

Aus dem Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie  
der Medizinischen Fakultät der Charité – Universitätsmedizin Berlin

## DISSERTATION

### Klinische Ergebnisse nach Becken-B-Verletzungen

zur Erlangung des akademischen Grades

Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät

Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Silvan Marius Wittenberg

aus Düren

Datum der Promotion: 18.09.2020

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>Tabellen- und Abbildungsverzeichnis</b>	<b>3</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>7</b>
<b>Abstract</b>	<b>8</b>
<b>1. Einleitung</b>	<b>12</b>
1.1 Anatomie des Beckens	13
1.2. Biomechanik des Beckens	17
1.3. Frakturtypen des Beckens	18
1.4. Frakturklassifikationen	22
1.5 Begleitverletzungen	26
1.6 Diagnostik	29
1.7 Therapie	31
1.7.1 Primäre Versorgung	32
1.7.2 Sekundäre Versorgung	35
<b>2. Fragestellung</b>	<b>39</b>
<b>3. Material und Methodik</b>	<b>40</b>
<b>4. Ergebnisse</b>	<b>44</b>
<b>5. Diskussion</b>	<b>57</b>
<b>6. Literaturverzeichnis</b>	<b>68</b>
<b>Eidesstattliche Versicherung</b>	<b>79</b>
<b>Tabellarischer Lebenslauf</b>	<b>81</b>
<b>Publikationsliste</b>	<b>84</b>
<b>Danksagung</b>	<b>85</b>

## **Tabellen- und Abbildungsverzeichnis**

**Abbildung 1:** Übersicht über die knöchernen Anteile des Beckens (Gray H. Anatomy of the Human Body. 1918, Seite 241)

**Abbildung 2:** Darstellung der Bandstrukturen des vorderen und hinteren Beckenrings (Gray H. Anatomy of the Human Body. 1918, Seite 321)

**Abbildung 3:** Von links nach rechts – Avulsionsfraktur der *Spina iliaca anterior superior* links, Fraktur der Beckenschaufel rechts, Querfraktur des *Os sacrum* (eigenes Bildmaterial)

**Abbildung 4:** *Open-Book-Verletzung* mit klaffender Symphyse (eigenes Bildmaterial)

**Abbildung 5:** Impressionsfraktur des Beckens rechts mit Innenrotationsbewegung der rechten Beckenschaufel (eigenes Bildmaterial)

**Abbildung 6:** *Vertical-Shear-Verletzung* rechts mit Ruptur der Symphyse und Fraktur des *Os pubis ipsilateral* (eigenes Bildmaterial)

**Abbildung 7:** Typ-A-Frakturen nach *AO/OTA* (Kellam JF, Meinberg EG, Agel J, Karam MD, Roberts CS. Introduction: Fracture and Dislocation Classification Compendium-2018: International Comprehensive Classification of Fractures and Dislocations Committee. Journal of orthopaedic trauma 2018;32 Suppl 1:S1-S10.)

**Abbildung 8:** Typ-B-Frakturen mit Qualifikatoren nach *AO/OTA* (Kellam JF, Meinberg EG, Agel J, Karam MD, Roberts CS. Introduction: Fracture and Dislocation Classification Compendium-2018: International Comprehensive Classification of Fractures and Dislocations Committee. Journal of orthopaedic trauma 2018;32 Suppl 1:S1-S10.)

**Abbildung 9:** Typ-C-Frakturen mit Qualifikatoren nach *AO/OTA* (Kellam JF, Meinberg EG, Agel J, Karam MD, Roberts CS. Introduction: Fracture and Dislocation Classification

Compendium-2018: International Comprehensive Classification of Fractures and Dislocations Committee. Journal of orthopaedic trauma 2018;32 Suppl 1:S1-S10.)

**Abbildung 10:** Beckenübersichts-, Inlet- und Outlet-Aufnahme bei einer Patientin mit einer Beckenkompressionsverletzung (eigenes Bildmaterial)

**Abbildung 11:** Axiale Darstellung des vorderen und hinteren Beckenrings mittels Computertomographie bei einer Beckenkompressionsfraktur rechts (eigenes Bildmaterial)

**Abbildung 12:** Intrapelvines Volumen vor und nach Reposition (Stover MD, Summers HD, Ghanayem AJ, Wilber JH. Three-dimensional analysis of pelvic volume in an unstable pelvic fracture. The Journal of trauma 2006;61:905-8.) - modifiziert durch den Autor

**Abbildung 13:** Osteosynthese des vorderen Beckenrings mittels Symphysenplatte (links) oder Rekonstruktionsplatte (rechts) (eigenes Bildmaterial)

**Abbildung 14:** Implantate des hinteren Beckenrings von links nach rechts: Iliosacrale-Schrauben bds., *TIFI* mit ventraler Plattenosteosynthese, Plattenosteosynthese des *Oss ilium* (eigenes Bildmaterial)

**Abbildung 15:** Beidseitige spinopelvine Fusion mittels Spondylodese bei spinopelviner Dissoziationsverletzung (eigenes Bildmaterial)

**Diagramm 1:** Darstellung der Studienpopulation (eigenes Datenmaterial)

**Diagramm 2:** Prozentuale Verteilung der Fraktursubtypen im Patientenkollektiv (eigenes Datenmaterial)

**Diagramm 3:** Altersverteilung des Patientenkollektivs (eigenes Datenmaterial)

**Diagramm 4:** Darstellung der häufigsten Unfallursachen bei Patienten mit Becken-B-Verletzung (eigenes Datenmaterial)

**Diagramm 5:** Kaplan-Meier-Kurve der stationären Letalität (eigenes Datenmaterial)



**Diagramm 6:** Zeitlicher Verlauf des durchschnittlichen *Injury Severity Scores* 2005-2014 und Durchschnittsalters bei Patienten/Patientinnen mit Beckenringverletzungen vom Typ-B (eigenes Datenmaterial)

**Diagramm 7:** Durchschnittliche Anzahl der Bluttransfusionen in Abhängigkeit vom *ISS* (eigenes Datenmaterial)

**Diagramm 8:** Fraktursubgruppen der nachuntersuchten Patienten/Patientinnen (eigenes Datenmaterial)

**Tabelle 1:** Berechnung des *Injury Severity Scores* (eigenes Datenmaterial)

**Tabelle 2:** Dimensionen des *Short-Form-Health-Survey-36* (SF-36) (eigenes Datenmaterial)

**Tabelle 3:** Dimensionen und Punktwerte des *EuroQol EQ-5D-Scores* (eigenes Datenmaterial)

**Tabelle 4:** Dimensionen und Punktwerte des *Merle D'Aubigné-Postel-Scores* (eigenes Datenmaterial)

**Tabelle 5:** Altersdurchschnitt und *Injury Severity Score* bei Aufnahme in Abhängigkeit der Unfallursache (eigenes Datenmaterial)

**Tabelle 6:** Überblick über das Patientenkollektiv in Abhängigkeit vom Frakturtyp (eigenes Datenmaterial)

**Tabelle 7:** Klinische Ergebnisse der nachuntersuchten Patienten/Patientinnen nach Frakturtyp (eigenes Datenmaterial)

**Tabelle 8:** Klinisches Ergebnis in Abhängigkeit von der Versorgungsart nach Typ-B2-Verletzung (eigenes Datenmaterial)

**Tabelle 9:** Klinisches Ergebnis in Abhängigkeit von der Versorgungsart bei Typ-B1-Verletzungen (eigenes Datenmaterial)

**Tabelle 10:** Klinisches Ergebnis in Abhängigkeit von der Versorgungsart bei Typ-B3-Verletzungen (eigenes Datenmaterial)

## Abkürzungsverzeichnis

A.	Arteria
AIS	Abbreviated Injury Scale
AO	Arbeitsgemeinschaft Osteosynthese
a.p.	anterior-posterior
ARDS	Acute Respiratory Distress Syndrome
ATLS	Advanced Trauma Life Support
CT	Computertomographie
et al.	et alia
FAST	Focused Assessment with Sonography in Trauma
ISS	Injury Severity Score
KIS	Krankenhausinformationssystem
Lig.	Ligamentum
Ligg.	Ligamenta
MCS	psychische Summenskala (SF-36)
N.	Nervus
Nn.	Nervi
OTA	Orthopaedic Trauma Association
PCS	körperliche Summenskala (SF-36)
SD	Englisch: standard deviation – Deutsch: Standardabweichung
SIRS	Systemic Inflammatory Response Syndrome
TIFI	Transiliac Internal Fixator
V.	Vena

## **Abstract**

### **Titel: Klinische Ergebnisse nach Becken-B-Verletzungen**

#### **Hintergrund**

Verletzungen des Beckenrings entstehen häufig im Rahmen von Hochrasanztraumata, welche mit diversen Begleitverletzungen einhergehen können und dabei für sich alleine oder in der Summe aller Verletzungen lebensbedrohlich sind. Trotz operativer Intervention sind die Langzeitergebnisse von instabilen Beckenringverletzungen bis heute nicht zufriedenstellend. Es fehlen detaillierte Informationen über das klinische Ergebnis in Abhängigkeit der Therapieform sowie der Frakturtypen. Ziel dieser Arbeit ist der Vergleich der unterschiedlichen Subgruppen von Typ-B-Verletzungen, da diese den Großteil der instabilen Beckenringverletzungen darstellen.

#### **Material und Methodik**

Es erfolgte die retrospektive Analyse der Patientendaten (Epidemiologie, Unfallhergang und zeitlicher Ablauf, Komplikationen, Mortalität, Injury Severity Scores) aller behandelten Patienten/Patientinnen mit einer Becken-B-Verletzung, welche im Zeitraum von 2005-2014 im Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie der Charité behandelt wurden. Im Rahmen der poststationären Nachsorge in der Beckenspezialsprechstunde wurden bei allen Patienten und Patientinnen routinemäßig verschiedene etablierte klinische Scores zur Evaluation erhoben. Patienten/Patientinnen mit einer Becken-B-Verletzung, welche sich im zeitlichen Abstand von mindestens einem Jahr postoperativ ambulant vorgestellt hatten, wurden zur Beurteilung des postoperativen Langzeitergebnisses eingeschlossen.

