinstrumentierung versorgt wurde. Die folgende Tabelle 15 bietet eine Übersicht über die Ursachen für die Revisionseingriffe und die jeweils durchgeführten Operationsverfahren.

<b>Ursache</b>	<b>Operationsverfahren</b>	<b>Anzahl</b>
Anschlussfraktur(en)	Kyphoplastie der Anschlussfraktur(en)	3
	komplette/anteilige Materialentfernung und Reinstrumentierung mit Verlängerung	3
	komplette Materialentfernung ohne Reinstrumentierung	1
Folgefraktur	Verlängerung der Instrumentierung	1
Schrauben Cut-Out oder Dislokation	komplette/anteilige Materialentfernung und Reinstrumentierung mit Verlängerung	2
	komplette/anteilige Materialentfernung ohne Reinstrumentierung	1
Korrekturverlust	komplette Materialentfernung und Reinstrumentierung mit Verlängerung	1

Tabelle 15 Ursachen für den Revisionseingriff mit zugehörigem Operationsverfahren, n=12

#### **4.6.5 Anschluss- und Folgefrakturen**

Bei 50 Patient\_innen der Follow-up-Gruppe konnte das Auftreten einer Folge- oder Anschlussfraktur evaluiert werden. Es ergab sich bei acht (16%) Patient\_innen eine Folgefraktur, wobei es sich bei fünf (10%) davon um eine Anschlussfraktur handelte. Innerhalb der Gruppe Lost to follow-up und der Gruppe der Verstorbenen konnte anhand der Arztbriefe das Auftreten einer Folgefraktur bei sieben (14,6%) Patient\_innen beobachtet werden, hier handelte es sich bei zwei (4,2%) Frakturen um Anschlussfrakturen. Auf alle Patient\_innen (n=113) bezogen ergibt sich somit eine Häufigkeit von mindestens 13,3% für Folgefrakturen, wobei etwa die Hälfte (6,2%) davon Anschlussfrakturen sind.

#### 4.6.6 Röntgenologische Ergebnisse

Es konnten von 110 Patient\_innen postoperative und von 59 Patient\_innen aktuelle Röntgenbilder ausgewertet werden. Als aktuelle Aufnahmen wurden Bilder definiert, die mindestens 6 Monate nach der Operation angefertigt wurden. Von diesen 59 Patient\_innen sind zwei bereits verstorben, zwölf gehören der Gruppe Lost to follow-up (n=27) an und 45 sind Teil der Follow-up-Gruppe (n=69). Der zeitliche Abstand zwischen der Operation und der Anfertigung des aktuellen Röntgenbildes lag durchschnittlich bei 39 Monaten (SD=19,3 Monate). Abhängig vom Abstand zwischen Operationsdatum und Anfertigung der aktuellsten Röntgenaufnahme wurden die Patient\_innen in verschiedene Gruppen eingeteilt. Etwa 80% der Röntgenbilder wurden in einem Abstand von mehr als 23 Monaten angefertigt, wie die folgende Abbildung 28 darstellt.

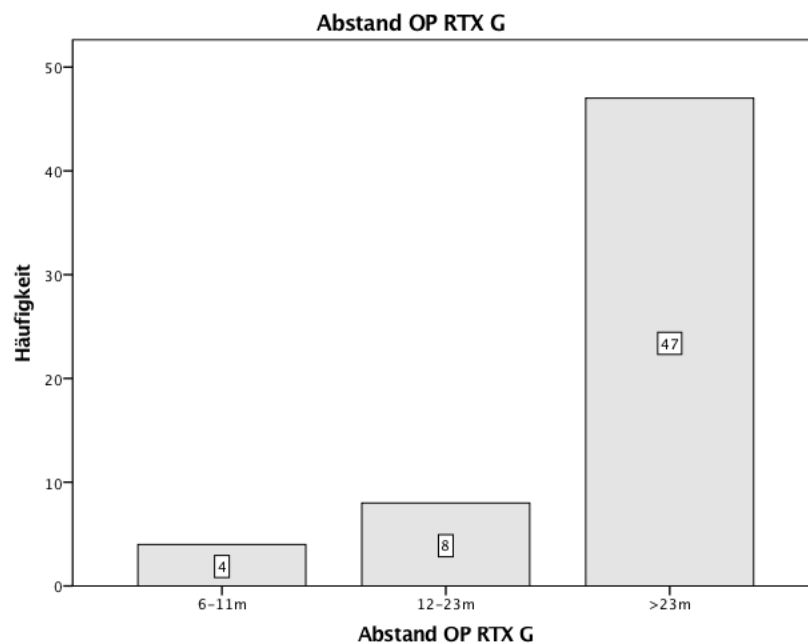


Abbildung 28 Zeitlicher Abstand zwischen Operationsdatum und Anfertigung des aktuellen Röntgenbildes in Monaten mit absoluten Häufigkeiten (n=59)

##### 4.6.6.1 Wirbelkörpervorderkanten- und –hinterkantenhöhe

Postoperativ (n=110) betrug die relative Wirbelkörpervorderkantenhöhe (VKH) des frakturierten Wirbelkörpers durchschnittlich 0,9 (SD=0,13), die relative Wirbelkörperhinterkantenhöhe (HKH) hatte einen Mittelwert von 0,9 (SD=0,08). Bei den aktuellen Bildern ergab sich eine durchschnittliche relative VKH von 0,9 (SD=0,16) und eine relative HKH von 0,9 (SD=0,1). Vergleicht man die

postoperativen mit den aktuellen Werten, zeigt sich, dass weder die relative VKH ( $p=0,166$ ) noch die relative HKH ( $p=0,156$ ) signifikant abgenommen haben. Der Becks Index betrug postoperativ ( $n=110$ ) durchschnittlich 94,4% ( $SD=10,0\%$ ) und bei den aktuellen Röntgenbildern ( $n=59$ ) im Mittel 91,7% ( $SD=12,7\%$ ). Zwischen den Verteilungen der Werte zu den unterschiedlichen Erhebungszeitpunkten ergibt sich kein signifikanter Unterschied ( $p=0,072$ ).

#### **4.6.6.2 Bisegmentaler und regionaler sagittaler Cobb-Winkel**

Für den TLÜ konnten 94 postoperative und 50 aktuelle Röntgenbilder ausgewertet werden. Es ergeben sich folgende (Tabelle 16) Mittelwerte für die verschiedenen Aufnahmezeitpunkte.

Aufnahmezeitpunkt	Bisegmentaler sagittaler Cobb		Regionaler sagittaler Cobb	
	M	SD	M	SD
postoperativ (n=94)	0,9°	8,8°	-2,6°	4,0°
aktuell (n=50)	-8,9°	11,1°	-4,2°	4,5°
Repositionsverlust (n=50)	9,0°	6,2°	1,6°	3,2°

Tabelle 16 Mittelwerte des bisegmentalen und regionalen sagittalen Cobb-Winkels in den postoperativen ( $n=94$ ) und aktuellen ( $n=50$ ) Röntgenaufnahmen bei Frakturen des TLÜ; Cobb: Cobb-Winkel, M: Mittelwert, SD: Standardabweichung

Vergleicht man die Mittelwerte der postoperativen und aktuellen Röntgenaufnahmen ( $n=50$ ) miteinander, zeigt sich sowohl für den bisegmentalen ( $p<0,01$ ) als auch für den regionalen ( $p<0,01$ ) sagittalen Cobb-Winkel eine signifikante Abnahme im Sinne einer Kyphosierung.

Im Bereich der unteren LWS konnten 14 postoperative und sieben aktuelle Röntgenbilder zur Auswertung verwendet werden.

Aufnahmezeitpunkt	Bisegmentaler sagittaler Cobb		Regionaler sagittaler Cobb	
	M	SD	M	SD
postoperativ (n=14)	21,6°	8,3°	0,4°	2,8°
aktuell (n=7)	16,4°	6,8°	0,6°	3,5°
Repositionsverlust (n=7)	3,0°	2,2°	0,9°	3,5°

Tabelle 17 Mittelwerte des bisegmentalen und regionalen sagittalen Cobb-Winkels in den postoperativen ( $n=14$ ) und aktuellen ( $n=7$ ) Röntgenaufnahmen bei Frakturen der LWS; Cobb: Cobb-Winkel, M: Mittelwert, SD: Standardabweichung

Ein Vergleich der zentralen Tendenzen ergibt, dass sich der bisegmentale sagittale Cobb-Winkel signifikant verändert hat ( $p=0,016$ ), während die



Veränderung des regionalen sagittalen Cobb-Winkels keine Signifikanz aufweist (p=0,719)

#### 4.6.6.3 Spinopelvine Parameter

Die spinopelvinen Parameter konnten bei 30 Patient\_innen erhoben werden. Die folgende Tabelle 18 bietet eine Übersicht der jeweiligen Werte und gibt auch die physiologischen Normbereiche wider.

Parameter	Mittelwert	SD	Minimum	Maximum	Normbereich
Lumbale Lordose	40,8°	12,2°	10°	67°	20°- 70°
Thorakale Kyphose	53,9°	12,7°	75°	32°	20°- 50°
Pelvic Tilt	21,1°	8,1°	7°	38°	7°- 20°
Sacral Slope	39,1°	13,6°	21°	68°	32°- 51°
Pelvic Incidence	61,3°	16,4°	34°	96°	-

Tabelle 18 Spinopelvine Parameter (n=30) und die jeweiligen Normbereiche, SD: Standardabweichung

Es zeigt sich, dass die Lumbale Lordose und der Sacral Slope innerhalb des jeweiligen Normbereiches liegen, während die Thorakale Kyphose etwas stärker (~3,9°) ausgeprägt ist als es physiologischer Weise der Fall ist und auch der Pelvic Tilt leicht oberhalb (~1,1°) des zugehörigen Grenzwertes liegt.

Da es sich bei der Pelvic Incidence (PI) um eine individuelle Konstante handelt (vgl. 1.6.3), existieren entsprechend keine Normwerte. Die errechnete PI, die sich als Summe aus gemessener PT und SS errechnen lässt, lag durchschnittlich bei 60,2° (SD=16,3°). Zwischen den Werten der gemessenen und der errechneten PI konnte keine signifikante Abweichung festgestellt werden (p=0,073). Das deutet darauf hin, dass die gemessenen Werte plausibel sind.

Das C7-Lot konnte bei 28 Patient\_innen gemessen werden. Bei zwölf Patient\_innen wurde eine positive (SVA > 50mm) und bei 16 eine negative sagittale Balance festgestellt werden. Bei 20 Patient\_innen lag eine Kompensation und bei acht eine Dekompensation der sagittalen Balance vor. Alle Patient\_innen (n=16) mit negativer sagittaler Balance zeigten eine Kompensation.

Zwischen der PI und der LL (n=28) ergibt sich eine mittlere Differenz von 21,4° (SD=16,4°). Diese Differenz weicht signifikant von dem Wert 9° ab (p=0,01), der als optimale maximale Differenz beschrieben ist (vgl. 1.6.3, Schwab et al. [73]).

## 4.7 Follow-up Gruppe vs. Lost to follow-up

### 4.7.1 Demographische Daten

Vergleicht man die Mittelwerte der Altersverteilung zum Operationszeitpunkt von Follow-up und Lost to follow-up-Gruppe miteinander, ergibt sich kein signifikanter Unterschied ( $p=0.19$ ).

Während in der Follow-up-Gruppe die männlichen Patienten etwa ein Drittel ausmachen (35,4%), sind es in der Lost to follow-up-Gruppe nur ein Viertel (25%).

### 4.7.2 Medizinische Daten

In der Gruppe Lost to follow-up zeigt sich mit 68,8% ein vermehrtes Auftreten arterieller Hypertonie (HT) im Vergleich zur Follow-up-Gruppe mit 60%. Diabetes mellitus (DM) hingegen hat in der Follow-up-Gruppe eine etwas höhere Prävalenz (32,3%) als in der Lost to follow-up-Gruppe (28,1%). Eine Übersicht des Auftretens der verschiedenen Nebendiagnosen innerhalb der beiden Gruppen bietet die folgende Tabelle 19.

	Follow-up (n=65)	Lost to follow-up (n=32)
Arterielle Hypertonie	39 (60,0%)	22 (68,8%)
Diabetes mellitus Typ II	21 (32,3%)	9 (28,1%)
Herzinsuffizienz	3 (4,6%)	0 (0%)
Chronisch-obstruktive Lungenerkrankung	2 (3,1%)	1 (3,1%)
Rheumatoide Arthritis	1 (1,5%)	2 (6,3%)

Tabelle 19 Häufigkeit der verschiedenen Nebendiagnosen innerhalb der Gruppen Lost to follow-up (n=32) und Follow-up (n=65), absolute Häufigkeiten und prozentualer Anteil der Gesamtzahl an der jeweiligen Gruppe in Klammern

### 4.7.3 Frakturcharakteristika

Vergleicht man die Häufigkeiten der unterschiedlichen Unfallhergänge miteinander, zeigt sich, dass in der Lost to follow-up mehr Patient\_innen ein leichtes Trauma (28,1%) erlitten haben als in der Follow-up-Gruppe (7,7%). Innerhalb der Follow-up-Gruppe erlitt der größte Anteil (73,9%) ein mittelschweres Trauma.

Das folgende Balkendiagramme (Abbildung 29) gibt die Verteilung nach der OF-Klassifikation innerhalb der Gruppen Lost to follow-up und Follow-up wider. Es zeigt sich, dass die Patient\_innen der Lost to follow-up-Gruppe im Vergleich zur

Follow-up-Gruppe tendenziell weniger schwerwiegende Frakturformen erlitten haben.

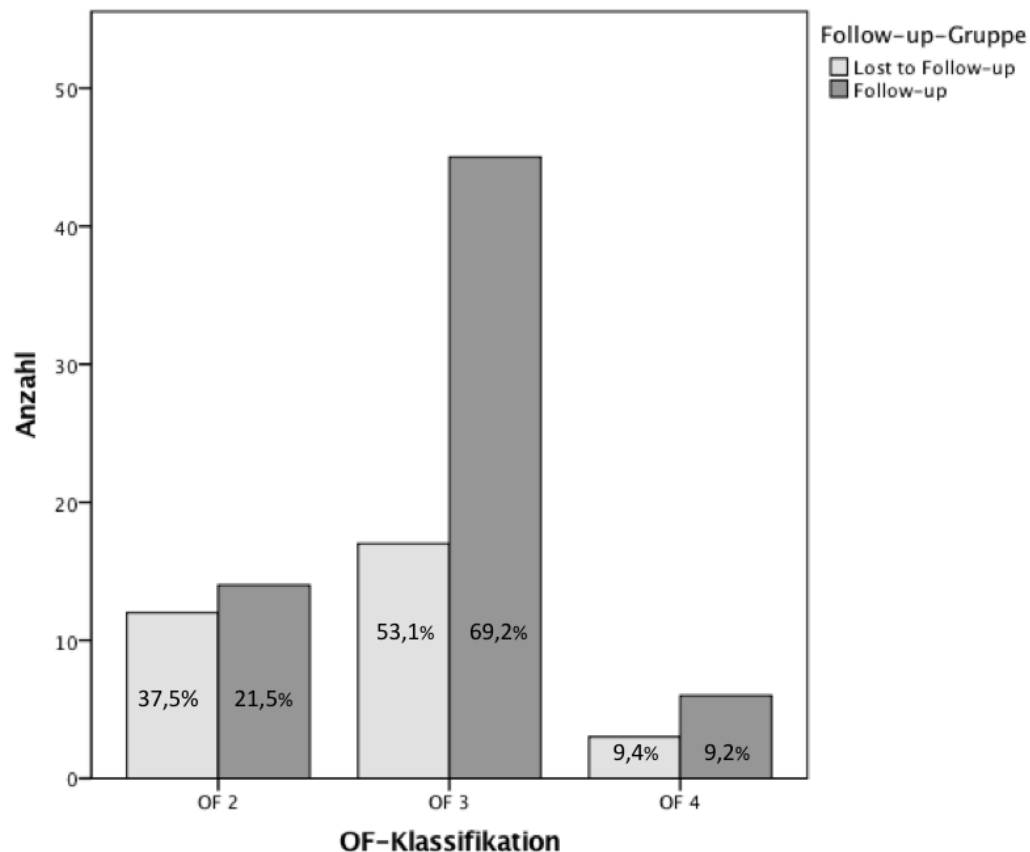


Abbildung 29 Einteilung anhand der OF-Klassifikation, Follow-up (n=65) und Lost to follow-up-Gruppe (n=32) im Vergleich

### 4.7.4 Operationscharakteristika

Die durchschnittliche Operationsdauer ist innerhalb beider Gruppen sehr ähnlich und zeigt keinen signifikanten Unterschied ( $p=0,74$ ).

