

# **Einsatz und Wertigkeit der CT- gestützten Navigation bei der operativen Versorgung instabiler thorakolumbaler Wirbelfrakturen**

Dissertation  
Zur Erlangung des akademischen Grades  
Dr. med.

An der medizinischen Fakultät  
der Universität Leipzig

Eingereicht von: Danny Schulze  
Geboren 06.09.1981  
in Leisnig

angefertigt an der Universität Leipzig, Klinik für  
Unfall-, Wiederherstellungs- und Plastische Chirurgie

Betreuer: Professor Dr. med. Ch. Josten  
Dr. med. S. Katscher

Beschluss über die Verleihung des Doktorgrades vom: **29.01.2013**

# Inhaltsverzeichnis

	<i>Seite</i>
Bibliographische Zusammenfassung	4
Abkürzungsverzeichnis	5
Zielstellung	7
1. <b><u>Einleitung</u></b>	<b>8</b>
1.1. Anatomie und Physiologie der Wirbelsäule	8
1.2. Klassifikation, Stabilität und OP-Indikation von Wirbelsäulenfrakturen	14
1.3. Differentialindikation bei Wirbelsäulenverletzungen	18
1.4. Klinische Bedeutung und Ziele der Anwendung von Navigationstechniken in der Wirbelsäulenchirurgie	19
1.5. Praktische Anwendung der CT-basierten Navigationstechnik	21
2. <b><u>Material und Methoden</u></b>	<b>24</b>
2.1. Patientengut	24
2.2. Spezielle OP-Ausrüstung	24
2.3. Anwendung der Navigationstechnik an der Klinik für Unfall-, Wiederherstellungs- und Plastische Chirurgie des Universitätsklinikums Leipzig	25
2.4. Indikation und Ziele einer operativen Versorgung bei thorakolumbalen Wirbelsäulenfrakturen	26
2.5. Operativ-taktisches Vorgehen	27
2.6. Score-Systeme in der Wirbelsäulenchirurgie	30
2.7. Radiologische Beurteilung vor, während und nach der operativen Versorgung	33
2.8. Poststationärer Verlauf	36
2.9. Statistische Auswertung	37
3. <b><u>Ergebnisteil</u></b>	<b>38</b>
3.1. <i>Läsionsursache</i>	38
3.2. <i>Analyse der perioperativen Daten</i>	41
3.2.1. Höhenlokalisierung der Wirbelfrakturen	41

3.2.2.	Klassifikation der traumatischen Frakturen und deren Häufigkeit im Überblick	42
3.2.3.	Begleitverletzungen und ISS-Score	44
3.2.4.	Analyse der OP-Zeiten	45
3.2.5.	prä- und postoperativer neurologischer Untersuchungsstatus	47
3.2.6.	Abbruchkriterien bei navigierten Operationen	48
3.2.7.	Stationäre Aufenthaltsdauer	49
3.2.8.	Nicht-navigationsbedingte Komplikationen	53
3.2.9.	Navigationsbedingte Komplikationen	55
3.3.	<i>Auswertung der Rehabilitationsergebnisse</i>	58
3.3.1.	Rekrutierungsraten von Patienten	58
3.3.2.	Auswertung der durchschnittlichen Rehabilitationsdauer	59
3.3.3.	Arbeitsfähigkeit, Freizeitaktivität	61
3.3.4.	Schmerzanalyse	65
3.4.	<i>Radiologische Auswertung der Operationsergebnisse</i>	71
3.4.1.	intraoperative Strahlenbelastung	71
3.4.2.	Radiologische Messungen zum Kyphosierungsverhalten	73
3.5.	Darstellung von drei klinischen Fallbeispielen	76
4.	<b><u>Diskussionsteil</u></b>	85
4.1.	Epidemiologische Daten	85
4.2.	Perioperative Daten	86
4.2.1	Klassifikation von Wirbelsäulenfrakturen	86
4.2.2	Schwere der Verletzung und Prognoseabschätzung	86
4.2.3	OP-Dauer	86
4.2.4	Neurologie	87
4.2.5	Indikationen zum Abbruch der Navigation – Grenzen der Navigation	88
4.2.6	Navigationsassoziierte Komplikationen	89
4.2.7	Allgemeine Komplikationen	92
4.2.8	Stationäre Aufenthaltsdauer	94
4.3.	Diskussion der Rehabilitationsergebnisse	94
4.3.1.	Nachuntersuchung	94
4.3.2.	Rehabilitationsdauer	95

4.3.3. Arbeitsfähigkeit	96
4.3.4. Schmerzanalyse	97
4.4. Diskussion aller radiologischen und aus Sicht des Strahlenschutzes relevanten Parameter	99
4.4.1. Strahlenbelastung	99
4.4.2. Radiologische Messungen	101
4.5. Quoad vitam – Fortschritt oder Rückschritt?	102
5. <b><u>Zusammenfassung</u></b>	104
6. <b><u>Literaturverzeichnis</u></b>	108
7. <b><u>Anhang</u></b>	112
Selbständigkeitserklärung	116
Lebenslauf	117
Danksagung	118

## **Bibliographische Zusammenfassung**

Schulze, Danny

### **Einsatz und Wertigkeit der CT-gestützten Navigation bei der operativen Versorgung instabiler thorakolumbaler Wirbelfrakturen**

Universität Leipzig, Dissertation

118 S., 89 Lit., 47 Graf., 20 Abb., 10 Tab.

Eine retrospektiv-deskriptive Studie über die Möglichkeiten, Grenzen, Vorteile und Nachteile der operativen Versorgung von Patienten mit instabilen Wirbelfrakturen verschiedener Genese unter Zuhilfenahme der CT-gestützten Navigationstechnik in den Jahren 2002-2004.

## Abkürzungsverzeichnis

A.	Arteria
Abb.	Abbildung/en
AO	Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen
ASA	Score zu Klassifizierung des Anästhesierisikos nach der American Society of Anesthesiologists
ASIA	Klassifikationssystem zur Beurteilung der Querschnittslähmung nach der American Spinal Injury Association
AV-Block	Atrioventrikulärer Block
BWS	Brustwirbelsäule
bzw.	beziehungsweise
cGycm <sup>2</sup>	Einheit für Strahlendosis als Flächendosisprodukt
CT	Computertomografie
dors.	dorsal/es/er
Dr.	Doktor
DRG	Diagnosis Related Groups
d	Tage
dv	Dorsoventral
d-v-kombiniert	dorsoventral-kombiniert
et al.	<i>lateinisch</i> et alii, <i>deutsch</i> und andere
ez	Einzeitig
Fa.	Firma
Fix. Int	Fixateur intern
ggf.	Gegebenenfalls
GDW	Grund-Deckplattenwinkel
Graf.	Grafiken
HJ	Halbjahr
HKQ	Hinterkantenquotient
Hrsg	Herausgeber
HWS	1. Halswirbelsäule, 2. <i>in anderem Zusammenhang</i> Hannover Wirrbelsäulenscore
i. d. R.	In der Regel
ISS	Injury Severity Score
KFZ	Kraftfahrzeug
komb.	Kombiniert
KW	Körperwinkel/Kyphosewinkel
L	Lumbalsegment
LED	<i>englisch</i> Light emitting diode, <i>deutsch</i> Leuchtdiode
Lit.	Literaturquellen
LWK	Lendenwirbelkörper
LWS	Lendenwirbelsäule
m	Männlich
M.	Musculus

Max	Maximal
MCS	Multi-Center-Studie
med.	Medicinae
min	Minute/n
MRT	Magnetresonanztomografie
MW	Mittelwert
NU	Nachuntersuchung
OP	Operation
p	Signifikanzniveau
pathol.	pathologisch-e/er/es
PC	Personal Computer
Proc.	Processus
R.	Ramus
Reha.	Rehabilitation
S	Sakralsegment
S.	Seite/n
SD	Standardabweichung
SF 36	"Short Form 36" - ein Fragebogen zur Beurteilung der Lebensqualität
T	Thorakalsegment
Tab.	Tabellen
techn.	technisch-e/er/es
Th	Thorakalsegment
Ther.	Therapy
traumat.	Traumatisch
T-Test	Spezieller Test zur Statistischen Berechnung
USS	Eigenname für Stabilisierungssystem als Fixateur externe der Firma SYNTHEs
v. a.	vor allem
VAS	Visuelle Analogskala
VKU	Verkehrsunfall
vs.	Versus
w	Weiblich
WS-Fraktur	Wirbelsäulenfraktur
X-tenz-Cage	künstlicher höhenvariabler Wirbelkörperersatz
z. B.	zum Beispiel
z. T.	zum Teil
zz	Zweizeitig
2-D	Zweidimensional
3-D	Dreidimensional

## Zielstellung

Die Wirbelsäule ermöglicht uns durch ihre Funktionalität und Statik im Zusammenspiel der einzelnen anatomischen Strukturen den aufrechten Gang. Sie fungiert als Bewegungszentrum der für den Menschen charakteristischen Bewegungsabläufe. Vor traumatischen Schädigungen geschützt, verlaufen in ihr Strukturen des zentralen Nervensystems. Eine Verletzung desselben stellt eine wesentliche Beeinträchtigung der Lebensqualität dar. Daher ist es wichtig, Verletzungen, Entzündungen oder durch Tumore verursachte Beeinträchtigungen zu beheben und standardisierte optimale Behandlungsweisen anzuwenden.

Die vorliegende Arbeit soll einen Überblick über die Etablierung der CT-gestützten Navigation an der Klinik für Unfall-, Wiederherstellungs- und Plastische Chirurgie des Universitätsklinikums Leipzig bei der operativen Versorgung instabiler thorakolumbaler Wirbelkörperfrakturen geben. Diese Methodik findet seit 28.03.2002 regelmäßig Anwendung in dieser Klinik. Es wird eine Analyse der peri- und postoperativen Untersuchungsergebnisse anhand von 97 untersuchten Patienten im Vergleich zwischen den einzelnen Operationsverfahren zur Darstellung gebracht. Ebenfalls soll eine kritische Wertung der ermittelten Ergebnisse unter Berücksichtigung der bisher veröffentlichten Arbeiten erfolgen. Besonderes Augenmerk liegt dabei auf den Operationsergebnissen der navigiert operierten Patienten, vor allem in Bezug auf eine maximal erreichbare Sicherheit und Präzision sowie auf der Zufriedenheit der behandelten Patienten. Vorteile und Probleme der Navigation sollen diskutiert und mögliche Verbesserungsmöglichkeiten aufgezeigt werden.

# 1. Einleitung

## 1.1. Anatomie und Physiologie der Wirbelsäule

### **Knöcherner Aufbau**

Die Wirbelsäule des Menschen formt unser Achsenskelett und ermöglicht uns den aufrechten Gang. Sie ermöglicht durch das Zusammenspiel von Wirbeln, Bandscheiben und Bändern und durch ihre typische Form (Halslordose, Brustkyphose und Lendenlordose) erstaunliche Bewegungsumfänge (Schiebler 1977). Die Wirbelsäule wird gegliedert in 7 Halswirbel (Vertebrae cervicales), 12 Brustwirbel (Vertebrae thoracicae), 5 Lendenwirbel (Vertebrae lumbales), 5 Kreuzwirbel (Vertebrae sacrales), die das Kreuzbein bilden und 4-5 Steißwirbel (Vertebrae coccygeae), die das Steißbein ergeben.

Vom 3. Halswirbel bis zum 5. Lendenwirbel weisen alle Wirbel einen Wirbelkörper und einen Wirbelbogen auf, die durch jeweils 2 Pedikel miteinander verbunden sind. Jeder Wirbelkörper besitzt eine Grund- und Deckplatte. Zwischen je zwei übereinander liegenden Wirbeln findet sich das Foramen intervertebrale, durch das Nervenwurzeln verlaufen und das Rückenmark zum peripheren Nervensystem verbinden. Übereinanderliegende Wirbelkörper und Bögen sind untereinander über Gelenke verbunden.

Entsprechend der unterschiedlichen statischen und dynamischen Belastung der einzelnen Wirbelsäulenabschnitte können Besonderheiten im Aufbau der einzelnen Wirbelkörper differenziert werden. Im Bereich der Halswirbel C6 bis C1 befindet sich in den Querfortsätzen das Foramen transversarium in dem die A. vertebralis verläuft. Die Processus spinosi sind kurz und schräg nach unten gerichtet, was sich auf die Beweglichkeit im Bereich der Halswirbelsäule auswirkt. Bewegungen sind in alle Richtungen mit guten Bewegungsumfängen möglich. Die Processus articulares nehmen nach kaudal hin eine Frontalstellung ein. Das Foramen vertebrale ist weit und dreieckig.

Die Brustwirbel zeigen ebenfalls nahezu frontalgestellte Processus articulares. Die Processus transversi sind schräg nach lateral-dorsal gerichtet und weisen Gelenkflächen für die Herstellung einer Verbindung zu den Rippen auf. Die Pedikel, die Wirbelbögen und Wirbelkörper verbinden, sind im Hals- und Brustwirbelsäulenbereich besonders schmal und bieten für etwaige operative Eingriffe aufgrund der unmittelbaren Nähe des Spinalkanals wenig Raum. Zusätzlich bestehen durch die direkte Verbindung zu den Rippen und durch die Steilstellung der Processus spinosi nur wenige Bewegungsmöglichkeiten. Der Reserveraum des Spinalkanals ist klein mit wenig Ausweichraum für Frakturen und unterliegt somit hoher Vulnerabilität für Querschnittslähmungen.

Die Wirbel der Lendenwirbelsäule sind deutlich größer, die Processus spinosi sind nahezu horizontal ausgerichtet und bieten Spielraum für die Rotationen des Rumpfes, die Pedikel sind ebenfalls deutlich stärker und bieten für die operative Verankerung von Fixationsmaterial ausreichenden und sicheren Halt. Das Foramen vertebrale ist wiederum dreieckig und weit. Der Reserveraum des Spinalkanals ist in dieser Region hoch, sodass sogar 40 bis 60 prozentige Einengungen ohne neurologische Ausfälle bleiben.

Die Größe der Pedikel und Wirbelkörper nimmt also von cranial nach caudal zu, was bei der Wahl der Stärke und Länge einzubringender Pedikelschrauben zu beachten ist. Wesentlich ist auch die ventrale runde Konfigurierung des Wirbelkörpers.

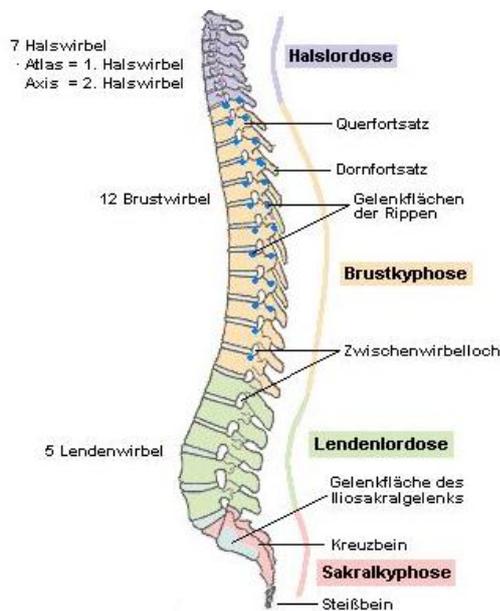


Abbildung 1 – Aufbau der Wirbelsäule

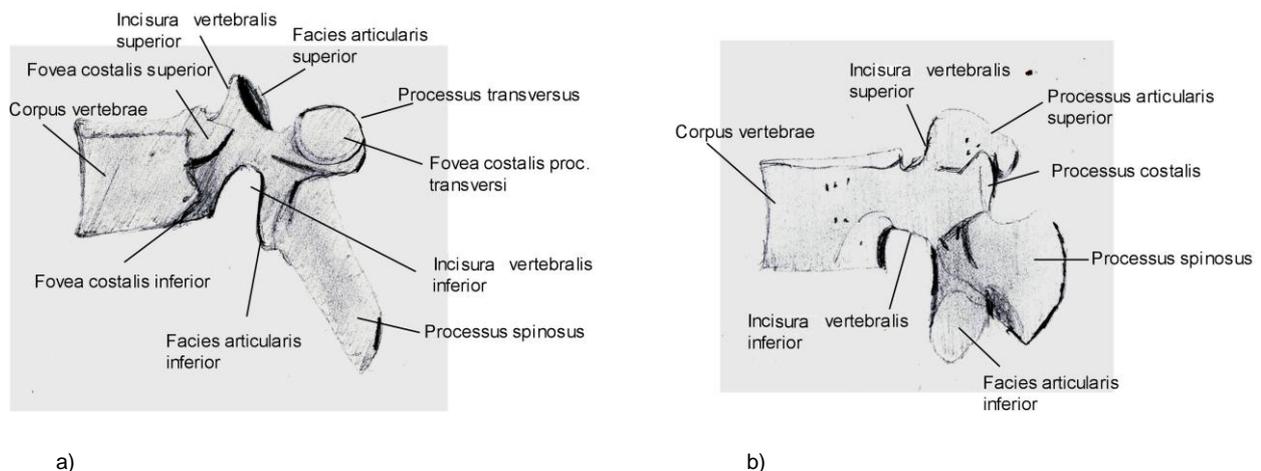


Abbildung 2 – Aufbau eines Wirbelkörpers (von lateral) (a Brustwirbelkörper; b Lendenwirbelkörper)

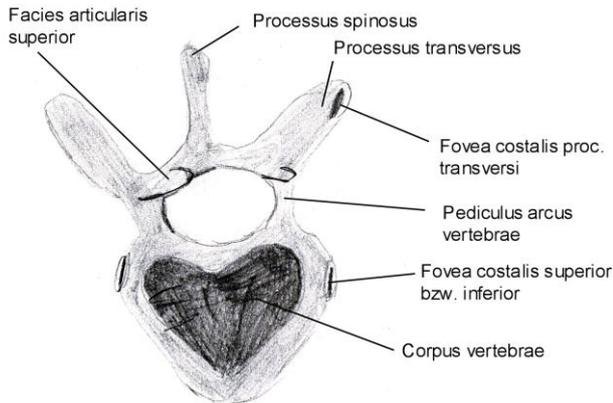


Abbildung 3 – Aufbau eines Wirbelkörpers (quer)

### **Aufbau des Bandapparates**

Alle Skelettelemente werden durch einen kräftigen Bandapparat zusammen gehalten.

An der gesamten Wirbelsäule verläuft an der vorderen Wand des Spinalkanals das Ligamentum longitudinale posterius, dieses ist fest mit den Bandscheiben verwachsen. Seine Funktion besteht im Wesentlichen im Schutz vor einer übermäßigen Beugung sowie Sicherung der Bandscheiben.

Das Ligamentum longitudinale anterius ist wesentlich stärker und verbindet die Vorderfläche der Wirbelkörper untereinander, verhindert eine übermäßige Dorsalflexion und erhält die Eigenform der Wirbelsäule.

Kreuz- und Steißbein sind miteinander verbunden durch das Ligamentum sacrococcygeum posterius superficiale und profundus, das Ligamentum sacrococcygeum anterius sowie durch die Ligamenta sacrococcygea lateralia. Weitere kleinere Bänder verlaufen zwischen den Processus transversaria, den Processus spinosi, den Wirbelbögen (Ligamenta flava) und umgeben auch alle Gelenke zum Erhalt der Stabilität.

Von wesentlicher Bedeutung für den Bewegungsablauf sind die Bandscheiben (Disci intervertebrales), sie sind zwischen den Wirbelkörpern zu finden, verbinden diese untereinander und sind aufgebaut aus einer kollagenfaserigen Außenschicht (Anulus fibrosus) und einer Innenzone aus Faserknorpel mit darin befindlichem Gallertkern (Nucleus pulposus). Mit ihren viskoelastischen Eigenschaften, sorgen sie für eine gleichmäßige Umverteilung von Druck- und Zugkräften zwischen den Wirbeln.

### **Muskulatur der Wirbelsäule**

Die Rückenmuskulatur besteht im Wesentlichen aus 2 Komponenten, den primären (autochthonen), und den sekundären Rückenmuskeln.

Zu den primären Rückenmuskeln gehören alle Muskeln die von den Rami posteriores der Spinalnerven innerviert werden, sie liegen in der Tiefe. Ihre Gesamtheit der längsverlaufenden Muskeln nennt man auch Musculus erector spinae, da sie die Wirbelsäule gestreckt halten. Wichtige Funktionen kommen der primären Rückenmuskulatur bei Streckungs-, Drehungs- und Lateralflexionsbewegungen der Wirbelsäule zu.

Bei den sekundären Rückenmuskeln handelt es sich entwicklungsgehistorisch um eingewanderte Muskeln der ventralen Rumpfmuskulatur, sie haben sich auf die primäre Rückenmuskulatur aufgeschoben und liegen damit oberflächlich. Ihre Innervation erfolgt über die Rami anteriores der Spinalnerven. Nach Ursprung und Ansatz kann man sie einteilen in eine spinokostale Gruppe, eine modifizierte Interkostalmuskulatur sowie in eine spinoskapulare und spinohumerale Gruppe. Zur spinoskapularen und spinohumeralen Gruppe gehören M. trapezius, M. rhomboideus major et minor, M. latissimus dorsi und der M. levator scapulae an. Ihre Funktion besteht in der Realisierung von Streck- und Lateralflexionsbewegungen, sie bilden das typische Oberflächenrelief des menschlichen Rückens (Schiebler 1977).

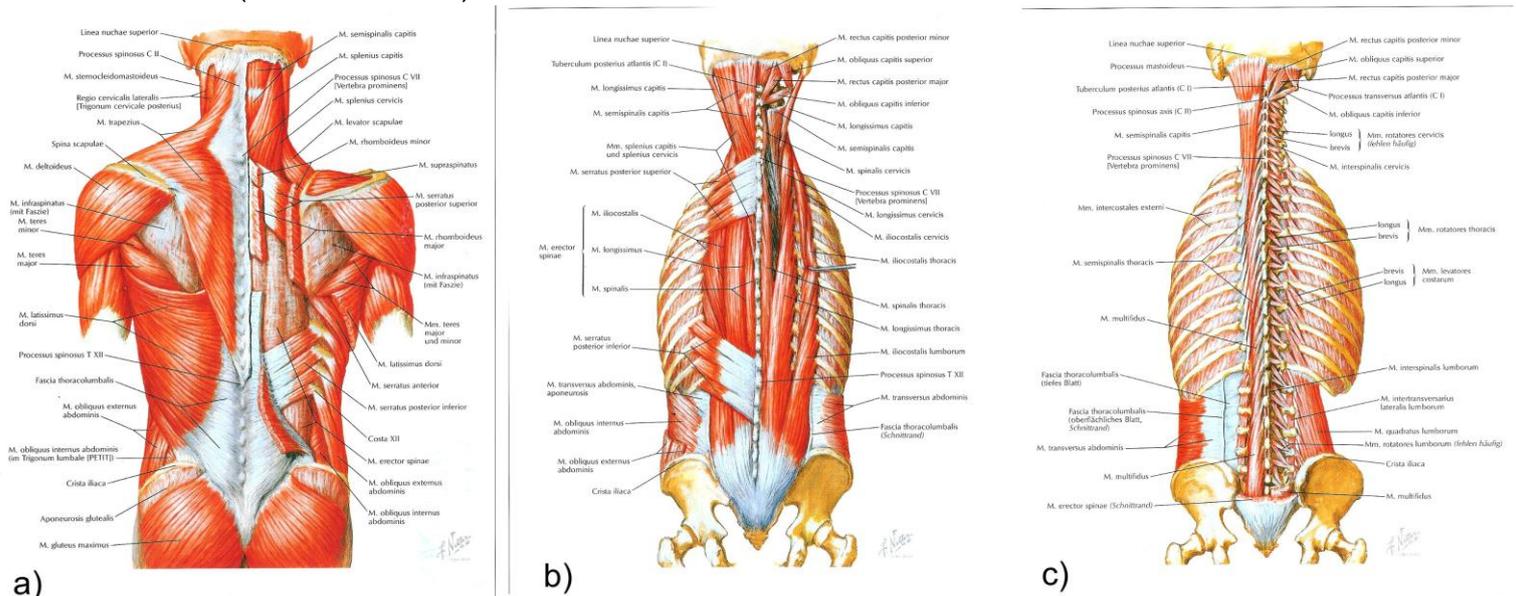


Abbildung 4 - Rückenmuskulatur a) oberflächliche Schicht, b) mittlere Schicht, c) tiefe Schicht (Sobotta 1993)

### Gefäßversorgung der Wirbelsäule

Für die arterielle Gefäßversorgung der Wirbelsäule und der Rückenmuskulatur sorgen folgende Gefäße: die Arteriae intercostales posteriores mit den davon abgehenden Gefäßen R. cutaneus medialis, R. cutaneus lateralis, Rami musculares sowie Ramus dorsalis. Anastomosen mit der A. intercostalis anterior kommen vor. Weiterhin beteiligt an der arteriellen Gefäßversorgung sind die Rami dorsales der Arteria subcostalis, und die Rami dorsales der Arteriae lumbales, die direkt aus der Aorta entspringen. Die Gefäße am Rücken

verlaufen prinzipiell segmental und nach gleichem Muster, alle Rami dorsales entsenden zusätzlich einen Ramus spinalis, der durch das Foramen intervertebrale in den Spinalraum zur Versorgung des Rückenmarkes zieht.

Für den venösen Abfluss sorgen meist gleichnamige Begleitvenen der Arterien. Aus dem dorsalen Rumpfabschnitt erfolgt der Abfluss dann über das „Azygossystem“ in die Vena cava superior, das Blut der rechten Körperhälfte mündet in der Vena azygos, das Blut der linken Körperhälfte entsprechend in der Vena hemiazygos bzw. in die Vena hemiazygos accessoria.

Besonderheiten fallen bei der Blutversorgung der knöchernen Wirbelsäule auf. Sauerstoffreiches Blut gelangt über die Foramina nutricia in die Wirbelkörper zur Versorgung des knochenmarkreichen Spongiosawerkes. Der venöse Abfluss erfolgt über die Venae basivertebrales in den Plexus venosus vertebralis internus, der sich im Wirbelkanal befindet und zum Plexus venosus vertebralis externus anterior, dieser liegt an der Vorderseite des Wirbelkörpers. Zahlreiche Anastomosen zum Plexus venosus vertebralis externus posterior an der Rückseite des Arcus vertebrae bestehen zusätzlich.

Für den Lymphabfluss sind periphere Lymphgefäße zuständig, diese laufen gemeinsam mit den Venen, und fließen in Lymphknotensystemen zusammen.

Die Innervation der dorsalen Rumpfwand erfolgt sowohl motorisch als auch sensibel durch Rami posteriores bzw. Rami anteriores der Spinalnerven. Ebenfalls sind Äste des Plexus lumbalis an der Innervation v.a. der lumbalen sekundären Rückenmuskulatur beteiligt. Als einziger Hirnnerv ist der Nervus accessorius an der Innervation beteiligt. (Lippert 1993)

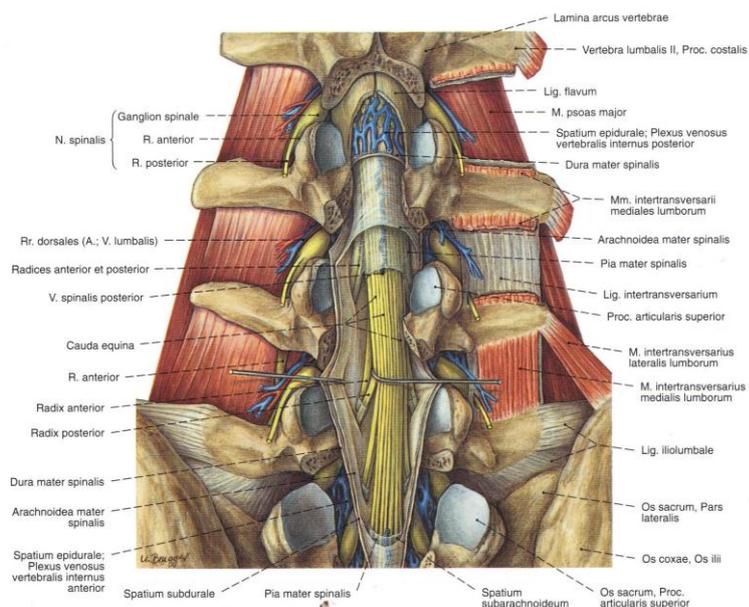


Abbildung 5 Gefäße und Nerven des Wirbelkanals der Regio lumbaris (Sobotta 1993)

## **Aufbau des Rückenmarkes**

Mit einer Länge von etwa 45 cm liegt das Rückenmark geschützt im Wirbelkanal und ist über die Medulla oblongata mit den kranialen Anteilen des Zentralen Nervensystems verbunden. Kaudal erreicht es den 1. oder 2. Lendenwirbelkörper. Durch vordere und hintere Wurzeln ist das Rückenmark mit dem peripheren Nervensystem sowohl afferent als auch efferent verbunden.

Kaudal geht das Rückenmark am Conus medullaris in die Cauda equina über, die von einem cirka 25 cm langen Filum terminale begleitet wird.

Das Rückenmark ist segmental gegliedert: 8 Zervikalsegmente (C1-C8) bilden das Zervikalmark, 12 Thorakalsegmente (Th1-Th12), 5 Lumbalsegmente (L1-L5), 5 Sakralsegmente (S1-S5) und 1-2 Kokzygealsegmente (C0) schließen sich an und ergeben insgesamt 31 Rückenmarksegmente. Bei Schädigungen in Abhängigkeit der betroffenen Segmente zeigen sich peripher typische neurologische Ausfallerscheinungen.

Die Gefäßversorgung wird durch die Arteria spinalis anterior sowie durch die Arteriae radicales gewährleistet. Venöses Blut wird in den Plexus venosi vertebrales interni gesammelt und erhält Verbindungen zu den venösen Sinus in der Schädelhöhle. Die Venen enthalten nicht nur sauerstoffarmes Blut, sondern auch Liquor cerebrospinalis, der über Arachnoidalzotten in den Wurzeltaschen resorbiert und an die Venen abgegeben wird.

Das Verhältnis des Spinalkanaldurchmessers zum Durchmesser des Rückenmarks ändert sich im Verlauf von kranial nach kaudal mehrfach. So ist beispielsweise das Verhältnis am Übergang des Cervikothorakalmarks am kleinsten, das heißt es besteht nur eine kleine Pufferzone bei traumatischen Schädigungen mit großer Gefahr neurologischer Schädigung bei Verletzung des Spinalraums, wohingegen im Lumbalbereich kaudal von LWK1 nur noch die Cauda equina den verhältnismäßig größeren Raum des Spinalkanals ausfüllt und bedingt durch die Verschieblichkeit mehr Pufferzone für Verletzungen vorliegt.

Schützend umgeben wird das Rückenmark von Meningen des Zentralnervensystems (Dura mater spinalis, Arachnoidea mater spinalis und Pia mater spinalis). Die Dura mater spinalis besteht aus 2 Blättern, zwischen denen Fettgewebe und Venen den Epiduralraum ausfüllen. Unter der Arachnoidea ist der klinisch so bedeutsame Subarachnoidalraum zu finden, hier fließt Liquor cerebrospinalis. Besonders groß ist der Subarachnoidalraum kaudal des Conus medullaris, man nennt diesen Bereich deshalb auch Cisterna lumbalis. In der Umgebung der Wurzeltaschen sind in der Arachnoidea zottenartige Fortsätze zu finden, die Liquor resorbieren können. Die sensible Innervation der Rückenmarkshäute erfolgt über Rami meningei der Spinalnerven (Schiebler 1977).

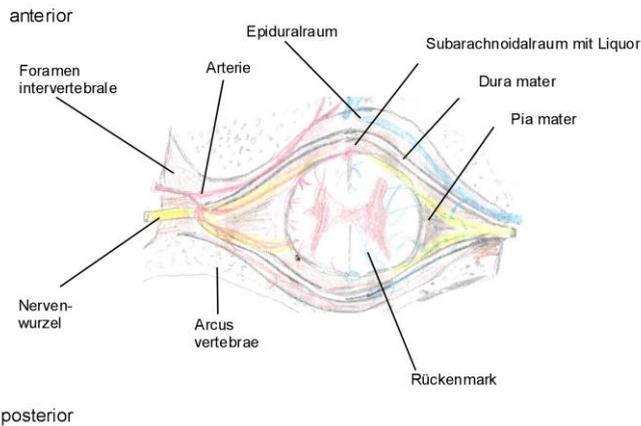


Abbildung 6 – Spinalkanal

## 1.2. Klassifikation, Stabilität und OP-Indikation von Wirbelsäulenfrakturen

Die heute gebräuchliche Klassifikation orientiert sich an der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen (AO), welche 1994 Magerl et al. zum ersten Mal beschrieb und ein bis heute übliches und weit verbreitetes Klassifikationssystem darstellt, mit dem es erstmals gelang, die bildgebende Diagnostik und den Unfallhergang mit daraus resultierenden Verletzungskombinationen gemeinsam zu beschreiben. Im Wesentlichen entstehen Wirbelsäulenfrakturen durch 3 Mechanismen: Typ A - Kompressionsverletzungen, Typ B - Flexions- und Distraktionsverletzungen und Typ C - Rotationsverletzungen.

### **Typ-A-Verletzungen**

Diese Verletzungen kann man weiter unterteilen in Impaktions- (A1), Spalt- (A2) und Berstungsbrüche (A3). A1- Frakturen haben eine stabile Hinterkante und eine nur geringe Tendenz zur Keilwirbelbildung, sodass eine OP-Indikation nur im Ausnahmefall besteht. A2- Frakturen zeigen eine Spaltbildung und werden bis auf A2.3- Frakturen regelhaft konservativ behandelt. A3-Frakturen als inkompletter (A3.1) oder kompletter (A3.3) Berstungsbruch stellen den größten Anteil OP-pflichtiger Wirbelkörperfrakturen dar. Typisch ist die unterschiedlich starke Destruktion.

### **Typ B-Verletzungen**

B 1- Verletzungen zeigen dorsal an den ligamentären Strukturen Verletzungen in Kombination mit ventralen Verletzungen der Bandscheiben (B1.1) oder kommen als Kombination mit A-Frakturen (B1.2) vor. Bei B2- Verletzungen sind die dorsalen knöchernen Strukturen verletzt. B2.1- Frakturen weisen als Chance-Fraktur knöcherne Verletzungen über die Wirbelbögen laufend bis nach ventral ohne größere Verletzung des Wirbelkörpers. Bei B

2.2- Frakturen liegt eine ventrale Beteiligung der Bandscheibe vor, bei B 2.3- Frakturen ist eine Kombination mit A-Frakturen vorhanden. B3- Verletzungen sind (seltene) Hyperextensionsverletzungen als rein diskoligamentäre Fraktur vorkommend (B 3.1), oder aber mit einer dorsalen Spondylolyse (B3.2) oder einer dorsalen Dislokation (B 3.3) vergesellschaftet.

### Typ C-Verletzungen

Dieser komplexesten Form der Wirbelsäulenverletzung liegen oft Hochrasanztraumen oder ein Sturz aus großer Höhe zu Grunde, sodass Begleitverletzungen vorprogrammiert sind (Polytrauma). Eine C 1- Verletzung ist mit einer Typ-A-Verletzung, eine C 2- Verletzung mit einer B- Verletzung kombiniert. C3- Frakturen sind Rotations-/Scherungsverletzungen.

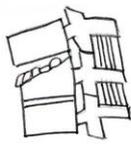
Deckplattenimpression

Keilbruch

Wirbelkörperimpaktion



A1.1



A1.2



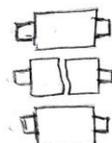
A1.3



Sagittaler Spaltbruch

Frontaler Spaltbruch

Kneifzangenbruch



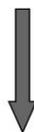
A2.1



A2.2



A2.3



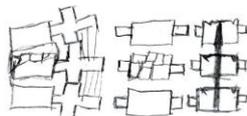
Inkompletter Berstungsbruch

Berstungsspaltbruch

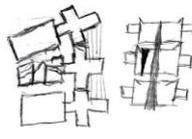
kompletter Berstungsbruch



A3.1



A3.2

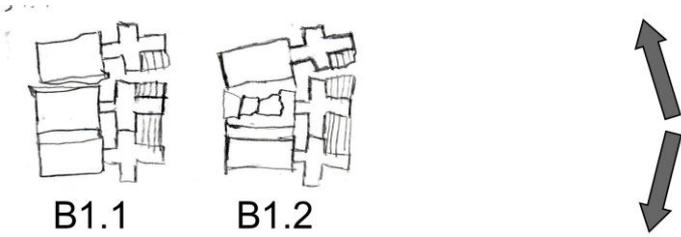


A3.3



Flexionsdistraktion  
Diskoligamentäre Instabilität

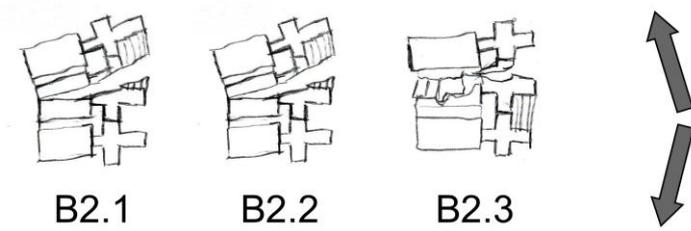
Flexionsdistraktion +  
Wirbelkörperkompression



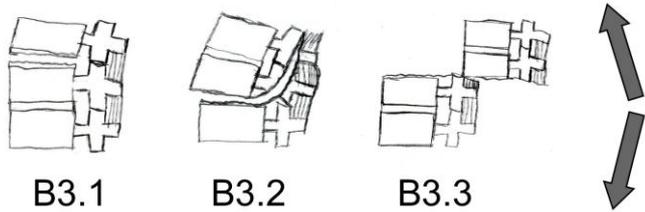
Chance-Fraktur

Flexionsspondylolyse +  
Wirbelkörperkompression

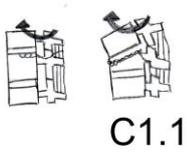
Flexionsdistraktion +  
Wirbelkörperkompression



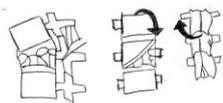
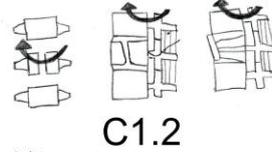
Hyperextensionssubluxation    Hyperextensionsspondylolyse    Hintere Luxation



Rotationskeilbruch



Rotationsspaltbruch



Rotationsberstungsbruch

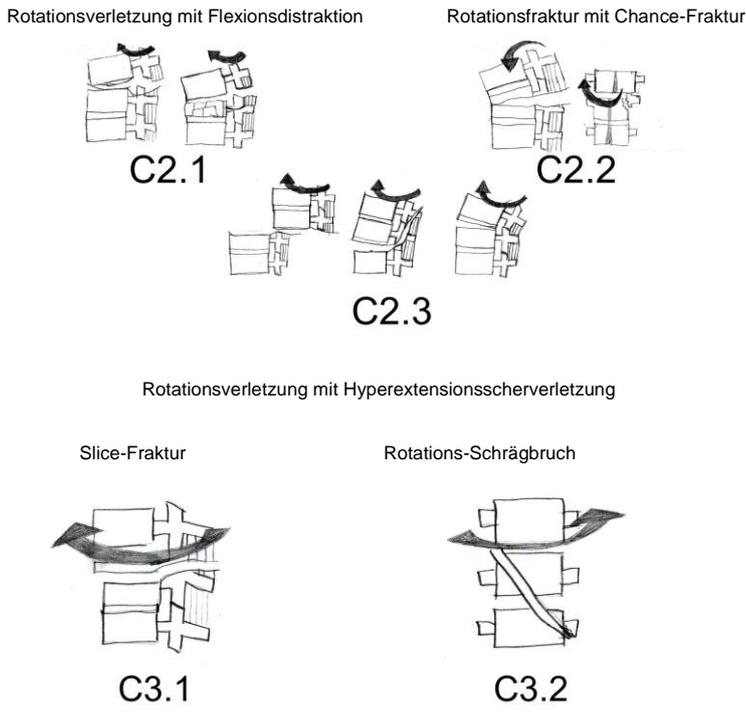


Abbildung 7 – Klassifikation von Wirbelsäulenfrakturen

### Stabilität und OP-Indikation

Bezüglich der Stabilität und OP-Indikation bei verschiedenen Wirbelsäulenverletzungen existiert in der Literatur derzeit keine einheitliche Meinung. Interpretiert man „Stabilität“ nach White & Panjabi (1990) sollte bei einer stabilen Fraktur keine Stellungsänderung resultieren, bei einer instabilen Fraktur dagegen drohen neurologische Ausfälle oder statische Dekompensationen. Die Mehrzahl aller Verletzungen befindet sich jedoch zwischen diesen Erscheinungsformen (Verheyden et al. 2011). In dieser Arbeit wurden A1- und A2- Frakturen prinzipiell als stabil gewertet, wobei osteoporotische A1.3.- Frakturen eine eigene Entität darstellen. Bei A1.2-Frakturen mit einer segmentalen Kyphose von  $\geq 20^\circ$ , welche bei dieser Verletzung jedoch selten ist, wurde die OP-Indikation gestellt. Ebenso betrachteten wir Kneifzangenbrüche (Pinzer-Frakturen) vom Typ A2.3 aufgrund ihrer Neigung zur Pseudarthrosenbildung als potentiell instabil und stellten die OP-Indikation. Während prinzipiell alle A3.2- und A3.3.-Frakturen sowie B- und C-Verletzungen als instabil gewertet und somit operativ versorgt wurden, erfolgte die Einschätzung der A3.1-Frakturen anhand der Größe und Dislokation des Hinterkantenfragments sowie dem Ausmaß der Schäden am Wirbelkörper entsprechend der McCormack-Klassifikation.

## McCormack-Klassifikation (Load sharing classification)

McCormack entwickelte erstmals ein Score-System, welches Aussagen über die Lastverteilung des implantierten Fixationsmaterials treffen und somit die mechanische Festigkeit des einzubringenden Materials werten kann. Berücksichtigt wird dabei die Größe des instrumentierten Wirbelkörpers, die Verteilung der Frakturfragmente an der Bruchstelle und der Kyphosewinkel.

Score	1 point	2 points	3 points
Sagittal collapse	30%	>30%	60%
Shift	1mm	2mm	>2mm
Correction	3 degrees	9 degrees	10 degrees
Total	3 points	6 points	9 points

Tabelle 1

### 1.3. Differentialindikation bei Wirbelsäulenverletzungen

Frakturtyp	Regelversorgung	Alternative	Kriterien
<b>A1.1</b>	Konservativ		
<b>A1.2</b>	Konservativ	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Isoliert ventrale Rekonstruktion und Stabilisierung, monosegmental</li> <li>- Vertebroplastie/ Kyphoplastie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Junger Patient, Kyphose &gt; 15-20°</li> <li>- Älterer Patient mit Osteoporose und Schmerzen</li> </ul>
<b>A1.3</b>	Vertebroplastie/ Kyphoplastie		Älterer Patient, Schmerzen
<b>A2.1</b>	Wie A1.2		
<b>A2.2</b>	Wie A1.2		
<b>A2.3</b>	Dorsale Reposition und Stabilisierung, bisegmental. Ventrale Rekonstruktion und Stabilisierung, bisegmental	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Isoliert ventral bisegmental falls keine Kyphosierung</li> </ul>	Kneifzangenbruch, i.d. R. beide Bandscheiben destruiert
<b>A3.1</b>	Dorsale Reposition und Stabilisierung, bisegmental. Ventrale Rekonstruktion und Stabilisierung, monosegmental	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dorsale Reposition und Stabilisierung (ggf. zementaugmentiert)</li> <li>- Isoliert ventrale Rekonstruktion und Stabilisierung, monosegmental</li> <li>- konservativ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Älterer Patient, Osteopenie, Osteoporose</li> <li>- Junger Patient, geringer Knochendefekt</li> <li>- Minimale Hinterkanten- beteiligung</li> </ul>
<b>A3.2</b>	Dorsale Reposition und Stabilisierung, bisegmental. Ventrale Rekonstruktion und	Dorsale Reposition und Stabilisierung, bisegmental. Ventrale Rekonstruktion und	Junger Patient, geringe Spaltkomponente

	Stabilisierung, bisegmental	Stabilisierung, monosegmental	
<b>A3.3</b>	Dorsale Reposition und Stabilisierung, bisegmental. Ventrale Rekonstruktion und Stabilisierung, bisegmental		
<b>B</b>	Dorsale Reposition und Stabilisierung	Additiv ventrale Rekonstruktion und Stabilisierung	Bei vorliegender A-Komponente
<b>C</b>	Dorsale Reposition und Stabilisierung, Querverbinder. Ventrale Rekonstruktion und Stabilisierung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rein dorsale Instrumentierung</li> <li>- Dorsale langstreckige Fusionierung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bei vorliegender A-Komponente</li> <li>- Hochgradige Instabilität mittlere/obere BWS</li> </ul>

Tabelle 2

#### 1.4. Klinische Bedeutung und Ziele der Anwendung von Navigationstechniken in der Wirbelsäulenchirurgie

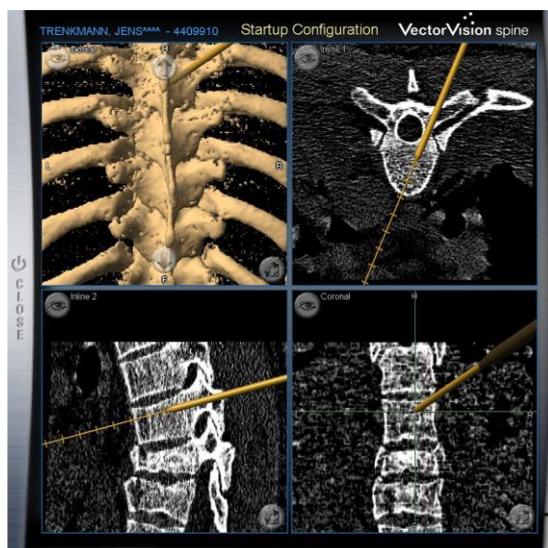
Der heutige Standard der operativen Versorgung von Wirbelsäulenfrakturen geht zurück auf Dick und Mitarbeiter, die 1984 zuerst Ergebnisse über die Verwendung von einem Fixateur interne publizierten. Vielfältigen Ideen und Nachbauten zum Dank wurden bis heute etwa 200 verschiedene Fixationssysteme für die Verwendung bei Wirbelsäulenfrakturen zugelassen. Durchgesetzt hat sich bei der dorsalen Versorgung an den thorakalen und lumbalen Wirbelsäulenabschnitten das Fixateur-interne-System, bestehend aus Pedikelschrauben, die winkelstabil mittels zweier Längs- und einer Querverstrebung verbunden und in den Pedikeln der Wirbelkörper fest verankert sind. Bei der ventralen Fusionierung von Wirbelkörpern, die mittlerweile auch minimalinvasiv vorgenommen wird, existieren im Wesentlichen 3 Verfahren, die Spanosteosynthese, bei der autologes Knochenmaterial vom Beckenkamm entnommen und als Wirbelkörperersatz eingebracht wird, sowie Cages, welche meist aus Titan gefertigt einen Wirbelkörperersatz darstellen und Schrauben-Platten-Systeme. Kombinationen der dargestellten Verfahren sind möglich. Die nicht unerheblichen Komplikationsraten vor allem bei der Schraubenplatzierung bei dorsalen Instrumentationen (Reichle, E. 2002, Linhardt, O. 2006) drängten zur Einführung von Operationsmethoden, die mit Anwendung von computernavigierten Systemen arbeiten.