#### **Ergebnisse**

In die vorliegende Studie wurden 320 Patienten/Patientinnen mit einer Becken-B-Verletzung eingeschlossen. 31 erlitten eine *Open-Book-Verletzung* (9,7%), 246 eine Kompressionsverletzung (76,9%) und 43 eine beidseitige Typ-B-Verletzung (13,4%). 168 (52,5%)

Patienten/Patientinnen wurden im Rahmen eines Polytraumas ( $ISS \geq 16$ ) hospitalisiert. Das durchschnittliche Alter betrug 54,3 Jahre. Häufigste isolierte Unfallursache ist der Sturz aus dem Stand. Kumulativ betrachtet stellen jedoch Verkehrsunfälle mit 44,7% des Patientenguts die häufigste Unfallursache dar. Die stationäre Mortalität betrug 8,75% und war trotz stark divergierender Verletzungsschwere und Alter vom Frakturtyp unabhängig. 104 Patienten/Patientinnen wurden zur Analyse des postoperativen Langzeitergebnisses herangezogen. Bei den erhobenen Funktionsscores zeigte sich kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Frakturtypen. Eine Subgruppenanalyse war statistisch nur bei Typ-B2-Verletzungen sinnvoll und ergab eine Präferenz zur 360° Stabilisierung.

### **Schlussfolgerungen**

Folgende Kernaussagen lassen sich aus den gezeigten Daten ableiten:

- Beckenverletzungen vom Typ-B1 als auch Typ-B3 wurden mit guten klinischen Ergebnissen hauptsächlich operativ versorgt.
- Beckenverletzungen vom Typ-B2 zeigen bei konservativer Versorgung im Rahmen von Niedrigenergietraumata des alten Menschen gute langfristige Ergebnisse.
- Hauptursache von Becken-B-Verletzungen bleiben Hochrasanztraumata. Das Verletzungsspektrum verschiebt sich jedoch im Laufe der Jahre zunehmend zur isolierten geriatrischen Beckenverletzung.
- Die stationäre Mortalität von hospitalisierten Patienten/Patientinnen mit Beckenverletzungen vom Typ-B bleibt mit 8,75% weiterhin hoch.
- Beckenverletzungen beim jungen, meist polytraumatisierten, Patienten/Patientinnen vom Typ- B2 werden mit guten Ergebnissen operativ versorgt. Die Subgruppenanalyse zeigt dabei einen Vorteil der ventrodorsalen Stabilisierung.

## **Title: Clinical results after pelvic B injuries**

### **Background**

Injuries of the pelvis often occur in the context of high-speed traumas, which can be accompanied by various injuries and are life-threatening on their own or in the sum of all injuries. Despite surgical intervention, however, the long-term results of unstable pelvic ring injuries are still unsatisfactory. There is a lack of detailed information on the clinical outcome of pelvic ring fractures depending on type of therapy and fracture types.

### **Material and Methodology**

A retrospective analysis of the patient data of all patients with a pelvic B-injury who were treated in our center in the period 2005-2014 was performed. Patients with a pelvic B-injury, who had presented themselves as outpatients at least one year after surgery, were included for the assessment of the postoperative long-term outcome using various established clinical scores that were routinely collected.

### **Results**

320 patients with a pelvic B-injury were included in this study. 31 patients suffered an open-book-injury (9.7%), 246 a compression injury (76.9%) and 43 a bilateral type B-injury (13.4%). 168 (52.5%) patients were hospitalized for polytrauma ( $ISS \geq 16$ ). The average age of the patients was 54.3 years. The most common isolated cause was a fall from a standing elderly person. Cumulatively, however, traffic accidents are the most common cause of accidents, accounting for 44.7% of the patient population. In-patient mortality was 8.75% and was independent of fracture type, despite strongly diverging injury severity and age. 104 patients were included in the analysis of the postoperative long-term outcome. The function scores obtained did not show any statistically significant difference between the fracture types. A subgroup analysis was statistically meaningful only for type B2-injuries and showed a preference for 360° stabilization.

## Conclusions

The following core statements can be derived from the data shown:

- Pelvic injuries of type B1 as well as type B3 were treated with good clinical results mainly surgically.
- Pelvic injuries of type B2 show good long-term results with conservative treatment in the context of low-energy trauma of the elderly.
- The main cause of pelvic B-injuries remains high-speed trauma. However, the spectrum of injuries has shifted increasingly towards isolated geriatric pelvic injuries over the years.
- Inpatient mortality of hospitalized patients with type B-injuries remains high at 8.75%.
- Pelvic injuries in young, mostly polytraumatized, type B2-patients are treated surgically with good results. The subgroup analysis shows an advantage of ventro-dorsal stabilization.

## 1. Einleitung

Verletzungen des knöchernen Beckenrings gehören mit einer Inzidenz von ca. 23-34 pro 100.000 Einwohnern zu den selteneren Frakturen des Menschen.<sup>(1, 2)</sup> Kumulativ stellen sie lediglich 3-8% aller Frakturen dar.<sup>(3)</sup> Dabei zeigen sich bei der Verteilung von Beckenringverletzungen wiederum ca. 55% stabile Beckenringfrakturen vom Typ-A nach AO (Arbeitsgemeinschaft Osteosynthese), 25% horizontal instabile Beckenfrakturen vom Typ-B und ca. 20% horizontal und vertikal instabile Beckenfrakturen vom Typ-C.<sup>(4)</sup> Während stabile Beckenringverletzungen vom Typ-A selten einer operativen Intervention bedürfen und mit einer geringen Letalität einhergehen, können instabile Beckenringverletzungen vom Typ-B oder Typ-C eine vitale Bedrohung für den Patienten bzw. die Patientin darstellen. Hierbei werden in der Literatur eine Letalität von bis zu 13,8% für Typ-B und 25% für Typ-C-Frakturen angeführt.<sup>(4)</sup> Der Anstieg der Letalität abhängig vom Frakturtypus der Beckenringverletzung lässt sich zum einen durch kreislaufrelevante Blutungen aus den frakturierten Beckenknochen sowie aus dem präsaacralen Venenplexus erklären.<sup>(5)</sup> Seltener, jedoch umso dramatischer, können arterielle Gefäßverletzungen bis hin zur kompletten Ruptur der Becken-Bein-Achse mit schneller Exsanguation des Patienten bzw. der Patientin Ursache einer Blutung im Zusammenhang mit Beckenfrakturen sein.<sup>(6)</sup> Instabile Beckenringverletzungen entstehen besonders häufig im Rahmen von Hochrasanztraumata, welche mit diversen Begleitverletzungen einhergehen können und dabei für sich alleine oder in der Summe aller Verletzungen lebensbedrohlich sind.<sup>(4)</sup> Andererseits kommt es aufgrund der demografischen Veränderung in der westlichen Welt zu einer Zunahme von geriatrischen und pathologischen Frakturen.<sup>(2)</sup>

Klinisch steht in der Akutbehandlung der instabilen Beckenringverletzung die Kreislaufstabilisierung durch Stoppen der Blutung sowie einer adäquaten – dem Ausmaß des hämorrhagischen Schockgeschehens angepassten – Volumentherapie.<sup>(7)</sup> Blutungen, die durch die o. g. Faktoren entstehen, füllen vor allem den retroperitonealen Raum im kleinen Becken.<sup>(8)</sup> Die Blutungen von außen zu stoppen ist nur indirekt durch den Versuch, das Volumen des Beckens zu reduzieren, möglich.<sup>(9)</sup> Dies wird durch Kompression im Rahmen der Erstversorgung mit einer Beckentuchrolle, eines Beckengurtes (z.B. Pelvic Binder)



oder aber durch einfache operative Maßnahmen wie das Anlegen einer Beckenzwinge oder eines Fixateur externe realisiert.<sup>(10, 11, 12, 13)</sup> Nach der primären Stabilisierung des Patienten bzw. der Patientin sind oftmals an die Frakturmorphologie angepasste operative Maßnahmen notwendig, um die Stabilität sowie Geometrie des Beckenringes zu rekonstruieren. Vor 1970 wurden Beckenringfrakturen in der Regel konservativ behandelt. Durch die Entwicklung passender Implantate sowie die Etablierung standardisierter chirurgischer Zugangswege kam es zu einem Paradigmenwechsel hin zur operativen Therapie. Hilfreich waren dabei auch publizierte Untersuchungen, welche die Überlegenheit der operativen Versorgung hinsichtlich des klinischen Ergebnisses demonstrierten.<sup>(14, 15, 16, 17)</sup>

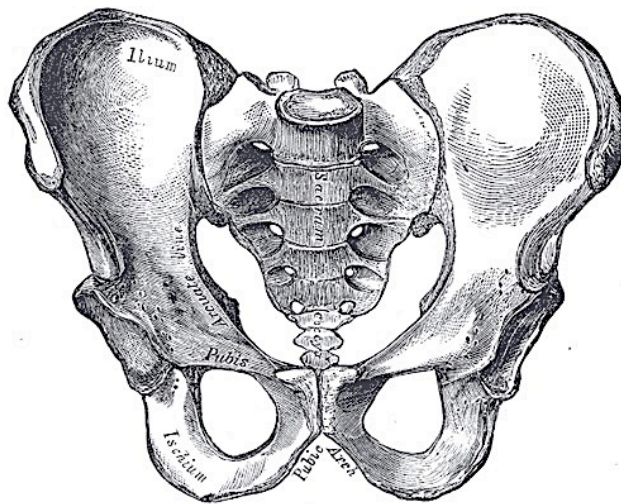
Jedoch hat die konservative Therapie der Beckenringverletzungen auch heute noch ihren festen Stellenwert. Beispielsweise werden Becken-A-Verletzungen nur im Ausnahmefall bei grober Dislokation oder dem seltenen Fall einer kreislaufrelevanten Blutung einer operativen Maßnahme zugeführt. Des Weiteren spielt der Allgemeinzustand des Verletzten eine wesentliche Rolle bei der Indikationsstellung zur operativen Stabilisierung, ebenso wie die Knochenqualität und der Wunsch des behandelten Patienten bzw. der Patientin.<sup>(18)</sup> Trotz operativer Intervention sind die Langzeitergebnisse von instabilen Beckenringverletzungen bis heute nicht zufriedenstellend. Die Patienten/Patientinnen leiden teilweise langfristig unter Schmerzen, Sensibilitätsausfällen, Paresen sowie Inkontinenz.<sup>(16, 19)</sup>

### **1.1 Anatomie des Beckens**

Das Becken verbindet die Wirbelsäule und somit den Rumpf mit den unteren Extremitäten. Es dient neben der Aufnahme des Körpergewichts auch der Insertion der Beine. Am knöchernen Becken setzt eine Vielzahl von Muskeln und Bändern an, die für die Stabilität und Funktion unerlässlich sind. Das Becken beinhaltet außerdem innere Organe, Nerven und Gefäße und schützt diese durch seine harte knöcherne ringförmige Struktur vor äußeren Schäden.

