

Aus der Klinik für Allgemeine, Unfall-, Hand- und Plastische  
Chirurgie der Ludwigs-Maximilians-Universität München  
Direktor: Prof. Dr. med. W. Mutschler

**Evaluation**  
**des CT- gesteuerten minimal invasiven**  
**Verfahrens**  
**zur Behandlung instabiler Verletzungen des**  
**dorsalen Beckenrings**

Dissertation zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin  
an der Medizinischen Fakultät  
der Ludwig-Maximilians-Universität zu  
München

vorgelegt von  
Christoph Landersdorfer  
aus Landshut  
2014

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Universität München

Berichterstatter: Herr PD Dr. med. S. Piltz

Mitberichterstatter: Herr Prof. Dr. med. Dierk Vorwerk  
Herr PD Dr. med. Christof Birkenmaier

Mitbetreuung durch die promovierten Mitarbeiter:

Herrn PD Dr. med. O. Pieske

Frau Dr. med. B. Rubenbauer

Dekan: Prof. Dr. med. Dr. h.c. M. Reiser, FACR, FRCR

Tag der mündlichen Prüfung: 13.03.2014

Meinen Eltern Franz und Inge

Landersdorfer

# Inhaltsverzeichnis

---

<b>1 Einleitung .....</b>	<b>7</b>
1.1 Einführung .....	7
1.2 Grundlagen .....	9
1.2.1 Anatomie des Beckenrings .....	9
1.2.2 Fraktуреinteilung des Beckenrings nach der AO-Klassifikation ..	12
1.2.2.1 Typ A-Frakturen .....	13
1.2.2.2 Typ B-Frakturen.....	14
1.2.2.3 Typ C-Frakturen.....	14
<b>2 Methodik.....</b>	<b>15</b>
2.1 Die CT-gesteuerte minimal invasive Verschraubung des ISG.....	15
2.1.1 Die Indikationsstellung .....	15
2.1.2 Das Operationssetting .....	15
2.1.2.1 Aufbau und technische Ausstattung des Operationsraumes ...	16
2.1.2.2 Personelle Besetzung des Operationsraumes.....	16
2.1.3 Operationsablauf.....	16
2.1.3.1 Vorbereitung und Lagerung des Patienten.....	16
2.1.3.2 Operatives Vorgehen .....	18
2.1.3.3 Postoperatives Prozedere .....	22
2.2 Studiendesign .....	22
2.3 Datenerhebung.....	23
2.3.1 Patientengut .....	23
2.3.1.1 Erfassung des Patientenkollektives.....	23
2.3.1.2 Allgemeine Patienteninformationen .....	23
2.3.1.3 Erhebung der Verletzungsursache .....	24
2.3.1.4 Bestimmung der Verletzungsmuster.....	24
2.3.2 Datenerhebung zur Operationsmethode .....	25
2.3.2.1 Bestimmung der Operationsdauer.....	25
2.3.2.2 Ermittlung der Strahlenbelastung .....	25
2.3.2.3 Radiologische Beurteilung der Schraubenlage .....	26
2.3.2.4 Radiologische Beurteilung des Repositionsergebnisses .....	29
2.3.2.5 Erfassung perioperativer Komplikationen .....	30
2.3.3 Nachuntersuchung der behandelten Patienten .....	30
2.3.3.1 Einsatz standardisierter Fragebögen .....	30
2.3.3.1.1 SF-36 Fragebogen.....	31
2.3.3.1.2 Brief Pain Inventory.....	32

2.3.3.1.3	Oswestry Disability Index.....	32
2.3.3.2	Anamnese und körperliche Untersuchung .....	33
2.4	Statistische Methoden.....	36
<b>3</b>	<b>Ergebnisse.....</b>	<b>37</b>
3.1	Patientenkollektiv .....	37
3.2	Verletzungsmechanismen.....	37
3.3	Verletzungsmuster .....	41
3.4	Operative Versorgung .....	43
3.4.1	Operative Primärversorgung.....	43
3.4.2	Zeitintervall zwischen Trauma und ISG-Verschraubung .....	45
3.4.3	Ergebnisse der CT-gesteuerten Verschraubung.....	46
3.4.3.1	Verwendete Schrauben .....	46
3.4.3.2	Operationsdauer .....	48
3.4.3.3	Strahlenbelastung .....	50
3.4.3.3.1	Dosislängenprodukt .....	50
3.4.3.3.2	Effektive Dosis.....	52
3.4.3.4	Schraubenlage .....	53
3.4.3.4.1	Abstand zur ventralen/dorsalen Kortikalis.....	53
3.4.3.4.2	Abstand zur Grund-/Deckplatte .....	54
3.4.3.4.3	Abstand zu den Neuroforamina .....	55
3.4.3.4.4	Genauere Beurteilung auf Perforierung .....	56
3.4.3.5	Repositionsergebnis .....	57
3.4.3.5.1	Ventro/dorsales Repositionsergebnis.....	57
3.4.3.5.2	Cranio/caudales Repositionsergebnis .....	58
3.4.3.6	Auftreten von Komplikationen .....	58
3.4.3.6.1	Lokale Komplikationen .....	58
3.4.3.6.2	Allgemeine Komplikationen.....	59
3.5	Metallentfernung .....	59
3.6	Anamnese und Nachuntersuchungen .....	61
3.6.1	Ergebnisse der Nachuntersuchung.....	62
3.6.1.1	Posttraumatische Einschränkung der Arbeitsfähigkeit .....	62
3.6.1.2	Einschränkung der körperlichen Aktivität .....	64
3.6.1.3	Störungen von Körperfunktionen .....	64
3.6.2	Orthopädische Tests.....	65
3.7	Ergebnisse der Fragebögen.....	69
3.7.1	Ergebnisse des SF-36 Fragebogens .....	69
3.7.2	Ergebnisse des Brief Pain Inventory.....	71
3.7.3	Ergebnisse des Oswestry Disability Index .....	73

<b>4 Diskussion.....</b>	<b>75</b>
4.1 Das CT-gesteuerte Operationsverfahren .....	75
4.1.1 Schraubeneinbringung und Schraubenlage.....	75
4.1.2 Repositionsergebnis .....	79
4.1.3 Operationszeit .....	79
4.1.4 Strahlenbelastung.....	81
4.1.5 Metallentfernung.....	83
4.1.6 Kritische Betrachtung des CT-gesteuerten Verfahrens .....	86
4.1.7 Vorteile des CT-gesteuerten Verfahrens .....	88
4.1.7.1 Wirtschaftliche Vorteile.....	88
4.1.7.2 Medizinische Vorteile .....	89
4.2 Bewertung der Nachuntersuchungen.....	92
4.2.1 Fragebögen .....	92
4.2.2 Anamnese .....	96
4.2.3 Körperliche Nachuntersuchung .....	96
4.3 Ausblick.....	100
<b>5 Zusammenfassung .....</b>	<b>101</b>
<b>6 Anhang.....</b>	<b>104</b>
6.1 Literaturverzeichnis .....	104
6.2 Abbildungsverzeichnis .....	112
6.3 Tabellenverzeichnis .....	115
6.4 Danksagung .....	116
6.5 Lebenslauf .....	117
6.6 Eidesstattliche Versicherung .....	118

# 1 Einleitung

## 1.1 Einführung

Instabile Verletzungen des dorsalen Beckenrings treten meistens als Folge einer erheblichen stumpfen Krafteinwirkung auf [1-2], wie sie unter anderem bei Verkehrsunfällen [3-6] und Stürzen aus großer Höhe auftreten kann. Erst im höheren Alter und meist in Verbindung mit einer manifesten Osteoporose kann auch ein Bagatelltrauma, wie etwa ein einfacher Sturz, zu einer derartigen Verletzung führen [7].

Obwohl Beckenbrüche nur etwa einen Anteil von 3-8 % [1, 8] an allen Frakturarten haben, sind sie in über der Hälfte aller Fälle mit multiplen Begleitverletzungen vergesellschaftet [9-10]. Dies bedingt unter anderem ihre hohe Morbidität und Mortalität [1, 8, 10-13].

Die Ansicht, dass Beckenfrakturen bei mehrfach verletzten Patienten direkt zu einer höheren Sterblichkeit führen [11, 14], wird von vielen Autoren nicht geteilt sondern die Kombination der Verletzungen als der entscheidende Faktor aufgeführt [1-2, 15-16].

Dennoch steht es außer Frage, dass Frakturen und Zerreißungen des Beckenrings zu massiven Blutungen führen können [12, 17-20]. Daher muss die absolute Priorität im Schockraum, unabhängig von der Methodenwahl, stets auf die rasche Diagnose und Initialversorgung der lebensbedrohlichen Verletzung gerichtet sein [21]. Dies ist in das Behandlungsprinzip des „damage control“ eingegangen. Hierbei sollen durch gezielte Eingriffe die frühe Mortalität und das Risiko der Entwicklung systemischer Komplikationen minimiert, das chirurgische Trauma aber begrenzt gehalten werden [22-26]. Eine externe Stabilisierung des Beckens, durch einen Fixateur externe [27-28] oder eine Beckenklemme [29-34], kann hierbei einen wesentlichen Beitrag zur definitiven hämodynamischen Stabilisierung leisten [35]. Entleert sich eine kreislaufwirksame Blutung durch Zerstörung des pelvinen Kompartiments in den abdominellen oder retroperitonealen Raum, muss eine Notfalllaparotomie mit „packing“ im kleinen Becken erfolgen, um eine Blutstillung erreichen zu können [29, 36]. Bei Verdacht auf eine arterielle Blutung sollte eine Angiographie erfolgen und das betroffene Gefäß gezielt embolisiert werden [37-40].

Nach Stabilisierung eines kritisch verletzten Patienten empfiehlt sich die definitive Versorgung durch interne Osteosyntheseverfahren etwa am 5.-10. Tag nach dem Unfall, um einen „second hit“ durch das chirurgische Trauma zu vermeiden [12]. Bei stabilen Patienten sollte der Eingriff nach Möglichkeit früher erfolgen, um eine Schmerzreduktion zu erreichen und eine baldige Mobilisierung anzustreben [7, 26].

Die offenen operativen Methoden zur inneren Fixierung wurden hierbei mittlerweile von perkutanen Verfahren unter bildgebender Kontrolle als Standardverfahren zur Behandlung instabiler Frakturen des hinteren Beckenringes größtenteils abgelöst [41-46]. Die perkutanen Verfahren streben eine definitive Osteosynthese durch das Einbringen transiliosakraler Schrauben an. Durch das geringe Zugangstrauma und die Erhaltung des pelvinen Hämatoms lassen sich die minimal invasiven Methoden mit nur geringem Blutverlust durchführen und senken zudem das Risiko für Infektionen und die Verletzung von Nerven und Gefäßen [47-51]. Sie haben allerdings den Nachteil, dass die Schraubenplatzierung ohne direkte Sicht erfolgen muss. Unterschiede ergeben sich daher bei der Wahl des intraoperativ verwendeten Visualisierungsverfahrens zur Schraubenplatzierung. Die standardmäßige Benutzung des C-Arm-Röntgens mit den 3 typischen Ebenen: „lateral, inlet- und outlet- view“ ist mit einer nicht unerheblichen Komplikationsrate durch Schraubenfehlagen verbunden [45, 52-54]. Daher wurde, um die räumliche Orientierung zur Schraubenplatzierung zu verbessern, an computergestützten Verfahren gearbeitet, welche eine dreidimensionale Berechnung des Beckenrings ermöglichen [54-61].

Im Gegensatz zur virtuellen 3D-Rekonstruktion beschrieben Ebraheim und Kollegen bereits 1987 eine andere Möglichkeit, perkutane Schrauben unter räumlicher Darstellung des Operationsgebietes im Becken einzubringen [62]. Ihre Technik, minimal invasiv unter direkter CT-Kontrolle zu operieren, wurde seitdem in mehreren Publikationen beschrieben [47-49, 51, 63-68]. Doch trotz der durchweg guten Ergebnisse fand diese Methode bisher und vor allem in Deutschland keine weite Verbreitung.

Im Klinikum der Universität München wurden in der Zeit von März 2004 bis November 2009 insgesamt 71 Patienten mit instabilen Beckenfrakturen durch eine CT-gesteuerte minimal invasive Osteosynthese versorgt.

Ziel dieser Arbeit war es daher die eigene Operationsmethode zur Versorgung instabiler Verletzungen des dorsalen Beckenrings darzustellen und im Kontext mit alternativen Verfahren kritisch zu bewerten. Neben den allgemeinen patienten- und verletzungsbezogenen Daten sollen insbesondere operationsspezifische Daten wie z.B. die Lagerung des Patienten, die benötigte Operationszeit, die verursachte Strahlenbelastung, als insbesondere auch operationsbezogene Ergebnisse wie die Genauigkeit der Schraubenplatzierung und das Auftreten perioperativer Komplikationen, noch prägnanter als in bisherigen Studien, evaluiert werden.

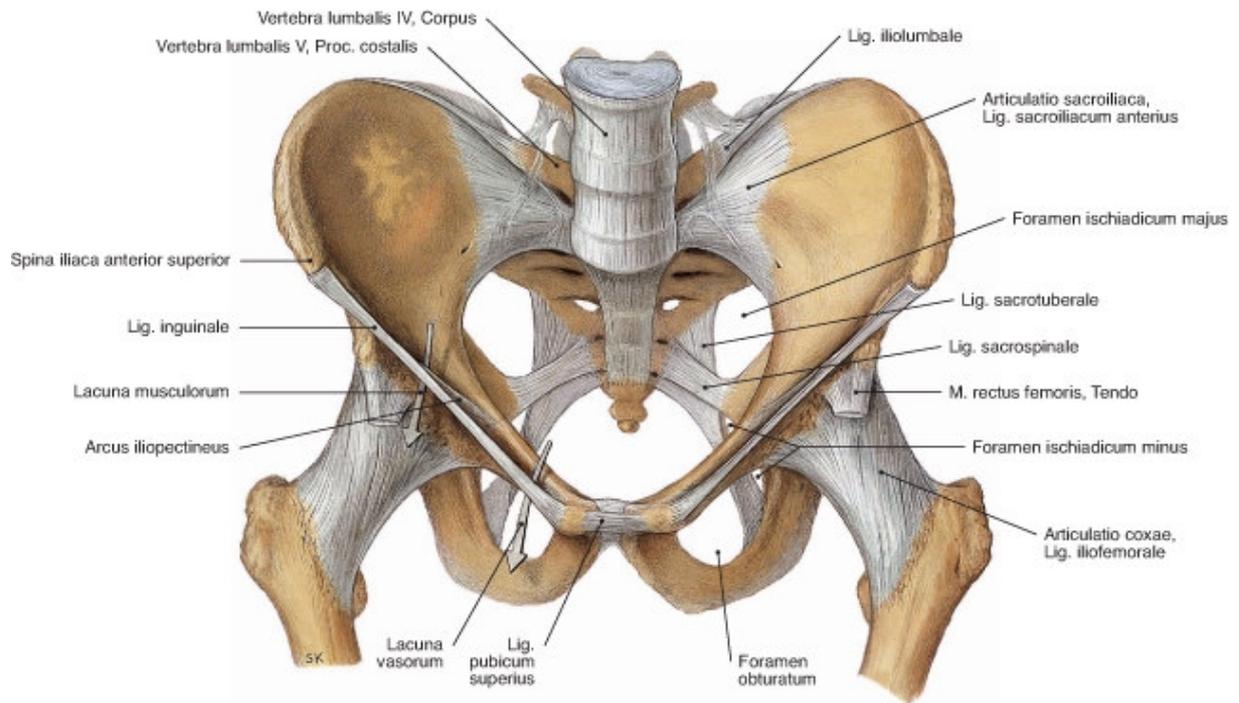
Darüber hinaus soll der klinische Verlauf und die Patientenzufriedenheit mittels einer klinischen Nachuntersuchung und dem Einsatz etablierter Fragebögen erhoben werden. Zu eruieren ist das biomechanische Operationsergebnis und die allgemeine klinische Durchführbarkeit, die korrekte Schraubenlage, das Auftreten von operativen und perioperativen Komplikationen sowie die Strahlenbelastung.

## **1.2 Grundlagen**

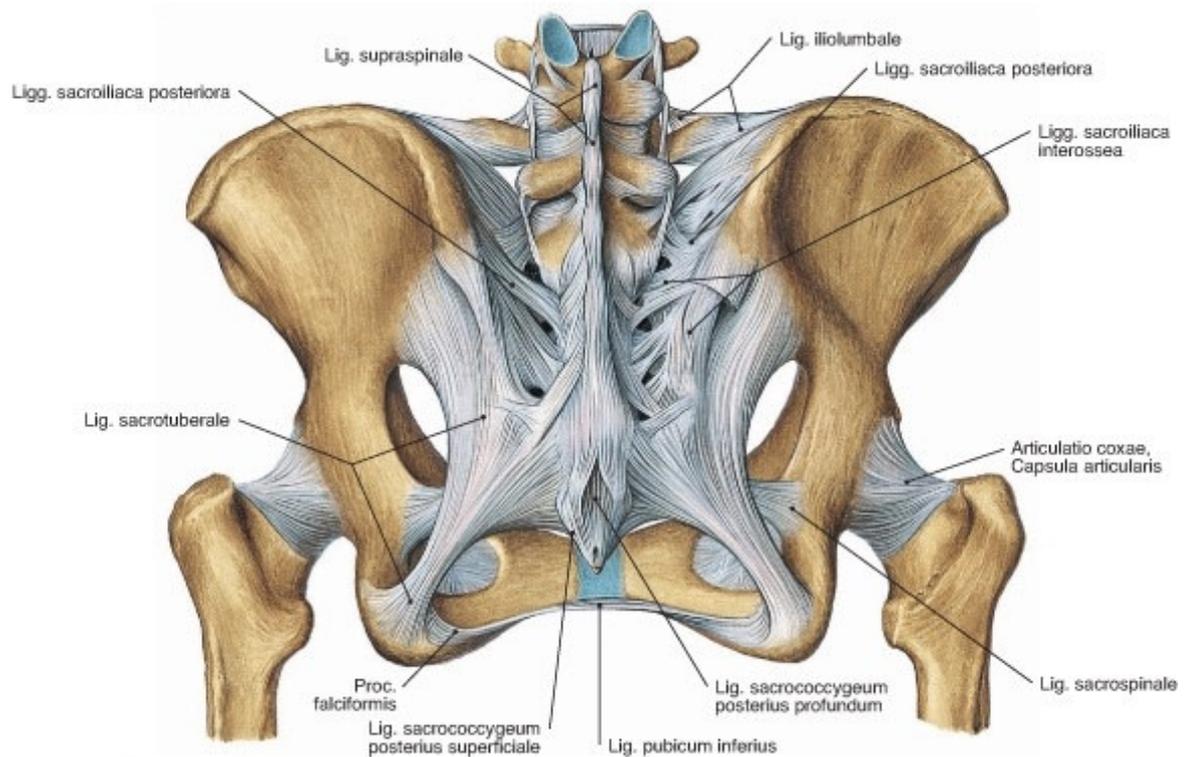
### **1.2.1 Anatomie des Beckenrings**

Die Darstellung der Anatomie soll sich auf die Strukturen beschränken, welche für das Verständnis dorsaler Beckenringfrakturen und assoziierter Begleitverletzungen nötig sind.

Das Becken ist als Ringstruktur angelegt und stellt das anatomische und funktionelle Bindeglied zwischen dem Achsenskelett und der unteren Extremität dar [69-73]. Die beiden Ossa coxae und das Os sacrum werden dorsal durch die Iliosakralgelenke und kräftige Bandstrukturen miteinander verbunden [69-70, 72, 74]. Die Ligg. sacroiliaca ventralia et dorsalia bilden dabei den intrinsischen, die Ligg. sacrotuberale et sacrospinale den extrinsischen Bandapparat, wobei nur ersterer dem Iliosakralgelenk direkt anliegt [73]. Die Symphysis pubica verbindet als Synchronrose die beiden Ossa coxae ventral miteinander und wird dabei nur durch schwache Bandverbindungen unterstützt [72]. Abbildung 1 zeigt das knöcherne Becken und dessen Bandstrukturen im Überblick.

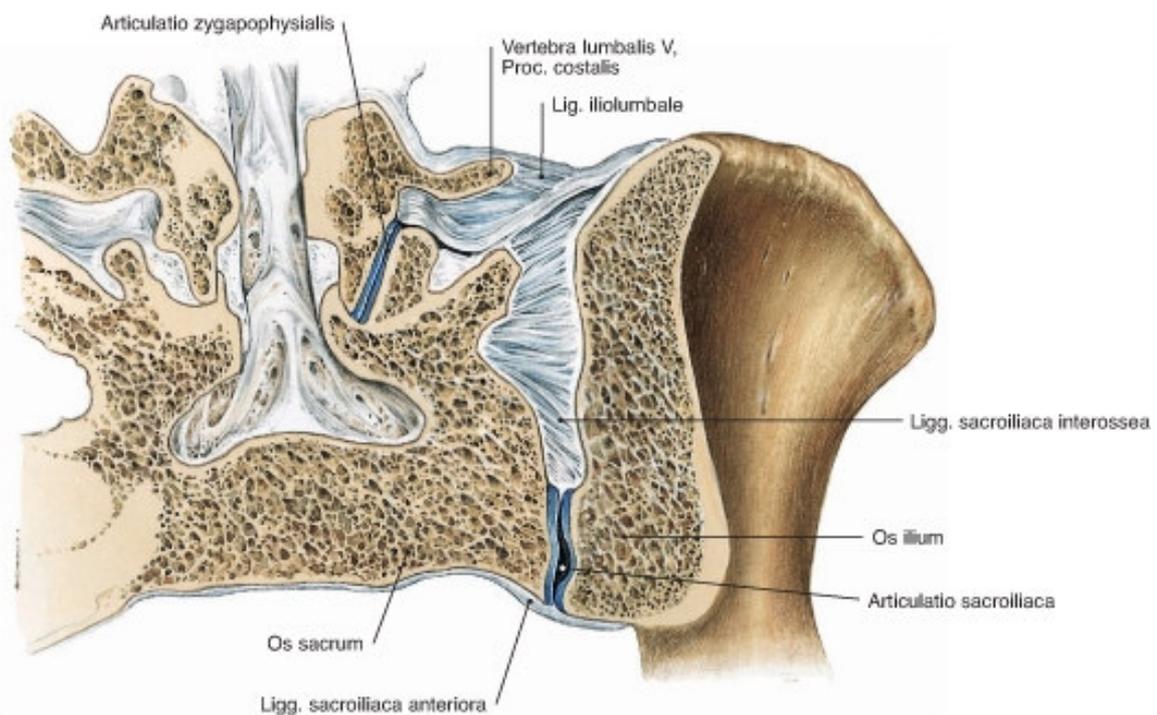


**Abbildung 1a:** Knochenverbindungen und Bandstrukturen des Beckens von ventral und 45 Grad kranial.  
 Aus [75] mit freundlicher Genehmigung des Elsevier Verlages.



**Abbildung 1b:** Knochenverbindungen und Bandstrukturen des Beckens von dorsal.  
 Aus [75] mit freundlicher Genehmigung des Elsevier Verlages.

Das Iliosakralgelenk stellt eine Amphiarthrose dar [73, 76]. Der Knorpel des Gelenks weist als eine morphologische Besonderheit eine Zweiteilung auf. Der iliakale Knorpel weist eine fibröse Struktur und eine Dicke von bis zu 1 mm auf. Der sakrale Anteil ist 1-2,5 mm breit und besteht aus hyalinem Knorpel. Das Iliosakralgelenk weist nur eine geringe und auf die Sagittalebene beschränkte Beweglichkeit auf, welche mit Nutration und Kontranutation bezeichnet wird [73]. Allerdings gewährleistet das Gelenk durch diese Beweglichkeit in Verbindung mit den starken intrinsischen und extrinsischen Ligamenten eine gute Stoßdämpferfunktion bei gleichzeitig sehr hoher Stabilität [72-73]. Abbildung 2 zeigt einen Frontalschnitt durch das Iliosakralgelenk.



**Abbildung 2:** Frontalschnitt durch das Iliosakralgelenk. Aus [75] mit freundlicher Genehmigung des Elsevier Verlages.

Beim aufrechten Gang tritt eine y-förmige Kraftübertragung über das Becken auf die Beine auf [69-74, 77]. Biomechanisch gesehen kann man hierbei das Becken in einen vorderen und hinteren Anteil untergliedern, wobei die relevanten Strukturen für die Stabilität und Kraftübertragung alle im dorsalen Anteil des Beckenrings zu finden sind [71-72]. Die Symphyse und die angrenzenden Scham- und Sitzbeinäste besitzen für die Stabilität des Beckenrings nur eine untergeordnete Rolle [72]. Von entscheidender Bedeutung ist hierbei neben der knöchernen Integrität ein intakter dorsaler und ventraler Bandkomplex des hinteren Beckenrings [74]. Bei Verletzung dieser Strukturen kommt es zu einer Instabilität und einer Aufhebung des physiologischen Kraftflusses. Bei Zerstörung der Bandstrukturen kann das ausgewogene System

der Kraftübertragung im Becken auch nach knöcherner Rekonstruktion gestört bleiben und das klinische Ergebnis verschlechtern [77].

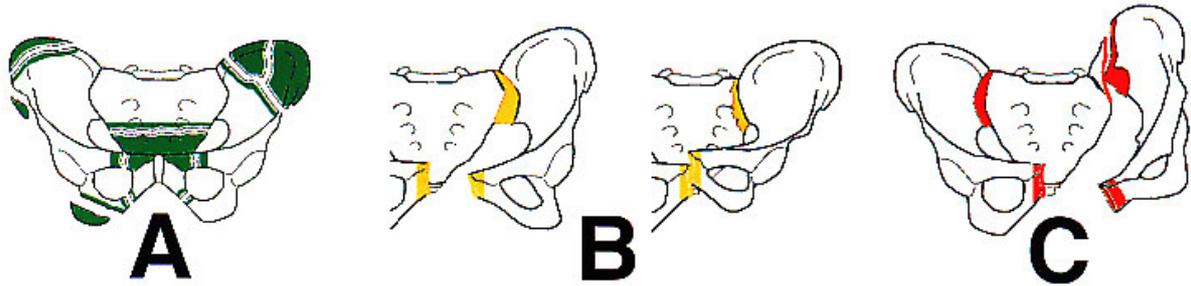
Neben diesen biomechanischen Aufgaben der Kraftübertragung übernimmt das knöcherne Becken auch eine Schutzfunktion für Organe des Urogenital- und Gastrointestinaltrakts sowie für die Gefäß- und Nervenbahnen zur unteren Extremität. Obwohl Verletzungen der großen Arterien bei Beckenverletzungen eher selten sind, kann es insbesondere durch Zerreißen des präsakralen und paravesikalen Venenplexus zu einer Massenblutung kommen. Zu den gefährdeten Nervenstrukturen zählen der Truncus lumbosacralis, der Plexus sacralis und der Plexus coccygeus. Bei den pelvinen Organen sind durch ihre enge räumliche Lage zum knöchernen Becken insbesondere die Harnblase und die Urethra gefährdet [74].

### **1.2.2 Fraktуреinteilung des Beckenrings nach der AO-Klassifikation**

Seit der ersten Klassifikation von Beckenfrakturen durch Malgaigne im Jahr 1847 wurden weit über 50 verschiedene weitere Beckenklassifikationen veröffentlicht [69, 74]. Die meisten hiervon orientierten sich dabei an rein anatomischen Kriterien. Pennal und Sutherland beschrieben 1961 eine sich am Unfallmechanismus orientierende Klassifikation, welche allerdings die klinische Stabilität des verletzten Beckenringes noch nicht berücksichtigte [74]. In diesem Punkt wurde diese Einteilung 1988 von Marvin Tile weiter modifiziert [69, 74].

Die aktuelle AO-Klassifikation der Beckenfrakturen, welche auf der 1996 publizierten „Comprehensive Classification of Fractures“ basiert und um die Segmente 61 (Becken) und 62 (Acetabulum) erweitert wurde, lehnt sich eng an die von Pennal und Tile erarbeitete Einteilung an [69]:

Es werden prinzipiell drei Frakturtypen (Typ A/B/C) unterschieden, die durch Ergänzung mit Gruppen, Untergruppen und Modifikatoren eine komplette Erfassung aller Verletzungskombinationen erlauben [69, 71-72]. In der Praxis lassen sich bereits durch die Einteilung in die drei Hauptgruppen stabile von instabilen Frakturen unterscheiden und damit die wesentlichen Therapieentscheidungen ableiten [71-72]. Abbildung 3 zeigt die drei Hauptgruppen.



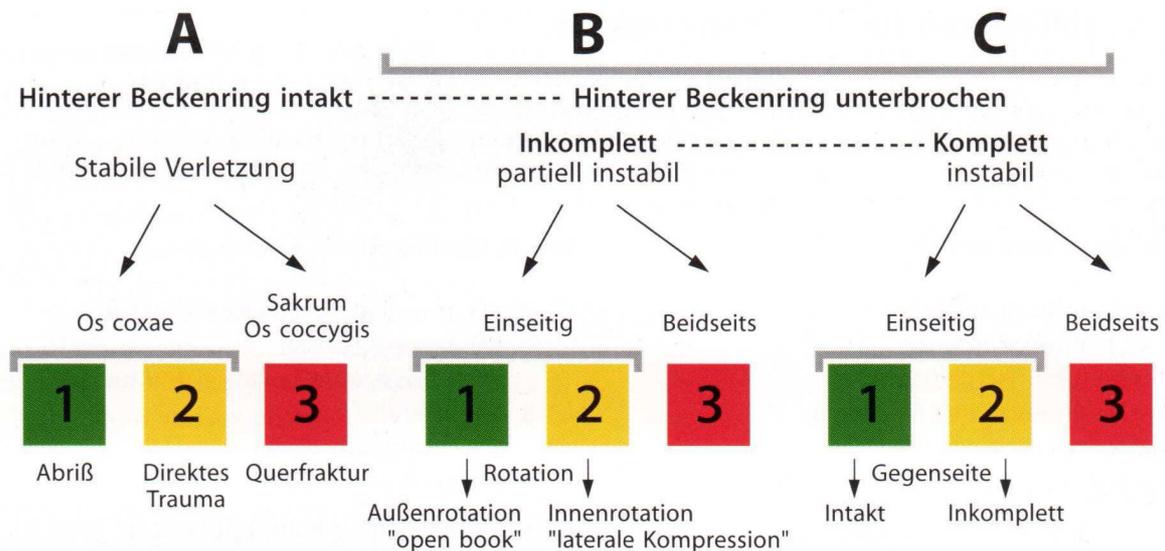
**Abbildung 3:**  
Hauptgruppen der AO-Klassifikation der Beckenringverletzungen (aus [69] mit freundlicher Genehmigung des Springer Verlages). Die farbigen Markierungen zeigen den Frakturverlauf bei den unterschiedlichen Gruppen.

Typ A: Die osteoligamentäre Integrität des dorsalen Beckenrings ist intakt.

Typ B: Die osteoligamentäre Integrität des dorsalen Beckenrings ist inkomplett durchbrochen.

Typ C: Die osteoligamentäre Integrität des dorsalen Beckenrings ist vollständig durchbrochen.

Diese drei Frakturtypen werden im folgendem jeweils mit ihren drei Untergruppen vorgestellt, Abbildung 4 zeigt diese Unterteilung. Spezifischere Untergruppen und Modifikatoren werden zur besseren Übersicht nicht gesondert aufgeführt und können der Ursprungsarbeit der Abbildung entnommen werden [69].



**Abbildung 4:**  
Hier sind die Untergruppen der Beckenringverletzungen gemäß der AO-Klassifikation aufgeführt (aus [69] mit freundlicher Genehmigung des Springer-Verlages).

### 1.2.2.1 Typ A-Frakturen

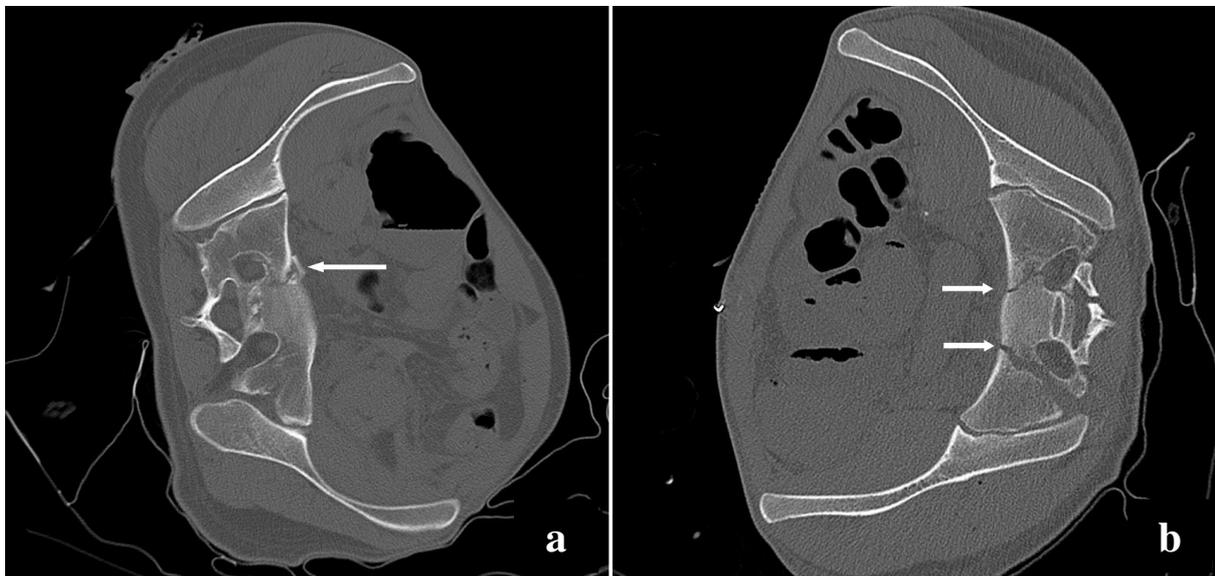
Die osteoligamentäre Integrität des dorsalen Beckenrings ist erhalten. Damit handelt es sich um eine stabile Beckenverletzung, welche physiologischen Belastungen weiterhin standhalten kann [69, 71-72, 74, 77]. Die Kraftübertragung kann weiterhin über das Sakrum erfolgen.

### 1.2.2.2 Typ B-Frakturen

Die Stabilität des dorsalen Beckenrings mit seinen osteoligamentären Anteilen ist nur noch partiell erhalten. Der vordere Beckenring ist unterbrochen. Dies führt zu einer Rotationsinstabilität der betroffenen Beckenhälfte. In der Regel sind diese Verletzungen Folge einer anterioposterioren oder lateralen Krafteinwirkung, die entsprechend zu einer Außenrotations- bzw. Innenrotationsverletzung führt. Bei einer beidseitigen Außenrotation spricht man von einer „Open-book“-Verletzung [69, 71-72, 74, 77]. Abbildung 5a zeigt eine Typ B-Fraktur.

### 1.2.2.3 Typ C-Frakturen

Es kommt iliakal, im Bereich des Iliosakralgelenks oder sakral zu einer kompletten Durchtrennung des dorsalen Beckenringsegments. Die Kontinuität zwischen allen osteoligamentären Elementen des hinteren Beckenrings ist zerstört und damit eine dreidimensionale translatorische und rotatorische Instabilität vorhanden [69, 71-72, 74, 77]. Abbildung 5b zeigt eine Typ C-Fraktur.



**Abbildung 5a:**

*Beispiel für eine Typ B-Fraktur:  
Der Pfeil zeigt auf eine Frakturlinie, welche sich vom ventralen Sakrum bis zum Neuroforamen zieht. Der dorsale Beckenring ist damit partiell unterbrochen, was zu einer teilweisen Instabilität führt.*

**Abbildung 5b:**

*Beispiel für eine Typ C-Fraktur:  
Die Pfeile weisen jeweils auf den ventralen Beginn einer Frakturlinie hin, die sich nach dorsal durch das gesamte Sakrum erstrecken. Der dorsale Beckenring ist damit auf beiden Seiten vollständig durchbrochen und besitzt entsprechend keine Stabilität mehr.*

## **2 Methodik**

### **2.1 Die CT-gesteuerte minimal invasive Verschraubung des ISG**

Im Folgenden soll detailliert das Verfahren der CT-gesteuerten minimal invasiven Verschraubung instabiler dorsaler Beckenringverletzungen am Klinikum der Universität München Campus Großhadern dargestellt werden.

#### **2.1.1 Die Indikationsstellung**

Um eine genaue Indikation für die minimal invasive perkutane Osteosynthese stellen zu können, muss zunächst eine Diagnostik des Beckens mittels Computertomographie erfolgen. Hierbei wird das genaue Ausmaß der Beckenringverletzungen ermittelt. Es besteht auch die Möglichkeit, aus den so gewonnenen Daten dreidimensionale Rekonstruktionen zur besseren räumlichen Veranschaulichung des verletzten Beckenrings zu gewinnen.

Auf Grundlage der so erhobenen fundierten Daten wird die Indikation zur CT-gesteuerten Verschraubung in folgenden Fällen gestellt:

- Zum einen bei Sprengungen des Iliosakralgelenks, bei denen es zu Zerreißen der starken Bandstrukturen zwischen dem Sakrum und einer oder beider Darmbeinschaufeln gekommen ist.
- Zum anderen bei Längsbrüchen durch das Kreuzbein sowie gelenksnah durch das Os Ileum.

Alle diese Verletzungen führen zu einer Instabilität des dorsalen Beckenringes.

#### **2.1.2 Das Operationssetting**

Um eine bestmögliche Versorgung der Patienten durch das dargestellte Verfahren zu ermöglichen, ist eine enge interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Traumatologen und interventionellen Radiologen erforderlich. Dies wird am Klinikum der Universität München durch die Kooperation des Instituts für Klinische Radiologie und der Traumatologie der Chirurgischen Klinik und Poliklinik am Standort Großhadern sichergestellt.

### **2.1.2.1 Aufbau und technische Ausstattung des Operationsraumes**

Die Besonderheiten dieser Zusammenarbeit werden schon bei der Wahl der Räumlichkeiten sichtbar. Die operative Stabilisierung erfolgt in einem eigenen Interventions-CT-Raum des Instituts für Klinische Radiologie. Dieser Interventionsraum ist einem klassischen Operationsraum vergleichbar ausgestattet und bietet die Möglichkeit, den narkotisierten Patienten anästhesiologisch zu überwachen und unter computertomographischer Kontrolle zu operieren. Das CT-Gerät (Siemens - Somatom<sup>®</sup> Definition) ermöglicht zum einen die Anfertigung konventioneller Bilderserien mit hoher Auflösung. Zum anderen kann auch direkt während der Operation eine CT-Durchleuchtung erfolgen. Alle Funktionen können auch vom Operateur selbst über eine Konsole am CT-Tisch bedient werden. Dies erlaubt die Orientierung in Echtzeit, was gerade für dieses Verfahren ausgesprochen wichtig ist.

Um die Strahlenbelastung während des Eingriffs für den Patienten und das Personal zu minimieren wird das CT-Gerät im Hand-Care-Modus betrieben. In diesem Modus lässt sich durch eine segmentale Röhrenabschaltung die effektive Dosis für den Patienten auf einen Wert von 47 % und die Streustrahlung um 30-60 % reduzieren [78].

### **2.1.2.2 Personelle Besetzung des Operationsraumes**

Das Personal, welches direkt an der Operation beteiligt ist, setzt sich entsprechend den interdisziplinären Anforderungen zusammen. Für die adäquate Narkoseführung sind ein Anästhesist und eine anästhesiologische Pflegekraft verantwortlich. Steril am Patienten arbeiten ein Unfallchirurg, der den Patienten auch stationär betreut, ein mit interventionellen Eingriffen erfahrener Radiologe und eine anreichende Pflegekraft. Zudem wird mindestens ein medizinisch-technischer Radiologieassistent (MTRA) benötigt, um die entsprechenden CT-Einstellungen und Untersuchungsvorgänge im Kontrollraum vorzunehmen.

## **2.1.3 Operationsablauf**

### **2.1.3.1 Vorbereitung und Lagerung des Patienten**

Die Patienten erhielten eine Intubationsnarkose durch die Anästhesie. Diese gewährleistet neben der Schmerzfreiheit und Sicherung der Atemwege auch ein Ruhigliegen der Patienten während des gesamten Operationsablaufs.

Da die Operation direkt auf dem CT-Tisch durchgeführt wird, kommt der perioperativen korrekten und stabilen Lagerung des Patienten große Bedeutung zu. Hierfür wird der Patient in Seitenlage auf dem CT-Tisch in einer Vakuummatratze gelagert. Die zu operierende verletzte

Seite ist dabei nach oben gerichtet. Die Matratze wird dem Patienten entsprechend angepasst und bei geeigneter Position abgesaugt und damit stabilisiert. Bei geeignetem Frakturtyp kann allein durch die seitliche Lagerung und die individuelle genaue Anpassung der Vakuum-Matratze mithilfe der Schwerkraft sowie der richtigen Ausrichtung des Beckens bereits eine Reposition der Fraktur erreicht werden. In seltenen Fällen kann durch Zug am Bein bzw. Außenrotation/Innenrotation die Reposition erfolgen.