Erst seit etwa 18 Jahren gestattet der große technische Fortschritt Möglichkeiten, die dem Operateur erlauben, einen präoperativ festgelegten Koordinatenplan anatomischer Kennpunkte, intraoperativ mit hoher Sicherheit umzusetzen. Dabei führt die Operateurhand

konventionelle Instrumente, wie z.B. eine Pedikelahle, deren Lage im Raum gemessen und auf einem Monitor als virtuelles Bild dargestellt wird. Um ein chirurgisches Instrument im Raum zu vermessen und zu erfassen, wird dieses mit einem Aufsatz - bestehend aus exakt 3 sternförmig angeordneten lichtreflektierenden Bauteilen ausgestattet (Reflektionskugeln). Alternativ dazu sind auch aktive Bauteile mit Infrarotlichtaussendenden Fähigkeiten als LED's im Gebrauch.



a



b

Abbildung 8 – Pointer und Ahle mit Reflektionskugeln(a) zur Planung der Pedikelinstrumentation mit Hilfe der CT-Daten (b)

Mindestens drei Kugeln werden auf den notwendigen Instrumenten montiert. Zwei oder mehr Kameras, die üblicherweise am Tischende aufgebaut sind, verfolgen dann die Bewegung der Instrumente im Raum. Das Kamerasystem erfasst, identifiziert und bildet auf dem Monitor die Marker ab.

Von besonderer Wichtigkeit für die Präzision des Navigationssystems ist eine „dynamische Referenzierungsbasis“ (DRB). Dynamisch bedeutet, dass es sich nicht um eine starre Verbindung, sondern um eine bewegliche Verbindung zum Navigator handelt. Diese wird in Form einer Klemme, die mit Markern oder LEDs ausgestattet ist, an einem fixen Knochenpunkt befestigt, sobald dies der Operationszugang erlaubt. Die Klemme stellt das zu operierende Objekt in einem Koordinatenraum dar, damit kann die Instrumentenlage in Relation zu den anatomischen Verhältnissen beim Patienten gesetzt werden. An der Wirbelsäule fixiert man die DRB an dem Processus spinosus des zu navigierenden Wirbelkörpers, dieser ist leicht zugänglich und bietet optimale Voraussetzungen für eine sichere Fixierung der Klemme.

Für die präoperative Bildgebung in Vorbereitung der Verwendung des Navigationssystems werden CT-Aufnahmen angefertigt. Vor allem knöcherne Strukturen können durch einen sehr guten Knochen-Weichteil-Kontrast in hervorragender Qualität abgebildet werden. Auch lassen sich die Bilder weiterverarbeiten und für verschiedene Ebenen rekonstruieren. Magnetresonanztomographische Aufnahmetechniken sind zwar strahlenbelastungsfrei, bieten aber bei weitem keinen so guten Knochen-Weichteil-Kontrast wie die Computertomografie.

Eine wichtige Bedeutung kommt dem so genannten Matching zu. Dieser Vorgang stellt die Verbindung von präoperativ gewonnenem Bildmaterial, tatsächlichen anatomischen Verhältnissen in situ, dem Navigator und den verwendeten Instrumenten dar und fasst diese zu einer Einheit zusammen. Das Matching ermöglicht eine Entfernungsmessung von verwendeten Instrumenten zum therapeutischen Objekt, also zum Wirbelkörper. Um eine Transformation der 3-dimensionalen Verhältnisse in situ zu einem Koordinationssystem im Navigator und am Monitor einzurichten, sind drei Translationen, drei Rotationen und ein Skalierungsfaktor notwendig. Die intraoperative Ermittlung dieser Größen gelingt mit Hilfe des *CT-Fluoro-Matchings*, bei dem im OP-Saal angefertigte konventionelle Röntgenbilder vom Navigationsrechner mit dem präoperativen CT korreliert werden bzw. gelingt dies mit Hilfe der Punkte-Paar-Registrierung. Dazu werden markante Punkte des Wirbelkörpers mit einem Digitalisierzeiger (Pointer) intraoperativ aufgesucht und die Transformation vom Navigator abgeschätzt.

Besonders im Bereich der thorakalen Wirbelsäule und am thorakolumbalen Übergang der Wirbelsäule ist der CT-Fluoro-Abgleich durch die anatomische Überlagerung von Rippen und Wirbelkörpern im konventionellen Röntgenstrahlengang ungünstig, deshalb wird bei Operationen in diesem Bereich vor allem auf die *Oberflächenregistrierung* zurückgegriffen. Dabei wird präoperativ mit Hilfe der CT-Daten ein drei-dimensionales virtuelles Bild erstellt. Vom Operateur werden dann intraoperativ 20 Punkte, wovon 8 durch den Navigationsrechner vorgegeben und 12 frei wählbar sind, breit gefächert an den dorsalen Wirbelstrukturen mit dem Pointer abgegriffen.

#### 1.5. Praktische Anwendung der CT-basierten Navigationstechnik

Zunächst wird präoperativ ein Computertomogramm des interessierenden Wirbelsäulenabschnittes angefertigt. Der dabei entstehende Datensatz muss in ein Planungsmodul des Navigationssystems übertragen werden. Mit Hilfe des Planungsmoduls wird die Wirbelsäule in 3-dimensionalen Ebenen auf einem Monitor rekonstruiert und somit

ergibt sich für den Operateur die Möglichkeit, anatomische Details in allen Ebenen genau zu studieren. Der Verlauf jedes einzelnen Schraubenkanals kann schon in der Vorbereitung auf die Operation genau geplant und gespeichert werden. Durchmesser und Länge des zu verwendenden Materials kann festgelegt werden und ermöglicht somit eine optimale Vorbereitung auf den Eingriff.

Der apparative Mehraufwand im OP-Saal kann durch gute Schulung des OP-Teams sowie durch ein gut organisiertes OP-Saal-Management realisiert werden. Am Fußende wird das Kamerasystem aufgestellt. Es ist darauf zu achten, dass die beiden Kameras die verwendeten navigierten Instrumente gut erfassen können.

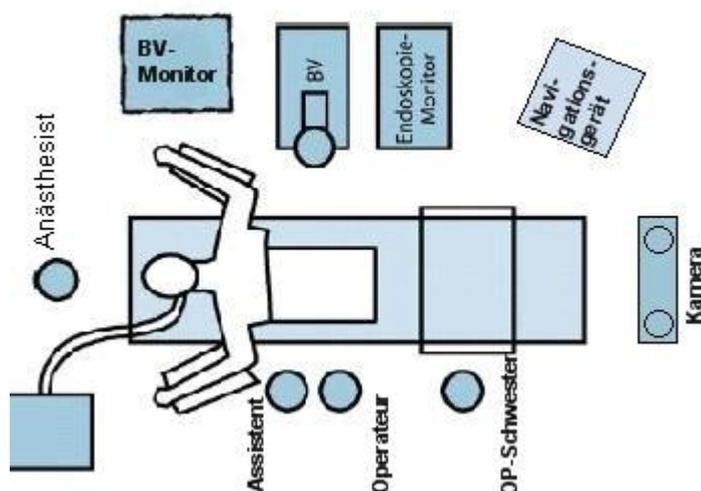


Abbildung 9 – Geräteanordnung und Arbeitsplatz Personal im OP

Anschließend wird der Patient gelagert, das Operationsfeld wird desinfiziert und abgedeckt. Nach Schaffung des Zuganges wird im nächsten Schritt die Referenzierungsklemme an einem fixen anatomischen Objekt befestigt. Dazu wird üblicherweise der Processus spinosus verwendet. Die sich anschließende Prozedur ist wichtig und bestimmt die Präzision des weiteren OP-Fortgangs. Nun werden beim Oberflächenmatching die präoperativ gewählten Landmarken einzeln im Situs aufgesucht und mit einem Pointer berührt. Das Kamerasystem erfasst die Lage des Pointers im Raum, digitalisiert die gewonnenen Informationen, speichert diese als Koordinaten ab und schafft einen Abgleich zwischen den präoperativen CT-Aufnahmen und den tatsächlichen Verhältnissen in situ. Dieser als Matching bezeichnete Vorgang vermittelt dem Navigationssystem die Kenntnis des OP-Objektes im Raum. Zusätzlich ist das System in der Lage, alle verwendeten navigierten Instrumente auf dem Monitor abzubilden. Das Monitorbild kann 6 Mal pro Sekunde aktualisiert werden, sodass man von einer Echtzeitabbildung sprechen kann. Die Qualität des Matching wird überprüft, indem der Operateur einzelne Punkte im Situs mit einem navigierten Instrument berührt und

mit dem Monitorbild vergleicht. Dieser Vorgang ist als besonders kritisch zu betrachten, da die Genauigkeit der Operation an dieser Stelle vom Arzt subjektiv beurteilt und festgelegt wird.

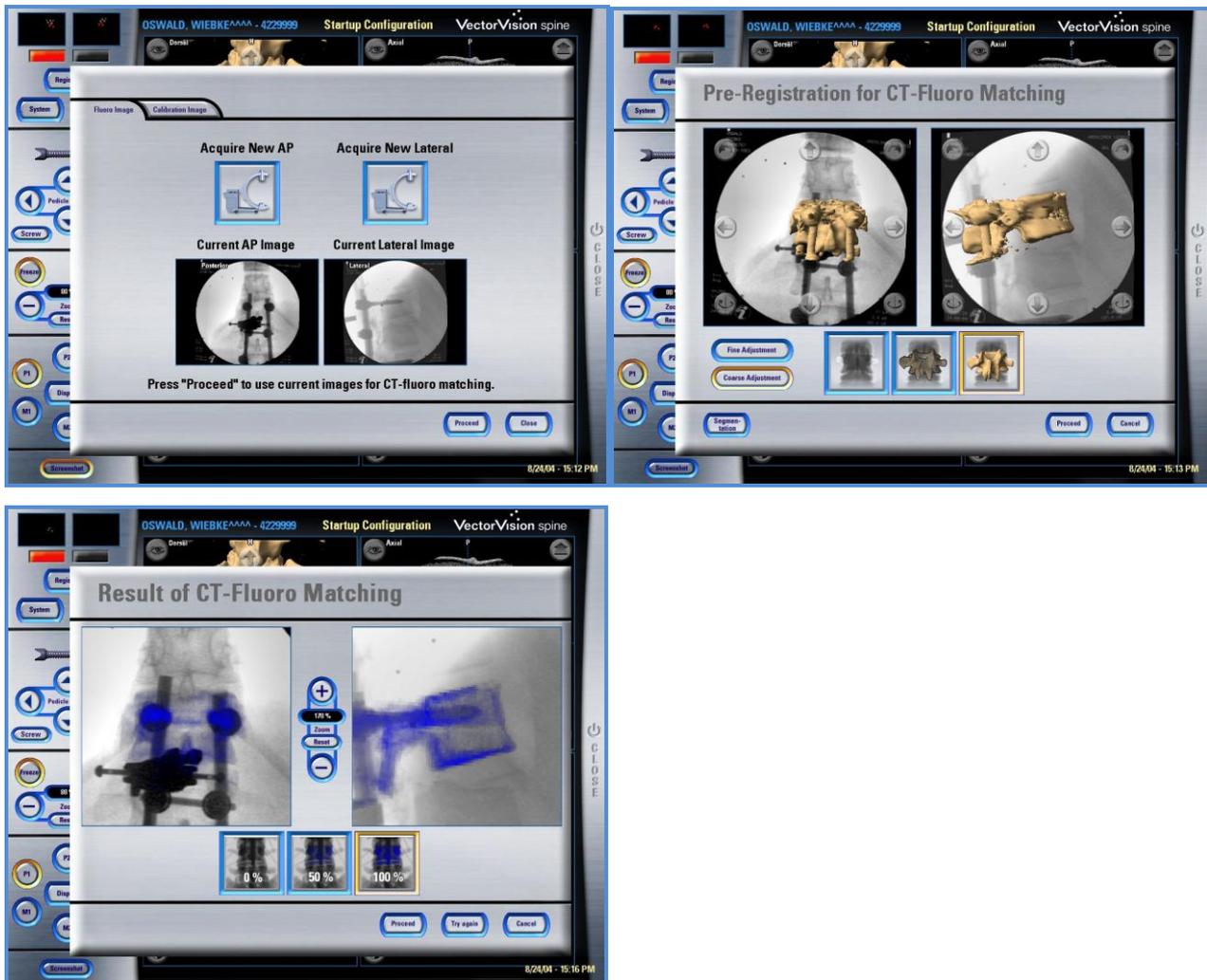


Abbildung 10 – CT-Fluoro-Matching

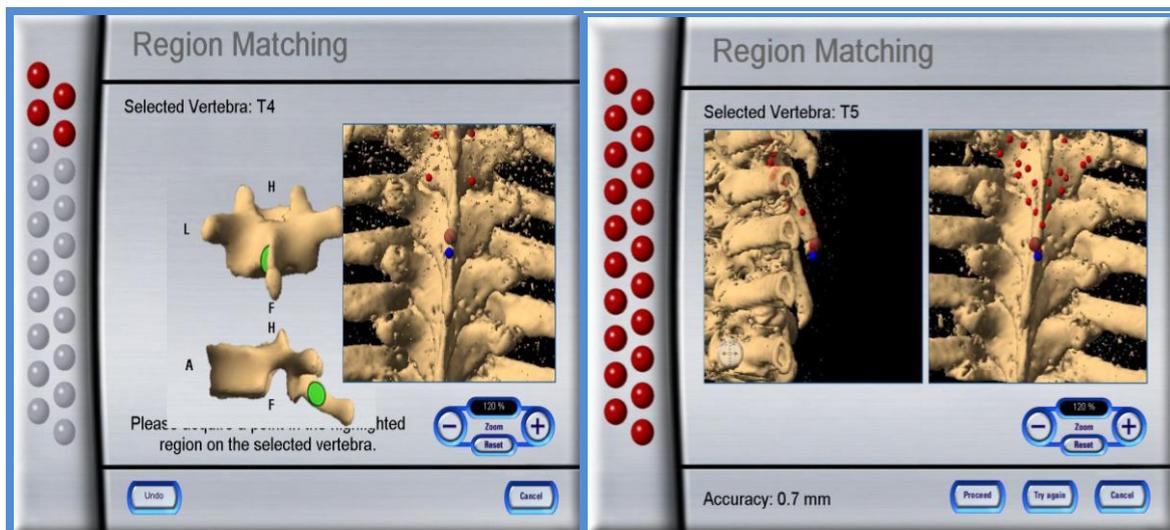


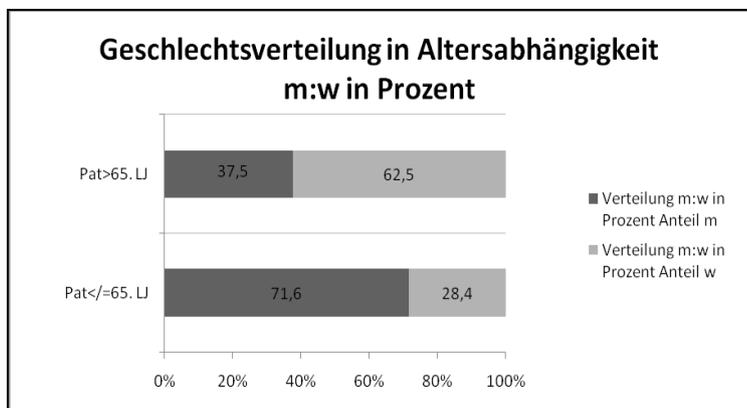
Abbildung 11 – Oberflächenmatching

## 2. Material und Methoden

### 2.1. Patientengut

Grundlage dieser Arbeit ist die Erfassung aller Patienten, die im Zeitraum vom 28.03.2002 bis 30.07.2004 (28 Monate) eine operative Stabilisierung an der thorakalen bzw. lumbalen Wirbelsäule mit Einsatz der CT-gestützten Computernavigation erfuhren. In diesem Zeitraum wurden 97 Patienten mit dem beschriebenen Verfahren behandelt. Davon waren 83 Frakturen als Folge eines Traumas, 7 pathologische Frakturen aufgrund einer Wirbelkörpermetastasierung auf dem Boden einer malignen Grunderkrankung und 7 Spondylodiszitiden operativ versorgt worden. Insgesamt wurden in dem genannten Zeitraum 269 Patienten mit Wirbelsäulenfrakturen in der Klinik operiert.

Der jüngste Patient der betrachteten Patientengruppe war zum Zeitpunkt der Operation 14 Jahre, die älteste Patientin war 81 Jahre alt. Die geschlechtliche Verteilung ergab sich wie folgt: insgesamt wurden 64 männliche Patienten (= 65%) und 33 weibliche Patienten (= 34 %) operiert. Ein interessantes Ergebnis ergibt sich bei Betrachtung der altersabhängigen Geschlechtsverteilung. So wurden in der Altersgruppe der 65-jährigen oder jüngeren Patienten 58 männliche (= 71,6 %) und 23 weibliche (= 28,4 %) Patienten versorgt. In der Altersgruppe der älter als 65-Jährigen dagegen wurden nur 6 männliche (= 37,5 %) und 10 weibliche (= 62,5 %) Patienten behandelt. Dies zeigt auch folgende Abbildung:



Grafik 1

### 2.2. Spezielle OP-Ausrüstung

- Benötigt wird eine mit Marker-Kugeln bestückte dynamische Referenzierungsbasis, die als Landmark an einem festgelegten Wirbelsäulenabschnitt (Dornfortsatz des zu versorgenden Wirbelkörpers) gesichert wird. Mit ihrer Hilfe ist in der Operation ein exaktes Abgleichen zwischen Computersystem und den tatsächlichen anatomischen Verhältnissen in situ möglich

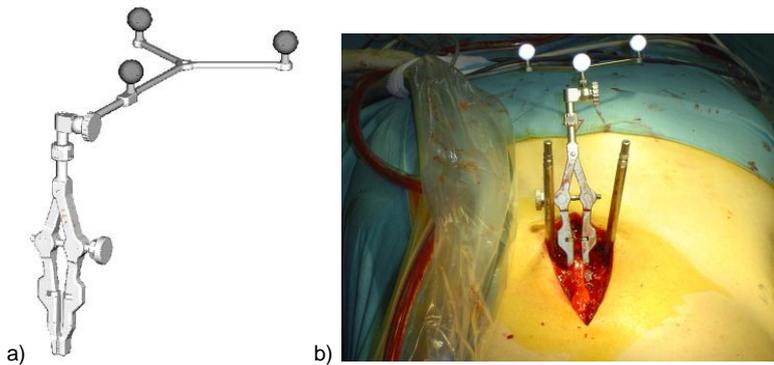


Abbildung 12 - Referenzklemme

- Instrumente (Pedikelahle, -fühler, Bohrmaschine, Schraubendreher)  
Alle Instrumente sind ebenfalls mit Marker- Kugeln ausgestattet, die von einer Kamera erfasst werden können
- ein Kamerasystem, welches aus mehreren, meist aus 2 Kameras besteht. Diese erfassen die Position der Kugeln, welche an den Instrumenten und der Referenzierungsbasis angebracht sind.
- eine zentrale Steuerungseinheit mit Monitor

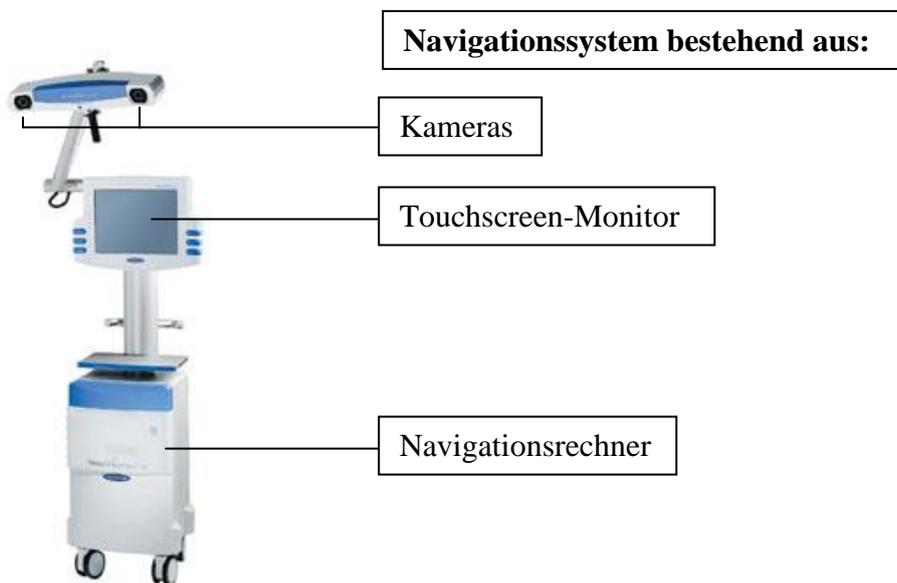


Abbildung 13 – Zentrale Steuerungseinheit und Kamerasystem (Fa. BrainLab)

### 2.3. Anwendung der Navigationstechnik an der Klinik für Unfall-, Wiederherstellungs- und Plastische Chirurgie des Universitätsklinikums Leipzig

Alle im genannten Zeitraum mit Hilfe der Navigationstechnik versorgten Wirbelkörperfrakturen wurden mit der Technik des CT-Fluoro-Matchings durchgeführt. Dabei wurden die präoperativ angefertigten CT-Datensätze in die zentrale Steuerungseinheit des Navigationssystems der Firma BrainLab, welches in dieser Klinik angewendet wird,

übertragen. Vorab können so Platzierung und Größe der Implantate bereits präoperativ geplant werden.

Wesentlicher Schwerpunkt des Einsatzes der Navigationstechnik war die Anwendung bei der ventralen Instrumentierung aufgrund der anatomischen Nähe zu wichtigen Strukturen (Spinalkanal, Aorta abdominalis, periphere Nervenäste). Alle Operationen wurden ausnahmslos in Bauchlage durchgeführt. Das Navigationssystem wurde am Tische positioniert. Die OP-Instrumente waren mit Marker-Kugeln besetzt, sodass diese durch die Kameras erfasst und deren Lage im Raum vermessen und visuell am Monitor in Relation zu den CT-Bildern dargestellt werden konnte. Am zu versorgenden Wirbelkörper wurde am Processus spinosus eine dynamische Referenzierungsbasis angebracht.

Zur Überprüfung der Präzision fand anschließend das Matching statt, bevor die Instrumentierung begonnen werden konnte.

#### 2.4. Indikation und Ziele einer operativen Versorgung

Die Notwendigkeit der Durchführung einer operativen Maßnahme besteht an der Wirbelsäule bei Vorliegen von neurologischen Ausfällen, sowie bei instabilen oder offenen Frakturen.

Prinzipiell ist eine Operationsindikation gegeben, wenn durch ein Traumageschehen oder durch andere Ereignisse (beispielsweise durch Tumore, Metastasen oder Spondylodiszitiden) Instabilität besteht und damit neurologische Komplikationen drohen oder bereits eingetreten sind. Ziele der operativen Versorgung sind eine Reposition der Fehlstellung mit dauerhafter Stabilisierung sowie eine Dekompression des Spinalkanals und ein Schutz vor weiteren neurogenen Schädigungen.

Prinzipiell wurden im betrachteten Zeitraum A1.1- und A2.2- Frakturen konservativ frühfunktionell und A2.3-A3.3- Frakturen sowie alle B- und C- Frakturen operativ behandelt. Ausnahmen stellten mehr als 15 ° kyphosierte A1.2- Frakturen und minimal kyphosierte A3.1- Frakturen mit nur dezenter Hinterkantenbeteiligung ohne Spinalkanaleinengung dar: ersteren empfehlen wir die operative, letzteren die konservative Therapie.

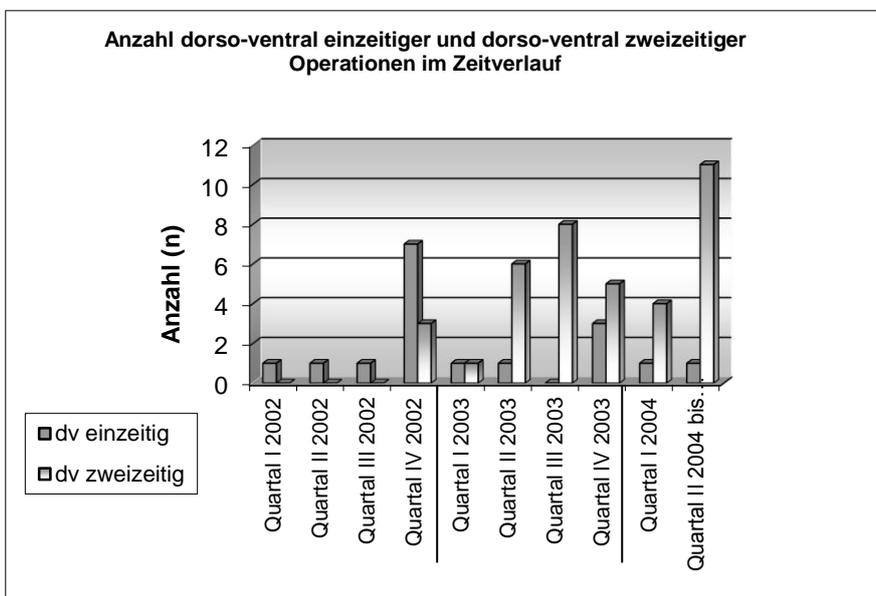
Für die operative Herangehensweise stehen mehrere Therapieverfahren zur Verfügung. Je nach Lokalisation und Schwere der Fraktur, bieten sich isoliert dorsale, isoliert ventrale oder dorsoventral kombinierte Versorgungsmöglichkeiten an. Aufgrund von Studienergebnissen mit dem Nachweis signifikanter Repositionsverluste bei isolierter dorsaler Versorgung, gewinnt die zusätzliche Stabilisation der ventralen Säule eine zunehmende Bedeutung. Isoliert dorsale Verfahren wurden in unserem Patientenkollektiv nur bei Verletzungen der oberen und mittleren Brustwirbelsäule sowie bei B-Frakturen mit knöcherner Komponente

durchgeführt, bzw. wenn Patienten einen ventralen Eingriff ablehnen oder Kontraindikation (z. B. ausgeprägte Verwachsungen der Pleura, Multimorbidität) bestehen. Isoliert ventrale Versorgungsmöglichkeiten (hierbei Zugang von lateral und dann Präparation zur ventralen Wirbelsäule) führten wir bei A 1.2- und A 3.1-Frakturen durch. Alle anderen Frakturformen wurden kombiniert dorsoventral versorgt, wobei üblicherweise zunächst die dorsale Versorgung und anschließend die ventrale stattfand. Beide Operationen können auch einzeitig erfolgen.

Vor jedem Eingriff wird der Patient umfassend über die Diagnose, Prognose und Therapiemöglichkeit seiner Verletzung oder Erkrankung, zusammen mit den typischen Komplikationen, die in diesem Zusammenhang entstehen können, aufgeklärt.

### 2.5. Operativ-taktisches Vorgehen

97 Patienten wurden im Zeitraum vom 28.03.2002 bis zum 30.07.2004 mit Einsatz des computergestützten Navigationssystems operativ an der Wirbelsäule behandelt. Dabei wurden 14 Patienten (14,4 %) isoliert dorsal versorgt, 26 weitere Patienten (26,8 %) erhielten eine isoliert ventrale Instrumentierung und 57 Patienten (58,8 %) wurden kombiniert dorsoventral operiert. Von diesen 57 dorsoventral versorgten Patienten wurden 17 einzeitig (29,8 %), und 40 zweizeitig (70,2 %) operiert.



Grafik 2 – Etablierung des Navigationssystems am Universitätsklinikum Leipzig

Wie man aus der Abbildung erkennen kann, überwiegt aus logistischen Gründen der Anteil der dorsoventral zweizeitigen Operationen deutlich im Vergleich zu den einzeitig dorsoventral durchgeführten Operationen.

Nach initial dorsaler Stabilisierung mit einem Fixateur interne (USS, Firma Synthes) hat jeder Patient Zeit, mit physiotherapeutischer Unterstützung (Übungen und Rückenschulmaßnahmen) seine Rückenmuskulatur zu kräftigen und frühzeitig mobilisiert zu werden.

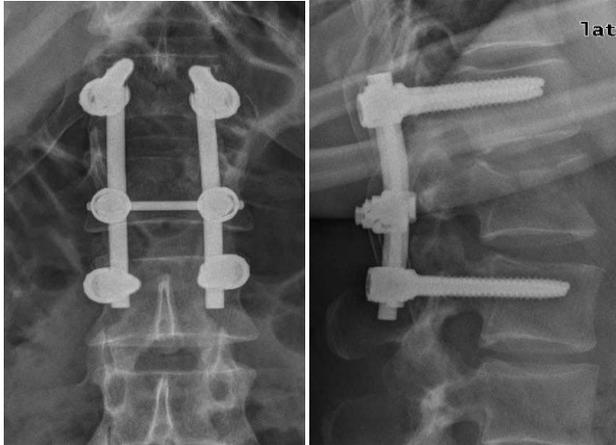


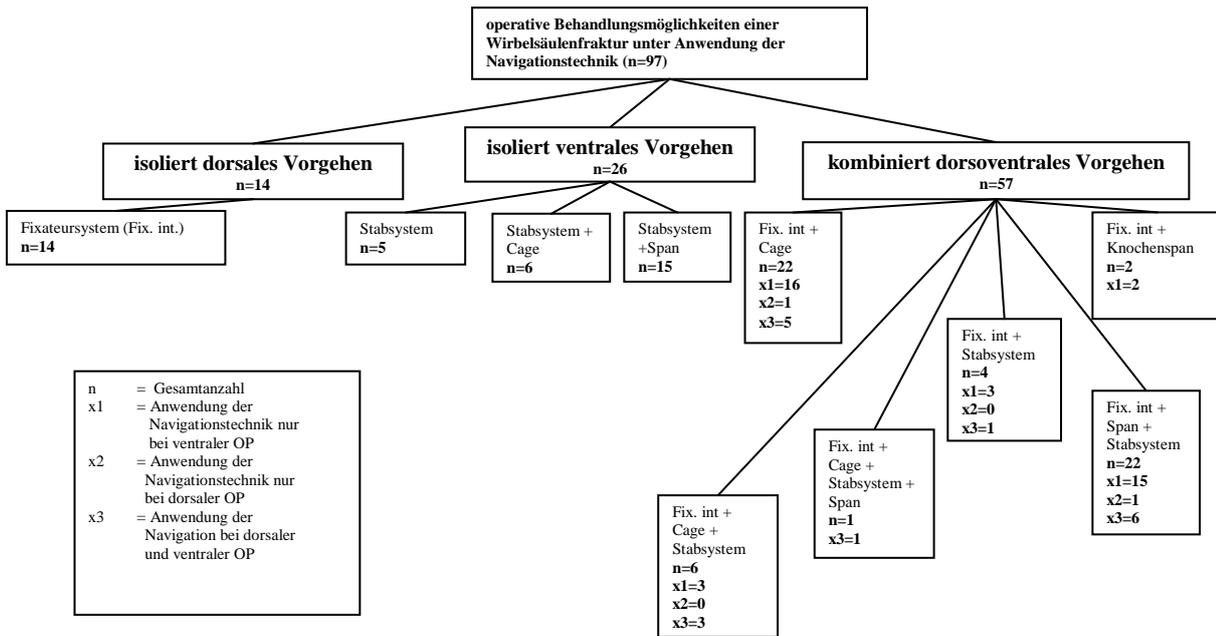
Abbildung 15 – Fixateur interne für Wirbelsäulenosteosynthese

Von 71 dorsal operierten Wirbelfrakturen, wurden 57 zusätzlich von ventral versorgt. Die übrigen 14 Patienten wurden CT-gestützt isoliert dorsal operiert. Bei den 57 kombiniert versorgten Patienten wurde für die dorsale Instrumentierung insgesamt 20-mal die Navigationstechnik eingesetzt.

Ventral versorgt wurden insgesamt 83 Patienten unter Einsatz der Navigationstechnik, davon wurden 26 Patienten isoliert ventral und 57 weitere dorsoventral kombiniert operiert.

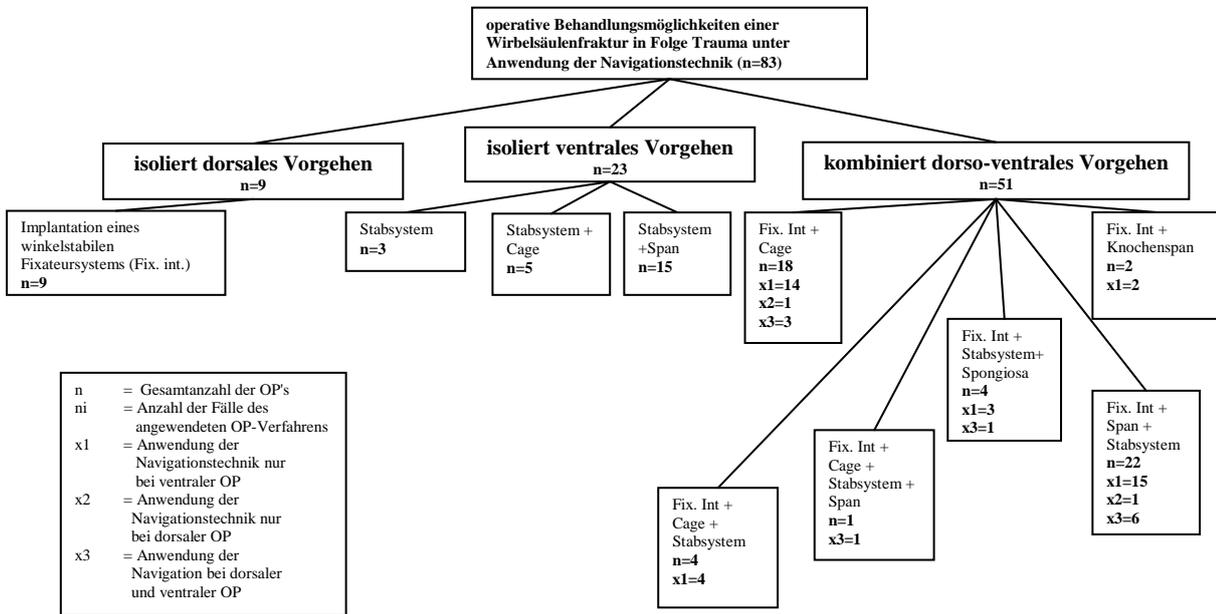
Alle 26 isoliert ventral versorgten Patienten wurden mit einem winkelstabilen Implantat behandelt.

Bei additiv ventralen Verfahren kamen zur Defektüberbrückung sowohl kortikospongiöse Beckenkammspäne (n=25) als auch expandierbare Cages (n=29) zum Einsatz. In einigen Fällen erfolgte zusätzlich noch eine ventrale Instrumentierung mittels winkelstabilem Stabsystem (n=33).



Grafik 3 – Gesamtüberblick über die verschiedenen OP-Verfahren unter Anwendung der Navigationstechnik. Eingeschlossen sind alle OP-pflichtige Wirbelkörperfrakturen (83 Patienten mit traumatischer Fraktur, 7 Patienten mit Spondylodiszitiden, 7 Patienten mit Wirbelsäulenmetastasen).

Schließt man bei dieser Betrachtung die Anwendung der Navigationstechnik bei pathologischen Wirbelfrakturen und Spondylodiszitiden aus, da für jene Operationen besondere Anforderungen erfüllt sein müssen, dann ergibt sich das folgende Bild.



Grafik 4 – Patienten mit Fraktur in Folge Trauma. Gesamtüberblick über die verschiedenen OP-Verfahren unter Anwendung der Navigationstechnik. x1= Navigation nur bei ventraler OP, x2 = nur bei dorsaler OP, x3 = Navigationsanwendung sowohl bei dorsaler als auch bei ventraler OP

## 2.6. Score-Systeme in der Wirbelsäulenchirurgie

Score-Systeme geben eine Unterstützung beim Therapieentscheid, schaffen gewisse Standards und definieren Kriterien, nach denen Patienten behandelt werden. Außerdem geben sie eine gute Einschätzung im Verlauf zur Beurteilung des Heilungsvorganges ab. Im Verlauf sind Veränderungen im Vergleich zur vorangegangenen Untersuchungen erkennbar und ermöglichen gegebenenfalls erforderliche Reaktionen. Daher sind sie im klinischen Alltag nicht mehr wegzudenken.

Ein Score besteht meist aus mehreren Komponenten. Scores sind untereinander vergleichbar, aber auch mit anderen Befunderhebungsverfahren lassen sich Vergleiche ziehen. Sie unterstützen den Untersucher, lassen eine bessere Information und Beratung des Patienten über Therapie und Prognose zu und dienen der Gesundheitsökonomie, da sie schnell und kostengünstig erhoben werden können.

### **ISS**

Schon bei der stationären Aufnahme des Patienten kann die Schwere der Verletzung eines Patienten unter Berücksichtigung der Begleitverletzungen gut eingeschätzt werden und die Dringlichkeit der Behandlung einzelner Verletzungen festgelegt werden. Dazu dient der ISS (=Injury Severity Scale, Baker et al. 1974), welcher auch in der vorliegenden Arbeit angewendet wurde. Jeder Körperregion Kopf/Hals/HWS, Gesicht, Thorax/BWS, Abdomen/Beckenorgane/LWS, Extremitäten/Beckenring, Körperoberfläche werden Punktzahlen zugeordnet, die die Schwere der Verletzungen ausdrücken. Diese reichen von minimal 0 Punkten – unverletzt, 1 Punkt – geringe Verletzung, 2 Punkte – mittelmäßige Verletzung über 3 Punkte - schwer, nicht lebensbedrohlich, 4 Punkte – schwer, lebensbedrohlich, Überleben möglich, 5 Punkte – kritisch, Überleben unsicher bis zu maximal 6 Punkten (=Maximalverletzung, lebensbedrohlich).

Die Summe der Quadrate der drei höchsten Punktwerte (= der 3 am schwersten betroffenen Körperregionen) ergeben die Punktzahl gemäß dem ISS. Ab einer Punktzahl von 16 liegt ein Polytrauma vor. Der maximal erreichbare Höchstwert beträgt 75. Ist es notwendig, eine Körperregion mit dem Punktwert 6 zu bewerten, werden die anderen Körperregionen nicht mehr beachtet, eine Schwerstverletzung liegt dann bereits vor.

### **ASA**

Ein weiteres nützliches Hilfssystem wurde der ASA-Score nach der American Society of Anesthesiology (1963) erhoben, dieser gibt Auskunft über die Risikograde der Narkose bei

Patienten, denen mit einer Operation geholfen werden kann und wird vorzugsweise von den Anästhesisten verwendet.

- I normale OP-Fähigkeit, sonst gesunder Patient
- II leichte Allgemeinerkrankung ohne Leistungseinschränkung
- III schwere Allgemeinerkrankung mit Leistungseinschränkung
- IV schwere Allgemeinerkrankung, die mit oder ohne OP lebensbedrohlich ist
- V moribunder Patient, gilt als höchst vital bedrohlich

Um einen Vergleich zwischen prä- und postoperativem Verlauf darzustellen, eignen sich weitere Score-Systeme.

### **ASIA (Frankel-Score)**

Einen Überblick über die neurologische Situation ermöglicht der ASIA-Score nach Frankel (1969). Dieser klassifiziert neurologische Ausfälle und berücksichtigt sensible und motorische Nerven ausfälle.

- A - komplette motorische und sensible Querschnittslähmung
- B - komplette motorische Querschnittslähmung bei z.T. erhaltener Sensibilität
- C - inkomplette motorische Querschnittslähmung mit unbrauchbarer motorischer Funktion
- D - inkomplette motorische Querschnittslähmung mit brauchbarer motorischer Funktion
- E - normaler neurologischer Status

### **Janda**

Spezifischer lässt sich die Funktion der Muskeln mit Hilfe der Einteilung in Kraftgrade nach Janda darstellen.

- Kraftgrad 0 - keine Muskelaktivität
- Kraftgrad 1 - sichtbare oder tastbare Muskelkontraktion ohne Bewegungseffekt
- Kraftgrad 2 - aktive Bewegung nur bei Aufhebung der Schwerkraft
- Kraftgrad 3 - aktive Bewegung gegen die Schwerkraft
- Kraftgrad 4 - aktive Bewegung gegen geringen Widerstand
- Kraftgrad 5 - normale Muskelkraft

### **Hannover Wirbelsäulenscore (siehe Anhang)**

Ein Problem stellen die stets subjektiven Schmerzangaben der Patienten dar. Da die Einschätzung dieser aber ebenso wichtig wie beispielsweise die neurologische Untersuchung der Patienten ist, wurden Score-Systeme entwickelt und eingeführt, die eine Möglichkeit bieten, Schmerzangaben zu objektivieren und vergleichbar zu machen.

Dazu dient unter anderem der Hannover-Wirbelsäulen-Score (Blauth 1992). Dieser wird vom Untersucher erstellt, in dem er seinen Patienten nach einem standardisierten Schema befragt. Für jede mögliche Lebenssituation sollen die dabei auftretenden Schmerzen eingeschätzt werden. Befragt werden die Patienten zu ihren Ruheschmerzen, Belastungsschmerzen, Häufigkeit der Schmerzmitteleinnahme, Schmerzen im Sitzen, beim Vorbeugen, beim Hochheben von Gegenständen, sowie zu Schmerzen beim Stehen, Gehen, Rennen und Tragen von Gegenständen. Für Rollstuhlfahrer werden ähnliche Fragen angewendet. In jeder Lebenssituation muss der Patient seine dabei auftretenden Schmerzen einschätzen, der Arzt vergibt dafür jeweils Punkte auf einer Skala von 0 bis 10 Punkten pro Frage. Aus der Summe der Punkte ergibt sich der Score-Wert. Die maximal erreichbare Punktzahl beträgt 100 Punkte und steht für eine Schmerzfremheit in allen befragten Lebenslagen. Erreicht der Patient eine Punktzahl nahe 0, leidet er unter stärksten Schmerzen, denen unbedingt nachgegangen werden muss.

### **VAS (siehe Anhang)**

Eine untersucherunabhängige Möglichkeit, die Schmerzen der Wirbelsäulenpatienten zu objektivieren, bietet die 19 Fragen umfassende visuelle Analogskala (VAS) (Knop, 2001). Jeder Frage schließt sich eine 10 cm lange Linie an, an deren Enden „kein Schmerz“ bzw. „unerträglicher Schmerz“ steht. Die Patienten werden aufgefordert, eine Stelle der Linie zu markieren, die für sie am ehesten den bestehenden Schmerz charakterisiert. Der Untersucher kann in der Auswertung die Abstände der Markierungen bis zum Ende der Linie ausmessen, die ermittelte Strecke ergibt eine Punktzahl. Die Punktzahlen werden für alle 19 Fragen addiert, anschließend der Mittelwert daraus gebildet und der Wert dokumentiert. Eine niedrige Punktzahl (nahezu 0) lässt erkennen, dass der Patient unter starken Schmerzen leidet, ein möglichst hoher Punktwert (maximal 100 Punkte) zeigt eine weitgehende Schmerzfremheit des Patienten.

Alle vorgestellten Score-Systeme zur Schmerzdiagnostik lassen sich für jede Nachuntersuchung anwenden, sodass eine Verlaufsdarstellung möglich ist.

### **SF-36 (Siehe Anhang)**

Auch zur Langzeit-Nachkontrolle bietet sich die Verwendung von Scores an. Es wurde der SF-36-Fragebogen (Briem, D. 2003) zur Hilfe genommen, um einen Überblick über den Gesundheitszustand und die zurückerlangte Lebensqualität zirka zwei Jahre nach der Wirbelsäulenoperation der behandelten Patienten zu bekommen. Lebensqualität wird durch ein multimodales psychologisches Konstrukt definiert und enthält mindestens 4 Komponenten: psychisches Wohlbefinden, körperliche Verfassung, soziale Beziehungen und funktionale Kompetenz. Der SF-36-Score eignet sich ebenfalls wie auch andere Scores zur Qualitätskontrolle der eigenen Behandlungsauffassung.

Die Auswertung der SF-36-Bögen dient zur Erfahrungssammlung und trägt dazu bei, das ideale Behandlungsverfahren prädiktiv für weitere Patienten auszuwählen. Die Fragebögen wurden den Patienten auf dem Postweg nach Hause geschickt und von diesen daheim bearbeitet. Nach der Bearbeitung waren die Patienten aufgefordert, die Unterlagen zurückzusenden. Insgesamt werden 8 Dimensionen abgefragt und mit 36 Positionen in mehrstufigen Antwortskalen verknüpft. Ein Auswertungsprogramm ermittelt Punktzahlen zwischen 0 und 100, wobei ein hoher Punktwert für eine hohe Lebensqualität steht.

Alle angewandten Fragebögen weisen eine ausreichende Reliabilität, Sensitivität und Spezifität auf. Nur unter Vorbehalt können Scores angewendet werden, wenn die Patienten durch andere Begleiterkrankungen beeinträchtigt sind, da hierdurch die Auswertung verzerrt werden kann. Auch kognitive Leiden der Patienten gestalten die Bearbeitung und Auswertung der Fragebögen schwierig und müssen gegebenenfalls unterlassen werden.

Um einen optischen Eindruck der Scores zu vermitteln, sind diese im Anhang exemplarisch einzusehen.

### 2.7. Radiologische Beurteilung vor, während und nach der operativen Versorgung

#### Bildgebende Diagnostik einer Wirbelsäulenverletzung

##### *Konventionelle Röntgenaufnahmen*

Zur Diagnostik einer Wirbelfraktur eignen sich konventionelle Röntgenaufnahmen der Hals- Brust- und Lendenwirbelsäule, diese werden stets in 2 Ebenen durchgeführt (anterioposteriorer und lateraler Strahlengang). Auch C-Frakturen können bereits anhand indirekter Zeichen in konventionellen Röntgenaufnahmen nachgewiesen werden (Verdrehung der Wirbelkörper, Versatz der Dorfortsatzreihe, Querfortsatzabriss, einseitige

Gelenkdislokation, einseitige Avulsion der Wirbelkörperendplatte, Rippenfrakturen, Versatz der Pedikel).

### *Computertomographie (CT)*

Weiterhin ist eine Computertomografieuntersuchung des betroffenen Wirbelsäulenabschnittes in der Akutdiagnostik sowie in Vorbereitung auf ein navigationsgestütztes Operationsverfahren unverzichtbar (Knop 1998). Neben einer Darstellung in 2-D-Rekonstruktion lassen sich auch Stabilität, Weichteilstrukturen und die Hinterkante an sich sowie deren Beziehung zum Myelon beurteilen. Das CT ist zur genauen Frakturklassifikation unabdingbar. Des Weiteren werden Implantate vorgeplant und deren Größe berechnet. Nicht zuletzt können die gewonnenen Datensätze direkt in den Navigationsrechner übernommen werden. Ebenfalls ist nach erfolgtem Trauma eine Abdomensonografie durchzuführen, um intraabdominelle Organläsionen und freie Flüssigkeit nachzuweisen.