## Knöcherne Anteile

Der Beckenring besteht aus drei knöchernen Anteilen, die über straffe Gelenke miteinander verbunden sind. Zu beiden Seiten finden sich die *Ossa coxae*, welche sich wiederum entwicklungsgeschichtlich aus drei Anteilen (*Os ischium*, *Os ilium* und *Os pubis*) zusammensetzen. Die *Ossa pubis* bilden ventral mit der *Symphyse* den Formschluss des vorderen Beckenringes. Auf der dorsalen Seite befindet sich das *Os sacrum*, welches auf beiden Seiten durch die Iliosacralgelenke mit den *Ossa coxae* artikuliert.<sup>(20)</sup> Hierüber wird zum einen der Formschluss des hinteren Beckenringes realisiert und zum anderen die knöcherne Verbindung zur Wirbelsäule etabliert.

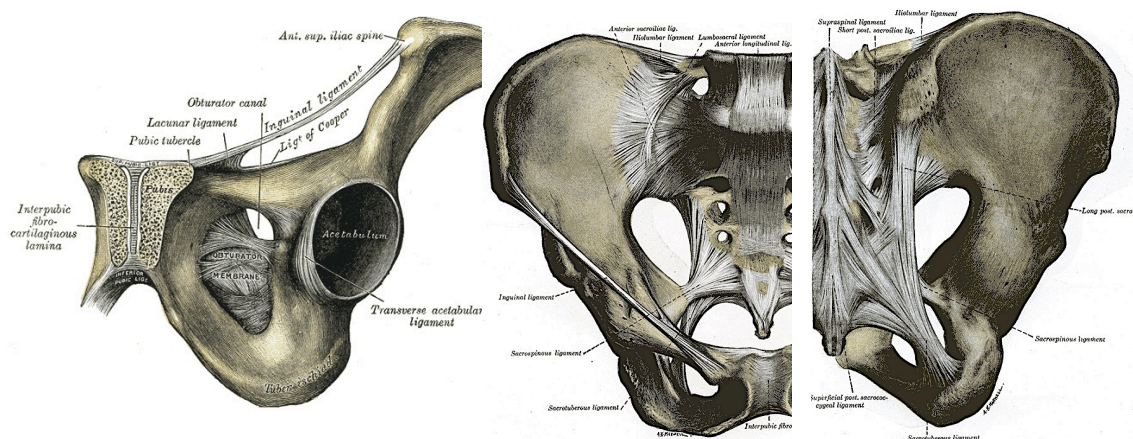


**Abb. 1:** Übersicht über die knöchernen Anteile des Beckens<sup>(21)</sup>

Das *Os sacrum* entsteht durch die Verschmelzung der fünf sacralen Wirbelkörper und bildet die caudale Fortsetzung der Lendenwirbelsäule, die distal im *Os coccygis* endet. Durch das *Os sacrum* verläuft von cranial nach caudal der *Canalis sacralis*, welcher ventral von den sacralen Wirbelkörpern und dorsal von der *Crista mediana* und *Crista intermedia* knöchern umschlossen wird und den caudalen Anteil der *Cauda equina* enthält. Durch die *Foramina sacralia* treten die Nervenwurzeln S1-S5 nach ventral ins Becken bzw. nach dorsal aus. Durch die Fusion der drei Anteile des *Os coxae* wird zentral das *Acetabulum* gebildet, in welches der Femurkopf aufgenommen und somit das Hüftgelenk gebildet wird. Das *Os pubis* und *Os Ischium* bilden in ihrer Konfiguration das *Foramen obturatum*.

## Ligamentäre Anteile

Der knöcherne Beckenring wird ventral über die *Symphyse* und dorsal durch die Iliosacralgelenke verbunden. Dieser Aufbau verleiht dem Beckenring bei Belastung Elastizität. Zur Stabilisierung der *Symphyse* und der Iliosacralgelenke spielen starke Bandstrukturen eine wichtige Rolle. Die *Symphyse* wird ligamentär insbesondere vom *Lig. pubicum superius* und *Lig. arcuatum pubis* verstärkt. Diese sind mit dem *Discus interpubicus* verwachsen, welcher direkt zwischen den beiden Gelenkflächen der Schambeine sitzt und eine Pufferfunktion einnimmt.



**Abb. 2:** Darstellung der Bandstrukturen des vorderen und hinteren Beckenrings<sup>(21)</sup>

Die Iliosacralgelenke werden von den *Ligg. sacroiliaca anteriora et posteriora* als Verstärkung der Gelenkkapsel gesichert. Im Gelenk befinden sich außerdem die *Ligg. sacroiliaca interossea*, die ein Abrutschen des *Os sacrum* nach caudal und ventral verhindern. Weiter wirken die *Ligg. iliolumbalia* stabilisierend, die von den Querfortsätzen des 4. und 5. Lendenwirbels zum Beckenkamm verlaufen. Die kräftigen Bänder des Beckenbodens setzen sich aus den *Ligg. sacrospinalia et sacrotuberalia* zusammen.

## Muskuläre Anteile

Je nach Lokalisation lassen sich die am Becken ansetzenden Muskeln in sechs Gruppen unterteilen:

- Gesäßmuskulatur (*M. gluteus maximus, M. gluteus medius et minimus*)
- Außenrotatoren des Hüftgelenks (*M. gemellus superior et inferior, M. piriformis, M. obturatorius externus et internus, M. quadratus femoris*)
- Die Oberschenkeladduktoren (*M. pectineus, M. adductor longus, M. gracilis, M. adductor brevis et magnus*)
- Flexoren des Hüftgelenks (*M. iliopsoas, M. tensor fasciae latae, M. sartorius, M. quadriceps femoris*)
- Ischiocrurale Muskulatur (*M. semitendinosus, M. semimembranosus, M. biceps femoris*)
- Beckenbodenmuskulatur (*Diaphragma pelvis, Diaphragma urogenitalis*)

### **Nerven im Bereich des Beckens**

Die *Rami anteriores* der lumbalen und sacralen Nervenäste bilden den *Plexus lumbosacralis*. Dieser verläuft größtenteils ventral der Iliosacralgelenke und ist dadurch bei Verletzung des hinteren Beckenrings gefährdet. Er besteht sowohl aus motorischen als auch aus sensiblen Fasern und kann in drei Teile unterteilt werden.

*Plexus lumbalis (Th12-L4)*: Der *Plexus lumbalis* bildet den *N. femoralis* und *N. obturatorius*. Der *N. femoralis* versorgt motorisch den *M. quadriceps femoris*, und sensibel die Vorder- und Rückseite des Oberschenkels sowie die mediale Seite des Unterschenkels. Der *N. obturatorius* innerviert die Adduktoren des Oberschenkels.

*Plexus sacralis (L4-S4)*: Neben der Innervierung der Gesäßmuskulatur durch den *N. glutealis superior et inferior* sowie der Beckenbodenmuskulatur durch den *N. pudendus* geht aus dem *Plexus sacralis* der mächtige *N. ischiadicus* hervor. Dieser versorgt motorisch den dorsalen Oberschenkel sowie zusätzlich sensibel und motorisch den gesamten Unterschenkel. Eine Schädigung des *N. pudendus* führt zu einer Störung der Harn- und Stuhlinkontinenz sowie Sexualfunktion.

*Plexus coccygeus (S4-S5)*: Der *Plexus coccygeus* innerviert sensibel die Haut über dem Steißbein sowie Teile der Perianalregion.

## **Beckengefäße**

Die großen arteriellen Gefäße des Beckens entspringen der *Aorta abdominalis* und teilen sich auf Höhe des 4. Lendenwirbelkörpers in die *A. Iliaca communis dextra et sinistra* auf. Diese unterteilen sich jeweils ventral der Iliosacralgelenke in die *A. iliaca interna et externa*. Die *A. iliaca interna* versorgt die Beckenorgane, Teile des knöchernen Beckens und die Beckenmuskulatur. Die *A. iliaca externa* verläuft durch das Becken und geht dann in die *A. femoralis* über, welche die untere Extremität versorgt. Die Arterien werden von den gleichnamigen Venen begleitet, die in die *Vena cava inferior* drainieren. Daneben existiert zusätzlich ein prä-sacraler und perivesikaler venöser Plexus, welche bei Verletzung zu hämodynamisch relevanten Blutungen ins Retroperitoneum führen können.

## **Beckenorgane**

Das Becken beinhaltet neben den Geschlechtsorganen auch die Ausscheidungsorgane, die infra- bzw. retroperitoneal liegen. Das *Rectum* befindet sich direkt ventral des *Os sacrum* und wird vom *M. levator ani* umschlungen. Dorsal der Schambeinäste befindet sich die *Vesica urinaria*, die über die *Urethra* drainiert wird. Diese zieht durch den Beckenboden der Teil des Kontinenzorgans ist. Beim Mann findet sich dorsocaudal der *Vesica urinaria* zusätzlich die *Prostata*. Bei der Frau befindet sich dorsal der *Vesica urinaria* der *Uterus* und caudal davon die *Vagina*. Lateral des cranialen *Uterus* befinden sich die *Tuben* und *Ovarien*. Zwischen *Uterus* und *Os sacrum* bei der Frau bzw. *Vesica urinaria* und *Os sacrum* beim Mann befindet sich der *Douglas-Raum* bzw. das *Spatium retrovesicale*, der tiefste intraperitoneale Punkt, der im Rahmen der Notfalldiagnostik eine wichtige Rolle spielt.

### **1.2. Biomechanik des Beckens**

Das Gewicht des Oberkörpers, der oberen Extremitäten und des Kopfes wird von der Lendenwirbelsäule auf das *Os sacrum* und von dort über die Iliosacralgelenke auf die *Ossa coxae* und Hüftgelenke übertragen. Die Stabilität der Iliosacralgelenke wird wie oben beschrieben über die iliosacralen Bandstrukturen gewährleistet. Das *Os sacrum* ist hierbei

an den *Ligg. iliolumbalia* und den dorsalen *Ligg. Iliosacralia* federnd aufgehängt. Die *Ligg. iliolumbalia* verhindern dabei ein Auseinanderweichen der *Ossa coxae* unter Belastung. Eine Fraktur der Querfortsätze des 4. und 5. Lendenwirbels geben daher einen Hinweis auf eine höhergradige Instabilität des Beckens.<sup>(22)</sup> Da die Gelenkflächen der Iliosacralgelenke nicht senkrecht verlaufen, sondern ein nach caudal offenes Dreieck bilden, ergibt sich bei Belastung eine Zugbewegung der *Ossa coxae* nach medial ähnlich eines umgekehrten Schlussteins. Dies führt zu einer Druckerhöhung in den Iliosacralgelenken und einer Einkeilung des *Os sacrum*.<sup>(23)</sup> Der Rotationsbewegung des *Os sacrum* um die sagittale Achse der Iliosacralgelenke auf Höhe des dritten Sacralwirbels wird durch die *Ligg. sacrospinalia et sacrotuberalia* entgegengewirkt.<sup>(24, 25)</sup> Ist der posteriore Bandapparat wie bei einer Becken-C-Verletzung unterbrochen, ist eine lasttragende Funktion nicht mehr möglich.<sup>(26)</sup> Im Zweibeinstand kommt es an der *Symphyse* zu einer Distraktionsbewegung, die die *Ossa pubis* auseinandertreibt.<sup>(27)</sup> Wird jedoch vom Zweibeinstand in den Einbeinstand gewechselt, kommt es zu Scher- und Druckbelastung im Bereich der *Symphyse*.<sup>(27)</sup> Der Hauptkraftfluss findet hauptsächlich von der Lendenwirbelsäule über die *Iliosacralgelenke* auf die *Ossa coxae* und dann auf die Hüftgelenke statt.<sup>(28, 29)</sup> Der vordere Beckenring ist daher für die Belastungsstabilität des Beckens von nachrangiger Bedeutung.