Ein Zementaustritt trat in der Follow-up-Gruppe bei sieben (10,8%) und in der Lost to follow-up-Gruppe bei zwei Patient\_innen (6,2%) auf.

## 4.8 Zusammenhänge

### 4.8.1 Zusammenhänge der verschiedenen Fragebögen untereinander

Die folgende Tabelle gibt die Korrelationen zwischen den Ergebnissen der verschiedenen Fragebögen wider, wobei die Effektstärke nach Cohen (mittel oder

stark) sowie die Richtung des Zusammenhanges (positiv oder negativ) aufgeführt sind.

	ODI	NRS_S	NRS_T	ksk	psk
ODI	-	stark positiv**	mittel negativ**	stark negativ**	stark negativ**
NRS_S	-	-	keine Korrelation	stark negativ**	stark negativ**
NRS_T	-	-	-	stark positiv**	keine Korrelation

Tabelle 20 Zusammenhänge zwischen den Ergebnissen der verschiedenen Fragebögen berechnet mithilfe der Rangkorrelationsanalyse nach Spearman; Effektstärke angegeben in mittel ( $0,3 \geq r_s < 0,5$ ) oder stark ( $r_s > 0,5$ ); Richtung des Zusammenhanges angegeben als positiv ( $r_s > 0$ ) oder negativ ( $r_s < 0$ ); die mit \*\*-markierten Werte zeigen eine signifikante Korrelation ( $p < 0,01$ ); ksk: körperliche Summenskala (SF-36); psk: psychische Summenskala (SF-36); NRS\_S: numerische Rating-Skala „Schmerz“; NRS\_T: numerische Rating-Skala „Therapiezufriedenheit“

#### 4.8.2 Zusammenhänge der radiologische Ergebnisse untereinander

Der aktuelle bisegmentale sagittale Cobb-Winkel korreliert signifikant mit dem Sacral Slope ( $r_s=0,466$ ,  $p=0,009$ ,  $n=30$ ). Es handelt sich dabei um einen mittleren Effekt nach Cohen.

Die Lumbale Lordose korreliert signifikant mit dem Sacral Slope ( $r_s=0,427$ ,  $p=0,018$ ,  $n=30$ ). Es handelt sich um einen mittleren Effekt nach Cohen.

#### 4.8.3 Zusammenhänge zwischen den Ergebnissen der Fragebögen und den radiologische Ergebnissen

Die Ergebnisse im ODI-Fragebogen korrelieren signifikant reziprok mit der lumbalen Lordose ( $r_s=-0,396$ ,  $p=0,041$ ,  $n=27$ ). Es handelt sich dabei um einen mittleren Effekt nach Cohen. Patient\_innen, die eine stärkere Lendenlordose bzw. eine geringere Kyphosierung der LWS aufweisen, fühlen sich tendenziell weniger eingeschränkt im Alltag.

Die Ergebnisse der numerischen Rating-Skala „Schmerz“ korrelieren signifikant reziprok mit der lumbalen Lordose ( $r_s=-0,392$ ,  $p=0,039$ ,  $n=27$ ). Es handelt sich dabei um einen mittleren Effekt nach Cohen. Patient\_innen, die eine stärkere Lendenlordose bzw. eine geringere Kyphosierung der LWS aufweisen, geben tendenziell an, unter weniger Schmerzen zu leiden.

#### 4.8.4 Zusammenhänge zwischen den Ergebnissen der Fragebögen und den funktionellen Ergebnissen

Das Maß der Behinderung anhand des ODI-Fragebogens korreliert signifikant mit der angegebenen Mobilisation ( $r_s=0,38$ ,  $p=0,027$ ,  $n=34$ ). Es handelt sich dabei um einen mittleren Effekt nach Cohen. Eine Übersicht bietet die folgende Kreuztabelle (Abbildung 30).

**Maß der Behinderung \* Mobilisation Kreuztabelle**

Anzahl

		Mobilisation			Gesamt
		ohne Hilfsmittel	Gehstock	Rollator	
Maß der Behinderung	leicht	17	0	0	17
	mäßig	6	2	0	8
	stark	7	0	1	8
	invalidisierend	0	0	1	1
Gesamt		30	2	2	34

Abbildung 30 Kreuztabelle zum Maß der Behinderung anhand des ODI-Fragebogens und der Mobilisation,  $n=34$

Das Maß der Behinderung anhand des ODI-Fragebogens korreliert signifikant mit der angegebenen körperlichen Aktivität ( $r_s=0,419$ ,  $p=0,014$ ,  $n=34$ ). Es handelt sich dabei um einen mittleren Effekt nach Cohen. Eine Übersicht bietet die folgende Kreuztabelle (Abbildung 31).

**Maß der Behinderung \* körperliche Aktivität Kreuztabelle**

Anzahl

		körperliche Aktivität			Gesamt
		überdurchschnittlich	mittel	gering	
Maß der Behinderung	leicht	15	2	0	17
	mäßig	6	2	0	8
	stark	4	3	1	8
	invalidisierend	0	1	0	1
Gesamt		25	8	1	34

Abbildung 31 Kreuztabelle zum Maß der Behinderung anhand des ODI-Fragebogens und der körperlichen Aktivität,  $n=34$

#### 4.8.5 Weitere Zusammenhänge

Der Schweregrad der Fraktur nach OF-Klassifikation korreliert signifikant mit der Schwere des Unfallherganges ( $r_s=0,341$ ,  $p=0,001$ ,  $n=90$ ). Es handelt sich dabei um einen mittleren Effekt nach Cohen.

Es ergibt sich ein signifikanter Unterschied in der Häufigkeit des Auftretens einer Folgefraktur, wenn man die Patient\_innen mit und ohne Osteoporose vergleicht ( $p=0,023$ ,  $n=53$ ).

Es ergibt sich kein signifikanter Unterschied in der Häufigkeit des Auftretens einer Folgefraktur, wenn man die Patient\_innen, die eine antiosteoporotische Therapie erhalten haben mit denen vergleicht, die keine Therapie erhalten haben ( $p=0,753$ ,  $n=53$ ).

Es ergibt sich kein signifikanter Unterschied in Bezug auf die verschiedenen Maße der Behinderung anhand der Ergebnisse aus dem ODI-Fragebogen, wenn man die Patient\_innen, bei denen eine Osteoporose diagnostiziert wurde, mit denen vergleicht, bei denen keine Osteoporose diagnostiziert wurde ( $p=0,722$ ,  $n=46$ ).

Es ergibt sich kein signifikanter Unterschied in Bezug auf die verschiedenen Maße der Behinderung anhand der Ergebnisse aus dem ODI-Fragebogen, wenn man die Patient\_innen, die eine antiosteoporotische Therapie erhalten haben, mit denen vergleicht, die keine Therapie erhalten haben ( $p=0,252$ ,  $n=47$ ).

## 5 Diskussion

### 5.1 Zusammenfassung der Hauptergebnisse

Mit dieser retrospektiven klinischen Studie konnten mittelfristige radiologische und klinische Ergebnisse nach Hybridstabilisierung bei Wirbelkörperfrakturen des thorakolumbalen Überganges erhoben werden.

Insgesamt konnten die Daten von 113 Patient\_innen verwendet werden, wobei 72 weiblich und 41 männlich waren. Das durchschnittliche Alter zum Operationszeitpunkt lag bei 75 Jahren (Altersspanne=61-98 Jahre). 59 Patient\_innen (52%) konnten nach einer durchschnittlichen Zeit von 39 Monaten nachuntersucht werden, 16 Patient\_innen (14%) verstarben während des Nachuntersuchungsintervalls. Die Operationsdauer lag durchschnittlich bei 96 Minuten (+/- 35 Minuten). Bei 5 Patient\_innen (4%) wurde von postoperativen Komplikationen berichtet, wobei es sich um Wundheilungsstörungen (n=3), eine Pneumonie (n=1) und ein Konus-Kauda-Syndrom (n=1) handelte.

Von den 52 Patient\_innen, bei denen eine Osteoporose diagnostiziert wurde, erhielten nur 60% eine antiosteoporotische Therapie. Mindestens 14 Patient\_innen (12%) erlitten nach der Operation eine weitere Wirbelkörperfraktur, wobei es sich bei 7 (6%) davon um Anschlussfrakturen handelte. Die Ergebnisse aus dem ODI-Fragebogen lagen durchschnittlich bei 30% (+/-20%). Im Bereich des thorakolumbalen Übergang konnte sowohl für den bisegmentalen als auch für den regionalen sagittalen Cobb-Winkel zwischen den postoperativen und den aktuellen Röntgenaufnahmen eine signifikante Abnahme im Sinne einer Kyphosierung beobachtet werden ( $p < 0,01$ ,  $n=50$ ). Es zeigten sich signifikante Korrelationen zwischen den Ergebnissen im ODI-Fragebogen und der lumbalen Lordose ( $r_s = -0,396$ ,  $p=0,041$ ,  $n=27$ ), den Ergebnissen der numerischen Rating-Skala „Schmerz“ und der lumbalen Lordose ( $r_s = -0,392$ ,  $p=0,039$ ,  $n=27$ ) sowie dem Schweregrad der Fraktur nach OF-Klassifikation und der Schwere des Unfallherganges ( $r_s = 0,341$ ,  $p=0,001$ ,  $n=90$ ).

### 5.2 Diskussion der Methoden

#### 5.2.1 Studiendesign

Die Arbeit ist in Form einer retrospektiven klinischen Studie durchgeführt worden, bei der die Patient\_innen zu einer Nachkontrolle eingeladen wurden. Von den anfänglich Kontaktierten nahmen 58% an der Befragung teil, nur 23% erschienen auch zur Nachuntersuchung in der Klinik. Bei telefonischer Nachfrage zeigte sich, dass die Entfernung zum Krankenhaus oder die körperlichen und finanziellen Einschränkungen im Alter für viele ein Grund war, sich gegen eine Teilnahme in der Klinik zu entscheiden. Außerdem war es in einigen Fällen nicht mehr möglich, die aktuellen Adressen oder Telefonnummern der Betroffenen ausfindig zu machen. Viele andere Autoren [61], [67]–[69], [77] konzipierten ihre Studien als prospektive Arbeiten und erhielten gleichzeitig eine deutlich höhere Quote an Nachuntersuchten. Ein prospektives Studiendesign, bei dem die Patient\_innen direkt nach der Operation zur Teilnahme an einer Studie mit festgelegten Nachuntersuchungszeitpunkten eingeladen und detailliert aufgeklärt würden, könnte die Zahl der Teilnehmenden erhöhen. Außerdem wäre dadurch gewährleistet, dass die Abstände, in denen die radiologischen Nachkontrollen erfolgten, innerhalb der Studie vergleichbarer wären.

#### 5.2.2 Fragebögen

Die Patient\_innen erhielten zur Evaluation verschiedene Fragebögen: die numerische Rating-Skala für Schmerz und Therapiezufriedenheit, den Short Form (36) Gesundheitsfragebogen sowie den Oswestry Disability Index. In anderen Studien ist anstatt von der NRS häufig von der „Visuellen Analog Skala“ (VAS) die Rede, bei der die Patient\_innen auf einer Linie, die zwischen „kein Schmerz“ und „schlimmster vorstellbarer Schmerz“ verläuft, eine Markierung setzen. Die Transformation in einen Zahlenwert erfolgt analog der NRS, außer dass sich bei der VAS auch Dezimalzahlwerte ergeben können. Teilweise wirkt es jedoch so, als hätten einige Autoren die beiden Skalen synonym verwendet bzw. miteinander verwechselt. Beispielsweise beschreiben sowohl Fuentes et al. [68] als auch Korovessis et al. [61], dass sie zur Erhebung der VAS eine 10-Punkte-Skala verwenden oder sie erhalten ausschließlich natürliche Zahlen als Ergebnis, was dafürsprechen könnte, dass sie zwar darüber berichten, die VAS verwendet zu



haben, jedoch eigentlich eine NRS angewandt haben. Um diese Zusammenhänge zu vereinfachen und eine bessere Vergleichbarkeit zu gewährleisten, werden die beiden Verfahren im Folgenden als NRS bezeichnet. Sowohl die numerische Rating-Skala für Schmerz [58], [60], [94]–[99] als auch der Oswestry Disability Index [96]–[101] und der Short Form (36) Gesundheitsfragebogen [98], [102]–[104] stellen bei klinischen Studien ein häufig verwendetes Item dar. Nichtsdestotrotz beziehen sich die Fragebögen auf den allgemeinen Gesundheits- bzw. Schmerzzustand des Betroffenen, sodass ein Rückschluss auf die Operation nicht eindeutig erfolgen kann. Eine weitere Problematik stellt das Verständnis der Fragebögen dar. Obwohl es sich um standardisierte Items handelt, deren Anweisungen eindeutig sein sollten, haben einige der Befragten am Ende des Fragebogens Unklarheiten vermerkt oder bei der jeweiligen Frage angegeben, wie ihre Antwort gemeint sei. Es wäre sicherlich sinnvoller, wenn die Patient\_innen die Fragebögen im Rahmen der Nachuntersuchung ausfüllen würden, sodass mögliche offene Fragen direkt geklärt werden könnten und damit einem Verfälschen der Ergebnisse vorgebeugt werden könnte. Die NRS „Therapiezufriedenheit“ ist von keinem der anderen Autoren angewandt worden und scheint auch allgemein kein häufig verwendetes Item darzustellen. Nichtsdestotrotz bietet dieser Fragebogen als einziger eine direkte Zuordnung zum untersuchten Operationsverfahren, während die anderen Fragebögen den Allgemeinzustand der Betroffenen abbilden, der durch viele andere Variablen beeinflusst werden kann. Beispielsweise konnte bei den fünf Patientinnen mit den schlechtesten Ergebnissen im ODI-Fragebogen herausgefunden werden, dass sie teilweise unter erheblichen Begleiterkrankungen litten, die unter Umständen ebenfalls zu dem schlechten klinischen Outcome beigetragen haben könnten.

### 5.2.3 Röntgenologische Parameter

Im Rahmen dieser Studie wurde die sagittale Balance mithilfe der Parameter Pelvic Tilt, Sacral Slope, Pelvic Incidence, der thorakalen Kyphose und der lumbalen Lordose beurteilt, während die regionalen Veränderungen mithilfe des bisegmentalen bzw. des regionalen sagittalen Cobb-Winkels sowie der relativen Wirbelkörpervorder- und hinterkantenhöhe erfasst wurden. Die röntgenologischen Ergebnisse wurden zum Nachuntersuchungszeitpunkt erhoben und mit postoperativen Bildern verglichen. Da für die Auswertung der sagittalen Balance

die Anfertigung einer seitlichen Wirbelsäulengesamtaufnahme im Stehen notwendig ist, ließen sich für diese Parameter nur in wenigen Fällen postoperative Vergleichsbilder finden. Die Parameter zur Beurteilung der sagittalen Balance wurden bereits in mehreren Veröffentlichungen diskutiert und sind als Richtwerte etabliert [71], [73], [75], [76]. Von den übrigen Autoren, die sich mit der Hybridstabilisierung im Rahmen von Studien beschäftigen, werden unterschiedliche Parameter zur Beurteilung der lokalen Veränderungen verwendet. Der „wedge angle“ ist gleichbedeutend mit dem regionalen sagittalen Cobb-Winkel, während der „Cobb angle“ dem bisegmentalen sagittalen Cobb-Winkel entspricht. Der „Garnder angle“ beschreibt den Winkel, den die Bodenplatte des frakturierten Wirbelkörpers mit der Deckplatte des kranial gelegenen Wirbelkörpers bildet [86]. Eine Übersicht der Röntgenparameter, die von den übrigen Autoren verwendet wurden, bietet die folgende Tabelle 21.