Beim polytraumatisierten Patienten wird ohne weitere konventionelle Röntgendiagnostik ein Spiral-CT angefertigt um einen zeitnahen Gesamteindruck aller Verletzungen zu bekommen und eine Reihenfolge der erforderlichen Therapie nach Dringlichkeit zu erstellen.

### *Magnetresonanztomographie (MRT)*

Mit Hilfe der MR-Aufnahmen gelingt eine bessere Darstellung zur Beurteilung von Weichteilstrukturen im Vergleich zu CT-Aufnahmen, die besonders bei komplizierten Frakturen (alle Frakturen mit Beteiligung diskoligamentärer Strukturen), sowie bei Spondylodiszitiden und metastasenbedingter Wirbelkörperfrakturen auftreten, vor allem wenn neurologische Ausfälle ohne röntgenologisch nachweisbares Korrelat vorliegen. Außerdem besteht keine Gefahr durch Strahlenbelastung. Nachteil ist die im Vergleich zu den vorher genannten Untersuchungen verlängerte Untersuchungsdauer und die bestehende Kontraindikation bei Metallimplantatträgern (auch Herzschrittmacher).

### Kontrollaufnahmen während der Operation

Intraoperativ sind Kontrollaufnahmen mit Hilfe des Bildwandlers erforderlich, um Repositionen darzustellen, die nötige Präzision für die Navigation zu kontrollieren und das Behandlungsergebnis zu dokumentieren. Durch Entwicklung der Navigationstechnik wird die Strahlenbelastung durch Erhöhung der Präzision und damit die Durchleuchtungszeit reduziert.

### Postoperativer Verlauf in der radiologischen Nachbeobachtung

Prinzipiell finden auch hier dieselben Verfahren Anwendung, die schon zur präoperativen Diagnostik beitragen. Üblicherweise werden in festgelegten Zeitabschnitten konventionelle Röntgenaufnahmen und bei Auftreten von Komplikationen oder zur Überprüfung der Materialfestigkeit CT-Aufnahmen angefertigt. Ebenfalls ist auch bei nicht ausreichenden Beurteilungsmöglichkeiten durch konventionelle Röntgenbilder, beispielsweise wenn die Fraktur in Höhe der oberen BWS-Abschnitte liegt und somit durch Lungenüberlagerungen qualitativ schwierig zu beurteilen ist, eine CT-Verlaufskontrolle angebracht.

Besonders wichtig zur Verlaufsbeurteilung ist die Ausmessung spezifischer Winkel an der Wirbelsäule, die sich anhand konventioneller Röntgenaufnahmen im lateralen Strahlengang oder in sagittaler Rekonstruktion der Wirbelsäulen-CTs messen lassen. Aus diesem Grund werden zu jeder Nachuntersuchung Aufnahmen angefertigt um den Heilungsverlauf beurteilen zu können.

Folgende Winkel sind relevant und werden analysiert (siehe auch Abbildung 16):

- Wirbelkörperwinkel
- Monosegmentaler Grunddeckplattenwinkel
- Bisegmentaler Grunddeckplattenwinkel
- Hinterkantenquotient HKQ
- Beck-Index, dieser gibt das Verhältnis der Wirbelkörpervorder- und -hinterkante an
- Sagittalindex, als Quotient aus dem sagittalen Versatz des verletzten Wirbelkörpers und der Wirbelkörpertiefe.

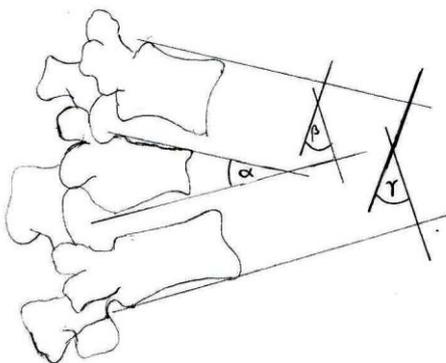


Abbildung 16 – Kyphosewinkel nach Cobb –

- $\alpha$  = Wirbelkörperwinkel KW,
- $\beta$  = monosegmentaler Grund-Deckplatten-Winkel,
- $\gamma$  = bisegmentaler Grund-Deckplatten-Winkel

Der Hinterkantenquotient ergibt sich durch Ermittlung der Hinterkantenlänge des frakturierten Wirbelkörpers in Beziehung zu den Mittelwerten der Hinterkantenlängen der über und unter dem verletzten Wirbels befindlichen Wirbelkörper.

## 2.8. Poststationärer Verlauf

Alle Patienten wurden zu mehrfachen Nachuntersuchungen in festgelegten Zeitabschnitten von 3 Monaten für mindestens 1 Jahr schriftlich eingeladen.

Dabei lief jede Nachuntersuchung nach festem Schema ab. Am Anfang stand die umfangreiche Anamnese, wobei Unfallgeschehen, Krankheitsverlauf, Krankheitsdauer, Arbeitsverhältnis, durchgeführte Rehabilitationsmaßnahmen (einschließlich ambulanter Physiotherapiemaßnahmen), Begleiterkrankungen, Begleitverletzungen, Alkohol- und Nikotin-Konsum, Körpergröße und Körpergewicht, das Hinzutreten neurologischer Defizite sowie die Daten mitbehandelnder Ärzte eruiert wurden. Anschließend wurden Score-Systeme (Hannover Wirbelsäulenscore, Visuelle Analogskala, Frankel-Score, SF-36) verwendet, womit für die Patienten eine genaue Schmerzanamnese möglich war und genaue Daten über die Schwere neurologischer Defizite gewonnen werden konnten.

Bei der körperlichen Untersuchung wurde zunächst der Zustand der Wund- und Narbenverhältnisse beurteilt. Eine Erhebung der Bewegungsumfänge über allen Wirbelsäulenabschnitten wurde ebenso durchgeführt, dazu wurden die Bewegungsausmaße in der Neutral-Null-Methode für die Seitneigung, Drehung des Rumpfes im Sitzen, Seitneigung, Vorneigung/Rückneigung und Drehung des Kopfes gemessen. Der Fingerbodenabstand und die Bewegungsumfänge nach Ott und Schober wurden weiterführend ermittelt. Kyphotische oder lordotische Fehlhaltungen der Wirbelsäule wurden erfasst, genauso wie Becken- und Schultertiefstände.

Eine Beurteilung der Rückenmuskulatur, sowie Prüfung der Wirbelsäule auf Druck- Klopf- und Stauchungsschmerz erfolgte ebenfalls.

Besonders wichtig ist die Beurteilung neurologischer Defizite, dazu gehörte die Prüfung der dermatom-zugeordneten Sensibilität, eine motorische Kraftprüfung für die typischen Kennmuskeln nach Janda, sowie die Austestung der bedeutsamsten Fremd- und Eigenreflexe, wie Bizeps-Sehnen-Reflex, Radius-Periost-Reflex, Trizeps-Sehnen-Reflex, Patellarsehnen-Reflex, Achillessehnen-Reflex und Bauchhautreflex.

Abschließend wurde nach Zustimmung des Patienten bei jeder Nachuntersuchung eine Röntgenaufnahme des betreffenden Wirbelsäulenabschnittes im posterior-anterioren und im lateralen Strahlengang angefertigt, um den Heilungsverlauf auch radiologisch verfolgen und

dokumentieren zu können. Traten Knochen- oder Implantatschäden auch im Verlauf auf, wurde die Durchführung einer Computer-Tomographie-Untersuchung zur weiteren Abklärung empfohlen.

Die Patienten, die für eine Operation zur Entfernung des Osteosynthesematerials in Frage kamen, wurden noch einmal 1 Jahr nach dieser Operation nachuntersucht. Dies traf für Patienten zu, die entweder isoliert dorsal versorgt wurden oder dorsoventral kombiniert operiert wurden, wenn ventral eine monosegmentale Stabilisierung bei dorsal liegender Instrumentierung vorgenommen wurde. Ventrale Implantate wurden prinzipiell in situ belassen.

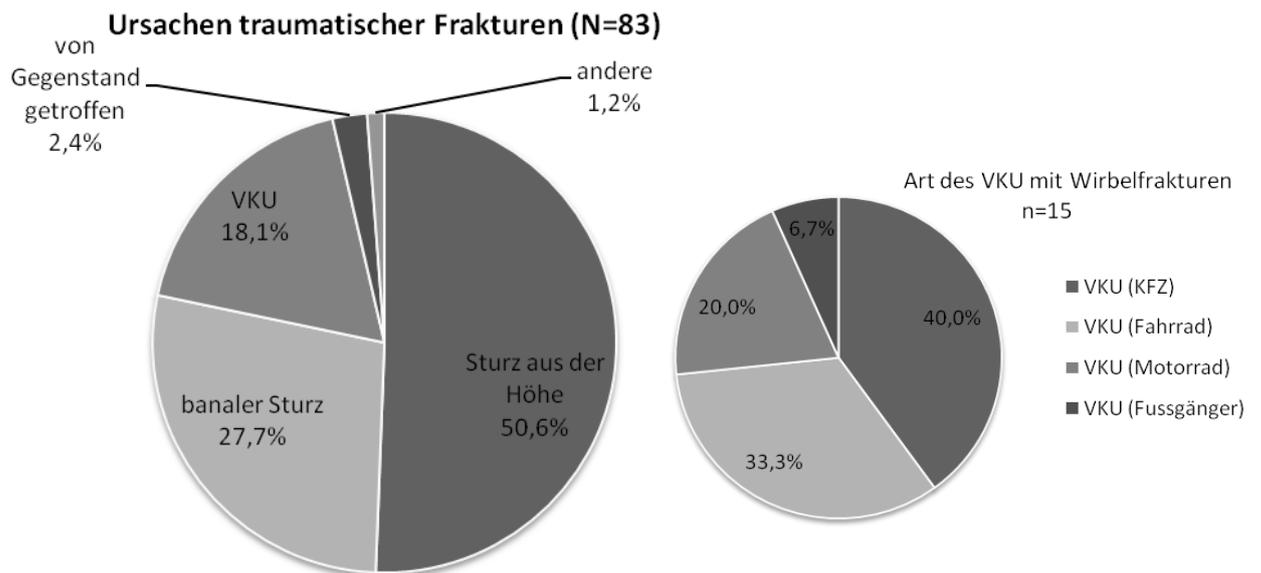
## 2.9. Statistische Auswertung

Die statistischen Analysen wurden durchgeführt mit dem T-Test bei Annahme einer Normalverteilung oder den nichtparametrischen Tests nach Mann-Whitney Wilcoxon. Statistische Zusammenhänge wurden mit dem Korrelationskoeffizienten nach Kendall berechnet. Alle Konfidenzintervalle waren mit 95% vorgegeben. Verwendet wurde die Software SPSS 11.0 für Windows (Fa. SPSS, Chicago/IL).

### 3. Ergebnisteil

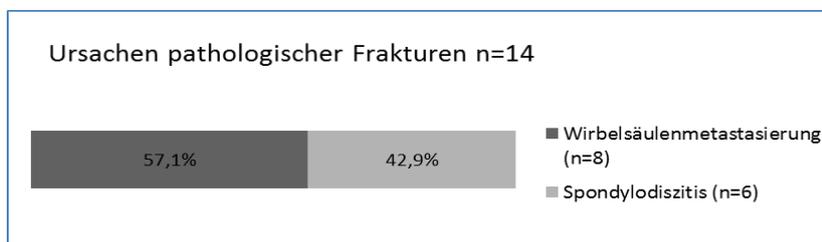
#### 3.1. Läsionsursache

Die häufigste Ursache für eine Wirbelkörperfraktur an der thorakalen bzw. lumbalen Wirbelsäule war mit 50,6 Prozent der Sturz aus großen Höhen. Zweithäufigste Ursache sind mit 27,7 Prozent banale Stürze. Weiterhin wurden Straßenverkehrsunfälle und Frakturen in Folge einer Stumpfgewalteinwirkung durch Gegenstände beobachtet. Unter den Verkehrsunfällen traten vor allem bei KFZ- und Fahrradunfällen Wirbelfrakturen auf.



Grafik 4 Ursachen für traumatische Wirbelfrakturen

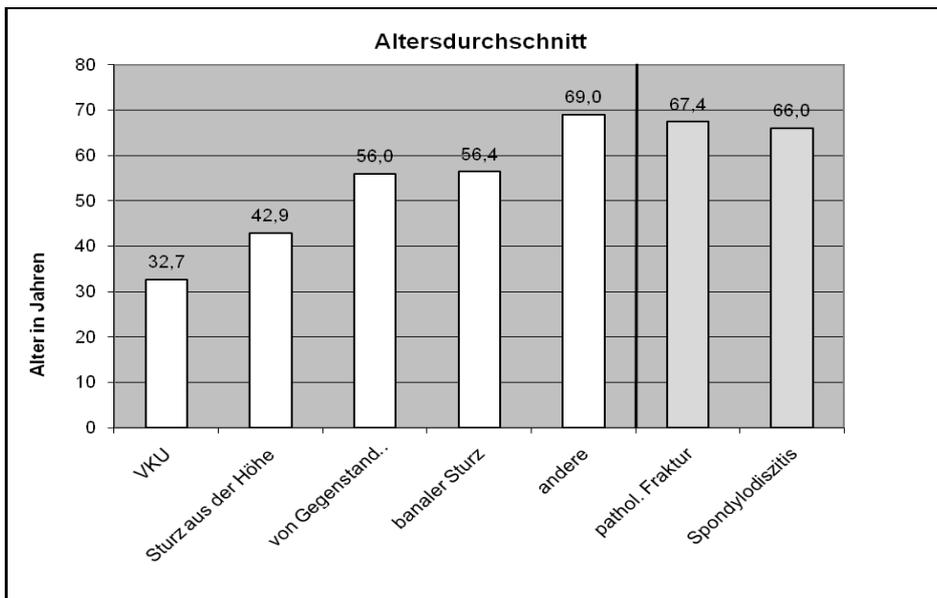
Für das Auftreten pathologischer Frakturen waren Frakturen in Folge von Knochenmetastasen maligner Grunderkrankungen und Läsionen durch Spondylodiszitiden ursächlich.



Grafik 5 - Ursachen pathologischer Wirbelfrakturen

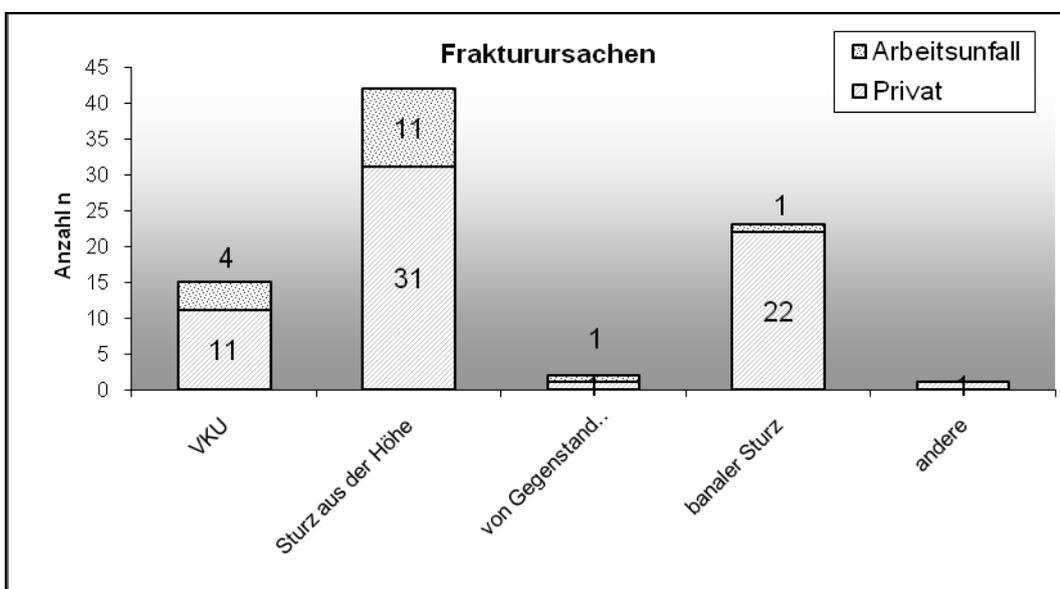
Betrachtet man die Altersdurchschnitte für die einzelnen Frakturursachen, fällt auf, dass Verkehrsunfälle und Sturztraumata aus großen Höhen häufiger im jüngeren Lebensalter zu Wirbelfrakturen führen, was mit dem jüngeren Anteil der Verkehrsteilnehmer und dem jüngeren Anteil der Arbeitstätigen in risikobehafteten Berufen (z.B. Gerüstbauer) zu

begründen ist. Dagegen sind banale Stürze (z.B. im häuslichen Milieu), sowie pathologische Frakturen und Entzündungen häufiger im höheren Alter zu finden.



Grafik 6 – Altersabhängigkeit von der Läsionsursache

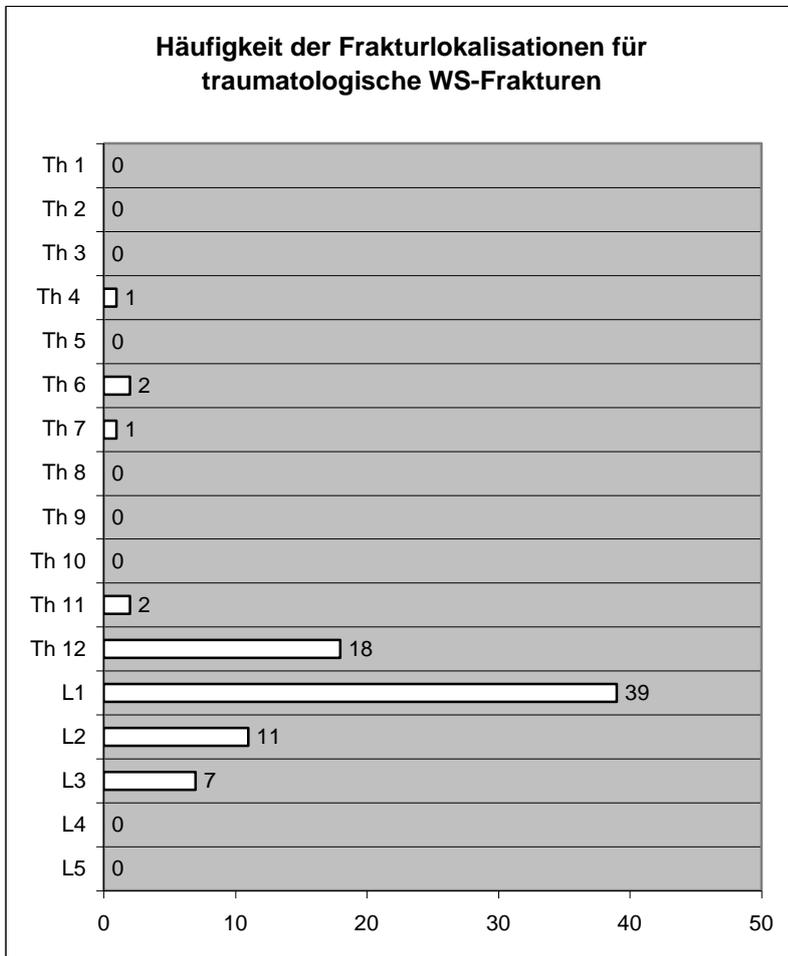
Differenziert man bezüglich der Frakturursachen noch zwischen Arbeitsunfall und Nicht-Arbeitsunfall, ergibt sich folgendes Bild. Banale Stürze wurden oft im häuslichen Milieu zugezogen, während nur in einem Fall ein Arbeitsunfall mit banalem Sturz und Wirbelfraktur zu verzeichnen war. Diese Erkenntnis deckt sich mit dem höheren Lebensalter der betroffenen Patienten und der damit höheren Inzidenz für das Auftreten degenerativer und osteoporotischer Knochenerkrankungen im Vergleich zu Patienten mit einem Sturz aus der Höhe bzw. bei Verkehrsunfällen. Es lagen insgesamt 18 Arbeitsunfälle in diesem Patientengut vor (= 22,5% der traumatisch bedingten Wirbelsäulenfrakturen).



### 3.2. Analyse der perioperativen Ergebnisse

#### 3.2.1. Höhenlokalisierung der Wirbelfrakturen

Einen Überblick über die Häufigkeit der Lokalisationen der schwerstverletzten Wirbelkörper an der thorakalen und lumbalen Wirbelsäule zeigt folgendes Diagramm:

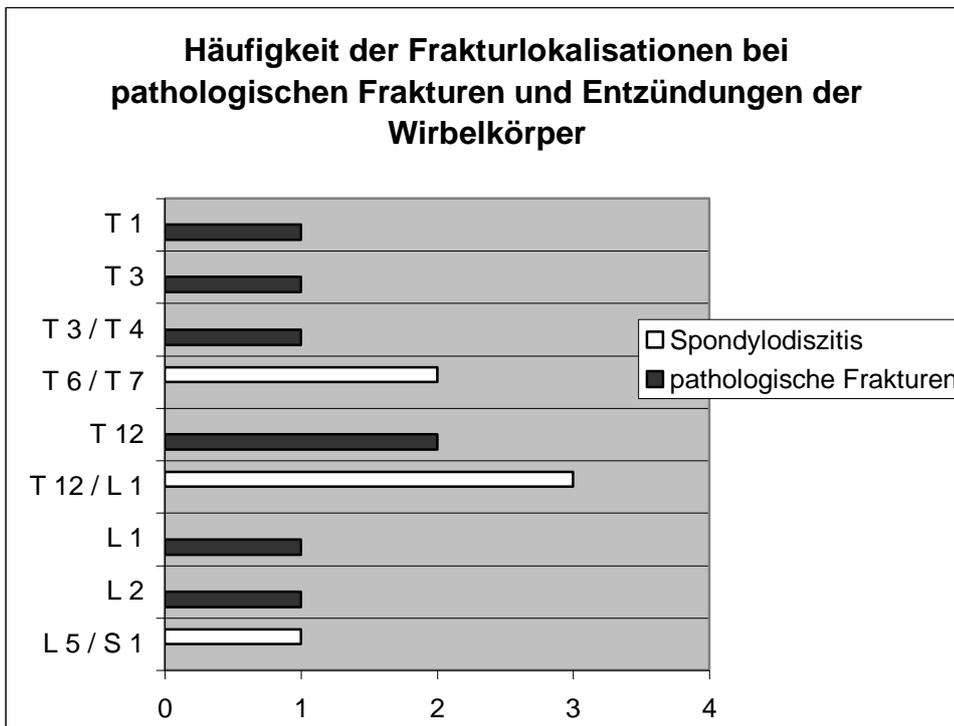


Grafik 8 – Lokalisation von traumatisch bedingten Frakturen

Es fällt auf, dass gerade der thorakolumbale Übergang außerordentlich hochgefährdet für Wirbelfrakturen durch das Traumageschehen ist. Am häufigsten wurde der erste Lendenwirbelkörper verletzt (48,1 %), am zweithäufigsten war der zwölfte Brustwirbelkörper frakturiert (22,2 %). Nur vereinzelt traten Verletzungen an den übrigen Abschnitten der Wirbelsäule auf. Zu begründen ist diese hohe Anfälligkeit des thorakolumbalen Übergangs für Verletzungen durch den Übergang von der Brustkyphose in eine Lendenlordose, sowie durch den Übergang von der relativ starr fixierten Brustwirbelsäule zur freistehenden Lendenwirbelsäule.

Eine ähnliche Situation ergibt sich bei Betrachtung der Frakturlokalisationen von pathologischen Frakturen und Entzündungen der Wirbelkörper bzw. des

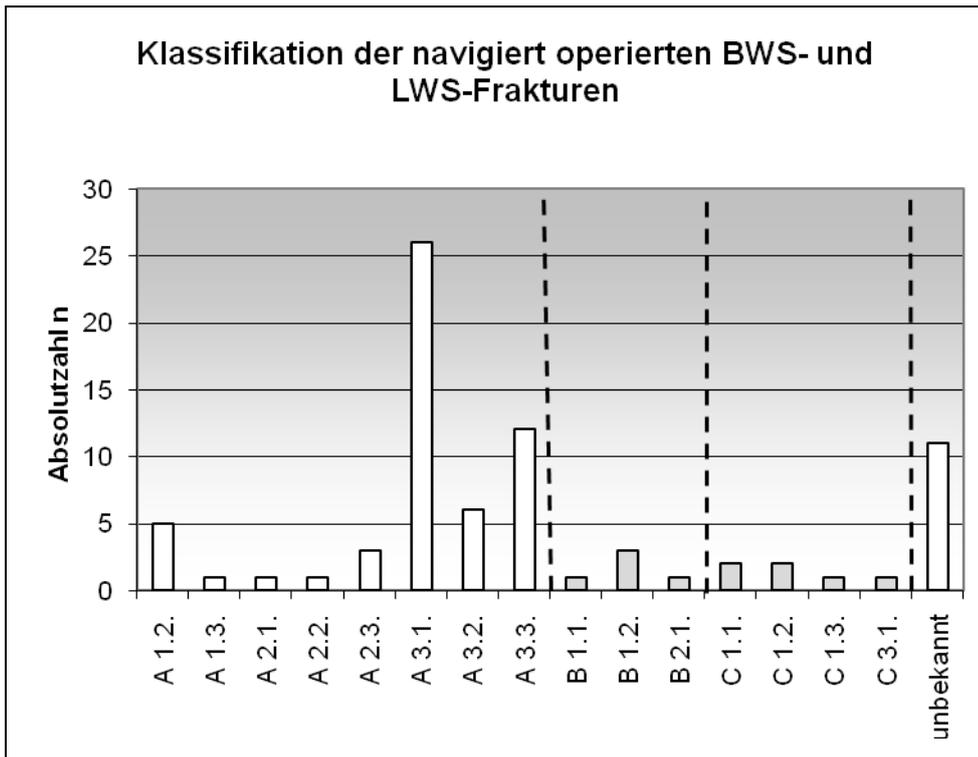
Wirbelzwischenraums, wobei zu wenige Fälle für eine aussagekräftige Kurvendiskussion vorliegen.



Grafik 9 – Lokalisation von pathologischen Frakturen

### 3.2.2. Klassifikation der traumatischen Frakturen und deren Häufigkeit im Überblick

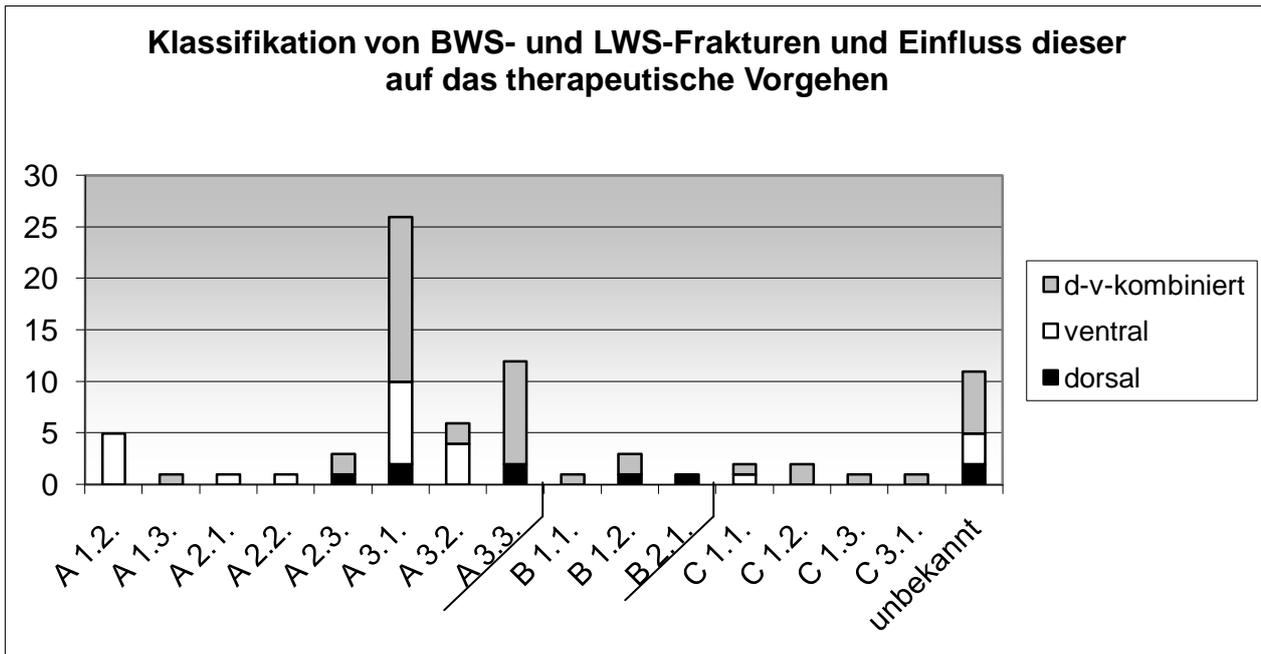
Zugrunde liegen Daten der Wirbelsäulenfrakturen mit traumatischer Genese. Klassifiziert wurden die Frakturen nach Magerl et al. Wie aus der Grafik ersichtlich, überwiegt der Anteil der A 3- Frakturen, der so genannten Berstungsbrüche.



Grafik 10 - Frakturklassifikation

Bei den Patienten mit den Frakturtypen A 1.2 handelte es sich um junge Patienten mit großem Wirbelkörperwinkel (einer Kyphosierung von mehr als 15-20° entsprechend) und starken Schmerzen, sodass wir die OP-Indikation sahen. Die Versorgung erfolgte mit isoliert ventralem Vorgehen. Ebenso entschieden wir bei einer Patientin mit A 2.1- und einer Patientin mit A 2.2-Fraktur. Drei Fälle mit A 2.3-Fraktur wurden in dem Betrachtungszeitraum operativ versorgt. Bei einem Patienten davon handelte es sich um einen 14 jährigen Patienten, der aufgrund eines noch nicht abgeschlossenen Größenwachstums isoliert dorsal versorgt wurde und wir aufgrund seines jungen Alters gute Heilungschancen sahen.

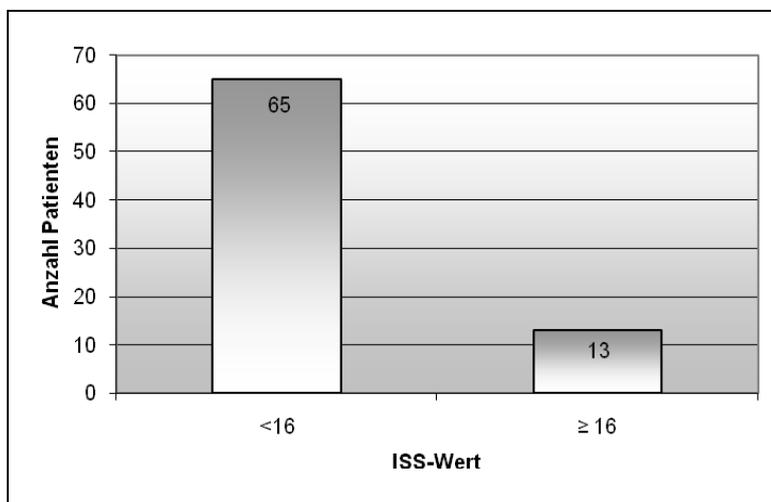
Für insgesamt 11 Patienten konnte retrospektiv keine Klassifikation vorgenommen werden, da in diesen Fällen keine präoperativen Röntgen- bzw. CT-Aufnahmen vorlagen. Die Patienten wurden in externen Häusern isoliert dorsal versorgt (dringliche OP-Indikation) und wurden erst zur endgültigen ventralen Instrumentierung in diese Klinik verlegt.



Grafik 11 – Therapieverfahren der verschiedenen Frakturtypen

### 3.2.3. Begleitverletzungen und ISS-Score

Jeder Patient wurde nach dem ISS (=Injury Severity Scale) bewertet. Dieser dient dazu, die Schwere der Verletzungen einzuschätzen und eine Behandlungspriorität festzulegen, wenn durch den Unfall mehrere Körperregionen des Patienten verletzt sind.



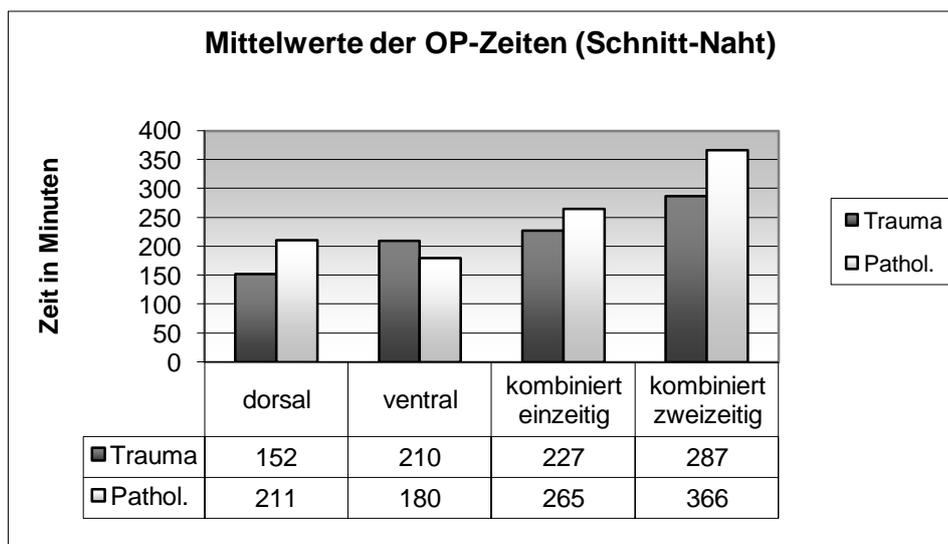
Grafik 12 – Begleitverletzungen und ISS-Score

Die überwiegende Anzahl der Patienten (n=65) zog sich durch das Traumageschehen entweder isolierte Wirbelsäulenverletzungen zu oder litt an einer Wirbelsäulenverletzung, die kombiniert mit einer leichteren Verletzung einer anderen Körperregion auftrat. 13 Patienten (20 %) zogen sich neben der Wirbelsäulenfraktur noch mindestens eine weitere schwere

Verletzung einer anderen Körperregion zu, womit die Kriterien der Definition ‚Polytrauma‘ (Tscherne 1998) erfüllt sind.

### 3.2.4. Analyse der OP-Zeiten

Hierfür wurden die Mittelwerte der OP-Zeiten (Schnitt-Naht) für die isoliert dorsalen, isoliert ventralen und die kombiniert einzeitigen bzw. zweizeitigen Operationsverfahren berechnet und traumatisch bedingte Wirbelfrakturen getrennt von den pathologischen Frakturen betrachtet. Es ergibt sich folgende Grafik:



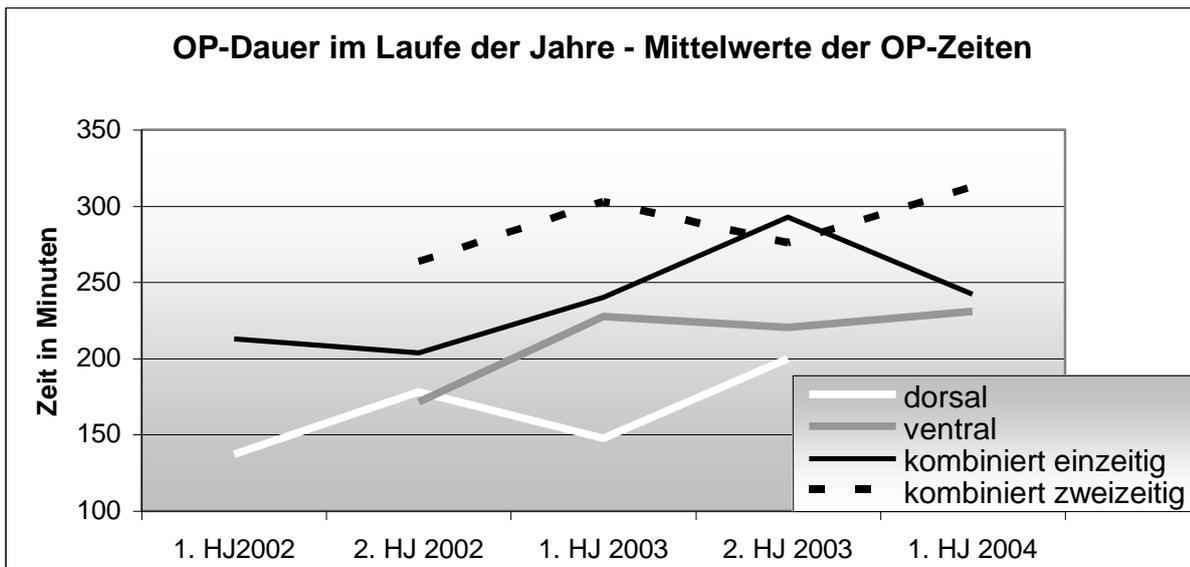
Grafik 13 – OP-Dauer

Die dorsale Versorgung einer **traumatischen** Wirbelfraktur, dauerte durchschnittlich 152 Minuten (n=9), wobei es sich in diesen Fällen überwiegend um mehrsegmentale Verletzungen handelte. Ventrale Operation dauerten durchschnittlich 210 Minuten (n=21) und kombiniert-einzeitige Operationen 227 Minuten (n=12), bzw. kombiniert zweizeitige Operation 287 Minuten (n= 38). Da nicht bei allen Eingriffen die OP-Zeit genau dokumentiert war, konnten für die Auswertung nur 80 Patienten herangezogen werden.

Bei der Versorgung von pathologischen Frakturen wurde eine Laminektomie durchgeführt und häufig eine längerstreckige Instrumentierung (mindestens 2 Wirbel oberhalb und unterhalb der Fraktur) von Wirbelsegmenten vorgenommen, um den Patienten bei einer eventuell auftretenden Progredienz des wachsenden Tumors vor neurologischen Ausfallsyndromen zu bewahren. Daher resultierte eine längere Operationsdauer, diese betrug im Durchschnitt 211 Minuten (n=5) bei der dorsalen Versorgung und 265 Minuten (n=4) bei der dorsoventral kombinierten einzeitigen Operation. Kombiniert zweizeitig wurde nur ein Patient versorgt, dessen Operationen dauerten insgesamt 366 Minuten. Für eine Auswertung der OP-Dauer bei einer ventralen Versorgung einer pathologischen Operation

steht ebenfalls nur ein Fall zur Verfügung, sodass hier die OP-Dauer mit 180 Minuten geringer erscheint als bei dem gleichwertigen Verfahren zur Versorgung einer traumatisch verursachten Wirbelfraktur. Auch bei den pathologisch bedingten Frakturen waren bei einigen Fällen für die OP-Dauer keine Angaben aus den Protokollen ersichtlich.

Interessant erscheint die Darstellung folgenden Diagramms, auf welcher der durchschnittliche Zeitbedarf der unterschiedlichen Operationsmethoden im Zeitstrahl gegeneinander abgetragen wurde.



Grafik 14 – Entwicklung der OP-Dauer im Zeitverlauf

Im Sinne einer Lernkurve hätten wir erwartet, dass der Zeitbedarf für die unterschiedlichen Operationsmethoden im Laufe der Jahre abnimmt. Dies ist allerdings nicht der Fall und lässt sich wie folgt begründen. Bedingt durch die Umstrukturierung der Arbeitszeitmodelle der ärztlichen Kollegen nach europäischem Vorbild, sind in dieser Einrichtung mehrere erfahrene Kollegen befähigt, operative Eingriffe an der Wirbelsäule vorzunehmen. Stets werden neue Kollegen in den Umgang mit der anspruchsvollen Navigationstechnik eingearbeitet, was einen erhöhten Zeit- und Arbeitsaufwand mit sich bringt.

Ein leichter Anstieg der Operationsdauer bei der dorsalen Versorgung im Laufe der Jahre (137 min → 200 min) lässt sich damit begründen, dass die Anzahl der dorsalen Operationen mit Einsatz der Navigationstechnik rückläufig ist, da vor allem im thorakolumbalen Übergang mit konventionellen und damit weniger aufwendigeren Verfahren ebenso präzise operiert werden kann wie unter Einsatz der Navigationstechnik. Die sehr lang erscheinende OP-Dauer bei der isoliert dorsalen Versorgung begründet sich aus der Indikation zu dieser OP unter Anwendung der Navigationstechnik, die vorrangig nur bei der Versorgung von Frakturen im Bereich der oberen/mittleren BWS zu stellen war. Hier sind die Pedikel

schmäler und bedürfen hoher Präzision zur sicheren Platzierung. Ebenfalls wurden 4 der 9 Fälle über 4 Segmente instrumentiert, was mit einer höheren Anzahl eingebrachter Schrauben und damit verlängerter OP-dauer einhergeht.

### 3.2.5. prä- und postoperativer Neurologischer Untersuchungsstatus

Um das Ausmaß der neurologischen Ausfälle bei den Patienten klassifizieren zu können, wurde eine Einteilung nach Frankel (Frankel 1969) vorgenommen. Folgende Tabellen stellen die Verteilung der Neurologischen Untersuchungsergebnisse dar:

<b>Trauma</b>	<b>dorsal</b>		<b>ventral</b>		<b>dorsoventral</b>	
Frankel	Prä-OP	Post-OP	Prä-OP	Post-OP	Prä-OP	Post-OP
<b>A</b>	0	0	0	0	1	1
<b>B</b>	0	0	0	0	0	0
<b>C</b>	0	0	0	0	2	1
<b>D</b>	3	3	0	0	7	5
<b>E</b>	8	8	21	21	41	44
<b>Gesamt</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>21</b>	<b>21</b>	<b>51</b>	<b>51</b>

<b>Pathol.</b>	<b>dorsal</b>		<b>ventral</b>		<b>dorsoventral</b>	
Frankel	Prä-OP	Post-OP	Prä-OP	Post-OP	Prä-OP	Post-OP
<b>A</b>	0	0	0	0	1	0
<b>B</b>	0	0	0	0	0	0
<b>C</b>	0	0	0	0	1	1
<b>D</b>	2	2	1	1	1	1
<b>E</b>	4	4	2	2	2	3
<b>Gesamt</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>5</b>

Tabelle 3, 4

Insgesamt waren bei 13 Patienten (15,7 %) der traumatischen Wirbelfrakturen-Gruppe und bei 6 Patienten (42,9%) der pathologisch verursachten Wirbelfrakturen-Gruppe präoperativ neurologische Defizite festzustellen. Der höhere Anteil von Patienten mit neurologischem Defizit bei pathologischen Wirbelfrakturen ist ursächlich durch das oft zu spät bemerkte Tumorwachstum zu erklären. So fanden die Patienten meist erst den Weg in die Klinik, wenn durch das Tumorleiden oder durch Entzündungen bereits neurologische Ausfälle aufgetreten waren.

Unter den traumatischen Patienten mit neurologischen Defiziten, ergab sich in drei Fällen eine A 3.1.-Fraktur, es zeigte sich in einem Fall eine A 3.2.- und in zwei weiteren Fällen eine A 3.3.-Fraktur. Des Weiteren wurde in zwei Fällen eine B 1.3.-Fraktur und in einem anderen Fall eine B 2.1.-Fraktur klassifiziert. C-Frakturen wurden in 2 Fällen diagnostiziert (C 3.1.). In zwei weiteren Fällen konnte keine exakte Klassifikation des Frakturtyps nach Magerl

vorgenommen werden, die die präoperativen Aufnahmen in externen Kliniken angefertigt wurden und zur Auswertung nicht zugänglich waren.

Der Vergleich des präoperativen mit dem postoperativen Untersuchungsergebnis ergab, dass sich kein Patient mit vorbestehender Symptomatik im postoperativen neurologischen Outcome verschlechtert hat. Bei drei der Patienten mit vorbestehender Symptomatik bei traumatisch verursachter Wirbelfraktur und bei drei Patienten mit neurologischem Defizit bei pathologischer Wirbelfraktur konnte eine Verbesserung um mindestens einen Frankel-Grad erzielt werden. Bei den übrigen Fällen entsprach der postoperative Frankel-Wert dem präoperativen Wert.

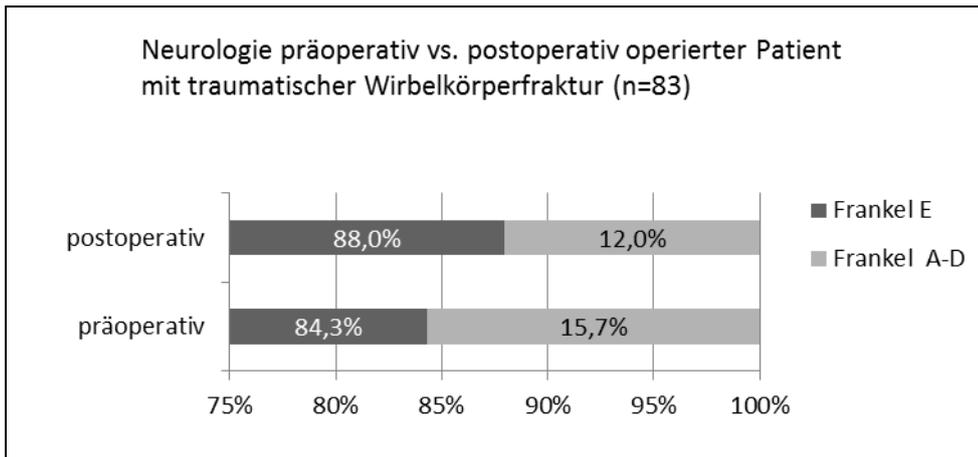
Traumatische Wirbelfraktur		
1) C	→	D
2) D	→	E
3) D	→	E
Pathologische Wirbelfraktur		
1) A	→	C (nach Spondylodiszitis)
2) C	→	D
3) D	→	E

Grafik 15 – Verbesserung der neurologischen Erscheinung

Jedoch muss an dieser Stelle auch erwähnt werden, dass bei vier Patienten (4,8 %) der Gruppe mit traumatisch bedingter Wirbelfraktur unmittelbar zugangsbedingt postoperativ über Sensibilitätsstörungen bestanden. Dabei klagte ein Patient nach dorsaler Stabilisierung über eine Sensibilitätsstörung im Dermatombereich L3 rechts bei instabiler LWK 3-Fraktur vom Typ B 1.2. (Sturz aus der Höhe), was mit einer Eingriff bedingten Verletzung des zugehörigen sensiblen Nervenastes an dessen Austrittsstelle in Höhe L3 zu vereinbaren ist. Eine Revision war nicht erforderlich da die Beschwerden weniger als 24 Stunden anhielten und komplett rückläufig waren.

Bei den anderen drei Patienten ergab die neurologische Untersuchung postoperativ ebenfalls eine Sensibilitätsstörung in einem bestimmten Hautareal, was mit einem zugangsbedingten Nervenschadens bei der ventralen Versorgung frakturierter Wirbelkörper über eine Lumbotomie zu begründen ist. Eine Schädigung motorischer Nervenbahnen war bei keinem Patienten zu verzeichnen (0 %).

Auch bei den Eingriffen an Patienten mit pathologischer Wirbelfraktur war keine neurologische Verschlechterung nach operativer Versorgung festzustellen.