Anschließend wird die genaue Position des Patienten, welche bis zum Abschluss der Operation der entsprechenden Seite nicht mehr verändert wird, mit dem Markierungslaser des CT-Gerätes (Siemens - Somatom<sup>®</sup> Definition) erfasst und gespeichert. Dies stellt sicher, dass die Lage des Patienten auch nach dem Hinein- und Herausfahren in die CT-Gantry stets genauestens reproduzierbar ist und sogar in Relation zu den radiologischen Bilddaten gesetzt werden kann.

Nach abgeschlossener Lagerung des Patienten wird für die Operation ein Planungs-CT durchgeführt. Anhand diesem wird die optimale osteosynthetische Versorgung der Fraktur mit den entsprechenden ossären Korridoren geplant.

Als letzter Schritt der Vorbereitung wird das Operationsgebiet dreimal gründlich unter Beachtung der entsprechenden Einwirkzeit desinfiziert und anschließend eine sterile vertikale Abdeckung der Firma Care Fusion über dem Patienten und dem CT-Gerät ausgebreitet. Diese besitzt nur eine kleine aufklebbare Öffnung, welche entsprechend auf dem direkten Operationsgebiet platziert wird.

Damit sind alle Vorbereitungen für den eigentlichen Eingriff getroffen. Abbildung 6 zeigt einzelne Schritte der Vorbereitung eines Patienten auf die Operation.



**Abbildung 6a:**

Der Patient ist in Intubationsnarkose seitlich in einer Vakuummatratze auf dem CT-Tisch gelagert. Die genaue Position des Patienten wird mit dem Laser des CT-Gerätes erfasst, so dass beim Hinein- und Hinausfahren der Gantry die Positionierung wieder exakt hergestellt werden kann.

**Abbildung 6b:**

Die gesamte Haut im Operationsgebiet wird unter Berücksichtigung der entsprechenden Einwirkzeiten gründlich desinfiziert.

**Abbildung 6c:**

Die aufklebbare Öffnung der sterilen Abdeckung wird über dem direkten Operationsgebiet platziert.

**Abbildung 6d:**

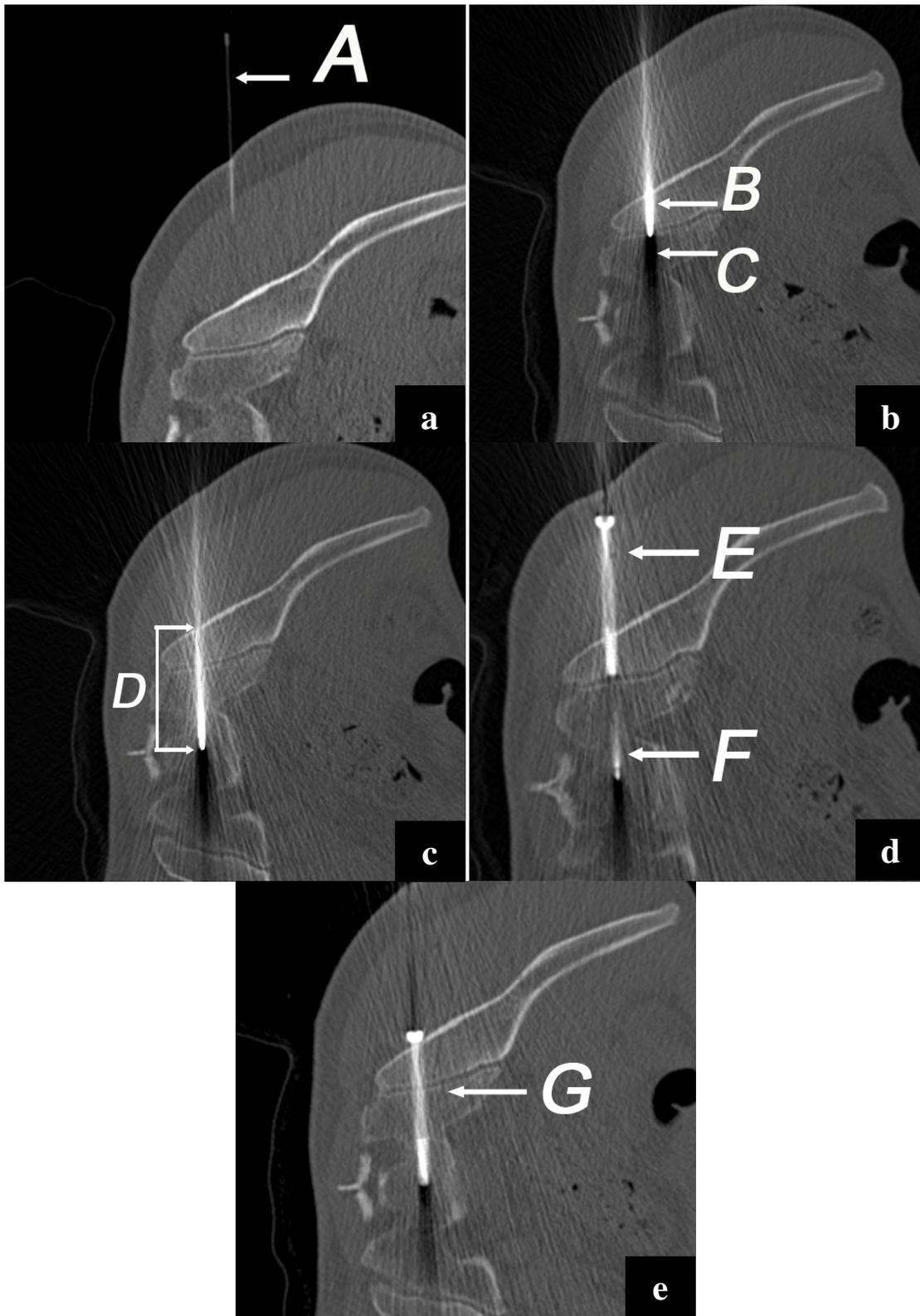
Die sterile Abdeckung wird über den gesamten CT-Tisch und die Frontseite der Gantry ausgebreitet und befestigt. Der Patient kann auch mit dieser sterilen Abdeckung weiterhin in die Gantry hinein- und hinausgefahren werden.

### 2.1.3.2 Operatives Vorgehen

Zu Beginn des eigentlichen operativen Eingriffes wird mit einer feinen dünnen Nadel der Eintrittspunkt auf der Haut sowie am Knochen festgelegt und kontrolliert. Anschließend wird ein etwa 1cm langer Hautschnitt oberhalb der gewünschten Eintrittspunkte der Schrauben am Os ileum gesetzt. Über diese Inzision wird vorsichtig ein 3,2 mm dicker Führungsdraht eingebracht, bis er dem Knochen an der geplanten Eintrittsstelle aufliegt. Eine kurze Durchleuchtung unter CT-Fluoroskopie (iFluoro) und eventuelle Korrektur des Einbringwinkels ist hier-

bei möglich. Diese kann der Radiologe während des Eingriffs, durch steril abgedeckte Steuerungselemente (iControl-Panel) am Tisch selbst ausführen. Die Tatsache, dass der Draht einen Strahlenschatten wirft, welcher genau der Achse des Drahtes und somit dem zu erwartenden Einbringkanal entspricht, ist hierbei sehr nützlich. Damit lässt sich der beste Eintrittspunkt und -winkel festlegen und es kann exakt abgeschätzt werden, wo die über den Führungsdraht eingebrachte Schraube zu liegen kommen wird. Die Position des Führungsdrahtes lässt sich zu diesem Zeitpunkt noch problemlos verändern, bis die optimale Ausrichtung erreicht ist. Dann wird der Führungsdraht mit vorsichtigen Hammerschlägen unter iFluoro-Kontrolle vorgerieben. Durchzieht nun der Führungsdraht in der gewünschten Linie und Länge transiliosakral das Ileum sowie das Sakrum, kann die genaue Länge sowie der Durchmesser für die benötigten Schrauben im CT abgemessen werden. Dies ermöglicht es, auf den Millimeter genau die spätere optimale Schraubenlage zu planen, um eine komplikationsfreie und stabile Osteosynthese zu erreichen.

Bei sehr stabilen Knochen kann der Unfallchirurg den korrekt liegenden Draht mit einem sterilen Hohlbohrer überbohren, um die Schraubeneinbringung zu erleichtern. Verwendet werden Hohlschrauben aus Titan der Firma DePuy, welche mit verschiedener Länge, Durchmesser und Gewindelänge zur Verfügung stehen. Diese werden auf den Führungsdraht aufgefädelt und dann geführt und unter CT-Kontrolle eingedreht. Ziel ist es, dass das Gewinde der Schraube vollständig hinter dem Frakturspalt zum liegen kommt, damit ein Zugeffekt und eine Feinreposition erreicht werden kann. Liegt die Schraube in ihrer vorgesehenen Endposition, ist die Fraktur stabilisiert. Abbildung 7 zeigt zeitlich aufeinanderfolgende Operationsfortschritte bei der Schraubeneinbringung.



**Abbildung 7a:**

Markierung A zeigt auf eine dünne Nadel, mit welcher der bestmögliche Eintrittspunkt an der Haut für die spätere perkutane Osteosynthese ermittelt wird.

**Abbildung 7b:**

Über einen kleinen Hautschnitt wird vorsichtig ein Führungsdraht (Markierung B) eingebracht, der im Bild das Os ileum durchzieht und mit seiner Spitze im ISG-Gelenk liegt. Er wirft hierbei einen Strahlenschatten (Markierung C), welcher bei gleichbleibendem Winkel den zu erwartenden Einbringkorridor vorgibt.

**Abbildung 7c:**

Der Führungsdraht liegt nun in einem engen knöchernen Korridor zwischen den Neuroforamina in seiner gewünschten Endposition. Markierung D zeigt die Strecke, welche intraoperativ abgemessen wird um exakt die benötigte Schraubenlänge zu bestimmen.

**Abbildung 7d:**

Die Hohlschraube (Markierung E) wird auf den Führungsdraht (Markierung F) aufgefädelt und entlang diesem sicher eingebracht.

**Abbildung 7e:**

Markierung G zeigt die Schraubenosteosynthese in ihrer endgültigen Position nach Entfernung des Führungsdrahtes.

Der Führungsdraht wird entfernt und eine abschließende konventionelle CT-Kontrolle durchgeführt. Somit wird bereits vor Abschluss der OP der höchstmögliche Standard zur Beurteilung der Schraubenlage erreicht. Die Stichinzision der Haut wird mit ein bis zwei Einzelknopfnähten verschlossen, wie auf Abbildung 8 zu sehen ist.



**Abbildung 8:**

Der ca. 2 cm kleine Hautschnitt wurde mit zwei Einzelknopfnähten verschlossen.

Um eine ausreichende biomechanische Stabilität zu erreichen, werden Verletzungen des Iliosakralgelenks mit einer Schraube und Sakrumfrakturen mit zwei Schrauben osteosynthetisch versorgt. Bei beidseitiger Osteosynthese wird der Eingriff erst vollständig auf einer Seite durchgeführt. Anschließend wird der Patient auf die Gegenseite gelagert und die Operation in gleicher Weise wiederholt.

Bei pathologischen Frakturen durch Osteoporose oder auch Metastasen besteht zudem die Möglichkeit, eine Zementaugmentation über die Hohlschrauben durchzuführen. Dies schließt zwar eine spätere Entfernung der Schrauben aus und sperrt unter Umständen endgültig die Beweglichkeit des Iliosakralgelenks, andererseits wird hierdurch eine stärkere Schraubenfixierung und Stabilisierung des Beckenringes erreicht. Vor allem im höheren Alter kann dies eine adäquate Versorgungsmethode darstellen.

### 2.1.3.3 Postoperatives Prozedere

Nach erfolgter Osteosynthese soll eine möglichst rasche Mobilisation des Patienten angestrebt werden. Am Klinikum Großhadern gilt nach einer CT-gesteuerten Osteosynthese folgendes in Tabelle 1 dargestelltes Nachbehandlungsschema.

**Tabelle 1:** Postoperatives Prozedere.

<b>Zeit</b>	<b>Bewegungslimitation und Hilfsmittel</b>	<b>Physiotherapie</b>
1.- 6. Woche	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ 60° Oberkörperhochlage</li><li>▪ Hüftflexion bis max. 90°</li><li>▪ Toilettensitzerhöhung</li><li>▪ Keilkissen</li></ul>	Teilbelastung mit 20kg der betroffenen Seite
Ab 7. Woche	Freie Bewegung	Zunehmende Vollbelastung in Abhängigkeit zur Muskelkraft

In der Regel erfolgt die Entfernung der eingebrachten Schrauben 6 Monate nach der Operation. Damit soll zum einen jegliches Fremdmaterial aus dem Körper entfernt, zum anderen das Iliosakralgelenk wieder freigegeben werden. Wird das Gelenk zu lange durch die Osteosynthese gesperrt, können die knorpeligen Anteile verknöchern. Dies führt zu einer Versteifung und Bewegungseinschränkung im betroffenen Iliosakralgelenk. Bei älteren Patienten, deren Beweglichkeit regelhaft ohnehin schon stärker eingeschränkt ist, muss die Metallentfernung nicht obligat erfolgen. Hier ist letztendlich der Wunsch des Patienten und der Grad der Komorbidität ausschlaggebend. Bei mit einer Zementaugmentation verbundenen Osteosynthese verbleiben die Schrauben entsprechend im Körper und können nicht mehr entfernt werden.

## 2.2 Studiendesign

Die hier vorliegende Kohortenstudie soll retrospektiv die Operationsmethode der minimal invasiven perkutanen CT-gesteuerten Verschraubung des dorsalen Beckenringes, in der Zeitspanne von 2004 bis 2009 am Klinikum Großhadern der Universität München, kritisch evaluieren.

## **2.3 Datenerhebung**

In Bezug auf die Datenerhebung sei darauf hingewiesen, dass 30 der hier insgesamt dargestellten 71 Patienten bereits in einer vorgeschalteten Dissertation teilweise bearbeitet und nach Zustimmung der Arbeitsgruppe in diese Dissertation integriert wurden. Die folgenden Methodenbeschreibungen beziehen sich, soweit nicht anders bezeichnet, auf die hinzugekommenen 41 Patienten.

Die Auswertung der CT-Daten erfolgte an einer Work-Station im Institut für Klinische Radiologie.

### **2.3.1 Patientengut**

#### **2.3.1.1 Erfassung des Patientenkollektives**

Das Studienkollektiv umfasst alle Patienten, welche vom 04.03.2004 bis zum 27.11.2009 eine Behandlung mit einer CT-gesteuerten Osteosynthese im Bereich des dorsalen Beckenrings erhielten. Die bereits aus 30 Patienten bestehende Liste wurde entsprechend auf 71 Patienten vervollständigt.

#### **2.3.1.2 Allgemeine Patienteninformationen**

Um an die allgemeinen Patienteninformationen zu gelangen, wurden sämtliche Patientenakten aus dem Archiv des Klinikums Großhadern organisiert und manuell gesichtet. Die entsprechenden Arztbriefe, Operationsprotokolle, Röntgen/CT-Befunde sowie die Dokumentation der klinischen Chemie waren zudem nach Erteilung der Zugangsberechtigung im Intranet der chirurgischen Klinik abrufbar.

Name, Geschlecht und Alter, wie auch relevante Vorerkrankungen( z.B. Osteoporose) und Medikationen wurden ermittelt und in eine Microsoft Access Datenbank übertragen.

Zudem wurden allgemeine Daten zum Unfall und zur Operation wie Operationstag, das Zeitintervall vom Trauma bis zum endgültigen Eingriff sowie alle operativ-therapeutischen Verfahren neben der CT-gesteuerten Beckenringverschraubung erfasst.

### 2.3.1.3 Erhebung der Verletzungsursache

Die Verletzungsursache wurde bei allen Patienten, die zur Nachuntersuchung erschienen, nochmals genau erfragt. Ansonsten wurde sie den Arztbriefen, oder soweit vorhanden, den Notarztprotokollen entnommen.

Zur besseren Strukturierung wurden für das Patientenkollektiv geeignete Gruppen gebildet, denen sie zugeordnet wurden. Diese zeigt Tabelle 2.

**Tabelle 2:** Unterteilung in verschiedene Verletzungsursachen.

Verletzungsursache	
<i>Hochenergetisches Trauma</i>	<i>Pathologische Fraktur / Metastasen</i>
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Verkehrsunfall</li><li>▪ Sturz aus großer Höhe</li><li>▪ Sportunfall</li><li>▪ andere Unfälle</li></ul>	Bagateltrauma oder Ermüdungsbruch auf Grundlage einer: <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Osteoporose</li><li>▪ Metastasierung</li></ul>

### 2.3.1.4 Bestimmung der Verletzungsmuster

Es wurde stets das vollständige Verletzungsmuster der Patienten mittels der Patientenakten erfasst und in die Datenbank aufgenommen.

Besondere Sorgfalt wurde dabei den Verletzungen des dorsalen Beckenringes gewidmet. Hierbei wurde neben der AO-Klassifikation (siehe 1.2.2) auch explizit die Beteiligung von Ilium, Iliosakralgelenk und Sakrum mit der jeweiligen Seite der Verletzung festgehalten. Bei Sakrumfrakturen wurde zudem die Denis-Klassifikation angewandt und die Beteiligung der Neuroforamina überprüft. Besonderes Augenmerk galt zudem potentiellen nach dem Trauma aufgetretenen neurologisch-vaskulären Auffälligkeiten im Bereich des Beckens und der unteren Extremitäten.

Diese Informationen wurden zum einem ebenfalls den Arztbriefen entnommen, zum anderen aber bei der radiologischen Auswertung der CT-Bilder und der körperlichen Nachuntersuchung der Patienten nochmals überprüft und ergänzt.

## 2.3.2 Datenerhebung zur Operationsmethode

### 2.3.2.1 Bestimmung der Operationsdauer

Als Operationsdauer wurde die Zeitspanne von Hautschnitt bis Hautnaht definiert. Diese Schnitt-Naht-Zeit wurde dem jeweiligen Operationsprotokoll entnommen. Zu beachten ist hierbei, dass bei beidseitig operierten Patienten die zur Umlagerung benötigte Zeit mit einbezogen ist.

### 2.3.2.2 Ermittlung der Strahlenbelastung

Die Berechnung der effektiven Dosis erfolgte entsprechend nach folgender Formel [79]:

$$E = \text{DLP}_{\text{Luft}} \cdot f_{\text{mittel}} \quad [f_{\text{mittel}}] = \text{mSv/mGy} \cdot \text{cm}$$

**E** bezeichnet hierbei die gesuchte effektive Dosis. Der mittlere Konversionsfaktor **f** trägt der Belastbarkeit verschiedener Körperregionen Rechnung. Für das Becken erwachsener Patienten beträgt er 0,011 bei Frauen und 0,0062 bei Männern [79]. Für Kinder bis 7 Jahre und Säuglinge gelten andere Werte. Das Patientenkollektiv enthielt in dieser Hinsicht allerdings nur erwachsene Patienten.

Das Dosislängenprodukt (DLP) wurde für jeden Patienten einzeln aus dem jeweiligen CT-Protokoll der Operation entnommen, welches den Bilderserien beiliegt. Dabei wurden die einzelnen Dosislängenprodukte aller CT-Aufnahmen und Durchleuchtungssequenzen, die zur Operation gehörten, addiert und als  $\text{DLP}_{\text{gesamt}}$  erhoben. Dies umfasst auch die Planungs- und Kontrollaufnahmen zu Anfang und Ende des Eingriffs. Bei einigen polytraumatisierten Patienten wurde die Verschraubung des Iliosakralgelenks, durch die Verfügbarkeit des CT, mit anderen diagnostischen oder operativen Maßnahmen kombiniert. Die jeweiligen Dosislängenprodukte wurden allerdings nur dann weggelassen, wenn sie auch eindeutig als nicht zur beschriebenen Operationsmethode gehörend zu identifizieren waren.

### **2.3.2.3 Radiologische Beurteilung der Schraubenlage**

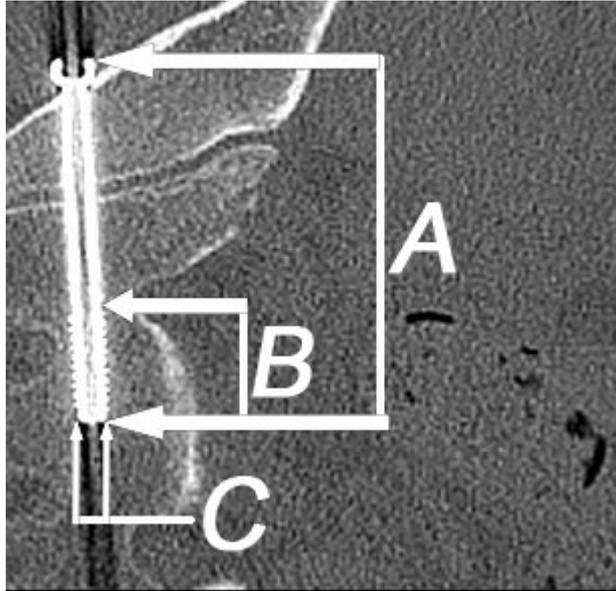
Um eine genaue und radiologisch korrekte Auswertung der Daten zu ermöglichen, wurde diese an einer Work-Station im Institut für Klinische Radiologie durchgeführt.

Als erster Schritt erfolgte das Auswählen der erforderlichen Bilderserien der Patienten aus dem Röntgenarchiv. Dies beinhaltete in erster Linie alle vorliegenden CT-Bilder vom Becken des Patienten vom Unfallzeitpunkt bis hin zu den Nachuntersuchungsaufnahmen. Zur ergänzenden Orientierung wurden aber auch entsprechende konventionelle Beckenübersichtsaufnahmen mit ausgewählt und zusammen mit den CT-Serien vom Archiv auf die Arbeitsplattform der Radiologie geladen. Damit waren die entsprechenden Bilder bereit zur Bearbeitung.

Bei den Serien mit axialer Schnittführung wurden vorzugsweise die Bilder zur Messung verwendet, welche die Schrauben vollständig in ihrem Verlauf darstellten und eine genaue Messung zu den angrenzenden Strukturen ermöglichten (vergleiche Abb.10). Um bei der vorliegenden Schichtdicke von 2 mm die Schraube vollständig in ihrer Lage kontrollieren zu können, wurden zudem auch alle Bilder betrachtet, welche die Schrauben teilweise anschnitten.

Zur Beurteilung der anatomischen Verhältnisse wurde der größte Breitendurchmesser des ersten und zweiten Sakralwirbels sowie die Höhe und Breite der Neuroforamina erfasst. Um die Höhe der Wirbelkörper zu messen, wurden sagittale oder koronare Rekonstruktionen verwendet.

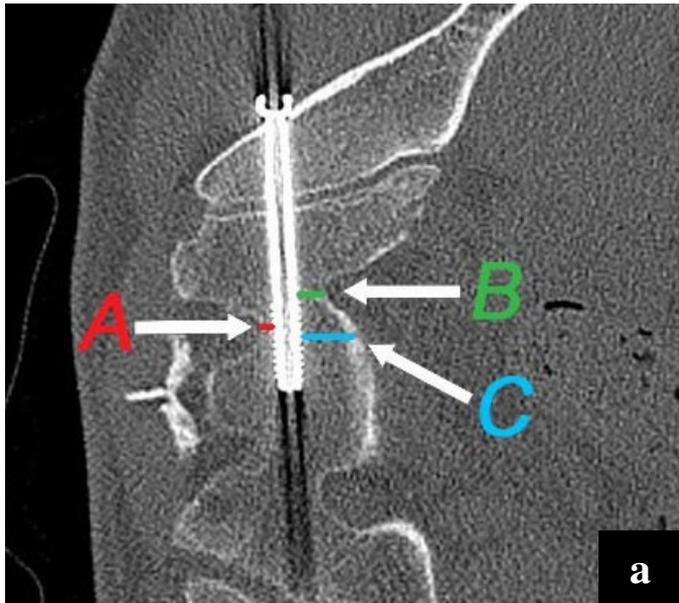
Zur genauen Bezeichnung der Schrauben wurden für die möglichen Positionen Ziffern von eins bis vier vergeben. Eins und Zwei bezeichneten dabei eine Lage in der rechten Beckenhälfte. Die niedere Ziffer erhielt die Schraube, die näher zur Lendenwirbelsäule lag. Die Ziffern Drei und Vier bezeichneten in selber Weise eine Positionierung in der linken Beckenhälfte. Von jeder Schraube wurde die Gesamtlänge, die Gewindelänge und der Querschnittsdurchmesser bestimmt. Die entsprechenden Messpunkte sind in Abbildung 9 eingezeichnet.



**Abbildung 9:**

*Die Abbildung zeigt eine Schraube in Endposition. In dieser Schnittebene ist deutlich zu sehen, dass die Schraube innen hohl ist. Markierung A zeigt die Messpunkte für die Schraubenlänge, Markierung B für die Gewindelänge und Markierung C für die Schraubendicke.*

Ein besonderes Augenmerk galt den minimalen Abständen der Schrauben innerhalb der Sakralwirbel im Bezug zu sensiblen Strukturen. Um das mögliche Auftreten von Schraubenfehlern und damit denkbaren Komplikationen genauestens evaluieren zu können, wurde in den Bildern mit axialer Schnittführung jeweils der kürzeste Abstand von der Schraube zur ventralen oder dorsalen Kortikalis sowie zum nächstgelegenen Neuroforamen bestimmt. Anhand koronarer oder sagittaler Rekonstruktionen wurde zudem die kürzeste Strecke zur Grund- oder Deckplatte ermittelt. In Abbildung 10 werden die wichtigsten Messpunkte beispielhaft dargestellt.



**Abbildung 10a:**

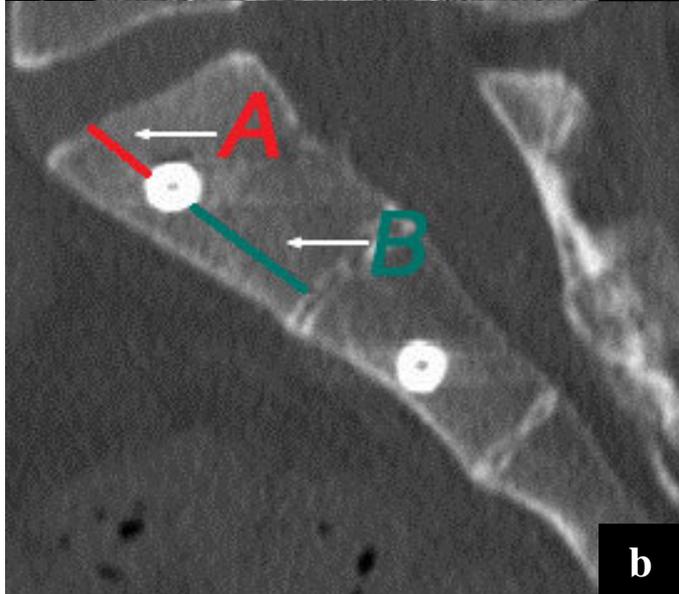
In diesem Transversalschnitt sind beispielhaft verschiedene Messstrecken eingezeichnet und mit den folgenden Markierungen bezeichnet:

A: Abstand zum ersten Neuroforamen

B: Abstand zum zweiten Neuroforamen

C: Abstand zur ventralen Kortikalis

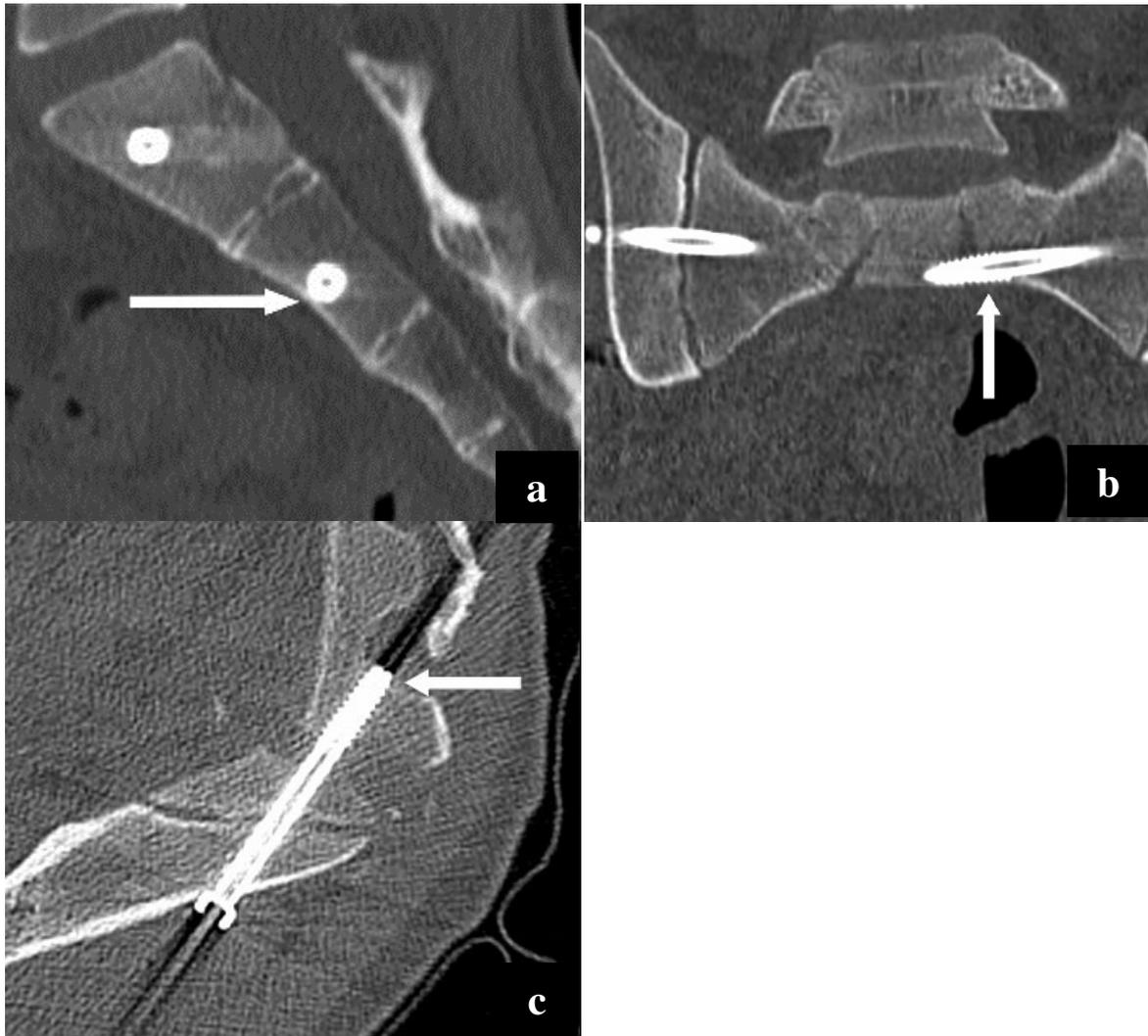
Die Strecke A ist geringer als die Strecke B und würde entsprechend als minimaler Abstand zum Neuroforamen in die Messung eingehen



**Abbildung 10b:**

In diesem Sagittalschnitt sind beispielhaft die Messstrecken zur Grundplatte (Markierung A) bzw. Deckplatte (Markierung B) eingezeichnet. Da A den kürzeren Abstand bezeichnet, würde dieser entsprechend als minimaler Abstand zur Grund/Deckplatte in die Messung mit eingehen.

Kam es zur Berührung mit der Kortikalis der genannten Strukturen, wurde dies bei jeder Schraube einzeln explizit vermerkt. Hierbei wurde exakt beurteilt und notiert, ob die Schraube der Kortikalis nur anlag, anhob, oder vollständig perforierte. Abbildung 11 zeigt für jeden der genannten Fälle ein Beispiel.



**Abbildung 11a:**

*In diesem Sagittalschnitt des Sakrums ist beispielhaft eine Schraube in SWK 2 markiert, welche teilweise in der Kortikalis liegt.*

**Abbildung 11b:**

*In diesem Koronarschnitt ist eine Schraube markiert, die mit ihrem Gewinde die Kortikalis leicht nach caudal perforiert. Insgesamt perforierten 3 Schrauben bis maximal einen Millimeter.*

**Abbildung 11c:**

*In diesem Transversalschnitt ist die einzige Schraube zu sehen die um mehr als einen Millimeter perforierte. Der Markierungspfeil zeigt auf die Schraubenspitze, die um 2,2 Millimeter in das Neuroforamen eindringt. Die Schraubenlage führte trotzdem zu einer adäquaten Fixierung des Bruchs ohne Auftreten von neurovaskulären oder anderen Komplikationen. Der betroffene Patient ist in Abbildung 12 zu sehen. Die Fraktur komplikationslos ausgeheilt.*

#### **2.3.2.4 Radiologische Beurteilung des Repositionsergebnisses**

Ein weiterer wichtiger Punkt war die Beurteilung des Repositionsergebnisses anhand der am Operationsende durchgeführten Kontroll-CT-Aufnahmen. Dazu wurde zum einen der ventro-dorsale Versatz zwischen Sakrum und Ileum in geeigneter Ebene am Iliosakralgelenk gemessen. Zum anderen wurde der cranio-caudale Versatz gemessen.

### **2.3.2.5 Erfassung perioperativer Komplikationen**

Ziel war es, möglichst alle operationsspezifischen Komplikationen zu erfassen, oder deren Auftreten sicher auszuschließen. Zur Detektion intraoperativ aufgetretener Komplikationen wurden alle Operationsprotokolle auf Störungen des normalen Ablaufs überprüft. Der Verletzung von Gefäßen und Nerven galt dabei ein besonderes Augenmerk. Als perioperativer Zeitraum wurden die ersten 30 Tage nach der Operation definiert. Das postoperative Auftreten von Nachblutungen, Infektionen und Wundheilungsstörungen sowie Störungen der Durchblutung, Motorik und Sensibilität wurden durch die Einsicht der Patientenakten und durch die Nachuntersuchungen ermittelt.

### **2.3.3 Nachuntersuchung der behandelten Patienten**

Um Aussagen über das postoperative klinische Ergebnis der CT-gesteuerten Verschraubung des dorsalen Beckenrings im Verlauf treffen zu können und damit eine weitere Verbesserung Therapie und der Nachbehandlung auszuarbeiten, wurde allen Patienten die Möglichkeit einer Nachuntersuchung angeboten.

Hierzu vereinbarten wir mit den Patienten, soweit eine Telefonnummer ermittelbar war, einen individuellen Termin. Wenn die Patienten telefonisch nicht erreichbar waren, wurde ihnen ein Brief mit einem festen Termin für die Untersuchung zugesandt. Für den Fall, dass sie diesen Termin nicht wahrnehmen könnten, baten wir die Patienten um Kontaktaufnahme zur Vereinbarung eines Ausweichtermins.

#### **2.3.3.1 Einsatz standardisierter Fragebögen**

Allen Patienten, die zur Nachuntersuchung erschienen, wurde ein aus drei Teilen bestehender Fragebogen zur Bearbeitung ausgehändigt. Die Patienten, welche die Möglichkeit zur Nachuntersuchung nicht wahrnehmen wollten, bekamen diesen mit der Post zugesandt.

Um eine Vergleichbarkeit der Daten zu gewährleisten enthielt dieser ausschließlich etablierte standardisierte Scores. Der Bogen enthielt den SF-36, den Brief Pain Inventory sowie den Oswestry Disability Index.

### 2.3.3.1.1 SF-36 Fragebogen

Der SF-36 Fragebogen ist ein krankheitsübergreifendes Messinstrument zur Erfassung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität der Patienten [80-82]. Hierfür werden die in Tab. 3 dargestellten 8 Informationsskalen erhoben, die durch insgesamt 36 Items erfragt werden.

**Tabelle 3:** Hauptskalen des SF-36 Fragebogens.

Körperliche Funktionsfähigkeit	Ausmaß der Beeinträchtigung körperlicher Aktivitäten.
Körperliche Rollenfunktion	Ausmaß, in dem die körperliche Gesundheit die Arbeit und alltägliche Aktivitäten einschränkt.
Körperliche Schmerzen	Einfluss der Schmerzen auf die normale Arbeit innerhalb und außerhalb des Hauses.
Allgemeine Gesundheitswahrnehmung	Persönliche Beurteilung der Gesundheit, bezüglich des aktuellen Gesundheitszustandes, der zukünftigen Erwartungen und der Widerstandsfähigkeit gegenüber Erkrankungen
Vitalität	Erfasst, ob sich die Person energiegeladener und voller Schwung, oder eher müde und erschöpft fühlt.
Soziale Funktionsfähigkeit	Erfasst das Ausmaß, in dem die körperlichen und emotionalen Probleme die normalen sozialen Kontakte beeinträchtigen.
Emotionale Rollenfunktion	Beschreibt das Ausmaß, in dem emotionale Probleme die Arbeit und andere alltägliche Aktivitäten beeinträchtigen.
Psychisches Wohlbefinden	Erfassung der allgemeinen psychischen Gesundheit, der verhaltensbezogenen Kontrolle und der allgemeinen Gemütsstimmung.

Mit dem Zusatzitem „Veränderung der Gesundheit“ kann zudem die Beurteilung des aktuellen Gesundheitszustandes im Vergleich zum vergangenen Jahr erfolgen.

Die Auswertung des SF-36 erfolgte genau nach den Anweisungen des Handbuchs von Bullinger und Kirchberger 1998 [82]. Die 36 Items wurden den einzelnen Skalen zugewiesen, testgerecht zu einem Skalenrohwert und schließlich in eine Skala von 0 bis 100 transformiert. Dazu wurde der niedrigste mögliche Rohwert von dem tatsächlichen Skalenrohwert subtrahiert und die Differenz durch die mögliche Spannweite der Rohwerte dividiert. Durch anschließende Multiplikation mit dem Faktor 100 entsteht der endgültige Skalenwert. Zur Durchführung dieser Schritte wurde eine entsprechende Syntax für SPSS verwendet, die dem Handbuch beiliegt. Um einen systemischen Fehler bei der elektronischen Auswertung auszuschließen, wurden stichpunktartig einzelne Patienten per Hand ausgewertet und die Ergebnisse verglichen.

Die endgültigen Skalenwerte können mit entsprechenden Normgruppen verglichen werden [80, 82].

#### **2.3.3.1.2 Brief Pain Inventory**

Um einen Überblick über die Schmerzbelastung der Patienten und den damit verbundenen Einschränkungen der Patienten zu gewinnen, wurde die deutsche Version des Brief Pain Inventory verwendet [83]. Mit diesem werden sowohl die Schmerzqualität der Patienten als auch dadurch bedingte Einschränkungen im Lebensalltag erfasst. Die Angaben beziehen sich jeweils auf die klinisch gut etablierte Numerische Rating-Skala von 0 bis 10. Die Auswertung erfolgte als Häufigkeitsverteilung und zeigt damit anschaulich die Schmerzbelastung der befragten Patienten.

#### **2.3.3.1.3 Oswestry Disability Index**

Der Oswestry Disability Index ermöglicht nochmals eine Aussage darüber zu treffen, in wie weit die Patienten in ihren täglichen Aktivitäten eingeschränkt sind.

Hierbei soll der Patient jeweils die von sechs Möglichkeiten am meisten zutreffende Aussage zu folgenden Bereichen ankreuzen:

- Schmerzen
- Körperpflege
- Heben
- Gehen
- Sitzen
- Stehen
- Schlafen
- Geschlechtsleben
- Soziales Leben
- Reisen

Die Auswertung erfolgt in folgenden Schritten:

- Für jeden Bereich wird ein Score von 0-5 gebildet. Die Ziffer 0 wird entsprechend für die Aussage mit fehlender Einschränkung, die Ziffer 5 für die Aussage mit der maximalen Einschränkung vergeben.
- Die einzelnen Scores der Bereiche werden miteinander addiert.
- Wurden alle 10 Bereiche ausgefüllt, werden die addierten Werte durch 50 dividiert und anschließend mit 100 multipliziert. Wurden z.B. nur 9 Werte bearbeitet wird entsprechend nur durch 45 usw. dividiert.
- Der so entstehende prozentuale Wert fällt somit umso höher aus, je stärker die Einschränkung des Patienten ist.

### **2.3.3.2 Anamnese und körperliche Untersuchung**

Die Nachuntersuchungen der Patienten wurden alle im Klinikum Großhadern durchgeführt.