### 1.3. Frakturtypen des Beckens

Der Entstehung von Beckenringverletzungen kann man grundsätzlich mindestens vier typische Krafteinwirkungen zugrunde legen, welche je nach Ausmaß der Krafteinwirkung zu einer der drei folgenden grundlegenden Frakturtypen führen:

1. Durch punktuelle Krafteinwirkung kann es zu lokal begrenzten Frakturen oder Avulsionsfrakturen des Beckenrings kommen, welche die knöchernen und ligamentäre Stabilität des Beckenrings nicht beeinträchtigen. Zu diesen gehören isolierte Frakturen der Schambeinäste, Abrissfrakturen der *Spina iliaca anterior superior*, Frakturen des Beckenkamms oder Frakturen des *Os coccygeus*.<sup>(30)</sup>



**Abb. 3:** Von links nach rechts – Avulsionsfraktur der *Spina iliaca anterior superior* links, Fraktur der Beckenschaufel rechts, Querfraktur des *Os sacrum*

2. Bei suffizienter Krafteinwirkung mit einem anterior-posterioren Kraftvektor kann es zu einer Zerreißung der *Symphyse*, gefolgt von einer Ruptur der Bänder des Beckenbodens (*Ligg. sacrospinalia et sacrotuberalia*), der ventralen iliosacralen Bandstrukturen und der interossaren und posterioren iliosacralen Bänder kommen.<sup>(32)</sup> Dies führt zum Auseinanderweichen der Schambeinäste und somit zu einem Aufklappen des Beckens. Diese Verletzung wird deshalb auch als „*Open-Book-Verletzung*“ bezeichnet. Der exakte Einfluss der Bandstrukturen auf die Stabilität bei dieser Verletzung ist bis heute umstritten.<sup>(31, 32, 33)</sup> *Doro et al.* konnten in einer Kadaverstudie zeigen, dass es nur bei gleichzeitig vertikalen Scherkräften zu einer Zerreißung des Beckenbodens kommt und somit die ventralen *iliosacralen* Bandstrukturen direkt nach der *Symphyse* zerreißen. Ein weiteres Ergebnis der Studie war, dass bei einer Dehiszenz der *Symphyse* <2,5 cm, nicht wie von *Pennal et al.* postuliert, die ventralen iliosacralen Bänder zwingenden intakt sein müssen.<sup>(34, 35)</sup> In der Studie konnte ebenfalls gezeigt werden, dass eine Zerreißung der ventralen iliosacralen Bänder bereits bei einer Dehiszenz der *Symphyse* >1cm möglich ist.



**Abb. 4:** *Open-Book-Verletzung* mit klaffender Symphyse

3. Krafteinwirkungen von lateral führen zu einer Innenrotationsbewegung am Beckenring. Dies führt am *Os sacrum* zu einer Impressionsfraktur mit oder ohne Läsionen des Bandapparates bei gleichzeitiger vorderer ipsilateraler und/oder kontralateraler Impressionsfraktur des *Os pubis*. Auch eine gleichzeitige *Symphysensprengung* ist möglich. Die Fraktur kann allerdings auch durch das Iliosacralgelenk oder das *Os ilium* verlaufen. Welche Strukturen genau betroffen sind, ist individuell verschieden und hängt neben der unterschiedlichen knöchernen Konfiguration auch von Kraft und Vektor ab. Je nach Ausmaß der bestehenden Bandläsionen zeigt sich die Verletzung horizontal als auch vertikal instabil. Bei der sogenannten „*Bucket-Handle-Fraktur*“ entsteht neben der lateralen Impression zusätzlich eine Rotationskomponente nach cranial. Hierbei kommt es ipsilateral zu einer Sacrumimpressionsfraktur und kontralateral zu einer Fraktur von Sitz- und Schambeinästen. Von einer „*Straddle-Fraktur*“ spricht man hingegen bei einer Fraktur beider Sitz- und Schambeinäste, die gehäuft mit Verletzungen der Blase einhergeht.<sup>(36, 37)</sup>





**Abb. 5:** Impressionsfraktur des Beckens rechts mit Innenrotationsbewegung der rechten Beckenschaufel

4. Bei Krafteinwirkung von cranial oder caudal auf den Beckenring kann es zu einer vertikalen Abscherung, „*Vertical Shear*“, einer Beckenhälfte in Relation zum *Os sacrum* kommen. Die Fraktur kann durch das *Os sacrum*, durch das Iliosacralgelenk oder das *Os Ilium* verlaufen.



**Abb. 6:** *Vertical-Shear-Verletzung* rechts mit Ruptur der *Symphyse* und Fraktur des *Os pubis ipsilateral*

Bei dieser schweren Verletzung muss es per definitionem zu einer horizontalen und vertikalen Instabilität kommen, wobei es oftmals zu einer Abscherung der Querfortsätze der Lendenwirbelkörper kommt.

#### **1.4. Frakturklassifikationen**

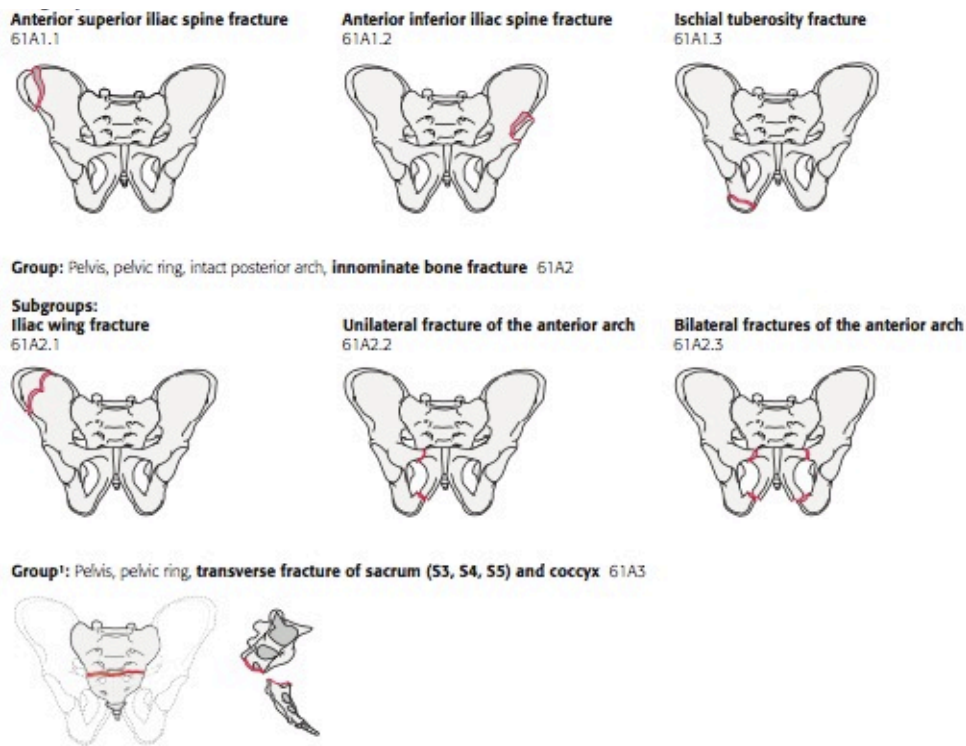
Für Beckenringverletzungen wurden mehrere Klassifikationssysteme entwickelt. Bereits 1847 beschrieb der französische Chirurg *Joseph-François Malgaigne* in Paris einfache und doppelte Ringunterbrechungen bei Beckenfrakturen, ohne diese jedoch radiologisch darstellen zu können.<sup>(38)</sup> 1938 klassifizierte *Watson-Jones et al.* Beckenfrakturen nach ihrer Verletzungslokalisation.<sup>(39)</sup> *Huittinen et al.* und *Pennal et al.* zeigten in den 1970er und 1980er Jahren den Zusammenhang zwischen Kraftvektor und resultierenden Beckenverletzung.<sup>(34, 40)</sup> Basierend auf diesen Vorarbeiten wurden die heute geläufigen Klassifikationen nach *Young und Burgess et al.* sowie die nach *Tile et al.* entwickelt.<sup>(16, 41)</sup> Während die Klassifikation nach *Young und Burgess* auf dem oben beschriebenen Pathomechanismus beruht, beschreibt die Klassifikation nach *Tile* die Beckenstabilität. Für die Klassifikation nach *Young und Burgess* als auch der nach *Tile* besteht eine substantielle Inter- und Intraobserver-Validität als auch eine gute Kongruenz zum *Injury Severity Score*.<sup>(42, 43, 44)</sup> 1996 wurde die Klassifikation nach *Tile* durch die *AO* und die *Orthopaedic Trauma Association* (OTA) noch um zusätzliche Modifikatoren erweitert.<sup>(37, 45)</sup> Es erfolgten zwei Revisionen der Klassifikationen in den Jahren 2007 und 2018.<sup>(46, 47)</sup>

#### **AO und OTA Klassifikation von Beckenringfrakturen**

In der aktuellen *AO*- und *OTA*-Klassifikation werden Beckenverletzungen in stabil (Typ-A), horizontal instabil (Typ-B) sowie horizontal und vertikal instabil (Typ-C) unterteilt.

A) Typ-A-Verletzungen entstehen durch lokal begrenzte Krafteinwirkung auf den Beckenring, sodass es zu nicht stabilitätsgefährdenden Frakturen kommt. Zu diesen gehören beispielsweise apophysäre Avulsionsfrakturen (Typ-A1), stabile

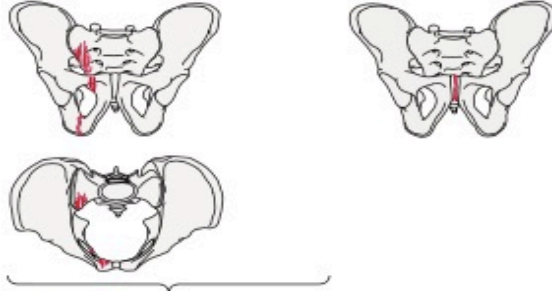
Beckenschaufelfrakturen (Typ-A2), Schambeinastfrakturen (Typ-A2) und Querfrakturen des *Os sacrum* oder des *Os coccygis* (Typ-A3).