Grafik 16 – Neurologie prä – und postoperativ

### 3.2.6. Abbruchkriterien bei navigierten Operationen

Im betrachteten Patientengut musste intraoperativ bei acht Patienten auf die Navigationstechnik verzichtet werden (8,2 Prozent der Fälle). Dabei wurden 3 Patienten dorsal, 1 Patientin ventral und 4 Patienten kombiniert dorsoventral versorgt.

Bei 4 Patienten (2 x kombiniert dorsoventral und 1 x ventral und 1 x dorsal) ergab das Matching trotz wiederholter Versuche zu große Abweichungen, sodass nicht navigiert operiert wurde. Zwei Patienten mussten ohne Navigationssystem und auch ohne Endoskopietechnik operiert werden, da hier pleurale Verwachsungen die Anwendung des Verfahrens verhinderten. Auch endoskopisch konnte bei einem der beiden Patienten keine überzeugende Übersicht des Operationsgebietes erreicht werden, sodass letztendlich auf die ventrale Stabilisierung gänzlich verzichtet wurde. Bei 2 weiteren Patienten (isoliert dorsal) musste das Navigationsverfahren wegen einer Schraubenfehlage abgebrochen werden. Gründe dafür waren das Vorliegen osteoporotischer Knochenverhältnisse.

Verfahren	ID	Alter	Fraktursache	OP-Dauer gesamt	OP-Datum	Abbruchgrund
dorsal	Patient 1	81 Jahre	pathol. Fraktur	109 Minuten	OP 12.08.2003	Fehllage Pedikelschraube
dorsal	Patient 2	42 Jahre	banaler Sturz	249 Minuten	OP 18.04.2002	Fehllage Pedikelschraube
dorsal	Patient 3	14 Jahre	VKU (Fahrrad)	178 Minuten	OP 08.07.2002	techn. Probleme bei Navigation
ventral	Patient 4	19 Jahre	VKU (Motorrad)	172 Minuten	OP 25.07.2003	techn. Probleme bei Navigation
kombiniert	Patient 5	57 Jahre	Sturz aus der Höhe	140 Minuten	OP 01.04.2004	ausgedehnte intrapleurale Verwachsungen
kombiniert	Patient 6	74 Jahre	banaler Sturz	255 Minuten	OP 29.10.2003	ausgedehnte intrapleurale Verwachsungen
kombiniert	Patient 7	54 Jahre	Sturz aus der Höhe	314 Minuten	OP 20.08.2003	techn. Probleme bei Navigation
kombiniert	Patient 8	20 Jahre	VKU	282 Minuten	OP 15.04.2003	techn. Probleme bei Navigation

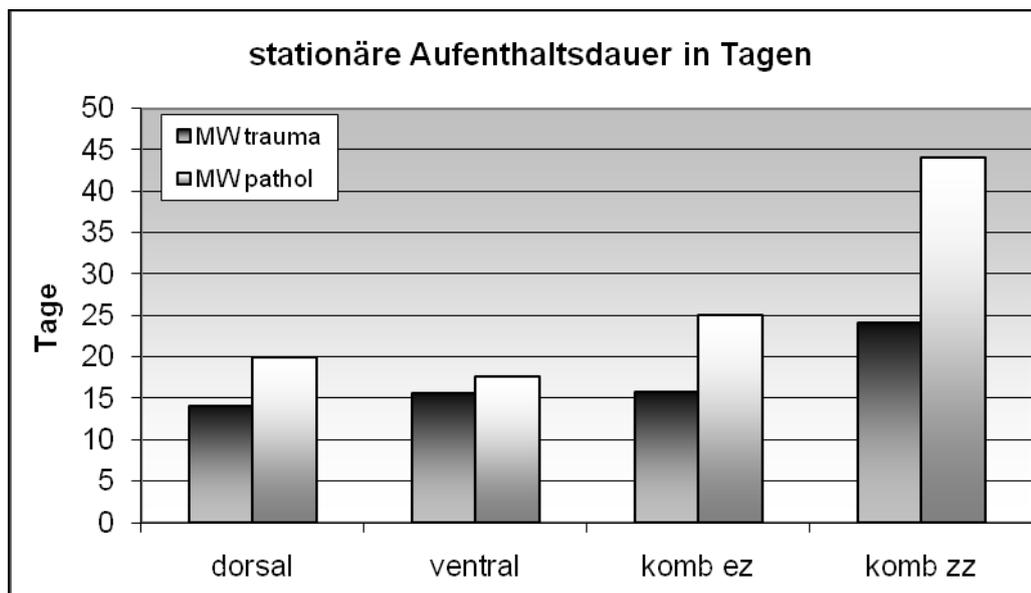
Tabelle 5

Zusammenfassend sind in folgender Tabelle alle Abbruchkriterien dargestellt, die in dem betrachteten Patientengut auftraten:

1	N=2	Abbruch wegen Schraubenfehlage	
2	N=4	Probleme Navigationstechnik	Matching mehrfach gescheitert
3	N=2	Intrapleurale Verwachsungen	
	N=8	Gesamt (=8,2 % der Fälle)	

Tabelle 6

### 3.2.7. Stationäre Aufenthaltsdauer

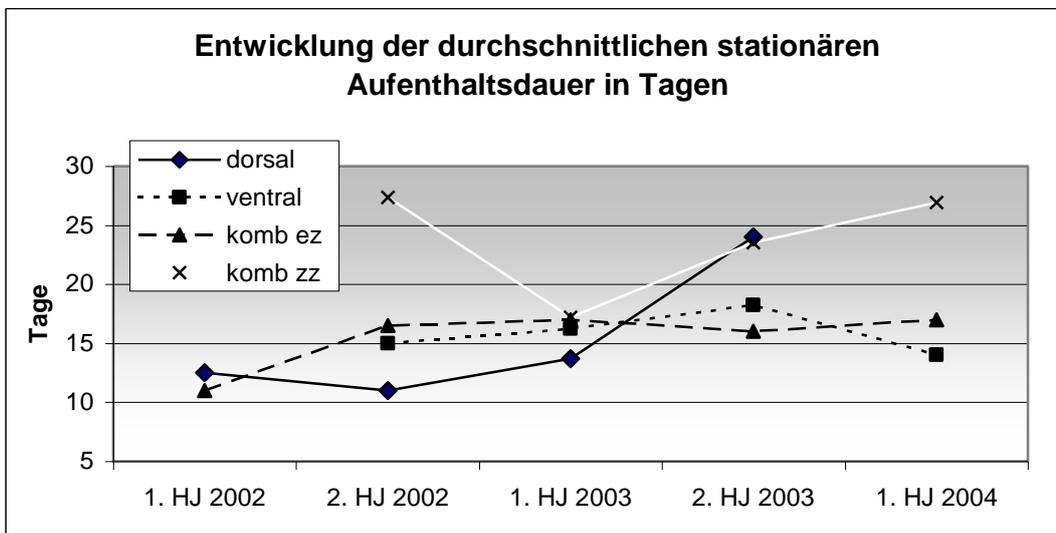


Grafik 17 – Stationäre Aufenthaltsdauer im Mittelwert für traumatische vs. pathologische Wirbelfrakturen

Eine Analyse der Dauer des stationären Aufenthaltes ergab die im Diagramm ersichtliche Verteilung. Dorsale, ventrale und kombiniert einzeitig durchgeführte Operationen bei Trauma bedingten Wirbelverletzungen zeigten etwa die gleiche stationäre Liegedauer (durchschnittlich 14 bis 16 Tage). Interessant erscheint die Tatsache, dass man für kombiniert zweizeitige Eingriffe im Durchschnitt 8 Tage länger einplanen muss. Andererseits ist die sofortige kombiniert einzeitige Versorgung medizinisch nicht immer sinnvoll und logistisch meist nicht möglich.

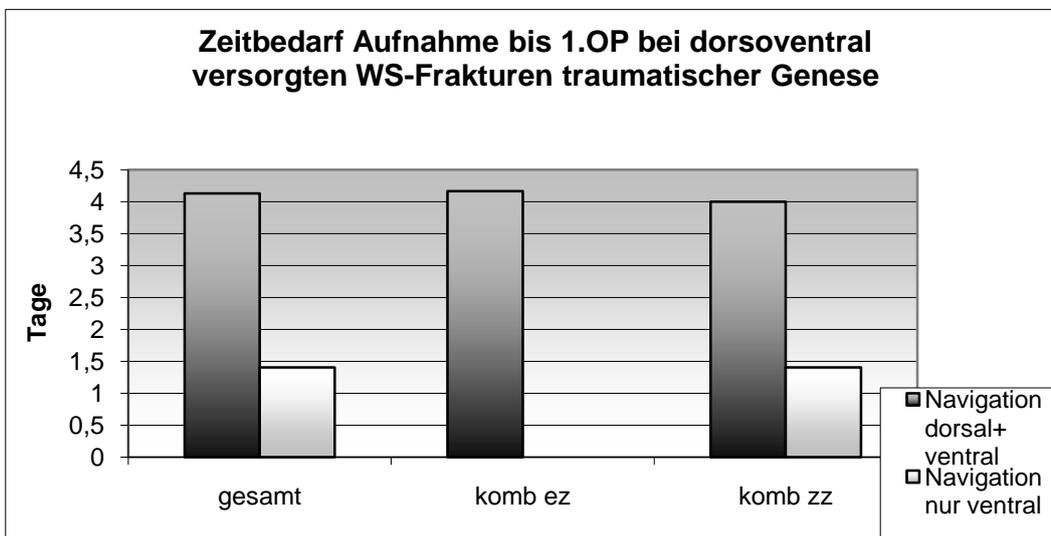
Bei der Behandlung pathologischer Wirbelfrakturen ist stets mit einer längeren Liegedauer zu rechnen, da oftmals noch zusätzliche prä- und postoperative Untersuchungen notwendig sind oder weitere Komplikationen ihrer Grunderkrankung auftreten. Eine genaue Aussage über die Verweildauer von Patienten mit pathologischer Wirbelfraktur und kombiniert zweizeitigem operativen Vorgehen, lässt sich schlecht treffen, da hier nur ein Fall zur Auswertung steht. Für die übrigen Patienten gingen weitere Aufenthalte in anderen

Abteilungen zur Behandlung der Grunderkrankung voraus oder folgten nach Durchführung der OP. Dabei resultierten erhebliche Abweichungen bei der gesamtstationären Aufenthaltsdauer.



Grafik 18 – Aufenthaltsdauer im Zeitverlauf

Die Entwicklung der durchschnittlichen Aufenthaltsdauer über 2 Jahre hinweg lässt keine Änderung erkennen, da zu viele Faktoren auf diesen Parameter Einfluss nehmen (Alter des Patienten, Nebenerkrankungen, Begleitverletzungen, Schwere der Fraktur).



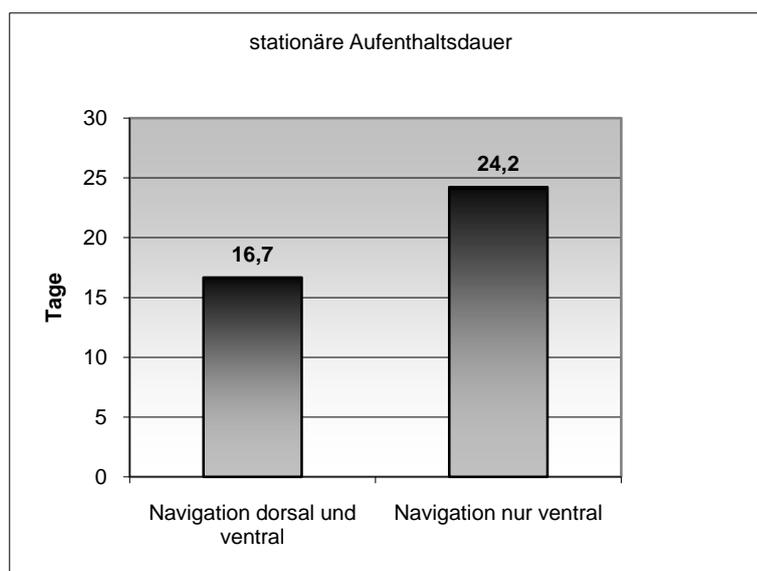
Grafik 19 – Dauer der Aufnahme bis zur 1. OP

Analysiert man die Auswirkungen der OP-Methode ergibt sich ein deutlicher Unterschied bezüglich der stationären Liegedauer bei Patienten mit kombiniert dorsoventral versorgter Wirbelfraktur zwischen den Patienten, deren dorsale Versorgung mit navigationsgestützter Technik stattfand und den Patienten, deren dorsale Versorgung in konventioneller Weise durchgeführt wurde. So zeigt sich, dass für die Vorbereitung des Patienten und der

benötigten Technik bei navigationsgestütztem dorsalem Vorgehen 3 Tage länger gebraucht werden, als ohne Navigationstechnik. (dorsal + ventral navigiert:  $n=15 \rightarrow 4,1$  Tage; nur ventral navigiert:  $n=37 \rightarrow 1,4$  Tage,  $p<0,05$ )

Differenziert man zwischen einzeitigem und zweizeitigem Vorgehen, dann ergibt sich ein ähnliches Bild. Kombiniert einzeitig wurden alle Patienten dorsal und ventral navigiert ( $n=12$ ), kombiniert zweizeitig wurden nur ventral navigiert  $n=37$ , dagegen  $n=3$  Patienten wurden kombiniert zweizeitig dorsal und ventral navigiert.

Ein anderes Bild ergibt sich, wenn man die Gesamtverweildauer derselben Patienten betrachtet. Hier zeigt sich, dass Patienten mit initial dorsaler Versorgung ( $n=15$ ) unter Benutzung der Navigationstechnik eine geringere Aufenthaltsdauer im Krankenhaus aufweisen, als Patienten mit konventioneller dorsaler Versorgung ( $n=37$ ). Der Altersdurchschnitt der Gruppe, die sowohl dorsal als auch ventral navigationsgestützt operiert wurden, beträgt 49,8 Jahre gegenüber 46 Jahren bei der Gruppe die nur ventral navigationsgestützt operiert wurde. Dabei wurden nur Patienten mit Frakturen traumatischer Genese betrachtet.

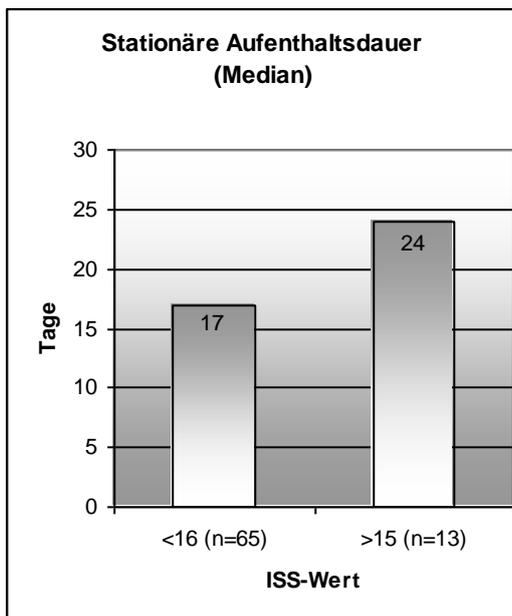


Grafik 20 – stationäre Aufenthaltsdauer im Durchschnitt in Tagen

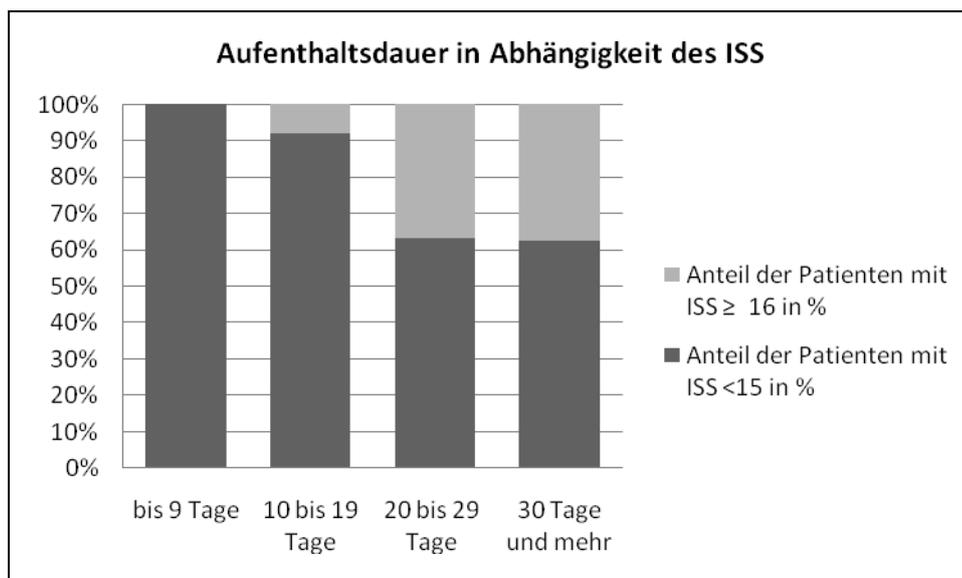
Ein Signifikanznachweis konnte jedoch nicht erfolgen ( $p>0,05$ ), dennoch ist ein Trend deutlich erkennbar. Ursächlich ist der Einfluss der Frakturart und des Verletzungsmechanismus zu sehen. Während bei den Patienten mit sowohl dorsaler als auch ventraler Navigation fast ausschließlich Frakturen vom Typ A3.1 vorlagen (Mittelwert für ISS in dieser Gruppe 8 Punkte), waren bei den Patienten, bei denen die Navigationstechnik nur bei der ventralen Komponente der OP angewendet wurde neben ebenfalls zahlreichen Patienten mit A-Frakturen immerhin 7 B-Frakturen und 5-C-Frakturen vorliegend, was mit

weiteren Kombinations-Verletzungen und deren weiterer Behandlungsnotwendigkeit einherging und sich negativ auf die Krankenhausverweildauer auswirkte (Mittelwert für ISS in dieser Gruppe 12 Punkte). Die offensichtlich längere Vorbereitungszeit navigierter Operationen lag an der Schwere und Lokalisation der Verletzung, welche Anlass zur Anwendung des Navigationssystems gab.

Erwartungsgemäß verlängert sich mit der Schwere der Verletzung die Dauer des stationären Aufenthaltes, wie folgendes Diagramm verdeutlicht. So brachten Patienten mit Polytrauma signifikant länger im stationären Bereich zu, als Patienten die bei Aufnahme keine Polytrauma-Kriterien erfüllen ( $p < 0,05$ ).



Grafik 21 – Aufenthaltsdauer



Grafik 22 – Aufenthaltsdauer in Abhängigkeit des ISS-Wertes

Mit Zunahme des Anteiles polytraumatisierter Patienten nimmt auch die stationäre Aufenthaltsdauer signifikant zu. Während kein Polytraumapatient weniger als 10 Tage im Krankenhaus blieb, beträgt der Anteil Polytraumatisierter unter Langliegern (Aufenthaltsdauer >29 Tage) bereits 40 Prozent.

Die Aufenthaltsdauer von polytraumatisierten Patienten betrug minimal 10 (danach Frührehabilitation) und maximal 57 Tage (Langzeitbeatmung), die Aufenthaltsdauer bei nichtpolytraumatisierten Patienten (ISS<16) betrug minimal 7 Tage (Patient war beruflich selbständig) und maximal 57 Tage (ISS grenzwertig, Komplikation durch nosokomiale Infekte).

### 3.2.8. Nicht-navigationsbedingte Komplikationen

Wiederum wurden traumatisch bedingte Frakturen von pathologisch bedingten Frakturen getrennt betrachtet. Zunächst die traumatisch bedingten Frakturen.

Unter den isoliert dorsal versorgten Wirbelfrakturen (n=9) kam es bei 2 Patienten zu Komplikationen. Ein Patient zeigte wenige Tage postoperativ eine Blasenentleerungsstörung, die aufgrund einer Schraubendislokation durch osteoporotische Knochenverhältnisse auftrat. Nach einer Revisionsoperation war die Miktionsstörung schnell rückläufig. Ein weiterer Patient bekam unmittelbar postoperativ eine prolongierte Wundheilungsstörung, die mit antiseptischen Wundverbänden und einer systemischen Antibiotikatherapie gut therapierbar war.

Für den Anteil der Patienten der isoliert ventral operiert wurde (n=23), waren keine Komplikationen zu verzeichnen.

Für den Anteil der Patienten, der kombiniert dorso-ventral einzeitig versorgt wurde (n=14), kam es in einem Fall zu Komplikationen, da ein 45 jähriger Patient während des zweiten Abschnitts der Operation eine Asystolie über 3 Sekunden bei neu aufgetretenem AV-Block III. Grades unter Betablockertherapie zeigte. Das Ereignis war selbstlimitierend und die Operation konnte nach Absprache des Operateurs mit dem verantwortlichen Anästhesisten fortgeführt werden. Der Patient erlitt keine weiteren Komplikationen. Das Ereignis stand in keinem Zusammenhang mit der eigentlichen OP. Postoperativ wurde der Patient auf der Intensivstation überwacht und nach Mobilisation den Kollegen der Kardiologie zur rhythmologischen Diagnostik und Therapie zugeführt.

Bei den Patienten, die kombiniert dorsoventral zweizeitig versorgt wurden (n=37), ergaben sich in 7 Fällen 8 Komplikationen. Dabei kam es in einem Fall zu einer bleibenden neurologischen Verschlechterung mit Sensibilitätsstörungen im Bereich L5/S1 und

Schmerzen aufgrund der Ausbildung einer Spondylolisthesis, die unabhängig von der vorher versorgten instabilen LWK-1-Fraktur auftrat. Ein Patient klagte postoperativ über wieder zunehmende Schmerzen nachdem sich die ventralen Schrauben bei osteoporotischen Knochenverhältnissen gelockert hatten und disloziert waren. Ein Revisionseingriff mit Einsatz eines Cages zur Abstützung brachte eine rasche Beschwerdefreiheit. Bei einem weiteren Patienten bildete sich postoperativ ein Wundserom aus, außerdem eine dorsale Schraubenfehlage bei osteoporotischen Knochenverhältnissen (bei konventioneller dorsaler OP). Insgesamt musste deshalb wegen der Wundheilungsstörung oberflächlich fünfmal revidiert werden, bei der ersten Revisionssitzung wurde durch eine längerstreckige multisegmentale Fusionierung und Schraubenkorrektur die Stabilität wieder hergestellt.

Bei einem weiteren Patienten kam es zur Pseudarthrosebildung aufgrund einer röntgenologisch nachweisbaren Osteolyse des Beckenkammspanes als Wirbelkörperersatz. Aufgrund der noch bestehenden Beschwerden wurde der Patient im Verlauf erneut operiert und mittels Cage stabilisiert. Ein Patient zog sich ein flächenhaftes subkutanes Hämatom im OP-Gebiet zu, welches konservativ gut behandelt werden konnte. Ein anderer Patient zeigte nach dorsalem konventionellem Vorgehen eine Wundinfektion, welche 2-mal mit Spülungen revidiert wurde. Schließlich kam es in einem Fall ventral zu einem Wirbeleinbruch mit Dislokation eines vorher eingesetzten X-tenz-Cages (expandierbarer Cage), welcher in einer zweiten Sitzung gegen einen Obelisc-Cage unter Abstützung auf den dorsalen Schrauben getauscht wurde. In diesem Fall kam auch für die 2. ventrale Sitzung die Navigationstechnik zum Einsatz. In allen anderen Fällen wurden Revisionsoperationen ohne Navigationstechnik durchgeführt, da es sich jeweils um Weichteileingriffe handelte.

Zusammenfassend ergibt sich, dass bei 8 von 83 Patienten Komplikationen auftraten (9,6 %). Eine Übersicht bietet folgende Tabelle:

<b>Traumatische Frakturen</b>					
	<b>dorsal</b>	<b>ventral</b>	<b>komb ez</b>	<b>komb zz</b>	<b>Summe</b>
<b>Osteolyse Beckenkammspan</b>	0	0	0	1	1 (1,2%)
<b>Spondylolisthesis (OP-unabhängig)</b>	0	0	0	1	1 (1,2%)
<b>Prolongierte Wundheilungsstörung/ Wundinfektion</b>	1	0	0	2	3 (3,6%)
<b>Subkutanes Hämatom/Serom</b>	0	0	0	2	2 (3,0%)
<b>Cagedislokation</b>	0	0	0	1	1 (1,2%)
<b>Intraoperative Herzrhythmusstörung</b>	0	0	1	0	1 (1,2%)
<b>Anzahl Revisionen</b>	1	0	0	8	9
<b>Summe der Komplikationen</b>	1	0	1	7	9
<b>betrifft Patienten</b>	1	0	1	6	8 (9,6%)
<b>komplikationsfreie Patienten</b>	<b>8 (88,9%)</b>	<b>23 (100%)</b>	<b>12 (92,3%)</b>	<b>30 (83,3%)</b>	<b>75 (90,4%)</b>

Tabelle 7

Betrachtung der Patienten mit pathologischen Frakturen.

Unter den 14 Patienten kam es in 3 Fällen (21,4%) zu Komplikationen. Bei einem Patient, der isoliert dorsal operiert wurde, musste in der ersten postoperativen Röntgenkontrollaufnahme eine Materialdislokation bei malignem Grundleiden festgestellt werden. Eine Revisions-OP war unumgänglich, weitere Operationen waren nicht erforderlich. Ein Patient mit vorbestehender Spondylodiszitis (kombiniert einzeitig) konnte durch eine Operation nicht ausreichend stabilisiert und saniert werden. Es kam zu einer geringen postoperativen neurologischen Verschlechterung mit sensorischen Störungen. Mit einer erneuten Operation hielt man sich wegen der hohen Gefahr weiterer neurologischer Komplikationen aufgrund der nicht einschätzbaren Entzündungsausbreitung zurück und ging konservativ vor. Unter antibiotischer Behandlung kam es zur Stabilisierung des Patienten. Und schließlich kam es in einem Fall (kombiniert zweizeitig) zur Ausbildung eines Wundseroms und eines Narbenbruches, was eine Revisionsoperation nach sich zog.

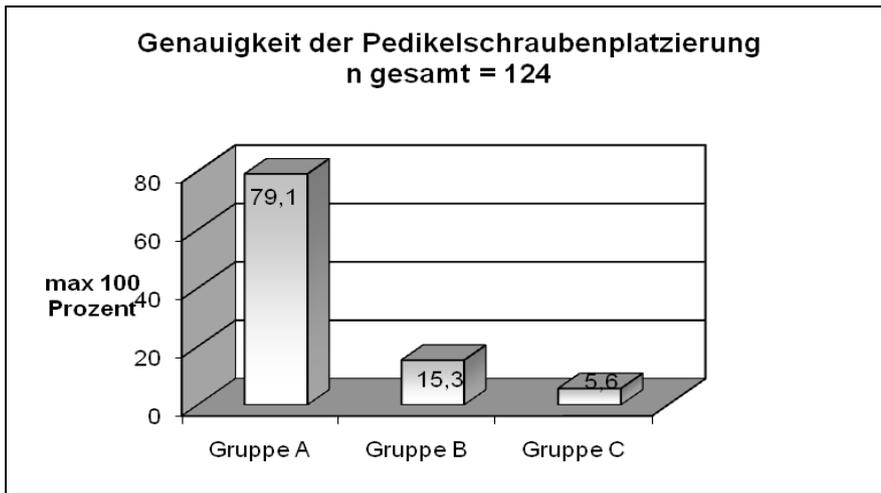
### 3.2.9. Navigationsbedingte Komplikationen

Bei der Anwendung der Navigationstechnik bei ventralen Operationen wurden keine navigationsbedingten Komplikationen verzeichnet.

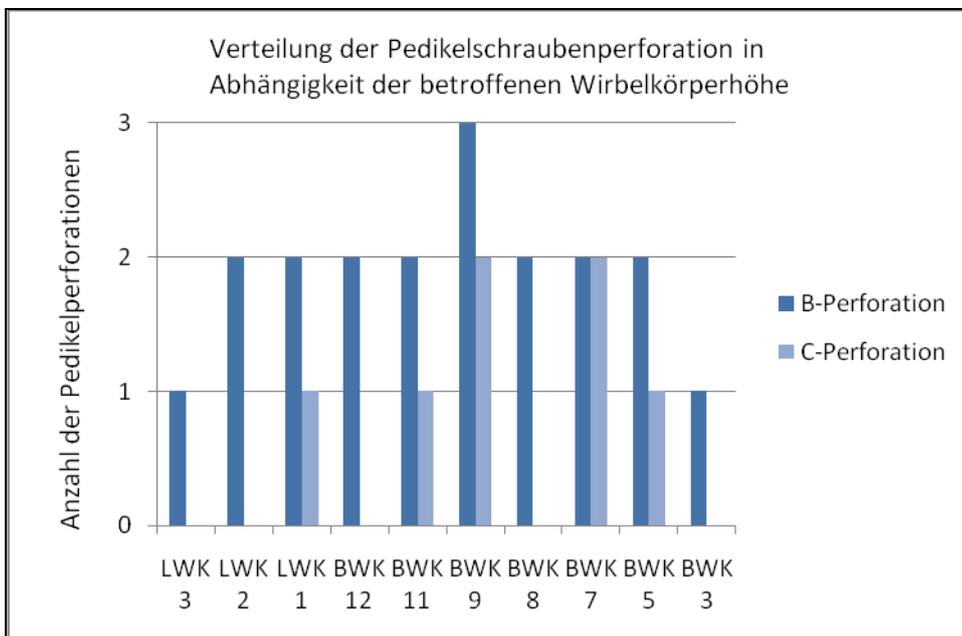
Bei der Anwendung derselben bei dorsalen Eingriffen wurde speziell die Genauigkeit der Navigation beim Einbringen von Pedikelschrauben betrachtet. Weitere Komplikationen waren nicht aufgetreten.

Die Auswertung erfolgte anhand postoperativer CT-Aufnahmen entsprechend der Arbeit von Arand et al. 2003 nach Einteilung in Gruppe A (zentrale Schraubenlage ohne Perforation der Pedikelkortikalis), Gruppe B (laterale oder mediale sowie kraniale oder kaudale Pedikelperforation geringer als Gewindetiefe) und Gruppe C (Pedikelperforation größer als Gewindetiefe).

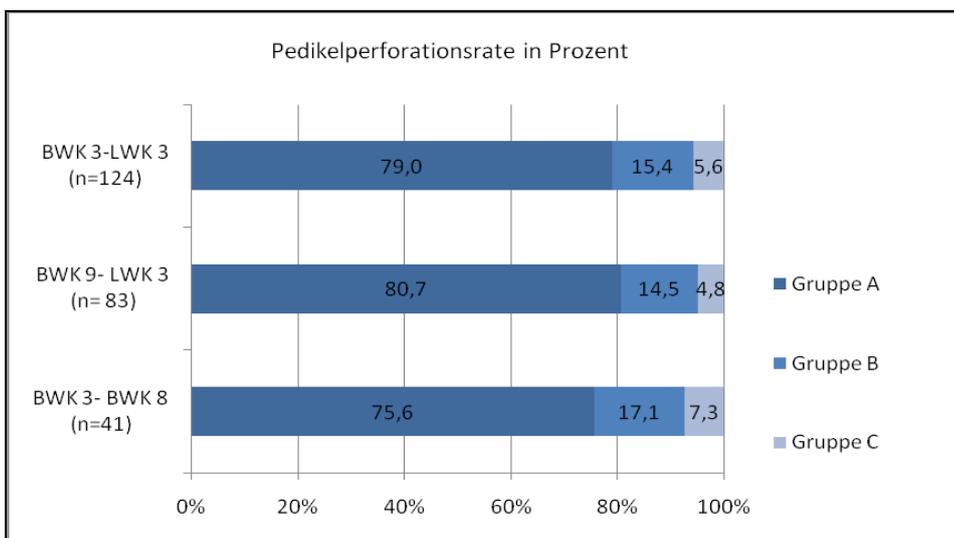
Für alle traumatisch verursachten Wirbelkörperfrakturen ergibt sich folgende Übersicht. Insgesamt wurden 124 Pedikelschrauben navigiert eingebracht. 98 Schrauben davon lagen optimal zentral (79 %), bei 26 Schrauben war eine Pedikelperforation zu erkennen (Gesamt 21 %, davon 19 mit B-Perforation (15,3 %) und 7 mit C-Perforation (5,6%)). Eine Perforation in kranialer Richtung wurde bei einer Pedikelschraube beobachtet. Weitere Perforationen in kranialer oder kaudaler Richtung zeigten sich nicht. 2 Patienten wurden operativ revidiert.



Grafik 23 – Genauigkeit der Pedikelschraubenplatzierung bei traumatischen Frakturen (Gesamt 100 %)



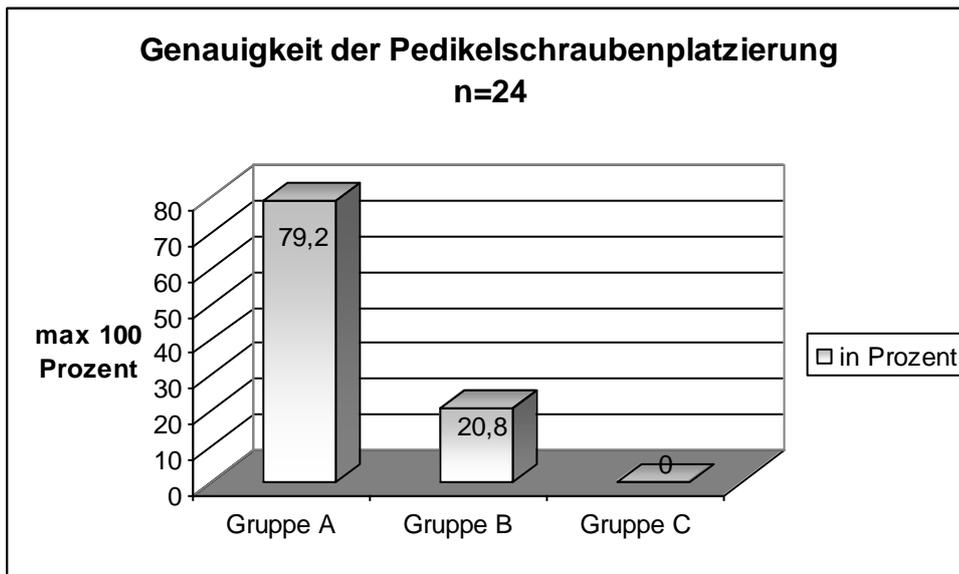
Grafik 24 – Pedikelschraubenperforation in Abhängigkeit der Wirbelkörperhöhe



Grafik 25 – Pedikelperforationsrate in Abhängigkeit des Wirbelsäulenabschnittes

Betrachtet man die Pedikelperforationen bezüglich der betroffenen Wirbelkörperhöhe fällt auf, dass mehr als 2/3 der Perforationen in den Wirbelsäulenabschnitten kranial von BWK 12 auftrat, was mit einer geringeren Pedikelweite und damit höherer Perforationsgefahr der Schrauben in diesen Abschnitten erklärt wird. Die höchste Perforationsrate trat in Höhe BWK 9 auf.

Bei den pathologisch bedingten Wirbelkörperfrakturen wurden folgende Daten erhoben:



Grafik 26 - Genauigkeit der Pedikelschraubenplatzierung bei pathologischen Frakturen (Gesamt 100 %)

Hier befanden sich von den 24 eingebrachten Schrauben 19 Schrauben in optimaler zentraler Lage ohne Perforationszeichen (79 %). Bei 5 Schrauben waren geringe Abweichungen zu verzeichnen (20,8 %). Dabei waren 2 Schrauben in Höhe BWK 3, und je eine Schraube in Höhe BWK 6, BWK 10 und BWK 11 im Pedikel perforiert. Betroffen waren 4 Patienten. Keine Perforation war bei den Patienten mit pathologischer Fraktur im Bereich der LWS nachweisbar. In keinem Fall waren schwere Pedikelperforationen zu beobachten. Kranial oder kaudal perforierte Schrauben wurden nicht nachgewiesen.



a)



b)

Abbildung 16 – Bild a mit Schraubenlage in loco typico.

Bild b mit Pedikelschraubenperforation nach medial (links) und lateral (rechts) Typ C

Als Ursache für das Auftreten von Perforationen müssen Fehler beim Matching angenommen werden oder während der OP wurde die digitale Referenzklemme an dem Processus spinosus des zu versorgenden Wirbelkörpers versehentlich verändert. In Abbildung 16 b kann dies stark vermutet werden, da beide Schrauben von der Achse her richtig aber etwas nach rechts parallel verschoben platziert sind.

### 3.3. Auswertung der Rehabilitationsergebnisse

#### 3.3.1. Rekrutierungsraten von Patienten

Mittlerweile werden alle Patienten grundsätzlich in der unfallchirurgischen Ambulanz postoperativ mindestens 1 Jahr weiter betreut und dazu einmal im Quartal einbestellt und nachuntersucht.

Wiederum wurde bei der Auswertung zwischen traumatisch und pathologisch verursachten Wirbelfrakturen unterschieden. Nach einem Jahr wurden von den 83 Patienten mit traumatisch bedingter Fraktur 69 mindestens einmal in der unfallchirurgischen Ambulanz nachuntersucht. Dies entspricht einem Prozentsatz von 83,1 Prozent.

<b>Trauma</b>				
	<b>dorsal</b>	<b>Ventral</b>	<b>kombiniert</b>	<b>gesamt</b>
Anzahl Patienten insgesamt	9	23	51	83
Anzahl der Patienten die über 1 Jahr untersucht wurden	6	21	42	69
<b>Anteil in Prozent</b>	<b>66,7</b>	<b>91,3</b>	<b>82,4</b>	<b>83,1</b>

Tabelle 8

Die verhältnismäßig geringere Beteiligung an Nachuntersuchungen bei den isoliert dorsal versorgten Patienten lässt sich erklären, da diese Patienten vor allem zu Zeiten der Einführung der Navigationstechnik an der Uniklinik Leipzig operiert wurden, als es noch kein standardisiertes Nachuntersuchungsschema in der eigenen Unfallchirurgischen Ambulanz gab. Die Patienten wurden in die ambulante Nachbetreuung niedergelassener Orthopäden und Chirurgen vermittelt. Ein weiter Anfahrtsweg, die damit verbundenen Fahrtkosten und die von den Patienten als unnötig eingeschätzte doppelte Nachbehandlung bei niedergelassenen Kollegen als auch an einer universitären Einrichtung beeinflussten die Nachuntersuchungsbereitschaft der Patienten offensichtlich erheblich.

Vorteile der regelmäßigen Nachsorge sind die Übersicht über den Heilungsverlauf der Patienten mit Überblick über die Anwendung analgetischer und physiotherapeutischer Maßnahmen, genauso wie die zentrale Erfassung und rechtzeitiges Einschreiten beim Auftreten von Komplikationen. Seitdem die konsequente Nachbehandlung in diesem

Klinikum erfolgt, resultieren die hohen Rekrutierungsrate bei den kombiniert und isoliert ventral versorgten Patienten (77% und 87%).

Nachfolgend die Betrachtung der Nachuntersuchungsrate bei pathologisch bedingten Frakturen.

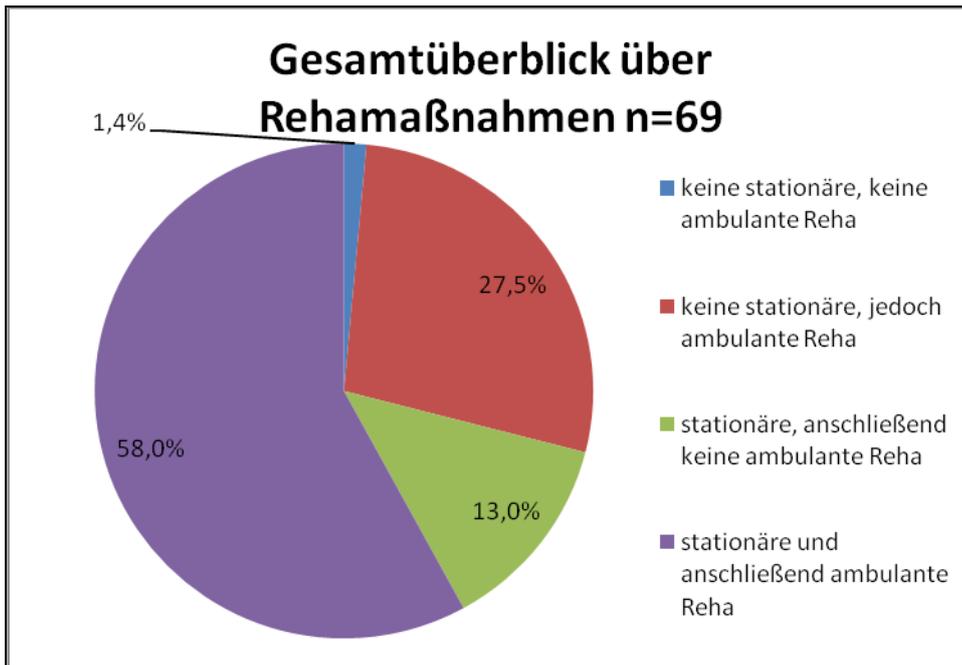
<b>Pathologische Frakturen</b>				
	<i>dorsal</i>	<i>ventral</i>	<i>kombiniert</i>	<i>gesamt</i>
Anzahl Patienten insgesamt	5	3	6	14
Anzahl der Patienten die über 1 Jahr untersucht wurden	3	3	3	9
<b>Anteil in Prozent</b>	<b>60</b>	<b>100</b>	<b>50</b>	<b>64,5</b>

Tabelle 9

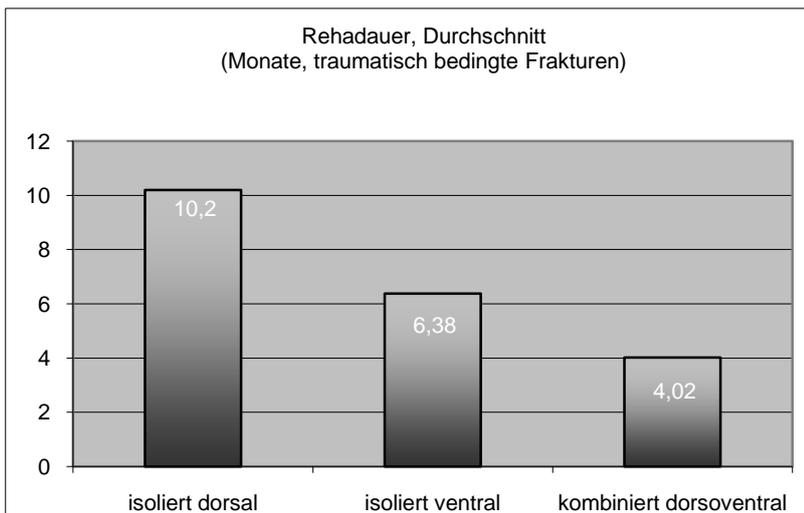
Hier zeigt sich eine große Streubreite aufgrund der zu geringen Fallzahl. Außerdem sind die zum Teil schweren Grunderkrankungen des betreffenden Patientengutes ursächlich für die offensichtlich geringere Rekrutierungsrate von 64 Prozent im Vergleich zu den Trauma bedingten Frakturen. Einige Patienten verstarben auch frühzeitig an den Folgen ihrer Grunderkrankung.

### 3.3.2. Auswertung der durchschnittlichen Rehabilitationsdauer

Die durchschnittliche stationäre Rehabilitationsdauer der traumatisch bedingten Wirbelfrakturen betrug 3 Wochen. Es gibt keinen signifikanten Unterschied zwischen Rehadauer der dorsalen, ventralen oder kombiniert versorgten Patienten. Ein Patient erhielt aufgrund einer Paraparese durch den Unfallmechanismus eine 56-wöchige Rehabilitationsmaßnahme, da sich die initiale neurologische Symptomatik durch die Operation nicht wesentlich verbesserte und der Patient an ein Leben im Rollstuhl gewöhnt werden musste. 20 von 69 Patienten (29% der Fälle) nahmen keine stationäre Rehabilitationsmaßnahme in Anspruch.



Grafik 27 – Rehabilitationsmaßnahmen und deren Verteilung

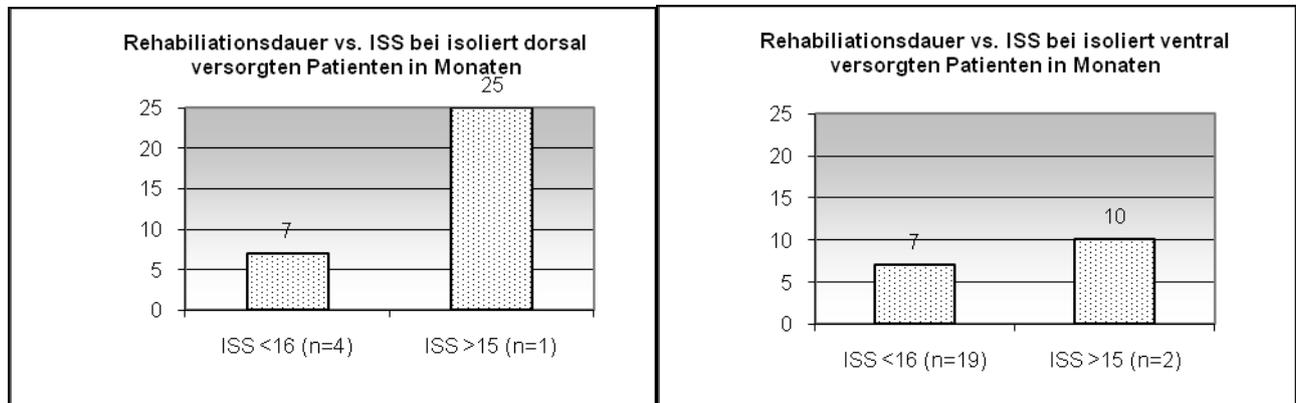


Grafik 28 – durchschnittliche Dauer der Rehabilitationsmaßnahmen in Monaten

Patienten mit isoliert dorsaler Versorgung benötigten im Vergleich zu den isoliert ventral bzw. kombiniert dorsoventral versorgten Patienten den längsten Zeitbedarf für Reha-Maßnahmen. 12 Patienten (17,3 %) bedurften einer länger als 12 Monate fortwährenden ambulanten Rehabilitationsmaßnahme. Ursachen können hier umfangreiche Nebenerkrankungen (durch Polytrauma) und eine verminderte Stabilität infolge fehlender ventraler Abstützung sein. In den meisten Fällen schloss sich die ambulante Rehabilitation an die stationäre Rehabilitation an. Nur in den Fällen, die keine stationäre Rehabilitation in Anspruch nahmen, blieb es bei alleiniger ambulanter Rehamassnahme. 9 Patienten der kombiniert dorsoventral versorgten Gruppe (20,9%) benötigten nach Abschluss der stationären Rehabilitationsmaßnahmen keine weitere ambulante Maßnahme.