Vor der körperlichen Untersuchung wurden die Patienten insbesondere bezüglich folgender Punkte befragt:

- Größe und Gewicht
- Unfallhergang
- Schmerzen mit ihrer genauen Lokalisation sowie den Zusammenhang mit dem Unfall und der erfolgten Operation
- Einschränkungen bei Sport und alltäglichen Aktivitäten
- Arbeitsfähigkeit und Minderung der Erwerbsfähigkeit
- Harn- und Defäkationsstörungen
- Störungen der Sexualfunktion
- Entfernung des Osteosynthesematerials
- subjektive Zufriedenheit mit der Operationsmethode

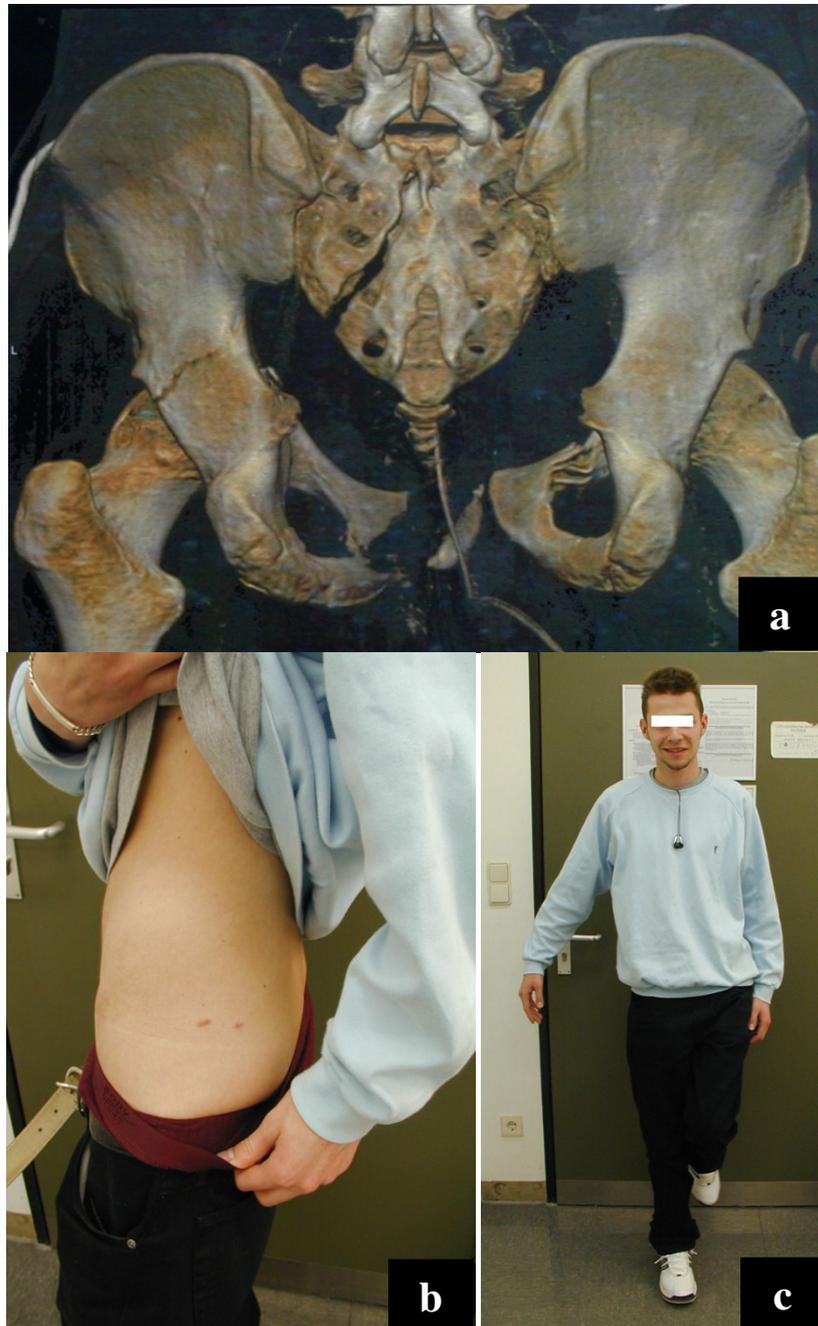
Danach schloss sich die körperliche Untersuchung der Patienten an. Diese hatte primär das Ziel, die Beweglichkeit und Stabilität des Iliosakralgelenks zu überprüfen, als auch angegebene Schmerzen dieser Region zuzuordnen oder auszuschließen. Neurologisch-vaskuläre Auffälligkeiten waren in diesem Zusammenhang ebenfalls von besonderem Interesse.

Folgende in Tabelle 4 dargestellten Untersuchungsschritte und orthopädischen Tests wurden jeweils im Seitenvergleich durchgeführt und auf dem Untersuchungsbogen vermerkt.

**Table 4:** Durchgeführte orthopädische Test bei der körperlichen Untersuchung.

Allgemeinere Untersuchung des Beckens und der unteren Extremität	Speziell die Iliosakralregion untersuchende orthopädische Tests
Einbeinstand sowie Zehen- und Fersenstand	Bändertests: Ligg. iliolumbale, sacrospinale, sacrotuberale
Gangbild (normal, hinkend, etc.)	Federungstest des ISG in Bauchlage
Durchblutung, Motorik und Sensibilität	Patrick-Test
Trendelenburg-Zeichen	3 Stufen Hyperextensionstest
Ott- und Schober- Zeichen	Spinetest
Finger-Boden-Abstand	Vorlaufphänomen
Patellar- und Achillessehnenreflex	Federung des ISG cum femore
Großzehenheber (Kraftgrade)	Derbolowsky-Zeichen
Fußheber und Fußsenker (Kraftgrade)	Gaenslen-Test
Hüftbeuger (Kraftgrade)	Ileumdrucktest
Kniestrecker (Kraftgrade)	Mennel-Zeichen
LWS Flexion/Extension und Rotation	Yeoman-Test
Hüfte Innen- und Außenrotation	Laguerre-und Bonnet-Test
Hüfte Flexion und Extension	Iliosakral-Dehntest
Hüfte Adduktion und Abduktion	Abduktionsbelastungstest
Weitere Auffälligkeiten	Lasegue-Zeichen

Abbildung 12 zeigt einen männlichen Patienten 65 Monate nach einem schwerem Verkehrsunfall bei der Nachuntersuchung. Die Typ C 3.3 Beckenverletzung, die der Patient erlitten hatte, ist als 3D-Rekonstruktion in noch unbehandelten Zustand mit abgebildet.



**Abbildung 12a:**  
3D-Rekonstruktion der noch unbehandelten Typ C 3.3 Verletzung des Patienten.

**Abbildung 12b:**  
Nach der Einbringung von zwei Schraubenosteosynthesen in die linke Beckenhälfte waren bei der Nachuntersuchung nur noch zwei kleine Narben von je 2 cm zu sehen.

**Abbildung 12c:**  
Der Patient konnte bei der Nachuntersuchung auf beiden Seiten problemlos auf einem Bein stehen.

## 2.4 Statistische Methoden

In der Regel wurden falls möglich in dieser Arbeit Minimum, Maximum, Mittelwert, Standardabweichung, das 95%-Konfidenzintervall und der Median angegeben - Mittelwert und Standardabweichung meist in der Form Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung.

Bei den Grafiken kamen Kreis- und Balkendiagramme sowie Box-Whisker-Diagramme (Boxplots) zur Anwendung. Bei den Boxplots symbolisiert der in der Box liegende Strich den Median. Die Box an sich wird durch das obere und untere Quartil begrenzt. Die sich anschließenden Whiskers zeigen das Minimum und Maximum an, welche sich in höchstens 1,5 Interquartilabständen befinden. Alle darüber hinausgehenden Werte werden als Ausreißer bezeichnet. Man unterscheidet hierbei milde Ausreißer, die sich in weniger als drei Interquartilabständen befinden, von extremen Ausreißern, welche diesen Abstand überschreiten. Die milden Ausreißer werden mit SPSS als Punkte, die extremen als Sternchen dargestellt.

Die statistischen Analysen wurden mit der Statistiksoftware SPSS Version 17.0 (SPSS Inc., Chicago, Illinois) durchgeführt. Das stets zweiseitig angegebene Signifikanzniveau wurde auf  $p \leq 0,05$  festgelegt. Es gilt als hochsignifikant für Werte kleiner 0,01 und höchst signifikant für Werte kleiner 0,001.

Der Kolmogorov-Smirnov-Test diente zur Überprüfung der Normalverteilung für alle Variablen mit mehr als 50 Werten. Um zu überprüfen, ob sich die gemessenen Werte tatsächlich von Null unterscheiden, wurde für  $n \geq 30$  oder Normalverteilungsannahme der Einstichproben-t-Test für  $\mu = 0$  eingesetzt.

Für Mittelwertvergleiche zweier unverbundener Stichproben wurde der Mann-Whitney-U-Test verwendet. Die genannten Tests sind parameterfrei.

Zur Untersuchung von Zusammenhängen zwischen zwei Variablen wurde der Korrelationskoeffizient nach Spearman verwendet.

## **3 Ergebnisse**

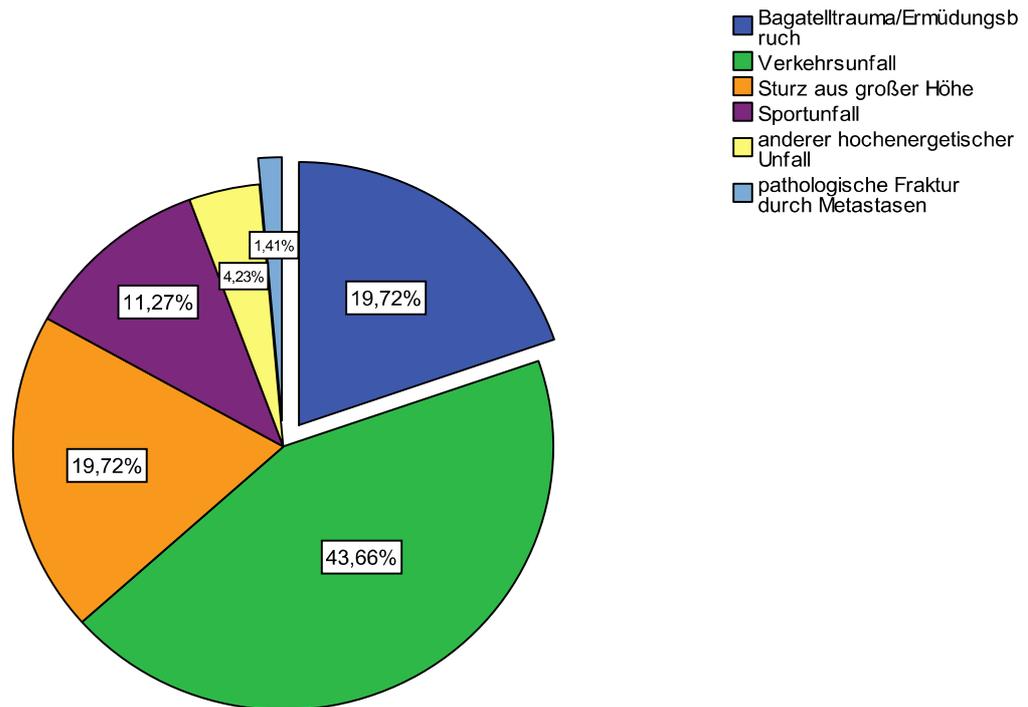
### **3.1 Patientenkollektiv**

Zwischen dem 04. März 2004 und dem 27. November 2009 unterzogen sich insgesamt 29 Männer (40,8%) und 42 Frauen (59,2%) einer CT-gesteuerten Verschraubung des Iliosakralgelenks. Das durchschnittliche Alter zum Operationszeitpunkt betrug  $51,4 \pm 22,3$  Jahre. Der jüngste Patient war 16 Jahre, der älteste 91 Jahre alt.

13 Patienten (18,3%) hatten eine bekannte Osteoporose und ein Patient Beckenmetastasen eines Nierenzellkarzinoms.

### **3.2 Verletzungsmechanismen**

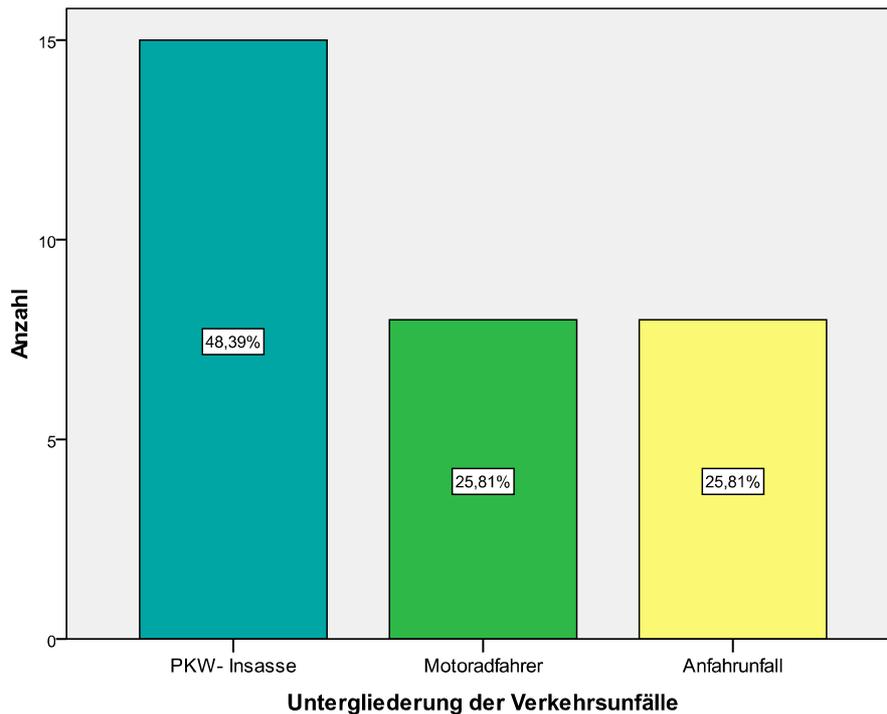
Von den insgesamt 71 Patienten erlitten 56 (78,9 %) einen hochenergetischen Unfall. Die anderen 15 Patienten (21,1 %) konnten lediglich ein Bagatelltrauma als Erklärung für ihre Verletzung vorweisen, oder sich an gar kein besonderes Ereignis erinnern, welches den Beschwerden vorausgegangen wäre. Abbildung 13 gibt einen Überblick über die verschiedenen Verletzungsmechanismen. Bei den ausgezogenen Diagrammanteilen trat die Verletzung spontan auf oder wurde durch ein Bagatelltrauma ausgelöst. Bei den nicht näher aufgeführten drei anderen hochenergetischen Unfällen wurden die Verletzungen durch eine Einklemmung in einem Scheunentor, eine Einklemmung durch einen Gabelstapler und durch einen herabstürzenden Eisenträger hervorgerufen.



**Abbildung 13:**

Das Kreisdiagramm zeigt die prozentuale Verteilung der Verletzungsmechanismen der Beckenfrakturen im Patientenkollektiv. Die ausgezogenen blauen Teilstücke bezeichnen einen niederenergetischen Verletzungsmechanismus auf Grundlage einer Osteoporose bzw. einer Metastasierung.

Die 31 Verkehrsunfälle stellen mit 43,7 % den größten Anteil bei den Verletzungsursachen. Unter diesen waren 15 Patienten (48,4 %) Insassen eines PKW. Jeweils 8 Unfallopfer (25,8 %) erlitten einen Motorradunfall oder wurden als Fußgänger von einem anderen Verkehrsteilnehmer angefahren. Abbildung 14 zeigt diese Unterteilung nochmals graphisch in einem Balkendiagramm.



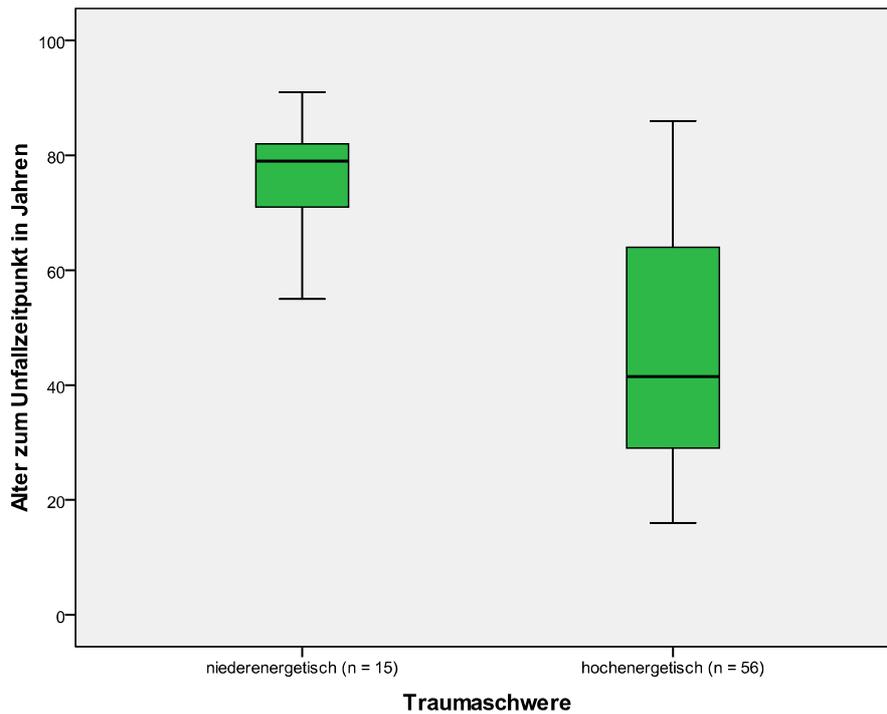
**Abbildung 14:**

Das Balkendiagramm untergliedert die  $n = 31$  Verkehrsunfälle in PKW-, Motorrad- und Anfahrunfälle.

Patienten mit niederenergetischer Traumaursache waren zum Zeitpunkt des Ereignisses durchschnittlich  $76,5 (\pm 9,4)$  Jahre alt. Das Alter des jüngsten Patienten betrug 55, das des ältesten 91 Jahre. Der Median liegt genau bei 79,0 Jahren.

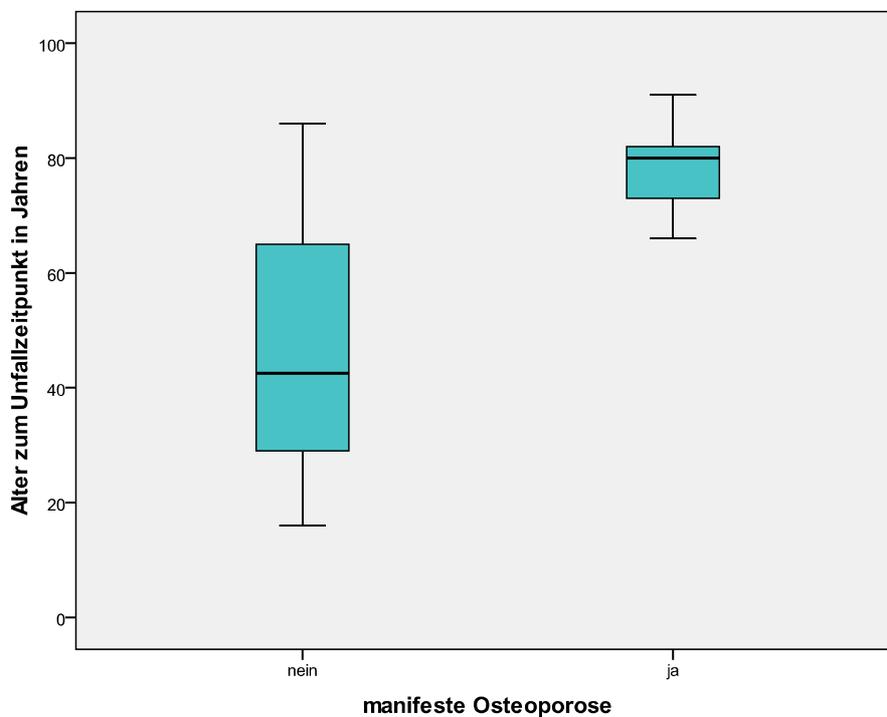
Die Patienten, welche ihre Verletzungen durch eine hochenergetische Ursache erlitten, waren zum Unfallzeitpunkt zwischen 16 und 86 Jahre alt. Der Altersdurchschnitt beträgt bei dieser Gruppe  $44,6 (\pm 19,8)$  Jahre. Der Median liegt bei 41,5 Jahren. Abbildung 15 stellt dies mit Boxplots dar. Es besteht ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen.

Zudem wurde das Alter der Patienten mit dem Vorliegen einer manifesten Osteoporose in Relation gesetzt. Die Patienten ohne auffällige Knochenstruktur waren zwischen 16 und 86 Jahre alt. Im Durchschnitt betrug ihr Alter  $45,3 (\pm 19,8)$  Jahre. Der Median liegt bei 42,5 Jahren. Bei der Patientengruppe, in der eine Schwächung der Knochenstruktur als Verletzungsvoraussetzung vorlag, betrug das Durchschnittsalter  $78,6 (\pm 7,5)$  Jahre. Die Patienten waren zwischen 66 und 91 Jahre alt. Der Median liegt bei 80,0 Jahren. Abbildung 16 stellt dies mit Boxplots dar.



**Abbildung 15:**

Die Patienten sind ihrem Verletzungsmechanismus nach in eine nieder- oder eine hochenergetische Gruppe der Traumaursache eingeteilt. Diese zwei Gruppen werden mit dem Alter der Patienten zum Unfallzeitpunkt in Bezug gesetzt, was durch entsprechende Boxplots dargestellt ist.



**Abbildung 16:**

Die Patienten sind in zwei Gruppen aufgeteilt. Eine mit und eine ohne Vorliegen einer manifesten Osteoporose. Diese zwei Gruppen werden mit dem Alter der Patienten zum Unfallzeitpunkt in Bezug gesetzt, was durch entsprechende Boxplots dargestellt ist.

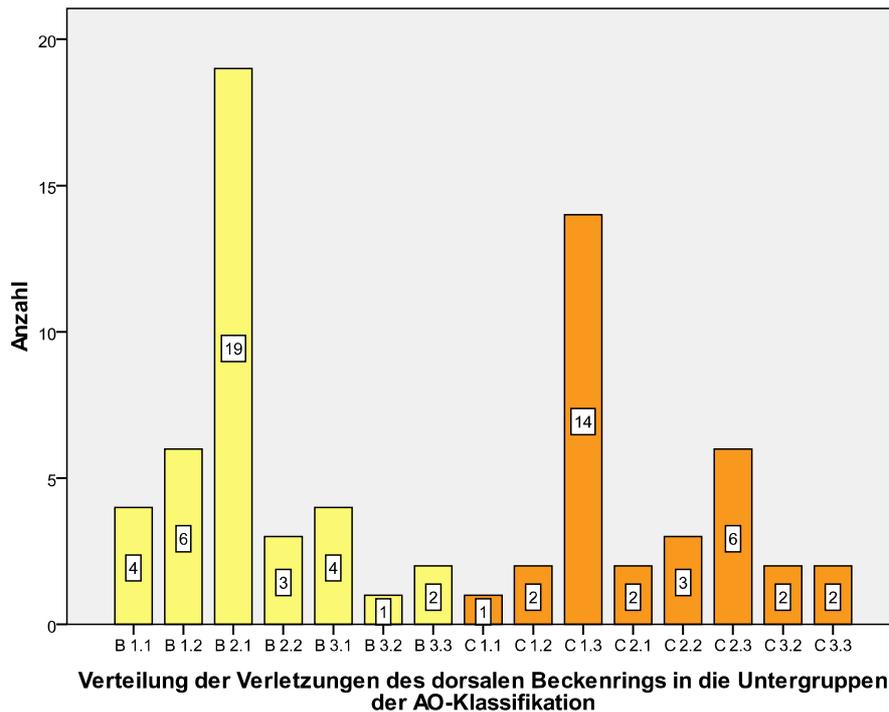
### 3.3 Verletzungsmuster

Alle behandelten Patienten hatten eine Verletzung, welche zu einer Instabilität des dorsalen Beckenrings führte. Nach AO-Klassifikation hatten 39 (54,9 %) der Patienten eine Typ B-Verletzung und 32 (45,1 %) eine C-Verletzung. Abbildung 17 gibt einen Überblick über die Verteilung der Patienten in die einzelnen Untergruppen. Hierbei zeigt sich, dass die B 2.1 Verletzungen mit 26,8 % und die C 1.3 Verletzungen mit 19,7 % am häufigsten in dem untersuchten Kollektiv vorkamen.

Bei 48 Patienten (67,6%) lag eine isolierte Verletzung des Os sacrum vor. Bei 14 Patienten (19,7 %) war das Iliosakralgelenk, ohne Beteiligung des Sakrum, ein- oder beidseitig in seinen Bandstrukturen geschädigt bis vollständig gesprengt. Bei 9 Patienten (12,7 %) waren beide anatomischen Strukturen verletzt. Die AO-Klassifikation ermöglicht es hierbei mit den Gruppen B3 und C3 auch beidseitige Frakturen zu erfassen. Abbildung 18 stellt die Verteilung der Verletzungen auf die anatomischen Strukturen grafisch dar.

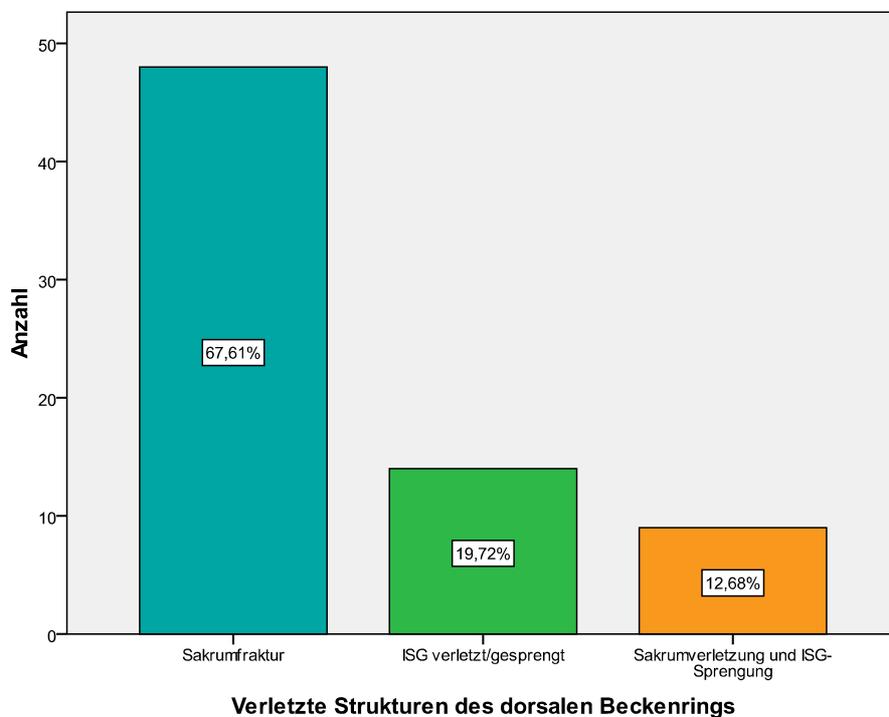
Die 57 Sakrumverletzungen wurden nochmals gemäß der Denis-Klassifikation unterteilt. Am häufigsten waren hierbei Frakturen gemäß Denis 1, welche in 40 Fällen vorlagen. 15 Brüche verliefen gemäß Denis 2 transforaminal. Zwei Frakturen des Sakrums entsprachen der Einteilung nach Denis 3. Die Verteilung der Sakrumverletzungen auf die verschiedenen Frakturzonen nach Denis sind in der Abbildung 19 nochmals prozentual dargestellt.

Insgesamt zeigten 6 Patienten neurologische Auffälligkeiten, welche mit ihrer Beckenverletzung als Ursache vereinbar waren.



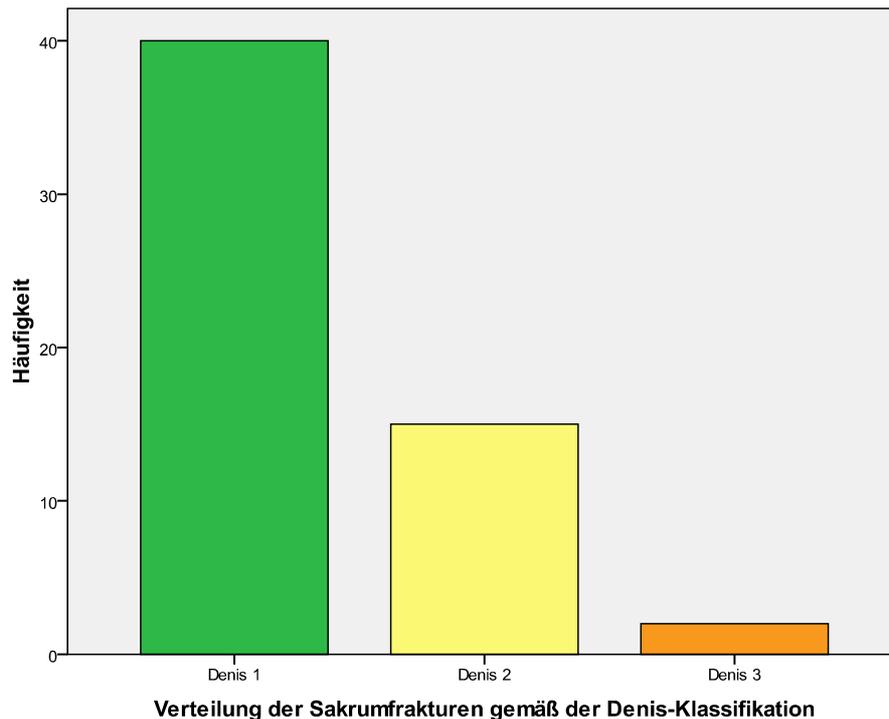
**Abbildung 17:**

Das Balkendiagramm stellt die Verteilung der verschiedenen Beckenringverletzungen im Patientenkollektiv in die Untergruppen der AO-Klassifikation dar.



**Abbildung 18:**

Das Balkendiagramm zeigt die Verteilung der Verletzungen auf die anatomischen Strukturen des dorsalen Beckenrings. Es werden isolierte Verletzungen des Sakrums, des Iliosakralgelenks sowie in eine Kombination von diesen unterschieden.



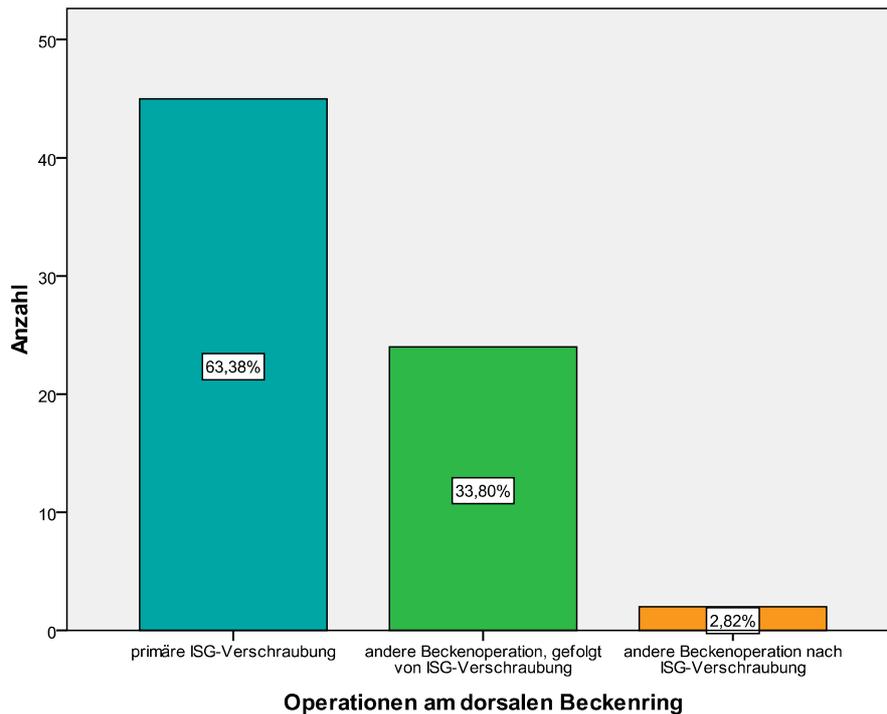
**Abbildung 19:**  
Verteilung der Sakrumfrakturen im Patientenkollektiv gemäß der Denis-Klassifikation.

### 3.4 Operative Versorgung

#### 3.4.1 Operative Primärversorgung

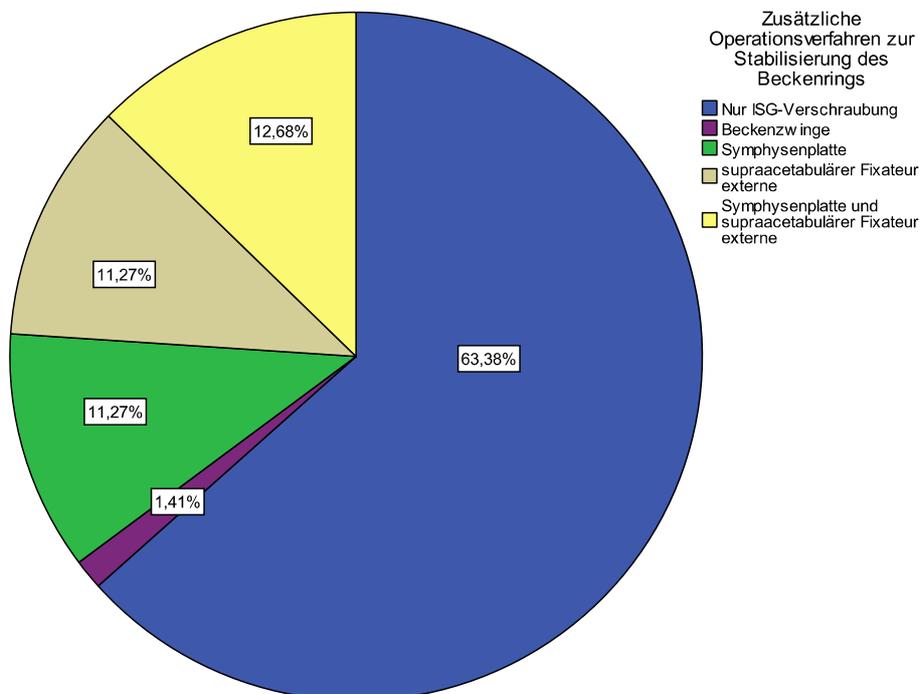
45 Patienten (63,4 %) wurden primär mit einer minimal invasiven Verschraubung des Iliosakralgelenks versorgt. Bei 24 Patienten (33,8 %) musste zunächst ein anderer operativer Eingriff zur Beckenstabilisierung vorgenommen werden, bevor die endgültige Versorgung mittels ISG-Verschraubung erfolgen konnte. Bei zwei Patienten (2,8 %) musste nach erfolgter CT-gesteuerter Verschraubung nochmals am Becken eine andere Operation durchgeführt werden. Grafik 20 zeigt dies im Überblick.

Bei den anderen operativen Eingriffen am Becken, zusätzlich zur ISG-Verschraubung, wurden 9 Patienten (12,7 %) gleichzeitig mit einer Symphysenplatte und einem supraacetubären Fixateur externe versorgt. Acht Patienten (11,3 %) erhielten nur einen supraacetubären Fixateur externe und 8 Patienten (11,3 %) nur eine Symphysenplatte. Ein Patient wurde mit einer Beckenzwinde versorgt (1,4%). Abbildung 21 stellt dies im Überblick dar.



**Abbildung 20:**

Das Balkendiagramm stellt die Anzahl der Patienten dar, welche primär mit einer perkutanen ISG-Verschraubung versorgt wurden, oder sich vor dieser erst einer anderen Beckenoperation unterziehen mussten. Zudem sind die zwei Patienten (2,8 %), welche nach erfolgter ISG-Verschraubung noch mit einer weiteren Beckenoperation versorgt wurden in einem gesonderten Balken aufgeführt.

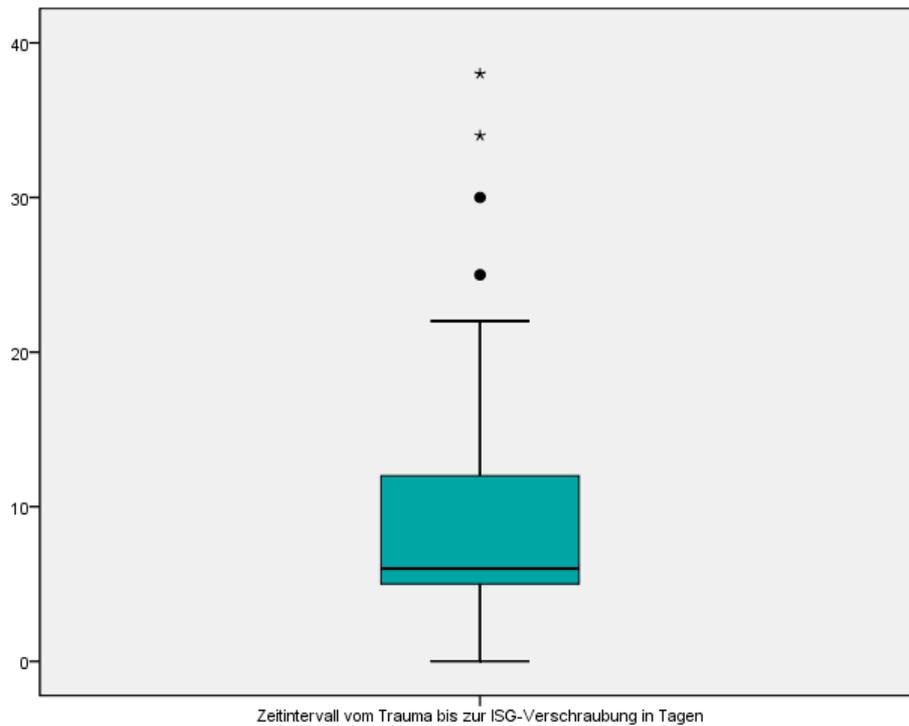


**Abbildung 21:**

Das Kreisdiagramm gibt einen Überblick darüber, ob und falls ja, welche zusätzlichen Operationsverfahren neben der ISG-Verschraubung zur Anwendung kamen.

### 3.4.2 Zeitintervall zwischen Trauma und ISG-Verschraubung

Das Zeitintervall vom Unfallzeitpunkt bis zur Durchführung der ISG-Verschraubung betrug durchschnittlich 9,5 ( $\pm 7,8$ ) Tage. Ein Patient wurde bereits am selben Tag, eine Patientin erst nach 38 Tagen operiert. Der Median beträgt 6,0 Tage. Abbildung 22 stellt dies in einem Boxplot dar.



**Abbildung 22:**

*Das Zeitintervall in Tagen vom Trauma bis zur operativen Versorgung mittels einer minimal invasiven ISG-Verschraubung ist mittels eines Boxplot dargestellt.*

### 3.4.3 Ergebnisse der CT-gesteuerten Verschraubung

#### 3.4.3.1 Verwendete Schrauben

Die ausgewerteten 71 Patienten wurden mit insgesamt 136 Hohlschrauben aus Titan osteosynthetisch versorgt. Die Anzahl der benötigten Schrauben pro Patient zeigt die Tabelle 5.

**Tabelle 5:** Benötigte Schraubenzahl pro Patient.

Benötigte Schraubenzahl	Patienten	Prozent
1	20	28,2 %
2	39	54,9 %
3	10	14,1 %
4	2	2,8 %

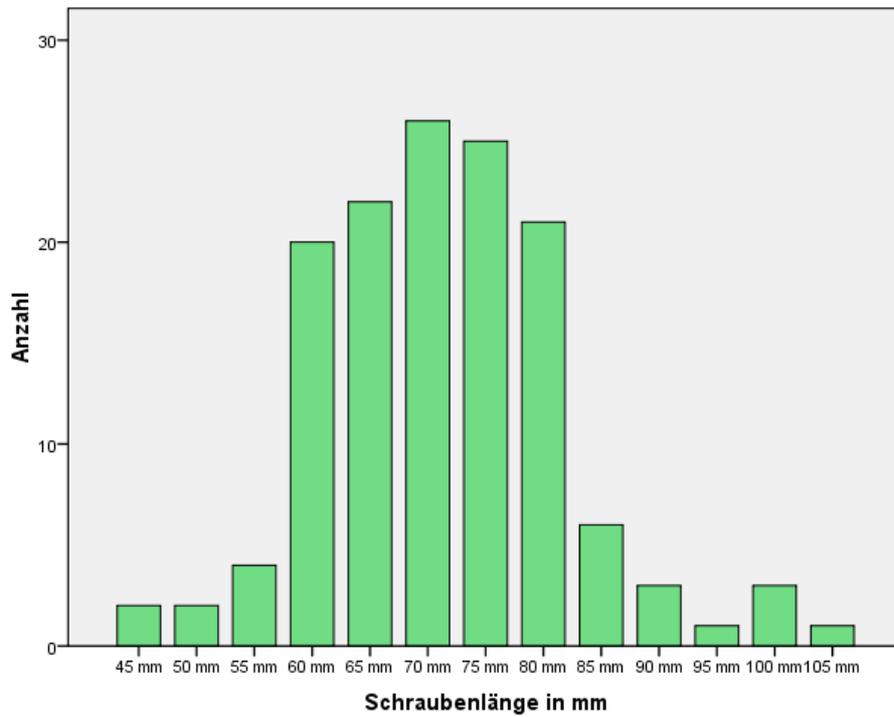
Im ersten Sakralwirbel wurden 96 Schrauben (70,6 %) platziert, die anderen 40 (29,4 %) entsprechend im zweiten Sakralwirbel.

69 Schrauben (50,7 %) blieben dabei unterhalb der Mittellinie des entsprechenden Wirbelkörpers, 67 (49,3 %) überschritten diese. Zehn Hohlschrauben (7,4 %) wurden zementaugmentiert.