Studie Rubrik	Diese Studie	Verlaan et al. [69][70]	Rahamimov et al. [66]	Fuentes et al. [68]	Korovessis et al. [61]	He et al. [67]	Spiegel et al. [77]
Veröffentlichung		2015	2012	2010	2008	2013	2012
Becks Index	x			x			
AVBC %		x			x		
Wedge angle	x	x		x		x	
Cobb angle	x	x					x
Gardner angle			x		x		

Tabelle 21 Übersicht der verwendeten Röntgenparameter der anderen Veröffentlichungen zum Thema Hybridstabilisierung, AVBC%: Anterior Vertebral Compression Percentage

Es ist auffällig, dass die verschiedenen Autoren unterschiedliche Winkel verwenden, wodurch die Vergleichbarkeit der Studien untereinander erschwert wird. Diese Problematik wurde von Sadiqi et al. [86] in ihrer Veröffentlichung von 2017 ebenfalls dargestellt. Sie sind der Meinung, dass es sinnvoll wäre, wenn die zukünftigen Studien im Bereich der Wirbelsäulen Chirurgie die gleichen Parameter zur Beurteilung lokaler Veränderungen verwenden würden. Die sagittale Balance hat keiner der übrigen Autoren berücksichtigt, sodass ein Vergleich nicht möglich ist. Darüber hinaus existierten von den Patient\_innen dieses Studienkollektivs keine postoperativen Röntgenbilder, anhand derer sich die sagittale Balance hätte bestimmen lassen können, wodurch mögliche Veränderungen während des Nachuntersuchungszeitraumes nicht detektiert werden können. Somit stellt sich

die Frage, inwiefern eine Erhebung dieser Parameter sinnvoll gewesen ist. Andererseits zeigen sich insbesondere bei diesen Werten signifikante Korrelationen zu den klinischen Ergebnissen, sodass ihre Berücksichtigung durchaus interessant gewesen ist. Die Bedeutung der sagittalen Balance und die routinemäßige Erhebung der zugehörigen Parameter hat erst in den letzten Jahren Einzug in die moderne Wirbelsäulen Chirurgie gefunden. Heutzutage steht fest, dass die spinopelvinen Parameter bei der Planung von Operationen und der Evaluation des Outcomes sehr wichtig sind [71] und daher zukünftig höchstwahrscheinlich auch bei der Durchführung klinischer Studien Berücksichtigung finden werden.

### 5.3 Diskussion der Ergebnisse

#### 5.3.1 Frakturcharakteristika

In dieser Studie bezogen sich die Frakturen auf den Bereich zwischen BWK 10 und LWK 4, wobei sich die meisten Frakturen (42%) im ersten Lendenwirbelkörper manifestierten. Die Frakturhöhe lag bei den anderen Studien zwischen BWK 6 und LWK 4 [66], wobei bei fast allen Studien [61], [66]–[69] die Fraktur am häufigsten ebenfalls im ersten Lendenwirbelkörper auftrat.

In dieser Studie wurden die Frakturformen primär nach dem AOSpine TLICS und der OF-Klassifikation eingeteilt. Da die übrigen Autoren jedoch mit der Klassifikation nach Magerl gearbeitet haben, wird im Folgenden auf diese eingegangen werden. In diese Studie wurden alle Frakturen vom Typ A nach Magerl und ein Patient mit einer Fraktur vom Typ B1.2 nach Magerl inkludiert. Die Frakturform wurde von vielen Autoren als Einschlusskriterium definiert. Zwei Studien [67], [68] inkludierten ausschließlich Frakturen vom Typ A3 nach Magerl, Spiegl et al. [77] betrachteten ausschließlich Frakturen der Untergruppe A3.1 nach Magerl, während Korovessis et al. [61] die Frakturformen A2 und A3 nach Magerl berücksichtigten und Rahamimov et al. [66] Frakturen von A1.3 bis B1.2 nach Magerl einschlossen. Verlaan et al. [69] berücksichtigten Frakturen vom Typ A3 nach Magerl und einen Patienten mit einer Fraktur vom Typ B2.3 nach Magerl. Es fällt auf, dass nur wenige der übrigen Autoren leichtere Frakturgrade, wie A1 nach Magerl, eingeschlossen haben. Das könnte daran liegen, dass diese vergleichsweise leichten Frakturgrade überwiegend konservativ versorgt werden

und falls sich eine Operationsindikation ergeben sollte, zunächst eine Kyphoplastie in Erwägung gezogen werden würde.

Eine Einteilung der Frakturen nach der neuen OF-Klassifikation ist von den anderen Autoren leider noch nicht vorgenommen worden. Es ergibt sich eine signifikante Korrelation zwischen dem Schweregrad der Fraktur nach OF-Klassifikation und der Schwere des Unfallhergangs. Dieser Zusammenhang erscheint plausibel, es lassen sich jedoch in der Literatur keine vergleichbaren Arbeiten dazu finden, da die OF-Klassifikation erst 2015 veröffentlicht wurde [42] und zuvor nur als „Meeting Abstract“ des deutschen Kongresses für Orthopädie und Unfallchirurgie von 2013 existierte [41]. Mittlerweile wird die Verwendung dieser neuen Klassifikation im klinischen Alltag jedoch empfohlen und es werden Therapieempfehlung anhand ihrer Schweregrade formuliert [105].

### **5.3.2 Osteoporose und antiosteoporotische Therapie**

Bei 52 Patient\_innen dieser Studie konnte das Vorliegen einer Osteoporose nachgewiesen werden. Von diesen Betroffenen erhielten 60% postoperativ eine antiosteoporotische Therapie mit Vitamin D, Bisphosphonaten oder einer anderen spezifischen Medikation. Unter dem Umstand, dass es bei allen Patient\_innen bereits zu einer osteoporotischen Fraktur gekommen ist, die einer operativen Versorgung bedurfte, ist eine Therapierate von 60% sehr gering. Nach den Leitlinien der DVO [27] bestünde bei allen 52 Patient\_innen die Indikation zur Einleitung einer antiosteoporotischen Therapie, insbesondere um weiteren Frakturen vorzubeugen. Darüber hinaus wurde bei allen Operierten als Empfehlung im Arztbrief der Beginn einer antiosteoporotischen Therapie und/oder die Durchführung einer Knochendichtemessung vermerkt.

Auch andere Autoren haben bereits kritisiert, dass viele Menschen, die von Osteoporose betroffen sind, keine adäquate Therapie erhalten [106]–[108]. Häussler et al. [106] untersuchten in ihrer Arbeit von 2007 die Epidemiologie und Behandlungsraten von Osteoporose in Deutschland. Sie stellten fest, dass von den 7,8 Millionen von Osteoporose Betroffenen nur 21,7% adäquat antiosteoporotisch behandelt wurden. Insbesondere bei Patient\_innen, die wegen einer osteoporotisch imponierenden Fraktur versorgt werden, sollte eine ordnungsgemäße Diagnostik durchgeführt und eine antiosteoporotische Therapie

bereits im Krankenhaus begonnen und nicht bloß empfohlen werden. Das wäre eine Möglichkeit, diesem Missstand entgegenzuwirken.

### **5.3.3 Ergebnisse der Fragebögen**

Bei der Auswertung der Fragebögen fällt auf, dass ein Großteil der Patient\_innen relativ zufrieden mit der Therapie zu sein scheint und die Funktionalität im Alltag überwiegend gut erhalten ist. Einige Patientinnen geben jedoch an, ein invalidisierendes Maß an alltäglichen Einschränkungen zu erfahren. Bei diesen Patientinnen lassen sich jedoch auch mögliche andere Ursachen für die schlechten klinischen Ergebnisse detektieren, sodass eine Korrelation zu der Operation nicht eindeutig ist. Drei dieser Patient\_innen erlitten im Anschluss an die Operationen mehrere Folgefrakturen, eine Patientin wies nebenbefundlich ein chronisches Schmerzsyndrom auf und eine andere Patientin war an einem Parkinson-Syndrom erkrankt.

#### **5.3.3.1 Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Fragebögen**

Die Ergebnisse der verschiedenen Fragebögen zeigen überwiegend sinnvolle Zusammenhänge mit hoher Signifikanz und starker Effektstärke. Zwischen den Ergebnissen der NRS „Schmerz“ und der NRS „Therapiezufriedenheit“ lässt sich kein signifikanter Zusammenhang erkennen. Das könnte darauf hindeuten, dass die Zufriedenheit der Patient\_innen mit dem angebotenen Operationsverfahren nicht bloß von der Stärke der Schmerzen, sondern auch von anderen Parametern abhängt. Eine andere mögliche Erklärung wäre, dass die Patient\_innen zwar unter Schmerzen leiden, diese jedoch nicht mit der Operation in Verbindung bringen. Diese Erklärung könnte von der Tatsache unterstützt werden, dass sich auch zwischen dem ODI-Wert und der NRS „Therapiezufriedenheit“ nur eine mittlere Effektstärke zeigt.

#### **5.3.3.2 Ergebnisse des SF-36 Gesundheitsfragebogens**

Im Vergleich zu den Normwerten nach Gunzelmann [85] ergeben sich in fast allen Bereichen signifikante Unterschiede, wenn man eine altersunabhängige Einteilung vornimmt (vgl. Tabelle 10). Das spricht dafür, dass die Patient\_innen in beinahe allen Bereichen des alltäglichen Lebens eine signifikante Einschränkung erfahren. Betrachtet man die Ergebnisse jedoch im Vergleich zu den Normwerten

innerhalb der jeweiligen Altersgruppen (vgl. Tabelle 11), finden sich nur in den Bereichen körperliche Rollenfunktion (70-74 Jahre und 75-79 Jahre) und körperliche Funktionsfähigkeit ( $\geq 80$  Jahre) sowie emotionale Rollenfunktion (75-79 Jahre) und psychisches Wohlbefinden (75-79 Jahre) signifikant niedrigere Werte. Das bedeutet, dass die Befragten sich in diesen Bereichen deutlich eingeschränkter fühlen als andere Menschen der jeweiligen Altersgruppe. Ob diese Beobachtung in einem Zusammenhang mit dem operativen Eingriff an der Wirbelsäule steht, lässt sich daraus nicht unmittelbar ableiten. Korovessis et al. [61] verwendeten zur Quantifizierung des klinischen Outcomes ebenfalls den SF-36 Gesundheitsfragebogen, jedoch beziehen sich die angegebenen Ergebnisse auf den Status unmittelbar postoperativ und sind daher mit den Ergebnissen dieser Studie nicht vergleichbar. Spiegl et al. [77] wandten in ihrer Studie ebenfalls den SF-36 Gesundheitsfragebogen an, jedoch werden in der Veröffentlichung keine genauen Werte, sondern lediglich die Unterschiede zum Vergleichskollektiv aufgeführt. Der SF-36 Gesundheitsfragebogen stellt ein gutes Item zur Erhebung des allgemeinen Wohlbefindens der Patient\_innen dar. Es wäre jedoch wünschenswert gewesen, wenn man postoperative und/oder präoperative Ergebnisse als Vergleichswerte erhoben hätte. Darüber hinaus ließe sich eine bessere Vergleichbarkeit zwischen den verschiedenen Studien ermöglichen, wenn die Autoren in ihren Veröffentlichungen die genauen Ergebnisse angeben würden.

### 5.3.3.3 Ergebnisse des ODI-Fragebogens

Bei den Ergebnissen des ODI-Fragebogens zeigt sich, dass ein Großteil der Patient\_innen (66,7%) im Alltag eine leichte bis mäßige Behinderung erfährt. Lediglich fünf Patientinnen gaben an, dass ihr Maß an Behinderung invalidisierend sei. Jedoch konnten hier auch andere körperliche und psychische Ursachen gefunden werden, die eine mögliche Ursache für diese Tatsache darstellen könnten. Verlaan et al. [69] benutzten zur Evaluation des klinischen Outcomes sechs Jahre nach Hybridstabilisierung ebenfalls den ODI-Score. Sie geben einen durchschnittlichen Wert von 9,9% (SD=12,4%) an. Dieser Wert liegt deutlich niedriger als der Mittelwert von 29,9% in dieser Studie. Wenn man die beiden Studienkollektive miteinander vergleicht, fällt jedoch auf, dass die Patient\_innen in der anderen Studie mit einem Durchschnittsalter von 42 Jahren deutlich jünger

sind als die Patient\_innen in dieser Studie, in der das Alter im Mittel bei 75 Jahren liegt. Der Altersunterschied kann den deutlich abweichenden Outcome im ODI-Fragebogen definitiv relativieren. He et al. [67] erheben zur Evaluation des klinischen Outcomes 24 Monate nach Hybridstabilisierung ebenfalls den ODI-Score. Leider sind die Ergebnisse in ihrer Veröffentlichung ausschließlich als Graphen dargestellt, sodass sich nur ein Schätzwert von ca. 10% wiedergeben lässt. Dieser Wert wäre dem Durchschnittswert von Verlaan et al. [70] sehr ähnlich und damit ebenfalls deutlich geringer als der in dieser Studie erhobene Wert. He et al. [67] inkludierten jedoch explizit auch nur Patient\_innen in ihre Studie, bei denen keine beziehungsweise nur milde organische Erkrankungen vorlagen, bei denen es noch nicht zu multiplen osteoporotischen Frakturen gekommen war und die ein adäquates Trauma erlitten hatten. Diese Kriterien sprechen dafür, dass die Untersuchten in der Studie von He et al. [67] zwar ein ähnliches biographisches Alter wie die Patient\_innen in dieser Studie aufweisen, jedoch deutlich weniger Nebenerkrankungen aufweisen und dadurch biologisch wahrscheinlich deutlich jünger sind. Dieser wichtige Unterschied könnte die Abweichungen bei den Ergebnissen des ODI-Scores durchaus plausibel erklären.

### **5.3.3.4 Ergebnisse der NRS „Schmerz“**

Im Durchschnitt geben die Patient\_innen dieser Studie auf der numerischen Rating-Skala für Schmerz einen Wert von 3,5 (SD=2,5) an. Spiegl et al. [73] haben den NRS „Schmerz“ zwar auch erhoben, geben jedoch keine konkreten Werte in ihrer Arbeit an. Fuentes et al. [65] geben in ihrer Studie nur postoperative Werte für den NRS „Schmerz“ an. Korovessis et al. [58] verwenden in ihrer Studie ebenfalls den NRS „Schmerz“ und kommen auf einen durchschnittlichen Wert von 3,1 (SD=2,3). Dieser Wert ähnelt dem in dieser Studie erhobenen. He et al. [64] berichten in ihrer Veröffentlichung von einem durchschnittlichen NRS „Schmerz“ unter 1. Da diese Ergebnisse in der Veröffentlichung nur in Form eines Graphen dargestellt sind, ist der Wert eine Schätzung. Nichtsdestotrotz liegt dieser Wert deutlich unter dem in dieser Studie erhobenen und deutet auf einen besseren Outcome innerhalb der anderen Studie hin.