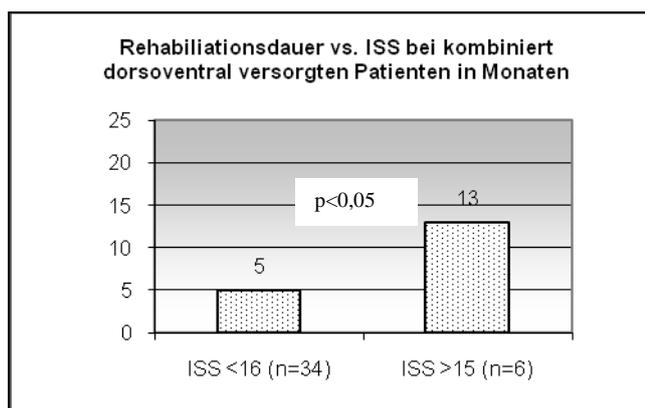
39 von 69 Patienten (56,5 %) waren nach einer ambulanten Rehabilitationsmaßnahme von 0-3 Monaten weitestgehend beschwerdefrei und bedurften keiner weiteren physiotherapeutischen Maßnahme.

Zur Abhängigkeit der Dauer der Rehabilitationsmaßnahme von der Höhe des ISS (Polytrauma bei ISS > 15 Punkte) liegt folgende Grafik vor:



a)

b)



c)

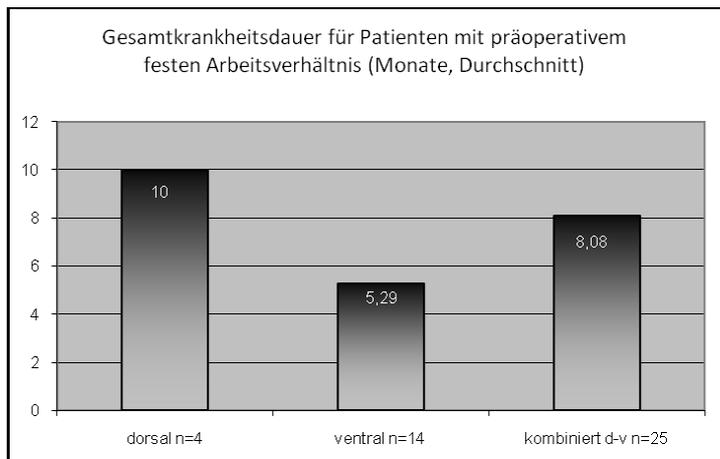
Grafik 29 – Rehabilitationsdauer in Abhängigkeit des ISS bei isoliert dorsal versorgten Patienten (a), isolierte ventral versorgten Patienten (b) und kombiniert dorsoventral versorgten Patienten (c)

Es zeigt sich, dass polytraumatisierte Patienten einen längeren Zeitraum für Rehabilitationsmaßnahmen in Anspruch nahmen.

### 3.3.3. Arbeitsfähigkeit

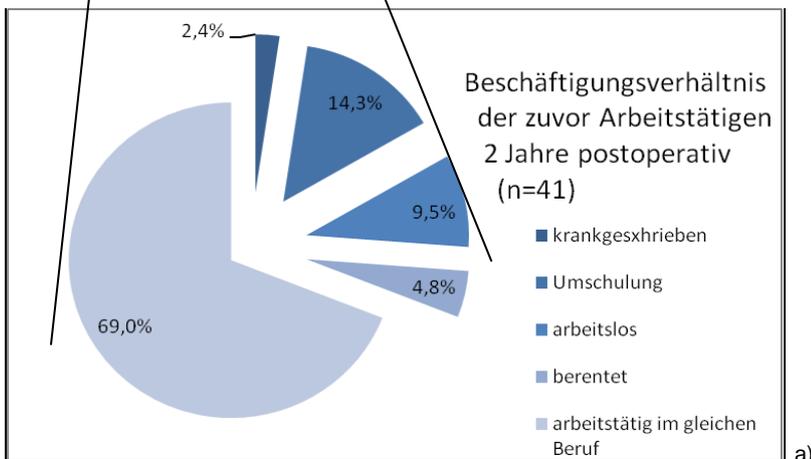
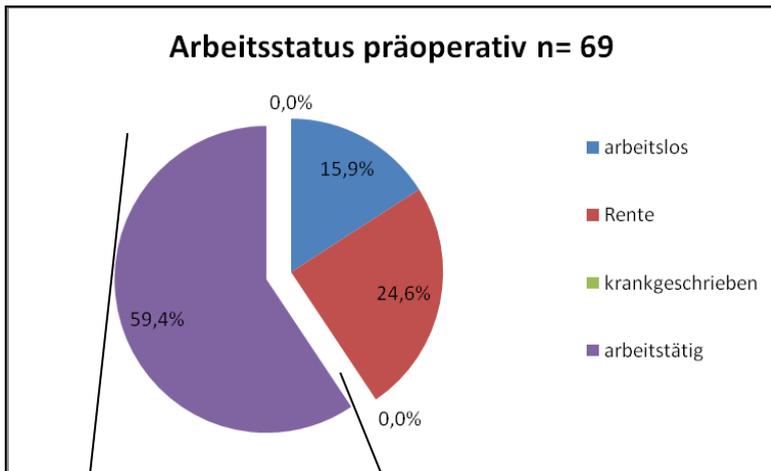
Bei der Betrachtung der Arbeitsfähigkeit postoperativ fällt auf, dass wiederum unter den isoliert dorsal versorgten Patienten die höchste Krankheitsdauer festgestellt wurde. Das hängt neben den bereits in vorigen Kapiteln erwähnten Gründen eventuell mit der Schwere der Fälle zusammen, die mittels CT-gestützter Navigation operiert wurden, andererseits kann auch das postoperative outcome bei isoliert dorsaler Versorgung schlechter sein, als mit

zusätzlicher ventraler Abstützung. Eine Analyse der Schmerzempfindung postoperativ folgt in einem späteren Abschnitt.



Grafik 30 – Krankheitsdauer bei Patienten mit festem Arbeitsverhältnis im Durchschnitt

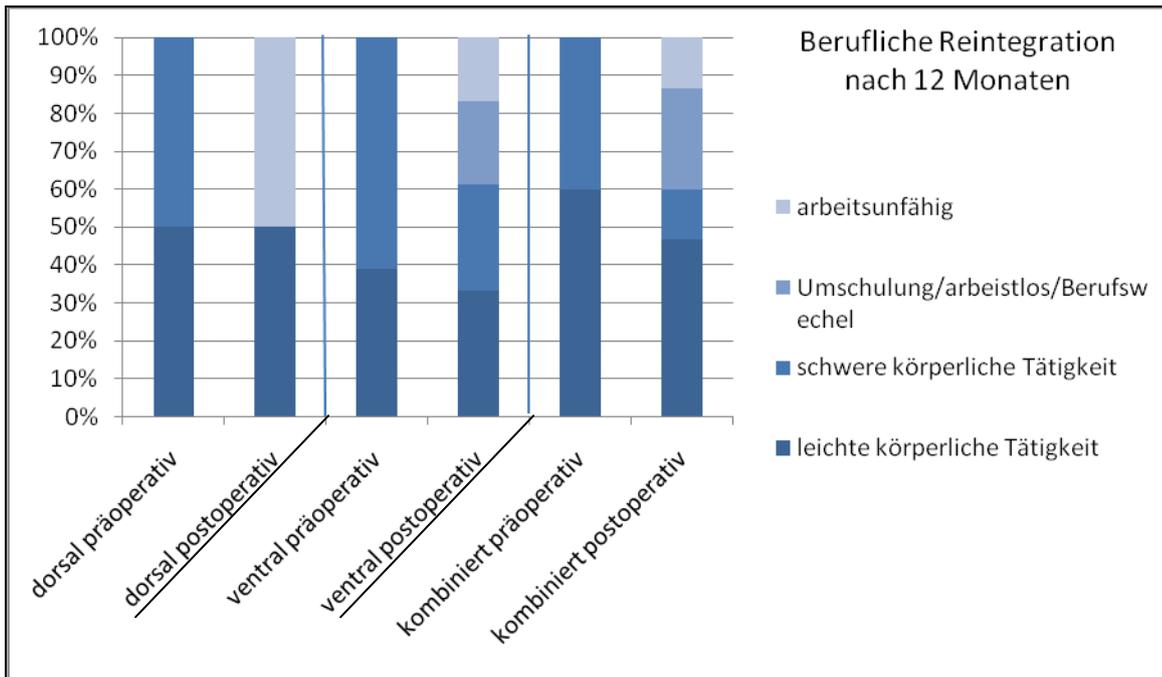
Für die Gesamtauswertung ist zu nennen, dass vor der OP 11 Patienten arbeitslos waren, 17 waren bereits berentet, 41 waren zum Zeitpunkt des Unfalls arbeitstätig. Ein Jahr postoperativ war kein weiterer Patient berentet, 2 Jahre postoperativ 2 weitere Patienten (davon ein Patient altersbedingt, ein Patient krankheitsbedingt aufgrund seiner Komorbiditäten). Des Weiteren waren postoperativ nach 1 Jahr nur noch 26 Patienten arbeitstätig, nach 2 Jahren immerhin wieder 29. Sechs Patienten unterzogen sich einer Umschulung. Ein Patient war auch noch nach 24 Monaten krankgeschrieben.



b)

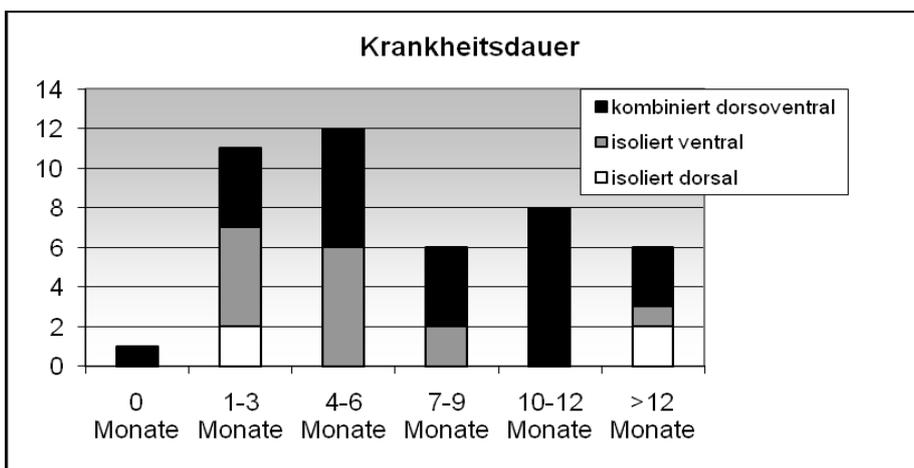
Grafik 31 – Veränderung des Arbeitsstatus durch Wirbelkörperfraktur (a) vor Wirbelsäulentrauma; (b) 2 Jahre nach operativer Versorgung

Die Patienten, die isoliert ventral bzw. kombiniert dorsoventral versorgt wurden, hatten gute Chancen 12 Monate postoperativ ohne oder nur mit leichten Einschränkungen wieder in ihren alten Beruf zurückkehren zu können (ventral 11 von 18 Fällen (61 %), dorsoventral 18 von 30 Patienten (60 %)). Nur wenige konnten sich nicht in ihrem alten Beruf reintegrieren und mussten krankheitsbedingt umschulen oder Rente beantragen.



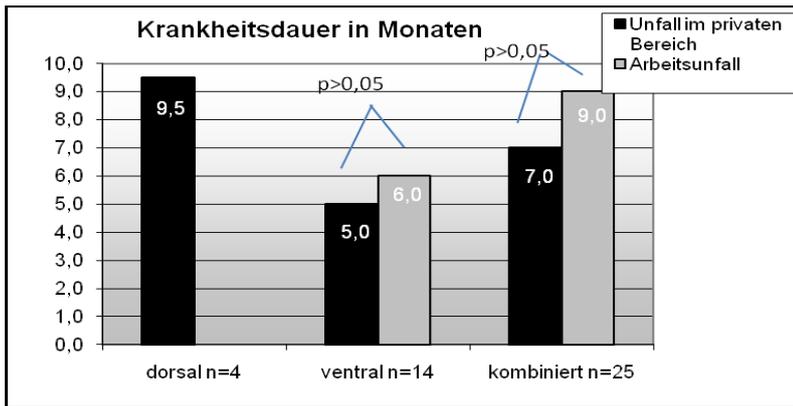
Grafik 32 – Status der beruflichen Reintegration 12 Monate präoperativ vs. postoperativ für Patienten mit isoliert dorsaler Versorgung, isoliert ventraler Versorgung und kombiniert dorsoventraler Versorgung

In der Betrachtung der Krankheitsdauer fällt auf, dass unter den isoliert ventral versorgten Patienten 11 von 18 Patienten innerhalb von 6 Monaten postoperativ wieder arbeitsfähig waren (78 %). Bei den isoliert dorsalen waren es nur 2 von 4 (zu geringe Fallzahlen), unter den kombiniert versorgten waren nur 11 von 26 Patienten innerhalb von 6 Monaten wieder arbeitsfähig (42%).



Grafik 33- Krankheitsdauer in Abhängigkeit der operativen Versorgungsart

Eine weitere Auswertung zwischen Unfällen im Arbeitsbereich (Arbeitsunfall) und Freizeitunfällen in Bezug auf die Krankheitsdauer, ergab folgendes Resultat.



Grafik 34 – durchschnittliche Krankheitsdauer im Unterschied für Freizeit- / Hausunfälle und Arbeitsunfälle

Isoliert dorsal wurden keine Arbeitsunfälle versorgt (zu geringe Fallzahl). Sowohl bei den isoliert ventral versorgten Patienten als auch bei den kombiniert dorsoventral versorgten Patienten ist die Krankheitsdauer bei Arbeitsunfällen höher als bei Freizeitunfällen, jedoch nicht signifikant.

#### 3.3.4. Schmerzanalyse

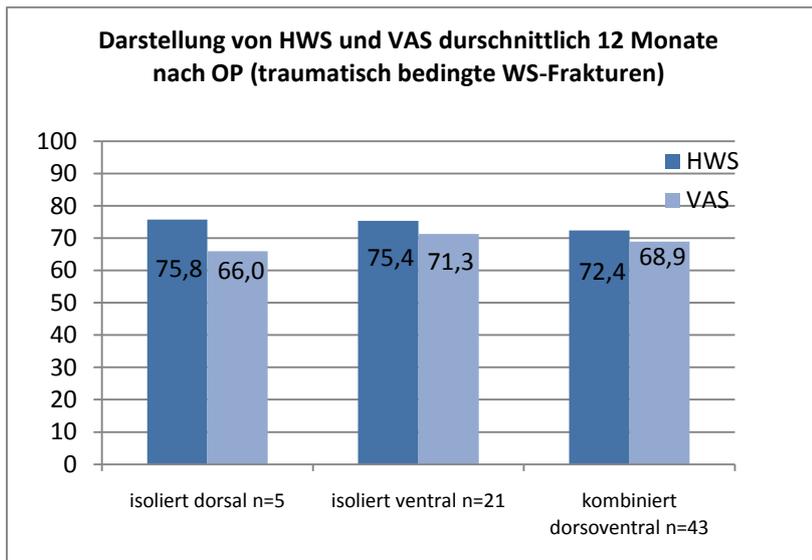
Ein schmerzfreier oder –armer Patient mit möglichst guter sozialer Reintegration ist das wichtigste kurz- und langfristige Behandlungsziel eines Wirbelsäuleneingriffs. Deshalb ist eine genaue Analyse der schmerzauslösenden Ursachen zu betreiben um dem Patienten eine möglichst schmerzfreie Behandlung auch postoperativ zu ermöglichen.

Zur Visualisierung dienen die oben beschriebenen Schmerzscores.

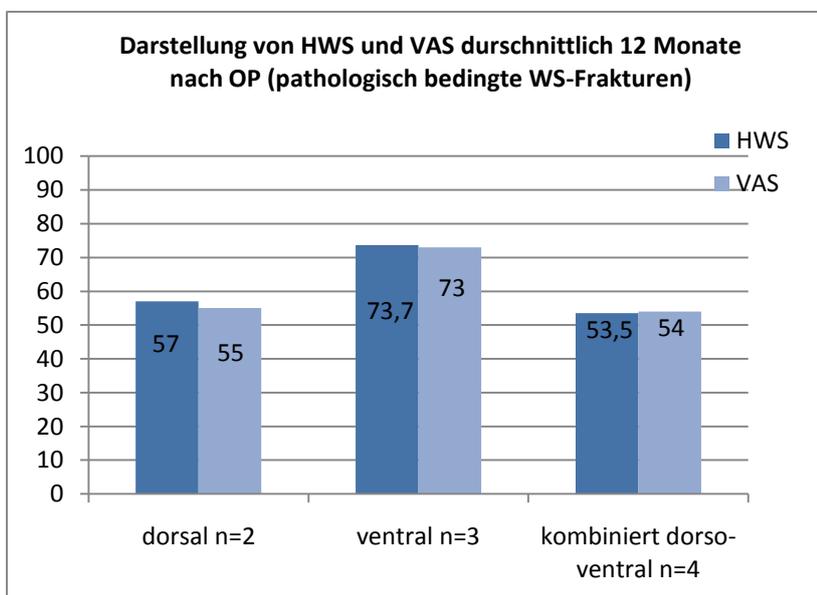
Für die traumatischen Fälle ergaben sich in Hinblick auf die Art des Eingriffs keine wesentlichen signifikanten Unterschiede. Es zeigt sich auch eine gute Korrelation zwischen der visuellen Analogskala und dem Hannover Wirbelsäulenscore (HWS).

Alle traumatischen Patienten	Durchschnitt VAS	Durchschnitt HWS
N= 69	69,4 Punkte	73,6 Punkte

Tabelle 10



Grafik 35 – durchschnittliche Werte für HWS und VAS traumatisch bedingter Wirbelsäulenfrakturen 12 Monate postoperativ

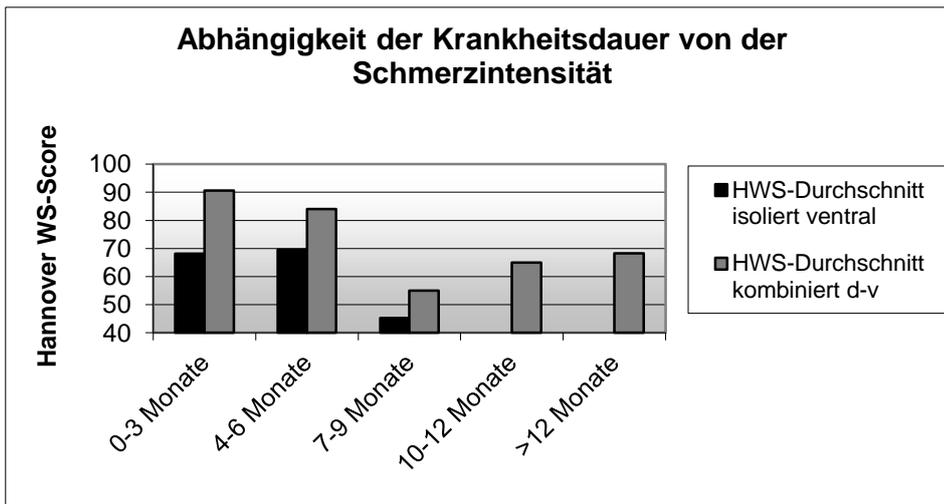


Grafik 36 – durchschnittliche Werte für HWS und VAS pathologisch bedingter Wirbelsäulenfrakturen 12 Monate postoperativ

In Hinblick auf die Angabe des Schmerzempfindens ergeben sich bezüglich des OP-Verfahrens keine Unterschiede.

Einen Zusammenhang vermutet man zwischen Schmerzintensität und der Dauer der Krankschreibung. Zur Veranschaulichung dient folgendes Diagramm.

Wegen zu geringer Fallzahlen wurde dabei auf die Auswertung bei isoliert dorsalen Eingriffen verzichtet.

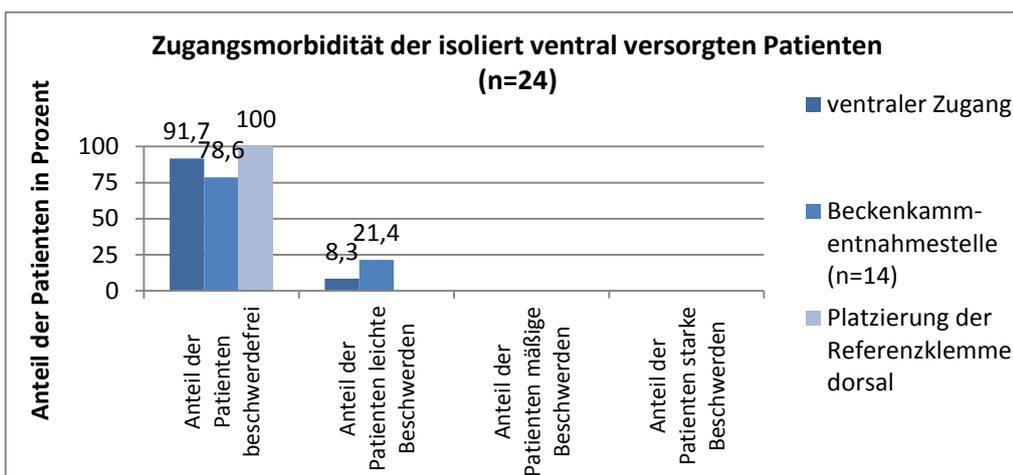


Grafik 37 – Einfluss der Schmerzintensität anhand der HWS auf die Krankheitsdauer

Es zeigt sich, dass vor allem bei kombiniert versorgten Patienten, die länger als 6 Monate krank sind (n= 14), eine starke Schmerzbelastung vorliegt (Durchschnittlicher HWS 64 Punkte).

Ein weiterer wichtiger Betrachtungspunkt ist die Morbidität an der Eingriffsstelle, die durch die Schnittführung und die postoperative Wundheilung wesentlich beeinflusst wird. Durch den minimal invasiven Zugang ist der Anteil schmerzempfindlicher Patienten an der Zugangsstelle in diesem Kollektiv an Patienten sehr klein, wie die Übersicht zeigt.

Von 7 isoliert dorsalen Patienten hat kein Patient Beeinträchtigungen an der Zugangsstelle. Bei den isoliert ventralen Patienten verhält es sich folgendermaßen:

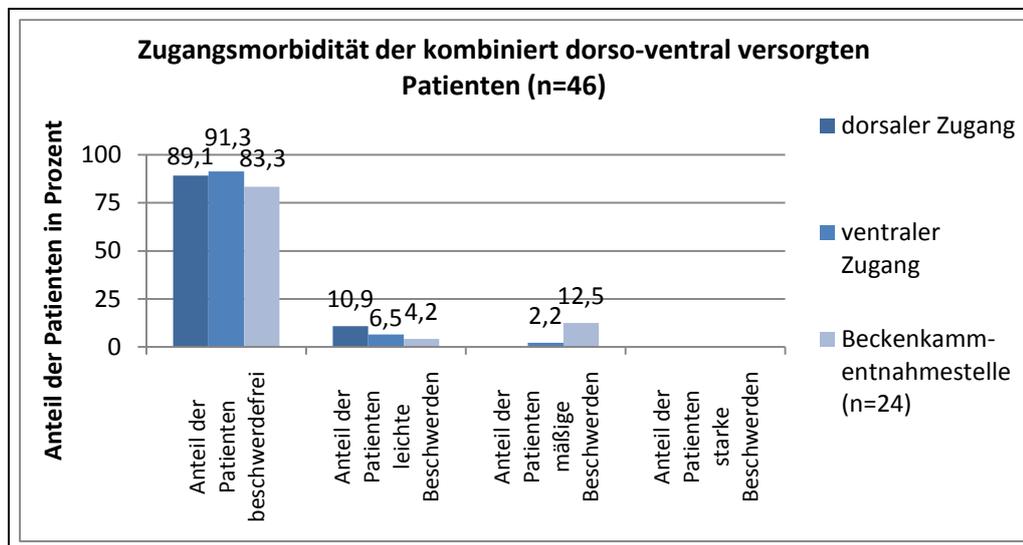


Grafik 38 – Zugangsmorbidität bei isoliert ventral versorgten Patienten

Es gilt zu beachten, dass bei den isoliert ventralen Zugängen dennoch ein kleiner Schnitt dorsal in Höhe des Proc. spinosus des zu navigierenden Wirbelkörpers notwendig ist, um die Referenzklemme anzubringen. An dieser Stelle klagte keiner der untersuchten Patienten

über Beschwerden. Im Wesentlichen klagten nur 2 von 24 Patienten (8,3 %) über leichte Beschwerden an der ventralen Zugangsstelle, aber immerhin 5 Patienten von 14 (35,7 %) über leichte Beschwerden an der Beckenentnahmestelle. Hier dominierte eindeutig eine besondere Wetterfühligkeit.

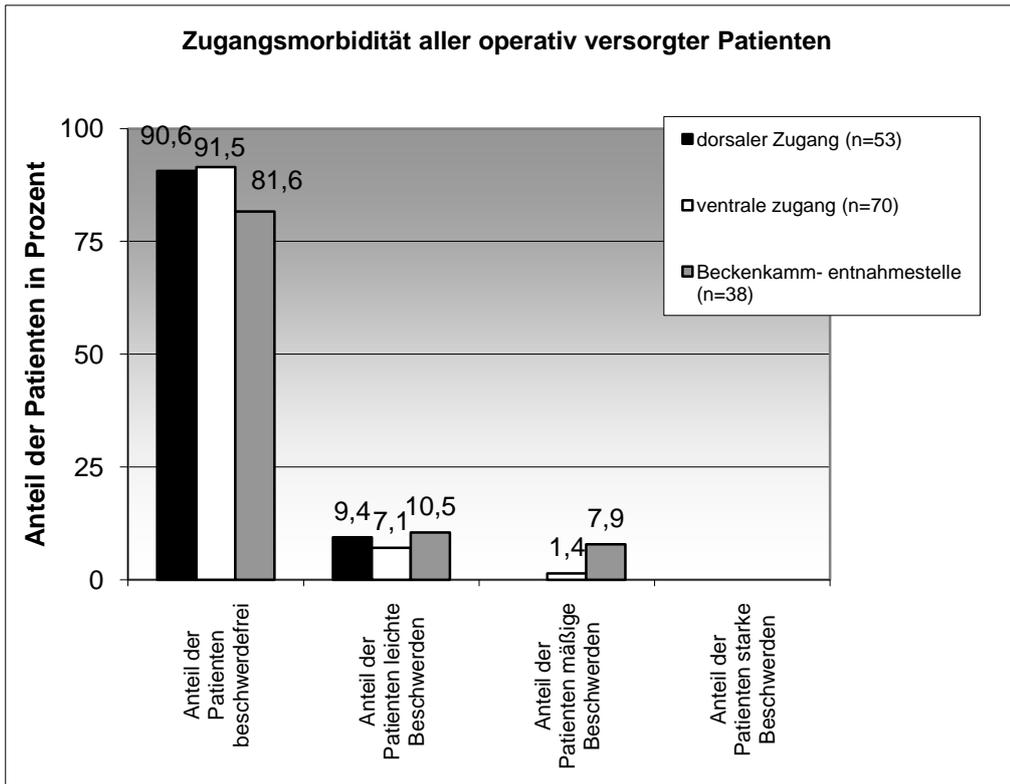
Unter den kombiniert versorgten Patienten sieht es wie folgt aus.



Grafik 39 – Zugangsmorbidität bei kombiniert dorsoventral versorgten Patienten

Auch hier ist der überwiegende Teil der Patienten in Bezug auf die Zugangsstelle beschwerdefrei. 5 von 46 Patienten (10,9 %) klagten über leichte Schmerzen an der dorsalen Zugangsstelle, 4 von 46 Patienten (8,7 %) sind an der ventralen Zugangsstelle eingeschränkt, einer davon mit mäßigen Beschwerden. 4 von 24 Patienten (16,7%) klagten über Beschwerden an der Beckenkamm-entnahmestelle. Pathologische Wirbelfrakturen wurden in die Betrachtung nicht einbezogen, da gleichzeitig vorliegende chronische Schmerzsymptome, wie Tumorschmerzen das Auswertungsergebnis verfälschen würden und das Patientenkollektiv für aussagekräftige Thesen zu klein ist.

Zusammenfassend ergibt sich folgende Grafik:

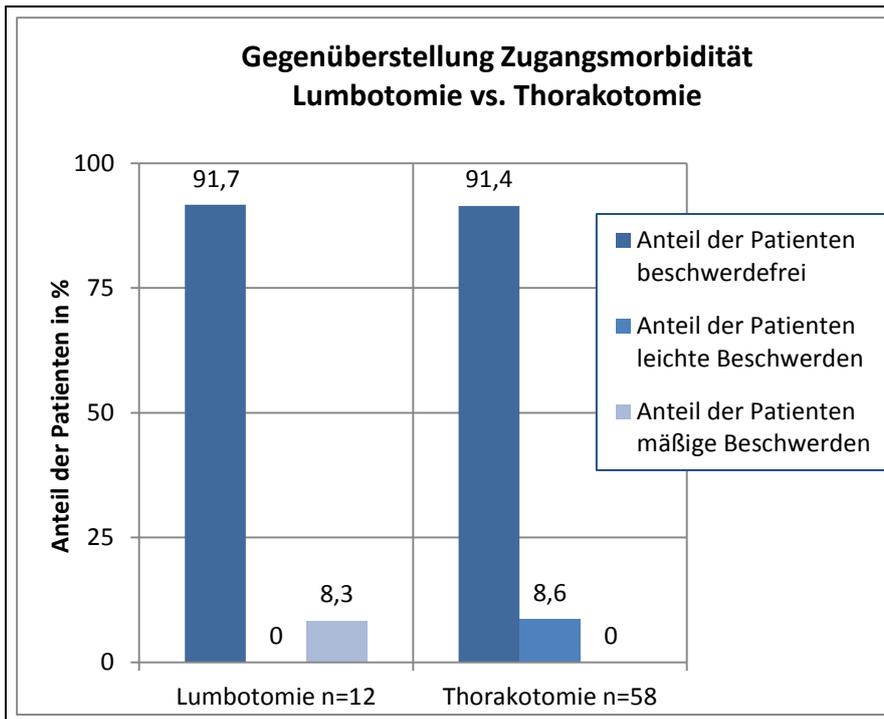


Grafik 40 – Zugangsmorbidität aller operativ versorgter Patienten mit traumatischer Wirbelsäulenfraktur (n=69)

Eine besondere Analyse findet bei der Auswertung unterschiedlicher Zugangswege bei der ventralen Versorgung der Wirbelfrakturen statt. Im Bereich der unteren Lendenwirbelsäule (ab LWK 2) ist der Zugang der Wahl nicht die bei uns sonst übliche durchgeführte thorakoskopisch assistierte Minithorakotomie sondern nur via Lumbotomie möglich. Daher ergeben sich vermutlich Unterschiede in der Zugangsmorbidität, da bei der Thorakotomie ein Zwerchfellsplit erfolgt, der bei der Lumbotomie nicht erforderlich ist. Ergänzend ist noch darauf hinzuweisen, dass auch bei der Lumbotomie ein streng retroperitoneales Vorgehen beibehalten wird.



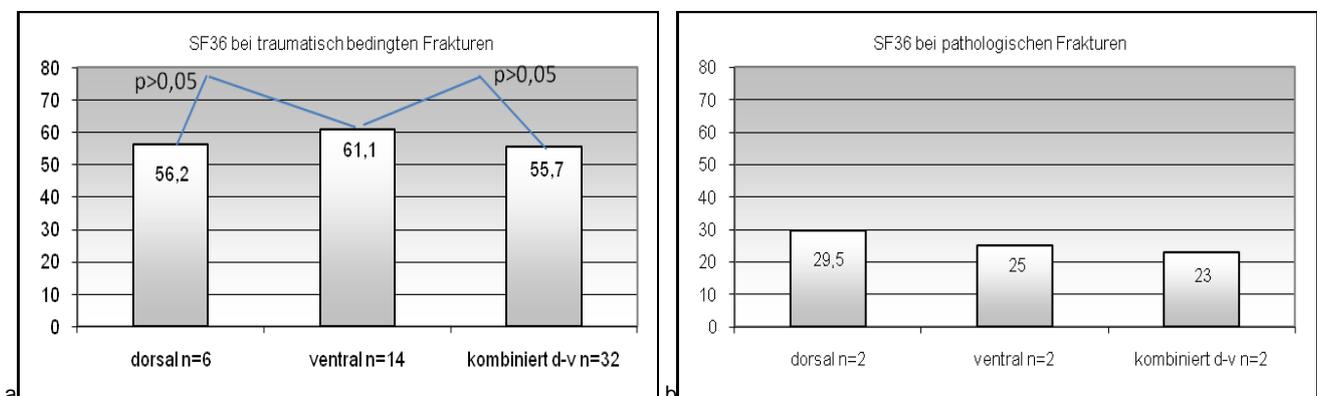
Abbildung 17 – Thorakoskopisch assistierte Minithorakotomie – links in Seitenlage, rechts in Bauchlage



Grafik 41 – Vergleich der Zugangsmorbidität Lumbotomie vs. Thorakotomie

Der Anteil beschwerdefreier Patienten ist bei beiden Verfahren gleich. Jedoch finden sich bei schmerzbelasteten Patienten, die über den Weg der Thorakotomie behandelt wurden eher leichte Beschwerden, wohingegen die beeinträchtigten Patienten mit Lumbotomiezugang stärkere Beschwerden beklagen.

Ein bei der Untersuchung wirbelsäulenoperierter Patienten erhobener Parameter ist der SF-36, ein Fragebogen zur Patientenzufriedenheit, welcher den Patienten im Durchschnitt 28 Monate postoperativ per Post zugeschickt wurde. Die Rekrutierungsrate lag dabei bei 44,9 %. Unter den traumatisch und unter den pathologisch bedingten Frakturen ergaben sich die unten stehenden Grafiken.



Grafik 42 – SF 36 bei traumatischen Wirbelsäulenfrakturen (a) und pathologischen Wirbelsäulenfrakturen (b)

Unter den traumatisch bedingten Frakturen ist die isoliert ventral versorgte Patientengruppe nicht signifikant im Vergleich zu den isoliert dorsal bzw. kombiniert versorgten

Patientengruppen am zufriedensten. Bei den pathologischen Wirbelsäulenfrakturen sind die isoliert dorsal versorgten Patienten am zufriedensten. Hier konnte jedoch keine Signifikanz bewiesen werden.

### 3.4. Radiologische Auswertung der Operationsergebnisse

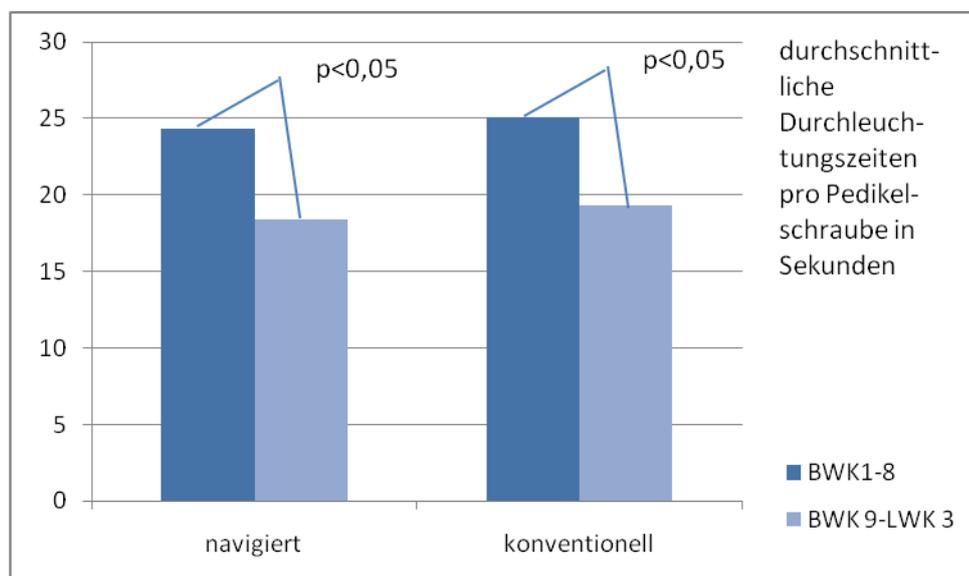
#### 3.4.1. intraoperative Strahlenbelastung

Es ergibt sich für die isoliert dorsalen Navigationen eine Durchleuchtungszeit von durchschnittlich 174,5 Sekunden (SD 90,93 Sekunden), für die isoliert ventralen 127,5 Sekunden (SD 15,04), für die zweizeitig dorsoventralen 114,8 Sekunden (SD 52,4), wobei hier nur die ventrale Versorgung zur Auswertung herangezogen wurde, da die dorsale Versorgung unter konventionellen Bedingungen stattfand, und für die einzeitig dorsoventral versorgten 236,5 Sekunden (SD 79,9). Bei den zuletzt genannten wurde auch die dorsale Versorgung navigiert durchgeführt.

Bezogen auf die Pedikelschrauben, ergibt sich bei der dorsalen Versorgung eine Durchleuchtungszeit von durchschnittlich 21,8 Sekunden (SD 13,12 Sekunden) pro Schraube.

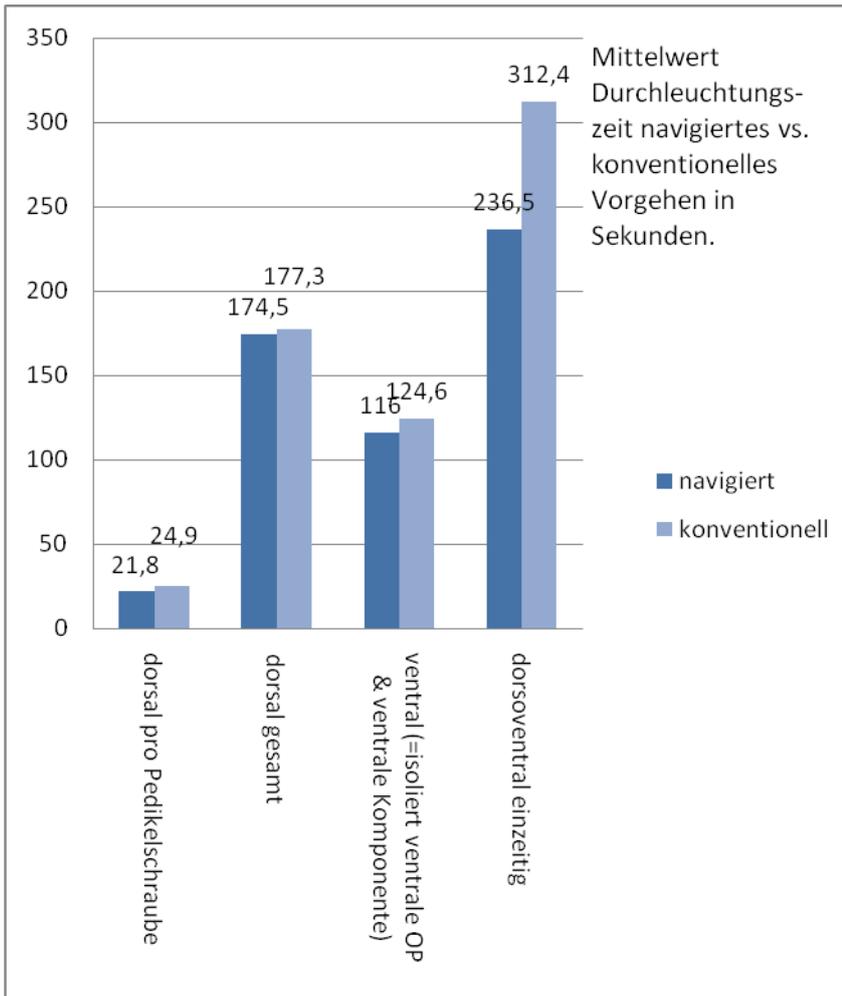
Für die Insertion von Pedikelschrauben im Bereich der oberen/mittleren BWS (BWK 1-8) benötigt man eine signifikant größere Durchleuchtungszeit als im Bereich des Abschnittes BWK 9-LWK 2. Ursache ist die im Bereich der BWS auftretende geringere Pedikelweite.

Die Durchleuchtungszeiten für die Eingriffe mit Hilfe der Navigation sind nur tendenziell geringer, nicht signifikant. Ursache ist die intraoperative Kontrolle des Matchings und des Schraubenverlaufes mit Hilfe des Bildwandlers. Der größte Unterschied war bei einzeitig dorsoventralen Eingriffen feststellbar.

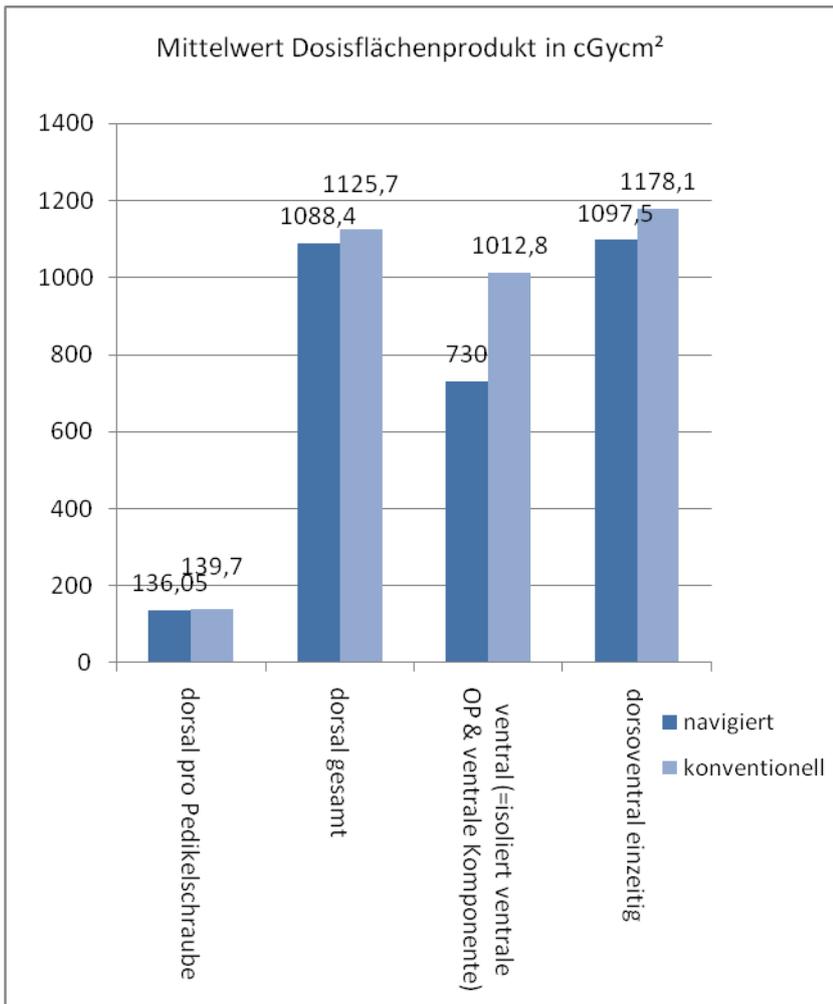


Grafik 43 – Durchleuchtungszeiten bei navigiert vs. nicht navigiert operierten Patienten

Zur Analyse der Strahlendosis wurde das Dosisflächenprodukt in cGycm<sup>2</sup> berechnet. Im Mittel zeigten die dorsalen navigierten Operationen ein Dosisflächenprodukt von 1088,4 cGycm<sup>2</sup> (=767,8 cGycm<sup>2</sup> pro Pedikelschraube), bei der ventralen Versorgung (hier die isoliert ventralen Operationen mit der ventralen Komponente der zweizeitig dorsoventralen Stabilisierung zusammengefasst) 730,6 (SD 448,9) cGycm<sup>2</sup>. Für die einzzeitig dorsoventrale Versorgung ergab sich ein Wert von 1097,5 cGycm<sup>2</sup>.



Grafik 44 – Durchleuchtungszeiten bei navigiertem und konventionellem Vorgehen



Grafik 45 – Dosisflächenprodukt bei navigiertem und konventionellem Vorgehen

Eine Signifikanz der Daten bezüglich des Dosisflächenproduktes im Vergleich der konventionell operierten Patienten mit navigiert operierten Patienten konnte nicht nachgewiesen werden, dennoch ist ein Trend erkennbar, sodass die Patienten mit navigierter Versorgung von dem Einsatz des Navigationssystems profitieren.

### 3.4.3. Radiologische Messungen zum Kyphosierungsverhalten

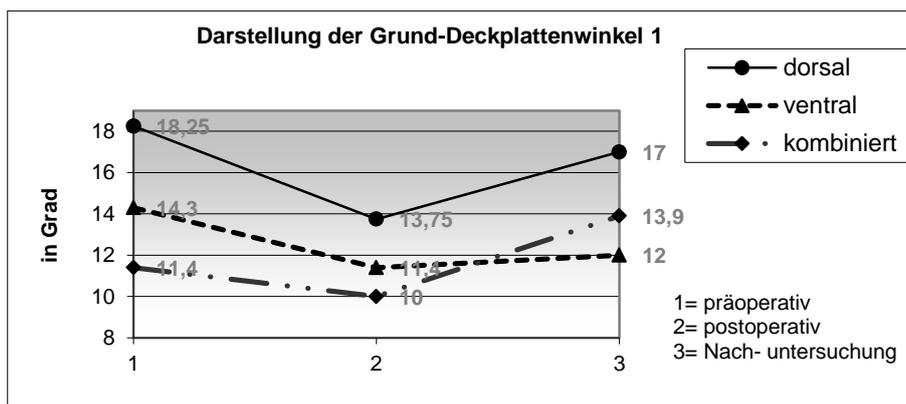
Zur Übersicht wurde das Kyphosierungsverhalten aller Wirbelfrakturen im Bereich BWK 11 bis LWK 2 (n=77, davon 5 isoliert dorsal, 23 isoliert ventral, 49 Fälle kombiniert dorsoventral) grafisch dargestellt. Wegen nur vorliegender Einzelfälle wurde auf die Darstellung der Frakturen außerhalb des Bereiches BWK11-LWK 2 verzichtet. Ebenso wurden pathologische Frakturen nicht in die Untersuchung einbezogen.

Wie aus den vorliegenden Abbildungen hervorgeht, konnte bezüglich der Grund-Deckplatten-Winkel 1 und 2 unmittelbar postoperativ eine Besserung der Trauma bedingten Kyphosierung des frakturierten Wirbels um durchschnittlich 2 Grad erreicht werden.

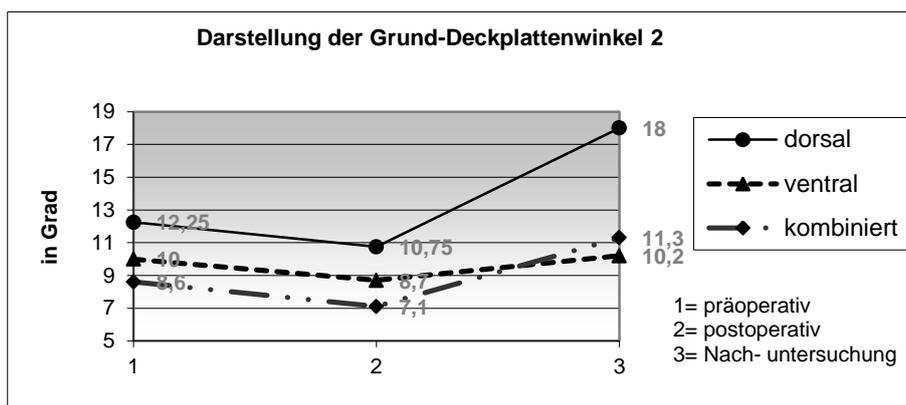
Bei den mit Cage versorgten Patienten wurde postoperativ nur der bisegmentale Grunddeckplattenwinkel 2 ermittelt, da das Knochenmaterial der betroffenen Wirbelkörper entfernt wurde.