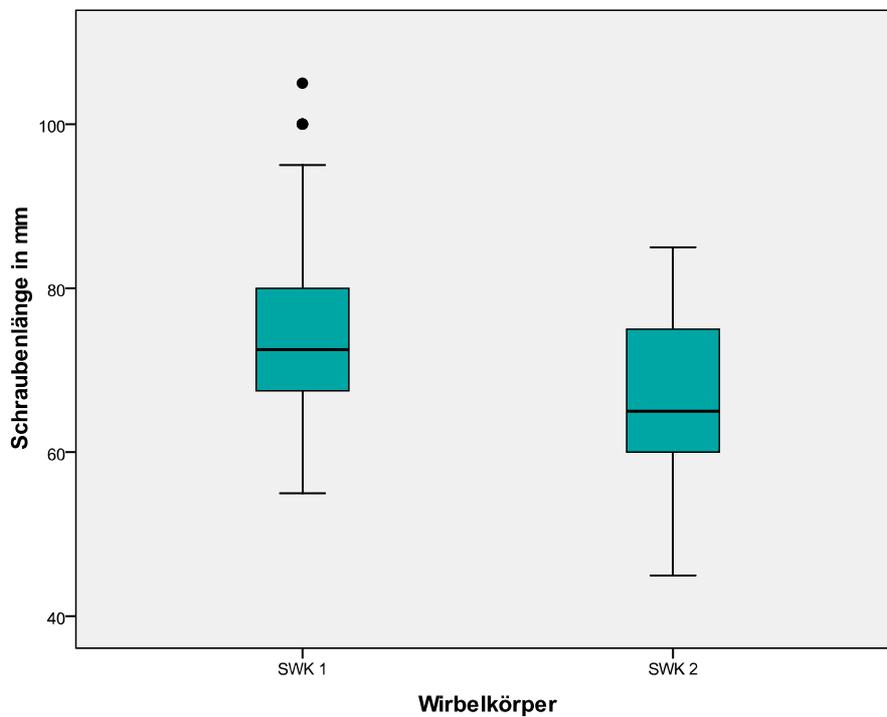
99 der verwendeten Schrauben (72,8 %) besaßen ein kurzes 20 mm Gewinde. Die übrigen 37 (27,2 %) ein langes 40 mm Gewinde.

Am häufigsten fanden Schrauben mit einem Durchmesser von 6,5 mm Anwendung. Sie wurden 120 mal (88,2 %) verwendet. Zudem wurden jeweils acht Schrauben mit 5,0 mm bzw. 8,0 mm Durchmesser platziert. Die Länge der Hohlschrauben wurde stets entsprechend der Anatomie des jeweiligen Patienten gewählt. Eine Übersicht über die Anzahl der verschiedenen verwendeten Längen gibt Abbildung 23.

Die durchschnittliche Schraubenlänge betrug für den ersten Sakralwirbel  $73,75 \text{ mm} \pm 9,84 \text{ mm}$  mit einem Median von 72,50 mm, für den zweiten Sakralwirbel  $65,38 \text{ mm} \pm 10,03 \text{ mm}$  mit einem Median von 65,00 mm. Dies zeigt Abbildung 24.



**Abbildung 23:**  
Häufigkeit der verschiedenen verwendeten Schraubenlängen.



**Abbildung 24:**  
Vergleich der durchschnittlichen Länge in Millimeter der in SWK 1 bzw. SWK 2 eingebrachten Schrauben.

### 3.4.3.2 Operationsdauer

Für die Operationsdauer wurde das Zeitintervall von Hautschnitt bis Hautnaht definiert und in Minuten angegeben. Insgesamt betrug die Schnitt-Naht-Zeit durchschnittlich  $61,30 \pm 43,88$  Minuten. Der Median lag bei genau 45 Minuten und das 95%-Konfidenzintervall zwischen 50,91 und 71,68 Minuten. Durchschnittlich ergibt sich eine Operationszeit von 32 Minuten pro Schraube.

Bei einseitiger Operation ( $n = 57$ ) betrug die Schnitt-Naht-Zeit im Durchschnitt  $47,75 \pm 25,70$  Minuten. Die kürzeste OP dauerte hierbei 15, der längste Eingriff 155 Minuten. Der Median betrug 45 Minuten.

Bei Operation beider Seiten, mit entsprechender Umlagerung, wurden durchschnittlich  $116,43 \pm 58,69$  Minuten benötigt, wobei der Median bei 107,50 Minuten lag. Der kürzeste Eingriff dauerte 40, der längste 285 Minuten. Die seitenspezifische Operationsdauer ist in Abbildung 25 mit Box-whisker-blots festgehalten. Der Zusammenhang ist signifikant.

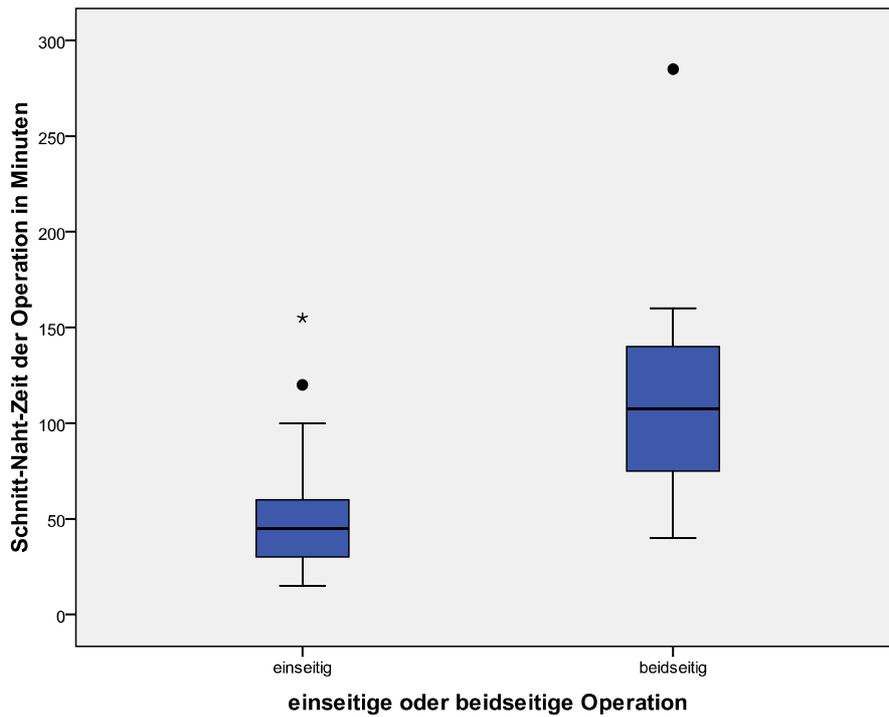
Bei einer verwendeten Schraube betrug die benötigte Operationszeit zwischen 20 bis 100 Minuten und im Durchschnitt  $44,50 (\pm 18,91)$  Minuten. Der Median lag bei 40,0 Minuten.

Für das Einbringen von zwei Hohlschrauben wurden zwischen 15 und 160 Minuten und durchschnittlich  $53,38 (\pm 33,69)$  Minuten benötigt. Der Median lag hier bei 45,0 Minuten.

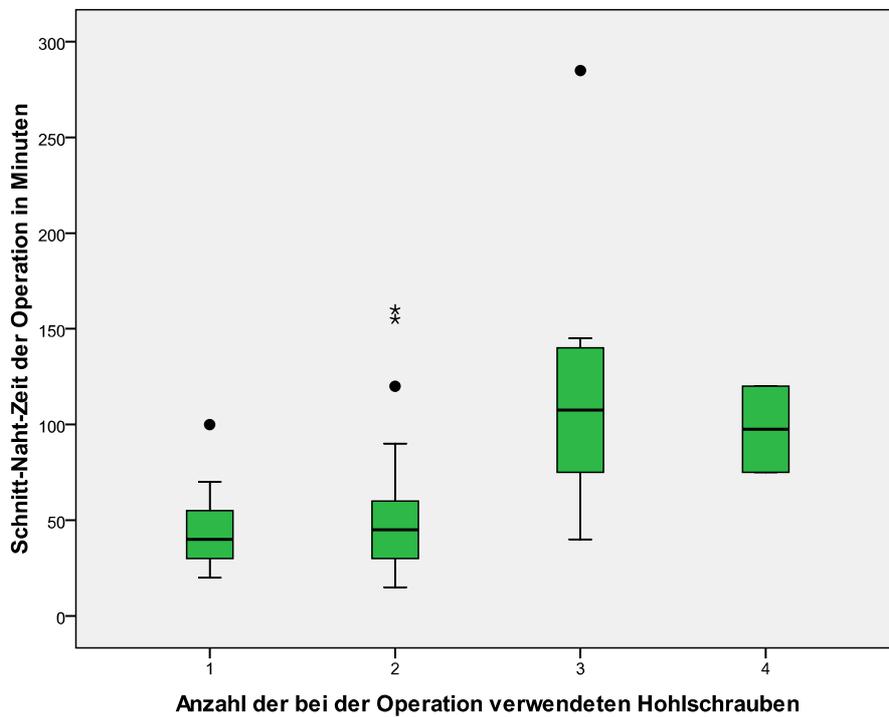
Bei der Versorgung mit drei Hohlschrauben wurden zwischen 40 und 285 Minuten benötigt, wobei die durchschnittliche Zeit bei  $118,50 (\pm 67,00)$  Minuten lag. Der Median lag bei 107,50 Minuten.

Zwei Patienten wurden mit insgesamt vier Hohlschrauben versorgt. Die benötigten Zeiten waren 75 und 120 Minuten, was im Durchschnitt  $97,50 (\pm 31,82)$  Minuten ergibt. Der Median war hierbei dem Mittelwert identisch. Abbildung 26 zeigt die entsprechenden Boxplots.

Beim Vergleich zwischen ein oder zwei eingebrachten Schrauben zeigt sich kein signifikanter Unterschied. Auch der Vergleich zwischen drei Schrauben und vier eingebrachten Schrauben ergibt keinen signifikanten Unterschied. Der Vergleich der Operationszeit zwischen einer oder zwei zu drei bzw. vier eingebrachten Schrauben zeigt jedoch jeweils einen signifikanten Unterschied.



**Abbildung 25:**  
Schnitt-Naht-Zeit der Operation in Minuten bei einseitig oder beidseitig durchgeführten Eingriff.



**Abbildung 26:**  
Aufschlüsselung der Operationszeit in Minuten nach der der im Eingriff verwendeten Schraubenzahl.

Die durchschnittlich benötigte Operationszeit wurde auch im zeitlichen Verlauf beurteilt. Dazu wurden alle Operationen von jeweils zwei aufeinanderfolgenden Jahren zu einer Gruppe zusammengefasst. Damit ergeben sich drei Zeiträume, die unabhängig voneinander ausgewertet wurden. Der erste Zeitraum umfasst die Jahre 2004 und 2005, der zweite die Jahre 2006 und 2007 und der dritte Zeitraum die Jahre 2008 und 2009. In diesen Zeitspannen wurden zunächst 21, dann 23 und als letztes 27 Patienten operativ versorgt. Die entsprechenden Ergebnisse für die durchschnittlichen Operationsdauern der einzelnen drei Zeiträume sind in Tabelle 6 in Minuten dargestellt. Zwischen dem ersten und zweiten sowie dem zweiten und dritten Zeitraum zeigte sich kein signifikanter Unterschied. Ein signifikanter Unterschied der benötigten Operationszeit zeigte sich allerdings im Vergleich des ersten mit dem dritten Zeitraum.

**Tab. 6:** Nach Jahresgruppen getrennte durchschnittliche Operationszeiten.

Zeitraum	Mittelwert ± Standardabweichung	Median	95 % - Konfidenzintervall
2004 + 2005	88,57 ± 60,27 min	75,00 min	61,14 – 116,01 min
2006 + 2007	56,30 ± 31,95 min	55,00 min	42,49 – 70,12 min
2008 + 2009	44,33 ± 24,55 min	42,00 min	34,62 – 54,05 min

### 3.4.3.3 Strahlenbelastung

#### 3.4.3.3.1 Dosislängenprodukt

Für die Gesamtheit der durchgeführten Operationen ergab sich ein durchschnittlicher Wert von  $849,44 \pm 452,45$  mGy\*cm. Der Median liegt bei 745 mGy\*cm und das 95%-Konfidenzintervall zwischen 740,75 und 958,13 mGy\*cm.

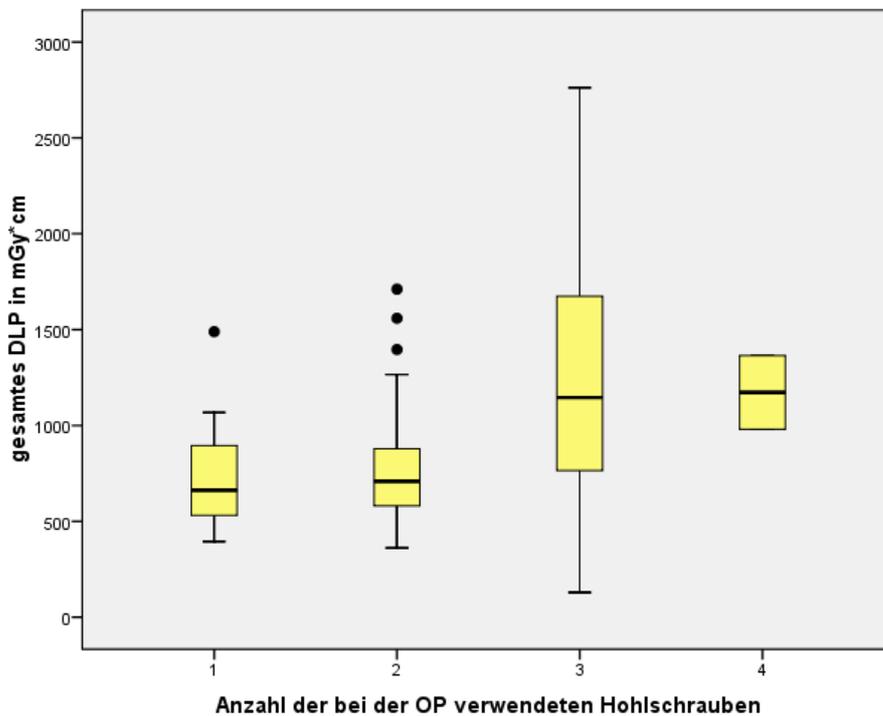
Bei der Einbringung einer einzelnen Hohlschraube ergab sich durchschnittlich ein Wert von  $728,8 (\pm 272,2)$  mGy\*cm. Die minimale Belastung lag bei 394,0 mGy\*cm, die maximale bei 1489,0 mGy\*. Der Median betrug 662,0 mGy\*cm.

Für die Osteosynthesen mit zwei Schrauben ergaben sich Dosislängenprodukte zwischen 679,8 und 882,8 mGy\*cm. Der Mittelwert betrug  $781,3 (\pm 308,8)$  mGy\*cm. Der Median lag bei 708,5 mGy\*cm.

Bei einer Versorgung mit drei Hohlschrauben ergab sich ein Mittelwert von  $1273,1 (\pm 851,7)$  mGy\*cm und ein Median von 1145,5 mGy\*cm. Die gemessenen Dosislängenprodukte schwankten zwischen 130,0 und 2762,0 mGy\*cm.

Bei den zwei Patienten, welche mit vier Schrauben versorgt wurden, ergab sich ein Dosislängenprodukt von 980 mGy\*cm und 1365 mGy\*cm, was durchschnittlich 1172,5 ( $\pm 272,2$ ) mGy\*cm ergibt. Beim Vergleich zwischen ein oder zwei eingebrachten Schrauben zeigt sich kein signifikanter Unterschied. Auch der Vergleich zwischen drei Schrauben und vier eingebrachten Schrauben ergibt keinen signifikanten Unterschied. Der Vergleich des Dosislängenproduktes zwischen einer oder zwei zu drei bzw. vier eingebrachten Schrauben ergibt jedoch jeweils einen signifikanten Unterschied.

In Abbildung 27 ist das durchschnittliche Dosislängenprodukt nach Schraubenzahl zu sehen.



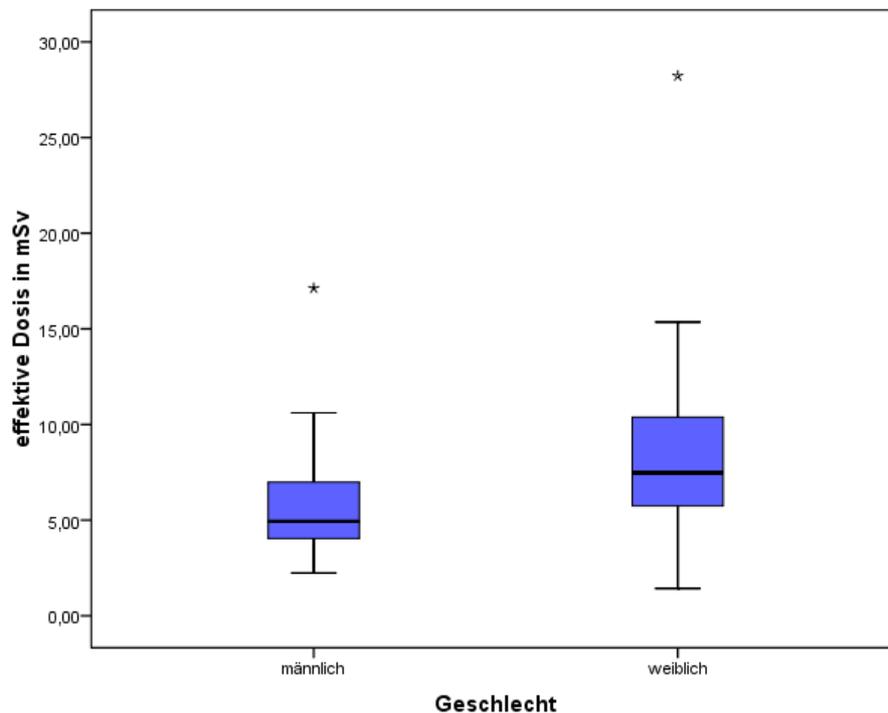
**Abbildung 27:**  
*Durchschnittliches Dosislängenprodukt nach Anzahl der eingebrachten Schrauben*

### 3.4.3.3.2 Effektive Dosis

Da die effektive Strahlenbelastung vom geschlechtsspezifischen Wichtungsfaktor abhängig ist, wird diese für weibliche und männliche Patienten getrennt aufgeführt.

Bei den Männern betrug die effektive Dosis zwischen 2,3 und 17,1 mSv und durchschnittlich 5,9 ( $\pm 3,1$ ) mSv. Der Median beträgt 4,9 mSv.

Für die Frauen zeigte sich eine durchschnittliche Belastung von 8,7 ( $\pm 4,5$ ) mSv. Der minimale Wert betrug 1,4 mSv, der maximale 28,2 mSv. Der Median liegt bei 7,5 mSv. Abbildung 28 stellt dies grafisch dar. Es zeigt sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen Geschlecht und Strahlenbelastung.



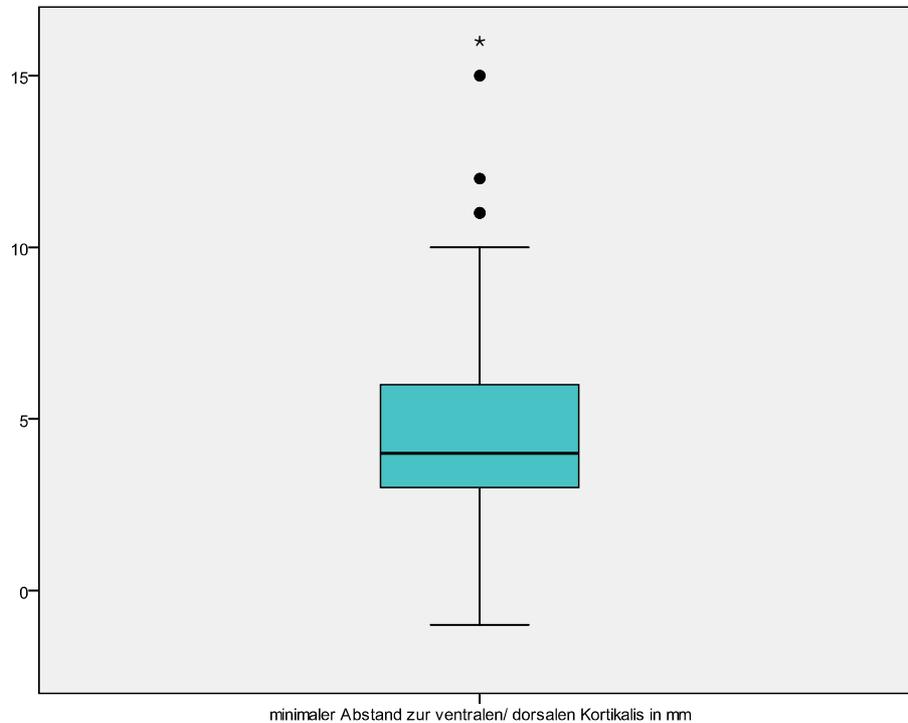
**Abbildung 28:**

*Durchschnittliche effektive Dosis für die Patienten. Da bei der Berechnung je nach Geschlecht ein anderer Wichtungsfaktor verwendet wird, ist die effektive Dosis für Männer und Frauen separat angegeben.*

### 3.4.3.4 Schraubenlage

#### 3.4.3.4.1 Abstand zur ventralen/dorsalen Kortikalis

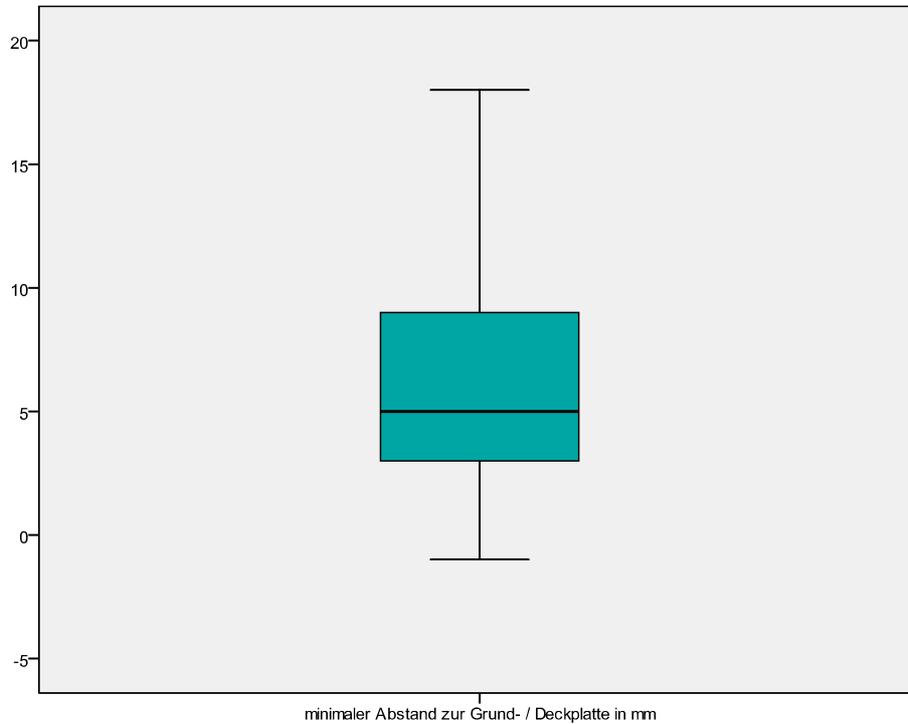
Der minimale Abstand der eingebrachten Hohlschrauben zur ventralen oder dorsalen Kortikalis betrug im Durchschnitt  $4,81 (\pm 2,97)$  mm. Die Entfernungen betragen zwischen -1 und 16 mm. Der Median beträgt 4,0 mm. Abbildung 29 zeigt den entsprechenden Boxplot.



**Abbildung 29:**  
*Durchschnittlicher minimaler Abstand der Schrauben zur ventralen oder dorsalen Kortikalis in Millimeter.*

### 3.4.3.4.2 Abstand zur Grund-/Deckplatte

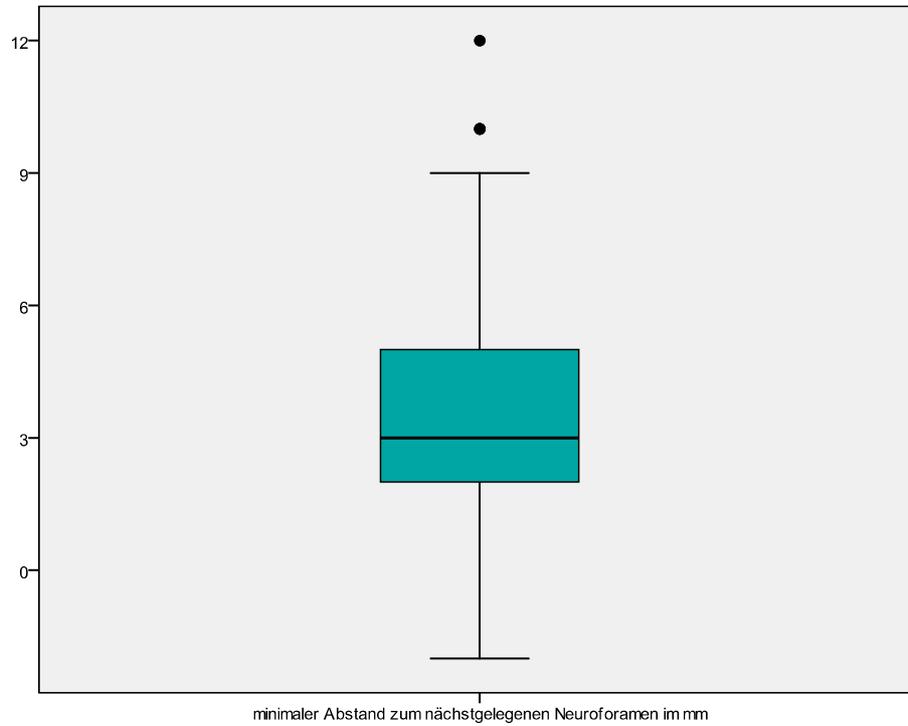
Bei der Auswertung des minimalen Abstandes zur Grund- bzw. zur Deckplatte ergab sich ein Mittelwert von 6,05 ( $\pm 3,92$ ) mm. Der kleinste Abstand betrug -1 mm, der größte 18 mm. Der Median liegt bei 5,0 mm. Abbildung 30 stellt dies in einem Box-Plot dar.



**Abbildung 30:**  
*Durchschnittlicher minimaler Abstand der Schrauben zur Grund- oder Deckplatte in Millimeter.*

### 3.4.3.4.3 Abstand zu den Neuroforamina

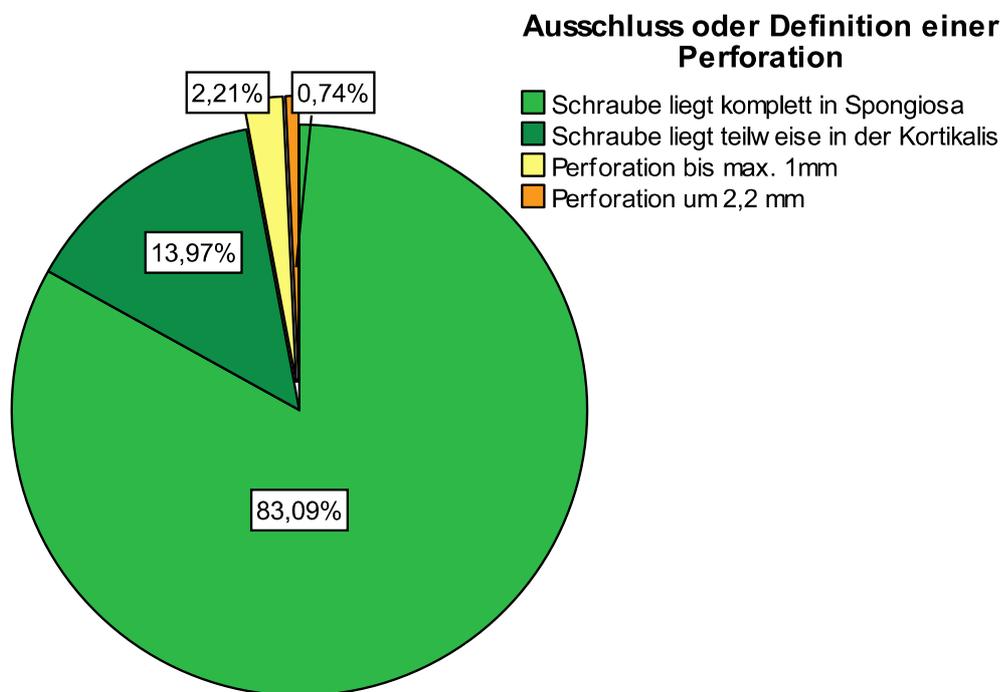
Die durchschnittliche minimale Entfernung betrug  $3,43 (\pm 2,76)$  mm. Der minimale Abstand betrug  $-2,2$  mm, der maximale  $12$  mm. Der Median beträgt  $3,0$  mm. Abbildung 31 zeigt dies in einem Boxplot.



**Abbildung 31:**  
*Durchschnittlicher minimaler Abstand der Schrauben zum nächstgelegenen Neuroforamen in Millimeter.*

#### 3.4.3.4.4 Genaue Beurteilung auf Perforierung

Von den insgesamt 136 eingebrachten Schrauben lagen 113 (83,1%) vollständig in der Spongiosa. 19 (14,0 %) Hohlschrauben zogen mit ihrem Gewinde teilweise in der Kortikalis der Sakralwirbel, allerdings ohne diese zu perforieren. Bei 3 (2,2%) Schrauben kam es jedoch zu einem aufbuckeln bzw. zu einer Perforation um max. 1 mm der Kortikalis. Eine Schraube (0,7 %) perforierte ein Neuroforamen von cranial mit seinem caudalen Gewindeende um ca. 2,2 mm. Abbildung 32 stellt dies in einem Kreisdiagramm dar. Drei der vier perforierenden Schrauben wurden in SWK2 eingebracht. Eine der um max. 1 mm perforierenden Schrauben lag in SWK1.



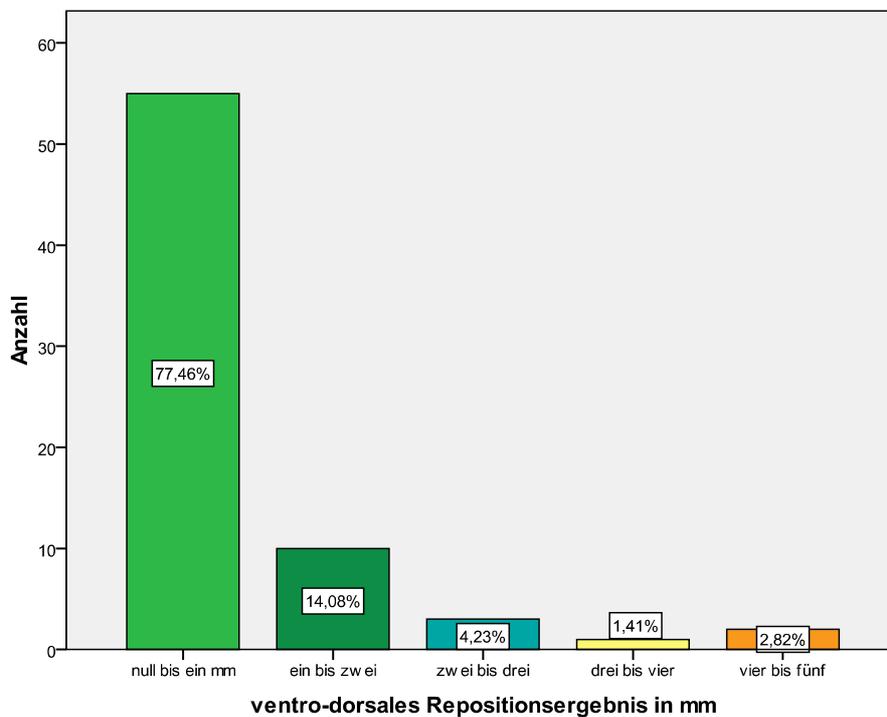
**Abbildung 32:**

*Kreisdiagramm zur Schraubenlage in Bezug auf eine mögliche Perforation der Kortikalis. Die ausgezogenen Teilstücke stellen den Anteil der perforierenden Schrauben dar, während alle übrigen Schrauben vollständig intraossär liegen.*

### 3.4.3.5 Repositionsergebnis

#### 3.4.3.5.1 Ventro/dorsales Repositionsergebnis

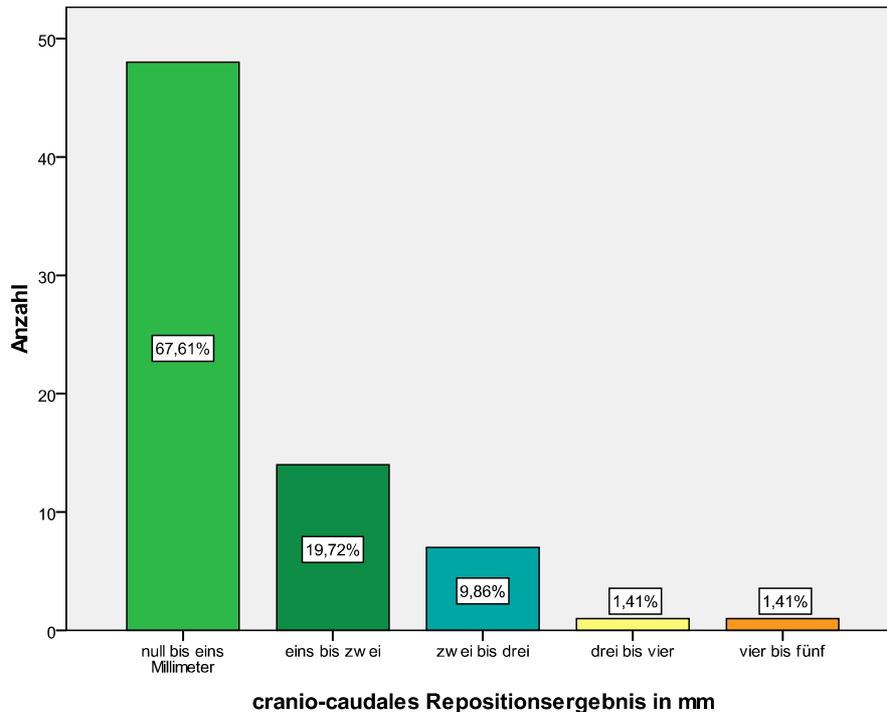
Das ventro / dorsale Repositionsergebnis betrug durchschnittlich  $1,38 \pm 0,87$  mm. Der Median zeigt eine Abweichung bis zu 1,00 mm. Die minimale Dislokation betrug 0-1 mm die maximale 4-5 mm. Abbildung 33 zeigt die Häufigkeitsverteilungen bei den Ergebnissen zum ventro/dorsalen Repositionsergebnis.



**Abbildung 33:**  
Ergebnisse der ventro-dorsalen Reposition der dorsalen Beckenfrakturen in Millimeterschritten.

### 3.4.3.5.2 Cranio/caudales Repositionsergebnis

Beim cranio / caudalen Repositionsergebnis beträgt der Mittelwert  $1,49 \pm 0,84$  mm. Auch hier liegt die Dislokation im Median bei bis zu einem Millimeter. Die minimale Abweichung betrug 0-1 mm die maximale 4-5 mm. Abbildung 34 zeigt die entsprechende Häufigkeitsverteilung in einem Balkendiagramm.



**Abbildung 34:**  
*Ergebnisse der cranio-caudalen Reposition der dorsalen Beckenfrakturen in Millimeterschritten.*

### 3.4.3.6 Auftreten von Komplikationen

Als perioperativer Zeitraum wurden die Operation sowie die nachfolgenden 30 Tage definiert. Die Komplikationen wurden in lokale und allgemeine Komplikationen unterschieden.

#### 3.4.3.6.1 Lokale Komplikationen

Es trat keine einzige lokale Komplikation auf. Es kam zu keiner behandlungsbedürftigen Infektion oder Nachblutung. Es wurden keine neurovaskulären Strukturen verletzt. Ferner kam keine zu behobende Schraubenfehlage, ein Schraubenbruch oder eine Refraktur vor.

#### **3.4.3.6.2 Allgemeine Komplikationen**

Innerhalb des perioperativen Zeitraums traten bei drei Patienten allgemeine Komplikationen auf. Der erste Patient zeigte fünf Tage nach der Operation Symptome einer tiefen Beinvenenthrombose, welche erkannt und behandelt wurde. Der zweite Patient entwickelte in der Nacht nach der komplikationslos verlaufenden operativen CT-Verschraubung zunehmende pectanginöse Beschwerden und einen auffälligen Troponinwert ohne EKG-Veränderungen. Somit wurde von einem NSTEMI ausgegangen. Im Herzkatheter, welchen der Patient zunächst verweigert hatte, konnte keine relevante Besserung der kardialen Situation bewirkt werden. Es wurde zur herzchirurgischen Intervention geraten. Dies wurde jedoch von dem 82-jährigen Patienten verweigert.

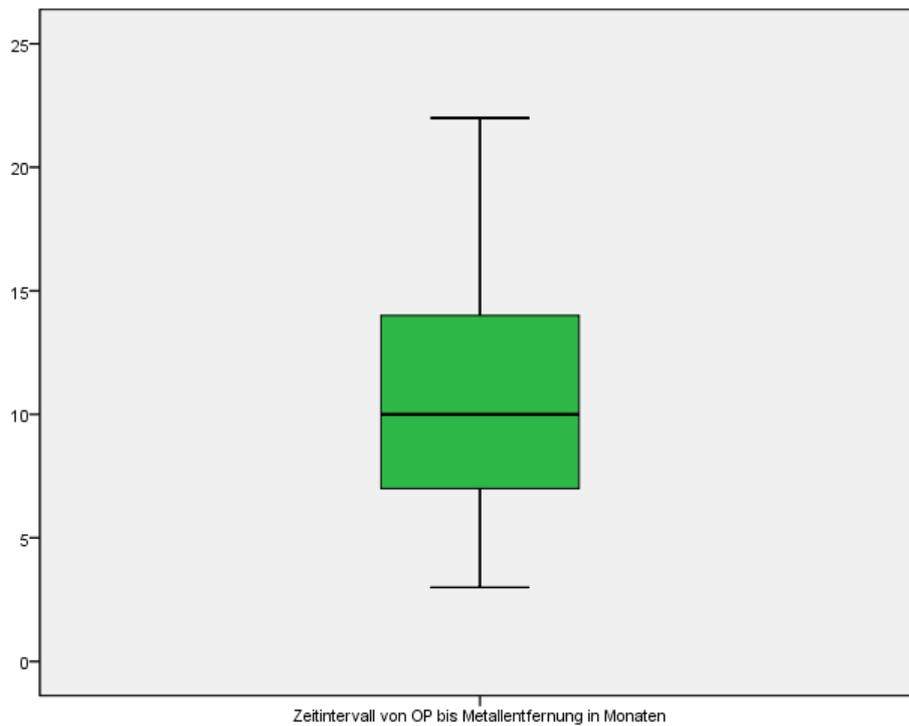
Der dritte Patient verlor bei der morgendlichen Mobilisation zur Toilette in Begleitung eines Pflegers das Bewusstsein. Bei nicht palpablem Puls wurden sofort alle Maßnahmen der Reanimation eingeleitet und auch eine Lysetherapie durchgeführt. Dennoch verstarb der Patient leider an einer klinisch fulminanten Lungenarterienembolie. Eine Obduktion durch die Pathologie wurde von den Angehörigen abgelehnt. Der Patient war in alkoholisierten Zustand in vermutlich suizidaler Absicht aus dem Fenster auf einen Kiesweg gesprungen und hatte sich dadurch ein Polytrauma zugezogen. Am Tag der Einlieferung wurde bereits eine entsprechende Therapie zur Thromboseprophylaxe eingeleitet. Am folgenden Tag wurde die Lendenwirbelsäule des Patienten mit einem Fixateur interne versorgt. Die CT-gesteuerte Versorgung der Beckenfraktur erfolgte ohne Probleme am vierten Tag in der Klinik. Elf Tage später verstarb der Patient an der thrombotischen Komplikation. Von operativer Seite wäre noch die Versorgung der beidseitigen Calcaneustrümmerfrakturen geplant gewesen.

### **3.5 Metallentfernung**

Zum Zeitpunkt der Datenerfassung war bereits bei 33 Patienten (46,5%) eine Metallentfernung der Schrauben durchgeführt worden. In einem Fall war eine einzige Schraube so stark knöchern ummantelt, dass sie sich nicht herausdrehen ließ. Bei dem Patienten wurde 20 Monate nach der Verschraubung elektiv eine Metallentfernung durchgeführt. Die Schraube in SWK 2 konnte hierbei problemlos entfernt werden. Die Schraube in SWK 1 konnte jedoch trotz großer Bemühungen nicht entfernt werden. Es ist anzunehmen, dass der Schraubenkopf der Hohlschraube zu diesem Zeitpunkt bereits derart knöchern zugewachsen war, dass kein Führungsdraht und damit kein Schraubenzieher eingebracht werden konnte. Die Schraube wurde im Körper belassen. Der Patient wünschte keinen weiteren Versuch der operativen Ent-

fernung und war weiterhin beschwerdefrei. Ansonsten traten bei den Metallentfernungen keinerlei Komplikationen auf.

Durchschnittlich lagen 11,0 ( $\pm 4,9$ ) Monate zwischen der operativen Einbringung und Entfernung der Schrauben. Die früheste Entfernung erfolgte nach drei Monaten, die späteste nach 22 Monaten. Der Median beträgt 10,0 Monate. Abbildung 35 stellt dies in einem Boxplot dar.