**Abb. 7:** Typ-A-Frakturen nach AO/OTA 2018<sup>(47)</sup>

B) Typ-B-Verletzungen sind gekennzeichnet durch eine horizontale Instabilität. Partiiell instabile Frakturen entstehen durch Außenrotation bei anterior-posteriorem Kraftvektor (Typ-B1.2 und Typ-B2.3), auch *“Open-Book-Fraktur“* genannt, oder Innenrotation (Typ-B1.1, -B2.1 und -B2.2) bei lateraler Kompression. Da die dorsalen Bandstrukturen sowie die des Beckenbodens allerdings noch vorhanden sind, gelten sie als vertikal stabil. Typ-B-Verletzungen können auch beidseits auftreten (Typ-B3). Sie werden je nach Frakturmuster in Untergruppen unterteilt und durch sogenannte Qualifikatoren, welche den ventralen Anteil der Verletzung näher beschreiben, differenziert. Die ursprüngliche Klassifikation der AO/OTA von 2007 klassifizierte sämtliche einseitige *Open-Book-Verletzungen* als Typ-B1, einseitige Kompressionsverletzungen unter Typ-B2 und Kombinationsverletzungen unter Typ-B3-Verletzungen.

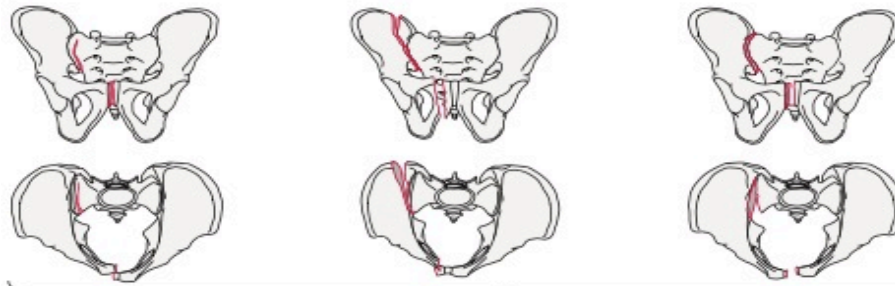
**Subgroups:**  
**Lateral compression fracture (LC1)** 61B1.1\*  
**Open book fracture (APC1)** 61B1.2



\*Qualifications:  
a Ipsilateral or unilateral pubic ramus fracture  
b Bilateral pubic rami fracture  
c Contralateral pubic ramus fracture  
e Parasymphyseal fracture  
f Tilt fracture  
g Locked symphysis

**Group:** Pelvis, pelvic ring, incomplete disruption of posterior arch, **rotationally unstable, unilateral posterior injury** 61B2

**Subgroups:**  
**Lateral compression fracture of the sacrum with internal rotation instability (LC1)** 61B2.1\*  
**Lateral compression fracture of the ilium (crescent) with internal rotation instability (LC2)** 61B2.2\*  
**Open book or external rotation instability (APC2)** 61B2.3\*



\*Qualifications:  
a Ipsilateral or unilateral pubic ramus fractures  
b Bilateral pubic rami fractures  
c Contralateral pubic ramus fractures  
d Symphysis disruption  
e Parasymphyseal fracture  
f Tilt fracture  
g Locked symphysis

**Group:** Pelvis, pelvic ring, incomplete disruption of posterior arch, rotationally unstable, **bilateral posterior injury** 61B3

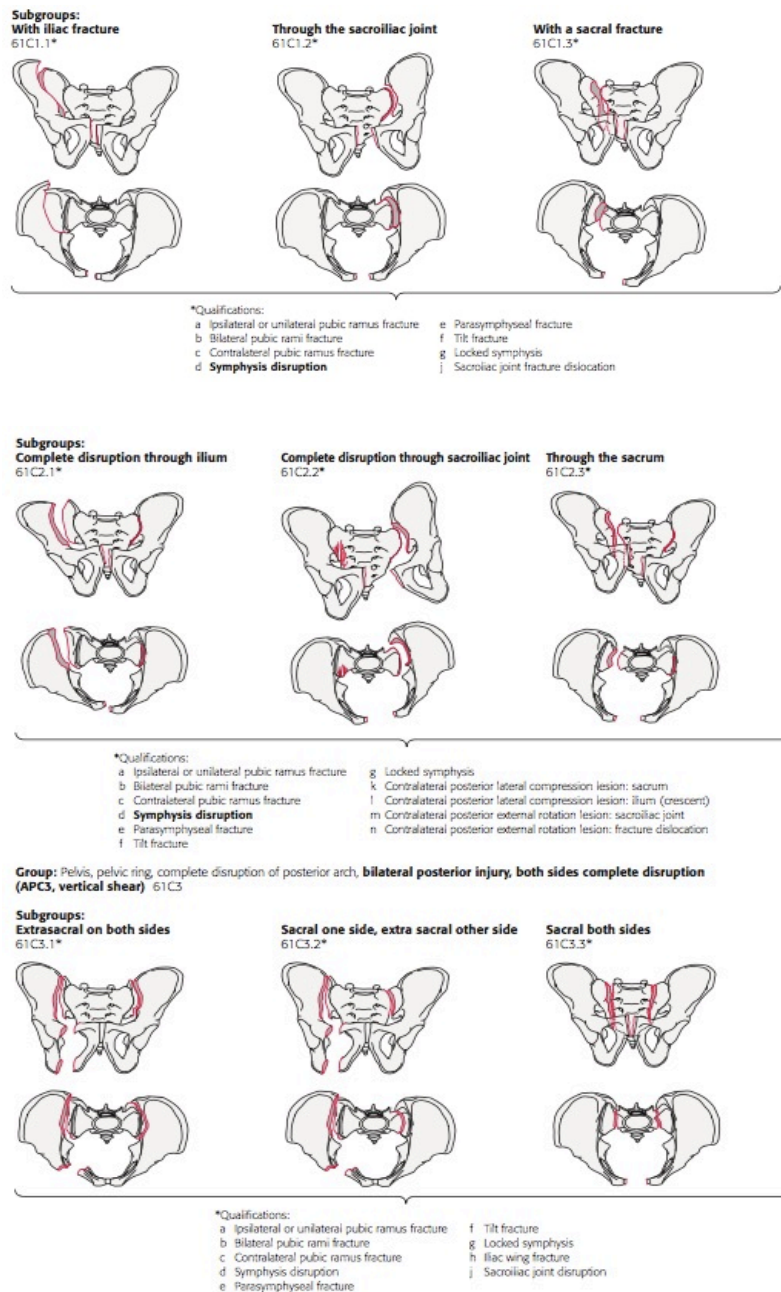
**Subgroups:**  
**Internal rotationally unstable on one side and external rotationally unstable on the contralateral side (LC3)** 61B3.1\*  
**Bilateral lateral compression sacral fracture** 61B3.2\*  
**Open book or external rotation instability (bilateral APC2)** 61B3.3\*



\*Qualifications:  
a Ipsilateral or unilateral pubic ramus fractures  
b Bilateral pubic rami fractures  
d Symphysis disruption  
e Parasymphyseal fracture  
f Tilt fracture  
g Locked symphysis

**Abb. 8:** Typ-B-Frakturen mit Qualifikatoren nach AO/OTA 2018<sup>(47)</sup>

C) Einseitige komplett instabile Verletzungen sind horizontal und vertikal instabil (Typ-C1) und können mit einer Typ-B-Fraktur (Typ-C2) oder Typ-C-Fraktur (Typ-C3) auf der Gegenseite kombiniert sein. Auch bei diesen erfolgt eine Unterklassifikation in Subgruppen sowie die weitere Beschreibung der Frakturmorphologie anhand von Qualifikatoren.



**Abb. 9:** Typ-C-Frakturen mit Qualifikatoren nach AO/OTA 2018<sup>(47)</sup>

## 1.5 Begleitverletzungen

Das menschliche Becken stellt ein robustes knöchernes Konstrukt dar, sodass einer Unterbrechung des Beckenrings einer massiven Gewalteinwirkung bedarf.<sup>(3)</sup> Daher treten Beckenringfrakturen oft im Rahmen von Hochrasanztraumata im Straßenverkehr oder Stürzen aus großer Höhe auf.<sup>(48)</sup> Häufig sind die Patienten/Patientinnen polytraumatisiert und weisen charakteristische Begleitverletzungen auf.<sup>(49)</sup>

Sind ein oder mehrere der folgenden sechs Kriterien erfüllt, spricht man von einem pelvinen *Komplextrauma*, welches mit einer erhöhten Letalitätsrate und einer schlechten langfristigen Prognose einhergeht.<sup>(50)</sup>

1. Intrapelvine Gefäßverletzungen können schnell zu hämodynamisch relevanten Blutungen führen, ohne dass von außen oder sogar im Rahmen einer *FAST* (Focused Assessment with Sonography in Trauma) eine Blutung sichtbar wäre.<sup>(51)</sup> Ursächlich sind häufig Blutungen des präsaacralen und prävesikalen venösen Plexus oder aber auch der spongiösen Frakturenden. Daneben kann es auch zu einer direkten arteriellen Verletzung der kleinen und – besonders gefürchtet – der großen Beckenarterien kommen, was zu massiven Blutverlusten führen kann.<sup>(52, 53)</sup> In 10-20% aller hämodynamisch instabiler Patienten/Patientinnen mit Beckenfrakturen ist eine arterielle Blutung in den Retroperitonealraum Ursache der Kreislaufinstabilität, welche mit einer Mortalität von bis zu 50% einhergeht.<sup>(54, 55, 56)</sup> Dabei bleibt zu beachten, dass in ca. 50% aller Beckenringfrakturen mit arteriellen Blutungen eine im Röntgenbild nicht dislozierte Fraktur vorliegt und somit die radiologische Diagnostik nur eingeschränkt hinweisgebend für die mögliche Blutungsquelle ist.<sup>(57)</sup>

2. Nervenschädigungen reichen von Überdehnungen und leichten Quetschungen bis hin zur kompletten Durchtrennung der Nerven des *lumbosacralen Plexus*. Nervenverletzungen werden initial häufig übersehen, da die Patienten/Patientinnen nicht selten bewusstseingetrübt sind. Eine frühzeitige Evaluation der Nervenfunktion wird somit erschwert. Wie bereits beschrieben, ist die Wahrscheinlichkeit einer Nervenverletzung bei Beckenfrakturen vor allem bei instabilen Frakturen signifikant erhöht. Sie bedarf einer frühzeitigen Behandlung, um Langzeitschäden zu verhindern.<sup>(58, 59)</sup>