Nach operativer Versorgung wurde im Verlauf bei einigen Patienten ein nochmaliger geringer Kyphosierungsprozess beobachtet.

Bis auf einen Fall wurden postoperativ bei den isoliert dorsal versorgten Patienten (einer 82 jährigen mit Osteoporose vorbelasteten Patientin) keine schlechteren Werte als präoperativ ermittelt. Bei den isoliert ventralen Patienten wurde kein einziger Fall einer Verschlechterung im Vergleich zum präoperativen Befund erhoben. Jedoch waren es unter den kombiniert versorgten Patienten 10 Fälle, bei denen nach 12 Monaten eine Verschlechterung des Kyphosierungsverhaltens im Vergleich der präoperativen Messwerte mit denen der Nachuntersuchung auffiel. Anzunehmen ist jedoch, dass ohne durchgeführte Operation deutlich schlechtere Messergebnisse vorfindbar gewesen wären.



a)



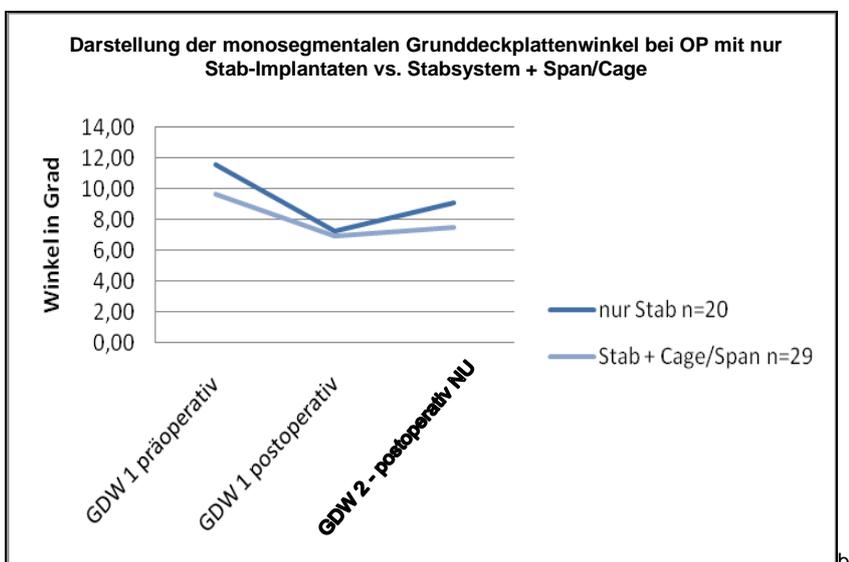
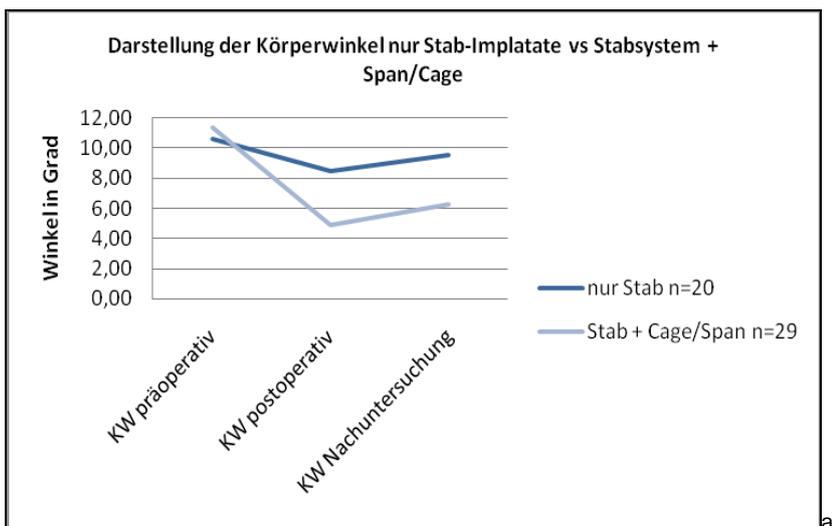
b)

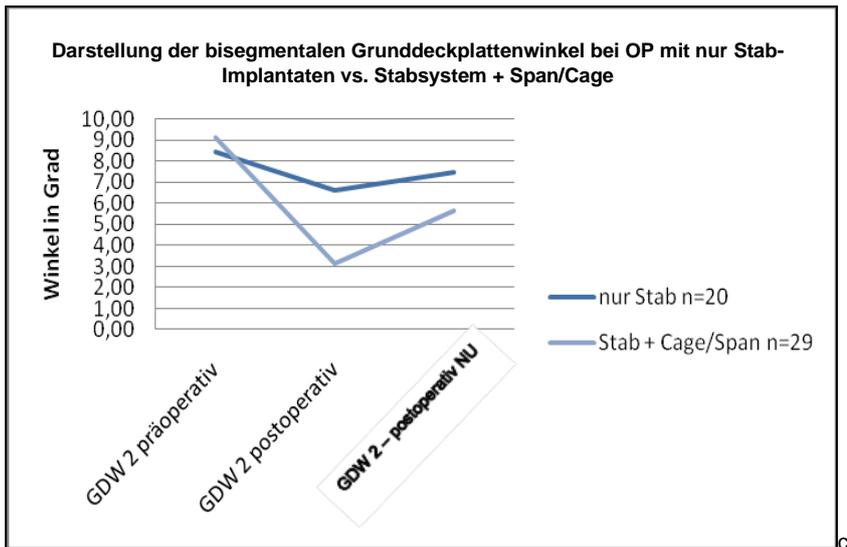
Grafik 46 – Darstellung der Grund-Deckplattenwinkel 1 (a) und 2 (b) im betrachteten Patientengut im Verlauf prä- und postoperativ

Bei den kombiniert dorsoventral versorgten Patienten wurden die einzelnen Winkelmessungen getrennt für die Patienten vorgenommen, die ventral lediglich mit Stabinstrumentierung behandelt wurden gegenüber von Patienten die mittels Stabsystem

und zusätzlichem Cage oder Wirbelkörperersatz durch Beckenspan oder nur einen Cage als Wirbelkörperersatz ohne Stabinstrumentierung versorgt wurden.

Dabei zeigt sich dass die alleinige Versorgung mittels Stabsystem offensichtlich nicht stabil genug ist um dauerhaft eine Verbesserung der Trauma bedingten Fehlstellung zur erzielen. Postoperativ ist bei allen Patienten eine Verbesserung sichtbar. In der Nachuntersuchung 12 Monate postoperativ ist das Re-Kyphosierungsverhalten der Frakturen die ventral nur mittels Stabinstrumentierung versorgt wurden, größer als bei zusätzlicher Kombination mit Wirbelkörperersatz.





Grafik 47 – Körperwinkel (a), mono – (b, GDW 1)) und bisegmentaler (c, GDW 2) Grund-Deckplattenwinkel im Verlauf bei Patienten mit reiner Stabinstrumentierung im Vergleich zu Patienten mit Kombination aus Stabsystem und entweder Cage oder Beckenkammspan jeweils im Verlauf präoperativ, postoperativ und in der Nachuntersuchung 12 Monate postoperativ.

### 3.5. Darstellung von drei klinischen Fallbeispielen

Zur Veranschaulichung der modernen, aber komplexen Versorgungsmöglichkeiten bei Frakturen an der thorakolumbalen Wirbelsäule sollen hier zwei Fallbeispiele dargestellt werden. Gerade bei Mehrfachverletzungen, die bei Unfällen gehäuft vorkommen, steht nach Erstuntersuchung die Versorgung der bedrohlichsten Verletzungen im Vordergrund. Nach stattgehabter Versorgung sollte in jeder klinischen Einrichtung eine adäquate Nachsorge sichergestellt sein, um Komplikationen frühzeitig zu erkennen und Interventionen einzuleiten.

#### 3.5.1. Fall 1 – kombiniert dorsoventrales Vorgehen (bisegmental)

Es handelt sich um einen 58 jährigen männlichen Patienten, der im Rahmen eines epileptischen Anfalls am 30.04.04 einen Sturz mit daraus resultierender LWK-3-Fraktur (A3.3) erlitt. Zusätzlich bestand eine Kopfplatzwunde mit erstgradigem Schädelhirntrauma. Nach initialer Wundversorgung, neurologischer Abklärung und allgemeiner Stabilisierung des Patienten, wurde am 06.05.2004, 6 Tage nach dem Sturzereignis, zunächst eine konventionelle (nicht-navigierte) dorsale osteosynthetische Versorgung mittels Fixateur interne bisegmental von LWK 2-4 vorgenommen. Nach komplikationsloser Wundheilung konnte der Patient am 16.05.2004 entlassen werden. Zur geplanten ventralen Stabilisierung kam es am 14.06.2004 erneut zur stationären Aufnahme. Nach Durchführung einer Wirbelsäulen-CT-Untersuchung wurde der Patient am 16.06.2004 ventral komplettiert. Hierbei erfolgte via Lumbotomiezugang unter Synframe-Anwendung die bisegmentale Spondylodese mittels navigationsgestützter Cageimplantation (LWK2-LWK4). Einen Tag postoperativ war die volle Mobilisation möglich. Die Entlassung des Patienten erfolgte am

23.06.2004 nach komplikationsloser Wundheilung ins häusliche Milieu. Zu keiner Zeit traten neurologische Auffälligkeiten auf. Die stationäre Aufenthaltsdauer beläuft sich auf insgesamt 25 Tage. Die postoperative Verlaufskontrolle wies ein gutes Behandlungsergebnis auf. Nach Abschluss einer 4-wöchigen Anschlussheilbehandlung war bereits eine mäßig eingeschränkte Freizeitaktivität möglich.

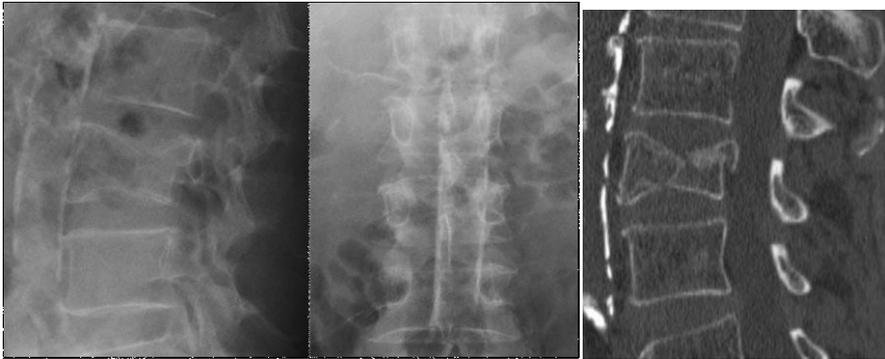


Abbildung 18 a – präoperativ

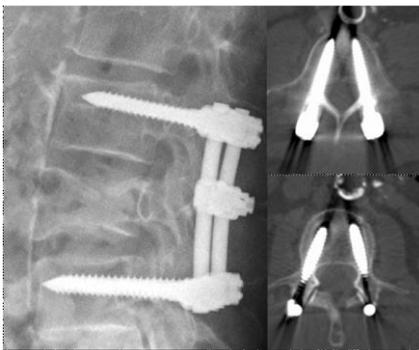


Abbildung 18 b – nach dorsaler Osteosynthese

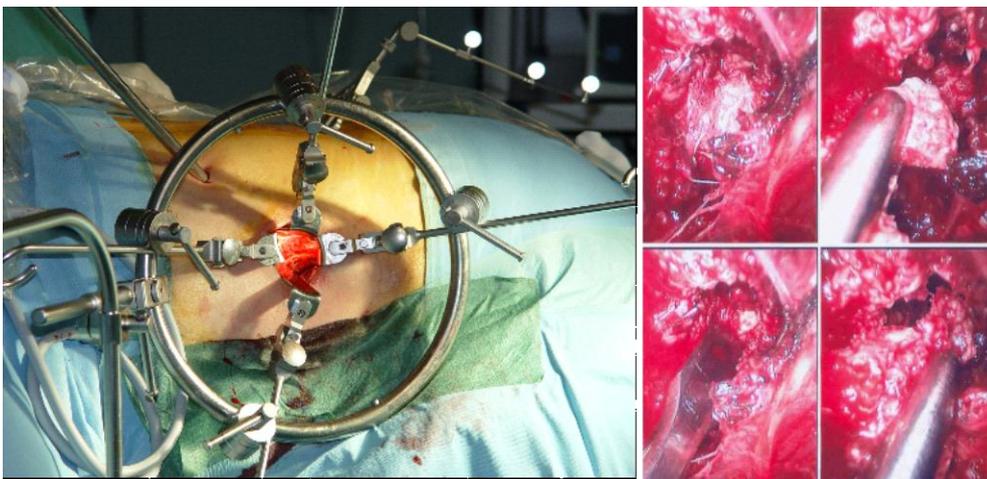


Abbildung 18 c – direkte Visualisierung mit Synframe, indirekte Visualisierung über Endoskop (Corporektomie)

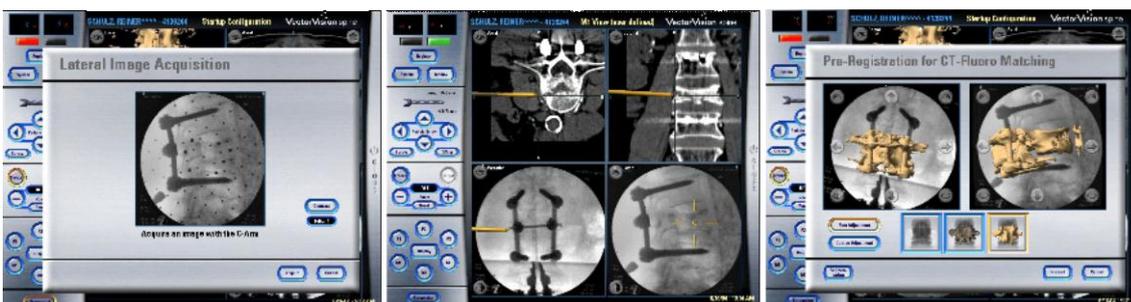


Abbildung 18d – Screenshots der Navigationssoftware (Matching)

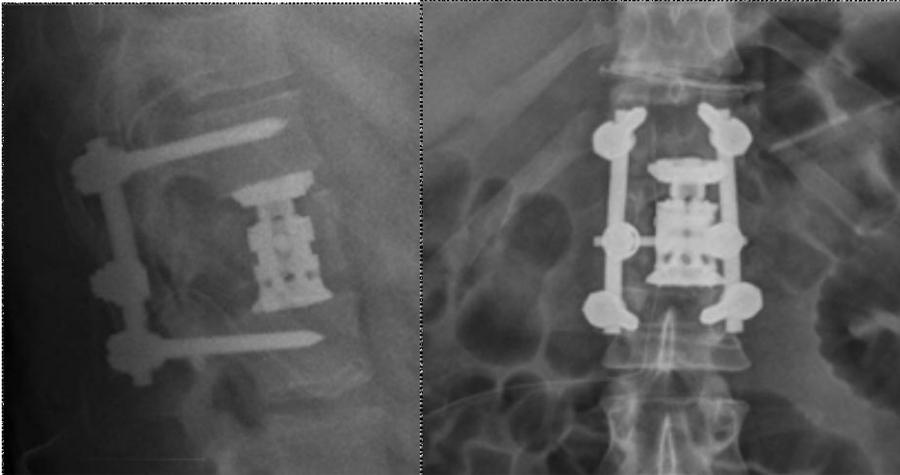


Abbildung 18e – postoperative Abschlussaufnahme

### 3.5.2. Fall 2 – dorsal bisegmental/ ventral monosegmentale Versorgung

Eine 20 jährige Patientin zog sich bei einem Sturz vom Pferd eine A 3.1-Fraktur des 1. LKW zu. Weitere Verletzungen wurden ausgeschlossen. Die Patientin wurde in einem externen Krankenhaus mit dorsaler bisegmentaler Instrumentierung versorgt. Anschließend erfolgte die Verlegung in die universitäre Einrichtung zur weiteren Therapie. Dabei wurde nach Anfertigung einer aktuellen CT die Indikation zur zusätzlichen ventralen Stabilisierung gestellt. Die Patientin wurde mittels Einstabinstrumentierung und Spanimplantation (Beckenkammknochen) monosegmental versorgt. Postoperativ war die Patientin rasch beschwerdefrei und wurde zügig mobilisiert. Eine Entlassung war 6 Tage nach dem ventralen Eingriff möglich. Weitere Komplikationen traten während des stationären Aufenthaltes nicht auf. In der weiteren Nachuntersuchung (nach 3, 6 und 12 Monaten) fiel in den angefertigten Kontrollaufnahmen eine verzögerte Konsolidierung des implantierten Beckenkammspans auf. Aufgrund der weitestgehenden Beschwerdefreiheit der Patientin und fehlenden neurologischen Einschränkungen wurde ein weiteres konservatives Vorgehen festgelegt. Nach 9 Monaten wurde der dorsale Fixateur interne entfernt.



Abbildung 19a – präoperativ

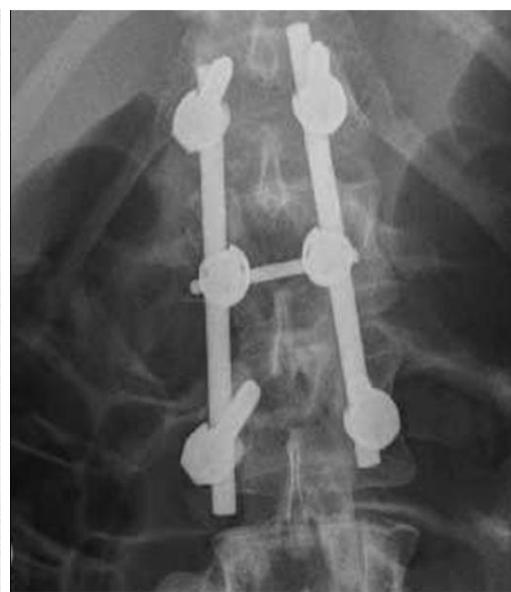
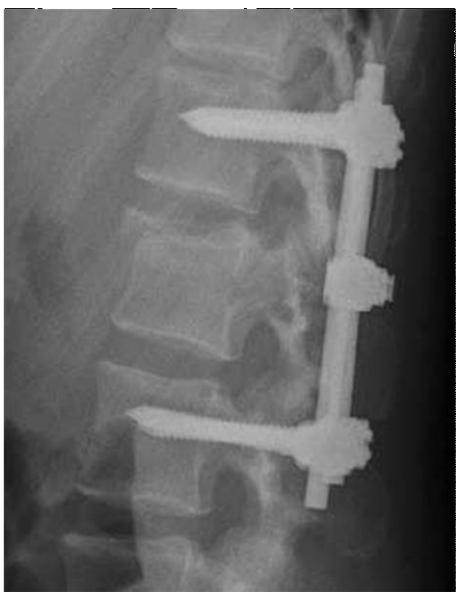


Abbildung 19 b - nach dorsaler OP



Abbildung 19 c – CT-Fluoro Matching (links) und navigationsgestützte Platzierung der ventralen Schrauben (rechts)

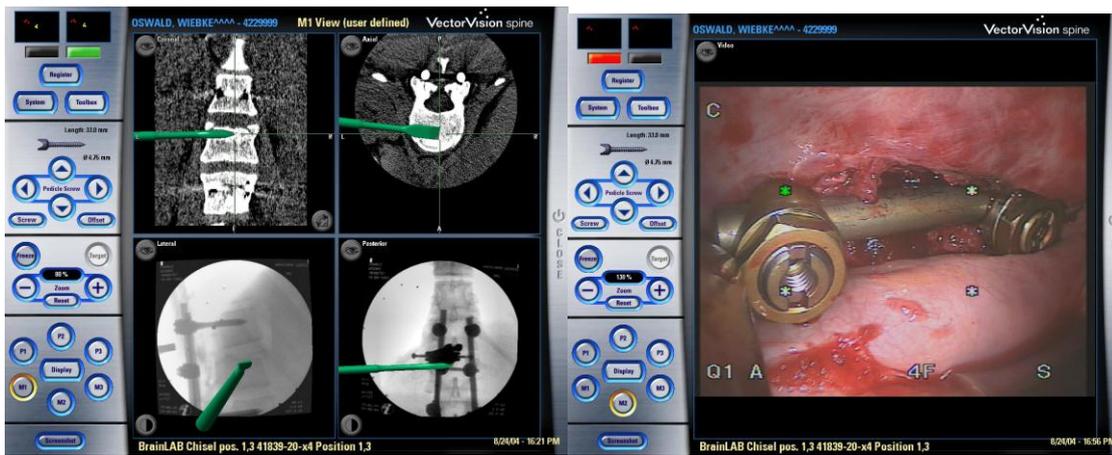


Abbildung 19 d – Corporektomie mit Meißel (links) und thoroskopischer Situs nach ventraler Spondylodese (links)

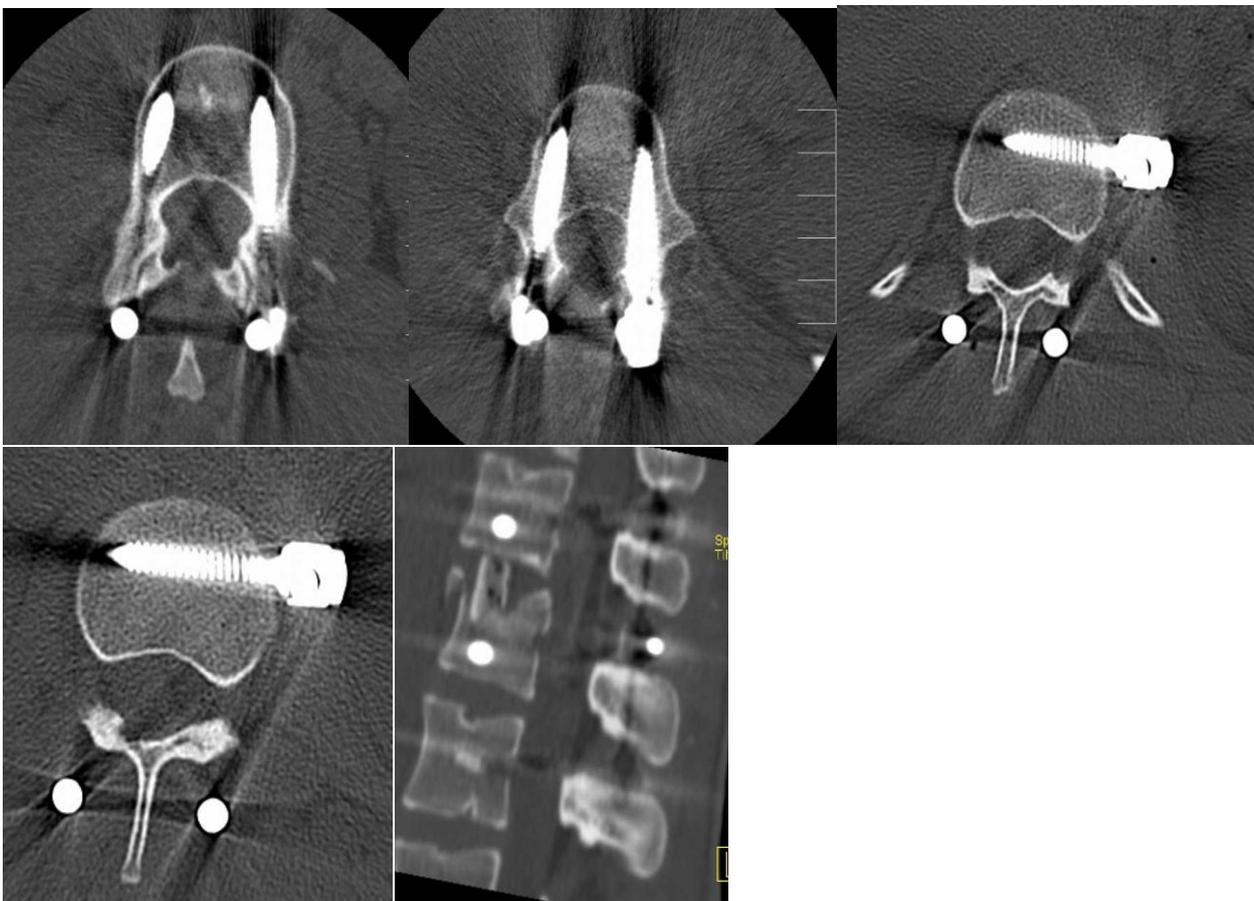


Abbildung 19 e - nach dorsaler und ventraler OP



Abbildung 19 f – nach 6 Monaten

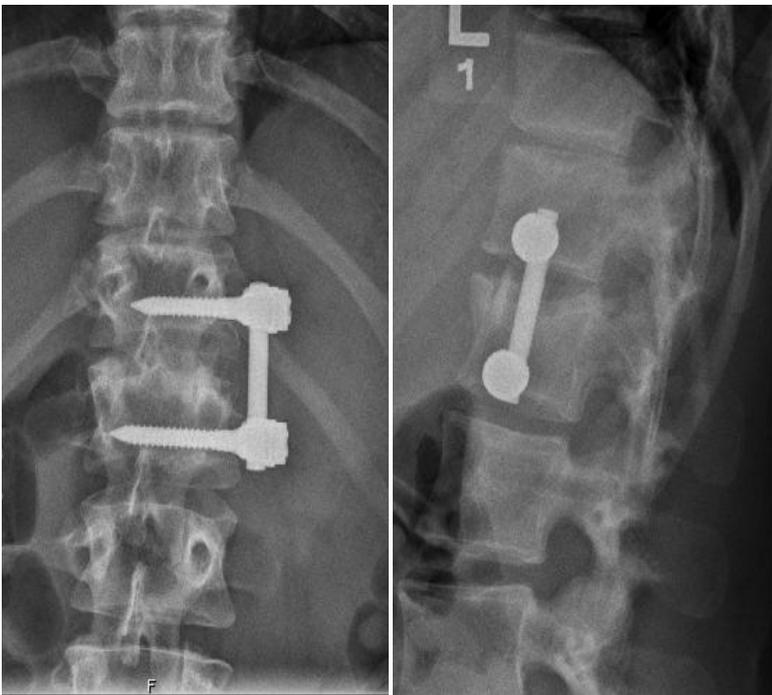


Abbildung 19 g – nach 1 Jahr

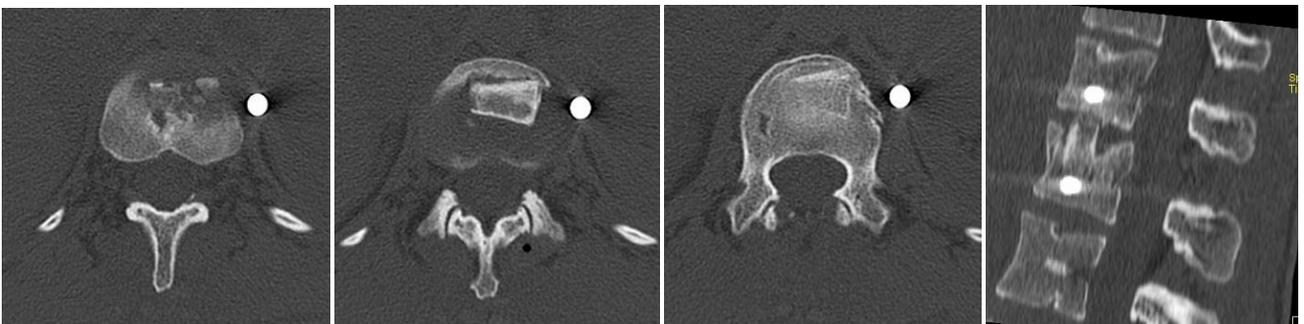


Abbildung 19 h – CT-Aufnahmen ein Jahr nach OP

### 3.5.3. Fall 3 – navigationsgestützte operative Versorgung bei Spondylodiszitis

Es handelt sich um einen 75-jährigen Patienten, der seit 2 Wochen über starke zunehmende Rückenschmerzen im thorakolumbalen Übergang klagte, seit kurzem auch auftretende Sensibilitätsausfälle im Bereich L1. In der durchgeführten Bilddiagnostik zeigten sich degenerativ veränderte Brust- und Lendenwirbelsäulenabschnitte und bereits in der konventionellen Röntgenaufnahme Hinweise für eine vorliegende Spondylodiszitis. Passend dazu zeigten sich laborchemisch nachweisbar erhöhte Entzündungszeichen und klinisch subfebrile Temperaturen. In der weiterführenden CT-Untersuchung bestätigte sich der Verdacht einer Spondylodiszitis im Bereich Th12/L1. Eine antibiotische Behandlung wurde bereits eingeleitet, gleichzeitig besteht wegen der bereits eintretenden Sensibilitätsstörung eine OP-Indikation. Diese wurde nach präoperativer Konditionierung und Aufklärung zeitnah durchgeführt. Zur Anwendung kam eine einzeitig dorsoventrale bisegmentale Stabilisierung mittels dorsalem Fixateur intern und ventralem Cage als Wirbelkörperersatz.

Die Analgetika- und Antibiotikatherapie wurde postoperativ fortgeführt, mit Hilfe physiotherapeutischer Maßnahmen konnte bereits ab dem 2. postoperativen Tag eine Mobilisierung des Patienten begonnen werden. Nach 3-wöchigem Krankenhausaufenthalt (protrahierter Rückgang der Entzündungszeichen) war die Entlassung des Patienten in die Häuslichkeit möglich.



Abbildung 20 a – präoperative konventionelle und CT-Aufnahmen zur Diagnosesicherung

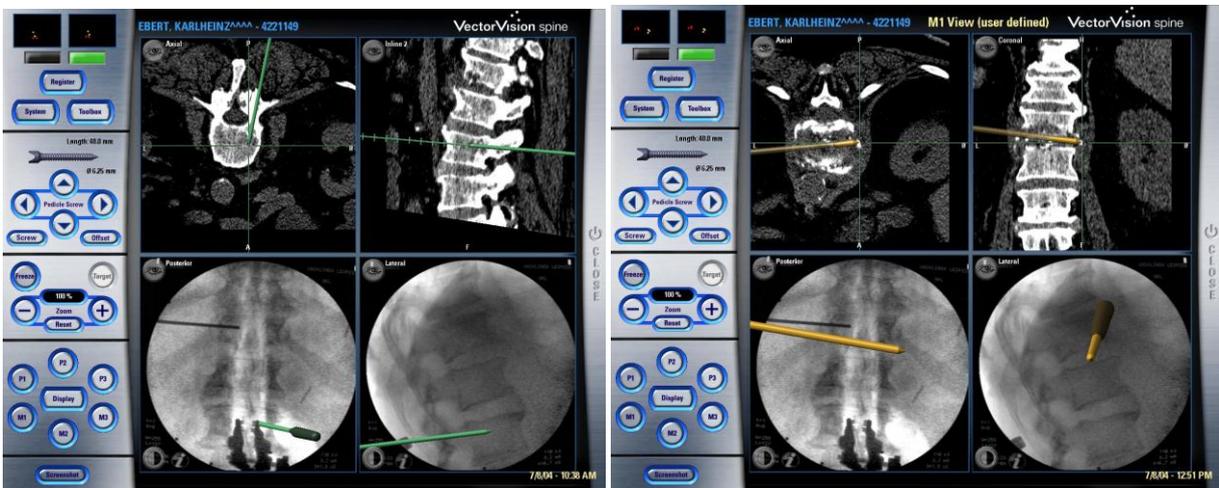


Abbildung 20 b – Screenshots der dorsalen Stabilisierung (links) und ventralen Korporektomie (rechts) mittels Navigationstechnik

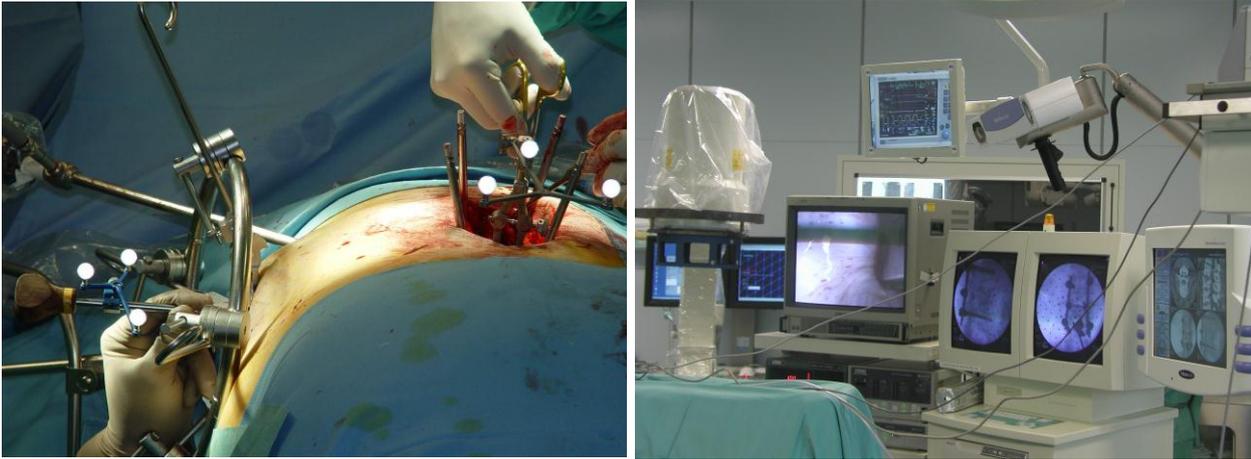


Abbildung 20 c – einzeitig operative Versorgung der komplexen Erkrankung, Patient in Bauchlage, ventraler Zugang mittels Minithorakotomie

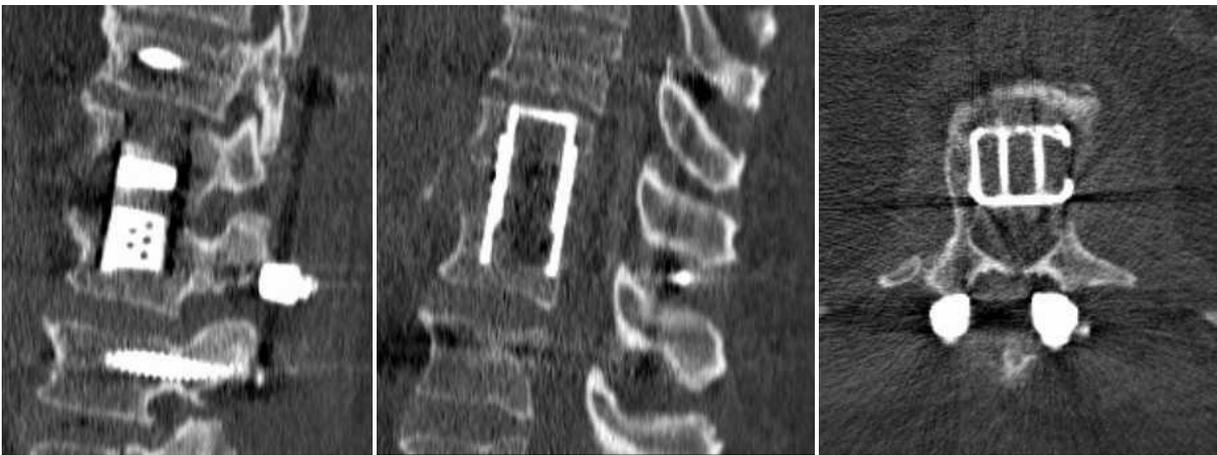


Abbildung 20 d – postoperativer Zustand (CT)

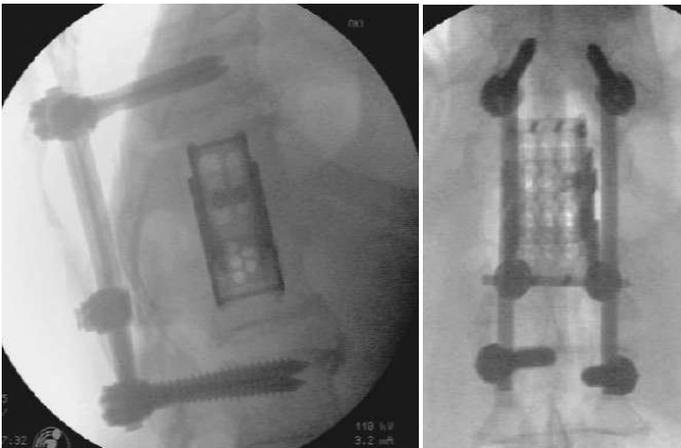


Abbildung 20 e - postoperativer Zustand (konventionell)

#### 4. Diskussionsteil

In Deutschland ist pro Jahr mit durchschnittlich 10.000 schwerwiegenden Wirbelsäulenverletzungen zu rechnen (Bühren 2003). Der Stellenwert der operativen Behandlung von Wirbelsäulenfrakturen in Deutschland hat in den letzten Jahren sprunghaft an Bedeutung gewonnen. Zunehmend gewinnt auch die Anwendung von Navigationssystemen bei der Behandlung von Wirbelkörperbrüchen an Bedeutung. Es gilt nachzuweisen, dass durch die Anwendung der modernen Technologien der Anteil intra- und postoperativer Komplikationen reduziert werden kann.

##### 4.1. Epidemiologische Daten

Im untersuchten Patientengut ergab sich ein deutlich dominierender Anteil männlicher Patienten (2/3 männlich vs. 1/3 weiblich). Diese Beobachtung deckt sich mit weiteren publizierten Untersuchungen, da das männliche Geschlecht aktuell beruflich in mehr risikobehafteten Tätigkeiten angestellt ist (Blauth et al. 1998, Bühren 2003). Eine Analyse der Geschlechtsverteilung im Alter ab 66 Jahren zeigt eine Umkehr zu Ungunsten des weiblichen Geschlechts. Ab dem höheren Alter überwiegen osteopenisch und osteoporotisch veränderte Knochenstrukturen. Frauen sind davon häufiger betroffen und tragen damit ein erhöhtes Risiko schon bei banalen Stürzen, Frakturen zu erleiden. Darüber hinaus ist die Gefahr lokomotorischer Stürze bei älteren Patienten höher (Blauth et al. 2000, Leischker 2007).

Die Verteilung der Höhenlokalisierung der Frakturen an der thorakolumbalen Wirbelsäule entspricht ebenfalls den in der Literatur auffindbaren Angaben: 86,4 % aller Frakturen fanden sich im Bereich BWK 11 bis LWK 2, was den Übergang der Brustkyphose in eine Lendenlordose sowie den Übergang der fixierten Brustwirbelsäule in die frei stehende Lendenwirbelsäule mit einer erhöhten Vulnerabilität behaftet lässt. Die häufigsten Frakturen betreffen den 1. Lendenwirbelkörper (48,1 %) (Bühren 2003, Knop et al. 1999).

Als Ursachen von Wirbelsäulenfrakturen zeigten sich in unserem Patientenkollektiv mit einem Anteil von 43 % Stürze aus der Höhe aus, gefolgt von banalen Stürzen (21,6 %) und Frakturen infolge von Verkehrsunfällen (15,5 %). Bühren (2003) und Gertzbein (1992) fanden in Verkehrsunfällen die häufigste Ursache traumatischer Wirbelsäulenfrakturen. Andere Autoren bestätigen ebenfalls diese Beobachtungen, in denen ein Sturz aus der Höhe meistvorkommend ist. (Magerl 1994, Hu 1996, Knop 1999). Hier ist das Patientengut ausschlaggebend. Die Behandlung von pathologischen Frakturen machte 13,4 % der Patienten aus (metastatische Frakturen (7,2%), Spondylodiszitiden (6,2%))

## 4.2. Perioperative Daten

### 4.2.1. Klassifikation von Wirbelsäulenfrakturen

Die Einteilung der Wirbelsäulenfrakturen wird deutschlandweit entsprechend den Empfehlungen von Magerl et al. (1994) vorgenommen. Dabei ist es gelungen, eine Übersicht über die vielfältigen Verletzungsmechanismen und ihren typischen Verletzungsfolgen zu erstellen. Im klinischen Alltag ist diese Methode weit verbreitet. Eine Differenzierung zwischen stabiler und instabiler Fraktur ist umgesetzt.

Ein einheitlicher Behandlungsalgorithmus - aufbauend auf der Klassifikation der Wirbelsäulenverletzungen - war lange Zeit nicht einheitlich durchsetzbar, heute ist zumindest bei Frakturen mit instabiler und dislozierter Hinterkante sowie B- und C-Frakturen eine operative Behandlung in unserer Region akzeptiert. Auf Uneinigkeit stoßen die Behandlungsansätze bei instabilen Frakturen nach bereits erfolgter dorsaler Stabilisation mit der Frage der weiteren ventralen Versorgung. Gänzlich ausgelassen fließen Begleitverletzungen (z.B. bei Polytraumen, Berstungsfrakturen mit Verletzungen von Lunge, Zwerchfell oder Strukturen des Zentralen Nervensystems) nicht in die Klassifikation ein. Auch der Einfluss des Lebensalters bleibt ungeachtet. Hier sollte in den nächsten Jahren eine Einigung erzielbar sein.

### 4.2.2. Schwere der Verletzung und Prognoseabschätzung

Scoresysteme stellen ein wichtiges Tool zur Prognoseabschätzung der vorliegenden Erkrankungen dar. Sie stellen weiterhin eine anerkannte Entscheidungshilfe dar. So konnte anhand der vorliegenden Daten gezeigt werden, dass sich eine komplexere Verletzung, z.B. im Sinne eines Polytraumas verlängernd auf Krankenhausaufenthalt, Krankheitsverlauf und Rehabilitationspotential auswirkt (ähnlich Matthes 2005).

### 4.2.3. OP-Dauer

Die OP-Dauer stellt einen wichtigen Faktor bei dem postoperativen Outcome des Patienten dar. Je länger Patienten maschinengestützt beatmet werden und je länger die Anästhesiedauer beträgt, desto mehr Komplikationen treten auf. In der eigenen Darstellung zur OP-Dauer wurde eine konstante OP-Dauer trotz neu gewonnener Kenntnisse eingehalten, da regelmäßig neue Operateure an die anspruchsvolle OP-Technik herangeführt werden. Schlenzka (2000) gibt eine durchschnittliche Operationszeit für eine dorsale navigationsgestützte Versorgung von 184 Minuten an. Diese Berechnung deckt sich in etwa mit den Zahlen dieser Arbeit (152 Minuten für die dorsale Versorgung). In der

Multicenterstudie II (MCS II) der Arbeitsgemeinschaft Wirbelsäule der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (Reinhold et al. 2009) wurden für die dorsale OP (gemischtes Kollektiv navigierter und nichtnavigierter OP's) durchschnittlich 139 bis 179 min benötigt. Am kürzesten war die OP-Dauer bei Frakturen im Bereich des thorakolumbalen Überganges. Aufgrund der notwendigen Thorakotomie ist hier auch bei Frakturen des thorakolumbalen Überganges die OP-Zeit mit 213 Minuten verhältnismäßig lang. Bei ventralen OP's wurden in der gleichen Arbeit 125 (LWS) bis 214 Minuten (BWS und Thorakolumbalen Übergang) angegeben. Bei einzeitig kombinierten OP's betrug die OP-Dauer 286 bis 350 min. Bei kombinierten Eingriffen wurden in der hier vorliegenden Arbeit 227-287 Minuten OP-Dauer ermittelt. Für ventrale Eingriffe wurden 210 Minuten berechnet.

Ansporn soll es sein, in Zukunft eine weitere Optimierung der OP-Techniken zu entwickeln, die für Operateure und Patienten weniger Aufwand und Zeitersparnis bedeuten. So wäre eine Reduktion perioperativer Komplikationen denkbar.

Besonders wichtig ist die ständige Weitergabe der Kenntnisse über die Anwendung der neuen Technik an jüngere Kollegen, um den hohen Qualitätsanspruch aufrecht zu erhalten. Im Resultat müssen wichtige Operationen von schwerstverletzten Patienten nicht verschoben werden, sondern können zum Wohle des Patienten zeitnah durchgeführt werden. Des Weiteren bleibt die vorgegebene Präzision bei derartigen Eingriffen stets gewährleistet, da die Operateure immer auf dem neuesten wissenschaftlichen Stand sind und vertrauensvoll mit der computergestützten Navigationstechnik umgehen können.

In den vorliegenden Daten zeigt sich ein nahezu konstanter Verlauf der abgebildeten Linien für die ventrale und für die dorsoventral kombinierte Versorgung, was mit einer konstant bleibenden Operationszeit über Jahre hinweg, einhergeht. Hier wird bewiesen, dass die Navigationstechnik unbedingt in die Hände erfahrener Operateure gehört. Es ist davor zu warnen, die hochmoderne Technik für Berufsanfänger zum Lernen und Üben von Operationshandgriffen einzusetzen.

#### 4.2.4. Neurologie

Die schlimmste aller Komplikationen ist die postoperative neurologische Verschlechterung. Ausgelöst durch Schraubenfehlagen, Verletzungen neuromuskulärer Strukturen, Entzündungen, Einblutungen, Ödembildung, Durchblutungsstörung sind postoperative neurologische Verschlechterung bis zur vollständigen Para-oder Tetraplegie möglich. Die Inzidenz liegt bei etwa 1 % der Fälle. Im eigenen Patientengut kam es bei 4 (4,8 %) der Patienten zu geringgradigen partiellen Ausfällen sensibler Hautareale welche am ehesten

zugangsbedingten Ursachen zu verschulden ist. Motorische Ausfälle mit Verschlechterung der Frankel-Stufe wurden nicht nachgewiesen. In der MCS II von Reinhold et al. (2009) war bei 0,2 % der Patienten und bei Knop (2000) bei 1,8 % der Fälle eine neurologische Verschlechterung mit motorischen Ausfällen aufgetreten. Etablieren konnten sich Operationen mit Anwendung minimalinvasiver Zugänge, um das Risiko postoperativer Komplikationen zu reduzieren (Ogon, M. 1997).

Auf der Hand liegt, dass Patienten mit traumatisch bedingter Fraktur und kompletter Querschnittssymptomatik (Frankel A) signifikant länger im Krankenhaus verweilen als Patienten mit Frankel D oder –E (Reinhold et. al 2009), da hier in vielen Fällen weitere behandlungsbedürftige Verletzungen vorliegen und intensiviertere physiotherapeutische Maßnahmen, sowie auch psychologisch unterstützende Therapien erforderlich sind.