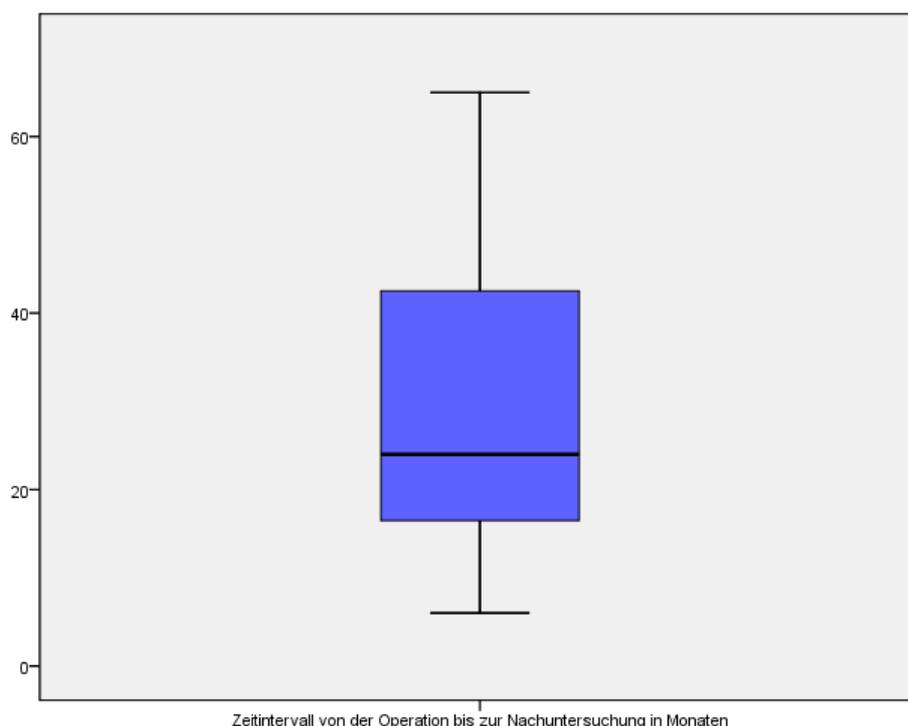
**Abbildung 35:**  
*Durchschnittliches Zeitintervall von der Operation bis zur Metallentfernung in Monaten.*

### 3.6 Anamnese und Nachuntersuchungen

Allen 71 Patienten wurde die Möglichkeit einer Nachuntersuchung angeboten. Bei zwölf Patienten (16,9 %) gelang, meist wegen unbekanntem Wechsels des Wohnsitzes, keine Kontaktaufnahme. Vier Patienten (5,6 %) waren leider in der Zwischenzeit verstorben. Weitere 14 Patienten (19,8 %) lehnten die Einladung ab. Auf Nachfrage gaben diese an, subjektiv keine Beschwerden zu haben. Einer Patientin mit bekannter Depression und emotional instabiler Persönlichkeitsstörung des Borderline-Typs, welche ihre Nachuntersuchung eine Stunde zuvor absagte, wurde kein neuer Termin angeboten. In einem längeren Telefonat mit ihr, um eine neue Untersuchung zu vereinbaren, zeigte sich, dass dies trotz grundsätzlicher Bereitschaft der Patientin wenig zielführend gewesen wäre.

Die übrigen 40 Patienten (56,3 %) nahmen die Einladung zur Nachuntersuchung an.

Die Nachuntersuchung erfolgte zwischen 6 und 65 Monaten nach der operativen ISG-Verschraubung, durchschnittlich aber nach 29,1 ( $\pm$  19,1) Monaten. Der Median liegt bei 24,0 Monaten. Abbildung 36 zeigt in einem Boxplot das Zeitintervall zwischen Operation und Nachuntersuchung.



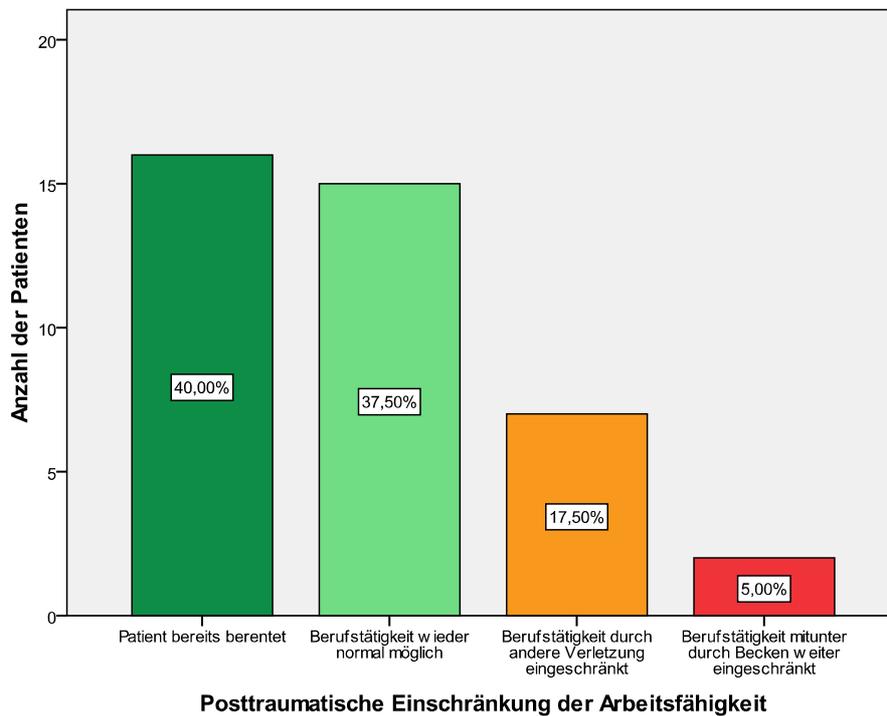
**Abbildung 36:**  
*Zeitintervall von der minimal invasiven ISG-Verschraubung bis zur Nachuntersuchung in Monaten.*

### **3.6.1 Ergebnisse der Nachuntersuchung**

#### **3.6.1.1 Posttraumatische Einschränkung der Arbeitsfähigkeit**

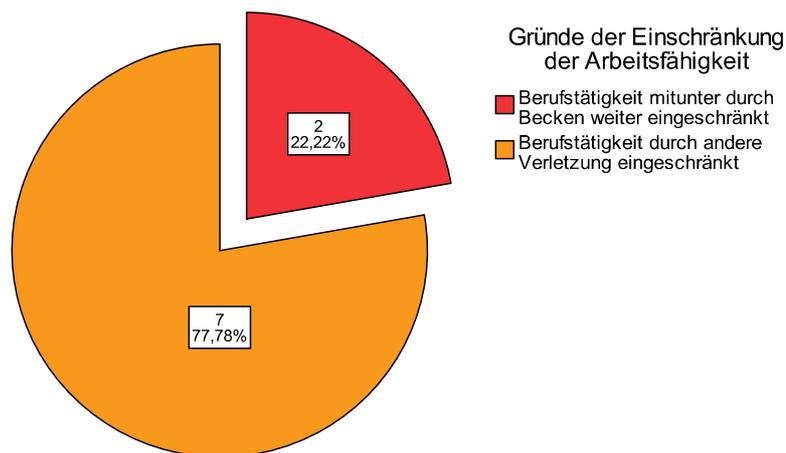
16 (40%) der 40 erschienenen Patienten waren bereits zum Unfallzeitpunkt berentet. 15 Personen (37,5 %) konnten mittlerweile wieder uneingeschränkt ihrem alten Beruf nachgehen. Bei 9 Patienten (22,5 %) bestand leider weiterhin eine Einschränkung der Berufsfähigkeit. Bei 7 dieser 9 Patienten (77,8 %) konnte die Beckenverletzung als Ursache hierfür aber ausgeschlossen werden. So ist ein Patient, dessen Beckenfraktur höchst zufriedenstellend ausgeheilt war, derzeit als Folge eines schweren Schädel-Hirn-Traumas und daraus resultierender geistiger und sprachlicher Einschränkungen in einer Behindertenwerkstatt tätig. Ein anderer Patient, der viel kopfüber mit den Armen arbeiten muss, wird noch von den Folgen eines Traumas des Oberarmes eingeschränkt, welches mit einem Veneninterponat der A. brachialis und einer Osteosynthese versorgt werden musste. Die anderen fünf Personen empfanden belastungsabhängige Schmerzen im Sprunggelenk, in Folge ihres Unfalls, als die hauptsächliche Behinderung in ihrem Berufsleben.

Zwei Patienten (5,0 %) gaben allerdings an, durch Schmerzen im Bereich des Iliosakralgelenkes in ihrem Berufsleben beeinträchtigt zu werden. Eine 21 jährige Patientin berichtete, dass bei langem Stehen seit dem Unfall ausgehend vom Iliosakralbereich eine Muskelverspannung des gesamten Rückens mit begleitendem Kopfschmerz einsetzen würde. Sie wurde von hinten von einem Auto angefahren und erlitt dadurch eine Sakrumlängsfraktur Typ C 1.3 links, welche mit zwei Schrauben stabilisiert wurde. Aufgrund der genannten Symptomatik musste die Patientin ihren Beruf als Friseurin aufgeben und eine Ausbildung zur Hotelfachkauffrau beginnen. Ein 22 jähriger Patient wurde bei der Arbeit auf der Baustelle von einem herunterstürzenden Stahlträger gestreift. Hierbei erlitt er eine Sakrumfraktur Typ C 2.3 rechts, eine instabile LWK-3-Berstungsfraktur mit Foraminaeinengung, einen LWK-2-Spaltbruch mit Verdacht auf Wurzelkompression L3 links, eine Rippenreihenfraktur links mit Lungenkontusion beidseits und eine Metatarsale-1-Luxationsfraktur sowie multiple Mittelfußfrakturen. Auch dieser Patient gab noch bestehende Schmerzen in der ISG-Region an. Obwohl das Hauptproblem klinisch in der LWS-Region zu liegen schien, welche mit einem Fixateur interne versorgt werden musste, konnte die Beckenverletzung nicht als Berufseinschränkung ausgeschlossen werden. Zudem bestehen bei dem Patienten persistierende Schmerzen im linken Fuß. Zum Zeitpunkt der Untersuchung, ca. 30 Monate nach dem Unfall, konnte der Patient noch keinem Beruf nachgehen. Die Abbildungen 37 und 38 zeigen die Ergebnisse zur Einschränkung der Berufstätigkeit der zur Nachuntersuchung erschienenen Patienten.



**Abbildung 37:**

*Posttraumatische Einschränkung der Arbeitsfähigkeit. Die grün gekennzeichneten Patienten (n = 31; 77,50 %) waren bereits berentet gewesen oder konnten ihren Beruf ohne Einschränkung wieder aufnehmen. Bei den übrigen 9 Patienten (22,5 %) bestand weiterhin eine Beeinträchtigung bei der Arbeitsfähigkeit. Allerdings war diese Einschränkung lediglich bei 2 Patienten, welche mit dem roten Balken aufgeführt sind, mitunter durch die Beckenverletzung bedingt.*

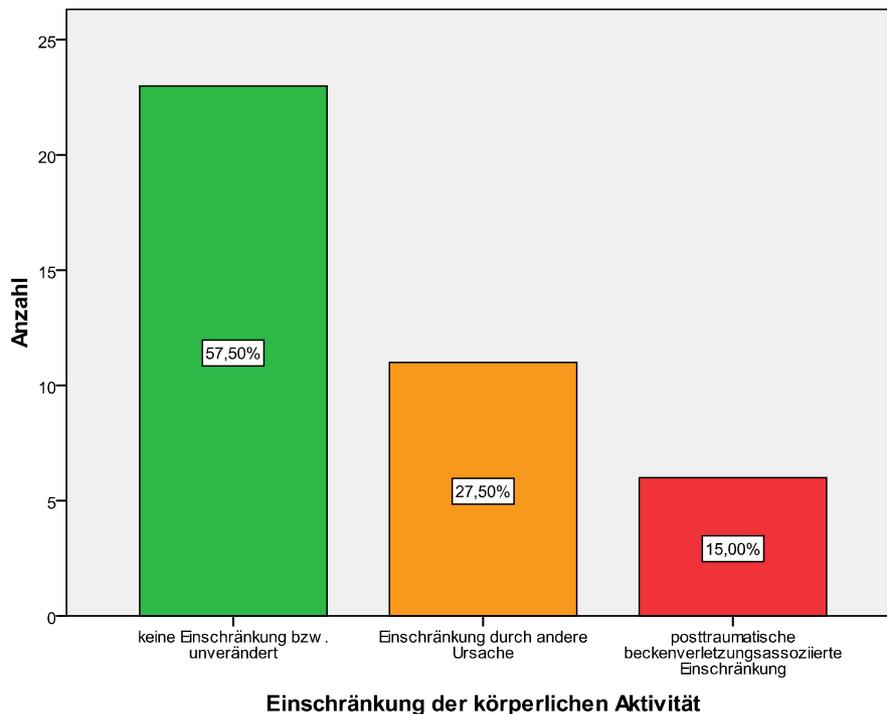


**Abbildung 38:**

*Gründe der Einschränkung der Arbeitsfähigkeit. Bei 7 von 9 Patienten (77,78 %), welche zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung weiterhin in ihrer Arbeitsfähigkeit eingeschränkt waren, konnte die Beckenverletzung als Ursache hierfür ausgeschlossen werden.*

### 3.6.1.2 Einschränkung der körperlichen Aktivität

In Bezug auf ihre körperliche Aktivität fühlten sich 23 der nachuntersuchten Personen (57,5 %) nicht mehr durch ihren Unfall beeinträchtigt. Sechs Patienten (15,0 %) gaben an, bei körperlicher Freizeitaktivität Schmerzen im Bereich des Iliosakralgelenks zu haben. Weitere 11 Patienten (27,5 %) sind durch andere Unfallfolgen im Vergleich zu vorher in ihrer Aktivität eingeschränkt. Abbildung 39 zeigt dies in einem Balkendiagramm.



**Abbildung 39:**

*Einschränkung der Patienten in ihrer körperlichen Aktivität.*

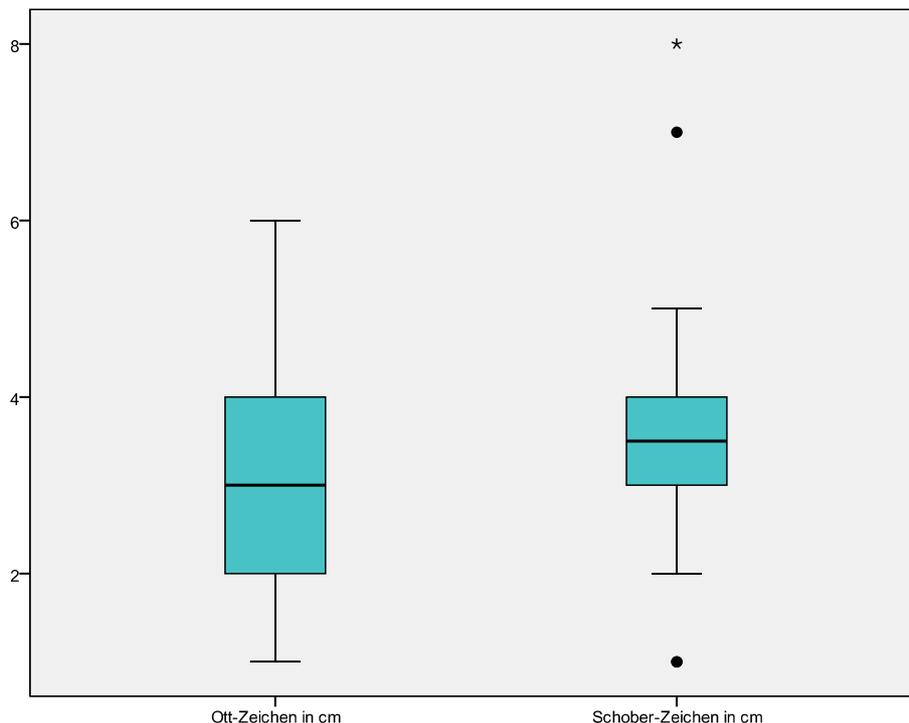
*Der rote Balken bezeichnet die Patienten, welche durch ihre Beckenverletzung weiterhin eingeschränkt waren.*

### 3.6.1.3 Störungen von Körperfunktionen

Bei 12 (30 %) der 40 nachuntersuchten Patienten kam es nach dem Unfall zu neu aufgetretenen Störungen bei den allgemeinen Körperfunktionen. Bei 4 Patienten (10 %) war mehr als eine Körperfunktion beeinträchtigt. In 3 Fällen (7,5 %) traten posttraumatisch Probleme mit dem Stuhlgang und in 6 Fällen (15,0 %) bei der Miktion auf. Bei fünf Patienten (14,3 %) kam es zu Störungen der Sexualfunktion, wobei nicht genauer in Sensibilitätsveränderungen, Schmerzen oder erektile Dysfunktion unterteilt wurde. Drei Patienten (7,5 %) zeigten nach dem Unfall Sensibilitätsstörungen in umschriebenen Arealen der unteren Extremität.

### 3.6.2 Orthopädische Tests

Für das Ott-Zeichen ergab sich ein durchschnittlicher Wert von 3,0 ( $\pm 1,5$ ) cm. Die Testung des Schober-Zeichens zeigte einen Mittelwert von 3,5 ( $\pm 1,3$ ) cm. Der durchschnittliche Finger-zu-Boden-Abstand betrug bei den untersuchten Patienten 6,2 ( $\pm 8,5$ ) cm, wobei der Median jedoch bei 0 cm liegt. Die meisten Patienten konnten entsprechend den Boden erreichen. Abbildung 40 zeigt die Ergebnisse des Ott- und Schober-Zeichens in graphischer Darstellungsform.



**Abbildung 40:**  
Ergebnisse des Ott- und des Schober-Zeichens in Zentimeter.

Die weiteren orthopädischen Tests wurden, unabhängig von der Verletzungsseite, bei allen Patienten stets im Seitenvergleich durchgeführt. Es wurde dabei nicht während der Untersuchung sondern erst bei der Auswertung der Daten berücksichtigt, ob die untersuchte Seite tatsächlich verletzt gewesen war. Von den 40 nachuntersuchten Patienten hatten 30 (75 %) eine einseitige und 10 (25 %) eine beidseitige Beckenringverletzung erlitten. Die Ergebnisse werden zur besseren Übersicht in Tabelle 7 dargestellt. In den vertikalen Spalten finden sich hierbei jeweils die verschiedenen Gruppen, welche das Testergebnis mit der Verletzungsseite in Bezug bringen. In den horizontalen Zeilen werden die unterschiedlichen Tests aufgeführt. Die Ergebnisse sind mit Häufigkeit und Prozentzahl in der Form  $n (x \%)$  angegeben.

**Tabelle 7a:** Ergebnisse des Spine-Test, des Vorlaufphänomens und des Trendelenburg-Zeichens.

	Spine-Test	Vorlaufphänomen	Trendelenburg-Zeichen
Testergebnis beidseits negativ	34 (85 %)	35 (87,5 %)	35 (87,5 %)
Test isoliert auf der betroffenen Seite positiv	1 (2,5 %)	1 (2,5 %)	3 (7,5 %)
Test auf einer von beiden betroffenen Seiten positiv	1 (2,5 %)	0	1 (2,5 %)
Test zusätzlich auf der nicht betroffenen Seite positiv	0	1 (2,5 %)	0
Test isoliert auf der nicht betroffenen Seite positiv	1 (2,5 %)	0	0
Test nicht durchführbar	3 (7,5 %)	3 (7,5 %)	1 (2,5%)

**Tabelle 7b:** Ergebnisse der Testung der Lig. iliolumbale, sacrospinale und sacrotuberale.

	Lig. iliolumbale	Lig. sacrospinale	Lig. sacrotuberale
Testergebnis beidseits negativ	35 (87,5 %)	34 (85,0 %)	35 (87,5 %)
Test isoliert auf der betroffenen Seite positiv	2 (5,0 %)	2 (5,0 %)	2 (5,0 %)
Test auf einer von beiden betroffenen Seiten positiv	2 (5,0 %)	3 (7,5 %)	1 (2,5 %)
Test zusätzlich auf der nicht betroffenen Seite positiv	1 (2,5 %)	0	1 (2,5 %)
Test isoliert auf der nicht betroffenen Seite positiv	0	1 (2,5 %)	1 (2,5 %)
Test nicht durchführbar	0	0	0

**Tabelle 7c:** Ergebnisse des Iliosakral-Dehntests, des Patrick-Zeichens und des Laseque-Zeichens.

	Iliosakral-Dehntest	Patrick-Zeichen	Laseque-Zeichen
Testergebnis beidseits negativ	38 (95,0 %)	32 (80,0 %)	38 (95,0 %)
Test isoliert auf der betroffenen Seite positiv	1 (2,5 %)	3 (7,5 %)	0
Test auf einer von beiden betroffenen Seiten positiv	1 (2,5 %)	1 (2,5 %)	1 (2,5 %)
Test zusätzlich auf der nicht betroffenen Seite positiv	0	2 (5,0 %)	0
Test isoliert auf der nicht betroffenen Seite positiv	0	2 (5,0 %)	1 (2,5 %)
Test nicht durchführbar	0	0	0

**Tabelle 7d:** Ergebnisse des Bonnet-Zeichens, des Laguerre-Tests und der Federung des ISG cum femore.

	Bonnet-Zeichen	Laguerre-Test	Federung des ISG cum femore
Testergebnis beidseits negativ	37 (92,5 %)	37 (92,5 %)	28 (70,0 %)
Test isoliert auf der betroffenen Seite positiv	1 (2,5 %)	0	5 (12,5 %)
Test auf einer von beiden betroffenen Seiten positiv	2 (5,0 %)	2 (5,0 %)	1 (2,5 %)
Test zusätzlich auf der nicht betroffenen Seite positiv	0	0	6 (15,0 %)
Test isoliert auf der nicht betroffenen Seite positiv	0	1 (2,5 %)	0
Test nicht durchführbar	0	0	0

**Tabelle 7e:** Ergebnisse des Derbolowski- und Gänslen-Zeichens sowie des Ileumdrucktests.

	Derbolowski-Zeichen	Gänslen-Zeichen	Ileumdrucktest
Testergebnis beidseits negativ	28 (70,0 %)	34 (85,0 %)	39 (97,5 %)
Test isoliert auf der betroffenen Seite positiv	7 (17,5 %)	1 (2,5 %)	0
Test auf einer von beiden betroffenen Seiten positiv	3 (7,5 %)	2 (5,0 %)	1 (2,5 %)
Test zusätzlich auf der nicht betroffenen Seite positiv	0	1 (2,5 %)	0
Test isoliert auf der nicht betroffenen Seite positiv	0	0	0
Test nicht durchführbar	2 (5,0 %)	2 (5,0 %)	0

**Tabelle 7f:** Ergebnisse des 3-Stufen-Hyperextensionstests.

3-Stufen-Hyperextensionstest	Sakrum (1.Mennell-Zeichen)	Ileum	LWS
Testergebnis beidseits negativ	33 (82,5 %)	29 (72,5 %)	35 (87,5 %)
Test isoliert auf der betroffenen Seite positiv	0	4 (10,0 %)	1 (2,5 %)
Test auf einer von beiden betroffenen Seiten positiv	3 (7,5 %)	2 (5,0 %)	1 (2,5 %)
Test zusätzlich auf der nicht betroffenen Seite positiv	0	2 (5,0 %)	1 (2,5 %)
Test isoliert auf der nicht betroffenen Seite positiv	3 (7,5 %)	2 (5,0 %)	1 (2,5 %)
Test nicht durchführbar	1 (2,5 %)	1 (2,5 %)	1 (2,5 %)

**Tabelle 7g:** Ergebnisse des Abduktionsbelastungstests, des Federungstests in Bauchlage und des Yeoman-Tests.

	Abduktionsbelastungstest	Federungstest in Bauchlage	Yeoman-Test
Testergebnis beidseits negativ	35 (87,5 %)	22 (55,0 %)	29 (72,5 %)
Test isoliert auf der betroffenen Seite positiv	2 (5,0 %)	7 (17,5 %)	3 (7,5 %)
Test auf einer von beiden betroffenen Seiten positiv	2 (5,0 %)	3 (7,5 %)	2 (5,0 %)
Test zusätzlich auf der nicht betroffenen Seite positiv	1 (2,5 %)	3 (7,5 %)	0
Test isoliert auf der nicht betroffenen Seite positiv	0	4 (10,0 %)	3 (7,5 %)
Test nicht durchführbar	0	1 (2,5 %)	3 (7,5 %)

### 3.7 Ergebnisse der Fragebögen

#### 3.7.1 Ergebnisse des SF-36 Fragebogens

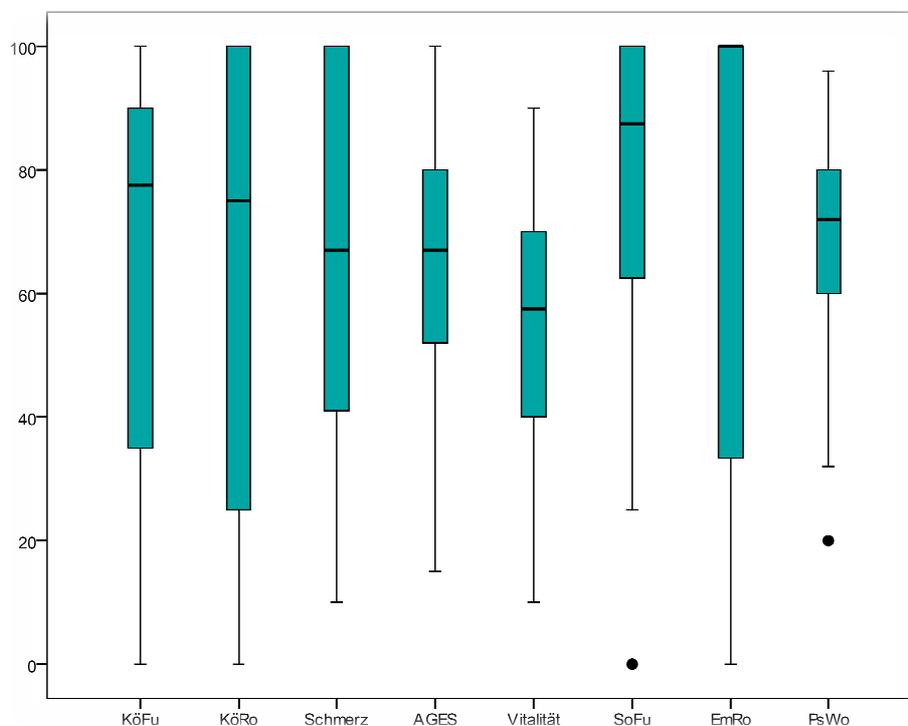
Der SF-36-Fragebogen wurde von 38 (53,5 %) Patienten vollständig ausgefüllt und ausgewertet.

Tabelle 8 zeigt die Ergebnisse der acht Summenskalen. Es wird jeweils der Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung, der Median und die Ober- und Untergrenze des 95 % - Konfidenzintervalls angegeben. Die Summenskalen des SF-36 sind auf eine Skala von 0-100 transformiert. Ein hoher Wert gibt einen Rückschluss auf eine hohe Lebensqualität in diesem Bereich, ein niedriger Wert entsprechend umgekehrt.

In Abbildung 41 sind die Boxplots der einzelnen Summenskalen dargestellt.

**Tabelle 8:** Ergebnisse der Summenskalen des SF-36 Fragebogens.

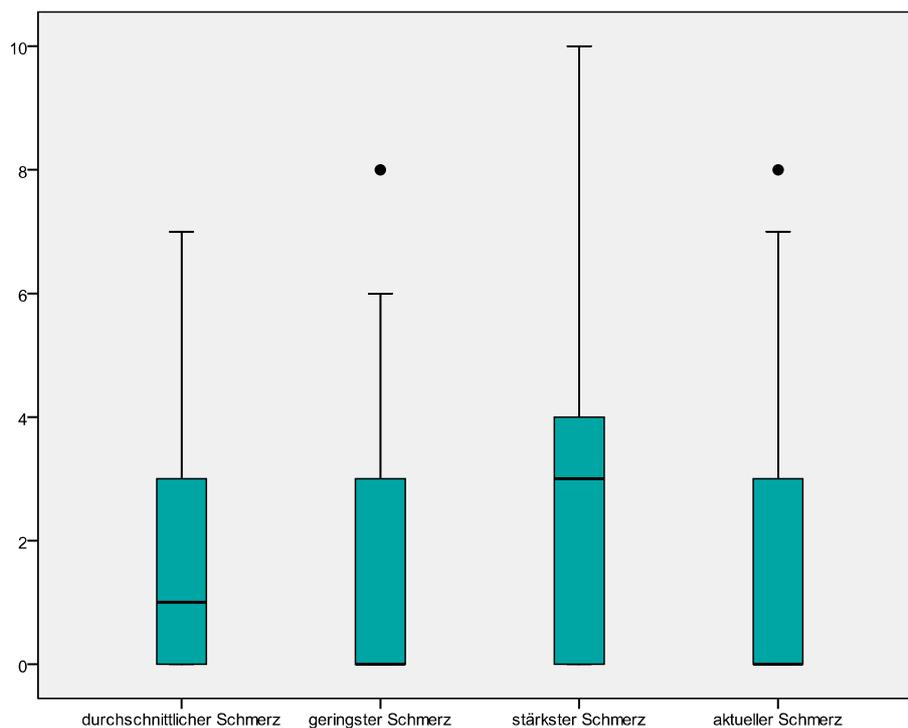
Dimension	Mittelwert $\pm$ Standardabweichung	Median	95 % - Konfidenzintervall
Körperliche Funktionsfähigkeit	64,21 $\pm$ 32,40	77,50	53,56 – 74,86
Körperliche Rollenfunktion	59,21 $\pm$ 40,03	75,00	46,05 – 72,37
Körperliche Schmerzen	66,53 $\pm$ 30,30	67,00	56,57 – 76,49
Allgemeine Gesundheitswahrnehmung	64,57 $\pm$ 21,48	67,00	57,51 – 71,63
Vitalität	53,42 $\pm$ 21,31	57,50	46,42 – 60,43
Soziale Funktionsfähigkeit	76,32 $\pm$ 26,92	87,50	67,47 – 85,16
Emotionale Rollenfunktion	68,42 $\pm$ 41,70	100,00	54,72 – 82,13
Psychisches Wohlbefinden	69,68 $\pm$ 18,10	72,00	63,74 – 75,63



**Abbildung 41:** Ergebnisse der einzelnen Summenskalen des SF-36 Fragebogens auf einer Skala von 0 bis 100.

### 3.7.2 Ergebnisse des Brief Pain Inventory

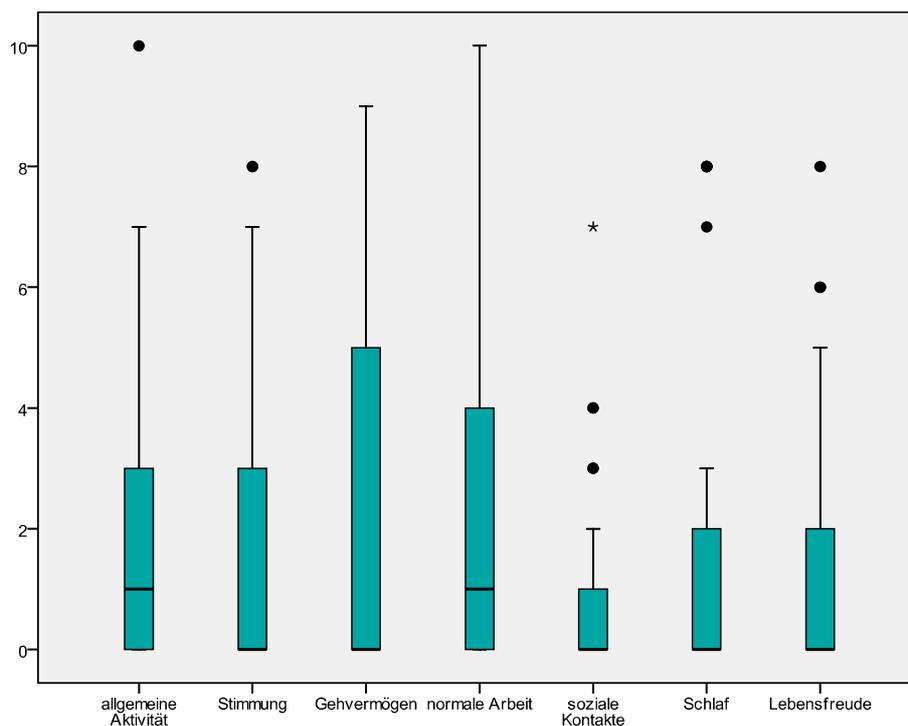
Das Brief Pain Inventory wurde von 42 Patienten (59,2 %) bearbeitet. Die Ergebnisse sollen einen Überblick über die Schmerzbelastung der Patienten und die damit verbundenen Einschränkungen bieten. Die ersten sechs Fragen beziehen sich hierbei auf die Schmerzqualität. Neun Patienten (21,4 %) gaben an, am Untersuchungstag bereits andere Schmerzen als Alltagschmerzen wie etwa Kopfweg gehabt zu haben. Auf einer schematischen Körperabbildung von hinten und vorne konnten die Patienten schmerzende Stellen schraffieren und das stärkste Areal mit einem Kreuz versehen. Anschließend wurden die geringsten, stärksten und durchschnittlichen Schmerzen in den vorausgegangenen 24 Stunden sowie die aktuellen Schmerzen auf einer Skala von 0 bis 10 erfragt. Die Null bezeichnet hierbei Schmerzfreiheit und die Zehn die stärksten nur vorstellbaren Schmerzen. Abbildung 42 zeigt die entsprechenden Ergebnisse nebeneinander in Form von Boxplots.



**Abbildung 42:** Ergebnisse zur aktuellen, geringsten, stärksten und durchschnittlichen Schmerzbelastung der Patienten auf einer Skala von 0 bis 10. Ein höherer Wert entspricht einer größeren Schmerzbelastung.

Als durchschnittliche Ergebnisse ergaben sich folgende Mittelwerte mit entsprechender Standardabweichung: Für die durchschnittlichen Schmerzen 2,07 ( $\pm$  2,17), 1,37 ( $\pm$  1,93) für die geringsten und 3,10 ( $\pm$  2,75) für die stärksten Schmerzen. Die aktuellen Schmerzen wurden mit durchschnittlich 1,59 ( $\pm$  2,31) angegeben.

Die Fragen 9 bis 15 beschäftigen sich mit möglichen Beeinträchtigungen durch die Schmerzsymptomatik der Patienten. Wieder kommt eine Skala von 0 bis 10 zur Anwendung. Null beschreibt hierbei, dass keine Beeinträchtigung vorliegt, die Zehn entspricht einer vollständigen Beeinträchtigung. Einen Überblick bietet Abbildung 43 in Form von Boxplots. Die genaueren Werte sind zur besseren Übersichtlichkeit in Tabelle 9 dargestellt. Hierbei wird bei der Darstellung von Mittelwert, 95%-Konfidenzintervall und Median ebenfalls auf die Skalierung von 0 bis 10 Bezug genommen.



**Abbildung 43:** Einfluss der Schmerzen auf verschiedene Lebensbereiche der Patienten auf einer Skala von 0 bis 10. Ein höherer Wert entspricht einer stärkeren Beeinträchtigung durch die Schmerzsymptomatik.

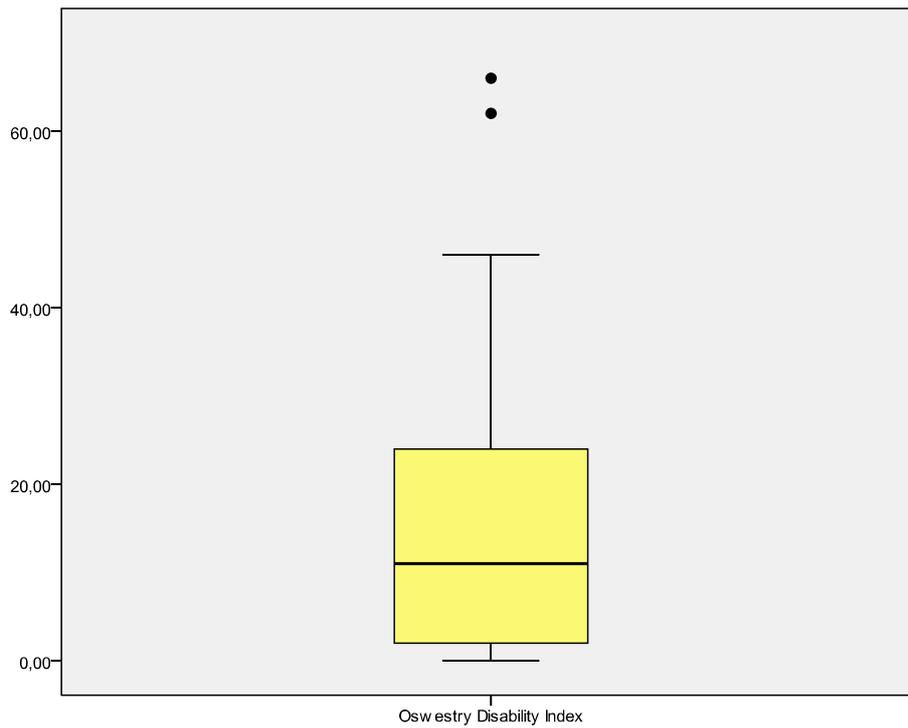
**Tabelle 9:** Beeinträchtigung verschiedener Lebensbereiche des Patienten durch die Schmerzen. Ein höherer Wert entspricht einer stärkeren Beeinträchtigung.

Beeinträchtigung	Mittelwert	Standardabweichung	Median	95%-Konfidenzintervall
<b>Allgemeine Aktivität</b>	3,11	1,76	3,00	1,76 – 4,47
<b>Stimmung</b>	3,44	2,89	3,00	1,23 – 5,66
<b>Gehvermögen</b>	3,78	2,82	3,00	1,61 – 5,94
<b>Normale Arbeit</b>	4,33	1,94	4,00	2,84 – 5,82
<b>Soziale Kontakte</b>	1,00	1,32	1,00	-0,02 – 2,02
<b>Schlaf</b>	2,44	2,96	1,00	0,17 – 4,72
<b>Lebensfreude</b>	2,44	2,51	1,00	0,52 – 4,37

### 3.7.3 Ergebnisse des Oswestry Disability Index

Für 42 der 71 Patienten konnte mit Hilfe des Oswestry Disability Index ihre subjektive Beeinträchtigung in ihrem Lebensalltag in Prozentwerten dargestellt werden. Keine Beeinträchtigung entspricht einem Wert von 0 %. Eine maximale Beeinträchtigung würde einen Wert von 100 % darstellen.

Durchschnittlich ergab sich für die 42 Patienten ein Wert von 16,14 %  $\pm$  16,85 %. Der Median betrug 11 %. Das Minimum lag bei 0 %, was beschwerdefreien Patienten entspricht. Die maximal erreichte Beeinträchtigung lag bei 66 %. Abbildung 44 stellt dies in einem Box-whisker-plot dar. Das 95 % - Konfidenzintervall des Mittelwertes betrug zwischen 10,89 % und 21,40 %.



**Abbildung 44:**  
*Ergebnis des Oswestry Disability Index zur durchschnittlichen Beeinträchtigung der Patienten in ihrer Lebensqualität auf einer Skala von 0 bis 100. Ein höherer Wert entspricht einer stärkeren Beeinträchtigung.*

## 4 Diskussion

### 4.1 Das CT-gesteuerte Operationsverfahren

#### 4.1.1 Schraubeneinbringung und Schraubenlage

Bei der Versorgung instabiler Frakturen des dorsalen Beckenrings sind die offenen Operationsverfahren zunehmend von komplikationsärmeren minimal invasiven perkutanen Methoden abgelöst worden [41-42, 44-46, 84]. Die komplexe Anatomie der Iliosakralregion und mögliche Abweichungen von dieser, machen die perkutane Einbringung von osteosynthetischen Schrauben schwierig und stellen hohe Anforderungen an die zur Anwendung kommenden Verfahren [64-65, 85-89].

Derzeit ist die radiologische Orientierung mit Hilfe eines C-Bogen-Röntgengeräts (Bildwandler) im Operationsraum die bekannteste und am meisten verfügbare Methode [44, 88, 90-94]. Das C-Bogen-Röntgengerät ist mobil und ermöglicht Aufnahmen aus verschiedenen Winkeln, ohne den Patienten bewegen zu müssen. Zur Visualisierung der knöchernen Beckenstrukturen im Rahmen der minimalinvasiven operativen Insertion der Schrauben werden insbesondere folgende drei standardisierten Röntgenaufnahmen durchgeführt: inlet-, outlet- und lateral-view. Mit der inlet-Aufnahme werden vor allem die Grenzen der Sakrumflügel dargestellt, während die outlet-Aufnahme vor allem dazu dient, einen sicheren Weg zwischen den Neuroforamina zu finden [95]. Moed berichtet von der erfolgreichen Einbringung von 53 Schrauben in den anatomisch schwer zugänglichen SWK2 unter Verwendung und Kombination dieser radiologischen Ansichten [95]. Dennoch gilt die Beurteilbarkeit der hinteren Bereiche des Sakrums, inklusive der Neuroforamina, mit C-Bogen-Röntgen als eingeschränkt und kann durch Darmgasüberlagerungen oder massives Übergewicht der Patienten sogar unmöglich sein [46, 96]. Um die jeweiligen anatomischen Gegebenheiten exakt beurteilen zu können wird daher in der Regel eine präoperative Computertomographie benötigt [44, 95]. Die so gewonnenen genauen und dreidimensionalen Daten können allerdings nicht direkt während der Operation zur Orientierung verwendet werden. Die Orientierung im Raum erfolgt durch Aufnahmen aus verschiedenen Winkeln, welche der Operateur entsprechend einstellen und interpretieren muss. Dies erfordert viel Erfahrung und eine genaue Vorstellung der komplexen Anatomie [84]. Um die korrekte Lage der eingebrachten Schrauben zu überprüfen ist wiederum eine CT-Untersuchung das genaueste Verfahren [55, 88, 97]. Unter der Verwendung von C-Bogen-Röntgen wird von einer Schraubenfehlagenrate von 2 % bis 15 % [91, 98] und einer Verletzung neurologischer Strukturen in 0,5 % bis 7,7 % der Fälle [45] berichtet. Eine zeitnahe genaue Kontrolle auf Fehllagen ist aufgrund der engen räumlichen Beziehung zu neurovaskulären Strukturen und möglichen anatomischen Varianten bei allen Opera-

tionsmethoden obligat [99-106]. Die Fehlpositionierung einer Schraube um nur vier Grad kann bereits zur Schädigung neurovaskulärer Strukturen führen [98].