### 5.3.4 Röntgenologische Ergebnisse

Für die relative Wirbelkörpervorder- bzw. -hinterkantenhöhe ergibt sich kein signifikanter Unterschied, wenn man die postoperativen Werte mit den Werten der Nachuntersuchung vergleicht. Der Becks Index liegt postoperativ bei 94,4% (n=110) und zum Nachuntersuchungszeitpunkt bei 91,7% (n=59), wobei sich kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Erhebungszeitpunkten zeigt. In der Studie von Fuentes et al. [68] liegt der Becks Index (n=18) postoperativ durchschnittlich bei 92% (78-100) und nach 24 Monaten bei 88% (77-99). Beide Werte liegen niedriger als die Werte dieser Studie. Das könnte darauf hindeuten, dass es bei den Patient\_innen dieser Studie zu einer geringeren Abnahme der Wirbelkörpervorderkantenhöhe gekommen ist. Da der Becks Index jedoch nur das Verhältnis zur jeweiligen Hinterkantenhöhe angibt, könnte es trotzdem sein, dass es in diesem Kollektiv zu einer Abnahme der Wirbelkörperhöhe gekommen ist, diese jedoch in ähnlichem Maße auch die Hinterkante betraf. Daher wäre es wünschenswert, wenn man Werte vergleichen könnte, die weniger fehleranfällig wären, wie beispielsweise die relativen Wirbelkörperhöhen. Leider verwenden die übrigen Autoren andere Verfahren, um die Wirbelkörperhöhe in Relation zu setzen: Fuentes et al. [68] setzen die Wirbelkörpervorderkantenhöhe ins Verhältnis zur VKH des kaudal angrenzenden Wirbelkörpers, während Korovessis et al. [61] und Verlaan et al. [70] die Anterior Vertebral Compression Percentage berechnen. Für künftige Studien wäre es folglich sinnvoll, Parameter zu verwenden, die besser vergleichbar sind und häufig verwendet werden.

Im Bereich des thorakolumbalen Überganges ergab sich sowohl für den bisegmentalen als auch für den regionalen sagittalen Cobb-Winkel im Nachuntersuchungszeitraum eine signifikante Abnahme im Sinne einer Kyphosierung. Da die übrigen Autoren den Kyphosewinkel mit positiven und den Lordosewinkel mit negativen Vorzeichen versehen haben, werden die Daten dieser Studie im folgenden auch in dieser Weise abgewandelt. Während der bisegmentale Cobb-Winkel von durchschnittlich  $-0,9^\circ$  auf  $8,9^\circ$  ansteigt, erhöht sich der regionale Cobb-Winkel von  $2,6^\circ$  auf  $4,2^\circ$ . Die folgende Tabelle 22 bietet eine Übersicht der erhobenen Werte in den anderen Studien zur Hybridstabilisierung.



Studie / Rubrik	Diese Studie		Verlaan et al. [69][70]		Fuentes et al. [68]		He et al. [67]	
Fallzahlen	50		19		18		21	
Zeitpunkt	postop	39m	postop	72m	postop	26m	postop	34m
lokaler Cobb	2,6°	4,2°	4,1°	5,3°	3,2°	5,2°	~3°	~4°
bisegmentaler Cobb	-0,9°	8,9°	-1,6	5,8	N/O		N/O	

Tabelle 22 Übersicht der lokalen und bisegmentalen Cobb-Winkel unterschiedlicher Studien, postoperativ und zum Nachuntersuchungszeitpunkt, N/O: keine Angaben, postop: postoperativ, m: Monate (durchschnittlicher Nachuntersuchungszeitpunkt)

Wenn man die von den übrigen Autoren gemessenen Cobb-Winkel postoperativ und zum Nachuntersuchungszeitpunkt mit den Werten dieser Studie vergleicht, ergeben sich überwiegend ähnliche Ergebnisse. Ausschließlich der postoperativ erhobene lokale Cobb-Winkel in der Studie von Verlaan et al. [70] weicht von dem postoperativ gemessenen Wert dieser Studie ab. Eine Ursache dafür könnte sein, dass die Autoren nur Frakturen vom Typ A3 nach Magerl eingeschlossen haben, bei denen sich die Wiederherstellung der Wirbelkörperhöhe unter Umständen schwieriger gestaltet als bei einer weniger schweren Fraktur, beispielsweise vom Typ A1 nach Magerl. Verlaan et al. [70] konnten weder beim lokalen noch beim bisegmentalen Cobb-Winkel eine signifikante Abnahme im Nachuntersuchungsintervall von 72 Monaten beobachten. Da die Untersuchten mit einem durchschnittlichen Alter von 42 Jahren jedoch auch vergleichsweise jung waren, ist diese geringere Nachsinterung nicht unbedingt erstaunlich. Fuentes et al. [68] sowie He et al. [67] führen zwar die Werte für den lokalen Cobb-Winkel auf, sie geben jedoch nicht an, ob sich zwischen den beiden Untersuchungszeitpunkten signifikante Unterschiede ergeben.

Auch im Bereich der LWS konnte in dieser Studie eine signifikante Veränderung des bisegmentalen Cobb-Winkels im Sinne einer Kyphosierung beobachtet werden.

Bei den spinopelvinen Parametern liegen einige Messwerte zwar etwas ober- oder unterhalb der physiologischen Normwerte, die Abweichungen weisen jedoch keine Signifikanz auf. Es konnte ein signifikanter Zusammenhang zwischen der lumbalen Lordose und der Sacral Slope beobachtet werden. Eine solche Korrelation wurde bereits von anderen Autoren an gesunden Proband\_innen untersucht und als physiologischer Zusammenhang betrachtet [109], [110].

Außerdem konnte eine signifikante Korrelation zwischen dem bisegmentalen sagittalen Cobb-Winkel und dem Sacral Slope detektiert werden. In Anbetracht der Tatsache, dass der bisegmentale sagittale Cobb-Winkel und die lumbale Lordose auf die gleiche Art erhoben werden und der einzige Unterschied ist, dass die lumbale Lordose sich auf einen größeren Bereich erstreckt, scheint dieser Zusammenhang logisch zu sein. In der Literatur ließen sich jedoch keine Arbeiten finden, die diese Thematik untersuchen. Darüber hinaus ergab sich kein signifikanter Unterschied zwischen gemessener und errechneter Pelvic Incidence. Diese Tatsache spricht dafür, dass die gemessenen Werte für Sacral Slope und lumbale Lordose relativ genau sind.

Die Ergebnisse im ODI-Fragebogen und die Ergebnisse der numerischen Rating-Skala „Schmerz“ korrelieren signifikant reziprok mit der lumbalen Lordose. Das könnte darauf hindeuten, dass Patient\_innen, die eine stärkere Lendenlordose bzw. eine geringere Kyphosierung der LWS aufweisen, sich tendenziell weniger eingeschränkt im Alltag fühlen und durchschnittlich unter weniger Schmerzen leiden. Wenn man betrachtet, wie wichtig eine Lordose der Lendenwirbelsäule für die spinopelvine Balance zu sein scheint [109], [110], ist dieser Zusammenhang durchaus plausibel.

### 5.3.5 Revisionseingriffe

Im Nachuntersuchungsintervall kam es bei zwölf Patient\_innen (10,6%) zu Komplikationen, die einen Revisionseingriff erforderten. In über 50% der Fälle (n=7) war die Ursache dafür das Auftreten einer Anschlussfraktur, bei 25% (n=3) lag ein Materialversagen im Sinne einer Schraubendislokation bzw. eines Schrauben Cut-Outs vor. Weitere Ursachen waren ein Korrekturverlust (n=1) oder das Auftreten einer Folgefraktur (n=1).

Die Folgefraktur trat auf Höhe des siebten Brustwirbelkörpers auf, während die ursprüngliche Hybridstabilisierung zwischen dem neunten und dem elften Brustwirbelkörper eingebracht wurde. Im Rahmen des Revisionseingriffes wurde die Instrumentierung vom sechsten Brustwirbelkörper beginnend an die bestehende Hybridstabilisierung angeschlossen. Ob diese implantatferne Folgefraktur als direkte Komplikation des ursprünglichen operativen Eingriffes zu werten ist und somit deren Versorgung als Revisionseingriff im eigentlichen Sinne angesehen werden sollte, kann nicht eindeutig beantwortet werden.

Ein weiterer interessanter Aspekt ist, dass es bei drei Patient\_innen (2,7%) zu einem Schrauben Cut-Out gekommen ist, obwohl die Schrauben zementiert wurden. Von den übrigen Autoren [61], [66]–[69], [77] beschreibt keiner, dass es zu einer solchen Komplikation gekommen ist. Das kann jedoch auch mit dem höheren Durchschnittsalter und dem größeren Anteil Osteoporose-Erkrankter innerhalb dieser Studie zusammenhängen.

Da nicht alle Patient\_innen kontaktiert und bezüglich der Durchführung eines Revisionseingriffes befragt werden konnten, sondern die meisten Daten anhand der im SAP gespeicherten Arztbriefe und Operationsberichte erhoben wurden, ist nicht klar, ob es nicht auch bei weiteren Operierten zu einem Revisionseingriff gekommen ist. Beispielsweise könnte es sein, dass einige Betroffene die Revisionsoperation nicht in der Uniklinik Leipzig haben durchführen lassen und daher auch keine Daten im Computersystem existieren. Es lässt sich also nicht abschließend klären, ob man die Anzahl der Revisionseingriffe in Relation zu der Gesamtheit des Patientenkollektiv (n=113) setzen kann.

Alles in allem lässt sich sagen, dass die Kriterien, die erfüllt werden müssen, damit ein Eingriff als Revisionsoperation gilt, nicht immer eindeutig bestimmt werden können. Darüber hinaus ist es schwierig festzulegen, in Relation zu welcher Gesamtheit man die Fallzahlen setzt, da nicht klar ist, wie viele Patient\_innen unter Umständen in einem anderen Krankenhaus einen Revisionseingriff haben vornehmen lassen und daher nicht durch diese Studie erfasst wurden. Je nach Interpretation der Daten liegt die Komplikationsrate, die mit einer Revision verbunden gewesen ist, folglich zwischen 9,7% - wenn man die Fallzahlen auf das gesamte Patientenkollektiv (n=113) bezieht und die Behandlung der Folgefraktur nicht als Revisionseingriff wertet - und 15,9% - wenn man nur die Fälle einbezieht, die tatsächlich persönlich befragt wurden (n=44) und auch nur die auf diese Weise ermittelten Revisionseingriffe (n=7) berücksichtigt.

## 5.4 Diskussion der Ergebnisse im Kontext der aktuellen Studienlage

Bei den Recherchen auf der Datenbank pubmed konnten sechs Veröffentlichungen gefunden werden, die sich mit der Hybridstabilisierung als therapeutischen Verfahren bei Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule beschäftigen [61], [66]–[69], [77]. Die einzelnen Studien wurden bereits im Abschnitt 1.5.3 vorgestellt. Im Folgenden werden die Ergebnisse dieser klinischen Studie mit den Ergebnissen der übrigen Studien bezüglich einzelner Parameter verglichen. Eine Übersicht dessen bietet die folgende Tabelle 23.

Studie Rubrik	Diese Studie	Verlaan et al. [69][70]	Rahamimov et al. [66]	Fuentes et al. [68]	Korovessis et al. [61]	He et al. [67]	Spiegel et al. [77]
Jahr		2015	2012	2010	2008	2013	2012
Design							
retrospektiv	x		x				
prospektiv		x		x	x	x	x
Vergleich						x	x
Fallzahlen	113	20	52	18	18	43	10
Hybrid	113	20	52	18	18	21	5
KP	-	-	-	-	-	22	5
Follow-up	58%	95%	69%	100%	100%	100%	100%
Unfallhergang			N/A	N/A			
adäquat	4%	100%			17%	100%	100%
mittel	68%				72%		
leicht	15%				11%		
Altersspanne	61-98	18-75	16-88	22-78	61-84	65-81	N/A
Mittelwert	75	42	57	53	64	72	63
Geschlecht							
männlich	36%	40%	N/A	67%	61%	48%	80%
weiblich	64%	60%		33%	39%	52%	20%
Frakturform	A+B1.2	A3+B2.3	A+B2.1	A3	A2+A3	A3	A3.1
Frakturhöhe	T10-L4	T12-L4	T6-L4	T9-L2	L1-L4	T11-L2	T11-L3
häufigste	L1	L1	L1	L1	L1	L1	N/A
Osteoporose?	ja	N/A	N/A	N/A	N/A	wenige	N/A
VP/KP	KP+VP	VP	KP	KP	KP	KP	KP
NU-Intervall	8-84	72	22	17-30	17-28	24-55	64-74
Mittelwert	39	72	22	26	22	34	N/A

OP-Zeit	37-289	75-180	64-188	90-120	35-70	80-120	90-140
Mittelwert	96	120	121	100	45	100	124
Zementmenge	3-14	N/A	N/A	3,5-9	N/A	3,8-6,8	N/A
Fragebögen							
ODI	x	x				x	
NRS_S	x			x	x	x	x
SF-36	x				x		x
Zementaustritt	10,6%	25%	30,8%	11,1%	22,2%	19%	0%
Wundinfektion	2,7%	5%	1,9%	0%	5,6%	0%	0%
Verstorben	14,2%	5%	7,7%	0%	0%	0%	0%
Folgefraktur	13,3%	5%	N/A	N/A	0%	0%	0%

Tabelle 23 Gegenüberstellung der verschiedenen Studien über Hybridstabilisierung; Hybrid: Hybridstabilisierung, N/A: keine Angaben vorhanden, VP: Vertebroplastie, KP: Kyphoplastie, BMI: Body-Mass-Index, T: Brustwirbelkörper, L: Lendenwirbelkörper, RTX: Röntgen, NRS\_S: numerische Rating-Skala „Schmerz“, Zementmenge in Millilitern, OP-Zeit in Minuten, Nachuntersuchungsintervall in Monaten, Altersspanne in Jahren

Gegenüber den anderen Studien weist diese Studie einige Besonderheiten auf. Mit einer Fallzahl von 113 Patient\_innen ist sie deutlich umfangreicher als die anderen. Außerdem liegt das durchschnittliche Alter der Patient\_innen mit 75 Jahren höher als das Alter in den übrigen Studien. In diese Studie wurden explizit Patient\_innen inkludiert, die eine hohe Wahrscheinlichkeit für das Vorliegen einer Osteoporose haben, während dieses Kriterium für die meisten anderen Autoren keine Relevanz zu haben scheint. Bei dieser Studie wurden alle Unfallhergänge und alle Frakturgrade vom Typ A nach Magerl berücksichtigt, während viele der übrigen Autoren nur Patient\_innen mit schwergradigen Typ-A-Frakturen nach Magerl und/oder adäquaten Unfallhergängen betrachteten.

Eine weitere Auffälligkeit ist, dass in dieser Studie der Anteil an der Follow-up-Gruppe mit 58% vergleichsweise gering ausfällt. In den meisten anderen Studien ergibt sich ein Anteil von bis zu 100% Prozent. Ein Grund dafür könnte das retrospektive Studiendesign sein, bei dem die Patient\_innen gegebenenfalls weniger Teilnahmebereitschaft zeigen. Dafür würde sprechen, dass auch bei Rahamimov et al. [66] der Anteil der Follow-up-Gruppe mit 69% relativ gering ausfällt und die Autoren ebenfalls ein retrospektives Studiendesign gewählt haben. Eine andere mögliche Erklärung wäre das vergleichsweise hohe Alter der Patient\_innen in dieser Studie, dass die Bereitschaft oder das Vermögen, an einer Nachuntersuchung teilzunehmen, verringern kann.