Bei 46,1% der Patienten mit traumatisch bedingter Fraktur und präoperativ bestehender neurologischer Ausfallsymptomatik konnte postoperativ eine Verbesserung um mindestens eine Frankel-Stufe erzielt werden. (In der MCS II fand sich eine Verbesserung von 32,7 %, Reinhold et al. 2009)

#### 4.2.5. Indikationen zum Abbruch der Navigation – Grenzen der Navigation

Feststellbar war, dass speziell in der Anfangsphase nach Einführung der Technik Probleme mit unseren Navigationsgeräten auftraten. Bei acht Patienten war ein Umstieg zum konventionellen Verfahren erforderlich. Auch in der Literatur sind Fälle mit Navigationsabbrüchen beschrieben (Fritsch 2003, Rampersaud et. al 2001, Schnake et. al 2004, Schlenzka 2000).

Grundvoraussetzung zum Einsatz eines Navigationscomputers ist die Bereitschaft eines interessierten Personals, sich mit der komplexen Materie auseinanderzusetzen. Genauso wird aber auch Gerätetechnik gefordert, die gut zu erlernen und beherrschbar ist (Krettek 2003).

Nach Literaturangaben sind vor allem mit dem Matching verbundene Fehlnavigationen möglich (Fritsch 2003), sowie bei der Referenzierung des präoperativ erhobenen Datensatzes auf den Patienten. Die intraoperative Erfassung von Änderungen des präoperativ erstellten Datensatzes ist bei der beschriebenen Technik nicht möglich. Somit bedarf es einer besonderen Erfahrung, diesen Fehler intraoperativ zu erkennen (Fritsch 2003). Ach das bloße Verrutschen der Referenzklemme durch unbeabsichtigte Berührung beim Lagern oder operieren kann zu großen Problemen der weiteren Verlässlichkeit des computerassistierten Systems führen. Für die Pedikel Th4, Th7, Th 6, Th 3, Th12, Th11

(absteigend) werden extreme Anforderungen an die Präzision gestellt, die sowohl für fluoroskopische und CT-navigierte Systeme eine außerordentliche Herausforderung darstellen (Rampersaud et. al 2001). Problematisch wird die Bildqualität bei dem immer größer werdenden Anteil adipöser Patienten. Hinzu kommen osteoporotische Erkrankungen, welche die Bildqualität ebenfalls nachteilig einschränken.

Zur Reduktion von Fehlnavigationen wird empfohlen, intraoperativ eine Kontrolle mit dem Röntgenbildverstärker vor Beginn der Instrumentierung im lateralen und anterioposterioren Strahlengang vorzunehmen. Dieses Vorgehen hat sich in unserer Klinik bewährt. Seit der Einführung des Verfahrens wurden in dieser Klinik intraoperative Kontrollaufnahmen durchgeführt um die Genauigkeit und Verlässlichkeit zu überprüfen und Erfahrungswerte zu sammeln. Nachteilig ist die daraus resultierende verlängerte Durchleuchtungszeit, welche dennoch unter der des konventionellen Vorgehens blieb.

Auch die bei der Operation verwendeten Instrumente schützen nicht vor Fehlnavigationen. So zeigten Arand et al. 2002, dass beispielsweise eine verbogene Ahle oder zu dünne Bohrer eine Fehlplatzierung von Schrauben vorprogrammieren (Schlenzka 2000).

In Einzelfällen kann es auch dazu kommen, dass die Referenzklemme am falschen Wirbelkörper angebracht wird (Schnake et al. 2004). Die beiden letztgenannten Fehler traten in der vorliegenden Arbeit nicht auf.

Letztlich bleiben auch noch nicht vorhersehbare Fehlerquellen offen. Beispielsweise können intrathorakale Pleuraverwachsungen oder die Knochendestruktion durch Tumorgewebe das exakte Navigieren erheblich beeinflussen und Datensätze verzerren. Lösungsmöglichkeiten stellen eine stufenlose Einstellung des Schwellenwertes (threshold) zwischen Knochengewebe und Weichteilgewebe dar. Eine absolute Sicherheit kann auch der Einsatz eines Navigationssystems nicht bieten, insbesondere deshalb nicht, weil neben den genannten patientenassoziierten Faktoren auch vom Operateur wiederholt die Genauigkeit beeinflusst und die aktuelle Realität mit der auf dem Monitor dargestellten virtuellen Realität abgeglichen werden muss.

#### 4.2.6. Navigationssassoziierte Komplikationen

Der Einsatz des Navigationsgerätes bietet ein Spannungsfeld zwischen den Interessen des Patienten, der Industrie und den operativen Fächern (Arand 2005). Der unsachgemäße Umgang von unerfahrenen Operateuren mit dem Navigationssystem birgt eine Menge Gefahren, die bis zum vollständigen Präzisionsverlust und damit zur Unmöglichkeit des computerunterstützten Operierens führen können.

Wie Schnake (2004) zeigen konnte, sind auch Pedikelperforationen trotz Einsatz der Navigationstechnik möglich und besonders bei engen Pedikeln im Bereich der mittleren/oberen BWS gar nicht vermeidbar, um ausreichende Stabilität zu erzielen. Vor allem aber ließen sich Pedikelperforationsraten mit Gefahr der Myelonkompression signifikant senken.

Hohe Anforderungen werden in der unfallchirurgischen Behandlung an die Präzision gestellt. Die Einführung der Navigationstechnik konnte zur Präzisionserhöhung beitragen. Zur Definition der Pedikelschraubenfehlage hat sich die von Arand 2003 vorgeschlagene Einteilung am stärksten durchgesetzt, sie ist einfach, übersichtlich und leicht anwendbar. Die mit Hilfe der CT-basierten Navigation implantierten Pedikelschrauben wurden bezüglich ihrer korrekten Lage im Pedikel untersucht. Es wurden vergleichbare Daten für die traumatisch bedingten Frakturen ermittelt (Gruppe A eigene Daten 79 % vs Arand (2003) 79 %). In Gruppe B wurden in dieser Arbeit 15,3 % aller Pedikelschrauben eingeteilt (Arand 2003: 11 % bei den thorakalen bzw. 7 % bei den lumbalen Schrauben). Die ermittelten Daten sind vergleichend etwas schlechter, jedoch waren lediglich 5,6 % in Gruppe C einzuteilen, was mit einer verminderten Komplikationsrate einherging. Arand musste 13 % der thorakalen bzw. 7 % der lumbalen Schrauben in Gruppe C einteilen.

Für die C-Arm gestützte Navigation konnte Arand für nur 54 % aller Pedikelschrauben eine korrekte intraossäre Lage angeben. Aus anatomischen Gründen sind die Perforationsraten an der BWS höher als an der LWS.

Schlenzka et al. publizierte 2000 für die CT-gestützt eingebrachten Pedikelschrauben in 95,7 % unmittelbar eine korrekte intraossäre Lage (konventionelle Vergleichsgruppe 85,7 %). Die CT-gestützt implantierten Pedikelschrauben wurden bezüglich der Perforationsrate, gerade am thorakolumbalen Übergang durch eine randomisierte Studie mit denen der konventionellen Gruppe verglichen (Schlenzka 2000). Dabei zeigte sich eine signifikant geringere Perforationsrate bei navigationsgestützt implantierten Schrauben intraoperativ.

Für die Schraubenimplantation mittels Navigation der Lendenwirbelsäule durch den 3-D-Bildwandler (Iso-C<sup>3D</sup>) veröffentlichte Grützner et al. 2004 eine Pedikelperforationsrate von 1,7 %. Problem ist hier jedoch die nicht-exakte Definition der Pedikelfehlage.

Reichle et al. demonstrierte 2002 den extraordinären, jedoch nicht signifikanten Unterschied der Pedikelperforationsrate bei der Anwendung der CT-gestützten Navigation (hier 19 % Perforationsrate) vs. Fluoroskopische Navigation (58,3 % Perforationsrate). Eine Abhängigkeit der Perforationsrate wies er von der jeweiligen Pedikelweite nach. Demnach kommt es bei Pedikelweiten von mehr als 9 mm zu keiner einzigen Perforation mehr. Er

entwickelte den Begriff der „kritischen Pedikelweite“ im Bereich von 6,5-9 mm, indem mit einer erhöhten Perforationsgefahr zu rechnen ist. Einen Einfluss hat hier keine Navigationsmethode. An der thorakalen Wirbelsäule finden sich nicht selten Pedikelweiten von nur 2,5 - 5 mm. Mit noch dünneren Schraubendurchmessern lässt sich aus der heutigen Sicht keine Stabilität erzielen. Somit ist es notwendig, durch das Einbringen stärkerer Schrauben (z.B. mind. 5-6 mm), zum Teil in extrapedikulärer Technik, eine gewisse Pedikelperforation hinzunehmen, wenn diese ohne relevante Verletzung umliegender anatomischer Strukturen möglich ist und für den Patienten dafür ausreichende Belastungsstabilität resultiert. Von einer „Fehllage“ sollte dann in diesem Fall nicht gesprochen werden. Insofern ist auch die von Arand (2003) publizierte und von uns verwendete Klassifikation nur bedingt sinnvoll verwendbar.

Fritsch et al. untersuchte 2002 die Genauigkeit der fluoroskopischen Navigation. Eine Zeitangabe zur Durchführung der Kontroll-CT zur Operation wurde nicht angegeben. Wiederum ist auch hier die Definition der Pedikelperforation nicht praxisbezogen und ungenau. Eine korrekte Pedikelschraubenlage wurde jedoch für 94,4 % angegeben.

Linhardt et al. zeigte 2006 die Überlegenheit der Navigationsanwendung gegenüber der konventionellen Technik bezüglich. Einen signifikanten Vorteil konnte er für die fluoroskopische Navigation im Vergleich zur konventionellen Gruppe ermitteln, die CT-gestützte Methode konnte diese Ergebnisse nicht weiter verbessern. Dies können wir so nicht bestätigen.

Schnake et al. untersuchte 2004 die Genauigkeit der CT-basierten Navigation beim Einbringen von Pedikelschrauben an der Brustwirbelsäule im Vergleich zur konventionellen Technik. Ein Drittel der Patienten wiesen pathologische Frakturen auf. Zwei Drittel der Patienten litten an einer traumatisch bedingten Fraktur. Es handelte sich um eine prospektive Arbeit. 65,1 % aller Schrauben wurden navigiert, 34,9% der Schrauben wurden konventionell eingebracht. Dabei stellte sich eine signifikant geringere Pedikelperforationsrate bei den navigiert eingebrachten Pedikelschrauben (4,2% der Schrauben perforierten mehr als 2 mm den Pedikel, Perforationen waren bei insgesamt 17,5 % der implantierten Schrauben aufgetreten, 82,5 % wurden korrekt eingebracht) im Vergleich zu den konventionell eingebrachten Schrauben (14,1% der Schrauben mit Perforation von mehr als 2 mm, insgesamt waren 68,1 % aller Schrauben korrekt implantiert) heraus. Ebenfalls wurden in der Arbeit trotz Navigationstechnik schwere Pedikelperforationen von mehr als 6 mm beschrieben. Bei derartigen Fehllagen kann jedoch sicherlich nicht allein das Navigationsgerät beschuldigt werden, sondern hier spielt der „human factor“ sicherlich eine

entscheidende Rolle. In der Arbeit von Schnaake wurden die Patientengruppen nicht randomisiert, sondern nach Verfügbarkeit der Navigationstechnik zugeordnet. Um die Abhängigkeit der Perforationswahrscheinlichkeit von der betroffenen Wirbelkörperhöhe zu beurteilen, bedarf es einer größeren Population von untersuchten Patienten. Eine Signifikanz konnte Schnaake in seiner Untersuchung mit 85 Patienten nicht nachweisen. Der Einsatz des Navigationsgerätes stößt bei frakturiertem Processus spinosus des zu versorgenden Wirbelkörpers an seine Grenzen und ist aus unserer Sicht nicht zu empfehlen.

Eine Rate ideal positionierter Pedikelschrauben von 100 % lässt sich mit keiner der heute verfügbaren Methoden erreichen. Der Begriff der Pedikelperforation sowie insbesondere der Schraubenfehlplatzierung sind bis heute nicht eindeutig geklärt, die in der Literatur verbreiteten Angaben differieren stark (Amiot (2000): 5 %, Kamimura (1999): 0%, Laine, T: 10%). Letztlich werden jedoch tendenziell bessere Werte im Vergleich zur konventionellen Methode gefunden. Gegenrechnen muss man für den Operateur oftmals längere Vorbereitungszeit, eine Verlängerung der OP-Zeit sowie die erhöhte Strahlenbelastung. Unter Berücksichtigung der guten Übersichtlichkeit im thorakolumbalen Bereich sind wir in unserer Klinik dazu übergegangen, routinierte dorsale Versorgungen in konventioneller Weise zu operieren. Die Anwendung der Navigation bei dorsalen Eingriffen erfolgt nur bei Frakturen im oberen BWS-Bereich, bei Revisionen und an der HWS, um die Sicherheit zu erhöhen. Außerdem nutzen wir die Navigation zur Hinterkantenresektion bei neurologischen Ausfällen im Rahmen der ventralen Versorgung.

#### 4.2.7 Allgemeine Komplikationen

Unter allgemeinen Komplikationen treten gelegentlich zugangsbedingte Beschwerden auf, wie postoperative Hautinnervationsstörungen aufgrund Inzision sensibler Nervenäste. Infekte oder Blutungen sind ebenfalls als OP-Komplikationen möglich. Eine myofasziale septische Wundheilungsstörung sowie eine oberflächliche Infektion im Wundrandbereich musste auch in dem eigenen untersuchten Patientengut registriert und behandelt werden. Eine Osteomyelitis oder Spondylodiszitis wurde nicht beobachtet. Größere Blutungen traten nicht auf, obwohl laut Literatur revisionspflichtige Hämatome in bis zu 10% der Fälle zu erwarten sind (Bühren 2003). Wir beobachteten in zwei Fällen ein oberflächliches Hämatom. Verletzungen der großen Gefäße wie sie McAfee et al. 1995, Zuchermann et al. 1995, Mathews 1995 und Wittenberg et al. 1996 berichten, blieben glücklicherweise aus.

Transfusionen von Erythrozytenkonzentraten waren im vorliegenden Patientenkollektiv aufgrund der Wirbelsäulenverletzung nicht erforderlich. Relevante Blutverluste in Zusammenhang mit der OP wurden nicht registriert.

In der Literatur wird auch ein Postthorakotomieschmerzsyndrom v.a. nach großen konventionellen Thorakotomien in Folge pulmonaler Verklebungen und Vernarbungen mit der Thoraxwand beschrieben (Hazelrigg 1991, Regan JJ 1995). Durch den sich immer mehr durchsetzenden minimalinvasiven Zugang (Minithorakotomie) konnte diese Komplikation dem eigenen Patientengut erspart bleiben.

In der Multicenterstudie II (Reinhold et al. 2009) werden bei operativen Eingriffen an der Wirbelsäule Komplikationen allgemeiner Art in 11,8% bei ventralen Operationen, 12,8 % bei dorsalen Eingriffen und bis zu 16,6 % bei kombinierten Eingriffen angegeben. Ähnliche Komplikationsraten traten auch in diesem Kollektiv auf.

In Einzelfällen sind auch durch die postoperative Lagerung und Mobilisation bei osteoporotischen, hochbetagten Patienten Fehllagen des zuvor korrekt sitzenden Osteosynthesematerials denkbar (Schnake 2004).

Ein weitaus größeres Gefährdungspotential besteht für Tumorpatienten. Wie Hessler et al. 2007 zeigte, können im Zusammenhang mit Wirbelsäulenoperationen bei Tumorpatienten Komplikationen in bis zu 30 Prozent der Fälle auftreten. Es besteht ein höheres Risiko operationsspezifischer Komplikationen wie Nervenverletzungen, Blutungen aus großen Gefäßen, Hämatome, Materialdislokationen, Wundheilungsstörungen sowie das häufigere Auftreten von operationsassoziierten Problemen, wie Pneumonien, Lungenembolien, Harnwegsinfekte, Herzrhythmusstörungen, Durchgangssyndrome, Niereninsuffizienz, paralytischer Ileus. Ursache sind die oft stark vaskularisierten Tumoren oder Metastasen, ein defizitäres Immunsystem von Tumorpatienten und auch paraneoplastische Erkrankungen (Thromboserisiko), Knochenmarkdepression infolge Chemotherapie oder Bestrahlung (Pascal-Moussellard 1998). Die Indikation zur Operation ist also bei Tumorpatienten kritisch zu prüfen und die Patienten müssen auf ein höheres perioperatives Risiko hingewiesen werden. Die Literaturangaben decken sich mit den Beobachtungen aus dem untersuchten Patientengut. Es waren bei 3 von 13 Patienten (23,1 %) Komplikationen zu verzeichnen.

Insgesamt muss auf Grund des zunehmenden Patientenalters bei operativen Eingriffen darauf hingewiesen werden, dass mit Zuwachs an vorbestehenden Komorbiditäten auch ein größeres Risiko perioperativer Komplikationen zu erwarten ist. Eine präoperative

Risikoeinschätzung sollte in jedem Fall erfolgen. Wichtig ist die Identifikation von risikobehafteten Patienten und die adäquate präoperative Konditionierung und postoperative Überwachung betroffener Patienten.

#### 4.2.8 Stationäre Aufenthaltsdauer

Die Stationäre Liegezeit ist in Zeiten der DRG-Reglementierung ein wichtiges Thema. So haben wir gezeigt, dass sich sowohl bei dorsalen als auch bei ventralen Wirbelsäulen-Operationen vergleichbare Liegezeiten erreichen lassen. Hier ist ein ganz entscheidender Vorteil des operativen Vorgehens im Vergleich zum konservativen Behandlungsansatz zu sehen, bei dem bis vor wenigen Jahren Patienten noch mehr als 4 Wochen bettlägerig waren. Vorteil des operativen Vorgehens ist die Möglichkeit zur schnellen Mobilisierung ab Tag 1 nach OP.

Die Anwendung minimalinvasiver Verfahren bei der ventralen Versorgung reduziert die Krankenhausaufenthaltsdauer um bis zu 50 % (Reggan 1994). Unbedingt gewarnt werden muss allerdings davor, Patienten zu frühzeitig zur Anschlussheilbehandlung zu verlegen. In den dortigen Einrichtungen ist ein Erkennen von Frühkomplikationen oft erst im fortgeschrittenen Stadium möglich, das Einschreiten mit eventuellen Revisionen verzögert sich, was sich für das Wohl des Patienten nachteilig auswirkt (Braun 1991, Bilow 1988, Reinhold 2003).

### 4.3. Diskussion der Rehabilitationsergebnisse

#### 4.3.1. Nachuntersuchung

Wie bei Lange (2006) war auch in dieser Arbeit ein vergleichbares Ergebnis mit einer Nachuntersuchungsrate von 83,1 % innerhalb der ersten 12 Monate nach OP zu erzielen.

Die Rekrutierungsraten unterscheiden sich jedoch von den von Knop 2001 veröffentlichten Daten der Multicenter-Studie I. Knop gab eine Nachuntersuchungsrate der operierten Patienten von 55 % in den jeweiligen Kliniken an. Hier muss jedoch angemerkt werden, dass der Nachuntersuchungszeitraum bei Knop bei weitem länger war (Durchschnitt 2 ¼ Jahre) und somit die Wegzugsrate von Patienten sehr viel höher ist, des Weiteren waren personelle als auch infrastrukturelle Bedingungen Ursache der geringeren Rekrutierungsrate zur Nachuntersuchung im Vergleich zu den eigenen Daten.

In der Multicenterstudie II (Reinhold et al. 2009) konnte eine Nachuntersuchungsrate von 74% angegeben werden. Der Nachbeobachtungszeitraum ist mit 30 Monaten ausreichend lang. Bei Patienten mit pathologischer Fraktur ist die Nachuntersuchungsquote geringer.

#### 4.3.2. Rehabilitationsdauer

Auch in der Betrachtung des Rehabilitationsbedarfs der untersuchten Patienten können wir mit der Literatur vergleichbare Daten vorlegen (Reinhold und Lange et al. 2006). So verblieben die Patienten im Median bzw. auch im Durchschnitt 3 Wochen in der stationären Reha-Einrichtung, die Patienten von Lange et al. 6,9 Wochen.

71 % der Patienten mit traumatisch bedingter Wirbelsäulenfraktur nahmen an einer stationären RehaMaßnahme teil. 58% nahmen neben einer stationären anschließend an einer ambulanten RehaMaßnahme teil.

In der Multicenter-Studie II (Reinhold et al. 2009) war die mediane stationäre Rehadauer für dorsoventrale bzw. isoliert ventrale operativ behandelte Patienten mit 4 Wochen angegeben worden. Lediglich für dorsal stabilisierte Patienten waren eine 3 wöchige stationäre Rehabilitation ausreichend. Bei Vorliegen neurologischer Beeinträchtigungen war die Dauer der stationären Behandlung signifikant länger. Eine Signifikanz konnte für das eigene Patientenkollektiv nicht nachgewiesen werden. Ein ähnlicher Trend lässt sich aber erkennen. Bei ambulanten Rehabilitationsmaßnahmen wurden in der Multicenter-Studie II für seine dorsal versorgten Patienten im Durchschnitt 3 Monate angegeben. Im eigenen Patientenkollektiv betrug die durchschnittliche ambulante Rehadauer 5 Monate, da eine möglichst lange ambulante physiotherapeutische Unterstützung nach stattgehabter OP zur Kräftigung angestrebt und empfohlen wurde. Die Verletzungshöhe hatte keinen Einfluss auf die Rehadauer.

In der Multicenterstudie I (Knop et al. 2006) haben nur 50 % der Patienten an einer stationären RehaMaßnahme teilgenommen mit durchschnittlich 6 wöchigen Aufenthalten! Die durchschnittliche ambulante Rehadauer betrug 11 Monate, woran 78 % der Patienten teilnahmen. Zusammenfassend hat sich also in den letzten Jahren der Trend zur Durchführung einer stationären Rehabilitation durchgesetzt. Die Vorteile der intensivierten Krankengymnastik mit Ausnutzen komplexer und vielfältiger Behandlungsverfahren kommt den Patienten zu gute. Grundsätzlich ist eine postoperative Rehabilitationsmaßnahme zu empfehlen, da eine optimierte intensivierte Muskelkräftigung und eine schmerzadaptierte Belastungssteigerung trainiert werden kann. Zu dem sind spezielle neurologische Übungen zur Reduktion oder Besserung der eventuell vorhandenen neurologischen Läsionen möglich. Sollte eine ambulante Rehabilitationseinrichtung in angemessener Wohnortnähe erreichbar sein, ist dies natürlich auch möglich.

In der Multicenter-Studie II (Reinhold et al. 2009) ergab sich ein medianer stationärer Rehabilitationsaufenthalt operierter Patienten von 4 Wochen. Ein signifikanter

Zusammenhang zwischen Patientenalter, Verletzungslokalisation und Auswirkungen auf die Dauer der Rehabilitation ließ sich nicht erkennen. Jedoch bewirkte der Nachweis einer neurologischen Beeinträchtigung eine signifikante Verlängerung der stationären Rehabilitationsdauer (Durchschnitt 4,2 Wochen ohne neurologische Beeinträchtigung vs. 6,4 bzw. 10,2 Wochen bei Patienten mit neurologischen Schäden bei Mono- bzw. Polytraumatisierten).

Die hier vorliegende Arbeit hat ebenfalls nachgewiesen, dass die Schwere der Verletzungen erheblichen Einfluss auf die Rehabilitationsdauer hat. Bedeutsam ist die Kenntnis dieses Zusammenhangs für die hohe Kostenbelastung der Kostenträger (in der Mehrzahl der Fälle die Krankenkassen) durch die langen Aufenthalte der Patienten in Kureinrichtungen. Anzunehmen ist, dass die frühzeitige zielorientierte Versorgung polytraumatisierter Patienten dazu beitragen kann, die Rehabilitationsdauer langfristig zu kürzen und die Kostenträger damit zu entlasten und dennoch ein zufriedenstellendes Behandlungsergebnis zu erzielen, mit dem die betroffenen Patienten dem Arbeitsmarkt wieder zur Verfügung stehen können.

#### 4.3.3. Arbeitsfähigkeit

Die Herausarbeitung der Arbeitsfähigkeit postoperativ ist ein zentrales Thema, da erhebliche Kosten für unser Gesundheitssystem infolge eingeschränktem posttraumatischem outcome entstehen. Eines der Grundziele der Durchführung einer Operation zur Frakturbehandlung ist die möglichst vollständige Mobilisation und Rehabilitation (Schmitt/Hartig 1985). Ein Vergleich der eigenen Daten mit der Arbeit von Knop et al. 2001 bestätigt auch bei hier eine postoperative Minderung der Anzahl der Erwerbstätigen. Von 41 arbeitstätigen Patienten waren ein Jahr postoperativ nur 26 (63%) arbeitstätig, nach 2 Jahren immerhin wieder 29 Patienten (70 %). Die Daten sind insgesamt besser, als sie Lange 2006 publizierte, bei dem nur etwa die Hälfte der zuvor berufstätigen Patienten nach einem Jahr wieder arbeitsfähig waren. Die Dauer der Krankschreibung betrug bei den Patienten der vorliegenden Arbeit im Durchschnitt 7,18 Monate und damit sind die Patienten des eigenen Behandlungsregimes nach weniger Monaten wieder arbeitsfähig als Knop et al. 2001 veröffentlichte (23 Monate). Lange veröffentlichte 2006 eine durchschnittliche Krankheitsdauer von 5,3 Monaten.

In der Multicenter-Studie II (Reinhold 2009) wurde die mediane Krankheitsdauer aller operierten Patienten mit 4 Monaten angegeben. Der Anteil der Begleitverletzungen sowie das Vorhandensein neurologischer Ausfälle wirken sich verlängernd auf die Dauer der Krankschreibung aus, da intensivierete physiotherapeutische Maßnahmen notwendig sind (McLain et al.). Der Anteil der Reintegration von Patienten in ihren alten Beruf im

Patientengut der MCS II ist ein wenig schlechter als die eigenen Daten zeigen. Den höchsten Anteil der Reintegration nach Wirbelsäulenfraktur erzielten Patienten mit zuvor leichter körperlicher Arbeit. Unter den untersuchten Patienten konnten alle 5 von 5 Patienten mit leichter körperlicher Arbeit 100 % reintegriert werden. Von den übrigen 24 Patienten mit zuvor schwerer bis mittlerer körperlicher Belastung waren es nach 2 Jahren 14 Patienten (58,3%) die ohne Beeinträchtigung weiter arbeiten konnten, 8 Patienten (33,3%) hatten noch leichte Beeinträchtigungen, 1 Patient (4,2%) gab eine mittlere Beeinträchtigung in seiner Tätigkeit an, 1 Patient (4,2%) fühlte sich stark beeinträchtigt und denkt über eine Umschulung nach. Insgesamt erreichten in der MCS II die Patienten die beste Reintegration bei Frakturen des thorakolumbalen Überganges (hier 58,7 % der Patienten üben ihren alten Beruf aus). Am stärksten beeinträchtigt waren Patienten mit LWS-Verletzungen (hier 48,6% der Patienten in ihrem alten Beruf). Unklar bleibt in der Arbeit jedoch der Zeitabstand Unfall - Nachuntersuchung, in dem der Status der beruflichen Reintegration untersucht wurde.

#### 4.3.4 Schmerzanalyse

Die Befragung und Analyse der Patienten bezüglich ihres Schmerzempfindens in Verbindung mit der Operation stellt ein wichtiges Thema dar. Leider können die erhobenen Daten nicht mit präoperativen Zuständen verglichen werden, da nur in den seltensten Fällen Schmerzanalysen unmittelbar präoperativ stattfinden. Hinzuzufügen ist, dass meistens unklar ist, wie schmerzempfindlich Patienten vor der Operation waren. Chronische Rückenschmerzen sind ein viel diskutiertes Problem. In einer Studie von Raspe A. und Raspe H. (Raspe A. 2003, Raspe H. 2001) gaben 68 % aller Befragten an, in den letzten 7 Tagen an Rückenschmerzen gelitten zu haben. Zur alltagsnahen Diagnostik von Funktionsbeeinträchtigungen dienen Fragebögen in Form des Hannover Wirbelsäulenscores, als auch der Visuellen Analogskala (VAS) (Blauth 1992, Knop, C. 2001).

Knop et. al (2001) wiesen ein signifikant schlechteres Scoreergebnis gegenüber dem präoperativen Zustand nach. Andere Scoresysteme sind zu unspezifisch, da sie für Patienten nichttraumatischer Genese entwickelt wurden, englischsprachig sind und ungenügend auf empirische Gütekriterien geprüft wurden (Knop et al. 2001). Die eigenen Daten zeigten keinen wesentlichen Zusammenhang zwischen Operationsverfahren, und damit Zugangsweg und postoperativen Schmerzzuständen. Alle Patienten zeigten eine Beeinträchtigung die in Zusammenhang mit der erlittenen Verletzung bzw. dem Wirbelsäuleneingriff steht. Damit wurden die von Knop et al. 2001 ermittelten Daten bestätigt (eigener Durchschnitts-VAS-Wert 69,4 Punkte vs. Knop et al. 67,4 Punkte vs. Reinhold et al. 2009 58,4 Punkte).

Bezüglich der Zugangsmorbidität zeigen die in dieser Arbeit untersuchten Patienten kaum Einschränkungen.

Im Vergleich zu dem in der MCS I (Knop 2001) nachuntersuchtem Patientenkollektiv gaben in der vorliegenden Auswertung nur max. 18,4 % (7 von 38 Patienten) aller Patienten Beschwerden an der Beckenkammernahmestelle an (Knop et al. 2001 29%).

Seit den ersten Erfahrungen mit Endoskopiegeräten bei der anterioren Fusion von Wirbelsäulenfrakturen im Bereich BWK12-LWK5 (Beisse, 1998, Olinger, A. 1999) wurden operative Techniken inzwischen weit entwickelt. Von einem Lumbotomieschnitt mit einer Schnittlänge bis zu 30 cm über rein endoskopische Verfahren (Olinger, A. 1999) ist man mittlerweile bei einer Minilumbotomie mit der Möglichkeit der Endoskopie und gleichzeitigem Einsatz eines Rahmensystems (Aebi 2000) zur gleichzeitigen direkten Visualisierung als Methode der Wahl angelangt. Mit Hilfe dieser minimalinvasiven Methoden lassen sich die Rate an postoperativen Komplikationen (wie Dysästhesien, Parästhesien, Wundinfektionen, Narbenhernien), wie es Bühren et al. 1997 nachwies, senken. Schwere Komplikationen wie sie vereinzelt in der Literatur beschrieben wurden (Mückley 2003) wurden in der eigenen Patientengruppe erfreulicherweise nicht verzeichnet. Die Möglichkeit der minimalinvasiven Operationswege stellt eine gute Voraussetzung für zeitnahe Arbeiten, sowie die Vermeidung schwerer Komplikation die in Zusammenhang mit konventionellen offenen Methoden stehen (Feil 1992, McAfee 1995) dar. Dennoch sollte eine vorsichtige Vorgehensweise, v.a. die Schonung der Hautnerven angestrebt werden, um auch den Anteil der Patienten mit Sensibilitätsstörungen und damit verbundenen Unannehmlichkeiten wie Schmerzen bei Bewegungen, weiter zu reduzieren (eigenes Patientenkollektiv Sensibilitätsstörungen nach Lumbotomie 8,3 % vs. Trapp 2004 13 %)

Neu und bisher in vielen Arbeiten nicht berücksichtigt ist die Untersuchung der Lebensqualität nach Wirbelsäulen-Eingriffen. Erstmals wurde eine Arbeit von Briem 2003 zu diesem Thema veröffentlicht. Auch die eigenen Patienten wurden mit dem Fragebogen SF-36 2 Jahre postoperativ interviewt. Es musste festgestellt werden, dass ein Teil der Patienten auch 2 Jahre nach dem Eingriff mit deutlichen Einschränkungen in ihrer Lebensqualität, in allen Lebenssituationen, wie körperliche und emotionale Rollenfunktionen, konfrontiert sind. Die Ergebnisse betreffen alle OP-Verfahren, die angewendet wurden. Eine signifikante Abhängigkeit von OP-Zugangsart, Lebensalter oder Begleitverletzungen bestand nicht. Erwartungsgemäß sind die Auswertungsergebnisse für pathologische Wirbelsäulenfrakturen noch schlechter ausgefallen. Dieses Ergebnis sollte Anlass dazu sein, die Patienten in Zukunft längerfristig nachzubetreuen, eine psychologische Mitbehandlung in

problematischen Fällen gezielt einzusetzen und längere Studien zum Thema postoperativem outcome durchzuführen, um die Patientenzufriedenheit weiter zu erhöhen.

#### 4.4. Diskussion aller radiologischer und aus Sicht des Strahlenschutzes relevanter Parameter

##### 4.4.1. Strahlenbelastung

Um den Anforderungen der modernen Medizin zu entsprechen, sind in wissenschaftlichen Arbeiten auch Untersuchungen zur Reduktion der intraoperativen Strahlenbelastung sowohl für den Patienten als auch für das OP-Personal von Bedeutung und erfreuen sich zunehmendem Interesse.

Langzeitstudien zu den Folgen langjährigen Umgangs mit Röntgengeräten durch das OP-Personal und deren Auswirkung für die Lebenserwartung fehlen bislang. Anzunehmen ist ein gehäuftes Auftreten von Krebserkrankungen im Vergleich zur Normalbevölkerung trotz Anwendung geeigneter bleihaltiger Schutzmäntel. Daher sind Entwicklungen technischer Einrichtungen zur Reduktion der Strahlenbelastung heutzutage wichtiger denn je.

Linhardt (2005) publizierte eine Arbeit in der er zeigte, dass unter Einsatz des Navigationsgerätes eine signifikante Reduktion der Strahlendosis und Durchleuchtungszeit möglich ist. Jedoch handelte es sich dabei um eine in-vitro-Studie, in der er die Möglichkeit zur Reduktion der Durchleuchtungszeit als auch der Strahlendosis bei der dorsalen Versorgung einer Wirbelkörperfraktur beschrieb. Der Vergleich der Strahlendosis ist derzeit kein günstiger Messparameter, da Messgeräte und physikalische Einheiten je nach Klinik und Gerätehersteller differieren. Dazu kommt, dass Messungen am Patienten auch vom Körperumfang abhängen, den die Strahlung durchdringen muss, bevor sie registriert werden kann. Bei den Messpunkten ist nicht immer gewährleistet, dass dieser im Zentrum des Strahlengangs liegt (Gebhard 2003).

In der vorliegenden Arbeit ist unter mehrfachen intraoperativen Kontroll-Durchleuchtungen die Gesamtstrahlendosis stets kürzer als bei Operationen ohne Navigationsanwendung. Eine signifikante Reduktion konnte nicht nachgewiesen werden, da das Patientenkollektiv von einer erhöhten Präzision durch Anfertigung von intraoperativen Kontroll-Aufnahmen profitiert. Die Arbeit von Schaeren et al. 2002 zeigte eine signifikant höhere Strahlendosis beim Einsatz der CT-gestützten Navigation bei der dorsalen Instrumentation im Vergleich zum konventionellen Vorgehen, ohne vorherige CT-Anfertigung, was zu erwarten war. Heutzutage hat jedoch jeder Patient, der mit traumatischer Wirbelfraktur operiert wird, eine präoperative CT-Aufnahme erhalten.

Es wurde eine Auswertung zur Durchleuchtungszeit aller dorsalen navigierten Pedikelschrauben vorgenommen. Dabei zeigte sich im Vergleich zur in-vitro-Studie von Linhardt 2005 eine noch geringe Durchleuchtungszeit (21 sec. vs. 25 sec.). Die als kurz empfundenen Durchleuchtungszeiten bei den dorsalen Operationen ergeben sich in der vorliegenden Arbeit durch die intraoperative Röntgenkontrolle mittels Bildwandler um einerseits die Korrektheit des Matchings sowie die Kontrolle des Behandlungsergebnisses zu dokumentieren. In der Literatur sind verschiedene Angaben zur Durchleuchtungszeit beim Einbringen von Pedikelschrauben in konventioneller Technik zu finden. Schaeren et al. gab beim Einbringen von durchschnittlich 5,5 Pedikelschrauben in-vivo eine Durchleuchtungszeit von 12 Sekunden pro Schraube an. Slomczykowski et al. 1999 beschrieb beim Einbringen von durchschnittlich 6 Pedikelschrauben eine durchschnittliche Durchleuchtungszeit von 6,3 Minuten (= ca. 63 Sekunden pro Schraube). Perisinakis et al. erreichte 2004 bei 4,8 Pedikelschrauben eine Durchleuchtungszeit von 3,3 Minuten. Literaturangaben zur extrakorporalen Einzeldosis fehlten.

Zur Angabe von Durchleuchtungszeiten beim ventralen Vorgehen existieren derzeit keine Vergleichsdaten in der Literatur sodass mit dieser Arbeit zumindest erste Vorgaben für weitere Untersuchungen geliefert werden konnten.

Den verhältnismäßig hohen Werten der Dosisflächenprodukte stehen die niedrigen Wahrscheinlichkeiten an Komplikationsraten gegenüber. Zumindest beim isoliert dorsalen Vorgehen ist das Dosisflächenprodukt jedoch annehmbar höher als beim konventionellen Vorgehen in unkomplizierten Routinefällen. Jedoch sollte das Dosisflächenprodukt bei allen ventralen Operationen deutlich niedriger im Vergleich zum konventionellen Vorgehen sein, da die operative Sicherheit durch Anwendung des Navigationssystems erhöht wird. Genaue Angaben stehen derzeit noch aus, weitere Arbeiten werden sich detailliert mit dieser Problematik auseinandersetzen.

Gebhard verglich 2003 alle Navigationsmethoden bei Wirbelsäulenoperationen mit dem konventionellen Vorgehen. Dabei wurden alle Wirbelsäulenoperationen (sowohl ventrale als auch dorsale Eingriffe) zusammengefasst. Es wurden bei der Iso-C3D-Methode die geringsten Strahlendosen festgestellt, gefolgt von dem CT-navigierten Vorgehen und an 3. Stelle die einfache C-Arm-basierte Navigation. Die höchste Strahlendosis wurde beim konventionellen Vorgehen gemessen.

Des Weiteren gilt es zu untersuchen, ob die Anwendung CT-freier Navigationssysteme zu Gunsten der C-Arm-basierten Navigation mit möglicher erneuter Strahlenbelastung für das OP-Personal gefördert werden sollte.

#### 4.4.2 Radiologische Messungen

Die Auswertung von Messungen anhand vorliegender Röntgenbilder ist weit verbreiteter Standard, lassen eine gute Vergleichbarkeit zu und gelten als Parameter zur Verlaufskontrolle. Zur Quantifizierung können mehrere Messtechniken angewendet werden (Knop, 2001). Das Verhalten der Vorderkante kann mit dem Körperwinkel zwischen Deck- und Bodenplatte ermittelt werden, aber auch mit dem Sagitalindex als Quotient der Vorder- und Hinterkantenhöhe (Knop, 2000, Beck, 1971) ist eine gute Beurteilbarkeit und Vergleichbarkeit möglich. Nachteilig ist die alleinige Auswertung der Körperwinkel, da sie den Korrekturverlust im Zwischenwirbelraum durch Umbauprozesse nicht berücksichtigen. Außerdem ist in Fällen der Wirbelkörperersatz-Verfahren (z.B. durch Cageinterpositionen) eine postoperative Bestimmung des Körperwinkels nicht mehr möglich. Deswegen setzte sich die Cobb'sche Technik als mono- und bisegmentale Grund- und Deckplattenwinkel durch (Knop 2000).

In der vorliegenden Arbeit unterscheiden sich die Ergebnisse von den eigentlichen Erwartungen. Bedingt durch die nicht einheitlichen Standards für die zielgenaue Röntgenuntersuchung bestimmter Wirbelsäulenabschnitte ergeben sich Unterschiede im Strahlengang mit nachfolgenden Messungenauigkeiten. Zunehmend ist der Anteil multimorbider älterer Patienten größer, was mit einer Erhöhung der Rekyphosierungsrate sowie der Gefahr des Auftretens weiterer Frakturen postoperativ einhergeht.

Des Weiteren muss die Strategie bei der operativen Versorgung frakturierter Wirbelkörper stabil genug sein, um längerfristig ausreichenden Halt zu gewährleisten. Die ventrale Versorgung durch alleinige monosegmentale Stabsysteme ist nicht ausreichend genug. Daher ist eine additive Verwendung eines Beckenkammspans oder eines Wirbelkörperersatzes durch einen Cage zu empfehlen.

Auch die Multicenter-Studie II (Reinhold 2009) zeigte, dass durch die operative Versorgung in allen Fällen ein Korrekturgewinn im Vergleich zum präoperativen Ausgangsbild erzielbar ist. Berücksichtigt wurden auch die anatomischen Besonderheiten von der Verletzungslokalisation. Somit ist die prä- und postoperative Kyphose im Bereich der Brustwirbelsäule ausgeprägter als am thorakolumbalen Übergang. Der Korrekturgewinn betrug bei Reinhold in allen Abschnitten der Wirbelsäule 5,1-9,3°. In der hier vorliegenden Arbeit war der Korrekturgewinn vor allem bei der isoliert dorsalen Versorgung geringer. In der Nachuntersuchung musste eine partielle Rekyphosierung verzeichnet werden. Auffällig größer ist der Anteil der Rekyphosierungsraten bei der alleinigen ventralen

Stabinstrumentierung im Vergleich zu anderen ventralen Stabilisierungsverfahren. (Korrekturgewinn beim Körperwinkel prä- vs. postoperativ bei isolierter ventraler Stabinstrumentierung  $3,2^\circ$  gegenüber Korrekturgewinn beim Körperwinkel von kombinierten ventralen Stabilisierungsverfahren von  $7,6^\circ$ ). Die größten Korrekturgewinne ließen sich am thorakolumbalen Übergang erzielen. Ursache ist die besondere anatomische Stellung ohne fixer Verbindung mit dem sonst starrem Brustkorb. Eine Abhängigkeit vom Frakturtyp für den Korrekturgewinn fand Reinhold nicht. Dennoch beeinflussen Patientenalter und Fehlstellung zum Unfallzeitpunkt den Korrekturgewinn signifikant. Allerdings bestand die Signifikanz nur für die Auswertung der Körperwinkel und nicht mehr für die Grund-Deckplatten-Winkel 1 und 2. Somit scheint offenbar der menschliche Körper in der Lage zu sein, durch die biomechanischen Eigenschaften von Wirbelkörpern mit dazugehörigen Bändern und Bandscheiben, Fehlstellungen bedingt kompensieren zu können. Der gleiche Effekt zeigte sich in der Auswertung dieser Arbeit.

#### 4.5. Quoad vitam – Fortschritt oder Rückschritt?

Im Vergleich aller durchgeführten Operationen zur Frakturbehandlung ist die Zuhilfenahme von Navigationssystemen bei weitem nicht in allen Kliniken verbreitet. Auch stellt sie bis auf wenige Zentren kein Mittel der Wahl bei Frakturversorgungen dar. Ursachen sind vielseitig und auch verständlich. Unkomplizierte Frakturen bedürfen nicht unbedingt der Anwendung von Navigationsgeräten, die Aufwendungen für den nötigen Platz, Vor- und Nachbereitungsbedarf für das Navigationssystem sowie die regelmäßig erforderlichen Personalschulungen sind nicht unerheblich. Dennoch verfügen bereits viele Kliniken über Navigationssysteme.

Vorteile bieten sich in der hohen Präzision, der geringeren Komplikationsrate und dem besseren postoperativen outcome. Der Einsatz von Computersystemen erfordert von allen Beteiligten ein Umdenken in gewohnten Arbeitsabläufen, in der Dauer der OP-Vorbereitung und –Nachbereitung. Instrumente und Implantate müssen spezielle Anforderungen erfüllen. Personal muss speziell theoretisch und praktisch geschult werden, um sich dem raschen technischen Fortschritt anzupassen. Die Anzahl experimenteller Neu-Entwicklungen steigt exponentiell und wartet auf Umsetzung im klinischen Alltag. Es bleibt abzuwarten, in welchen klinischen Bereichen Navigationssysteme einfach anwendbar sind und wo sie in Bezug auf ihre Akzeptanz sowie aufgrund der hohen technischen Anforderungen auf Grenzen stoßen. Können weitere klinische Disziplinen, beispielsweise das große Gebiet der inneren Medizin in Zukunft mehr von der Anwendung von Navigationssystemen profitieren? Bisher finden

Navigationssysteme bei der Identifikation und Behandlung von tachykarden Herzrhythmusstörungen in der Rhythmologie bereits Anwendung.

Die Anwendung von Navigationssystemen muss auch in Zukunft weiter überprüft werden - können weiterhin Zugangsmorbidität und Strahlenbelastung für alle Beteiligten reduziert werden? Die nächste Generation der 3D-Bildwandler mit Flat-Panel-Technologie als auch das intraoperative CT mit Navigationsanbindung stellen interessante und vielversprechende Neuerungen dar. Können klinische zufriedenstellende Behandlungsergebnisse und der Anteil zufriedener Patienten ebenso exponentiell gesteigert werden wie die Zahl der technischen Neuentwicklungen?

Auch weiterhin gilt es, die optimale und klinische evidenzbasierte Behandlung des Patienten zu gewährleisten, um Effektivität, Sicherheit und das Kosten-Nutzen-Verhältnis zu überprüfen. Es wird vorausgesetzt, dass jeder Chirurg auch ohne Navigationssystem seine Arbeit vernünftig erledigen kann, nämlich in dem Fall wenn technische Geräte versagen. Das bedeutet gleichzeitig, dass die Anwendung von Navigationssystemen nur in die Hände von erfahrenem OP-Personal gehört bzw. im Rahmen der Nachwuchsausbildung von erfahrenen „Lehrern“ zusätzlich eingesetzt werden kann.

Eine große Weiterentwicklung mit dem Ziel der Minimierung des prä- und postoperativen Mehraufwandes stellt die Etablierung von bildwandlergestützten dreidimensionalen Navigationssystemen dar. Es besteht damit die Möglichkeit intraoperativ eine bessere Visualisierung des OP-Gebietes vorzunehmen und die Einflussmöglichkeit von Fehlern auf das Behandlungsergebnis zu minimieren. So entfällt beispielsweise die Lageveränderung durch die Umlagerung vom CT-Tisch auf den OP-Tisch. Das Matching entfällt somit.

Zusammenfassend läutete der Einzug von Navigationssystemen in die moderne Medizin und besonders in die Traumatologie und Orthopädie zwar kein neues Zeitalter bei der operativen Therapie von komplizierten Frakturen ein, jedoch stellen sie bei bewusster und kritischer Anwendung eine sinnvolle und zuverlässige Unterstützung dar.

## **5. Zusammenfassung**

**Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades**

**Dr. med.**

**eingereicht von: Danny Schulze, geboren 06.09.1981 in Leisnig**

**angefertigt an der Universität Leipzig, Klinik für Unfall-, Wiederherstellungs- und Plastische Chirurgie**

**Betreuer: Professor Dr. med. Ch. Josten**

**Juli 2012**

Durch die Entwicklung moderner Technologien konnte die Unfallchirurgie in der vergangenen Dekade enorme Fortschritte in der operativen Behandlung von Frakturen im Bereich der zervikalen, thorakalen und lumbalen Wirbelsäule verzeichnen. In allen operativen Behandlungsverfahren ist der Einsatz der computergestützten Navigationstechnik möglich. Anhand der vorliegenden Arbeit wird die Wertigkeit der CT-gestützten Navigation bei der operativen Behandlung thorakolumbaler Wirbelkörperfrakturen hinsichtlich der klinischen Bedeutsamkeit in der alltäglichen Anwendung untersucht. Als wesentliche Aspekte wurden dabei Genauigkeit, Reproduzierbarkeit, mögliche Risiken und Fehlerquellen sowie Anforderungen an das behandelnde Personal integriert.