3. Bei durchschnittlich 4,6% der Fälle kommt es im Rahmen eines Beckentraumas zu urogenitalen Begleitverletzungen.<sup>(60)</sup> Besonders die Ruptur der *Symphyse* und dislozierte Frakturen der Schambeinäste stellen dabei wichtige Risikofaktoren dar.<sup>(61)</sup> Klinisch werden die Patienten/Patientinnen vor allem mit Hämaturie, Anurie sowie Skrotal- und Vulvahämatomen auffällig. Betroffen sind vor allem Harnröhre und Harnblase, wobei Harnröhrenverletzungen aufgrund der Anatomie vor allem bei Männern auftreten.<sup>(62)</sup> Die Verletzungen der Harnröhre reichen von Kontusionen über partiellen Rupturen bis hin zu kompletten Durchtrennungen. Verletzungen der Vagina und des Uterus sind möglich, kommen allerdings wie auch Verletzungen des äußeren Genitals selten vor.<sup>(63)</sup> Urogenitale Verletzungen gehen mit einer erhöhten Infektionsrate einher, die über Phlegmonen und Peritonitis auch zur Urosepsis führen kann. Langfristig stehen vor allem Inkontinenz, Dyspareunie und Einschränkungen der Potenz im Vordergrund und beeinträchtigen die Lebensqualität der Patienten bzw. Patientinnen zum Teil erheblich.<sup>(64)</sup>

4. Hohlorganverletzungen können im Zuge von Beckenringverletzungen in 1-2% der Fälle auftreten und bei Ruptur oder Perforation zur Kontamination des Retro- und Intraperitonealraums mit Darmkeimen führen.<sup>(65, 66)</sup> Darmverletzungen sind klinisch schwer zu diagnostizieren und werden daher leicht übersehen.<sup>(67)</sup>

5. Offene Frakturen des knöchernen Beckenrings bestehen sobald die Fraktur Verbindung zur Außenwelt hat. Dies ist bei direkter Perforation der Haut durch Fragmente der Beckenknochen, als auch bei Vaginal- oder Darmrupturen der Fall. Die Extremform stellt dabei die traumatische Hemipelvektomie dar.<sup>(68)</sup> Blutaustritt aus den Genitalien oder rektaler Blutabgang sind dabei hinweisgebend für eine offene Fraktur und müssen dringend weiter abgeklärt werden. Während offene Frakturen früher nur mit externen Fixateuren behandelt wurden, konnten in der Folge auch gute Ergebnisse mit interner Fixation erreicht werden.<sup>(69)</sup> Durch bakterielle Kontamination und nachfolgende Infektionen ergaben sich in der Vergangenheit Mortalitätsraten von bis zu 40%.<sup>(67)</sup> Durch die konstante Verbesserung der Versorgung konnte in den letzten Jahrzehnten eine deutliche Reduktion der Mortalität auf bis zu 5% erreicht werden.<sup>(69)</sup>

6. Die Mortalität einer *Morel-Lavallée-Läsion*, welche definiert ist als eine Décollement-Verletzung in Kombination mit einer Beckenfraktur, wird mit bis zu 25% in der Literatur angegeben.<sup>(4, 5)</sup> Beim Décollement kommt es durch Einwirken von starken Druck- und Scherkräften zum Abriss der *Subcutis* von der *Cutis* und dabei zur Schädigung der vaskulären und neuronalen Versorgung der Haut. Starke subkutane Blutungen mit Nekrosebildung und Infektionen der Haut sind die Folge. Diese Verletzung tritt typischerweise bei Überrolltraumata des Beckens auf und führt zu starken Blutungen in die entstandenen Hohlräume. Therapeutisch wird beim Décollement ein ausführliches Débridement von Nekrosen und eventuell protektives Ausleiten von Stuhl und Urin durch einen Anus praeter bzw. suprapubischen Harnwegskatheter notwendig. Langfristig bleiben oft Narben und Narbenkontrakturen mit Funktionseinschränkung zurück.<sup>(67, 70)</sup>

Typische extrapelvine Begleitverletzungen von Patienten und Patientinnen mit einer Beckenringfraktur stellen folgende Traumata dar:

- Schädelhirntraumata, intrakranielle Blutungen und Gesichtsverletzungen
- Thoraxtrauma mit Rippenserienfrakturen und Lungenkontusionen
- Abdominaltraumata mit Milz- und Leberrupturen
- Verletzungen der Wirbelsäule und der Extremitäten

Während die Mortalität durch die Beckenfraktur isoliert in Studien mit circa 7% beziffert wird, steigt diese bei entsprechenden Begleitverletzungen schnell auf 27% an.<sup>(52)</sup> Einzelne oder in Summe können pelvine als auch extrapelvine Verletzungen für den Patienten bzw. die Patientin eine lebensbedrohliche Situation darstellen und bedürfen einer sofortigen und multidisziplinären Versorgung.



## 1.6 Diagnostik

Im Rahmen der Möglichkeiten sollte an erster Stelle der Stufendiagnostik die Eigen- bzw. Fremdanamnese stehen. Mit den gewonnenen Informationen über Schmerzen, Lokalisation und Unfallmechanismus lässt sich bereits eine erste Einschätzung zur Schwere der Verletzungen und möglichen Begleitverletzungen treffen.<sup>(71)</sup> Danach erfolgt die Inspektion am vollständig entkleideten Patienten unter Beachtung von Hautabschürfungen, Hämatomen, Blutungen, vor allem aus Anus, Vagina und Harnröhre, Achsfehlstellungen, offenen Wunden oder Beinverkürzungen. Der nächste Schritt ist die Palpation des Beckens mit einmaliger Überprüfung der Stabilität in zwei Ebenen und Untersuchung auf Druckschmerzhaftigkeiten. Es sollte dabei beachtet werden, dass die Sensitivität der Stabilitätsprüfung zur Detektion einer instabilen Beckenringfraktur in Studien bei lediglich 26% liegt. Ein negativer klinischer Befund schließt folglich eine instabile Fraktur nicht aus.<sup>(72)</sup>

Es folgt die Überprüfung der Durchblutung, Motorik und Sensibilität an den distalen Extremitäten. Außerdem sollte mit der digital-rectalen Untersuchung der *Analosphincter*tonus, die Stuhlfarbe und bei männlichen Patienten die *Prostata* beurteilt werden. Eine vaginale Untersuchung ist bei Patientinnen zum Ausschluss einer gynäkologischen Verletzung sinnvoll.<sup>(30)</sup> Im Rahmen des Polytraumamanagements erfolgt im Schockraum eine *FAST*, bei der neben der Untersuchung des *Pericardium* auch intraabdominell der *Morrison-*, *Koller-Pouch* und der *Douglas-Raum* bzw. *Spatium retrovesicale* dargestellt wird. Damit lässt sich eine schnelle Aussage über freie intraabdominelle Flüssigkeit treffen. Allerdings lässt sich die Stärke einer Blutung sonographisch nur unzureichend abschätzen.<sup>(73)</sup> Bei kardiopulmonal instabilen Patienten/Patientinnen und Nachweis freier Flüssigkeit im *FAST* besteht die Indikation zur Notfalllaparotomie.<sup>(74)</sup> Die konventionell radiologische Diagnostik des Beckens als a.p. Beckenübersichtsaufnahme gehört zum Standard. Zusätzlich kann zur besseren Beurteilung des Beckens eine Inlet- und Outlet-Aufnahme durchgeführt werden.<sup>(41)</sup> Durch die Beckenübersichtsaufnahme können bereits grobe Pathologien beurteilt werden, jedoch ist der hintere Beckenring oft nur schlecht einsehbar und ventrodorsale Dislokationen nicht sicher zu bewerten. Mit der mit 45° nach kranial gekippten Inlet-

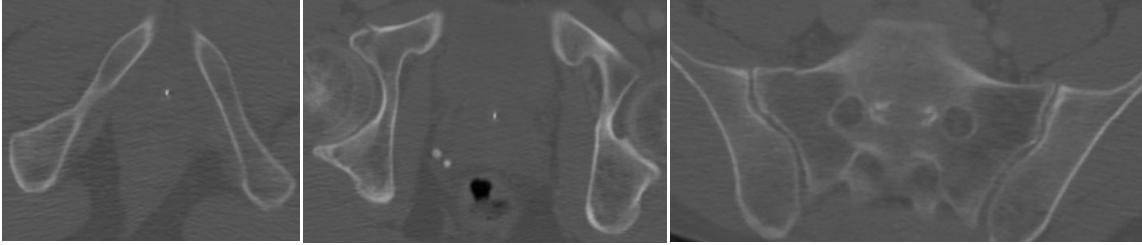
Aufnahme lassen sich die ventro-dorsalen Dislokationen identifizieren, während mit der nach kaudal in 45° gekippten Outlet-Aufnahme caudocraniale Dislokationen darstellbar sind.<sup>(9)</sup>

Dislozierte Frakturen der Schambeine müssen dabei immer als Hinweis auf eine gleichzeitig vorliegende dorsale Beckenringverletzung interpretiert und einer weiterführenden Diagnostik zugeführt werden.<sup>(75, 76)</sup> Ebenfalls sind die Frakturcharakteristika zu beachten. Vertikale Frakturverläufe der Schambeine sind hinweisgebend für *Open-Book-Verletzungen* oder aber Typ-C-Verletzungen, während horizontale Verläufe typisch für Kompressionsfrakturen sind.<sup>(28, 41)</sup>



**Abb. 10:** Beckenübersichts-, Inlet- und Outlet-Aufnahme bei einer Patientin mit einer Beckenkompressionsverletzung

Die Computertomographie (CT) wird zur weiteren Diagnostik nach dem konventionellen Röntgen durchgeführt und stellt die beste Methode zur Visualisierung einer frischen Beckenfraktur dar.<sup>(77, 78)</sup> Im Falle einer komplexen Fraktur oder aber bei zusätzlicher Acetabulumbeteiligung lässt sich anhand der Schnittbilder in 2D oder als Rekonstruktion in 3D eine operative Therapie planen. Außerdem lassen sich im Rahmen der Untersuchung auch eventuelle Begleitverletzungen leicht mitbeurteilen, die möglicherweise zuerst adressiert werden müssen.