Bei den Komplikationen fällt auf, dass es in dieser Studie deutlich häufiger zum Versterben oder zum Auftreten von Folgefrakturen kommt. Ein Grund dafür könnte sein, dass die Patient\_innen dieses Kollektives ohnehin schon älter sind und damit das Risiko, während des Nachuntersuchungsintervalls zu versterben oder eine Folgefraktur zu erleiden, natürlicher Weise höher liegt. Außerdem liegt der Anteil der an Osteoporose Erkrankten in dieser Studie höher, sodass das Auftreten von Folgefrakturen ebenfalls deutlich wahrscheinlicher ist, insbesondere dann, wenn keine adäquate antiosteoporotische Therapie erfolgt ist. Darüber hinaus wurden in diese Studie auch Patient\_innen eingeschlossen, die unter schweren Nebenerkrankungen leiden oder bereits Operationen an der Wirbelsäule erhalten hatten, während andere Autoren schon moderate Nebenerkrankungen [67] oder vorrausgegangene Wirbelsäulenoperationen [61] als Ausschlusskriterium formulieren.

Alles in allem lässt sich sagen, dass eine Vergleichbarkeit der verschiedenen Studien untereinander schwerfällt, da sie sich in der Beschaffenheit ihres Patientenkollektives und dem Design der Studie teilweise deutlich unterscheiden. Diese Studie zeichnet sich insbesondere durch ihre hohe Fallzahl, das hohe Patientenalter und die Fokussierung auf osteoporotische Wirbelkörperfrakturen aus. Darüber hinaus werden in dieser Studie vergleichsweise viele Fragebögen zur Bewertung des klinischen Outcomes und radiologische Parameter zur Beurteilung des Alignments erhoben. Dabei ist insbesondere die Erhebung und Auswertung der spinopelvinen Parameter eine Methode, die die anderen Autoren bisher nicht berücksichtigt haben, die jedoch einen großen Einfluss auf den Outcome zu haben scheint. Im Gegensatz zu den meisten anderen Studien liegen jedoch nur klinische Ergebnisse vom Nachuntersuchungszeitpunkt und nicht von mehreren Erhebungszeitpunkten vor, sodass keine zeitlichen Veränderungen innerhalb des Patientenkollektives dargestellt werden können.

### **5.5 Limitationen dieser Studie**

Die meisten Limitationen dieser Arbeit sind in den vorherigen Abschnitten bereits ausführlich dargestellt worden, im Folgenden werden sie noch einmal kurz zusammengefasst.

Eine bedeutende Schwäche dieser Arbeit stellt der geringe (58%) Umfang der Follow-up-Gruppe dar. Während einige Patient\_innen (14%) in der

Nachuntersuchungszeit bereits verstorben sind, konnten andere nicht erreicht werden, da die Kontaktdaten nicht mehr aktuell waren oder waren nicht bereit, den Aufwand auf sich zu nehmen.

Eine weitere Limitation dieser Studie stellt der einmalige Erhebungszeitpunkt der röntgenologischen und klinischen Ergebnisse dar. Es wäre wünschenswert gewesen, wenn man auch präoperative und unmittelbar postoperative Ergebnisse aus Fragebögen zum Vergleich und zur Verlaufsbeurteilung gehabt hätte. Auch bei den röntgenologischen Ergebnissen wären präoperative Vergleichsaufnahmen unter Umständen interessant gewesen.

Bei der Auswertung der verschiedenen Fragebögen wurde deutlich, dass einige der Befragten Probleme beim Verständnis und der eindeutigen Beantwortung einzelner Fragen gehabt haben. Da diese Fragebögen jedoch das wichtigste Item zur Beurteilung des klinischen Outcomes darstellen, ist es natürlich erheblich, wenn die Ergebnisse den Zustand der Befragten nicht adäquat wiedergeben. Des Weiteren stellte sich heraus, dass einige Patient\_innen ihren geminderten Allgemeinzustand eindeutig mit einer anderen Problematik oder Grunderkrankung in Verbindung brachten, sodass eine Interpretation der Ergebnisse in Bezug auf die Wirbelsäulenoperation fragwürdig ist.

Im Rahmen dieser Studie sollte die Hybridstabilisierung als Operationsverfahren bei osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen untersucht werden. Leider liegen nur von wenigen Patient\_innen Ergebnisse von DXA-Messungen vor, sodass die eindeutige Diagnose nicht in jedem Fall gestellt werden konnte und man ausschließlich von osteoporotisch imponierenden Frakturen sprechen kann. Eine eindeutige Diagnose wäre wünschenswert gewesen.

Alles in allem fällt auf, dass viele der Limitationen mit dem retrospektiven Studiendesign in Verbindung gebracht werden können. Im Rahmen einer prospektiven Arbeit ließen sich viele der Schwächen eventuell minimieren, sodass die Ergebnisse aussagekräftiger würden.

### **5.6 Ausblick**

Der im Rahmen dieser Studie erhobene mittelfristige Outcome der Hybridstabilisierung bei osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen scheint sehr divers zu sein und möglicherweise von weiteren Variablen beeinflusst zu werden. Während viele Patient\_innen einen sehr guten funktionellen, klinischen und

radiologischen Outcome zeigen, präsentieren sich andere zum Nachuntersuchungszeitpunkt in vielen Bereichen sehr eingeschränkt und behindert. Zwischen den radiologischen und klinischen Ergebnissen ergeben sich Korrelationen, die sehr interessant erscheinen und zukünftig bereits in der Planung einer Operation Berücksichtigung finden könnten. Durch den hohen Anteil der Lost to follow-up und den einmaligen Erhebungszeitpunkt der klinischen Ergebnisse sind die Resultate jedoch nur eingeschränkt verwertbar. Sie geben jedoch Anlass zur Durchführung weiterer prospektiver klinischer Studien. Insbesondere ein Vergleich zu konservativen Therapieverfahren könnte ein sehr interessanter Ansatz sein.

Ein weiteres Ergebnis dieser Studie ist die geringe Rate an Patient\_innen, die im Anschluss an die Operation eine adäquate Diagnostik der Osteoporose und eine leitliniengerechte antiosteoporotische Therapie erhalten haben. Diese Tatsache kann für die Betroffenen schwerwiegende Konsequenzen mit sich bringen und sollte in Zukunft deutlich mehr Beachtung finden.



## **6 Zusammenfassung der Arbeit**

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades Dr. med.

*Mittelfristige Ergebnisse nach Hybridstabilisierung osteoporotisch imponierender Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule unter dem Aspekt des sagittalen Alignments und des klinischen Outcomes*

eingereicht von Christine Henriette Johanna Anemüller

angefertigt an der Klinik für Orthopädie, Unfallchirurgie und Plastische Chirurgie der Universität Leipzig

betreut von PD Dr. med. habil. Ulrich Josef Albert Spiegl und Prof. Dr. med. Christoph-Eckhard Heyde

Dezember 2018

Osteoporose stellt eine der bedeutendsten Systemerkrankungen unserer Zeit dar, deren Relevanz aufgrund einer immer älter werdenden Gesellschaft zukünftig noch an Bedeutung gewinnen wird. Osteoporotische Wirbelkörperfrakturen können so schwerwiegende funktionelle und klinische Einschränkungen für die Betroffenen mit sich bringen, dass deren adäquate Behandlung eine große Herausforderung in der heutigen Orthopädie und Wirbelsäulenchirurgie darstellt. Ziel dieser Studie war daher, den mittelfristigen klinischen und radiologischen Outcome der Hybridstabilisierung als operativen Verfahren zur Behandlung osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen zu untersuchen.

Hierfür wurden im Rahmen einer retrospektiven Studie die Daten von 113 Patient\_innen erhoben, die zwischen Dezember 2009 und Mai 2014 eine osteoporotisch imponierende Wirbelkörperfraktur im Bereich des thorakolumbalen Überganges erlitten haben und am Universitätsklinikum Leipzig mittels Hybridstabilisierung versorgt wurden. Nach durchschnittlich 39 Monaten wurden

die Patient\_innen radiologisch nachkontrolliert, körperlich untersucht und der klinische Outcome mithilfe unterschiedlicher Fragebögen (ODI, SF-36, NRS „Schmerz“) evaluiert. Darüber hinaus wurde das Auftreten von Anschluss- und Folgefrakturen sowie anderer operationsassoziierter Komplikationen erhoben. Insgesamt konnten 59 Patient\_innen (52%) nachkontrolliert werden, 16 Patient\_innen (14%) verstarben während des Nachuntersuchungsintervalls, wobei kein Zusammenhang zu der Operation gefunden werden konnte. Bei 5 Patient\_innen (4%) kam es zum Auftreten postoperativer Komplikationen, 14 Patient\_innen (12%) erlitten eine Folgefraktur, bei 7 davon handelte es sich um Anschlussfrakturen. Die Ergebnisse aus dem ODI-Fragebogen lagen durchschnittlich bei 30% (+/-20%). Im Bereich des thorakolumbalen Übergang konnte sowohl für den bisegmentalen als auch für den regionalen sagittalen Cobb-Winkel zwischen den postoperativen und den aktuellen Röntgenaufnahmen eine signifikante Abnahme im Sinne einer Kyphosierung beobachtet werden ( $p < 0,01$ ,  $n=50$ ). Es zeigten sich signifikante Korrelationen zwischen der lumbalen Lordose und den Ergebnissen des ODI-Fragebogens sowie des NRS „Schmerz“. Einige Patient\_innen erhielten postoperativ weder eine adäquate Diagnostik bezüglich der Osteoporose noch eine leitliniengerechte antiosteoporotische Therapie. Die Ergebnisse dieser Studie deuten auf viele interessante Zusammenhänge hin, es bedarf zu deren Bestätigung jedoch weiterer Studien mit einem höheren Anteil an Nachuntersuchten und mehreren Nachuntersuchungszeitpunkten.

## 7 Verzeichnisse

### 7.1 Literaturverzeichnis

- [1] World Health Organization (WHO), „Assessment of fracture risk and its application to screening for postmenopausal osteoporosis: Report of a WHO study group. WHO Technical Report Series, Report No. 843.“, 1994.
- [2] United Nations, „World Population Prospects: The 2015 Revision“, 2015.
- [3] World Health Organization (WHO), „Assessment of osteoporosis at the primary health care level“, 2007.
- [4] U. Spiegl, S. Hauck, P. Merkel, V. Bühren, und O. Gonschorek, „Six-year outcome of thoracoscopic ventral spondylodesis after unstable incomplete cranial burst fractures of the thoracolumbar junction: Ventral versus dorso-ventral strategy“, *Int. Orthop.*, Bd. 37, Nr. 6, S. 1113–1120, 2013.
- [5] C. Christodoulou und C. Cooper, „What is osteoporosis?“, *Postgrad. Med. J.*, Bd. 79, Nr. 929, S. 133–138, 2003.
- [6] O. Johnell und J. Kanis, „Epidemiology of osteoporotic fractures“, in *Osteoporosis International*, 2005, Bd. 16, Nr. 3–7.
- [7] R. A. Lehman, D. G. Kang, und S. C. Wagner, „Management of Osteoporosis in Spine Surgery“, *J. Am. Acad. Orthop. Surg.*, Bd. 23, Nr. 4, S. 253–263, 2015.
- [8] P. Augat, „Biomechanik der Wirbelsäule“, in *Chirurgie der verletzten Wirbelsäule*, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013, S. 5–18.
- [9] A. Rohlmann, C. Klöckner, und G. Bergmann, „Biomechanik der Kyphose“, *Orthopade*, Bd. 30, Nr. 12, S. 915–918, 2001.
- [10] S. a Voutsinas und G. D. MacEwen, „Sagittal profiles of the spine.“, *Clin. Orthop. Relat. Res.*, Nr. 210, S. 235–242, 1986.
- [11] T. R. Blattert und V. Bühren, „Frakturen der unteren LWS (L3 bis L5)“, in *Chirurgie der verletzten Wirbelsäule*, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013, S. 245–266.
- [12] O. Gonschorek und V. Bühren, „Frakturen des thorakolumbalen Übergangs (T11 bis L2)“, in *Chirurgie der verletzten Wirbelsäule*, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013, S. 223–244.
- [13] B. Weigel und C. Neumann, „Wirbelsäule“, in *Praxisbuch Unfallchirurgie*, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2011, S. 157–231.
- [14] M. Reinhold, C. Knop, R. Beisse, L. Audigé, F. Kandziora, A. Pizanis, R. Pranzl, E. Gercek, M. Schultheiss, A. Weckbach, V. Bühren, und M. Blauth, „[Operative treatment of traumatic fractures of the thoracic and lumbar spinal column. Part I: epidemiology].“, *Unfallchirurg*, Bd. 112, Nr. 1, S. 33–42, 44–5, 2009.
- [15] H. Laurer, A. Sander, S. Wutzler, C. Nau, und I. Marzi, „Traumatische Wirbelsäulenfrakturen und Osteoporose: Stellenwert der Zementaugmentation“, *Orthopade*, Bd. 39, Nr. 7, S. 704–710, 2010.
- [16] T. E. Whitesides, „Traumatic kyphosis of the thoracolumbar spine.“, *Clin. Orthop. Relat. Res.*, Nr. 128, S. 78–92, Okt. 1977.
- [17] F. Denis, „The Three Column Spine and Its Significance in the Classification of Acute Thoracolumbar Spine Injuries“, *Spine (Phila Pa 1976)*, Bd. 8, Nr. 8, S. 817–831, 1983.
- [18] F. Magerl, M. Aebi, S. D. Gertzbein, J. Harms, und S. Nazarian, „A

- comprehensive classification of thoracic and lumbar injuries“, *Eur. Spine J.*, Bd. 3, Nr. 4, S. 184–201, 1994.
- [19] A. R. Vaccaro, C. Oner, C. K. Kepler, M. Dvorak, K. Schnake, C. Bellabarba, M. Reinhold, B. Aarabi, F. Kandziora, J. Chapman, R. Shanmuganathan, M. Fehlings, und L. Vialle, „AOSpine thoracolumbar spine injury classification system: fracture description, neurological status, and key modifiers.“, *Spine (Phila. Pa. 1976)*., Bd. 38, Nr. 23, S. 2028–2037, 2013.
- [20] A. R. Vaccaro, C. Oner, C. K. Kepler, M. Dvorak, K. Schnake, C. Bellabarba, M. Reinhold, B. Aarabi, F. Kandziora, J. Chapman, R. Shanmuganathan, M. Fehlings, L. Vialle, J. D. Koerner, M. F. Dvorak, S. Rajasekaran, L. R. Vialle, M. G. Fehlings, G. D. Schroeder, K. J. Schnake, und F. C. Oner, „AOSpine Thoracolumbar Classification System an AOSpine Knowledge Forum Trauma initiative“, Bd. 38, Nr. 2013, S. 2037, 2015.
- [21] M. Aebi, „AO spine classification system for thoracolumbar fractures“, *Eur. Spine J.*, Bd. 22, Nr. 10, S. 2147–2148, 2013.
- [22] T. A. Mattei, J. Hanovnikian, und D. H. Dinh, „Progressive kyphotic deformity in comminuted burst fractures treated non-operatively: the Achilles tendon of the Thoracolumbar Injury Classification and Severity Score (TLICS)“, *Eur. Spine J.*, Bd. 23, Nr. 11, S. 2255–2262, 2014.
- [23] W. A. Peck, P. Burckhardt, C. Christiansen, H. A. Fleisch, H. K. Genant, C. Gennari, T. J. Martin, L. Martini, R. Morita, E. Ogata, A. Rapado, L. E. Shulman, P. H. Stern, und R. T. T. Young, „Consensus Development Conference: Diagnosis, Prophylaxis, and Treatment of Osteoporosis“, *Am. J. Med.*, Bd. 94, Nr. June, S. 646–650, 1993.
- [24] NIH, „Osteoporosis prevention, diagnosis, and therapy“, *JAMA*, Bd. 285, S. 785–795, 2001.
- [25] S. Waldt, D. Müller, und T. Link, „Systemische Skeletterkrankungen“, in *Diagnostische und Interventionelle Radiologie*, T. J. Vogl, W. Reith, und E. J. Rummeny, Hrsg. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2011, S. 1179–1220.
- [26] C. Lattrich, P. Hadji, und O. Ortmann, „Perimenopause, Postmenopause und Senium“, in *Klinische Endokrinologie für Frauenärzte*, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2014, S. 515–531.
- [27] Dachverband Osteologie e.V., *Prophylaxe, Diagnostik und Therapie der Osteoporose bei Männern ab dem 60. Lebensjahr und bei postmenopausalen Frauen. Leitlinie des Dachverbands der Deutschsprachigen Wissenschaftlichen Osteologischen Gesellschaften e.V.* 2014, S. 1–250.
- [28] Dachverband Osteologie e.V., „Prophylaxe, Diagnostik und Therapie der Osteoporose bei Erwachsenen“, 2017.
- [29] J. Schousboe, J. Shephed, J. Bilezikian, und S. Biam, „Executive Summary of the 2013 ISCD Position Development Conference on Bone Densitometry.“, *J. Clinical Densitom.*, Bd. 16, Nr. 4, S. 455–467, 2013.
- [30] A. P. Verheyden, A. Hölzl, H. Ekkerlein, E. Gercek, S. Hauck, C. Josten, F. Kandziora, S. Katscher, C. Knop, W. Lehmann, R. Meffert, C. W. Müller, A. Partenheimer, C. Schinkel, P. Schleicher, K. J. Schnake, M. Scholz, und C. Ulrich, „Therapieempfehlungen zur Versorgung von Verletzungen der Brust- und Lendenwirbelsäule“, *Unfallchirurg*, Bd. 114, Nr. 1, S. 9–16, 2011.
- [31] J. A. Kanis, E. V. McCloskey, H. Johansson, A. Oden, O. Ström, und F. Borgström, „Development and use of FRAX® in osteoporosis“, *Osteoporos.*