Im Rahmen einer retrospektiv-deskriptiven Studie wurden im Zeitraum März 2002 und Juli 2004 insgesamt 97 (64 männliche, 33 weibliche) Patienten an der Klinik für Unfall-, Wiederherstellungs- und Plastische Chirurgie des Universitätsklinikums Leipzig operativ mit

CT-gestützter Navigationstechnik mit Frakturen der thorakolumbalen Wirbelsäule versorgt und hinsichtlich des perioperativen und poststationären Verlaufes einschließlich potentieller Komplikationen nachuntersucht. Sowohl traumatisch (n= 83) als auch nichttraumatisch bedingte (n= 14) Frakturen der Wirbelsäule sind mit Einsatz der genannten Techniken versorgt worden.

Während der größere Teil der Patienten im Alter bis 65 Jahren männlich ist, überwiegen im Alter ab 65 Jahren weibliche Patienten. Am häufigsten ist der Bereich 12. BWK und 1. LWK (70,3%) betroffen. Als Frakturursachen dominieren Stürze aus der Höhe. Unter den pathologischen Frakturen kommen vor allem Wirbelkörpermetastasen vor.

Die Klassifizierung der Frakturen erfolgte anhand der Einteilung nach Magerl et al. OP-Indikationen liegen für Frakturen A2.3 - A3.3 sowie für alle B – und C-Frakturen vor. Ausnahmen stellten stark kyphosierte A1.2-Frakturen (>15-20° Kyphosewinkel, hier wurde die operative Stabilisierung vorgenommen) und wenig kyphosierte A3.1-Frakturen dar (hier wurde das konservative Vorgehen bevorzugt).

Die operativen Möglichkeiten zur Stabilisierung reichen von isoliert dorsaler Versorgung mittels Fixateur interne (n=14) über isoliert ventrale (n=26) bis hin zu kombiniert dorsoventralen (n=57) Verfahren. Die am häufigsten durchgeführten dorsoventralen Operationen wurden überwiegend zweizeitig (70,2% der dorsoventralen OP´s ) durchgeführt. Postoperativ wurden die Patienten ab dem 1. postoperativen Tag mobilisiert. Anhand von Scoresystemen (Visuelle Analogskala, Hannover Wirbelsäulenscore, Frankel-Score (ASIA), Kraftgradeinteilung nach Janda, SF-36-Fragebogen) konnte der postoperative Verlauf im Rahmen der Nachuntersuchung nachvollzogen und dokumentiert werden. Röntgenbilder und CT-Aufnahmen ermöglichten ebenfalls eine Verlaufsbeobachtung.

Die Integration der Navigation in etablierte OP- Verfahren stellte einen erhöhten Aufwand im Rahmen der OP- Vorbereitung als auch bei Durchführung der Operation selbst dar. Besonders in anatomisch kritischen Regionen und speziellen anatomischen Gegebenheiten zeigte sich der Nutzen dieser neuen Methode durch die zusätzliche vom Chirurgen nutzbare axiale Bildebene.

Verschiedene Einflussfaktoren können dazu führen, dass eine Weiterverwendung des Navigationssystems für den Fortlauf der Operation nicht möglich und ein Umstieg auf konventionelle Verfahren notwendig ist. In der vorliegenden Arbeit lagen Ungenauigkeiten durch technische Probleme vor allem beim Matching (n=4) vor, seltener eine auffällige Fehllage bei der Pedikelschraubenimplantation (n=2), sowie intrapleurale Verwachsungen im Rahmen ventraler navigationsgestützter Eingriffe bei 2 Patienten. Navigationsbedingte

Komplikationen traten bei der ventralen Versorgung nicht auf. Besonderes Augenmerk lag auf der Präzision bei der Implantation von Pedikelschrauben. Vor allem im mittleren und oberen BWS-Bereich zeigte sich die dorsale Navigation aufgrund der besonderen anatomischen Situation mit engen Pedikeln hilfreich. Aber auch im unteren BWS- und im gesamten LWS-Bereich kann die Navigation die hohen Ansprüche an die Präzision und Sicherheit für den Operateur und den Patienten steigern. Von 124 Pedikelschrauben bei traumatisch bedingten Frakturen wurden 98 optimal zentral eingebracht. 19 Schrauben davon ließen B-Perforation und 7 Schrauben eine C-Perforation erkennen. Unter den 24 eingebrachten Pedikelschrauben bei pathologischen Frakturen waren 19 in zentraler Lage. Somit können zwar Perforationen nicht gänzlich vermieden werden, jedoch wird die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Pedikelperforationen durch den Einsatz der modernen Technik insbesondere an der oberen BWS gesenkt. Zu beachten ist allerdings die nicht zu vernachlässigende verlängerte Vorbereitungszeit für die Operation (Erstellung des Datensatzes), die verlängerte OP-Dauer (Matching, initialisieren der Technik) und der erhöhte Material- und Personalaufwand.

Die Durchleuchtungszeit bei der Insertion von Pedikelschrauben war an der oberen BWS (BWK 1-8) signifikant länger als an der unteren BWS und LWS. Im Vergleich zwischen navigierten und nicht navigiert implantierten Pedikelschrauben zeigte sich im beobachteten Zeitraum kein signifikanter Unterschied.

Nahezu allen Patienten wurden ambulante oder stationäre Rehabilitationsmaßnahmen bewilligt. Bei polytraumatisierten Patienten war die Rehabilitationsdauer im Vergleich zu Monoverletzungen verlängert. Mit guten Behandlungsergebnissen steigt die Wahrscheinlichkeit für eine zeitnahe Wiedereingliederung ins Arbeitsleben. Die kürzeste Krankheitsdauer wurde unter den isoliert ventral versorgten Patienten festgestellt. Insgesamt waren 2 Jahre postoperativ 69% aller präoperativ arbeitstätigen Patienten wieder in den alten Beruf zurückgekehrt. Von den übrigen 31% wurden 14,3 % in andere Berufe umgeschult, 4,8 % wurden berufsunfähig, 2,4 % waren noch krankgeschrieben und 9,5 % waren arbeitslos. Lag ein Arbeitsunfall vor, war die Krankheitsdauer tendenziell verlängert.

Betrachtet man das Schmerzempfinden, gaben überwiegend die isoliert dorsal versorgten Patienten auch postoperativ einen hohen Schmerzmittelbedarf an. Die Zugangsstelle an sich war davon eher nicht betroffen. Durch die Anwendung der Minithorakotomie beim ventralen Zugang wurden Postthorakotomiesyndrome nicht beobachtet. Durch den SF-36-Bogen wurde auch die Patientenzufriedenheit abgebildet. Am zufriedensten schnitt dabei die Gruppe der isoliert ventral versorgten Patienten ab. Mit der Entwicklung von OP-Techniken

mit möglichst kleinem minimal invasivem Zugang wurde die Zufriedenheit gesteigert und das Schmerzempfinden der Patienten gesenkt. Weitere Möglichkeiten zur Steigerung der Patientenzufriedenheit bestehen durch begleitende psychosoziale Therapien.

Zusammenfassend stellt die Anwendung der Navigationstechnik eine interessante neue Facette im Bereich der Wirbelsäulen Chirurgie dar. Zu beachten ist jedoch, dass bei der CT-basierten Technik die Abbildungen auf dem Monitor nur einer virtuellen Welt entsprechen aber dem Operateur eine sinnvolle und zuverlässige Unterstützung bieten können. Den entscheidenden Einfluss auf den Verlauf der Operation hat auch weiterhin allein der Operateur. Daher gehört die moderne Technik in die Hände erfahrener Operateure und sollte nicht von Anfängern allein bedient werden. Anhand evidenzbasierter Untersuchung ist auch weiterhin eine Überprüfung auf Effektivität und Nutzen neu etablierter Behandlungsverfahren erforderlich um die hohe Behandlungsqualität aufrecht zu erhalten. Interessante Neuerungen stellen die nächste Generation der 3D-Bildwandler mit Flat- Panel-Technologie als auch das intraoperative CT mit Navigationsanbindung dar.

## 6. Literaturverzeichnis

- 1 Aebi, M., Steffe, T. (2000) Synframe: a preliminary report. In *European Spine Journal* 9 (Suppl. 1), S. 44-50
- 2 American Society of Anesthesiologists (ASA, 1963): New classification of physical status. In *Anesthesiology* 24, S. 111
- 3 Amiot, L.P., Lang, K., Putzier, M. et al. (2000) Comparative results between conventional and computer-assisted pedicle screw instillation in the thoracic, lumbar, and sacral spine. In: *Spine* 25, S. 606-614
- 4 Arand, M., Kinzl, L., Gebhard, F. (2005), Komplikationen navigierter Eingriffe an der Wirbelsäule. In *Trauma und Berufskrankheit* 7 (Suppl.2), S. 311-316
- 5 Arand, M., Kinzl, L., Hartwig, E. (2002) Die dorsoventrale endoskopisch unterstützte Instrumentation der BWS und LWS. Argumente, Versorgungskonzepte und erste klinische Ergebnisse. In *Zentralblatt für Chirurgie* 127, S. 490-496
- 6 Arand, M., Kinzl, L., Gebhard, F. (2002) Fehlerquellen und Gefahren der CT-basierten Navigation. In *Orthopäde* 31, S. 378-384
- 7 Arand, M., Schempf, M., Hebold, D., Teller, S., Kinzl, L., Gebhard, F. (2003) Präzision der navigationsgestützten Chirurgie an der Brust- und Lendenwirbelsäule. In *Unfallchirurg* 106, S. 899-906
- 8 Avanzi O, et. al. (2007) McCormack classification and kyphotic deformity in thoracolumbar burst fractures. *Acta Ortopédica Brasileira*. 2007; 5(5): S. 251-253
- 9 Baker, S.P., O'Neill, B., Haddon, W., jr., Long, W.B. (1974) The Injury Severity Score: a method for describing patients with multiple injuries and evaluating emergency care. In: *The Journal of Trauma* 14, S.187-196
- 10 Beck, E. et al. (1971) Röntgenologische Messmethoden bei Wirbelbrüchen. In: *Unfallheilkunde* 108, S. 36-37
- 11 Beise, R., Potulski, M., Bühren, V. (2000) Thorakoskopisch gesteuerte Instrumentation an BWS und LWS. In: *Trauma und Berufskrankheit* 2 (Suppl. 2), S. 251-256
- 12 Beisse, R. et al. (1998) Das endoskopisch kontrollierte Zwerchfellsplitting — ein minimal-invasiver Zugang zur ventralen Versorgung thorakolumbalen Frakturen der Wirbelsäule. *Unfallchirurg* 101, S. 619–627
- 13 Bilow, H., Beineke, H., Hermichen, H. (1988), Management und Ergebnisse der konservativen Behandlung von Patienten mit Brust- und Lendenwirbelsäulenverletzungen. In *Aktuelle Traumatologie* 18/Suppl., S. 7-17
- 14 Blauth, M. (1992) Verletzungen der thorakolumbalen Wirbelsäule und ihre operative Behandlung. Eine biomechanische und klinische Studie. Habilitationsschrift, Medizinische Hochschule Hannover
- 15 Blauth, M., Knop, C. und Bastian, L. (1998): Brust- und Lendenwirbelsäule. In: Tscherne, H. und Blauth, M. (Herausgeber) *Unfallchirurgie Wirbelsäule*, S. 241-372.
- 16 Blauth, M., Lange, U.F., Knop, C., Bastian, L. (2000): Wirbelsäulenfrakturen im Alter und ihre Behandlung. In: *Der Orthopäde* 29, S. 302-317
- 17 Bosworth, D.M. et al. (1945) Clothespin grafts of spine for spondylolisthesis and laminal defects. In: *American Journal of Surgery* 67, S. 61
- 19 Braun, W., Markmiller, M., Ruter, A. (1991) konservative Therapie von Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule. Indikation, Behandlungsregime, Ergebnisse. In *Chirurg* 62, S. 404-408
- 20 Briem, D., Linhart, W., Lehmann, W., Bullinger, M., Schoder, V., Meenen, N. M., Windolf, J., Rueger, J. M. (2003) Untersuchung der Lebensqualität nach dorsoventraler Stabilisierung von Wirbelkörperfrakturen des thorakolumbalen Übergangs. In *Unfallchirurg* 106, S. 625-632
- 21 Bühren, V. (2003): Verletzungen der Brust- und Lendenwirbelsäule. In: *Unfallchirurg* 106, S. 55-69
- 22 Bullinger, M., Kirchberger, I. (1936) SF-36-Fragebogen zum Gesundheitszustand. Handanweisung. Hogrefe-Verlag, Göttingen
- 23 Clark, R.H., Horsley, V., (1906) On a Method of investigating in the deep ganglia and tracts of the central nervous system (cerebellum). In: *British Medical Journal* 2, S. 1799-1800
- 24 Denis, F. (1983) The three column spine and its significance in the classification of acute thoracolumbar spinal injuries. In *Spine* 8, S. 817-831
- 25 Dick, W. (1984) Osteosynthese schwerer Verletzungen der Brust- und Lendenwirbelsäule mit dem Fixateur interne. In *Chirurg* 364, S. 343-346

- 26 Feil, J., Wörsdörfer, O. (1992) Ventrale Stabilisierung der Brust- und Lendenwirbelsäule. In *Chirurg* 63, S. 856
- 
- 27 Foley, K.T., Rampersaud, Y.R., Simon, D.A. (2000) Virtual fluoroscopy. In: *Operat. Techn. Orthop.* 10, S. 77-81
- 
- 28 Frankel, H.L., Hancock, D.O., Hyslop, G. et al. (1969) The value of postural reduction in the initial management of closed injuries of the spine with paraplegia and tetraplegia. I. *Paraplegia* 7(3):179–192
- 
- 29 Fritsch, E., Duchow, J., Grunwald I., Reith, W. (2003) Genauigkeit der fluoroskopischen Navigation von Pedikelschrauben. In *Unfallchirurg* 2003-106, S. 385-391
- 
- 30 Fritsch, E., Duchow, J., Seil, R., Grunwald, I., Reith, W. (2002) Genauigkeit der fluoroskopischen Navigation von Pedikelschrauben. In: *Der Orthopäde* 91, S. 385-391
- 
- 31 Gebhard, F., Kraus, M., Schneider, E., Arand, M., Kinzl, L., Hebecker, A., Bätz, L. (2003) Strahlendosis im OP – ein Vergleich Computerassistierter Verfahren. In: *der Unfallchirurg* 106, S. 492-497
- 
- 32 Gertzbein, S.D. (1992), Scoliosis research society. Multicenter spine fracture study. In: *Spine* 17: S. 528-540
- 
- 33 Grass, R., Biewener, A., Dickopf, A. (2006) Perkutane dorsale versus offene Instrumentation bei Frakturen des thorakolumbalen Übergangs. In *Unfallchirurg* 2006-109, S. 297-305
- 
- 34 Grützner, P.A., Beutler, T., Wendl, K., von Recum, J., Wentzensen, A., Nolte, L.-P. (2004) Navigation an der Brust und Lendenwirbelsäule mit dem 3D-Bildwandler. In: *der Chirurg* 75, S. 967-975
- 
- 35 Hadra, B.E. (1891) Wiring of the spinous processes in Pott's disease. In: *Trans American Orthop. Associations* 4, S. 206-211, zitiert nach Wagner und Stolper (1898)
- 
- 36 Hazzelrigg, S.R., Landreneau, R.J., Boley, T.M. (1991) The effect of muscle sparing versus standard posterolateral thoracotomy on pulmonary function, muscle strength, and postoperative pain. In: *Journal of Thoracic cardiovascular Surgery* 101, S. 394-401
- 
- 37 Hessler, C., Raimund, F., Regelsberger, J., Madert, J., Ekkernkamp, A., Eggers, C. (2007), Komplikationen bei operativer Dekompression an der tumorinfiltrierten Wirbelsäule. In: *Der Chirurg* 78, S. 915
- 
- 38 Hu, R., Mustard C.A., Burns C. (1996): Epidemiology of incident spinal fracture in a complete population. In: *Spine* 21: S. 492-499
- 
- 39 Hünerbein, M., Gretschel, S., Rau, B., Schlag, P.M. (2003), Traumareduktion durch minimal invasive Chirurgie. In: *Chirurg* 74, S. 282-289.
- 
- 40 Kamimura, M., Ebara, S., Itoh, H. et al. (1999) Accuracy of pedicle screw insertion under the control of a computer-assisted image guiding system: Laboratory test and clinical study. In: *Journal of Orthopaedic surgery* 4, S. 197-206
- 
- 41 Katscher, S., Josten, C. (2007): Wirbelsäulenverletzungen des thorakolumbalen Übergangs – Versorgungsstrategien. *Trauma und Berufskrankheit* 9, S. 237-244
- 
- 42 Knap., R., zur Nedden, D. (1998) Wirbelsäulentrauma. In: *Der Radiologe* 38, S. 674-682
- 
- 43 Knop, C., Blauth, M., Bühren V. et al. (1999): Operative Behandlung des thorakolumbalen Übergangs . Teil 1: Epidemiologie. In: *Unfallchirurg* 102, S. 924-935
- 
- 44 Knop, C., Blauth, M., Bühren, et al. (2000) Operative Behandlung von Verletzungen des thorakolumbalen Übergangs – Teil 2: Operation und röntgenologische Befunde. In: *Der Unfallchirurg* 103, S. 1032-1047
- 
- 45 Knop, C., Blauth, M., Bühren, V., Arand, M., Egbers, H.-J., Hax, P.-M., Nothwang, J., Oestern, H.-J., Pizantis, A., Roth, R., Weckbach, A., Wentzensen, A. (2001) Operative Behandlung von Verletzungen des thorakolumbalen Übergangs – Teil 3: Nachuntersuchung. In: *Unfallchirurg* 104, S. 583-600
- 
- 46 Knop, C., Oeser, M., Bastian, L., Lange, U., Zdichavsky, M., Blauth, M. (2001) Entwicklung und Validierung des VAS-Wirbelsäulenscores. In: *Unfallchirurg* 104, S. 488-497
- 
- 47 Krettek, C., Gebhard, F., Hübner, T. (2003) Stellenwert von Navigationssystemen. In: *Unfallchirurg* 2003-106, S. 897-898
- 
- 48 Laine, T., Lund, T., Ylikoski, M et al. (2000). Accuracy of pedicle screw insertion with and without computer assistance: A randomized controlled clinical study in 100 consecutive patients. In: *European Spine Journal* 9, S. 235-240
- 
- 49 Lange, U., Edeling, S., Knop, C., Bastian, L., Krettek, C., Blauth, M. (2006), Wirbelkörperersatz mit höhenvariablem Titanimplantat. In: *Unfallchirurg* 106, S. 733-742
-

- 50 Leischker, A.h., Kolb, G.F. (2007): Diagnostik und Therapieziele beim alten Patienten. In: *Der Internist* 2007-48, S. 1195-1205
- 
- 51 Linhardt, O., Perlick, L., Lüring, C., Stern, U., Plitz, W., Grifka, J. (2005) Extrakorporale Einzeldosis und Durchleuchtungszeit bei bildwandler-kontrollierter und fluoroskopisch navigierter Implantation von Pedikelschrauben. In: *Zeitschrift für Orthopädie* 143, S. 175-179
- 
- 52 Linhardt, O., Perlick, L., Renkawitz, T., Matussek, J., Plitz, W., Grifka, J. (2006) Ausrissfestigkeit implantierter Pedikelschrauben in konventioneller und fluoroskopisch-navigierter Technik. In: *Zentralblatt für Chirurgie* 131, S. 407-410
- 
- 53 Lippert, H. (1993) *Lehrbuch Anatomie*, 3. Auflage, Urban & Schwarzenberg Verlag
- 
- 54 Magerl, F., Aebi, M., Gertzbein, S.D., Harms, J. und Nazarian, S. (1994): A comprehensive classification of thoracic and lumbar injuries. In: *European Spine Journal* 3, S. 184-201.
- 
- 55 Magerl, F., Engelhardt, P. (1994) 3. Brust- und Lendenwirbelsäule - Verlaufsformen. In: Witt, A.N., Rettig, H., Schlegel, K. F., *Orthopädie in Praxis und Klinik, spezielle Orthopädie Wirbelsäule - Thorax - Becken*, , S. 3.82-3.132
- 
- 56 Mathews, H.H., Evans, M.T., Molligan, H.J., Long, B.H. (1995) Laparoscopic discectomy with anterior lumbar interbody fusion. In: *Spine* 20, S. 1797-1802
- 
- 57 Mathews, H.H., Long, B.H., (1995) Endoscopy-assisted percutaneous suprafascial internal fixation: Evolution of technique and surgical considerations. In: *Orthopaedics* 3, S. 496-500
- 
- 58 Matthes, G. (2005) Alter und Überlebenswahrscheinlichkeit nach Polytrauma. In: *Unfallchirurg 2005* – 108, S. 288-292
- 
- 59 McAfee, P.C., Regan, J.R., Zdeblick T. (1995) The incidence of complications in endoscopic anterior thoracolumbar spinal reconstructive surgery. A prospective multicenter study comprising the first 100 consecutive cases. In: *Spine* 20, S. 1624-1632
- 
- 60 McCormack T., Karaikovic E., Gaines R.W.. (1994) The load sharing classification of spine fractures. In: *Spine* 19 (15):1741-1744.
- 
- 61 McLain, R. F. et al. (2004) Functional outcomes after surgery for spinal fractures: return to work an activity. In: *Spine* 29 -4, S. 470-477
- 
- 62 Mückley, T., Schütz, T., Potulski, M., Beisse, R., Bühren, V. (2003) Psoasabszess nach ventraler Spondylodese. In: *Unfallchirurg* 106, S. 252-258
- 
- 63 Olinger, A., Hildebrandt, U., Mutschler, W., Menger, M. D. (1999) First clinical experience with an endoscopic retroperitoneal approach for anterior fusion of lumbar spine fractures from levels T12 to L5. In: *Surgical Endoscopy* 13, S. 1215-1219
- 
- 64 Pascal-Moussellard, H., Broc G., Pointillart, V. et al. (1998) Complications of vertebral metastasis surgery. In: *European Spine Journal* 7: S. 438–444
- 
- 65 Perisinakis, K. et al. (2004) Estimation of patient dose and associated radiogenic risks from fluoroscopically guided pedicle screw insertion. In: *Spine* 29: S. 1555–1560
- 
- 66 Putz, R. (Hrsg), Pabst, R. (1993) *Sobotta Atlas der Anatomie des Menschen*, Band 1 und 2, 20. Auflage, Urban & Schwarzenberg Verlag
- 
- 67 Rampersaud, Y.R., Simon, D.A., Foley, K.T. (2001) Accuracy requirements for imaged-guided spinal pedicle screw placement. In: *Spine* 26, S. 352-359
- 
- 68 Raspe, A., Matthis, C., Héon-Klin, V., Raspe, H., (2003) Chronische Rückenschmerzen: Mehr als Schmerzen im Rücken. Ergebnisse eines regionalen Surveys unter Versicherten einer Landesversicherungsanstalt. In: *Rehabilitation* 42, S. 195-203
- 
- 69 Raspe, H., (2001) Back pain. In: *Epidemiology of the rheumatic diseases* (Silman AJ, Hochberg MC (Hrsg), Eds., 2. Aufl.), In: Oxford University Press 2001, S. 309-338
- 
- 70 Regan, JJ., Mack, M.J., Picetti, G.B. (1994) A comparison of video-assisted thoracoscopy surgery (VATS) with open thoracotomy in thoracic spinal surgery. In: *Today's Ther. Trends* 11, S. 203-214
- 
- 71 Regan, JJ., Mack, M.J., Picetti, G.B. (1994) A technical report on video-assisted thoracoscopy in thoracic spinal surgery. Preliminary description. In: *Spine* 20, S. 831-837
- 
- 72 Reichle, E., Morlock, M., Sellenschloh, K., Eggers, C. (2002) Zur Definition der Pedikelfehllage. In: *der Orthopäde* 31, S. 402-405
- 
- 73 Reichle, E., Sellenschloh, K., Morlock, M., Eggers, C. (2002) Einbringung von Pedikelschrauben unter Einsatz unterschiedlicher Unterstützungsverfahren. In: *der Orthopäde* 31, Springer-Verlag, S. 368-371.
- 
- 74 Reinhold, M. et al. (2009) Operative Behandlung traumatischer Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule. Teil I: Epidemiologie, In: *Unfallchirurg 2009-112*, S. 33-45
-

- 75** Reinhold, M. et al. (2009) Operative Behandlung traumatischer Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule. Teil II: Operation und röntgenologische Befunde. In: Unfallchirurg 2009-112, S. 149-167
- 
- 76** Reinhold, M., Knop, C., Lange, U., Bastian, L., Blauth, M. (2003) Nichtoperative Behandlung von Verletzungen der thorakolumbalen Wirbelsäule. In: Unfallchirurg 106, S. 566-576
- 
- 77** Schaeren, D., Roth, J., Dick, W. (2002) Effektive In-vivo-Strahlendosis bei bildwandlerkontrollierter Pedikelinstrumentation vs. CT-basierter Navigation. In: Der Orthopäde 31, S. 392-396
- 
- 78** Schaeren, S., Roth, J., Dick, W.. (2002) Effektive In-vivo-Strahlendosis bei bildwandlerkontrollierter Pedikelinstrumentation vs. CT-basierter Navigation. In: Orthopäde 2002/31: S. 392-396
- 
- 79** Schiebler, T.H., Schmidt, W., Zilles, K. (Hrsg.) (1977) Anatomie, 8. Auflage, Springer-Verlag
- 
- 80** Schlenzka, D., Laine, T., Lund, T. (2000) Computerassisted spine surgery. In: European Spine Journal 9, S. 57-64.
- 
- 81** Schmitt, W., Hartig, W. (Herausgeber) (1985) Allgemeine Chirurgie. 11. Auflage, J.-A.-Barth-Verlag Leipzig, S. 428
- 
- 82** Schnake, K.J., König, B., Berth, U., Schroeder, R.J., Kandziora, F., Stöckle, U., Raschke, M., Haas, N.P (2004) Genauigkeit der CT-basierten Navigation von Pedikelschrauben an der Brustwirbelsäule im Vergleich zur konventionellen Technik. In: Unfallchirurg 2004-107, S. 104-112.
- 
- 83** Slomczykowski, M., Mini, R., Schneeberger, P. (1999) Radiation dose for pedicle screw insertion: fluoroscopic method versus computer-assisted surgery. In: Spine 1999/24: S. 975-983
- 
- 84** Trapp, O. (2004) Die Minilumbotomie: ein videoassistierter extraperitonealer Zugang zur ventralen Lendenwirbelsäule, 68. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie, 19.-23.10.2004, Berlin
- 
- 85** Tscherne, H., Blauth, M. (Hrsg.) (1998), Tscherne Unfallchirurgie: Wirbelsäule, Springer-Verlag
- 
- 86** Verheyden, A.P. et al. (2011) Therapieempfehlung zur Versorgung von Verletzungen der Brust- und Lendenwirbelsäule. In: Unfallchirurg 2011-114, S. 9-16
- 
- 87** White, A.A., Panjabi, M.M. (1990) Clinical biomechanics of the spine. 2nd ed. Philadelphia: Lipincott-Raven –Verlag
- 
- 88** Wittenberg, R.H., Steffen, R., Kemen, M., Willburger, R. (1996) ventrale laparoskopische Fusion des letzten lumbalen Bewegungssegmentes. In: Blauth, M., Dick, W. (Herausgeber) Operationen an der Wirbelsäule. Urban & Vogel-Verlag
- 
- 89** Zuchermann, J.F., Zdeblick, T.A., Bailey, S.A., Mahvi, D., Hsu, K.Y., Kohrs, D. (1995) Instrumental laparoscopic spinal fusion. Preliminary results. In: Spine 20, S. 2029-2034
- 
-

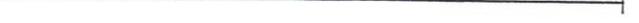
## 7. Anhang

### Hannover Wirbelsäulen-Score

Teil I	Punkte	Alle Patienten; Frankel/ASIA A–E (maximal 60 Punkte)
Ruheschmerzen	0–10	10 Nie; 7 Gelegentlich/vorübergehend nach körperlicher Anstrengung; 3 Häufig/anhaltend nach körperlicher Anstrengung; 0 Ständig
Belastungsschmerzen	0–10	10 Nie; 7 Gelegentlich und/oder leicht bei körperlicher Anstrengung; 3 Häufig und/oder stark bei körperlicher Anstrengung; 0 Ständig, invalidisierend
Schmerzmedikamente	0–10	10 Nie; 7 Gelegentlich Schmerzmittel, Antiphlogistika, keine BTM; 3 Häufig Schmerzmittel, auch BTM; 0 Ständig
Sitzen	0–10	10 Kein Problem; 7 Leicht eingeschränkt, Beschwerden nach ca. 2 h; 3 Wesentl. eingeschränkt, Beschwerden nach ca. 1/2 h; 0 Nur kurz/mit Hilfsmitteln möglich
Vorbeugen	0–10	10 Kein Problem; 7 Leicht eingeschränkt, gelegentlich schmerzhaft; 3 Wesentlich eingeschränkt, meist schmerzhaft, wird vermieden; 0 Unmöglich
Hochheben	0–10	10 Kein Problem; 7 Gering eingeschränkt, Heben schwerer Lasten wird vermieden; 3 Wesentlich eingeschränkt, Heben schwerer Lasten unmöglich, Heben leichter Lasten wird vermieden; 0 Unmöglich
Teil II a	Punkte	Gefähigte Patienten; Frankel/ASIA D–E (maximal 40 Punkte)
Stehen	0–10	10 Auch mehrere Stunden kein Problem; 7 Nur ca. 2 h möglich wg. Beschwerden/Ermüdung; 3 Nur ca. 1/2 h möglich wg. Beschwerden/Ermüdung; 0 Nur kurz/mit Hilfsmitteln möglich
Gehen	0–10	10 Auch mehrere Stunden kein Problem; 7 Nur ca. 2 h möglich wegen Beschwerden/Ermüdung; 3 Nur ca. 1/2 h möglich wegen Beschwerden/Ermüdung; 0 Nur kurz/mit Hilfsmitteln möglich
Rennen	0–10	10 Kein Problem; 7 Kaum eingeschränkt; 3 Deutlich eingeschränkt, aber möglich, wird vermieden; 0 Unmöglich
Tragen	0–10	10 Kein Problem; 7 Gering eingeschränkt, Tragen schwerer Lasten wird vermieden; 3 Wesentlich eingeschränkt, Tragen schwerer Lasten unmöglich, Tragen leichter Lasten wird vermieden; 0 Unmöglich
Teil II b	Punkte	Rollstuhl-Patienten; Frankel/ASIA A–C (maximal 40 Punkte)
Rollstuhl fahren	0–10	10 Auch längere Strecken kein Problem, Hindernisse überwinden problemlos; 7 Beschwerden nach ca. 2 h, Hindernisse überwinden gelegentlich problematisch; 3 Nur kürzere Strecken möglich, Hindernisse werden vermieden; 0 Unmöglich
Aufrichten mit Rollstuhl	0–10	10 Kein Problem; 7 Gelegentlich Probleme, geringe Hilfe nötig; 3 Regelmäßig Probleme, Hilfe nötig; 0 Unmöglich
Umsetzen vom Rollstuhl	0–10	10 Kein Problem, Autofahren alleine möglich; 7 Gelegentlich Probleme; 3 Regelmäßig Probleme, Hilfe nötig; 0 Unmöglich
Ankleiden	0–10	10 Selbständig einschließlich von Strümpfen, Schuhen ohne Probleme möglich; 7 Gelegentlich Probleme; 3 Mühsam, Hilfe nötig; 0 Ohne Hilfe unmöglich

Für gefähigte Patienten gilt Teil I + II a, für nicht gefähigte Teil I + II b. Für jeden der 10 Begriffe werden in 4 Stufen Punkte gegeben; bei „Ruheschmerzen“ z. B. bedeuten: 10 Punkte „Nie“; 7 Punkte „Gelegentlich/vorübergehend“; 3 Punkte „Häufig/anhaltend“ und 0 Punkte „Ständig“

# Visuelle Analogskala (VAS)

					
1			<b>Wie oft stören Rückenschmerzen Ihren Schlaf?</b>		
	Ständig, immer				Nie, sehr selten
2			<b>Wie oft haben Sie in körperlicher Ruhe Rückenschmerzen?</b>		
	Ständig, immer				Nie, sehr selten
3			<b>Wie stark sind dann in körperlicher Ruhe die Rückenschmerzen?</b>		
	Nicht auszuhalten, unerträglich				Keine Schmerzen
4			<b>Wie oft haben Sie bei körperlicher Belastung Rückenschmerzen?</b>		
	Ständig, immer				Nie, sehr selten
5			<b>Wie stark sind dann bei körperlicher Belastung die Rückenschmerzen?</b>		
	Nicht auszuhalten, unerträglich				Keine Schmerzen
6			<b>Wie oft nehmen Sie Schmerzmittel gegen Rückenschmerzen ein?</b>		
	Ständig, immer				Nie, sehr selten
			<b>Wie gut wirken die Schmerzmittel dann?</b>		
	Keine Wirkung, überhaupt nicht				Sehr gut, keine Schmerzen mehr
8			<b>Wie lange können Sie ohne Rückenbeschwerden sitzen?</b>		
	Gar nicht, nur kurz oder mit Hilfsmitteln				Stundenlang, ohne Einschränkung
9			<b>Wie stark schränken Rückenbeschwerden das Vorbeugen ein (wie z. B. beim Abwaschen)?</b>		
	Vorbeugen unmöglich				Vorbeugen ohne Einschränkung möglich
10			<b>Wie stark schränken Rückenbeschwerden Ihren Beruf ein?</b>		
	Alter Beruf kann nicht mehr ausgeübt werden				Keine Einschränkung im Beruf
11			<b>Wie stark schränken Rückenbeschwerden das Hochheben ein?</b>		
	Auch leichtes Heben unmöglich				Schweres Heben ohne Einschränkung möglich
12			<b>Wie stark schränken Rückenbeschwerden Hausarbeiten ein?</b>		
	Auch leichte Arbeit unmöglich				Schwere Arbeit ohne Einschränkung möglich
13			<b>Wie lange können Sie ohne Rückenbeschwerden stehen?</b>		
	Gar nicht, nur kurz oder mit Hilfsmitteln				Stundenlang, ohne Einschränkung
14			<b>Wie lange können Sie ohne Rückenbeschwerden gehen?</b>		
	Gar nicht, nur kurz oder mit Hilfsmitteln				Stundenlang, ohne Einschränkung
15			<b>Wie stark schränken Rückenbeschwerden das Laufen ein (z. B. Jogging, Waldlauf etc.)?</b>		
	Auch kurzes Laufen unmöglich				Längeres Laufen ohne Einschränkung möglich
16			<b>Wie stark schränken Rückenbeschwerden Aktivitäten des täglichen Lebens ein (z. B. Essen, Waschen etc.)?</b>		
	Allein unmöglich, immer hilfsbedürftig				Keine Einschränkung
17			<b>Wie lange können Sie ohne Rückenbeschwerden reisen (z. B. Autofahren, Zugfahren, Busfahren etc.)?</b>		
	Gar nicht, nur kurz oder mit Hilfsmitteln				Stundenlang, ohne Einschränkung
18			<b>Wie stark schränken Rückenbeschwerden Ihr Sexualleben ein?</b>		
	Vollständig, wegen der Rückenprobleme				Keine Einschränkung
19			<b>Wie stark schränken Rückenbeschwerden das Tragen ein?</b>		
	Auch leichtes Tragen unmöglich				Schweres Tragen ohne Einschränkung möglich



**FRAGEBOGEN  
ZUR  
PATIENTENZUFRIEDENHEIT  
UND LEBENSQUALITÄT  
(KOMPLEMENTÄRMEDIZIN -  
SCHULMEDIZIN)**



Institut für Evaluative Forschung in der Orthopädie

**Fragen zu Ihrem Gesundheitszustand**

Mit den folgenden Fragen möchten wir etwas über Ihren Gesundheitszustand erfahren. Diese Angaben sind uns wichtig, weil die Beurteilung der ärztlichen Tätigkeit durch den allgemeinen Gesundheitszustand der Patienten beeinflusst werden kann.

**Wie würden Sie Ihren Gesundheitszustand im Allgemeinen beschreiben?**

Bitte kreuzen Sie nur eine Antwort an

ausgezeichnet	<input type="checkbox"/>
sehr gut	<input type="checkbox"/>
gut	<input type="checkbox"/>
weniger gut	<input type="checkbox"/>
schlecht	<input type="checkbox"/>

**Im Vergleich zum vergangenen Jahr, wie würden Sie Ihren derzeitigen Gesundheitszustand beschreiben?**

Bitte kreuzen Sie nur eine Antwort an

derzeit viel besser als vor einem Jahr	<input type="checkbox"/>
derzeit etwas besser als vor einem Jahr	<input type="checkbox"/>
etwa so wie vor einem Jahr	<input type="checkbox"/>
derzeit etwas schlechter als vor einem Jahr	<input type="checkbox"/>
derzeit viel schlechter als vor einem Jahr	<input type="checkbox"/>

**Im folgenden sind einige Tätigkeiten beschrieben, die Sie vielleicht an einem normalen Tag ausüben. Sind Sie durch Ihren derzeitigen Gesundheitszustand bei diesen Tätigkeiten eingeschränkt?**

Bitte kreuzen Sie in jeder Zeile nur eine Antwort an

Wenn ja, wie stark?	Ja, stark eingeschränkt	Ja, etwas eingeschränkt	Nein, überhaupt nicht eingeschränkt
<b>TÄTIGKEITEN</b>			
<b>anstrengende Tätigkeiten</b> , z.B. schnell laufen, schwere Gegenstände heben, anstrengenden Sport treiben	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>mittelschwere Tätigkeiten</b> , z.B. einen Tisch verschieben, staubsaugen, kegeln, Golf spielen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Einkaufstaschen heben oder tragen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
mehrere Treppenabsätze steigen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
einen Treppenabsatz steigen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
sich beugen, knien, bücken	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
mehr als 1 Kilometer zu Fuss gehen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
mehrere Strassenkreuzungen weit zu Fuss gehen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
eine Strassenkreuzung weit zu Fuss gehen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
sich baden oder anziehen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

SF-36® Health Survey © 1988, 2002 by JE Ware, Jr., MOT, Health Assessment Lab, QualityMetric Incorporated - All rights reserved SF-36® is a registered trademark of the Medical Outcomes Trust (MOT)/IQOLA SF-36 Standard German Version 1.0 - 3/94

**Wie stark waren Ihre Schmerzen in den vergangenen 4 Wochen?**

Bitte kreuzen Sie nur eine Antwort an

Ich hatte keine Schmerzen	<input type="checkbox"/>
sehr leicht	<input type="checkbox"/>
leicht	<input type="checkbox"/>
mässig	<input type="checkbox"/>
stark	<input type="checkbox"/>
sehr stark	<input type="checkbox"/>

**Inwieweit haben die Schmerzen Sie in den vergangenen 4 Wochen bei der Ausübung Ihrer Alltagstätigkeiten zu Hause und/oder im Beruf behindert?**

Bitte kreuzen Sie nur eine Antwort an

überhaupt nicht	<input type="checkbox"/>
ein bisschen	<input type="checkbox"/>
mässig	<input type="checkbox"/>
ziemlich	<input type="checkbox"/>
sehr	<input type="checkbox"/>

**In diesen Fragen geht es darum, wie Sie sich fühlen und wie es Ihnen in den vergangenen 4 Wochen gegangen ist. Wie oft waren Sie in den vergangenen 4 Wochen...**

Bitte kreuzen Sie in jeder Zeile die Antwort an

	immer	meistens	ziemlich oft	manchmal	selten	nie
...voller Schwung?	<input type="checkbox"/>					
...sehr nervös?	<input type="checkbox"/>					
...so niedergeschlagen, dass Sie nichts aufheuern konnte?	<input type="checkbox"/>					
...ruhig und gelassen?	<input type="checkbox"/>					
...voller Energie?	<input type="checkbox"/>					
...entmutigt und traurig?	<input type="checkbox"/>					
...erschöpft?	<input type="checkbox"/>					
...glücklich?	<input type="checkbox"/>					
...müde?	<input type="checkbox"/>					

**Hatten Sie in den vergangenen 4 Wochen aufgrund Ihrer körperlichen Gesundheit irgendwelche Schwierigkeiten bei der Arbeit oder anderen alltäglichen Tätigkeiten im Beruf bzw. zu Hause?**

Bitte kreuzen Sie in jeder Zeile nur eine Antwort an

SCHWIERIGKEITEN	ja	nein
Ich konnte nicht so lange wie üblich tätig sein	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich habe weniger geschafft als ich wollte	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich konnte nur bestimmte Dinge tun	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich hatte Schwierigkeiten bei der Ausführung (z.B. ich musste mich besonders anstrengen)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Hatten Sie in den vergangenen 4 Wochen aufgrund seelischer Probleme irgendwelche Schwierigkeiten bei der Arbeit oder anderen alltäglichen Tätigkeiten im Beruf bzw. zu Hause (z.B. weil Sie sich niedergeschlagen oder ängstlich fühlten)?**

Bitte kreuzen Sie in jeder Zeile nur eine Antwort an

SCHWIERIGKEITEN	ja	nein
Ich konnte nicht so lange wie üblich tätig sein	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich habe weniger geschafft als ich wollte	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich konnte nicht so sorgfältig wie üblich arbeiten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Wie sehr haben Ihre körperliche Gesundheit oder seelische Probleme in den vergangenen 4 Wochen Ihre normalen Kontakte zu Familienangehörigen, Freunden, Nachbarn oder zum Bekanntenkreis beeinträchtigt?**

Bitte kreuzen Sie nur eine Antwort an

überhaupt nicht	<input type="checkbox"/>
etwas	<input type="checkbox"/>
mässig	<input type="checkbox"/>
ziemlich	<input type="checkbox"/>
sehr	<input type="checkbox"/>

SF-36® Health Survey © 1988, 2002 by JE Ware, Jr., MOT, Health Assessment Lab, QualityMetric Incorporated - All rights reserved SF-36® is a registered trademark of the Medical Outcomes Trust (MOT)/IQOLA SF-36 Standard German Version 1.0 - 3/94

SF-36® Health Survey © 1988, 2002 by JE Ware, Jr., MOT, Health Assessment Lab, QualityMetric Incorporated - All rights reserved SF-36® is a registered trademark of the Medical Outcomes Trust (MOT)/IQOLA SF-36 Standard German Version 1.0 - 3/94

Wie häufig haben Ihre körperliche Gesundheit oder seelischen Probleme in den vergangenen 4 Wochen Ihre Kontakte zu anderen Menschen (Besuche bei Freunden, Verwandten usw.) beeinträchtigt?

Bitte kreuzen Sie nur eine Antwort an

immer	<input type="checkbox"/>
meistens	<input type="checkbox"/>
manchmal	<input type="checkbox"/>
selten	<input type="checkbox"/>
nie	<input type="checkbox"/>

Inwieweit trifft jede der folgenden Aussagen auf Sie zu?

Bitte kreuzen Sie nur eine Antwort an

AUSSAGEN	trifft trifft ganz zu	weitgehend zu	trifft weiss nicht	trifft weitgehend nicht zu	trifft überhaupt nicht zu
Ich scheine etwas leichter als andere krank zu werden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich bin genauso gesund wie alle anderen, die ich kenne	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich erwarte, dass meine Gesundheit nachlässt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich erfreue mich ausgezeichneter Gesundheit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## **Selbständigkeitserklärung**

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne unzulässige Hilfe oder Benutzung anderer als der vorgegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Ich versichere, dass Dritte von mir weder unmittelbar noch mittelbar 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 gleicher 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.

Datum 04.07.2012

---

D. Schulze

## Lebenslauf

**Danny Schulze**

---

Arzt  
Plantagenweg 5  
04703 Leisnig  
Mobil: 0170 / 84 77 496  
Mail: danny\_schulze@web.de

## **Persönliches**

---

Geboren am 06. September 1981  
in Leisnig  
Ledig

## Danksagung

„Was lange währt, wird endlich gut.“ – jenes aus dem lateinischen stammende Sprichwort besitzt nicht selten auch in der Gegenwart immer noch Aktualität in vielerlei Hinsicht. Wie oft ergeben sich Verzögerungen auf lang geplanten Baustellen durch unvorhersehbare Umstände? Doch später ist nur noch das Gesamtergebnis entscheidend. Auch in der Entstehung dieser Arbeit mussten einige Hindernisse überwunden werden und führten dennoch zu einem hoffentlich überzeugenden Gesamtergebnis.

Als erstes möchte ich mich bei Herrn Professor Dr. Josten, dem Ärztlichen Direktor der Klinik für Unfall-, Wiederherstellungs- und Plastische Chirurgie, der mir die Möglichkeit gab, meine Dissertation in seiner Abteilung zu erstellen, bedanken.

Für die fachliche Mitbetreuung bedanke ich mich ganz herzlich bei Herrn Dr. med. Gonschorek an der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik Murnau und Herrn Dr. med. Katscher am HELIOS Klinikum Leipziger Land, Borna.

Des Weiteren möchte ich mich bei Herrn Dr. Kempe, Elblandklinik Riesa bedanken, mit dem ich in freundschaftlichem Verhältnis die zahlreichen Patienten zur Erhebung der Daten gemeinsam betreute. Nicht zuletzt bin ich auch den vielen Patienten selbst dankbar, die sich für unsere Untersuchungen zur Verfügung stellten und uns an ihrer Weiterbehandlung teilhaben ließen. Allen gehören meine Hochachtung und beste Genesungswünsche. Danksagen möchte ich ebenfalls den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Abteilung für Unfallchirurgie an der Universitätsklinik Leipzig, die mich seit dem Studium stets mit allen Kräften unterstützten und mir den Weg zeigten wenn gerade mal kein Licht im Tunnel zu sehen war.

Ein besonderer Dank gilt meinen Eltern und Großeltern, die mir das Studium trotz zahlreicher Schicksalsschläge ermöglicht haben, die mich immer unterstützten, mich motivierten und mir auf meinem Weg stets beistanden. Ein ganz besonderer Dank gilt meiner Mutter Frau Gabriele Schulze weil sie immer an mich geglaubt hat und mir das schöne und wertvolle Studium der Humanmedizin ermöglicht hat. So konnte ein lang gehegter Kindheitstraum Wirklichkeit werden.

Und natürlich ein besonders liebenswertes Dankeschön gilt meiner Lebensgefährtin, Freundin und Kollegin Frau Oda Nummert, die mir ein wunderschönes Zusammenleben ermöglicht und mich jeden Tag glücklich macht.

Leisnig, Juli 2012