Um den Nachteil der fehlenden direkten dreidimensionalen Darstellung bei einer Operation unter Verwendung eines C-Bogen-Röntgengeräts zu beheben, sind verschiedene Ansätze entwickelt worden. Eine vielversprechende Gruppe stellen dabei Methoden dar, welche computergestützte Navigationsverfahren verwenden, um die Röntgeninformationen dreidimensional verwerten zu können [56-59, 61, 84, 107-109]. Derzeit sind einige verschiedene innovative navigierte Methoden, mit unterschiedlicher technischer Ausstattung, zur Behandlung dorsaler Beckenringverletzungen in Entwicklung und Erprobung. Ein direkter Vergleich mit älteren Methoden ist durch das Fehlen eines eindeutigen gemeinsamen technischen Standards und bisher noch eher kleinen klinischen Fallzahlen aber schwierig.

Eine 2009 von Zwingmann vorgestellte Studie vergleicht die eigenen klinischen Erfahrungen mit einem Computer-gestützten Verfahren gegenüber der herkömmlichen perkutanen Operationsmethode [84]. Alle Patienten hatten eine Typ B- oder C-Verletzung, entsprechend der Klassifikation nach Tile und Pennal [110], mit fehlender oder nur geringer Dislokation.

Eine Gruppe aus 32 Patienten wurde zunächst durch insgesamt 35 Schrauben mit der üblichen perkutanen Methode versorgt. Demgegenüber steht eine Gruppe aus 24 Patienten, welche mit Hilfe eines Computer-gestützten Verfahrens mit insgesamt 26 Schrauben osteosynthetisch versorgt wurden. Bei dieser Gruppe wurde das C-Bogen-Gerät Iso-C-3D (SiremobilR; Siemens, Erlangen, Deutschland) verwendet, welches durch eine einmalige Rotation von 190° um die untersuchte Region eine Bilderserie erstellt, die dreidimensional computergestützt miteinander verbunden werden können [111-112]. Die so erhaltenen räumlichen Daten wurden an das Navigationssystem VectorVisionR (BrainLAB, München, Deutschland) übermittelt. Damit das Navigationssystem einen Referenzpunkt an den echten anatomischen Gegebenheiten hatte, wurde ein Referenzmarker entweder an einem bereits vorhandenen Fixateur externe oder an zwei eigens dafür eingebrachten 3,0 mm Kirschner-Drähten befestigt. Durch diese Kombination der technischen Geräte konnte die genaue Platzierung der Schrauben dreidimensional geplant und nach der Überprüfung, ob das errechnete Bild den tatsächlichen Gegebenheiten entsprach, durchgeführt werden. Das mechanische Einbringen der Schrauben erfolgte dabei in üblicher Technik. Die endgültige Schraubenlage wurde mit einer Computertomographie überprüft. Perforierende Schrauben wurden gemäß einer erstmals von Gertzbein [113] benutzten Einteilung erfasst, die später auch von anderen Autoren verwendet wurde

[54, 113-115]. Dabei bezeichnet Grad 0 eine korrekte vollständig intraossäre Lage der Schrauben. Grad 1 eine Perforation bis maximal 2 mm. Grad 2 eine Perforation zwischen 2 und 4 mm und Grad 3 über 4 mm. Die Ergebnisse der Schraubenendlage der beiden Gruppen sind in Tabelle 10 dargestellt und sollen später auch mit den Ergebnissen der CT-gesteuerten Methode verglichen werden.

**Tabelle 10:** Vergleich der Genauigkeit der Schraubenlage zwischen den Gruppen mit konventioneller bzw. navigierter perkutaner Verschraubung durch Zwingmann [84].

Schraubenlage	Konventionelle perkutane Verschraubung (32 Patienten; 35 Schrauben)	Navigierte dreidimensionale Verschraubung (24 Patienten; 26 Schrauben)
<b>Grad 0</b> (keine Perforation)	40 %	69 %
<b>Grad 1</b> (bis 2 mm)	37 %	15 %
<b>Grad 2</b> ( 2 bis 4 mm)	11,5 %	8 %
<b>Grad 3</b> (über 4 mm)	11,5 %	8 %

Es zeigt sich eine höhere Genauigkeit der Schraubenlage bei dem navigierten Operationsverfahren. Die benötigte Operationszeit war für beide Gruppen ungefähr gleich. Bei der konventionellen Gruppe betrug die durchschnittliche Schnitt-Naht-Zeit  $69 \pm 38$  min, in der navigierten Gruppe  $72 \pm 16$  min. Die Strahlenbelastung konnte allerdings in der navigierten Gruppe auf  $822 \pm 164$  cGy/cm<sup>2</sup> im Vergleich zu  $1843 \pm 1052$  cGy/cm<sup>2</sup> reduziert werden.

Collinge [57] berichtet ebenfalls über einen Vergleich der konventionellen perkutanen Methode mit einem normalen C-Bogen-Röntgengerät und einem navigierten Verfahren. Dazu wurden 58 Schrauben, 29 je Operationsverfahren, experimentell in die intakten Becken von Leichen eingebracht. Bei beiden Methoden perforierte jeweils nur eine Schraube, während die anderen 28 (97 %) in der geplanten Weise zu liegen kamen. Auch die benötigte Operationszeit war für beide Verfahren vergleichbar. Die Strahlenzeit konnte jedoch mit der navigierten Operationsmethode von durchschnittlich 26 auf nur 6 Sekunden reduziert werden.

Ein weiteres minimal invasives Verfahren zur Stabilisierung dorsaler Beckenringverletzungen stellt die CT-gesteuerte Verschraubung dar [46-47, 49, 62-63, 65, 67-68, 116], mit welcher sich diese Arbeit befasst. Durch die intermittierende perioperative Visualisierung der Operationsschritte kann die exakte Schraubenpositionierung noch vor dem Wundverschluss dokumentiert werden. Mittels der vorliegenden Studie konnte gezeigt werden, dass 132 (97,1 %)

der insgesamt 136 Hohlschrauben vollständig innerhalb der knöchernen Strukturen zu liegen kamen. Lediglich drei Schrauben (2,2 %) perforierten die Kortikalis um maximal einen Millimeter. Eine einzige Schraube (0,7 %) perforierte die Kortikalis über einen Millimeter hinaus. Sie drang mit ihrem kaudalen Anteil von kranial mit einem Maximum von 2,2 mm in ein Neuroforamen ein. Aber auch diese vier Schrauben (2,9 %) stabilisierten erfolgreich die Frakturen, ohne Komplikationen zu verursachen. Sie wurden daher bewusst in dieser Lage belassen und die Operation beendet. Diese genauen Messungen werden der von Zwingmann [84] verwendeten Klassifikation zugeordnet und in Tabelle 11 mit dessen Ergebnissen der Computer-navigierten Operationsmethode verglichen.

**Tabelle 11:** Vergleich der Genauigkeit der Schraubenlage zwischen den Ergebnissen der CT-gesteuerten Methode und der von Zwingmann vorgestellten Gruppe mit navigierter Verschraubung.

Schraubenlage	Navigierte dreidimensionale Verschraubung (n=26)	CT-gesteuerte Verschraubung (n=136)
<b>Grad 0</b> (keine Perforation)	69 %	97,1 %
<b>Grad 1</b> (bis 2 mm)	15 %	2,2 %
<b>Grad 2</b> ( 2 bis 4 mm)	8 %	0,7 %
<b>Grad 3</b> (über 4 mm)	8 %	0 %

Entsprechend der Ergebnisse ist die CT-gesteuerte Verschraubung der Computer-navigierten Operationsmethode mit dem Iso-C-3D-Gerät im Hinblick auf die genaue Schraubenpositionierung derzeit überlegen. Allerdings berichtet Zwingmann [84] ebenfalls nicht, dass es durch eine perforierende Schraube zu einer neurovaskulären Verletzung oder zu einer nur unzureichenden Stabilisierung gekommen wäre.

Van den Bosch [45] berichtet von 88 Patienten, welche mit Nutzung eines herkömmlichen C-Bogen-Röntgengeräts operiert wurden und die eingebrachten Schrauben anschließend mit einer postoperativ durchgeführten CT auf Fehllagen überprüft wurden. Bei 2,1 % bis 6,8 % der Schrauben wurde eine Fehlpositionierung festgestellt. Demnach zeigt sich vergleichsweise eine deutlich genauere Schraubenlage bei der konventionellen Operationsmethode, als von Zwingmann berichtet. Dennoch wurde bei 7 der 88 Patienten (7,95 %) aufgrund neurologischer Symptome ein nochmaliger operativer Eingriff nötig.

Der Anteil perforierender Schrauben ist mit 2,9 % bei der CT-gesteuerten Verschraubung mit dem von van den Bosch genannten Anteil von 2,1 % bis 6,8 % [45] vergleichbar. Einen entscheidenden Unterschied stellt allerdings das Fehlen neurologischer Komplikationen bei dem CT-gesteuerten Verfahren dar. Bei den 71 im Klinikum Großhadern operierten Patienten war

keine einzige Revisionsoperation erforderlich. Zudem werden durch die abschließende CT-Kontrolle vor Ende des operativen Eingriffs Schraubenfehlagen und eventuelle damit verbundene Komplikationen, im Gegensatz zu den anderen Methoden, direkt erfasst. Dies würde noch in der gleichen Operation die Revision einer nicht akzeptabel liegenden Schraube ermöglichen, was jedoch in keinem Fall in Realitas notwendig war.

#### **4.1.2 Repositionsergebnis**

Bei der Versorgung dorsaler Beckenbrüche / ISG-Sprengungen wird wie bei allen instabilen Verletzungen das Ziel verfolgt, die betroffenen Strukturen so gut wie möglich in ihrer ursprünglichen anatomischen Position zu fixieren, um eine funktionale Ausheilung zu ermöglichen. Das Repositionsergebnis wurde an den Iliosakralgelenken beurteilt. Die nach der Operation verbliebene ventro/dorsale Verschiebung zwischen Ileum und Sakrum betrug durchschnittlich  $1,38 \pm 0,87$  mm. Die cranio/caudale Verschiebung betrug durchschnittlich  $1,49 \pm 0,84$  mm. Der maximale Versatz betrug in keinem Fall mehr als 0,5 cm. Es kam zu keiner einzigen postoperativen Verschiebung des reponierten und fixierten Frakturspalts. Alle Frakturen heilten vollständig knöchern aus. Bei keinem Patienten wurde eine Revisionsoperation nötig. Diese Ergebnisse entsprechen einer zufriedenstellenden Annäherung an die ursprünglichen anatomischen Verhältnisse. Im Gegensatz zu der von Ziran veröffentlichten Studie wurden keine Schrauben zum alleinigen Zweck der Reponierung einer stark dislozierten Fraktur eingebracht [65]. Bei den versorgten Verletzungen mit leichterer Dislokation wurden die Schrauben biomechanisch so eingebracht, dass sich eine möglichst gute Reposition erzielen ließ. So wurde z.B. bei einer ventralseitigen Aufklappung des ISG-Gelenkes zunächst die ventralseitige Schraube bzw. bei einem Versatz des Ileums nach dorsal eine Schraube von leicht dorsal kommend eingebracht, so dass dann beim Zuziehen der Schraube eine selbstständige Reponierung erfolgte. Eine zweite Schraube diente dann der Sicherung und der Rotationsstabilität der wiederhergestellten anatomischen Stellung.

Die Reposition der Frakturen konnte bei allen 71 Patienten durch geschlossene Manipulation und Fixierung in der Vakuum-Matratze mit teilweiser vorheriger osteosynthetischer Versorgung des anterioren Beckenrings erreicht werden.

#### **4.1.3 Operationszeit**

Die Operationszeit wurde als der Zeitraum von dem ersten chirurgischen Schnitt bis zur Fertigstellung der letzten Hautnaht definiert. Zwingmann [84] gibt eine in etwa unveränderte

Operationszeit zwischen den verglichenen Operationsmethoden an. In der Gruppe, welche mit normaler Bildwandlerkontrolle operiert wurde, ergab sich eine durchschnittliche Schnitt-Naht-Zeit von  $69 \pm 38$  Minuten. Für die Gruppe, die mit dem navigierten Operationsverfahren behandelt wurde, ergab sich eine durchschnittliche Zeit von  $72 \pm 16$  Minuten [84]. Diese Werte sind auf Patienten bezogen, die mit einer osteosynthetischen Schraube behandelt wurden und keine zusätzliche Maßnahme erhielten [84]. Bei der CT-gesteuerten Verschraubung ergab sich im Vergleich für die 20 mit nur einer Schraube behandelten Patienten eine durchschnittliche Schnitt-Naht-Zeit von  $44,5 \pm 18,9$  Minuten. Die perkutane Versorgung instabiler Verletzungen des dorsalen Beckenrings ist demnach mit dem CT-gesteuerten Verfahren in der kürzesten Zeit durchführbar. 39 Patienten (54,93 %) wurden einseitig mit zwei Hohlschrauben versorgt. Im Vergleich zur Versorgung mit nur einer Schraube erhöhte sich die durchschnittliche Operationszeit lediglich auf  $53,4 \pm 33,7$  Minuten. Bei den 12 Patienten die allerdings beidseitig mit drei bis vier Schrauben versorgt werden mussten, ergab sich eine durchschnittliche Operationszeit von  $116,4 \pm 58,7$  Minuten. Dies ist darin begründet, dass in diesen Zeitangaben die Schnitt-Naht-Zeiten beider operierten Seiten und die entsprechende Umlagerung des Patienten sowie ein erneutes Planungs-CT enthalten sind.

Ungeachtet dessen, ob die Eingriffe ein- oder beidseitig durchgeführt wurden, lässt sich der Erfahrungsgewinn des gesamten interventionellen Operationsteams bei der Durchführung der CT-gesteuerten dorsalen Beckenverschraubung als ein weiterer Einflussparameter auf die Operationsdauer im historischen Verlauf von 2004 bis 2009 feststellen:

**Tabelle 12:** Entwicklung der durchschnittlichen Operationszeit in Minuten

Zeitraum	Patientenzahl	Durchschnittliche Operationszeit (Minuten)
2004-2005	21	$88,57 \pm 60,27$
2006-2007	23	$56,30 \pm 31,95$
2008-2009	27	$44,33 \pm 24,55$

Für die ersten 21 Patienten, die seit der Einführung der CT-gesteuerten Verschraubung am Klinikum Großhadern im Jahr 2004 und 2005 behandelt wurden, ergab sich eine durchschnittliche Operationszeit von  $88,57 \pm 60,27$  Minuten. Für die nächsten 23 im Jahr 2006 und 2007 behandelten Patienten wurden noch durchschnittlich  $56,30 \pm 31,95$  Minuten benötigt. Bei den 27 im Jahr 2008 und 2009 behandelten Patienten betrug die durchschnittliche Schnitt-Naht-Zeit lediglich noch  $44,33 \pm 24,55$  Minuten. Die kontinuierliche Verkürzung der durchschnittlich benötigten Operationszeiten zeigt eine deutliche Lernkurve bei der Durchführung der CT-gesteuerten minimal invasiven Verschraubung dorsaler Beckenringsverletzungen. Der Ver-

gleich mehrerer Studien zum selben Verfahren bestätigt, dass eine höhere Fallzahl mit einer geringeren Operationsdauer korreliert. So berichtet Ebraheim [47] mit einer Fallzahl von 19 Patienten und Blake-Toker [49] mit 20 Patienten von einer durchschnittlich benötigten Operationszeit von 80 bzw. 82 Minuten, während Ziran [65] mit 66 Patienten und 133 eingebrachten Schrauben eine durchschnittliche Zeit von 26 Minuten pro Schraube angibt.

#### **4.1.4 Strahlenbelastung**

Die Anwendung der Computertomographie zu diagnostischen Zwecken ist in der Regel mit einer hohen Strahlenbelastung verbunden [79, 117]. Daher ist auch bei der interventionellen Anwendung der Computertomographie strikt darauf zu achten, die Strahlenbelastung für den Patienten und das Personal so niedrig wie möglich zu halten. Vor allem die Verbesserung der Möglichkeiten zur Bildberechnung bei modernen CT-Geräten und eine segmentale Röhrenabschaltung (HandCARE<sup>TM</sup>; Siemens Medical Solutions, Forchheim, Germany) ermöglichen bei Einsatz der CT-Fluoroskopie eine Reduzierung der Strahlenbelastung bei ausreichender Bildqualität [118-120]. Durch die segmentale Röhrenabschaltung lässt sich die effektive Dosis für den Patienten auf einen Wert von 47 % und die Streustrahlung um 30-60 % reduzieren [78]. Bei der perkutanen Verschraubung liegt das Kerninteresse auf den knöchernen Strukturen. Diese können im Vergleich zu den Weichteilen des Beckens bereits bei niedriger Dosis in geeigneter Weise dargestellt werden [121]. Bei den CT-Fluoroskopie-Sequenzen, die der Kontrolle der Schraubeneinbringung in Echtzeit dienen, wurde daher lediglich ein Röhrenstrom von 15 bzw. 25 mAs benötigt.

Für die 71 mit dem CT-gesteuerten Verfahren behandelten Patienten ergab sich ein durchschnittliches Dosislängenprodukt von  $849,44 \pm 452,45$  mGy\*cm. Die effektive Dosis betrug entsprechend  $5,9 \pm 3,1$  mSv für die Männer und  $8,7 \pm 4,5$  mSv für die Frauen. Zum Vergleich beträgt die Strahlenbelastung bei einer diagnostischen CT-Untersuchung des Abdomens bis zu 27,4 mSv [122]. Es zeigt sich damit, dass die Strahlenbelastung für den Patienten in einem insgesamt vertretbaren Rahmen ist. Die Maßnahmen, die Strahlenbelastung für den Patienten bei einem interventionellen Gebrauch im Vergleich zu einer diagnostischen CT-Untersuchung zu beschränken, zeigen einen deutlichen Effekt.

Angesichts der Schwere der Verletzung, die eine Fraktur des dorsalen Beckenrings darstellt und der sehr guten Ergebnisse, die sich mit der CT-gesteuerten Verschraubung erzielen lassen, ist die beschriebene Strahlenbelastung für den Patienten als akzeptabel anzusehen.

Es darf allerdings nicht vergessen werden, dass der Patient dennoch bei der CT-gesteuerten Verschraubung mit einem vielfachen der jährlichen natürlichen Strahlenbelastung von ca. 2,1 mSv belastet wird [122].

Die Strahlenbelastung wurde in dieser Arbeit unter anderem auch deswegen als effektive Dosis angegeben, um eine direkte Vergleichbarkeit der Strahlenbelastung für den Patienten auch mit anderen Verfahren zu ermöglichen, welche diese nicht als Dosislängenprodukt angeben können. Leider stellte sich heraus, dass andere Studien zur perkutanen Versorgung instabiler Verletzungen des dorsalen Beckenrings die Strahlenbelastung für den Patienten nicht einheitlich oder überhaupt nicht angegeben hatten [46-51, 62-68, 123-124]. Studien, die auf die Strahlenbelastung bei konventioneller und Computer-navigierter perkutaner Verschraubung eingehen, gaben meist nur die Strahlungszeit [53, 55, 57-58, 60-61, 84, 108, 125], selten zusätzlich das Dosisflächenprodukt [55, 84] an. Damit ist zwar ein direkter Vergleich dieser Methoden untereinander möglich, nicht aber mit Verfahren, deren Strahlenquelle ein CT-Gerät darstellt und dessen Dosis entsprechend nicht mit dem Dosisflächenprodukt, sondern mit dem Dosislängenprodukt angegeben wird.

Aus diesen Gründen ist an dieser Stelle leider kein direkter Vergleich der Strahlenbelastung verschiedener perkutaner Verfahren zur Versorgung instabiler Verletzungen des dorsalen Beckenrings möglich.

Näherungsweise sollen Arbeiten herangezogen werden, welche die Strahlenbelastung zwischen dem IsoC3D-Bildwandler und einer CT bei navigierten Operationsmethoden gegenüberstellen.

Erdmenger [126] vergleicht in seiner Arbeit experimentell die Bildqualität und Strahlenbelastung an Leichen zwischen zwei navigierten Verfahren zur perkutanen Verschraubung am Becken, welche die Datengrundlage des virtuellen Bildes durch einen Computertomographen oder den IsoC3D-Bildwandler erfassen. Eine entsprechende Lagekontrolle durch einen IsoC3D-Scan bzw. eine Kontroll-CT sind in den Dosisangaben mit erfasst.

Für die Untersuchung des gesamten Beckens mit dem IsoC3D wird ein Wert von 82,44 mGy\*cm und für die CT-Untersuchung eine im Vergleich 4,7-fach höhere Strahlenbelastung angegeben. Allerdings wird bei dieser Aussage für die CT ein Röhrenstrom von 250 mA zugrundegelegt, welcher in dieser Höhe normalerweise nur bei diagnostischen Untersuchungen Anwendung findet. Hochkontrastaufnahmen des Beckens, wie sie in der Regel bei orthopädischen Eingriffen ausreichend sind, benötigen eine wesentlich geringere mA-Zahl. Bei der

Verwendung eines Röhrenstroms von 60 mA zeigte sich in etwa ein gleicher Wert der Strahlenbelastung zwischen der CT und dem IsoC3D, bei gleichzeitig besserer Bildqualität der CT [126]. Dies zeigt, dass es schwierig ist, die Strahlenbelastung der Computertomographie in Bezug auf einen interventionellen Eingriff adäquat experimentell anzugeben und dass tatsächlich klinisch erhobene Werte stets bevorzugt werden sollten.

In einer Studie von Gebhard zur Strahlenbelastung bei verschiedenen navigierten Verfahren zeigte sich die geringste Belastung mit dem IsoC3D-Bildwandler. Im weiteren Vergleich stellte sich heraus, dass bei navigierten Verfahren, welche CT-Daten als virtuelle Vorlage verwenden, erwartungsgemäß weniger Strahlung als bei der Visualisierung mit herkömmlichen C-Bogen-Geräten emittiert wird [127]. Es ist dabei zu beachten, dass Erdmenger und Gebhard auf ein navigiertes Operationsverfahren mit Nutzung von CT-Daten Bezug nehmen, welches nicht der Operationsmethode unter direkter CT-Kontrolle entspricht.

Für eine aussagekräftige Vergleichbarkeit der Strahlenbelastung sind Studien mit ausreichender Fallzahl nötig, welche ihre klinischen Ergebnisse und Erfahrungen mit operativen Verfahren zur perkutanen Behandlung instabiler Verletzungen des dorsalen Beckenrings berichten. Leider geben diese derzeit wie bereits erwähnt in der Regel die Strahlenbelastung in einer mit dem Dosislängenprodukt nicht direkt vergleichbaren Weise an.

Um die Strahlenbelastung zukünftig unabhängig der verwendeten Technik besser vergleichen zu können, wäre es hilfreich, wenn zukünftige Studien die Strahlenbelastung für den Patienten nach Möglichkeit zusätzlich als effektive Äquivalentdosis in mSv angeben würden.

#### **4.1.5 Metallentfernung**

Bei dem beschriebenen Patientenkollektiv wurde eine Entfernung der eingebrachten Hohlschrauben ab dem 6.-12. postoperativen Monat angestrebt. In der Praxis erfolgte die Schraubenentfernung durchschnittlich nach 11 ( $\pm$  4,9) Monaten.

Für die minimal invasive CT-gesteuerte perkutane Osteosynthese mit Hohlschrauben aus Titan gibt es derzeit keine fundierten biomechanischen Erfahrungsberichte, welche genaue Rückschlüsse auf die Notwendigkeit bzw. den Nutzen der Metallentfernung für den Patienten zuließen. Ziel ist es dennoch das Iliosakralgelenk nach Frakturheilung wieder freizugeben, bevor dieses knöchern überbaut wird und somit seine Funktionalität verliert.

J. Müller-Färber stellte 2003 einen Leitfaden für die Metallentfernung vor, welcher sich mit den Indikationen, den Risiken und der technischen Ausführung befasst [128]. In diesem werden bei der Entscheidung zur Metallentfernung klare und umstrittene Indikationen voneinander unterschieden:

- klare Indikationen sind störende oder fehlplatzierte Implantate, biomechanische Gründe und Implantate am wachsenden Skelett sowie der Wunsch des Patienten.
- Zu den umstrittenen Indikationen zählen z.B. das Alter des Patienten, topographische Besonderheiten und mögliche Implantat-Gewebe-Interaktionen.

Zudem wird gefordert, die Risiken einer Metallentfernung mit denen eines Verbleibs der Implantate abzuwägen und mit in die Überlegungen der Indikationsstellung einzubeziehen. Tabelle 12 zeigt die im Leitfaden [128] aufgeführten abzuwägenden Risiken, welche anschließend in Bezug auf die minimal invasive perkutane Versorgung dorsaler Beckenringfrakturen mit Titanhohlschrauben diskutiert werden sollen:

**Tabelle 13:** Gegenüberstellung der Risiken einer Metallentfernung und einer Metallbelastung.

Risiken und Nachteile der Metallentfernung	Risiken und Nachteile bei Belassen des Implantats
Erneute Operation	Permanente Schwächung des implantatgestützten Knochensegments
Gefäß- und Nervenläsionen	Ermüdungsfraktur am Implantatende
Blutungen und Hämatome	Spätinfekte und Metallallergie
Weichteil- und Knocheninfekte	Erschwerte Diagnostik und Therapie bei erneuter Fraktur
Refraktur	Einschränkung später notwendiger diagnostischer Maßnahmen (MRT)
	Erweiterter Eingriff bei endoprothetischer Versorgung benachbarter Gelenke

Die Metallentfernung erfolgt in strenger Seitenlage unter C-Bogen visualisierter Kontrolle. Ein weiterer CT-gesteuerter Eingriff ist nicht notwendig. Die röntgendichten Schrauben können leicht aufgefunden werden. Nach Stichinzision der Haut werden sie mit einem Führungsdraht aufgefädelt und mit dem Hohlschraubenzieher entfernt. Die Metallentfernung unterscheidet sich somit in Hinsicht auf Technik und Risikoprofil nicht zu den anderen Operationsmethoden zur minimal invasiven Einbringung von osteosynthetischen Schrauben am dorsalen Beckenring.

In der Studienpopulation trat nicht eine einzige der genannten Komplikationen auf. Dennoch sollte beachtet werden, dass ein Auftreten von Komplikationen bei einem chirurgischen Eingriff nie vollständig ausgeschlossen werden kann und entsprechend damit gerechnet werden muss. Zudem ist auch eine vollständig wie geplant laufende Operation mit Nachteilen verbunden. Der Patient muss in der Regel weitere zwei Tage in der Klinik verbringen und erhält erneut eine gewisse Strahlenbelastung sowie ein kleines chirurgisches Trauma. Letzteres wird allerdings sehr gut von den Patienten toleriert und beeinträchtigt diese normalerweise nicht. Aus sozioökonomischer Sicht stellt eine Metallentfernung mit den damit verbundenen Material-, Zeit- und Personalaufwand natürlich einen weiteren Kostenpunkt dar.

Diesen Nachteilen sind die Risiken bei Belassung der Hohlschrauben gegenüberzustellen.

Da die verwendeten Hohlschrauben ausnahmslos aus Titan bestehen, ist eine spätere MRT-Diagnostik weiterhin ohne Gefahr für den Patienten und nur geringen Störeffekten möglich [129-130]. Zudem ist eine durch Implantat-Gewebe-Reaktion ausgelöste Metallallergie bei den Titanschrauben nicht zu befürchten [131]. Eine erneute Fraktur wird durch die eingebrachten Schrauben, welche bis zur Mittellinie der Sakralwirbel heranreichen nicht begünstigt, sondern vielmehr verhindert. Bei sehr osteopenem Knochen kann zur Erreichung einer höheren Stabilität zudem eine Zementaugmentation erfolgen. Eine mögliche endoprothetische Versorgung benachbarter Gelenke wird durch verbliebene Schrauben im Iliosakralgelenk nicht behindert.

Ein Punkt, der vor allem bei jüngeren Patienten gegen ein Belassen der Hohlschrauben spricht, ist die biomechanische Sperrung des Iliosakralgelenkes und ein damit verbundener Verlust von dessen Stoßdämpferfunktion.

Zusammenfassend lassen sich somit zwei Hauptindikationen für die Entfernung des Osteosynthesematerials bei der minimal invasiven CT-gesteuerten Versorgung dorsaler Beckenringfrakturen feststellen:

- Das Bestreben der Wiederfreigabe und des Erhalts der biomechanischen Funktion des Iliosakralgelenks. Dieser Punkt wird mit durch das Alter bzw. der Gesamtkonstitution des Patienten beeinflusst.
- Die individuellen Wünsche und Vorstellungen des Patienten.

Die Metallentfernung erfolgte bei 33 Patienten nach durchschnittlich 11,0 ( $\pm$  4,9) Monaten. Bei einem Patienten war eine Schraube nach 20 Monaten aufgrund knöcherner Durchwachsung nicht mehr mobilisierbar. Auf die Möglichkeit die Osteosynthese mit einer

größeren Schnittführung zu entfernen wurde verzichtet. Entsprechend dieser Werte scheint es erfolgsversprechend und sinnvoll, die Metallentfernung ab sechs Monaten und innerhalb eines Jahres nach dem Primäreingriff durchzuführen. Innerhalb dieses Zeitraumes sollte es zu keiner fixationsbedingten Überknöcherung des Iliosakralgelenkes mit entsprechendem Funktionsverlust kommen.

#### **4.1.6 Kritische Betrachtung des CT-gesteuerten Verfahrens**

Obwohl van den Bosch [45] einen Vorteil der CT-gesteuerten Verschraubung in Bezug auf die Information zur Schraubenlage und der radiologischen Darstellung der anatomischen Strukturen herausstellt, rät er von dem Einsatz dieser Methode bei Traumapatienten ab. Seine aufgeführten Kritikpunkte werden auch von Smith [54] geteilt, welcher drei unterschiedliche navigierte Verfahren mit der konventionellen perkutanen Operationsmethode verglich.

Folgende Kritikpunkte an dem CT-gesteuerten Verfahren werden von den beiden Studien vorgebracht [45, 54]:

- Es muss ein geeigneter CT-Raum zur Verfügung stehen, der groß genug ist, um dem benötigten Personal und der Ausrüstung ausreichend Platz zu bieten.
- Es muss eine interdisziplinäre Zusammenarbeit von Radiologen und Orthopäden/Unfallchirurgen erfolgen, was mit hohem logistischem Aufwand verbunden sei.
- Es wird die Befürchtung geäußert, dass eine mögliche Nerven- und vor allem Gefäßschädigung nicht adäquat beherrschbar sei. Daher wird gefordert, dass sich der interventionelle CT-Raum in direkter Nähe zu einem geeigneten Operationssaal befindet.

In der Tat muss das gesamte für die Operation benötigte Material zum interventionellen CT-Raum gebracht werden und sich das interdisziplinäre Personal dort einfinden [47, 51, 65, 67, 107, 124]. Der Raum muss entsprechend eine ausreichende Größe aufweisen, um eine adäquate Ausrüstung und Zusammenarbeit des beteiligten Personals sicherstellen zu können. Zudem ist zu beachten, dass während des gesamten Operationszeitraums, von der Vorbereitung bis zur Verlegung des Patienten, das CT-Gerät nicht für andere diagnostische Zwecke zur Verfügung steht. Diese Tatsache beschränkt die Verfügbarkeit der CT-gesteuerten Verschraubung auf ausreichend große Zentren, die genügend andere Geräte für die gleichzeitig erforderliche Diagnostik im laufenden Alltagsbetrieb besitzen und am besten über einen eigenen CT-Raum für interventionelle Eingriffe verfügen.

Es ist ebenfalls richtig, dass für die Anwendung der CT-gesteuerten Verschraubung eine enge Zusammenarbeit von Radiologen und Orthopäden/Unfallchirurgen nötig ist, was die Verfügbarkeit der Methode wiederum auf Zentren beschränkt, die über ausreichend qualifiziertes Personal verfügen. Die Planung der Zusammenarbeit ist entsprechend auch mit gewissen logistischen Überlegungen und Aufwand verbunden. Dies sollte allerdings nicht als Kritikpunkt gewertet werden. Eine adäquate interdisziplinäre Zusammenarbeit stellt in Zeiten zunehmender Spezialisierung in der Medizin einen absoluten Qualitätsfaktor in der Versorgung des Patienten dar.

Der letzte von Smith [54] und van den Bosch [45] aufgeführte Kritikpunkt betrifft die Befürchtung, mögliche neurovaskuläre Komplikationen bei der CT-gesteuerten Verschraubung nicht kontrollieren zu können und fordert eine möglichst kleine räumliche Distanz zum nächstgelegenen Operationssaal [45, 54]. In der Theorie ist diese Überlegung durchaus berechtigt. Der interventionelle CT-Raum verfügt im Vergleich zu einem richtigen Operationssaal nur über begrenzte Möglichkeiten. Allein schon aus Lagerungsgründen für die Instrumente und Implantate, aber auch hinsichtlich der strengen Hygienemaßstäbe, können keine offenen Operationen durchgeführt werden. Dies stellt eine entsprechende Limitation der CT-gesteuerten Verschraubung dar. Im Falle des Auftretens einer schweren Komplikation mit der Notwendigkeit einer intensivmedizinischen Überwachung und einer offenen chirurgischen Intervention müsste der Patient entsprechend verlegt werden. Dies ist mitunter ein Grund, weshalb die Eingriffe am Klinikum der Universität München in Intubationsnarkose und nicht wie von Ziran [65] berichtet unter Lokalanästhesie und Sedierung durchgeführt werden. In der Praxis trat glücklicherweise bei allen bisher veröffentlichten klinischen Studien [46-51, 62-63, 65-68, 123] keine Komplikation auf, die einer Verlegung des Eingriffs in einen Operationssaal bedurft hätte. Bei 9 (10,25 %) der 88 von van den Bosch vorgestellten Patienten, die mit der konventionellen perkutanen Methode behandelt wurden, war dagegen eine revidierende Operation notwendig [45]. In zwei Fällen aufgrund mechanischer Komplikationen und in sieben Fällen wegen neuralgischer Schmerzen, die bei 2 Patienten zudem mit einer sensorischen Störung im Gebiet von S1 vergesellschaftet waren. Die Komplikationen konnten dadurch jeweils vollständig behoben werden, ohne dass es zu dauerhaften neurologischen Schäden kam. Bei den 71 am Klinikum Großhadern CT-gesteuert versorgten Patienten war keine einzige Revisionsoperation erforderlich. Die beste Vorgehensweise im Umgang mit operativen Komplikationen besteht bekanntlich darin, bereits das Risiko für ein mögliches Auftreten zu minimieren. Dementsprechend scheint es vertretbar, eine Versorgung instabiler Beckenringsverletzungen mit einer CT-gesteuerten interventionellen Verschraubung durchzu-

führen, obwohl die Möglichkeiten der Hygiene und Materiallogistik im CT-Raum begrenzt sind.

Zudem bestehen noch weitere Einschränkungen der Indikation bzw. Durchführbarkeit der CT-gesteuerten Verschraubung, die in der Regel von den anderen perkutanen Verfahren geteilt werden. So kann der Eingriff nicht bei hämodynamischer oder kardiopulmonaler Instabilität des Patienten sowie bei einer Infektion der Operationsstelle durchgeführt werden [46]. Ein weiterer Nachteil der perkutanen Methoden gegenüber dem offenen Verfahren ist die Abhängigkeit der Durchführbarkeit in Bezug auf eine nicht geschlossen reponierbare Dislokation der Verletzung [44, 65, 94, 132]. Ebraheim rät von der Wahl der CT-gesteuerten Verschraubung ab, wenn eine nicht geschlossen reponierbare Dislokation über 2 cm oder eine rotatorische Abweichung des Hemipelvis über 25 ° vorliegt [47]. In diesen Fällen wird der Zielbereich der Schrauben verkleinert und die Interpretation der CT-Daten erschwert, was das Risiko für Komplikationen erhöht [47]. Ziran empfiehlt insbesondere bei nicht ausreichend geschlossen reponierbaren Dislokationen des hinteren Beckenrings, erst den vorderen Ring osteosynthetisch zu versorgen und anschließend den hinteren Ring erneut zu evaluieren [65]. In dessen Studie war dies bei 16 von 66 Patienten nötig und in 11 Fällen erfolgreich. Bei den übrigen fünf wurde eine CT-gesteuerte Schraubeneinbringung in bestimmten geplanten Winkeln durchgeführt um eine Reposition zu erreichen, die anschließend durch Schrauben in üblicher Lage fixiert wurde [65].

Bei den am Klinikum Großhadern operierten 71 Patienten konnte in allen Fällen durch eine adäquate Lagerung und Fixierung durch eine Vakuum-Matratze eine ausreichende präoperative Repositionierung erreicht werden. Bei 24 Patienten (33,8 %) war davor der vordere Beckenring bereits mit einem Fixateur externe und / oder einer Symphysenplatte versorgt worden, was die Reponierung des hinteren Beckenrings entsprechend mit unterstützte.

#### **4.1.7 Vorteile des CT-gesteuerten Verfahrens**

##### **4.1.7.1 Wirtschaftliche Vorteile**

Ergänzend zu den medizinischen Vorteilen der CT-gesteuerten Verfahren soll ein wirtschaftlicher Aspekt angesprochen werden. Mehrere Autoren errechneten eine erhebliche Kosteneinsparung bei Anwendung des CT-gesteuerten Verfahrens, da dieses im Gegensatz zu den anderen Operationsmethoden zur Versorgung instabiler Verletzungen des dorsalen Beckenrings, keinen Operationssaal belegt, welcher einen Hochkostenbereich darstellt [46, 49, 65].

#### **4.1.7.2 Medizinische Vorteile**

Der wesentliche Vorteil bei der minimal invasiven perkutanen CT-gesteuerten Versorgung instabiler dorsaler Beckenringsverletzungen ist die überlegene Darstellbarkeit der tatsächlichen anatomischen Gegebenheiten. Ungeachtet des verwendeten Verfahrens zur perkutanen Versorgung dieser Verletzungen müssen die Schrauben in direkter Nachbarschaft zum fünften Lumbalnerv, den sakralen Nervenbündeln und dem Sakralkanal eingebracht werden [98, 133]. Die CT-Untersuchung ermöglicht es, die vorliegende Verletzung und die individuelle Anatomie des Patienten, inklusive möglicher Formvarianten, genau zu beurteilen [121, 134-137]. Morse führte eine Kadaverstudie zur perkutanen Schraubeneinbringung in das Sakrum unter festen vorgegebenen Winkeln durch. Er kam zu dem Schluss, dass festgelegte Winkel verletzbarere Strukturen unnötig gefährden und empfiehlt eine präoperative CT-Untersuchung, um die Schraubeneinbringung individuell planen zu können und damit das Risiko für den Patienten zu minimieren [138]. Routt berichtet, dass bei ca. 10 % der unter Bildwandlerkontrolle operierten 177 Patienten wegen Darmgasüberlagerungen oder Adipositas nur eine eingeschränkte Bildgebung möglich war [139] und rät bei anatomischen Formvarianten des dorsalen Beckenrings von der konventionellen perkutanen Versorgung ab [44]. Insbesondere die Beurteilung der wichtigen Neuroforamina ist bei schwer übergewichtigen Patienten nicht im nötigen Maße möglich [46]. Sciulli berichtet über eine Gruppe von 23 Patienten, welche jeweils mindestens 104 kg wogen und bei denen die konventionelle Operationsmethode deshalb nicht zur Anwendung kommen konnte [46]. Diese Patienten wurden daher mit dem CT-gesteuerten Verfahren behandelt, mit welchem die anatomischen Strukturen klar darzustellen waren [46]. Moed berichtet von der perkutanen Einbringung von 53 Schrauben in den 2. Sakralwirbel unter konventioneller Bildwandlerkontrolle [95]. Dieser wurde im Zuge der konventionellen Verschraubung wegen seiner kleineren Größe und des damit verbundenen höheren Risikos für Schraubenfehlagen und der Gefährdung neurovaskulärer Strukturen nicht als geeignete Zielstruktur im Vergleich zum ersten Sakralwirbel angesehen [45, 91, 139-140]. Carlson untersuchte die Anatomie des ersten und zweiten Sakralwirbels in einer Kadaverstudie mit Hilfe der Computertomographie und kam zu dem Schluss, dass der zweite Sakralwirbel für die Einbringung iliosakraler Schrauben theoretisch geeignet ist, die individuelle Anatomie aber präoperativ genau überprüft werden sollte [85]. Dementsprechend kontrollierte Moed die Eignung seiner Patienten für eine osteosynthetische Versorgung in SWK2 mittels vorheriger CT [95].