- Int.*, Bd. 21, Nr. SUPPL. 2, S. 407–413, 2010.
- [32] S. Offermanns, „Ca<sup>2+</sup>- und Knochenstoffwechsel“, in *Pharmakologie und Toxikologie*, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2016, S. 627–637.
- [33] O. Johnell, J. A. Kanis, B. Jonsson, A. Oden, H. Johansson, und C. De Laet, „The burden of hospitalised fractures in Sweden“, *Osteoporos. Int.*, Bd. 16, Nr. 2, S. 222–228, 2005.
- [34] D. Felsenberg, M. Lunt, G. Armbrecht, A. Ismail, J. Finn, W. Cockerill, D. Banzer, L. Benevolenskaya, A. Bhalla, J. Cannata, C. Cooper, J. Dequeker, und R. Eastell, „Incidence of Vertebral Fracture in Europe: Results From the European Prospective Osteoporosis Study (EPOS)“, *J. Bone Miner. Res.*, Bd. 17, Nr. 4, S. 716–724, 2002.
- [35] C. M. Klotzbuecher, P. D. Ross, P. B. Landsman, T. A. Abbott, und M. Berger, „Patients with prior fractures have an increased risk of future fractures: a summary of the literature and statistical synthesis.“, *J. Bone Miner. Res.*, Bd. 15, Nr. 4, S. 721–739, 2000.
- [36] R. Lindsay, C. Cooper, D. A. Hanley, I. Barton, S. B. Broy, und K. Flowers, „Risk of New Vertebral Fracture“, *J. Am. Med. Assoc.*, Bd. 285, Nr. 3, S. 7–10, 2001.
- [37] R. Aquarius, J. Homminga, N. Verdonschot, und E. Tanck, „The fracture risk of adjacent vertebrae is increased by the changed loading direction after a wedge fracture.“, *Spine (Phila. Pa. 1976)*, Bd. 36, Nr. 6, S. E408-12, 2011.
- [38] C.-E. Heyde, A. Rohlmann, U. Weber, und R. Kayser, „Stabilisierung der osteoporotischen Wirbelsäule unter biomechanischen Gesichtspunkten“, S. 407–416, 2010.
- [39] C. Josten und V. Bühren, „Frakturen bei Osteoporose“, in *Chirurgie der verletzten Wirbelsäule*, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013, S. 421–438.
- [40] M. J. Silva, „Biomechanics of osteoporotic fractures.“, *Injury*, Bd. 38 Suppl 3, Nr. SUPPL. 3, S. S69-76, Sep. 2007.
- [41] K. J. Schnake, T. R. Blattert, V. Zimmermann, S. Katscher, A. Verheyden, C. Schinkel, und M. Scherer, „Entwicklung einer Klassifikation für osteoporotische Wirbelfrakturen und eines Scores zur therapeutischen Indikationsfindung (OF-Klassifikation und OF-Score)“, *German Medical Science GMS Publishing House*. S. DocW111-863, 2013.
- [42] K. Schnake, P. Hahn, A. Franck, T. Blattert, V. Zimmermann, B. Ullrich, O. Gonschorek, M. Müller, S. Katscher, und F. Hartmann, „Development of a Classification System (OF-Classification) and a Score for Therapeutic Decision-Making (OF-Score) for Osteoporotic Thoracolumbar Fractures“, *Glob. Spine J.*, Bd. 05, Nr. S 01, S. A210, 2015.
- [43] O. Linhardt, J. Götz, T. Renkawitz, T. Forster, M. Kröber, und J. Grifka, „Erkrankungen und Verletzungen der Wirbelsäule“, in *Orthopädie und Unfallchirurgie*, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2011, S. 401–476.
- [44] C. Josten, „Grundprinzipien der Diagnostik und Klassifikation“, in *Chirurgie der verletzten Wirbelsäule*, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013, S. 19–25.
- [45] U. J. A. Spiegl, R. Beisse, S. Hauck, A. Grillhösl, und V. Bühren, „Value of MRI imaging prior to a kyphoplasty for osteoporotic insufficiency fractures“, *Eur. Spine J.*, Bd. 18, Nr. 9, S. 1287–1292, 2009.
- [46] C. Josten, C. Schmidt, und U. Spiegl, „Osteoporotische

- Wirbelkörperfrakturen der thorakolumbalen Wirbelsäule“, *Der Chir.*, Bd. 83, S. 866–874, 2012.
- [47] C. C. Wong und M. J. McGirt, „Vertebral compression fractures: A review of current management and multimodal therapy“, *J. Multidiscip. Healthc.*, Bd. 6, S. 205–214, 2013.
- [48] C. E. Heyde, Z. Fekete, Y. Robinson, S. K. Tschöke, und R. Kayser, „[Treatment options for problematic thoracic and lumbar osteoporotic fractures].“, *Orthopade*, Bd. 37, Nr. 4, S. 307–20, Apr. 2008.
- [49] K. B. Wood, W. Li, D. S. Lebl, und A. Ploumis, „Management of thoracolumbar spine fractures“, *Spine J.*, Bd. 14, Nr. 1, S. 145–164, 2014.
- [50] H. Yang, J. Pan, und G. Wang, „A review of osteoporotic vertebral fracture nonunion management.“, *Spine (Phila. Pa. 1976)*, Bd. 39, Nr. 26 Suppl 1, S. S142-4, 2014.
- [51] C. L. Tai, T. T. Tsai, P. L. Lai, Y. L. Chen, M. Y. Liu, und L. H. Chen, „A Biomechanical Comparison of Expansive Pedicle Screws for Severe Osteoporosis: The Effects of Screw Design and Cement Augmentation“, *PLoS One*, Bd. 10, Nr. 12, S. 1–15, 2015.
- [52] N. Farooq, J. C. Park, P. Pollintine, D. J. Annesley-Williams, und P. Dolan, „Can vertebroplasty restore normal load-bearing to fractured vertebrae?“, *Spine (Phila. Pa. 1976)*, Bd. 30, Nr. 15, S. 1723–30, 2005.
- [53] P. Galibert, H. Deramond, P. Rosat, und D. Le Gars, „[Preliminary note on the treatment of vertebral angioma by percutaneous acrylic vertebroplasty].“, *Neurochirurgie.*, Bd. 33, Nr. 2, S. 166–8, 1987.
- [54] R. Felder-Puig, B. Piso, B. Guba, und G. Gartlehner, „Kyphoplastie und Vertebroplastie bei Osteoporotischen Wirbelkörperkompressionsfrakturen : Systematischer Review“, *Orthopade*, Bd. 38, Nr. 7, S. 606–615, 2009.
- [55] T. R. Blattert, „Gedeckte Techniken: Kypho-Vertebroplastie“, in *Chirurgie der verletzten Wirbelsäule*, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013, S. 119–134.
- [56] G. S. Wong, W. Reiley M, „Vertebroplasty/kyphoplasty“, *J Wom Imag*, S. 117–124, 2000.
- [57] S. R. Garfin, H. A. Yuan, und M. A. Reiley, „New technologies in spine: kyphoplasty and vertebroplasty for the treatment of painful osteoporotic compression fractures.“, *Spine (Phila. Pa. 1976)*, Bd. 26, Nr. 14, S. 1511–1515, 2001.
- [58] R. Buchbinder, R. Osborne, P. Ebeling, J. Wark, P. Mitchell, C. Wriedt, S. Graves, M. Staples, und B. Murphy, „A Randomized Trial of Vertebroplasty for Painful Osteoporotic Vertebral Fractures“, Bd. 361, Nr. 6, S. 557–568, 2009.
- [59] I. D. Papanastassiou, F. M. Phillips, J. Van Meirhaeghe, J. R. Berenson, G. B. J. Andersson, G. Chung, B. J. Small, K. Aghayev, und F. D. Vrionis, „Comparing effects of kyphoplasty, vertebroplasty, and nonsurgical management in a systematic review of randomized and non-randomized controlled studies“, *Eur. Spine J.*, Bd. 21, Nr. 9, S. 1826–1843, 2012.
- [60] S. Zhao, C. Xu, A. Zhu, L. Ye, L. Lv, L. Chen, Q. Huang, und F. Niu, „Comparison of the efficacy and safety of 3 treatments for patients with osteoporotic vertebral compression fractures: A network meta-analysis.“, *Medicine (Baltimore)*, Bd. 96, Nr. 26, S. e7328, Juni 2017.
- [61] P. Korovessis, A. Hadjipavlou, und T. Repantis, „Minimal invasive short posterior instrumentation plus balloon kyphoplasty with calcium phosphate

- for burst and severe compression lumbar fractures.“, *Spine (Phila. Pa. 1976)*., Bd. 33, Nr. 6, S. 658–67, 2008.
- [62] C. Knop, U. Lange, M. Reinhold, und M. Blauth, „Der Wirbelkörperersatz mit Synex® bei kombinierter dorsoventraler Behandlung thorakolumbaler Verletzungen“, *Oper. Orthop. Traumatol.*, Bd. 17, Nr. 3, S. 249–280, 2005.
- [63] J. M. Bong, Y. C. Bo, Y. C. Eun, und Y. Z. Ho, „Polymethylmethacrylate-augmented screw fixation for stabilization of the osteoporotic spine: A three-year follow-up of 37 patients“, *J. Korean Neurosurg. Soc.*, Bd. 46, Nr. 4, S. 305–311, 2009.
- [64] U. J. A. Spiegl, S. Hauck, P. Merkel, V. Buhren, und O. Gonschorek, „Langzeitergebnisse nach Hybridstabilisierung inkompletter Berstungsfrakturen der thorakolumbalen Wirbelsäule des älteren Patienten“, *Z. Orthop. Unfall.*, Bd. 150, Nr. 6, S. 579–582, 2012.
- [65] D. Krappinger, T. J. Kastenberger, und R. Schmid, „Die Behandlung osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen mit augmentierter Instrumentation“, *Oper. Orthop. Traumatol.*, Bd. 24, Nr. 1, S. 4–12, 2012.
- [66] N. Rahamimov, H. Mulla, A. Shani, und S. Freiman, „Percutaneous augmented instrumentation of unstable thoracolumbar burst fractures“, *Eur. Spine J.*, Bd. 21, Nr. 5, S. 850–854, 2012.
- [67] D. He, L. Wu, X. Sheng, Q. Xiao, Y. Zhu, W. Yu, F. Liu, und K. Zhu, „Internal fixation with percutaneous kyphoplasty compared with simple percutaneous kyphoplasty for thoracolumbar burst fractures in elderly patients: a prospective randomized controlled trial.“, *Eur. Spine J.*, Bd. 22, Nr. 10, S. 2256–63, 2013.
- [68] S. Fuentes, B. Blondel, P. Metellus, J. Gaudart, T. Adetchessi, und H. Dufour, „Percutaneous kyphoplasty and pedicle screw fixation for the management of thoraco-lumbar burst fractures“, *Eur. Spine J.*, Bd. 19, Nr. 8, S. 1281–1287, 2010.
- [69] J. J. Verlaan, I. Somers, W. J. A. Dhert, und F. C. Oner, „Clinical and radiological results 6 years after treatment of traumatic thoracolumbar burst fractures with pedicle screw instrumentation and balloon assisted endplate reduction“, *Spine J.*, Bd. 15, Nr. 6, S. 1172–1178, 2015.
- [70] J.-J. Verlaan, W. J. A. Dhert, A. J. Verbout, und F. C. Oner, „Balloon Vertebroplasty in Combination With Pedicle Screw Instrumentation“, *Spine (Phila. Pa. 1976)*., Bd. 30, Nr. 3, S. E73–E79, 2005.
- [71] L. Ferraris, H. Koller, O. Meier, und A. Hempfing, „Die Bedeutung der sagittalen Balance in der Wirbelsäulenchirurgie“, *Dtsch. Ärzte-Verlag*, Bd. 1, Nr. 12, S. 502–508, 2012.
- [72] G. T. Fon, M. J. Pitt, und A. C. Thies, „Thoracic kyphosis: range in normal subjects.“, *AJR. Am. J. Roentgenol.*, Bd. 134, Nr. 5, S. 979–83, Mai 1980.
- [73] F. Schwab, A. Patel, B. Ungar, J. Farcy, und V. Lafage, „Adult spinal deformity-postoperative standing imbalance: how much can you tolerate? An overview of key parameters in assessing alignment and planning corrective surgery.“, *Spine (Phila. Pa. 1976)*., Bd. 35, Nr. 25, S. 2224–31, Dez. 2010.
- [74] J. C. Le Huec, S. Aunoble, L. Philippe, und P. Nicolas, „Pelvic parameters: origin and significance“, *Eur. Spine J.*, Bd. 20, S. 1–8, 2011.
- [75] J. Legaye, G. Duval-Beaupère, J. Hecquet, und C. Marty, „Pelvic incidence: A fundamental pelvic parameter for three-dimensional regulation of spinal sagittal curves“, *Eur. Spine J.*, Bd. 7, Nr. 2, S. 99–103, 1998.