**Abb. 11:** Axiale Darstellung des vorderen und hinteren Beckenrings mittels Computertomographie bei einer Beckenkompressionsfraktur rechts

Die Magnetresonanztomographie spielt in der Akutdiagnostik von Beckenfrakturen nur eine untergeordnete Rolle. Allerdings ist sie die führende Modalität bei der Detektion von okkulten oder pathologischen Frakturen.<sup>(79, 80)</sup> Sollten sich klinisch Hinweise auf Verletzungen des Urogenitaltraktes ergeben, so ist eine retrograde Urethrographie indiziert, mit welcher sich eine Harnwegs- oder Blasenverletzung diagnostizieren lässt. Typischerweise erfolgt die Diagnostik nur bei dringendem Verdacht auf eine Läsion im Bereich der harnableitenden Wege.<sup>(81)</sup>

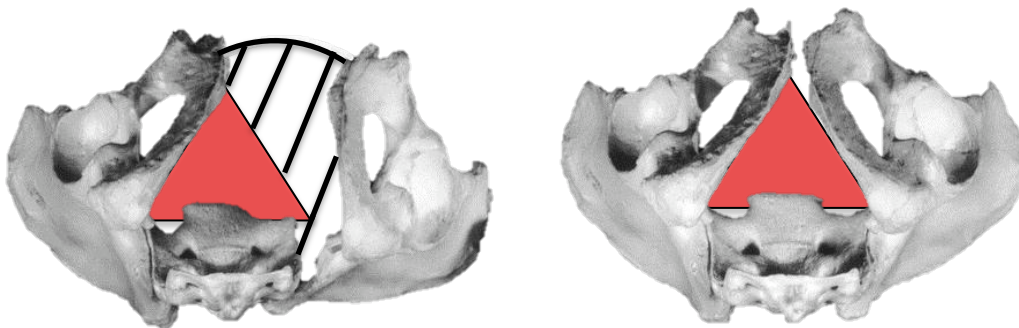
## 1.7 Therapie

Die Therapie der Beckenringverletzungen unterliegt einem ständigen Wandel. Bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts wurde diese Verletzung aus Mangel an bildgebenden Verfahren oft überhaupt nicht erkannt und demzufolge auch nicht therapiert. Das änderte sich erst grundlegend mit dem Aufkommen der Röntgendiagnostik zum Ende des 19. Jahrhunderts. Für die nächsten 70 Jahre war die konservative Therapie das Mittel der Wahl. Zur Anwendung kamen, neben der mehrwöchigen strikten Bettruhe, die Ruhigstellung im Zugverband und Beckengipsverband bis hin zu ausgefallenen Konstruktionen wie der Beckenschwebe.<sup>(82)</sup> Allen gemein war diesen Therapieansätzen das unbefriedigende therapeutische Langzeitergebnis vor allem von initial instabilen Frakturen. Mitte der 1970er Jahre setzte mit der Entwicklung neuer operativer Verfahren ein Umdenken hin zur operativen Versorgung ein. Heute existiert eine Vielzahl an unterschiedlichen Implantaten und Methoden, deren Anwendung je nach Instabilität, Allgemeinzustand und

Aktivitätsgrad des behandelten Patienten/Patientin individuell abgewogen werden muss. Grundlegend gilt, dass Typ-A-Verletzungen nur in Ausnahmefällen operativ versorgt werden müssen. Dies ist beispielsweise bei Avulsionsfrakturen der Fall, bei denen durch den kontinuierlichen Muskelzug mit einer Pseudarthrose gerechnet werden muss.<sup>(83)</sup> Auch Typ-B-Frakturen können bei geringer Dislokation konservativ therapiert werden. Instabile Frakturen von Typ-B und Typ-C werden operativ versorgt.

### 1.7.1 Primäre Versorgung

Am Anfang der Versorgung steht nach der Notfalldiagnostik die Akutbehandlung der lebensbedrohlichen Verletzungen nach *ATLS-Protokoll* („treat first what kills first“). Führt die Beckenringfraktur zu hämodynamisch relevanten Blutungen, muss sie schnellstmöglich mitversorgt werden.<sup>(16, 84)</sup> Bestenfalls sollte dies unmittelbar, aber mindestens innerhalb der ersten Stunde nach Trauma, erfolgen.<sup>(85, 86)</sup> Je nach Verletzungstyp bieten sich mehrere Optionen an. Grundlage aller therapeutischen Maßnahmen ist eine frühzeitige Reposition, um die Reduktion des intrapelvinen Volumens und damit einen Tamponadeeffekt zu erreichen. Zusätzlich kann damit eine Kompression und Stabilisierung der Frakturenden etabliert werden.<sup>(8, 87, 88, 89, 90, 91, 92)</sup> Die spezifische Auswirkung der Volumenreduktion auf das Ausmaß der Blutung ist jedoch bis heute nicht hinreichend untersucht.<sup>(87)</sup>



**Abb. 12:** Intrapelvines Volumen vor und nach Reposition<sup>(87)</sup>

### **Beckengurt und Beckentuchrolle**

Die Anlage eines Beckengurts (engl. *pelvic binder*) oder einer Beckentuchrolle noch am Unfallort oder aber beim Eintreffen im Schockraum kann die hämodynamische Situation verbessern. Allerdings eignet sich die Maßnahme aufgrund der insuffizienten Stabilisierung und der Gefahr von Weichteilnekrosen nur als überbrückende Therapie bis zur primären Stabilisierung mit Beckenfixateur oder gegebenenfalls Beckenzwinge.<sup>(11, 93, 94, 95)</sup> Bei der radiologischen Diagnostik muss beachtet werden, dass ein adäquat angelegter Beckengurt oder eine Beckentuchrolle durch Reposition eine *Open-Book-Verletzung* kassieren können.

### **Beckenzwinge**

Die von *Ganz et al.* entwickelte Beckenzwinge bewirkt eine direkte Kompression des hinteren Beckenrings.<sup>(96)</sup> Ihr Einsatz erfolgt aufgrund des Verletzungsmusters nur bei Typ-C-Verletzungen bei gleichzeitig bestehender hämodynamisch relevanter Beckenblutung. Eine direkte arterielle Verletzung kann mit der Beckenzwinge nicht adressiert werden. Sie ist von einem geübten Traumatologen bzw. einer geübten Traumatologin einfach und schnell anzulegen und bedarf keiner langwierigen Diagnostik. Dabei werden die Pins auf dem Schnittpunkt zwischen der Achse des Oberschenkelknochens und einer senkrechten Linie, die kurz unterhalb der *Spina iliaca anterior superior* verläuft, inseriert. Die Beckenzwinge eignet sich nicht zur langfristigen Therapie einer knöchernen Instabilität und muss im weiteren Verlauf durch andere stabilisierende Maßnahmen ersetzt werden. Problematisch ist die Anwendung bei transiliacalen Frakturen und Luxationsfrakturen, da sich die Pins in diesem Szenario nur schwer fixieren lassen und die Penetration in die Beckenhöhle droht.<sup>(96)</sup>

### **Supraacetabulärer Fixateur externe**

Beim Fixateur externe werden initial beidseits supraacetabulär Schanz-Schrauben in das *Os ilium* inseriert und mit parallel verlaufenden Querstäben aus Stahl oder Carbonfaser miteinander verbunden. Die früher gängige Praxis, Pins im Bereich des Beckenkamms zu

platzieren, wurde aufgrund der minderen biomechanischen Stabilität und der insuffizienten Weichteildeckung wieder aufgegeben.<sup>(97)</sup>

Der supraacetabuläre Fixateur externe kann verhältnismäßig einfach und rasch angebracht werden und gehört zum Standardrepertoire jeder Akutklinik. Durch Stabilisierung des vorderen Beckenrings nach Reposition bewirkt er eine Abnahme von Blutungen aus den Frakturrenden und präasacralen Plexus.<sup>(98)</sup> Der Fixateur externe kann bei instabiler Fraktursituation weitere Weichteilschäden verhindern. Anwendung findet er bei Frakturen vom Typ-B und Typ-C. Während er bei Typ-B-Verletzungen mit lateraler Kompression auch als definitive Therapie angewandt werden kann, sollte bei *Open-Book-Verletzungen* zusätzlich eine Plattenosteosynthese der *Symphyse* als auch ggf. eine dorsale Stabilisierung erfolgen.<sup>(99, 100)</sup> In einer Studie von *Ohmori et al.* konnte eine signifikante Reduktion der Mortalität durch initiale Stabilisierung von instabilen Beckenfrakturen mittels Fixateur externe gezeigt werden.<sup>(101)</sup> Bei hämodynamischer Instabilität muss bei einer Typ-C-Fraktur aufgrund der alleinig mangelhaften Kompression des hinteren Beckenrings eine zusätzliche Kompression mittels Beckenzwinge erfolgen.<sup>(8)</sup> Im weiteren Verlauf sollte eine sekundäre dorsale Stabilisierung durchgeführt werden.<sup>(102, 103)</sup> Die Frühmobilisation im Fixateur externe ist unter Teilbelastung der betroffenen Seite an Unterarmgehstützen möglich.<sup>(104)</sup>

### **Embolisation**

Bei pelvinen Gefäßverletzungen kann eine angiographische Intervention sinnvoll sein. Hierfür wird ein Katheter unter Zuhilfenahme eines Führungsdrahtes bis zur Läsion vorgeschoben und das Gefäß zeitweise oder endgültig verschlossen.<sup>(105)</sup> Eine Eröffnung des Abdomens oder Retroperitoneum wird mit dieser Maßnahme eventuell vermieden oder hinausgezögert. Die Maßnahme kann im Falle einer persistierenden Blutung wiederholt werden, ist jedoch zeitaufwändig, sodass sie nur für einen kleinen Anteil von Patienten und Patientinnen in Frage kommt.<sup>(6, 106)</sup>

## **Retroperitoneales Packing**

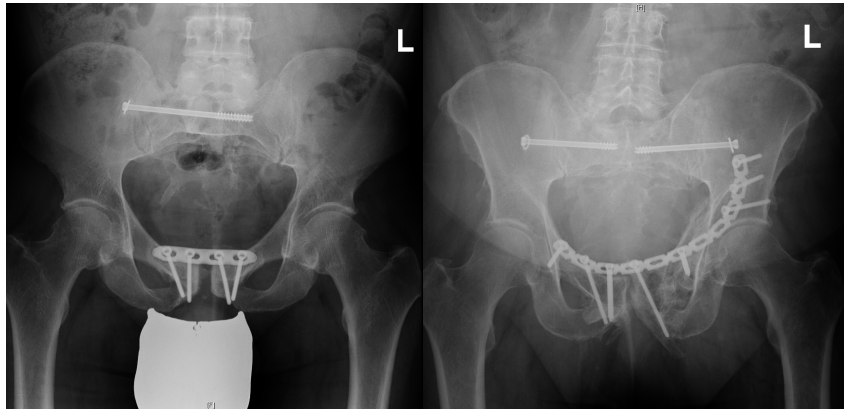
Ist eine Blutung durch Kompression und Stabilisierung des knöchernen Beckens nicht zu beherrschen und der Patient in einem kardiopulmonal instabilen Zustand, besteht die Indikation zum retroperitonealen Packing. Hierbei können intra- oder retroperitoneale Blutungsquellen identifiziert, ligiert und diffuse Blutungen mit Bauchtüchern austamponiert werden.<sup>(107)</sup> Obwohl sich das Packing rasch durchführen lässt, kann die eigentliche Blutungsquelle oft nicht sicher identifiziert werden.<sup>(108)</sup> Ebenfalls ist ein zweiter Eingriff zur Entfernung der Tamponade üblicherweise nach 48 Stunden notwendig.