Bei der CT-gesteuerten Verschraubung muss dies nicht zeitlich getrennt von der Operation erfolgen. Durch die Übersichtsaufnahme nach geschlossener Reposition können direkt vor Beginn des Eingriffs die am besten geeigneten Schraubenkanäle und –winkel anhand der individuellen Anatomie des Patienten geplant werden, was den zweiten Sakralwirbel explizit mit einschließt. Aus biomechanischer Sicht scheint es sinnvoll, Sakrumfrakturen mit zwei statt nur mit einer Schraube zu versorgen, um auch eine mögliche Rotation zu verhindern und die Verletzung adäquat zu fixieren [95, 141-142]. War die Versorgung einer Seite mit zwei Hohlschrauben nötig, wurde die zweite Schraube am Klinikum Großhadern in der Regel in den zweiten Sakralwirbel eingebracht. Keine der 40 (29,4 %) SWK2-Schrauben verursachte eine neurovaskuläre oder mechanische Komplikation, noch andere Beschwerden. Bei der konventionellen perkutanen Verschraubung hingegen berichtet van den Bosch von einem signifikant höherem Risiko für das Auftreten von neurologischen Komplikationen bei Verwendung des zweiten Sakralwirbels [45]. Mit der CT-gesteuerten Verschraubung ist eine sichere Osteosynthese am zweiten Sakralwirbel durchführbar [65].

Bei der konventionellen perkutanen Einbringung von Schrauben in den dorsalen Beckenring empfehlen manche Autoren zusätzlich zur „inlet-“ und „outlet-view“ die Anwendung einer „lateral-view“ um den Mittelpunkt des zweiten Sakralwirbels visualisieren zu können [95, 143-144]. Allerdings kann jeweils nur eine dieser Ansichten, je nach Ausrichtung des C- Bogens, erfolgen [57]. Theoretisch wären unter synchroner Verwendung von zwei Bildwählern, auch zwei Ansichten gleichzeitig möglich. Die räumliche Orientierung ist daher in hohem Maße von der Erfahrung und dem anatomischen Vorstellungsvermögen des Operateurs abhängig [57, 84, 93, 145]. Die komplexe Anatomie der Iliosakralregion und mögliche Formvarianten können die Schraubeneinbringung unter konventioneller Bildwandlerkontrolle entsprechend schwierig gestalten [64-65, 85-89]. Die CT-Fluoroskopie hingegen erlaubt es, zu jedem Zeitpunkt der Operation die aktuelle Schraubenlage innerhalb der tatsächlich vorliegenden Anatomie zu bestimmen [63]. Obwohl die Strahlenbelastung während der Fluoroskopie durch den HandCare-Modus herabgesetzt wird, können die kortikalen Grenzen der Wirbelkörper und Neuroforamina sowie die Schrauben genau dargestellt werden und die Entfernung zwischen diesen Strukturen, auch während der Schraubeneinbringung, sicher bestimmt werden [118-119]. Die Darstellung des Operationsgebietes erfolgt in 2-D Schnittbildern entlang der Längsachse der einzubringenden Schraube. Der Operateur muss entsprechend auch Schnittbilder am unteren und oberen Pol der Schrauben betrachten, um den vorgesehenen Kanal der einzubringenden Schraube auch in Hinblick auf dessen Durchmesser kontrollieren zu können. Da der komplette vorgesehene intraossäre Kanal für die Schraube

sowie deren aktuelle Position somit jederzeit genau bestimmt werden können, ist es dadurch möglich, eine unbeabsichtigte Abweichung zu erkennen und relevante Fehllagen und assoziierte Begleitverletzungen im Voraus zu verhindern [65].

Die navigierten Verfahren zur perkutanen Versorgung versuchen ebenfalls, eine möglichst auf den Millimeter genaue Kontrolle der Schraubeneinbringung zu erreichen. Die Kombination von bildgebenden Verfahren mit genauen Navigationsverfahren zur räumlichen Orientierung ist ein vielversprechender Ansatz [57-58, 64, 84, 91, 107-108, 140]. Im Gegensatz zur CT-gesteuerten Verschraubung wird jedoch nicht die direkte radiologische Bildinformation, sondern ein virtuelles Bild zur Orientierung und Navigation verwendet [58, 84, 107]. Es besteht daher die Möglichkeit, dass das virtuelle Bild unbemerkt von der tatsächlich vorliegenden Anatomie abweicht bzw. verschoben ist. Um dies zu vermeiden, wurden in der Studie von Zwingmann die Referenzpunkte des Navigationssystems entweder an einem bereits vorhandenen Fixateur externe oder an zwei eigens dafür eingebrachten 3,0 mm Kirschner-Drähten befestigt und die Übereinstimmung des virtuellen Bildes vor der Operation überprüft [84]. Trotz dieser invasiven Befestigungsmethoden vermutet Zwingmann, dass die um Grad 2 (8 %) und Grad 3 (8 %) perforierenden Schrauben durch ein technisches Problem im Umgang mit dem Navigationssystem, wie eine unbemerkte Abweichung des virtuellen Bildes von der tatsächlichen Position der Instrumente, zu Stande gekommen sind [84]. Smith verglich die Genauigkeit der Schraubeneinbringung für verschiedene navigierte perkutane Verfahren. Drei von vier Schrauben, welche mit Hilfe des Iso-C-3D-Bildwandlers eingebracht wurden, lagen genau wie geplant, während eine Schraube das Sakrum vollständig verfehlte [54]. Die unbemerkte Veränderung der Referenzpunkte kann zu einer vollständigen Abweichung des virtuellen Bildes führen [84], was entsprechend eine erhebliche Gefährdung für die anatomischen Strukturen im Operationsgebiet mit sich bringt.

Die CT stellt die genaueste Methode zur Überprüfung der endgültigen Schraubenlage dar [45, 55, 84, 88, 97]. Bei der CT-gesteuerten Verschraubung kann somit der Goldstandard zur Lagekontrolle noch vor dem endgültigen Abschluss der Operation und einer Lageveränderung des operierten Patienten erfolgen. Obwohl das Auftreten relevanter Fehllagen durch die Einbringung unter CT-fluoroskopischer Kontrolle vermeidbar sein sollte, würden diese mit der abschließenden Kontrolle erfasst und entsprechend sofortige Maßnahmen eingeleitet werden. Diese beschriebenen Vorteile der CT-gesteuerten Verschraubung gegenüber den anderen perkutanen Methoden werden durch die Resultate der 71 am Klinikum Großhadern versorgten Patienten untermauert. Alle Frakturen heilten vollständig und ohne Auftreten lokaler Kompli-

kationen aus. Bei keiner der 136 eingebrachten Schrauben trat eine Lockerung auf, noch musste eine Revision erfolgen.

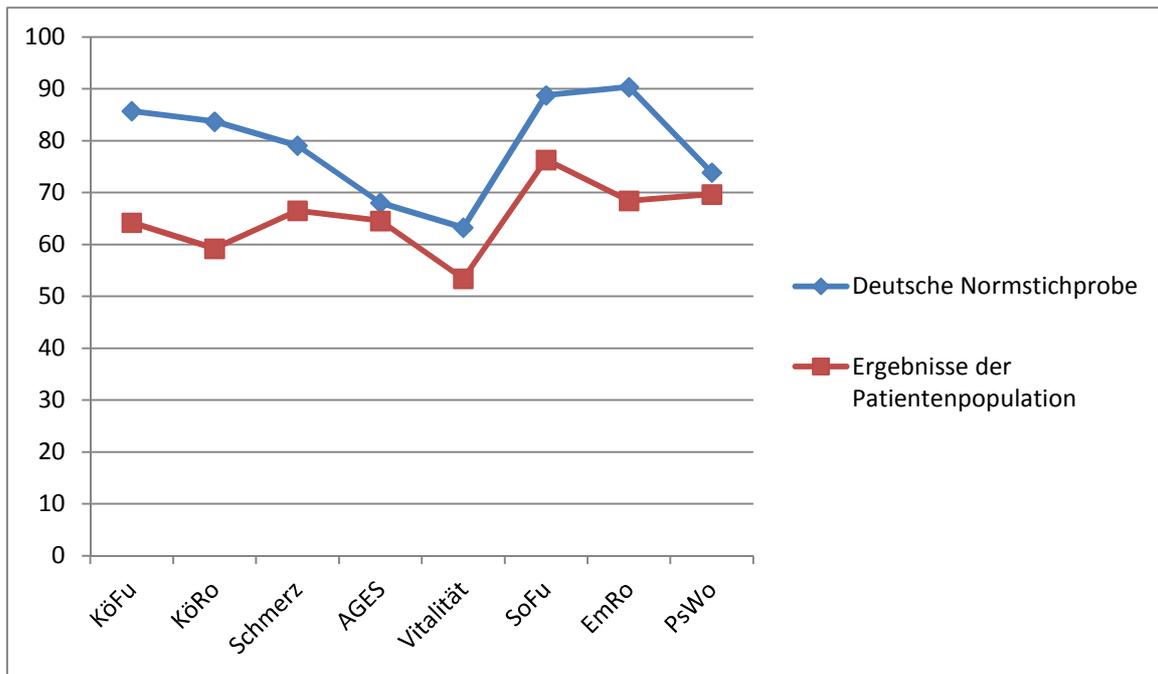
## **4.2 Bewertung der Nachuntersuchungen**

Beckenfrakturen stellen seltene, aber schwerwiegende Verletzungen dar und sind häufig mit Begleitverletzungen assoziiert [12, 146-147]. Das klinische Erscheinungsbild fällt leider oftmals schlechter aus als das rein radiologische Endergebnis [8, 148]. Einige Verletzungen, die durch das Trauma verursacht wurden, sind schlichtweg chirurgisch nicht zu beheben und irreversibel [149]. Der größte Schritt in der Rekonvaleszenz ist in den ersten sechs Monaten nach einer Beckenfraktur zu erkennen [150]. Dementsprechend ist es sinnvoll, die Patienten nach diesem Zeitraum nochmals einzubestellen, um das klinische Outcome der Operation beurteilen zu können.

### **4.2.1 Fragebögen**

Die Fragebögen wurden von den 40 zur Nachuntersuchung erschienen Patienten bearbeitet und von zwei weiteren Patienten bearbeitet per Post zurückgeschickt. Der Oswestry Disability Index und das Brief Pain Inventory konnte in allen 42 Fällen ausgewertet werden, beim SF-36 waren nur 38 Bögen hinreichend ausgefüllt.

Der SF-36 Fragebogen wurde vor allem wegen seiner hohen anerkannten Validität und der Vergleichbarkeit mit anderen Studien ausgewählt [151]. Durch das Vorliegen deutscher und angloamerikanischer Norm- und Referenzstichproben zu verschiedenen Krankheitsbildern ist ein Vergleich der Ergebnisse möglich und damit auch weltweit etabliert [80, 151]. Leider existieren bisher aufgrund der hohen Variabilität der sehr häufigen Begleitverletzungen keine gesonderten Referenzwerte für Beckenfrakturen [152]. Diese würden zwar eine noch genauere Vergleichbarkeit der gewonnen Studienergebnisse ermöglichen, müssten hierzu aber durch große Multicenterstudien erhoben werden [152]. Aber auch ohne diese spezifischen Referenzwerte kann der SF-36 für die Beurteilung des Outcomes multipel verletzter Patienten mit Beckenfrakturen herangezogen werden [153]. Abbildung 45 vergleicht die Ergebnisse der mit dem SF-36 untersuchten Patienten mit den Werten der deutschen Normstichprobe [82].



**Abbildung 45:**

Vergleich der Ergebnisse des SF-36 Fragebogens mit den Summenskalen der deutschen Normstichprobe von 1994 [82]. Die Abkürzungen der Summenskalen stehen von links nach rechts für: körperliche Funktionsfähigkeit, körperliche Rollenfunktion, körperliche Schmerzen, allgemeine Gesundheitswahrnehmung, Vitalität, soziale Funktionsfähigkeit, emotionale Rollenfunktion und psychisches Wohlbefinden.

Es zeigt sich, dass die Summenskalen der Patientenpopulation durchgängig unterhalb der deutschen Normstichprobe liegen. In den Bereichen der allgemeinen Gesundheitswahrnehmung und dem psychischen Wohlbefinden zeigen die Patienten die vergleichsweise geringsten Einschränkungen und kommen den Werten der Normstichprobe sehr nahe. Am deutlichsten fällt die Differenz in den Bereichen der körperlichen Funktionsfähigkeit, der körperlichen Rollenfunktion und der emotionalen Rollenfunktion aus. Die Bereiche körperlicher Schmerz, Vitalität und soziale Funktionsfähigkeit zeigen in Relation zu den anderen Bereichen eine mittelmäßige Abweichung zur Normstichprobe. Die ermittelten Einschränkungen bei körperlicher Anstrengung und das vermehrte Auftreten von Schmerzen erscheinen in Bezug auf die Schwere der erlittenen Verletzungen der Patienten nachvollziehbar. Dennoch ergab sich bei der allgemeinen Gesundheitswahrnehmung mit einem Wert von  $64,57 \pm 21,48$  im Vergleich zur Normalpopulation mit  $68,05 \pm 20,15$  nur ein geringer Unterschied. Die Patienten scheinen sich daher möglicher Restsymptome ihrer Verletzung vor allem bei körperlicher Beanspruchung bewusst zu sein, ohne sich aber übermäßig gegenüber anderen Personen gesundheitlich benachteiligt zu sehen. Auffällig ist zudem, dass die Patientenpopulation im Punkt der emotionalen Rollenfunktion deutlich vom Kurvenverlauf der Normalpopulation abweicht. Die Patienten fühlen sich mit einem Wert von  $68,42 \pm 41,70$  im Vergleich zu  $90,35 \pm 25,62$  deutlich durch seelische Probleme in der Ausübung alltäglicher Arbeit beeinträchtigt. Dieses Ergebnis

verwundert etwas, da bei der Beurteilung des psychischen Wohlbefindens mit einem Wert von  $69,68 \pm 18,10$  im Vergleich zu  $73,88 \pm 16,38$  fast kein Unterschied zur Normalpopulation besteht. Möglicherweise begrenzen sich die seelischen Ängste der Patienten auf die Ausübung körperlicher Aktivität, da sie durch ihre schweren erlittenen Verletzungen und der teilweisen sehr langen stationären, wie ambulanten Behandlung vor allem in diesem Bereich eingeschränkt wurden. Es ist daher anzunehmen, dass die verbliebenen Einschränkungen der Patienten bei der körperlichen Aktivität sowohl physischer als auch psychischer Genese sind.

Die deutsche Version des Brief Pain Inventory wurde von Radbruch et al. erarbeitet und in Bezug auf die Originalversion erfolgreich validiert [83]. Der Fragebogen kann in durchschnittlich nur fünf Minuten bearbeitet werden und die Ergebnisse sind international vergleichbar [83, 154]. Es werden sowohl die Schmerzqualität, als auch die durch die Schmerzen verursachten Einschränkungen für den Patienten erfasst. Die erste Frage bezieht sich darauf, ob der Patient an diesem Tag bereits andere Schmerzen als Alltagsschmerzen wie etwa Kopfweg gehabt hätte. Lediglich bei 9 der 42 untersuchten Patienten (21,4 %) war dies der Fall. Damit lässt sich im Rückschluss sagen, dass 78,6 % der Patienten zumindest nicht dauerhaft von ihren Schmerzen beeinträchtigt werden.

Insgesamt scheint sich die durchschnittliche Schmerzbelastung mit  $2,07 \pm 2,17$  auf einer Skala von 0 bis 10 auf einem erträglichem Niveau zu befinden. Die Ausreißer bei den geringsten und aktuellen Schmerzen stammen von einer Patientin mit bekannter Depression und Borderline-Persönlichkeitsstörung. Die Angaben bezogen sich auf eine Knieoperation, die ihrer Meinung nach nicht lege artis ausgeführt wurde. Dennoch waren die hohen Schmerzangaben der Patientin schlecht mit ihrem Erscheinungsbild bei der Nachuntersuchung zu vereinbaren.

Bei den Ergebnissen zur Beeinträchtigung der Patienten durch ihre Schmerzen zeigte sich bei der normalen Arbeit mit einem Wert von  $4,33 \pm 1,94$  die größte Behinderung. Beim Gehvermögen liegt mit einem Wert von  $3,78 \pm 2,82$  ebenfalls eine nicht unerhebliche Beeinträchtigung der Patientengruppe vor. Hier wäre interessant, ob die Beeinträchtigung vor allem im Becken oder an der unteren Extremität, wie etwa dem Sprunggelenk zu finden ist. Analog zu den Ergebnissen des SF-36 Fragebogens wurden die Patienten am geringsten in ihren sozialen Kontakten eingeschränkt. Insgesamt lässt sich mit dem Brief Pain Inventory ein schneller und einfacher Überblick der Schmerzsituation und damit verbundener Einschränkungen im Lebensalltag der Patienten gewinnen. Eine genaue Differenzierung der Schmerzursachen bezüg-

lich vorliegender Verletzungsmuster ließ sich aber auch trotz der Markierungsmöglichkeiten an einem Schemamodell nur schwer bewerkstelligen, da meist mehrere Ursachen vorlagen. Der Oswestry Disability Index ist ein einfaches Hilfsmittel, um die Beeinträchtigung der Patienten in ihrem Lebensalltag darzustellen [155-156]. Die zehn Fragen sind für die Patienten leicht verständlich und schnell zu bearbeiten. Lediglich Frage 8 zum Geschlechtsleben sorgte vor allem bei älteren Patienten teilweise für Unklarheiten, da es keine Antwortmöglichkeit gibt, welche ein von Beschwerden unabhängiges fehlendes Sexualleben beschreibt. Es ist diesbezüglich ratsam, am Anfang des Fragebogens zu vermerken, dass Fragen unbeantwortet gelassen werden dürfen, wenn keine der genannten Angaben zutrifft. Das 95%-Konfidenzintervall betrug zwischen 10,89 % und 21,40 %. Der Großteil der 42 befragten Patienten fühlt sich demnach zwar in ihrem Lebensalltag beeinträchtigt, dies dafür aber in einem akzeptablen Maß.

Alle drei verwendeten Fragebögen stellen ein adäquates Hilfsmittel dar, um das Outcome der Patienten zu erfassen und ermöglichen durch ihre länderübergreifende Validierung eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse [82-83, 156]. Dennoch gibt es einige Faktoren, welche die Aussagekraft verringern. Zunächst erfolgte die Erhebung der Fragebögen in der Regel gleichzeitig zu den Terminen der Nachuntersuchung, welche zwischen 6 und 65 Monaten nach der Operation erfolgten und damit nicht nach einer einheitlichen Zeitspanne. Ein weiterer wesentlicher Punkt ist, dass sich keiner der Fragebögen spezifisch auf die Verletzung des dorsalen Beckenrings bezieht. Da Beckenverletzungen in der Mehrheit der Fälle mit Begleitverletzungen vergesellschaftet sind, wird das Outcome entscheidend von diesen mit beeinträchtigt [16]. Um diesen Einfluss abzuschätzen, könnte man einen Fragebogen einmal in der Standardform und einmal explizit auf die Beckenverletzung bezogen ausfüllen lassen und die Ergebnisse miteinander vergleichen. Um die Geduld des Patienten und damit die Compliance nicht allzu sehr zu strapazieren, könnte dazu eventuell der schnell zu bearbeitende Oswestry Disability Index herangezogen werden. Beim SF-36 könnten die Ergebnisse entsprechend noch genauer beurteilt werden, wenn es entsprechende Referenzwerte für Beckenfrakturen geben würde [152].

#### **4.2.2 Anamnese**

Die Anamnese der Patienten bot eine sehr gute Möglichkeit, die Beschwerden und Einschränkungen der Patienten in Bezug auf ihre Verletzungen zu differenzieren. Sie konnte bei den 40 Patienten erhoben werden, die zur Nachuntersuchung erschienen sind. So zeigte sich, dass 9 (22,5 %) der 40 Patienten weiterhin in ihrer Berufstätigkeit eingeschränkt waren, dies aber nur bei 2 (22,2 %) der 9 beeinträchtigten Patienten mit durch die Beckenverletzung begründet war.

In Bezug auf die körperliche Aktivität gaben 17 Patienten (42,5 %) an, sich beeinträchtigt zu fühlen, wobei nur 6 Patienten (15,0 %) Beschwerden in der Iliosakralregion mit dafür verantwortlich machten. Dementsprechend waren die Beschwerden der Patienten in der Berufsausübung bzw. der körperlichen Aktivität nur in 22,2 % bzw. 31,3 % der Fälle durch die Beckenringfraktur mitbegründet. Dies zeigt deutlich, dass auch eine so schwere Verletzung wie eine Beckenringfraktur nicht automatisch als Ursache für weiterhin bestehende Beschwerden des Patienten angesehen werden darf und auch andere mögliche Gründe beachtet und falls möglich entsprechend behandelt werden müssen.

Bei der Störung von Körperfunktionen ließen sich bei 7,5 % der Patienten Schmerzen beim Stuhlgang, bei 15,0 % Miktionsstörungen und bei 14,3 % Sexualfunktionsstörungen anamnestisch erfragen. Das Auftreten dieser Störungen wird in etwa auch von anderen Studien in dieser Häufigkeit berichtet [8, 18, 157]. Bei allen Patienten trat zwar im Verlauf, unter teilweiser urologischer Behandlung, eine Besserung der Symptome ein, eine vollständige Heilung ließ sich aber in mehreren Fällen dennoch nicht erzielen. Diese vor allem urologischen Beschwerden werden wahrscheinlich auch in Zukunft ein Problem für Patienten nach komplexen Beckenverletzungen darstellen und sind der Schwere des primären Traumas zu schulden.

#### **4.2.3 Körperliche Nachuntersuchung**

Die Testung des Ott- und Schober Zeichens ergab mit durchschnittlich  $3,0 \pm 1,5$  cm bzw.  $3,5 \pm 1,3$  cm keine Hinweise darauf, dass die Patienten in der Beweglichkeit der restlichen Wirbelsäule vermehrt eingeschränkt wären. Auch die Testung des Finger-zu-Boden-Abstands ergab mit durchschnittlich  $6,2 \pm 8,5$  cm keine generelle Beeinträchtigung. Die meisten Patienten konnten sogar trotz ihrer erlittenen schweren Beckenverletzung den Boden erreichen.

Bei den weiteren orthopädischen Tests, welche das Iliosakralgelenk mit überprüfen, wurden positive Testergebnisse explizit dahingehend zugeordnet, ob diese an einer ehemals frakturier-

ten Beckenhälfte auftraten oder nicht. Dies soll helfen, das Testergebnis genauer differenzieren zu können.

Der Spine-Test und das Vorlaufphänomen waren zu 85 % bzw. 87,5 % negativ und zusätzlich jeweils bei drei Patienten (7,5 %) mit einem Altersdurchschnitt von 80,3 Jahren wegen deren Sturzangst nicht durchführbar. Bei jeweils einem Patienten ergab der Test auch auf einer nicht betroffenen Seite ein positives Testergebnis, was am wahrscheinlichsten auf einen degenerativen Prozess zurückzuführen ist. Lediglich bei zwei Patienten beim Spine-Test bzw. einem Patienten beim Vorlaufphänomen war die Beckenverletzung als Ursache für ein positives Ergebnis anzunehmen. Beim Trendelenburg-Zeichen zeigte sich dagegen bei der Testung der verletzten Seiten in vier Fällen (10 %) ein positives Testergebnis. Entsprechend könnte bei diesen Patienten der Nervus gluteus superior durch die erlittene Beckenverletzung in Mitleidenschaft gezogen worden sein.

Die Überprüfung der Bänder ist sehr interessant, da diese auch nach vollständiger Frakturheilung in ihrer Funktion beeinträchtigt bleiben können. Bei jeweils nur fünf Patienten (12,5 %) war die Testung des Lig. iliolumbale und sacrotuberale und bei sechs Patienten (15,0 %) die Prüfung des Lig. sacrospinale auffällig. Bei der Überprüfung des Lig. iliolumbale traten lediglich bei einem Patienten zusätzlich zu der betroffenen Seite auch auf der nicht verletzten Seite Schmerzen auf. Der Test erfasste demnach sehr spezifisch eine Beeinträchtigung durch das Lig. iliolumbale in 12,5 % der Fälle. Ähnlich verhielt es sich bei der Testung des Lig. sacrospinale. Bei fünf Patienten (12,5 %) konnte eine Beeinträchtigung bei dieser Bandstruktur erhoben werden. Bei einem Patienten war der Test jedoch isoliert auf der nicht verletzten Seite positiv. Dies stellt am wahrscheinlichsten ein falsches Ergebnis dar.

Die Testung des Lig. sacrotuberale zeigte bei fünf Patienten ein positives Ergebnis, wobei bei einem Patienten zusätzlich und bei einem weiteren Patienten isoliert die nicht betroffene Seite beteiligt war. Demzufolge kann nur bei drei dieser Patienten (7,5 %) sicher eine bestehende Beeinträchtigung durch das Band angenommen werden, während bei den anderen Patienten auch eine Schmerzprojektion aus dem Iliosakralgelenk denkbar ist.

Der Iliosakraldehntest und das Laseque-Zeichen waren lediglich bei jeweils zwei Patienten (5 %) positiv, wobei bei letzterem in einem Fall von einem falsch positiven Ergebnis ausgegangen werden muss. Beim Iliosakraldehntest kann man bei den betroffenen zwei Patienten entsprechend von Beschwerden durch die Zerstörung der ventralen Bänder des Iliosakralgelenks ausgehen. Beim Laseque-Zeichen kommt es zwar auch zu einer leichten

Bewegung im Iliosakralgelenk, allerdings können auch Beeinträchtigungen im Bereich des N. ischiadicus zu einem positiven Ergebnis führen. Die Tatsache, dass jeweils ein positives Testergebnis für die betroffene und für die nicht betroffene Seite auftrat, unterstreicht diese Möglichkeit. Das Laseque-Zeichen scheint daher weniger geeignet, um Probleme im Iliosakralgelenk spezifisch zu erfassen.

Ein ähnliches Problem ergibt sich bei der Bewertung des Patrick-Zeichens. Nur bei der Hälfte der 8 Patienten mit positivem Testergebnis trat dieses nicht zusätzlich oder nur auf der nicht frakturierten Seite auf. Da vor allem ältere Patienten bei diesem Test Probleme hatten, ist es möglich, dass die Wirkung auf das Iliosakralgelenk von anderen Faktoren wie etwa einer Coxarthrose überlagert wurde.

Auch beim Federungstest des ISG cum femore wird das Hüftgelenk mit belastet. Dieser Test war bei 6 Patienten auf die verletzte Seite beschränkt und bei weiteren 6 Patienten zusätzlich auf der nicht betroffenen Seite positiv. Allerdings trat kein einziges positives Ergebnis isoliert auf der nicht betroffenen Seite auf. Möglicherweise wird der vom Femur weitergeleitete Stoß auf beide Iliosakralgelenke übertragen und bei verbliebener Einschränkung in einem Gelenk der Schmerz teilweise auch auf das andere Gelenk projiziert.

Das Bonnet-Zeichen und der Laguerre-Test waren jeweils bei 3 Patienten (7,5 %) positiv, wobei beim Laguerre-Test in einem Fall von einem falsch positiven Ergebnis auszugehen ist. Der Ileumdrucktest war lediglich in einem Fall positiv (2,5 %). Der Abduktionsbelastungstest war in fünf Fällen (12,5 %) positiv. Das Gänslen-Zeichen war bei vier Patienten (10 %) positiv und bei 2 Patienten nicht durchführbar.

Das Derbolowski-Zeichen war bei 10 Patienten (25 %) positiv und bei 2 Patienten nicht durchführbar. Bei 3 Patienten war der Test nur auf einer von beiden betroffenen Seiten positiv. Bei diesen Patienten ist von einem Untersuchungsfehler auszugehen, da ein positives Derbolowski-Zeichen eine Sperrung des Iliosakralgelenks durch die eingebrachten Schrauben anzeigt, welche in der Regel alle am gleichen Operationstermin entfernt werden. Demzufolge müsste der Test bei beidseitiger Verschraubung eigentlich negativ ausfallen, da dann ebenfalls kein Seitenunterschied vorliegt und sich die Beine beim Aufrichten des Oberkörpers, wie bei einem ungesperrten Iliosakralgelenk, gleichzeitig nach vorne schieben sollten. Die Aussagekraft des Tests ist insbesondere bei älteren Patienten, welche Probleme haben sich gerade aufzurichten, eingeschränkt. Bei einseitiger Verschraubung zeigte der Test allerdings sehr eindrücklich, dass der Fuß an der Seite des gesperrten Gelenks früher als auf der Gegenseite nach

vorne gedrückt wurde, was durch den fehlenden Bewegungsspielraum im Iliosakralgelenk begründet ist.

Der 3-Stufen-Hyperextensionstest erlaubt eine Differenzierung der Beschwerden in den benachbarten Strukturen des Hüftgelenks, des Iliosakralgelenks und des lumbosakralen Übergangs. Bei Fixierung des Ileums manifestierten sich bei 8 (20 %) Patienten Schmerzen im Bereich des Hüftgelenks. Bei Fixierung der LWS zeigten dagegen nur 4 Patienten (10 %) Schmerzen im lumbosakralen Übergang. Unter Fixierung des Sakrums wurde das Iliosakralgelenk provoziert, bei sechs Patienten (15 %) traten dabei Schmerzen auf, allerdings in der Hälfte der Fälle isoliert auf der nicht betroffenen Seite.

Der Federungstest in Bauchlage war gerade einmal bei 22 Patienten (55 %) negativ und bei einem Patienten nicht durchführbar. Dementsprechend ergab sich bei 17 Patienten (42,5 %) ein positives Testergebnis. In zehn Fällen waren die Schmerzen auf die frakturierten Seiten beschränkt. Bei 3 Patienten war zusätzlich und bei 4 Patienten isoliert die nicht beteiligte Seite betroffen. Auch beim Yeoman-Test fand sich bei 3 Patienten ein auf die nicht beteiligte Seite und bei 5 Patienten auf die frakturierte Seite beschränkter Schmerz.

Es lässt sich entsprechend der Ergebnisse nicht sagen, dass eine Fraktur auf einer Seite der Mittellinie des Sakrums auch nur auf der ipsilateralen Seite Beeinträchtigungen und positive Testergebnisse des Iliosakralgelenks verursachen würde. Eine mögliche Erklärung hierfür wäre, dass vor allem bei Sakrumfrakturen die Schmerzen auch in das nicht am nächsten liegende Iliosakralgelenk projiziert werden könnten. Weitere mögliche Gründe stellen Untersuchungsfehler und vor allem degenerative Erkrankungen dar.

Die Aussagekraft der körperlichen Nachuntersuchung wird durch einige Punkte verringert. Die entsprechenden Termine erfolgten nicht zu einem festen Zeitpunkt nach der Operation, sondern in einer Zeitspanne zwischen 6 und 65 Monaten. Die Patienten hatten dementsprechend unterschiedlich lange Zeit, sich von ihren Verletzungen zu erholen. Mit durchschnittlich  $29,1 \pm 19,1$  Monaten wurde der Mindestabstand von sechs Monaten zwischen der Operation bis zur Nachuntersuchung jedoch deutlich eingehalten [150]. Desweiteren sind die erhobenen Ergebnisse mit vom Alter und der Traumata Schwere, inklusive möglicher Begleitverletzungen abhängig.

Dennoch können der körperliche Zustand und die Gesamtsituation der Patienten mit keiner anderen Methode so spezifisch beurteilt werden wie mit einer individuellen körperlichen Untersuchung des Patienten, welche sinnvollerweise mit einer Anamnese verbunden werden soll-

te. Damit ist eine sehr genaue Differenzierung der Beschwerdeursachen, wie auch ein Eindruck von der Entwicklung eines Patienten möglich.

### **4.3 Ausblick**

Verletzungen des dorsalen Beckenrings sind bisher vor allem mit hochenergetischen Traumen assoziiert, wie sie etwa bei Verkehrsunfällen sowie Stürzen aus großer Höhe auftreten können [7]. In Anbetracht der demografischen Entwicklung in Deutschland ist es allerdings wahrscheinlich, dass auch pathologische Instabilitäten des dorsalen Beckenrings durch osteolytische Metastasen und vor allem aufgrund manifester Osteoporose im Sinne von Bagatelltraumen an Häufigkeit zunehmen werden [7, 158]. Bei den meist älteren Patienten steht neben der Stabilisierung des Beckenrings vor allem die damit verbundene Schmerzreduktion im Vordergrund, ohne dass andere akut behandlungsbedürftige Begleitverletzungen vorliegen [60]. Daher ist es umso wichtiger, dass der operative Eingriff unter einem minimalen chirurgischen Trauma und maximaler Sicherheit für den Patienten durchgeführt wird. Die CT-gesteuerte Verschraubung ermöglicht es, selbst bei osteolytisch veränderten sakralen Knochenanteilen, die geeignetsten ossären Korridore zu ermitteln und den Beckenring durch eine minimal invasive perkutaner Verschraubung mit fakultativer Zementaugmentation zu stabilisieren [123].

Durch technische Weiterentwicklungen der CT-Geräte bzw. ihrer Software wird in Zukunft eine weitere Reduzierung der Strahlenbelastung für den Patienten sowie für das beteiligte Personal möglich sein [78]. Spannend bleibt ebenfalls der Fortschritt bei den navigationsgestützten operativen Verfahren. Diese sind im Gegensatz zu einem CT-Gerät mobil und könnten eventuell eine weite Verbreitung und Verfügbarkeit sowie eine erhöhte Sicherheit bei der Anwendung erlangen [111].

Die konsequente Weiterentwicklung der derzeitigen Operationsmethoden und ein adäquater unvoreingenommener Vergleich von diesen wird in Zukunft eine noch sichere atraumatische Versorgung der Patienten ermöglichen.

## 5 Zusammenfassung

Instabile Verletzungen des dorsalen Beckenrings werden meist durch eine massive stumpfe Krafteinwirkung verursacht und sind häufig mit multiplen Begleitverletzungen vergesellschaftet [1]. Vor allem bei älteren Patienten können auch pathologische Frakturen durch Metastasen und eine manifeste Osteoporose der Iliosakralregion entstehen [7, 123]. Die offen durchgeführten Operationen sind bei geschlossen reponierbaren Frakturen des dorsalen Beckenrings von minimal invasiven perkutanen Operationsverfahren abgelöst worden, welche eine adäquate Fixierung bei geringerer Komplikationsrate erlauben [45, 48, 50, 63, 93, 142].

Am Klinikum der Universität München wurden im Zeitraum von März 2004 bis November 2009 insgesamt 71 Patienten mit instabilen Verletzungen des dorsalen Beckenrings durch eine minimal invasive CT-gesteuerte Verschraubung versorgt. Das durchschnittliche Alter der Patienten, von denen 29 (40,8 %) männlich und 42 (59,2 %) weiblich waren, betrug zum Zeitpunkt der Operation  $51,4 \pm 22,3$  Jahre. Bei 39 Patienten (54,9 %) lag eine Typ B-Verletzung und bei 32 Patienten (45,1 %) eine Typ C-Verletzung entsprechend der AO-Klassifikation vor. In 56 Fällen (78,9 %) war ein hochenergetischer Unfall und in 15 Fällen (18,3 %) ein Bagateltrauma für die Verletzung verantwortlich. Der operative Eingriff erfolgte durchschnittlich  $9,5 \pm 7,8$  Tage nach dem Trauma in einem interventionellen CT-Raum des Instituts für radiologische Diagnostik. Dieser ist um das zentrale CT-Gerät (Siemens - Somatom® Definition) herum einem klassischen Operationsraum vergleichbar ausgestattet und ermöglicht die interdisziplinäre Zusammenarbeit von Radiologen, Unfallchirurgen und Anästhesisten.

Die Patienten wurden unter Intubationsnarkose mit der verletzten Seite nach oben in einer Vakuum-Matratze gelagert und die Fraktur damit geschlossen repositioniert und fixiert. Bei 24 Patienten (33,8 %) war davor der vordere Beckenring bereits notfallmäßig mit einem Fixateur externe und / oder einer Symphysenplatte versorgt worden, was die Reponierung des hinteren Beckenrings entsprechend mit unterstützt hatte. Durch eine unmittelbar präoperative Computertomographie des Beckens in Narkose wurden die optimalen Einbringwinkel und knöchernen Korridore für die Osteosynthese geplant. Insgesamt wurden 136 Schrauben minimal invasiv unter direkter CT-fluoroskopischer Kontrolle in Echtzeit eingebracht. Der Operationserfolg wurde mit einem abschließenden CT-Scan kontrolliert.

Die mittlere Schnitt-Naht-Zeit der Operationen betrug  $61,30 \pm 43,88$  Minuten, wobei sich hierbei seit der Einführung der Methode am Klinikum Großhadern eine deutliche Lernkurve zeigte. So betrug die durchschnittliche Operationszeit in den Jahren 2008-2009 nur noch

44,33 ± 24,55 Minuten während sie im Zeitraum 2004 - 2005 noch bei 88,57 ± 60,27 Minuten lag.

Die Strahlenbelastung für die Patienten ergab insgesamt ein durchschnittliches Dosislängenprodukt von 849,44 ± 452,45 mGy. Zur genaueren Beurteilung und um einen Vergleich mit anderen Strahlungsquellen zu ermöglichen wurde zudem die effektive Äquivalentdosis für die Patienten bestimmt. Diese betrug im Mittel 8,7 ± 4,5 mSv für weibliche und 5,9 ± 3,1 mSv für männliche Patienten. Im Vergleich wird bei einer diagnostischen CT-Untersuchung des Abdomens ein Wert von bis zu 27,4 mSv erreicht. Die Maßnahmen zur Minimierung der Strahlenbelastung bei dem interventionellen Gebrauch des CT-Gerätes führten somit zu vertretbaren Werten für den Patienten und das Operationsteam.

Bei lediglich drei Schrauben (2,2 %) wurde eine Perforierung der Kortikalis um max. 1 mm und bei einer Schraube (0,7 %) um 2,2 mm festgestellt. Dies hatte jedoch in keinem Fall klinische Konsequenzen. Wie die restlichen 132 Schrauben (97,1 %), welche vollständig intraossär lagen, erfüllten auch die 4 perforierenden Schrauben (2,9 %) erfolgreich ihre biomechanische Funktion und verletzten keinerlei neurovaskuläre Strukturen. Im gesamten perioperativen Zeitraum von 30 Tagen kam es bei keinem einzigen der 71 Patienten zu einem Auftreten einer lokalen Komplikation wie etwa einer Infektion, einer neurovaskulären Schädigung, oder einer Verschlechterung des osteosynthetischen Fixationsergebnisses. Alle Frakturen / Instabilitäten heilten vollständig und regelhaft aus.

Um das Operationsergebnis im zeitlichen Verlauf beurteilen zu können, wurde allen Patienten eine persönliche Nachuntersuchung angeboten, welche von 40 Personen (56,3 %) wahrgenommen wurde. Diese beinhaltete die Erhebung des SF-36 Fragebogens, des Brief Pain Inventory und des Oswestry Disability Index sowie eine körperliche Untersuchung des Beckens, deren Schwerpunkt auf der spezifischen Beurteilung der Iliosakralregion lag. Insgesamt zeigten sich in der untersuchten Patientenpopulation Einschränkungen bei der körperlichen Aktivität und eine vermehrte Schmerzbelastung im Vergleich zur Normalbevölkerung. Durch die Anamneseerhebung und körperliche Nachuntersuchung der Patienten ließ sich allerdings differenzieren, dass die Verletzung des dorsalen Beckenrings selten den Hauptgrund für die Beschwerden darstellte. Von den 40 nachuntersuchten Patienten waren 9 (22,5 %) in ihrem Berufsleben körperlich eingeschränkt. Allerdings war nur bei 2 (22,2 %) dieser 9 Patienten die Beeinträchtigung mit durch die Beckenverletzung bedingt. Die Einschränkungen der Patienten waren in hohem Maße durch ihre Begleitverletzungen und ihr Alter bestimmt. Insgesamt ließ sich bestätigen, dass die mechanische Funktion des dorsalen Beckenrings bei allen Patienten erfolgreich wiederhergestellt war.

In der vorliegenden Studie konnte gezeigt werden, dass die minimal invasive perkutane CT-gesteuerte Verschraubung ein sehr sicheres und effizientes Operationsverfahren zur Versorgung von geschlossen reponierbaren Verletzungen des dorsalen Beckenrings darstellt.