- [76] G. Duval-Beaupère, C. Schmidt, und P. Cosson, „A barycentremetric study of the sagittal shape of spine and pelvis: The conditions required for an economic standing position“, *Ann. Biomed. Eng.*, Bd. 20, Nr. 4, S. 451–462, 1992.
- [77] U. J. A. Spiegl, S. Hauck, P. Merkel, V. Bühren, und O. Gonschorek, „[Long-term results of kyphoplasty with additive dorsal instrumentation of incomplete burst fractures of the thoracolumbar spine in the elderly].“, *Z. Orthop. Unfall.*, Bd. 150, Nr. 6, S. 579–582, 2012.
- [78] J. C. Fairbank und P. B. Pynsent, „The Oswestry Disability Index.“, *Spine (Phila. Pa. 1976)*., Bd. 25, Nr. 22, S. 2940–52, 2000.
- [79] J. E. Ware Jr. und C. D. Sherbourne, „The MOS 36-item short-form health survey (SF-36). I. Conceptual framework and item selection“, *Med Care*, Bd. 30, Nr. 6, S. 473–483, 1992.
- [80] „WHO :: Global Database on Body Mass Index“. [Online]. Verfügbar unter: [http://apps.who.int/bmi/index.jsp?introPage=intro\\_3.html](http://apps.who.int/bmi/index.jsp?introPage=intro_3.html). [Zugegriffen: 24-März-2017].
- [81] C. Gaul, E. Mette, T. Schmidt, und S. Grond, „Praxistauglichkeit einer deutschen Version des ‚Oswestry Low Back Pain Disability Questionnaire‘“, *Der Schmerz*, Bd. 22, Nr. 1, S. 51–58, 2008.
- [82] A. Tal, „Assessment: Oswestry Disability Questionnaire“, *Physiopraxis*, Bd. 7–8, S. 46–47, 2009.
- [83] U. Ellert und B.-M. Kurth, „[Methodological views on the SF-36 summary scores based on the adult German population].“, *Bundesgesundheitsblatt. Gesundheitsforschung. Gesundheitsschutz*, Bd. 47, Nr. 11, S. 1027–32, Nov. 2004.
- [84] R. Likert, „A technique for the measurement of attitudes“, *Archives of Psychology*, Bd. 22 140. S. 55, 1932.
- [85] T. Gunzelmann, C. Albani, M. Beutel, und E. Brähler, „[Subjective health of older people in view of the SF-36: Values from a large community-based sample].“, *Z. Gerontol. Geriatr.*, Bd. 39, Nr. 2, S. 109–19, Apr. 2006.
- [86] S. Sadiqi, J. J. Verlaan, A. M. Lehr, J. R. Chapman, M. F. Dvorak, F. Kandziora, S. Rajasekaran, K. J. Schnake, A. R. Vaccaro, und F. C. Oner, „Measurement of kyphosis and vertebral body height loss in traumatic spine fractures: an international study“, *Eur. Spine J.*, Bd. 26, Nr. 5, S. 1483–1491, 2017.
- [87] E. Beck, „[Radiographic measuring methods in vertebral fractures].“, *Hefte Unfallheilkd.*, Bd. 108, S. 36–7, 1971.
- [88] Student, „The Probable Error of a Mean“, *Biometrika*, Bd. 6, Nr. 1, S. 1, März 1908.
- [89] F. Wilcoxon, „Individual Comparisons by Ranking Methods“, *Biometrics Bull.*, Bd. 1, Nr. 6, S. 80–83, 1945.
- [90] H. B. Mann und D. R. Whitney, „On a Test of Whether one of Two Random Variables is Stochastically Larger than the Other“, *Ann. Math. Stat.*, Bd. 18, Nr. 1, S. 50–60, 1947.
- [91] K. Pearson, „X. On the criterion that a given system of deviations from the probable in the case of a correlated system of variables is such that it can be reasonably supposed to have arisen from random sampling“, *Philos. Mag. Ser. 5*, Bd. 50, Nr. 302, S. 157–175, 1900.
- [92] C. Spearman, „The Proof and Measurement of Association between Two Things.“, *Am. J. Psychol.*, Bd. 15, Nr. 1, S. 72–101, 1904.



- [93] J. Cohen, „A power primer.“, *Psychol. Bull.*, Bd. 112, Nr. 1, S. 155–159, 1992.
- [94] P. A. Anderson, A. B. Froysheter, und W. L. Tontz, „Meta-analysis of vertebral augmentation compared with conservative treatment for osteoporotic spinal fractures“, *J. Bone Miner. Res.*, Bd. 28, Nr. 2, S. 372–382, 2013.
- [95] K. Uchida, H. Nakajima, T. Yayama, T. Miyazaki, T. Hirai, S. Kobayashi, K. Chen, A. R. Guerrero, und H. Baba, „Vertebroplasty-augmented short-segment posterior fixation of osteoporotic vertebral collapse with neurological deficit in the thoracolumbar spine: comparisons with posterior surgery without vertebroplasty and anterior surgery.“, *J. Neurosurg. Spine*, Bd. 13, Nr. 5, S. 612–621, 2010.
- [96] X. L. Ma, D. Xing, J. X. Ma, W. G. Xu, J. Wang, und Y. Chen, „Balloon kyphoplasty versus percutaneous vertebroplasty in treating osteoporotic vertebral compression fracture: Grading the evidence through a systematic review and meta-analysis“, *Eur. Spine J.*, Bd. 21, Nr. 9, S. 1844–1859, 2012.
- [97] H. Bae, H. P. Hatten, R. Linovitz, a. D. Tahernia, M. K. Schaufele, V. McCollom, L. Gilula, P. Maurer, R. Benyamin, J. M. Mathis, und M. Persenaire, „A Prospective Randomized FDA-IDE Trial Comparing Cortoss With PMMA for Vertebroplasty“, *Spine (Phila. Pa. 1976)*., Bd. 37, Nr. 7, S. 544–550, 2012.
- [98] F. Hartmann, E. Gercek, L. Leiner, und P. M. Rommens, „Kyphoplasty as an alternative treatment of traumatic thoracolumbar burst fractures Magerl type A3“, *Injury*, Bd. 43, Nr. 4, S. 409–415, 2012.
- [99] Z. Klezl, H. Majeed, R. Bommireddy, und J. John, „Early results after vertebral body stenting for fractures of the anterior column of the thoracolumbar spine“, *Injury*, Bd. 42, Nr. 10, S. 1038–1042, 2011.
- [100] G. Maestretti, P. Sutter, E. Monnard, R. Ciarpaglini, P. Wahl, H. Hoogewoud, und E. Gautier, „A prospective study of percutaneous balloon kyphoplasty with calcium phosphate cement in traumatic vertebral fractures: 10-year results.“, *Eur. Spine J.*, Bd. 23, Nr. 6, S. 1354–60, Juni 2014.
- [101] K.-T. Kim, S.-H. Lee, K.-S. Suk, J.-H. Lee, und B.-O. Jeong, „Outcome of Pedicle Subtraction Osteotomies for Fixed Sagittal Imbalance of Multiple Etiologies“, *Spine (Phila. Pa. 1976)*., Bd. 37, Nr. 19, S. 1667–1675, 2012.
- [102] P. Lips und N. M. van Schoor, „Quality of life in patients with osteoporosis.“, *Osteoporos. Int.*, Bd. 16, Nr. 5, S. 447–55, 2005.
- [103] D. Yan, L. Duan, J. Li, C. Soo, H. Zhu, und Z. Zhang, „Comparative study of percutaneous vertebroplasty and kyphoplasty in the treatment of osteoporotic vertebral compression fractures“, *Arch. Orthop. Trauma Surg.*, Bd. 131, Nr. 5, S. 645–650, 2011.
- [104] U. Thormann, H. J. Erli, M. Brüggmann, G. Szalay, G. Schlewitz, H. C. Pape, R. Schnettler, und V. Alt, „Association of clinical parameters of operatively treated thoracolumbar fractures with quality of life parameters“, *Eur. Spine J.*, Bd. 22, Nr. 10, S. 2202–2210, 2013.
- [105] K. J. Schnake, P. Bula, U. J. Spiegl, M. Müller, F. Hartmann, B. W. Ullrich, und T. R. Blatter, „Thorakolumbale Wirbelsäulenfrakturen beim alten Menschen: Klassifikation und Therapie“, *Unfallchirurg*, Bd. 120, Nr. 12, S. 1071–1085, 2017.
- [106] B. Häussler, H. Gothe, D. Göl, G. Glaeske, L. Pientka, und D. Felsenberg, „Epidemiology, treatment and costs of osteoporosis in Germany--the

- BoneEVA Study.“, *Osteoporos. Int.*, Bd. 18, Nr. 1, S. 77–84, 2007.
- [107] S. H. Gehlbach, M. Fournier, und C. Bigelow, „Recognition of osteoporosis by primary care physicians.“, *Am. J. Public Health*, Bd. 92, Nr. 2, S. 271–3, Feb. 2002.
- [108] J. Krappweis, A. Rentsch, U. I. Schwarz, K. J. Krobot, und W. Kirch, „Outpatient costs of osteoporosis in a national health insurance population“, *Clin. Ther.*, Bd. 21, Nr. 11, S. 2001–2014, Nov. 1999.
- [109] J.-M. Mac-Thiong, H. Labelle, E. Berthonnaud, R. R. Betz, und P. Roussouly, „Sagittal spinopelvic balance in normal children and adolescents.“, *Eur. Spine J.*, Bd. 16, Nr. 2, S. 227–34, Feb. 2007.
- [110] P. Roussouly, S. Gollogly, E. Berthonnaud, und J. Dimnet, „Classification of the normal variation in the sagittal alignment of the human lumbar spine and pelvis in the standing position.“, *Spine (Phila. Pa. 1976)*, Bd. 30, Nr. 3, S. 346–53, Feb. 2005.

## 7.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Therapieeffizienz ausgewählter Medikamente bei Frauen in der Postmenopause, A: Empfehlungsgrad A, B: Empfehlungsgrad B, Abbildung übernommen aus den Leitlinien der DVO von 2017 [28], Genehmigung für die Verwendung am 01.08.2018 erhalten. ....	16
Tabelle 2 Einschlusskriterien und Ausschlusskriterien für die Teilnahme an der Studie .....	37
Tabelle 3 Unfallhergang und zugehörige Beschreibung .....	38
Tabelle 4 Zuordnung zwischen BMI-Werten und Gruppen nach der WHO [80] .	40
Tabelle 5 Zuordnung zwischen den Ergebnissen im ODI-Fragebogen und dem Maß der Behinderung, Tabelle modifiziert nach Tal et al. 2009 [82].....	42
Tabelle 6 Verteilung verschiedener Nebendiagnosen innerhalb des gesamten Patientenkollektivs (n=113), Diabetes mellitus separat für die Altersklassen 60-69 (n=25) und 70-79 (n=59). ....	48
Tabelle 7 Übersicht der Zementmengen pro Wirbelkörper (n=80) und pro Schraube (n=71), bezogen auf die durchschnittlich verwendete Zementmenge aller vier Schrauben .....	55
Tabelle 8 Charakteristika der Patientinnen mit hohen ODI-Werten (n=5) im Vergleich zu den Mittelwerten aller Patient_innen (n=unterschiedlich); Alter: Alter zum Operationszeitpunkt in Jahren; OP-Dauer: Operationsdauer in Minuten; ODI: Gesamtergebnis im ODI-Fragebogen in Prozent; NRS_T: numerische Rating-Skala „Therapiezufriedenheit“; NRS_S: numerische Rating-Skala „Schmerz“; ksk: körperliche Summenskala aus dem SF-36-Fragebogen; psk: psychische Summenskala aus dem SF-36-Fragebogen .....	58
Tabelle 9 Ergebnisse im SF-36; SD: Standardabweichung des Mittelwertes; n: Stichprobengröße .....	60
Tabelle 10 Ergebnisse im SF-36 im Vergleich zu den Normwerten nach Gunzelmann [85], nach Männern und Frauen getrennt aufgeführt; die mit **-markierten Mittelwerte weichen signifikant ( $p < 0,01$ ) vom Normwert ab; die mit *-markierten Mittelwerte weichen signifikant ( $p < 0,05$ ) vom Normwert ab; SD: Standardabweichung des Mittelwertes; n - Stichprobengröße.....	61

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 11 Ergebnisse aus dem SF-36 im Vergleich zu Normwerten nach Gunzelmann [85] ( <i>kursiv</i> ), nach Altersgruppen getrennt aufgeführt; die mit *-markierten Mittelwerte weichen signifikant ( $p < 0,05$ ) vom Normwert ab; M - Mittelwert; SD - Standardabweichung des Mittelwertes; n - Stichprobengröße ..62	
Tabelle 12 Art der Mobilisation zum Nachuntersuchungszeitpunkt (n=42) .....	63
Tabelle 13 Maximale Gehstrecke zum Nachuntersuchungszeitpunkt (n=42) .....	63
Tabelle 14 Körperliche Aktivität zum Nachuntersuchungszeitpunkt (n=42) .....	63
Tabelle 15 Ursachen für den Revisionseingriff mit zugehörigem Operationsverfahren, n=12.....	64
Tabelle 16 Mittelwerte des bisegmentalen und regionalen sagittalen Cobb-Winkels in den postoperativen (n=94) und aktuellen (n=50) Röntgenaufnahmen bei Frakturen des TLÜ; Cobb: Cobb-Winkel, M: Mittelwert, SD: Standardabweichung.....	66
Tabelle 17 Mittelwerte des bisegmentalen und regionalen sagittalen Cobb-Winkels in den postoperativen (n=14) und aktuellen (n=7) Röntgenaufnahmen bei Frakturen der LWS; Cobb: Cobb-Winkel, M: Mittelwert, SD: Standardabweichung.....	66
Tabelle 18 Spinopelvine Parameter (n=30) und die jeweiligen Normbereiche, SD: Standardabweichung.....	67
Tabelle 19 Häufigkeit der verschiedenen Nebendiagnosen innerhalb der Gruppen Lost to follow-up (n=32) und Follow-up (n=65), absolute Häufigkeiten und prozentualer Anteil der Gesamtzahl an der jeweiligen Gruppe in Klammern .....	68
Tabelle 20 Zusammenhänge zwischen den Ergebnissen der verschiedenen Fragebögen berechnet mithilfe der Rangkorrelationsanalyse nach Spearman; Effektstärke angegeben in mittel ( $0,3 \geq r_s < 0,5$ ) oder stark ( $r_s > 0,5$ ); Richtung des Zusammenhanges angegeben als positiv ( $r_s > 0$ ) oder negativ ( $r_s < 0$ ); die mit **-markierten Werte zeigen eine signifikante Korrelation ( $p < 0,01$ ); ksk: körperliche Summenskala (SF-36); psk: psychische Summenskala (SF-36); NRS_S: numerische Rating-Skala „Schmerz“; NRS_T: numerische Rating-Skala „Therapiezufriedenheit“ .....	70

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 21 Übersicht der verwendeten Röntgenparameter der anderen Veröffentlichungen zum Thema Hybridstabilisierung, AVBC%: Anterior Vertebral Compression Percentage.....	76
Tabelle 22 Übersicht der lokalen und bisegmentalen Cobb-Winkel unterschiedlicher Studien, postoperativ und zum Nachuntersuchungszeitpunkt, N/O: keine Angaben, postop: postoperativ, m: Monate (durchschnittlicher Nachuntersuchungszeitpunkt).....	83
Tabelle 23 Gegenüberstellung der verschiedenen Studien über Hybridstabilisierung; Hybrid: Hybridstabilisierung, N/A: keine Angaben vorhanden, VP: Vertebroplastie, KP: Kyphoplastie, BMI: Body-Mass-Index, T: Brustwirbelkörper, L: Lendenwirbelkörper, RTX: Röntgen, NRS_S: numerische Rating-Skala „Schmerz“, Zementmenge in Mililitern, OP-Zeit in Minuten, Nachuntersuchungsintervall in Monaten, Altersspanne in Jahren .....	87