## 6 Anhang

### 6.1 Literaturverzeichnis

1. Hauschild, O., et al., *Mortality in patients with pelvic fractures: results from the German pelvic injury register*. J Trauma, 2008. **64**(2): p. 449-55.
2. Poole, G.V., et al., *Pelvic fracture from major blunt trauma. Outcome is determined by associated injuries*. Ann Surg, 1991. **213**(6): p. 532-8; discussion 538-9.
3. Adams, J.E., et al., *Pelvic trauma in rapidly fatal motor vehicle accidents*. J Orthop Trauma, 2003. **17**(6): p. 406-10.
4. Adams, J.E., et al., *Analysis of the incidence of pelvic trauma in fatal automobile accidents*. Am J Forensic Med Pathol, 2002. **23**(2): p. 132-6.
5. Pohlemann, T., et al., [*Mechanism of pelvic girdle injuries in street traffic. Medical-technical accident analysis*]. Unfallchirurg, 2000. **103**(4): p. 267-74.
6. Richter, M., et al., *Injuries of the pelvic ring in road traffic accidents: a medical and technical analysis*. Injury, 2001. **32**(2): p. 123-8.
7. Culemann, U., et al., [*Concept for treatment of pelvic ring injuries in elderly patients. A challenge*]. Unfallchirurg, 2010. **113**(4): p. 258-71.
8. Pohlemann, T., et al., [*Pelvic fractures: epidemiology, therapy and long-term outcome. Overview of the multicenter study of the Pelvis Study Group*]. Unfallchirurg, 1996. **99**(3): p. 160-7.
9. Weinberg, A.M. and H. Reilmann, [*The Pelvic Professional Section of the German Society of Accident Surgery and the German Section of AO-International*]. Orthopade, 1992. **21**(6): p. 449-52.
10. Gansslen, A., et al., *Epidemiology of pelvic ring injuries*. Injury, 1996. **27 Suppl 1**: p. S-A13-20.
11. Grill, R., et al., [*Mortality risk in polytrauma patients with pelvic injury*]. Rozhl Chir, 2009. **88**(2): p. 75-8.
12. John, T. and W. Ertel, [*Pelvic injuries in the polytraumatized patient*]. Orthopade, 2005. **34**(9): p. 917-30.
13. Bosch, U., T. Pohlemann, and H. Tscherne, [*Primary management of pelvic injuries*]. Orthopade, 1992. **21**(6): p. 385-92.
14. Rothenberger, D.A., et al., *The mortality associated with pelvic fractures*. Surgery, 1978. **84**(3): p. 356-61.
15. Rittmeister, M., R.W. Lindsey, and H.W. Kohl, 3rd, *Pelvic fracture among polytrauma decedents. Trauma-based mortality with pelvic fracture--a case series of 74 patients*. Arch Orthop Trauma Surg, 2001. **121**(1-2): p. 43-9.
16. Gustavo Parreira, J., et al., *The role of associated injuries on outcome of blunt trauma patients sustaining pelvic fractures*. Injury, 2000. **31**(9): p. 677-82.
17. Pohlemann, T., et al., [*Severe pelvic injury with pelvic mass hemorrhage: determining severity of hemorrhage and clinical experience with emergency stabilization*]. Unfallchirurg, 1996. **99**(10): p. 734-43.
18. Siegmeth, A., et al., [*Associated injuries in severe pelvic trauma*]. Unfallchirurg, 2000. **103**(7): p. 572-81.
19. Keel, M. and O. Trentz, *Pathophysiology of polytrauma*. Injury, 2005. **36**(6): p. 691-709.
20. Pohlemann, T., et al., [*Traumatic hemipelvectomy. Experiences with 11 cases*]. Unfallchirurg, 1996. **99**(4): p. 304-12.
21. Seekamp, A., M. Burkhardt, and T. Pohlemann, [*Shock trauma room management of pelvic injuries. A systematic review of the literature*]. Unfallchirurg, 2004. **107**(10): p. 903-10.

22. Shapiro, M.B., et al., *Damage control: collective review*. J Trauma, 2000. **49**(5): p. 969-78.
23. Giannoudis, P.V. and H.C. Pape, *Damage control orthopaedics in unstable pelvic ring injuries*. Injury, 2004. **35**(7): p. 671-7.
24. Pape, H.C. and C. Krettek, [*Damage control orthopaedic surgery*]. Unfallchirurg, 2003. **106**(2): p. 85-6.
25. Rotondo, M.F. and D.H. Zonies, *The damage control sequence and underlying logic*. Surg Clin North Am, 1997. **77**(4): p. 761-77.
26. Pape, H.C., et al., *Timing of fracture fixation in multitrauma patients: the role of early total care and damage control surgery*. J Am Acad Orthop Surg, 2009. **17**(9): p. 541-9.
27. Bircher, M.D., *Indications and techniques of external fixation of the injured pelvis*. Injury, 1996. **27 Suppl 2**: p. B3-19.
28. Taeger, G., et al., [*Primary external fixation with consecutive procedural modification in polytrauma*]. Unfallchirurg, 2002. **105**(4): p. 315-21.
29. Ertel, W., et al., *Control of severe hemorrhage using C-clamp and pelvic packing in multiply injured patients with pelvic ring disruption*. J Orthop Trauma, 2001. **15**(7): p. 468-74.
30. Heini, P.F., J. Witt, and R. Ganz, *The pelvic C-clamp for the emergency treatment of unstable pelvic ring injuries. A report on clinical experience of 30 cases*. Injury, 1996. **27 Suppl 1**: p. S-A38-45.
31. Pohlemann, T., et al., *Pelvic emergency clamps: anatomic landmarks for a safe primary application*. J Orthop Trauma, 2004. **18**(2): p. 102-5.
32. Pohlemann, T., et al., [*Application of the pelvic C-clamp*]. Unfallchirurg, 2004. **107**(12): p. 1185-91.
33. Tiemann, A.H., et al., [*Use of the "c-clamp" in the emergency treatment of unstable pelvic fractures*]. Zentralbl Chir, 2004. **129**(4): p. 245-51.
34. Witschger, P., P. Heini, and R. Ganz, [*Pelvic clamps for controlling shock in posterior pelvic ring injuries. Application, biomechanical aspects and initial clinical results*]. Orthopade, 1992. **21**(6): p. 393-9.
35. Culemann, U., et al., [*Pelvic fracture. Diagnostics and current treatment options*]. Chirurg, 2003. **74**(7): p. 687-98; quiz 699-700.
36. Ruchholtz, S., et al., *Free abdominal fluid on ultrasound in unstable pelvic ring fracture: is laparotomy always necessary?* J Trauma, 2004. **57**(2): p. 278-85; discussion 285-7.
37. Gansslen, A., P. Giannoudis, and H.C. Pape, *Hemorrhage in pelvic fracture: who needs angiography?* Curr Opin Crit Care, 2003. **9**(6): p. 515-23.
38. Kimbrell, B.J., et al., *Angiographic embolization for pelvic fractures in older patients*. Arch Surg, 2004. **139**(7): p. 728-32; discussion 732-3.
39. Miller, P.R., et al., *External fixation or arteriogram in bleeding pelvic fracture: initial therapy guided by markers of arterial hemorrhage*. J Trauma, 2003. **54**(3): p. 437-43.
40. Perez, J.V., T.M. Hughes, and K. Bowers, *Angiographic embolisation in pelvic fracture*. Injury, 1998. **29**(3): p. 187-91.
41. Kellam, J.F., et al., *The unstable pelvic fracture. Operative treatment*. Orthop Clin North Am, 1987. **18**(1): p. 25-41.
42. Matta, J.M. and T. Saucedo, *Internal fixation of pelvic ring fractures*. Clin Orthop Relat Res, 1989(242): p. 83-97.
43. Matta, J.M. and P. Tornetta, 3rd, *Internal fixation of unstable pelvic ring injuries*. Clin Orthop Relat Res, 1996(329): p. 129-40.
44. Routt, M.L., Jr., S.E. Nork, and W.J. Mills, *Percutaneous fixation of pelvic ring disruptions*. Clin Orthop Relat Res, 2000(375): p. 15-29.

45. van den Bosch, E.W., C.M. van Zwiene, and A.B. van Vugt, *Fluoroscopic positioning of sacroiliac screws in 88 patients*. J Trauma, 2002. **53**(1): p. 44-8.
46. Sciulli, R.L., et al., *CT-guided iliosacral screw placement: technique and clinical experience*. AJR Am J Roentgenol, 2007. **188**(2): p. W181-92.
47. Ebraheim, N.A., et al., *Percutaneous computed tomography-guided stabilization of posterior pelvic fractures*. Clin Orthop Relat Res, 1994(307): p. 222-8.
48. Baskin, K.M., et al., *Closed reduction with CT-guided screw fixation for unstable sacroiliac joint fracture-dislocation*. Pediatr Radiol, 2004. **34**(12): p. 963-9.
49. Blake-Toker, A.M., et al., *CT guided percutaneous fixation of sacroiliac fractures in trauma patients*. J Trauma, 2001. **51**(6): p. 1117-21.
50. Chmelova, J., M. Sir, and V. Jecminek, *CT-guided percutaneous fixation of pelvic fractures. Case reports*. Biomed Pap Med Fac Univ Palacky Olomouc Czech Repub, 2005. **149**(1): p. 177-81.
51. Nelson, D.W. and P.J. Duwelius, *CT-guided fixation of sacral fractures and sacroiliac joint disruptions*. Radiology, 1991. **180**(2): p. 527-32.
52. Oh, C.W., et al., *Anterior plating and percutaneous iliosacral screwing in an unstable pelvic ring injury*. J Orthop Sci, 2008. **13**(2): p. 107-15.
53. Gansslen, A., T. Hufner, and C. Krettek, *Percutaneous iliosacral screw fixation of unstable pelvic injuries by conventional fluoroscopy*. Oper Orthop Traumatol, 2006. **18**(3): p. 225-44.
54. Smith, H.E., et al., *An evaluation of image-guided technologies in the placement of percutaneous iliosacral screws*. Spine (Phila Pa 1976), 2006. **31**(2): p. 234-8.
55. Beck, M., M. Krober, and T. Mittlmeier, *Intraoperative three-dimensional fluoroscopy assessment of iliosacral screws and lumbopelvic implants stabilizing fractures of the os sacrum*. Arch Orthop Trauma Surg, 2010.
56. Antekeier, S.B., et al., *Accuracy of computer assisted percutaneous placement of iliosacral screws: a cadaveric study*. Comput Aided Surg, 2003. **8**(4): p. 198-203.
57. Collinge, C., et al., *Standard multiplanar fluoroscopy versus a fluoroscopically based navigation system for the percutaneous insertion of iliosacral screws: a cadaver model*. J Orthop Trauma, 2005. **19**(4): p. 254-8.
58. Day, A.C., P.M. Stott, and R.A. Boden, *The accuracy of computer-assisted percutaneous iliosacral screw placement*. Clin Orthop Relat Res, 2007. **463**: p. 179-86.
59. Mosheiff, R., et al., *First generation computerized fluoroscopic navigation in percutaneous pelvic surgery*. J Orthop Trauma, 2004. **18**(2): p. 106-11.
60. Tjardes, T., et al., *Computer assisted percutaneous placement of augmented iliosacral screws: a reasonable alternative to sacroplasty*. Spine (Phila Pa 1976), 2008. **33**(13): p. 1497-500.
61. Sun, Y.Q., et al., *[Navigated percutaneous placement of iliosacral screws using intraoperative three-dimensional imaging]*. Zhonghua Yi Xue Za Zhi, 2008. **88**(45): p. 3226-9.
62. Ebraheim, N.A., et al., *Percutaneous computed-tomography-stabilization of pelvic fractures: preliminary report*. J Orthop Trauma, 1987. **1**(3): p. 197-204.
63. Duwelius, P.J., et al., *Computed tomography-guided fixation of unstable posterior pelvic ring disruptions*. J Orthop Trauma, 1992. **6**(4): p. 420-6.
64. Barrick, E.F., J.W. O'Mara, and H.E. Lane, 3rd, *Iliosacral screw insertion using computer-assisted CT image guidance: a laboratory study*. Comput Aided Surg, 1998. **3**(6): p. 289-96.
65. Ziran, B.H., et al., *Iliosacral screw fixation of the posterior pelvic ring using local anaesthesia and computerised tomography*. J Bone Joint Surg Br, 2003. **85**(3): p. 411-8.

66. Tsukushi, S., et al., *Computed tomography-guided screw fixation of a sacroiliac joint dislocation fracture: a case report*. J Orthop Sci, 2003. **8**(5): p. 729-32.
67. Jacob, A.L., et al., *Posterior pelvic ring fractures: closed reduction and percutaneous CT-guided sacroiliac screw fixation*. Cardiovasc Intervent Radiol, 1997. **20**(4): p. 285-94.
68. Taller, S., et al., *[100 CT-guided pelvic operations]*. Acta Chir Orthop Traumatol Cech, 2003. **70**(5): p. 279-84.
69. Tscherne, H. and T. Pohlemann, *Unfallchirurgie - Becken und Acetabulum*. 1 ed. 1998, Berlin: Springer Verlag. 498.
70. Schünke, M., E. Schulte, and U. Schumacher, *Prometheus - Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem*. 1 ed. 2005, Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
71. Wirth, C.J. and W. Mutschler, *Praxis der Orthopädie und Unfallchirurgie*. 1 ed. 2007: Georg Thieme Verlag 1100.
72. Scharf, H.-P. and A. Reiter, *Orthopädie und Unfallchirurgie*. 1 ed. 2009, München: Urban & Fischer Verlag. 976.
73. Klein, P. and P. Sommerfeld, *Biomechanik der menschlichen Gelenke; Grundlagen - Becken - untere Extremität*. 1 ed. 2004, München: Urban & Fischer Verlag.
74. Rüter, A., O. Trentz, and M. Wagner, *Unfallchirurgie*. 2 ed. 2004: Urban & Fischer Verlag. 1310.
75. Putz R., P.R., *Sobotta: Anatomie des Menschen; Allgemeine Anatomie, Bewegungsapparat, Innere Organe, Neuroanatomie; 22. Auflage* 2007, München: Elsevier GmbH.
76. Brunner, C., R. Kissling, and H.A. Jacob, *The effects of morphology and histopathologic findings on the mobility of the sacroiliac joint*. Spine (Phila Pa 1976), 1991. **16**(9): p. 1111-7.
77. Mutschler, W. and N.P. Haas, *Praxis der Unfallchirurgie*. 2 ed. 2004, Stuttgart: Georg Thieme Verlag. 1106.
78. Bohnsack, O., *Reduktion der Strahlenexposition bei CT-Fluoroskopie-gesteuerten Interventionen: Möglichkeiten und Grenzen einer segmentalen Röhrenabschaltung*. 2005: Dissertationsschrift an der Medizinischen Fakultät der Ludwig Maximilians Universität zu München.
79. Folkerts, K.-H. *Strahlenschutz bei der Computertomografie*. Available from: <http://www.htw-saarland.de/ingwi/labore/labore-der-mechatronik-sensortechnik/strahlenschutz/vorlesung-medizinphysikexperte/ctskriptneu.pdf>.
80. Ellert, U. and B.M. Bellach, *[The SF-36 in the Federal Health Survey--description of a current normal sample]*. Gesundheitswesen, 1999. **61 Spec No**: p. S184-90.
81. Elliehausen, H.J., et al., *[Assessing health-related quality of life data of building trade workers by means of the SF-36 questionnaire]*. Gesundheitswesen, 2004. **66**(8-9): p. 545-52.
82. Bullinger, M. and I. Kirchberger, *SF-36 Fragebogen zum Gesundheitszustand*. 1998: Handanweisung; Hogrefe-Verlag für Psychologie.
83. Radbruch, L., et al., *Validation of the German version of the Brief Pain Inventory*. J Pain Symptom Manage, 1999. **18**(3): p. 180-7.
84. Zwingmann, J., et al., *Computer-navigated iliosacral screw insertion reduces malposition rate and radiation exposure*. Clin Orthop Relat Res, 2009. **467**(7): p. 1833-8.
85. Carlson, D.A., et al., *Safe placement of S1 and S2 iliosacral screws: the "vestibule" concept*. J Orthop Trauma, 2000. **14**(4): p. 264-9.
86. Day, C.S., et al., *Transsacral versus modified pelvic landmarks for percutaneous iliosacral screw placement--a computed tomographic analysis and cadaveric study*. Am J Orthop (Belle Mead NJ), 2000. **29**(9 Suppl): p. 16-21.

87. Ebraheim, N.A., et al., *Morphologic considerations of the first sacral pedicle for iliosacral screw placement*. Spine (Phila Pa 1976), 1997. **22**(8): p. 841-6.
88. Goldberg, B.A., et al., *Imaging assessment of sacroiliac screw placement relative to the neuroforamen*. Spine (Phila Pa 1976), 1998. **23**(5): p. 585-9.
89. Noojin, F.K., et al., *Cross-sectional geometry of the sacral ala for safe insertion of iliosacral lag screws: a computed tomography model*. J Orthop Trauma, 2000. **14**(1): p. 31-5.
90. Cole, J.D., D.A. Blum, and L.J. Ansel, *Outcome after fixation of unstable posterior pelvic ring injuries*. Clin Orthop Relat Res, 1996(329): p. 160-79.
91. Hinsche, A.F., P.V. Giannoudis, and R.M. Smith, *Fluoroscopy-based multiplanar image guidance for insertion of sacroiliac screws*. Clin Orthop Relat Res, 2002(395): p. 135-44.
92. Keating, J.F., et al., *Early fixation of the vertically unstable pelvis: the role of iliosacral screw fixation of the posterior lesion*. J Orthop Trauma, 1999. **13**(2): p. 107-13.
93. Routt, M.L., Jr., et al., *Early results of percutaneous iliosacral screws placed with the patient in the supine position*. J Orthop Trauma, 1995. **9**(3): p. 207-14.
94. Routt, M.L., Jr. and P.T. Simonian, *Closed reduction and percutaneous skeletal fixation of sacral fractures*. Clin Orthop Relat Res, 1996(329): p. 121-8.
95. Moed, B.R. and B.L. Geer, *S2 iliosacral screw fixation for disruptions of the posterior pelvic ring: a report of 49 cases*. J Orthop Trauma, 2006. **20**(6): p. 378-83.
96. Ziran, B.H., et al., *Fluoroscopic imaging guides of the posterior pelvis pertaining to iliosacral screw placement*. J Trauma, 2007. **62**(2): p. 347-56; discussion 356.
97. Berlemann, U., et al., *Reliability of pedicle screw assessment utilizing plain radiographs versus CT reconstruction*. Eur Spine J, 1997. **6**(6): p. 406-10.
98. Templeman, D., et al., *Proximity of iliosacral screws to neurovascular structures after internal fixation*. Clin Orthop Relat Res, 1996(329): p. 194-8.
99. Collinge, C., D. Coons, and J. Aschenbrenner, *Risks to the superior gluteal neurovascular bundle during percutaneous iliosacral screw insertion: an anatomical cadaver study*. J Orthop Trauma, 2005. **19**(2): p. 96-101.
100. Tonetti, J., et al., *[Neurological damage in pelvic injuries: a continuous prospective series of 50 pelvic injuries treated with an iliosacral lag screw]*. Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot, 2004. **90**(2): p. 122-31.
101. Marmor, M., T. Lynch, and A. Matityahu, *Superior gluteal artery injury during iliosacral screw placement due to aberrant anatomy*. Orthopedics, 2010. **33**(2): p. 117-20.
102. Altman, D.T., C.B. Jones, and M.L. Routt, Jr., *Superior gluteal artery injury during iliosacral screw placement*. J Orthop Trauma, 1999. **13**(3): p. 220-7.
103. Maled, I., et al., *Pseudoaneurysm of the superior gluteal artery during iliosacral screw fixation*. Acta Orthop Belg, 2007. **73**(4): p. 544-7.
104. Weil, Y.A., M.T. Nousiainen, and D.L. Helfet, *Removal of an iliosacral screw entrapping the L5 nerve root after failed posterior pelvic ring fixation: a case report*. J Orthop Trauma, 2007. **21**(6): p. 414-7.
105. Ebraheim, N.A., et al., *The lumbosacral nerves in relation to dorsal S1 screw placement and their locations on plain radiographs*. Orthopedics, 2000. **23**(3): p. 245-7.
106. Stockle, U., et al., *[Navigation assisted by image conversion. An experimental study on pelvic screw fixation]*. Unfallchirurg, 2001. **104**(3): p. 215-20.
107. Tonetti, J., et al., *Percutaneous iliosacral screw placement using image guided techniques*. Clin Orthop Relat Res, 1998(354): p. 103-10.

108. Tonetti, J., et al., *Clinical results of percutaneous pelvic surgery. Computer assisted surgery using ultrasound compared to standard fluoroscopy*. *Comput Aided Surg*, 2001. **6**(4): p. 204-11.
109. Schwarzenbach, O., et al., *Accuracy of computer-assisted pedicle screw placement. An in vivo computed tomography analysis*. *Spine (Phila Pa 1976)*, 1997. **22**(4): p. 452-8.
110. Tile, M. and G.F. Pennal, *Pelvic disruption: principles of management*. *Clin Orthop Relat Res*, 1980(151): p. 56-64.
111. Kotsianos, D., et al., *[3-D imaging with a mobile surgical image enhancement equipment (ISO-C-3D). Initial examples of fracture diagnosis of peripheral joints in comparison with spiral CT and conventional radiography]*. *Unfallchirurg*, 2001. **104**(9): p. 834-8.
112. Stockle, U., et al., *[Clinical experience with the Siremobil Iso-C(3D) imaging system in pelvic surgery]*. *Unfallchirurg*, 2006. **109**(1): p. 30-40.
113. Gertzbein, S.D. and S.E. Robbins, *Accuracy of pedicular screw placement in vivo*. *Spine (Phila Pa 1976)*, 1990. **15**(1): p. 11-4.
114. Vaccaro, A.R., et al., *Placement of pedicle screws in the thoracic spine. Part II: An anatomical and radiographic assessment*. *J Bone Joint Surg Am*, 1995. **77**(8): p. 1200-6.
115. Mirza, S.K., et al., *Accuracy of thoracic vertebral body screw placement using standard fluoroscopy, fluoroscopic image guidance, and computed tomographic image guidance: a cadaver study*. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2003. **28**(4): p. 402-13.
116. Trumm, C.G., et al., *Screw placement and osteoplasty under computed tomographic-fluoroscopic guidance in a case of advanced metastatic destruction of the iliosacral joint*. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 2011. **34 Suppl 2**: p. S288-93.
117. Ewen, K. and H. Wolf, *Der Strahlenschutzbeauftragte in Medizin und Technik; Folkerts K.-H.: Strahlenexposition und Dosismanagement am Mehrzeilen-CT*. 2009: WEKA Verlag.
118. Carlson, S.K., et al., *Benefits and safety of CT fluoroscopy in interventional radiologic procedures*. *Radiology*, 2001. **219**(2): p. 515-20.
119. Paulson, E.K., et al., *CT fluoroscopy--guided interventional procedures: techniques and radiation dose to radiologists*. *Radiology*, 2001. **220**(1): p. 161-7.
120. Hohl, C., et al., *Dose reduction during CT fluoroscopy: phantom study of angular beam modulation*. *Radiology*, 2008. **246**(2): p. 519-25.
121. Wieners, G., et al., *[Comparison of radiation dose and image quality of Siremobil-IsoC(3D) with a 16-slice spiral CT for diagnosis and intervention in the human pelvic bone]*. *Rofo*, 2005. **177**(2): p. 258-64.
122. Reiser, M., F.-P. Kuhn, and J. Debus, *Radiologie*. 2 ed. 2006, Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
123. Ebraheim, N.A. and A. Biyani, *Percutaneous computed tomographic stabilization of the pathologic sacroiliac joint*. *Clin Orthop Relat Res*, 2003(408): p. 252-5.
124. Eude, P., et al., *[Percutaneous osteosynthesis of pelvic fractures with CT control]*. *J Radiol*, 2000. **81**(1): p. 63-8.
125. Peng, K.T., et al., *Percutaneous placement of iliosacral screws for unstable pelvic ring injuries: comparison between one and two C-arm fluoroscopic techniques*. *J Trauma*, 2006. **60**(3): p. 602-8.
126. Erdmenger, U., *Bildqualität und Strahlenexposition des Siremobil®-IsoC3D; Evaluation der Bildqualität und Strahlenexposition des IsoC3D gegenüber dem 16-Zeilen Spiral-CT und seiner Einsetzbarkeit bei Operationen am Becken*. 2009: Dissertationsschrift an der Medizinischen Fakultät Charité - Universitätsmedizin Berlin.

127. Gebhard, F., et al., [*Radiation dosage in orthopedics -- a comparison of computer-assisted procedures*]. *Unfallchirurg*, 2003. **106**(6): p. 492-7.
128. Muller-Farber, J., [*Metal removal after osteosyntheses. Indications and risks*]. *Orthopade*, 2003. **32**(11): p. 1039-57; quiz 1058.
129. Graf, H., et al., *RF artifacts caused by metallic implants or instruments which get more prominent at 3 T: an in vitro study*. *Magn Reson Imaging*, 2005. **23**(3): p. 493-9.
130. Brown, M.A., et al., *Magnetic field effects on surgical ligation clips*. *Magn Reson Imaging*, 1987. **5**(6): p. 443-53.
131. Hierholzer, G. and S. Hierholzer, *Osteosynthese und Metallallergie. Klinische Untersuchungen, Immunologie und Histologie des Implantatlagers*. *Traumatologie aktuell* (Suppl 1), Thieme, Stuttgart New York, 1991.
132. Ebraheim, N.A., et al., *Anatomic consideration in the anterior approach to the sacroiliac joint*. *Spine (Phila Pa 1976)*, 1994. **19**(6): p. 721-5.
133. Tile, M., J. Kellam, and A. McLaren, *Fractures of the Pelvis and Acetabulum*. 2 ed. 1995: Williams & Wilkins.
134. Chaumoitre, K., et al., [*CT imaging of pelvic injuries in polytrauma patients*]. *J Radiol*, 2000. **81**(2): p. 111-20.
135. Albrecht, T., et al., [*The role of whole body spiral CT in the primary work-up of polytrauma patients--comparison with conventional radiography and abdominal sonography*]. *Rofo*, 2004. **176**(8): p. 1142-50.
136. Attias, N., et al., *The use of a virtual three-dimensional model to evaluate the intraosseous space available for percutaneous screw fixation of acetabular fractures*. *J Bone Joint Surg Br*, 2005. **87**(11): p. 1520-3.
137. Tonetti, J., et al., [*Implantation of iliosacral screws. Simulation of optimal placement by 3-dimensional X-ray computed tomography*]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot*, 2000. **86**(4): p. 360-9.
138. Morse, B.J., N.A. Ebraheim, and W.T. Jackson, *Preoperative CT determination of angles for sacral screw placement*. *Spine (Phila Pa 1976)*, 1994. **19**(5): p. 604-7.
139. Routt, M.L., Jr., P.T. Simonian, and W.J. Mills, *Iliosacral screw fixation: early complications of the percutaneous technique*. *J Orthop Trauma*, 1997. **11**(8): p. 584-9.
140. Gautier, E., et al., *Accuracy of computer-guided screw fixation of the sacroiliac joint*. *Clin Orthop Relat Res*, 2001(393): p. 310-7.
141. van Zwienen, C.M., et al., *Biomechanical comparison of sacroiliac screw techniques for unstable pelvic ring fractures*. *J Orthop Trauma*, 2004. **18**(9): p. 589-95.
142. Yinger, K., et al., *Biomechanical comparison of posterior pelvic ring fixation*. *J Orthop Trauma*, 2003. **17**(7): p. 481-7.
143. Tile, M., et al., *Fractures of the Pelvis and Acetabulum*. 3 ed. 2003: Williams & Wilkins.
144. Routt, M.L., Jr., et al., *Radiographic recognition of the sacral alar slope for optimal placement of iliosacral screws: a cadaveric and clinical study*. *J Orthop Trauma*, 1996. **10**(3): p. 171-7.
145. Barei, D.P., et al., *Percutaneous management of unstable pelvic ring disruptions*. *Injury*, 2001. **32 Suppl 1**: p. SA33-44.
146. Pohlemann, T., et al., [*Outcome evaluation after unstable injuries of the pelvic ring*]. *Unfallchirurg*, 1996. **99**(4): p. 249-59.
147. Rommens, P.M., et al., [*Mortality, morbidity and functional outcome after open book and lateral compression lesions of the pelvic ring. A retrospective analysis of 100 type B pelvic ring lesions according to Tile's classification*]. *Unfallchirurg*, 2003. **106**(7): p. 542-9.

148. Chiodo, A., *Neurologic injury associated with pelvic trauma: radiology and electrodiagnosis evaluation and their relationships to pain and gait outcome*. Arch Phys Med Rehabil, 2007. **88**(9): p. 1171-6.
149. Draijer, F., H.J. Egbers, and D. Havemann, *Quality of life after pelvic ring injuries: follow-up results of a prospective study*. Arch Orthop Trauma Surg, 1997. **116**(1-2): p. 22-6.
150. Peterson, M.G., et al., *Measuring recovery after a hip fracture using the SF-36 and Cummings scales*. Osteoporos Int, 2002. **13**(4): p. 296-302.
151. Ellert, U. and B.M. Kurth, *[Methodological views on the SF-36 summary scores based on the adult German population]*. Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz, 2004. **47**(11): p. 1027-32.
152. Baacke, M.C., *Nachuntersuchung nach Beckenring- und Acetabulumfrakturen - gesundheitsbezogene Lebensqualität (SF-36) im Vergleich zu radiologischem und klinischem Outcome nach zwei Jahren*. 2010: Dissertationsschrift an der Medizinischen Fakultät der Eberhard-Karls-Universität Tübingen
153. Oliver, C.W., et al., *Outcome after pelvic ring fractures: evaluation using the medical outcomes short form SF-36*. Injury, 1996. **27**(9): p. 635-41.
154. Cleeland, C.S. and K.M. Ryan, *Pain assessment: global use of the Brief Pain Inventory*. Ann Acad Med Singapore, 1994. **23**(2): p. 129-38.
155. Changulani, M. and A. Shaju, *Evaluation of responsiveness of Oswestry low back pain disability index*. Arch Orthop Trauma Surg, 2009. **129**(5): p. 691-4.
156. Fairbank, J.C. and P.B. Pynsent, *The Oswestry Disability Index*. Spine (Phila Pa 1976), 2000. **25**(22): p. 2940-52; discussion 2952.
157. Tauber, M., et al., *[Urogenital injuries accompanying pelvic ring fractures]*. Unfallchirurg, 2007. **110**(2): p. 116-23.
158. Cooper, C., et al., *Secular trends in the incidence of hip and other osteoporotic fractures*. Osteoporos Int, 2011.

## 6.2 Abbildungsverzeichnis

<b>Abb. 1a</b>	Anatomische Beckendarstellung von kranio-ventral.....	S. 10
<b>Abb. 1b</b>	Anatomische Beckendarstellung von dorsal .....	S. 10
<b>Abb. 2</b>	Frontalschnitt durch das Iliosakralgelenk .....	S. 11
<b>Abb. 3</b>	Hauptgruppen der Beckenringverletzungen gemäß der AO-Klassifikation .....	S. 13
<b>Abb. 4</b>	Untergruppen der Beckenringverletzungen gemäß der AO-Klassifikation	S. 13
<b>Abb. 5a</b>	Beispiel einer Typ-B-Fraktur .....	S. 14
<b>Abb. 5b</b>	Beispiel einer Typ-C-Fraktur .....	S. 14
<b>Abb. 6a</b>	Lagerung des Patienten auf dem CT-Tisch .....	S. 18
<b>Abb. 6b</b>	Desinfektion des Operationsgebietes .....	S. 18
<b>Abb. 6c</b>	Sterile Abdeckung des Patienten .....	S. 18
<b>Abb. 6d</b>	Sterile Abdeckung des Computertomographen .....	S. 18
<b>Abb. 7a</b>	Sondierungsnadel zur Bestimmung des besten Hautzugangs .....	S. 20
<b>Abb. 7b</b>	Einbringung des Führungsdrahtes .....	S. 20
<b>Abb. 7c</b>	Führungsdraht in Endposition .....	S. 20
<b>Abb. 7d</b>	Einbringung einer Schraubenosteosynthese .....	S. 20
<b>Abb. 7e</b>	Schraubenosteosynthese in Endposition .....	S. 20
<b>Abb. 8</b>	Hautschnitt nach Naht .....	S. 21
<b>Abb. 9</b>	Gemessene Parameter einer Schraube .....	S. 27
<b>Abb. 10a</b>	Gemessene Abstände von der Schraube aus in der Transversalebene .....	S. 28
<b>Abb. 10b</b>	Gemessener Abstand zur Grund-/Deckplatte .....	S. 28
<b>Abb. 11a</b>	Beispiel einer in der Kortikalis liegenden Schraube .....	S. 29
<b>Abb. 11b</b>	Beispiel einer um max. 1 mm perforierenden Schraube .....	S. 29
<b>Abb. 11c</b>	Transversalschnitt der um 2,2 mm perforierenden Schraube .....	S. 29
<b>Abb. 12a</b>	3D-Rekonstruktion einer unbehandelten Beckenfraktur .....	S. 35
<b>Abb. 12b</b>	Narben nach erfolgter ISG-Verschraubung bei der Nachuntersuchung ...	S. 35

<b>Abb. 12c</b>	Patient im Einbeinstand bei der Nachuntersuchung .....	S. 35
<b>Abb. 13</b>	Kreisdiagramm der Verletzungsmechanismen .....	S. 38
<b>Abb. 14</b>	Untergliederung der Verkehrsunfälle .....	S. 39
<b>Abb. 15</b>	Zusammenhang zwischen der Traumastärke und dem Alter der Patienten	S. 40
<b>Abb. 16</b>	Zusammenhang zwischen dem Alter der Patienten und dem Vorliegen einer manifesten Osteoporose .....	S. 40
<b>Abb. 17</b>	Verteilung der Verletzungen auf die einzelnen Untergruppen der AO-Klassifikation .....	S. 42
<b>Abb. 18</b>	Verletzte Strukturen des dorsalen Beckenrings im Patientenkollektiv .....	S. 43
<b>Abb. 19</b>	Verteilung der Sakrumfrakturen im Patientenkollektiv gemäß der Denis-Klassifikation .....	S. 43
<b>Abb. 20</b>	Abfolge der Operationen am dorsalen Beckenring .....	S. 44
<b>Abb. 21</b>	Übersicht zusätzlich angewendeter Operationsverfahren .....	S. 44
<b>Abb. 22</b>	Zeitintervall zwischen Unfallereignis und Operation .....	S. 45
<b>Abb. 23</b>	Häufigkeit der verschiedenen verwendeten Schraubenlängen.....	S. 47
<b>Abb. 24</b>	Vergleich der durchschnittlichen Länge zwischen den in SWK 1 und SWK 2 eingebrachten Schrauben .....	S. 47
<b>Abb. 25</b>	Durchschnittliche Operationszeit bei einseitiger oder beidseitiger Operation .....	S. 49
<b>Abb. 26</b>	Durchschnittliche Operationszeit nach Anzahl der eingebrachten Schrauben .....	S. 49
<b>Abb. 27</b>	Durchschnittliches Dosislängenprodukt nach Anzahl der eingebrachten Schrauben .....	S. 51
<b>Abb. 28</b>	Durchschnittliche effektive Dosis für die Patienten .....	S. 52
<b>Abb. 29</b>	Minimaler Abstand der Schrauben zur ventralen/dorsalen Kortikalis	S. 53
<b>Abb. 30</b>	Minimaler Abstand der Schrauben zur Grund-/Deckplatte .....	S. 54
<b>Abb. 31</b>	Minimaler Abstand der Schrauben zum nächstgelegenen Neuroforamen	S. 55
<b>Abb. 32</b>	Kreisdiagramm zur Schraubenlage in Bezug auf eine mögliche Perforation der Kortikalis .....	S. 56
<b>Abb. 33</b>	Ergebnisse der ventro-/dorsalen Reposition .....	S. 57
<b>Abb. 34</b>	Ergebnisse der cranio-/caudalen Reposition .....	S. 58

<b>Abb. 35</b>	Zeitintervall zwischen der Operation und der Metallentfernung .....	S. 60
<b>Abb. 36</b>	Zeitintervall zwischen der Operation und der Nachuntersuchung .....	S. 61
<b>Abb. 37</b>	Posttraumatische Einschränkung der Arbeitsfähigkeit .....	S. 63
<b>Abb. 38</b>	Gründe der Einschränkung der Arbeitsfähigkeit .....	S. 63
<b>Abb. 39</b>	Einschränkung der Patienten in ihrer körperlichen Aktivität .....	S. 64
<b>Abb. 40</b>	Ergebnisse des Ott- und Schober-Zeichens .....	S. 65
<b>Abb. 41</b>	Ergebnisse der einzelnen Summenskalen des SF-36 Fragebogens .....	S. 70
<b>Abb. 42</b>	Ergebnisse des Brief Pain Inventory zur Schmerzstärke .....	S. 71
<b>Abb. 43</b>	Ergebnisse des Brief Pain Inventory zur Beeinträchtigung der Patienten durch ihre Schmerzen .....	S. 72
<b>Abb. 44</b>	Ergebnis des Oswestry Disability Index .....	S. 74
<b>Abb. 45</b>	Vergleich der Ergebnisse des SF-36 Fragebogens mit den Summenskalen der deutschen Normstichprobe von 1994.....	S. 93

### 6.3 Tabellenverzeichnis

<b>Tab. 1</b>	Postoperatives Prozedere .....	S. 22
<b>Tab. 2</b>	Verletzungsursache.....	S. 24
<b>Tab. 3</b>	Hauptskalen des SF-36 Fragebogens .....	S. 31
<b>Tab. 4</b>	Durchgeführte orthopädische Tests bei der Nachuntersuchung .....	S. 34
<b>Tab. 5</b>	Benötigte Schraubenzahl pro Patient .....	S. 46
<b>Tab. 6</b>	Nach Jahresgruppen getrennte durchschnittliche Operationszeiten .....	S. 50
<b>Tab. 7a</b>	Ergebnisse des Spine-Tests, des Vorlaufphänomens und des Trendelenburg-Zeichens .....	S. 66
<b>Tab. 7b</b>	Ergebnisse der Testung der Ligg. iliolumbale, sacrospinale und sacrotuberale .....	S. 66
<b>Tab. 7c</b>	Ergebnisse des Iliosakral-Dehntests, des Patrick-Zeichens und des Laseque-Zeichens .....	S. 67
<b>Tab. 7d</b>	Ergebnisse des Bonnet-Zeichens, des Laguerre-Tests und der Federung des ISG cum femore .....	S. 67
<b>Tab. 7e</b>	Ergebnisse des Derbolowski- und Gänslens-Zeichens sowie des Ileumdrucktests .....	S. 68
<b>Tab. 7f</b>	Ergebnisse des 3-Stufen-Hyperextensionstests .....	S. 68
<b>Tab. 7g</b>	Ergebnisse des Abduktionsbelastungstests, des Federungstests in Bauchlage und des Yeoman-Tests .....	S. 69
<b>Tab. 8</b>	Ergebnisse der Summenskalen des SF-36 Fragebogens .....	S. 70
<b>Tab. 9</b>	Ergebnisse des Brief Pain Inventory zur Beeinträchtigung der Patienten durch ihre Schmerzen .....	S. 73
<b>Tab. 10</b>	Vergleich der Genauigkeit zwischen Gruppen mit konventioneller und navigierter perkutaner Verschraubung .....	S. 77
<b>Tab. 11</b>	Vergleich der Genauigkeit zwischen der CT-gesteuerten Methode und Computer navigierten Operationsverfahren .....	S. 78
<b>Tab. 12</b>	Entwicklung der durchschnittlichen Operationszeit in Minuten .....	S. 80
<b>Tab. 13</b>	Gegenüberstellung der Risiken einer Metallentfernung und einer Metallbelassung .....	S. 84

## 6.4 Danksagung

Herrn PD Dr. med. Piltz danke ich für die Vergabe der Arbeit.

Meinen besonderen Dank möchte ich meinen Betreuern Herrn PD Dr. med. Pieske und Frau Dr. med. Rubenbauer widmen, die stets für alle Fragen zur Verfügung standen, mich bei den orthopädischen Tests zur Nachuntersuchung einlernten und sich unermüdlich die Zeit nahmen diese Arbeit zu korrigieren und Verbesserungsvorschläge vorzubringen.

Den Kollegen aus der interventionellen Radiologie Herrn Prof. Dr. med. Hoffmann und Herrn Dr. med. Christoph Trumm möchte ich für die Bereitstellung des Arbeitsplatzes mit den entsprechenden Zugangsberechtigungen und für die Beratung zur Errechnung der Strahlenbelastung danken.

Frau Kessler möchte ich herzlich für die Einführung bei der radiologischen Auswertung danken.

Bei Frau Huber möchte ich mich für die freundliche Bereitstellung der Büromaterialien für die Anschreiben bedanken.

## 6.5 Lebenslauf

### Persönliche Daten

**Vor- und Nachname** Christoph Landersdorfer  
**Geburtsdatum** 09.01.1987 in Landshut  
**Familienstand** ledig, keine Kinder



### Schulischer Werdegang

**09/1993 - 07/1997** Grundschule Gündlkofen  
**09/1997 - 06/2006** Maristengymnasium Furth  
**06/2006** Allgemeine Hochschulreife

### Ersatzdienst

**12/2005 - 12/2011** Katastrophenschutz beim BRK Landshut  
Sanitätsausbildung A und B, Fachlehrgang Rettungsdienst

### Akademischer Werdegang

**06/2007 - 09/2008** Vorklinischer Studienabschnitt an der LMU und TU München  
**08/2008** Erster Abschnitt der Ärztlichen Prüfung  
**Seit 08/2009** Klinischer Studienabschnitt an der LMU München  
**11/2012** Zweiter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung

### Beruflicher Werdegang

**Seit 01/2013** Assistenzarzt für Innere Medizin  
Privatklinik Dr. Robert Schindlbeck in Herrsching am Ammersee  
**Seit 01/2014** Assistenzarzt für Innere Medizin  
II. Medizinische Klinik, Klinikum Landshut

## 6.6 Eidesstattliche Versicherung

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Dissertation selbstständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schriftum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

-----

Ort, Datum

-----

Unterschrift Doktorand