### 7.3 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Typ-A-Frakturen der Wirbelkörper, Klassifikation nach Magerl et al. [18] .....	7
Abbildung 2 Typ-A-Frakturformen im TLICS nach Vaccaro et al. [20] und in der AO-Klassifikation nach Magerl et al. [18] im Vergleich.....	9
Abbildung 3 Achsgerechte und nicht-achsgerechte Krafteinwirkung auf einen Wirbelkörper, modifiziert nach Aquarius et al. [37].....	18
Abbildung 4 OF-Klassifikation osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen nach Schnake et al. [41].....	19
Abbildung 5 Röntgenbild (seitlich, stehend) einer Patientin mit BWK 12-Fraktur nach Hybridstabilisierung, eingezeichnet ist die thorakale Kyphose (pink, 44°) .	32
Abbildung 6 Röntgenbild (seitlich, stehend) einer Patientin mit BWK 12-Fraktur nach Hybridstabilisierung, eingezeichnet ist die lumbale Lordose (gelb, 54°) ....	32
Abbildung 7 Darstellung des C7-Lots (gestrichelte Linie), verläuft durch den Mittelpunkt der Bodenplatte des 7. Halswirbelkörpers (HWK7), grüne Linie: Abstand zwischen C7-Lot und Hinterkante der Sakrumdeckplatte (sagittal vertical axis), rote Linie: Abstand zwischen C7-Lot und Hüftgelenksachse, in diesem Beispiel verläuft das C7-Lot dorsal der Hüftgelenksachse und ist somit kompensiert, Relationen der einzelnen anatomischen Abschnitte nicht realitätsgetreu.....	33
Abbildung 8 Darstellung der Parameter als Winkel: Pelvic Incidence (PI, grün), Pelvic Tilt (PT, rot) und Sacral Slope (SS, hellblau).....	34
Abbildung 9 Numerische Rating-Skala „aktueller Schmerz“ und „Therapiezufriedenheit“ .....	41
Abbildung 10 Frage nach Schmerzintensität aus dem ODI-Fragebogen.....	41
Abbildung 11 Röntgenbild (seitlich, stehend) einer Patientin mit LWK 2-Fraktur nach Hybridstabilisierung, eingezeichnet sind der bisegmentale (pink, 12°→ lordotisch) und der regionale (blau, -5°→ kyphotisch) sagittale Cobb-Winkel, außerdem VKH (25,9mm) und HKH (29,7mm) des frakturierten Wirbelkörpers und VKH (31,9mm) und HKH (34,1mm) des kranial angrenzenden Wirbelkörpers. ..	43

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 12 Zuordnung zu den Follow-up-Gruppen (n=113).....	46
Abbildung 13 Altersverteilung zum Operationszeitpunkt des gesamten Patientenkollektivs (n=113), Normalverteilungskurve eingezeichnet .....	47
Abbildung 14 Anteil der Patient_innen mit Osteoporose nach Altersklassen (n=68) .....	49
Abbildung 15 Häufigkeit der antiosteoporotischen Therapeutika (n=52); andere: andere Präparate als die aufgeführten, unbekannt: Name des Präparates unbekannt.....	49
Abbildung 16 Anteil der Patient_innen an den verschiedenen BMI-Gruppen mit absoluten Häufigkeiten (n=48) .....	50
Abbildung 17 Lokalisation der Wirbelkörperfraktur, absolute Häufigkeiten (n=113).....	51
Abbildung 18 Verteilung der Wirbelkörperfrakturen auf die verschiedenen Abschnitte mit absoluten Häufigkeiten (n=113), BWS: BWK 10, TLÜ: BWK 11 – LWK 2, LWS: LWK 3 – LWK 5 .....	51
Abbildung 19 Einteilung der Wirbelkörperfrakturen anhand des AOSpine Thoracolumbar Spine Injury Classification System von 2013 (TLICS).....	52
Abbildung 20 Einteilung der Wirbelkörperfrakturen anhand der OF- Klassifikation .....	52
Abbildung 21 Unfallhergang der Wirbelkörperfraktur mit absoluten Häufigkeiten (n=113), leicht: Stolpersturz; mittelschwer: Sturz aus 1-2m Höhe, <30km/h; adäquat: Sturz aus >2m Höhe, ≥30km/h.....	53
Abbildung 22 Angabe über Rückenbeschwerden vor der Wirbelkörperfraktur mit absoluten Häufigkeiten (n=42) .....	53
Abbildung 23 Höhe der vorherigen Wirbelkörperfraktur mit absoluten Anzahlen; LWK: Lendenwirbelkörper; BWK: Brustwirbelkörper; mehrere: es lagen mehrere Frakturen vor; anderer: Wirbelkörper, der nicht im thorakolumbalen Übergang liegt .....	54
Abbildung 24 Numerische Rating-Skala „Schmerzen aktuell“ mit absoluten Häufigkeiten (n=64).....	56

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 25 Numerische Rating-Skala „Therapiezufriedenheit“ mit absoluten Häufigkeiten (n=56).....	57
Abbildung 26 Verteilung der Ergebnisse des ODI-Fragebogens mit absoluten Häufigkeiten (n=57).....	57
Abbildung 27 Maß der Behinderung nach ODI-Fragebogen mit relativen Häufigkeiten (n=57).....	58
Abbildung 28 Zeitlicher Abstand zwischen Operationsdatum und Anfertigung des aktuellen Röntgenbildes in Monaten mit absoluten Häufigkeiten (n=59) .....	65
Abbildung 29 Einteilung anhand der OF-Klassifikation, Follow-up (n=65) und Lost to follow-up-Gruppe (n=32) im Vergleich.....	69
Abbildung 30 Kreuztabelle zum Maß der Behinderung anhand des ODI-Fragebogens und der Mobilisation, n=34 .....	71
Abbildung 31 Kreuztabelle zum Maß der Behinderung anhand des ODI-Fragebogens und der körperlichen Aktivität, n=34 .....	71

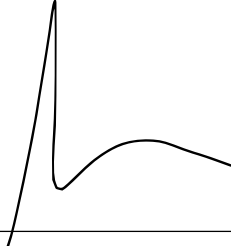


### 8 Erklärung über die eigenständige Abfassung der Arbeit

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne unzulässige Hilfe oder Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Ich versichere, dass Dritte von mir weder unmittelbar noch mittelbar eine Vergütung oder geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen, und dass die vorgelegte Arbeit weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde zum Zweck einer Promotion oder eines anderen Prüfungsverfahrens vorgelegt wurde. Alles aus anderen Quellen und von anderen Personen übernommene Material, das in der Arbeit verwendet wurde oder auf das direkt Bezug genommen wird, wurde als solches kenntlich gemacht. Insbesondere wurden alle Personen genannt, die direkt an der Entstehung der vorliegenden Arbeit beteiligt waren. Die aktuellen gesetzlichen Vorgaben in Bezug auf die Zulassung der klinischen Studien, die Bestimmungen des Tierschutzgesetzes, die Bestimmungen des Gentechnikgesetzes und die allgemeinen Datenschutzbestimmungen wurden eingehalten. Ich versichere, dass ich die Regelungen der Satzung der Universität Leipzig zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis kenne und eingehalten habe.

03.12.2018

Datum

A handwritten signature in black ink, consisting of a sharp upward stroke followed by a loop and a horizontal tail.

Unterschrift

## 9 Appendix

### 9.1 Fragebogen Nachuntersuchung

#### Fragebogen Hybridstabilisierung

Erhebungsart:  Ambulanz  Hausarzt erfragen  telefonisch

Untersuchungsdatum:        
 Tag Monat Jahr

Name+Unterschrift Untersucher: \_\_\_\_\_

Patientenaufkleber:

Geschlecht:  weiblich  männlich  
 Wirbelkörperhöhe         
 : T10 T11 T12 L1 L2 L3 L4

Körpergröße (m): \_\_\_\_\_ Gewicht (kg): \_\_\_\_\_

OP-Datum: \_\_\_\_\_ Alter bei OP: \_\_\_\_\_

ASA-Score: \_\_\_\_\_

#### 1 Anamnese

##### 1.1 Unfallhergang (*einfach*)

- 0 nicht erreichbar
- 1 leichtes Trauma (Stolpersturz)
- 2 mittelschweres Trauma (Sturz aus 1-2m Höhe, < 30km/h)
- 3 adäquates Trauma (Sturz > 2m Höhe, ≥ 30km/h)

##### 1.2 Symptomatik vor der Fraktur (Rückenschmerzen) (*einfach*)

- 1 keine Schmerzen
- 2 geringe Schmerzen, ohne Einfluss auf Aktivität
- 3 leichte, nach langer Aktivität
- 4 mittel, behinderte normale Aktivität
- 5 stark, Aktivität war stark beeinträchtigt
- 6 sehr stark, keine Aktivität möglich

##### 1.3 Vorherige Wirbelkörperfrakturen (*einfach*)

- 2 nein
- 1 ja, Wirbelkörper: \_\_\_\_\_, Zeitpunkt: \_\_\_\_\_

##### 1.4 Anschlussfrakturen an der Wirbelsäule (*einfach*)

- 2 nein

1 ja, Wirbelkörper: \_\_\_\_\_, Zeitpunkt: \_\_\_\_\_

1.1 Weitere Frakturen (Osteoporose-assoziiert) (*einfach*)

2 nein

1 ja, Lokalisation: \_\_\_\_\_, Zeitpunkt: \_\_\_\_\_

1.2 Nebendiagnosen zum OP-Zeitpunkt (*mehrfach*)

Diabetes mellitus

Osteoporose

Arterielle Hypertonie

Herzinsuffizienz

COPD

Rheumatoide Arthritis

1.3 WHO-Schmerzmedikation postoperativ (*einfach*)

0 keine

1 Level 1,  selten  gelegentlich  häufig

2 Level 2,  selten  gelegentlich  häufig

3 Level 3,  selten  gelegentlich  häufig

1.4 Schmerzmedikation aktuell (*einfach*)

0 keine

1 Level 1,  selten  gelegentlich  häufig

2 Level 2,  selten  gelegentlich  häufig

3 Level 3,  selten  gelegentlich  häufig

1.5 Physiotherapie postoperativ (*einfach*)

0 keine

1 ausschließlich im Krankenhaus

2 <1 Rezept (6 Behandlungen)

3 <2 Rezepte (12 Behandlungen)

4 >2 Rezepte (12 Behandlungen)

1.6 Selbstständige Beübung (*einfach*)

0 keine

1 ausschließlich im Krankenhaus

2 selten (<1x30min pro Woche)

3 gelegentlich (<2x30min pro Woche)

4 häufig (>2x30min pro Woche)

1.7 Mobilisation (*einfach*)

0 Ohne Hilfsmittel

1 Mit einem Gehstock

2 Mit Unterarm-Gehstützen

3 Mit einem Rollator

4 Mit einem Rollstuhl

5 Keine Mobilität

### 1.1 Gehstrecke (*einfach*)

- 0 unbegrenzt
- 1 1 km
- 2 500 m
- 3 100 m
- 4 in der Wohnung
- 5 keine

### 1.2 Körperliche Aktivität aktuell (*einfach*)

- 0 überdurchschnittliche Aktivität (Gartenarbeit/Sport)
- 1 mittlere Aktivität (selbständige Führung eines Haushaltes)
- 2 geringe Aktivität (auf Unterstützung angewiesen)
- 3 inaktiv (regelmäßig auf Unterstützung angewiesen)

### 1.3 Osteoporose-Therapie postoperativ (*einfach*)

- 0 keine Therapie
- 1 Vitamin D<sub>3</sub>
- 2 Bisphosphonat
- 3 andere: \_\_\_\_\_

### 1.4 DXA-Messung (*einfach*)

- 0 nicht erinnerlich
- 1 keine Messung vorgenommen
- 2 T> -1
- 3 T> -2,6
- 4 T< -2,6
- 5 Ergebnis nicht vorliegend

### 1.5 OP-Komplikationen (*einfach*)

- 0 keine
- 1 Thrombose/Embolie, Zeitpunkt: \_\_\_\_\_
- 2 Pneumonie, Zeitpunkt: \_\_\_\_\_
- 3 Wundheilungsstörungen, Zeitpunkt: \_\_\_\_\_
- 4 Zementleckage ohne klinische Relevanz, Zeitpunkt: \_\_\_\_\_
- 5 Zementleckage mit klinischer Relevanz, Zeitpunkt: \_\_\_\_\_
- 6 andere: \_\_\_\_\_, Zeitpunkt: \_\_\_\_\_

### 1.6 Revisionseingriff (*einfach*)

- 2 kein
- 1 ja, Zeitpunkt: \_\_\_\_\_

## 2 Körperliche Untersuchung

1.1 Hinterkopf-Wand-Abstand (Flèche-Maß)= \_\_\_\_\_ cm

1.2 Finger-Boden-Abstand= \_\_\_\_\_ cm

1.3 Schober-Maß= \_\_\_\_\_ cm

1.4 Ott-Maß= \_\_\_\_\_ cm

1.5 Druckschmerz (*einfach*)

- 0 kein Druckschmerz
- 1 auf Höhe des Implantats
- 2 oberhalb des Implantats
- 3 unterhalb des Implantats
- 4 DS an mehreren Stellen

## 3 Röntgenbildauswertung

Aufnahmedatum:     
Tag            Monat            Jahr

Aufnahmeort:  Universität Leipzig  
 Anderer Ort: \_\_\_\_\_

### a. Material (*einfach*)

- 0 Material in Situ
- 1 Implantat partiell entfernt, Zeitpunkt: \_\_\_\_\_
- 2 Implantat vollständig entfernt, Zeitpunkt: \_\_\_\_\_

### b. Zustand des frakturierten Wirbelkörpers (*einfach*)

- 0 Unveränderte Zementlage und Wirbelkörper-Stellung
- 1 Unveränderte Zementlage mit Zementleckage und unveränderter Wirbelkörper-Stellung
- 2 Hinweise auf Wirbelkörper-Lyse

### c. Zustand der Materialien (*einfach*)

- 0 Unveränderte Implantatlage
- 1 Beginnender Cut-Out (Deck-/Grundplatte nicht durchbrochen)
- 2 Schrauben Cut-Out, \_\_\_\_\_

## 9.2 Danksagung

Mein besonderer Dank gilt PD Dr. U. Spiegl, der sich während der gesamten Zeit als äußerst motivierender und kompetenter Betreuer erwiesen hat und ohne den diese Arbeit überhaupt nicht realisierbar gewesen wäre. Außerdem danke ich Prof. Dr. C.-E. Heyde für seine Unterstützung.

Daneben möchte ich mich bei Alexandra Elbakyan bedanken, ohne deren Projekt ich bei meinen wissenschaftlichen Recherchen deutlich häufiger auf Barrieren gestoßen wäre.

Darüber hinaus bedanke ich mich bei meiner Familie und meinen Freunden, die mich stets unterstützt haben und die insbesondere in Momenten des Frustes immer die richtigen Worte gefunden haben.

Zu guter Letzt möchte ich mich bei meinem geliebten Freund Adrian bedanken, der mir sowohl fachlich als auch persönlich immer beigestanden hat. Außerdem danke ich unserem Sohn Luis, der wohl die größte Motivation zur Fertigstellung dieser Arbeit dargestellt hat.

## 9.3 Lebenslauf

### Persönliche Daten

Christine Henriette Johanna Anemüller

Geboren am 18.01.1992 in Hamburg

Kohlgartenstraße 47 in 04135 Leipzig

0176 38708631

christine.anemueller@gmail.com

### Studium und schulische Bildung

seit 10/2018	Studium „Griechisch-Lateinische Philologie“ an der Universität Leipzig
seit 11/2015	Doktorandin an der Klinik und Poliklinik für Orthopädie, Unfallchirurgie und Plastische Chirurgie Leipzig
10/2011 – 10/2018 05/2018	Studium der Humanmedizin an der Universität Leipzig Ärztliche Prüfung
06/2011	Abitur am Katharineum zu Lübeck

### Praktische Erfahrungen

05/2017 – 04/2018	Praktisches Jahr
01/2018 – 04/2018	Universitätsklinikum Leipzig, Sektion Rheumatologie und Sektion Nephrologie
09/2017 – 12/2017	Helios Park-Klinikum Leipzig, Gerontopsychiatrie
05/2017 – 09/2017	Universitätsklinikum Freiburg, Klinikum für Allgemein- und Viszeralchirurgie
09/2014 – 09/2015	Famulaturen

Leipzig, 03.12.2018