### **1.7.2 Sekundäre Versorgung**

Im Anschluss an die Primärversorgung ist nach hämodynamischer Stabilisierung des Patienten bzw. der Patientin eine weitere operative Therapie in Betracht zu ziehen. Ziel der Behandlung ist dabei die definitive Fixierung der Fraktur in anatomischer Stellung, sodass eine frühzeitige physiotherapeutische Mobilisierung möglich wird. Dadurch sollen typische Komplikationen wie Embolien, Thrombosen, Muskelatrophie und Pneumonien nach Möglichkeit vermieden werden.<sup>(109, 110)</sup> Der beste Zeitpunkt für eine sekundäre Stabilisierung war immer wieder Anlass zur Diskussion. In Studien konnte der Nutzen einer frühzeitigen Versorgung nachgewiesen werden.<sup>(111, 112)</sup> Aktuell wird die definitive operative Versorgung bei Schwerverletzten nach Abklingen des *systemischen inflammatorischen Response Syndroms* ca. vier Tage nach initialem Trauma empfohlen.<sup>(113)</sup> Bei instabilen Frakturen vom Typ-B und Typ-C wird zum Erreichen der frühzeitigen Belastungsstabilität eine interne Stabilisierung notwendig. Neben der ventralen ist vor allem die dorsale Stabilisierung von großer Bedeutung. Dabei hängt der langfristige klinische Erfolg von der Qualität der Reposition ab.<sup>(114)</sup> Ein gutes Repositionsergebnis ist jedoch bedingt durch die begleitenden Weichteilverletzungen noch kein Garant für ein gutes klinisches Ergebnis.<sup>(115)</sup> In Fachkreisen wird eine Dislokation des hinteren Beckenrings von < 1 cm als akzeptabel angesehen.<sup>(116)</sup> Folgend sollen einige gängige Versorgungsmethoden vorgestellt werden.

### Vorderer Beckenring

Verletzungen und Rupturen der *Symphyse* sowie Zertrümmerung des vorderen Beckenrings können mit einer Plattenosteosynthese versorgt werden. Einige Operateure verwenden Rekonstruktionsplatten, die intraoperativ vorgebogen und auf die passende Länge angepasst werden können.



**Abb. 13:** Osteosynthese des vorderen Beckenrings mittels Symphysenplatte (links) oder Rekonstruktionsplatte (rechts)

### Hinterer Beckenring

Plattenosteosyntheseverfahren werden vor allem bei Frakturen des *Os Ilium* und bei iliosacralen Luxationsfrakturen verwendet. Diese Methode kann jedoch zu starken intrapelvinen Blutungen sowie zu Nervenschäden insbesondere der L5 Wurzel führen.<sup>(29, 117)</sup> Eine weitere Möglichkeit ist die Anlage von transiliacalen Stäben von dorsal, welche jedoch insbesondere bei schlanken Patienten bzw. Patientinnen zu Weichteilirritationen führen können.<sup>(118)</sup> Eine der häufigsten Verfahren ist die Osteosynthese durch iliosacrale Zugschrauben als perkutane und minimalinvasive Variante. Diese werden in den ersten, aber auch zweiten Sacralwirbelkörper in Bauch- oder Rückenlage von lateral durch das Iliosacralgelenk eingebracht. Mit einem intraoperativen CT-Scan kann die korrekte Lage der Implantate noch einmal bestätigt werden. Für diesen Eingriff bedarf es eines gut geschulten Traumatologen bzw. einer gut geschulten Traumatologin und einer hohen



fluoroskopischen Qualität.<sup>(119)</sup> Neben Schrauben besteht auch die Möglichkeit der minimalinvasiven transiliacalen Fixierung durch einen *Transiliac Internal Fixator* (TIFI).<sup>(120)</sup>

Während es bei offenen Methoden zu einer erhöhten Rate von Wundinfektionen kommt, besteht beim minimalinvasiven Prozedere ein nicht zu vernachlässigendes Risiko der Verletzung neurogener Strukturen.<sup>(121)</sup> Die jeweils beste Methode der osteosynthetischen Versorgung des hinteren Beckenrings wird bis heute kontrovers diskutiert.<sup>(122)</sup>



**Abb. 14:** Implantate des hinteren Beckenrings von links nach rechts: Iliosacrale-Schrauben bds., *TIFI* mit ventraler Plattenosteosynthese, Plattenosteosynthese des *Os ilium*

Im Fall einer beidseitigen vollständigen Unterbrechung des hinteren Beckenrings (Typ-C3 nach *AO/OTA*) in Form einer sogenannten „Ausbruchsfraktur“ bzw. Dissoziation des Beckens von der Wirbelsäule, besteht die Möglichkeit, die untere Lendenwirbelsäule mit dem *Os ilium* zu fusionieren und so eine ausreichende Stabilität zu erreichen.<sup>(123)</sup>



**Abb. 15:** Beidseitige spinopelvine Fusion mittels Spondylodese bei spinopelviner Dissoziationsverletzung

## **2. Fragestellung**

Die Therapie von Beckenringverletzungen führt oftmals zu nicht zufriedenstellenden Ergebnissen. Dabei fehlen detaillierte Informationen über das klinische Ergebnis von Beckenringfrakturen in Abhängigkeit der Therapieform sowie der Frakturtypen. Ziel dieser Arbeit ist der Vergleich der unterschiedlichen Subgruppen von Typ-B-Verletzungen, da diese den Großteil der instabilen Beckenfrakturen darstellen. Dabei sollte in Abhängigkeit der gewählten Therapieform sowohl die konservative mit der operativen Therapie verglichen als auch die unterschiedlichen operativen Modalitäten untersucht werden. Zur weiteren Beurteilung der langfristigen Lebensqualität sollte nach Abschluss der stationären Behandlung im zeitlichen Intervall von mindestens einem Jahr eine ambulante Reevaluation stattfinden. Bei dieser sollte ein besonderer Fokus auf mögliche Spätschäden wie chronische Schmerzzustände, Funktions- und Bewegungseinschränkungen sowie neurologische Defizite gerichtet werden. Zur Objektivierung der klinischen Funktion sollte zur besseren Vergleichbarkeit die Erhebung dieser Daten anhand von etablierten klinischen Scores erfolgen und mit den während des stationären Aufenthaltes erhobenen Daten verknüpft und ausgewertet werden. Des Weiteren sollten epidemiologische Daten zu Becken-B-Verletzungen hinsichtlich des Alters, der Unfallursachen, der Verletzungsschwere und ggf. langfristiger Trends erhoben werden. Die Ergebnisse sollen langfristig dazu beitragen, die Therapie von Typ-B-Beckenringverletzungen zu verbessern und Folgeschäden so gering wie möglich zu halten.

### 3. Material und Methodik

In dieser monozentrischen retrospektiven Analyse wurden alle Patienten/Patientinnen mit einer Beckenverletzung evaluiert, welche im Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie der Medizinischen Fakultät der Charité im Zeitraum von Januar 2005 bis Januar 2014 behandelt wurden. Patienten/Patientinnen mit einer isolierten *Os sacrum* oder *Acetabulumfraktur* wurden ausgeschlossen. Ebenfalls wurden Patienten/Patientinnen mit einer Kombinationsverletzung bestehend aus einer Beckenring- und begleitenden Acetabulumfraktur exkludiert, da sich sowohl die Behandlungs- als auch die Nachbehandlungskonzepte signifikant unterscheiden.<sup>(124, 125)</sup> Da zum Beginn dieser Arbeit die aktuelle Klassifikation der *AO/OTA* von 2018 noch nicht veröffentlicht war, erfolgte die detaillierte Klassifikation aller Beckenfrakturen anhand der initialen Röntgen- und CT-Bildgebung nach der *AO/OTA* Klassifikation aus dem Jahr 2007. Alle Patienten/Patientinnen mit einer Beckenringverletzung vom Typ-B – ungeachtet der Therapieform – wurden zur weiteren Analyse in diese Studie eingeschlossen. Die Entnahme der Daten erfolgte im Juni 2015 aus dem Krankenhausinformationssystem (KIS) sowie den stationären und ambulanten Patientenakten. Von diesen Patienten/Patientinnen wurden epidemiologische Daten (Alter, Geschlecht, Unfallursache), Daten zum Unfallhergang, der zeitliche Ablauf (Unfalldatum, Aufnahme- bzw. Entlassungsdatum, OP-Zeitpunkte) sowie die Gesamtverletzungsschwere anhand des *Injury Severity Scores* (ISS) erhoben. Anhand der Therapiemodalität erfolgte die Einteilung in unterschiedliche Therapiegruppen. Außerdem wurden aufgetretene Komplikationen, die Mortalität und die Dauer des stationären Aufenthaltes dokumentiert. Die im Rahmen der poststationären Nachsorge in der Beckenspezialsprechstunde routinemäßig erhobenen klinischen Scores (*Merle D'Aubigné-Postel*, *EuroQol EQ-5D*, *SF-36*) der Patienten/Patientinnen wurden im Weiteren ausgewertet. Die Analyse schließt Patienten/Patientinnen mit einer Becken-B-Verletzung, welche sich im zeitlichen Abstand von mindestens einem Jahr postoperativ ambulant vorgestellt hatten, zur Beurteilung des postoperative Langzeitergebnisses ein. Bei Mehrfachvorstellung wurden die Ergebnisse der jeweils letzten Untersuchung verwendet. Die bei der ambulanten Untersuchung erhobenen Scores sollen im Folgenden kurz erläutert werden:

## Injury Severity Score

Der *Injury Severity Score* (ISS) basiert auf dem *Abbreviated Injury Scale Score* und wurde 1974 von Baker et al. entwickelt.<sup>(66, 126)</sup> Er ist einer der populärsten Scores zur Einschätzung der Verletzungsschwere von polytraumatisierten Patienten. Zur Kalkulation wird der Körper in sechs Regionen unterteilt und jede eine numerische Verletzungsschwere von null (unverletzt) bis sechs zugeordnet. Die drei höchsten Punktwerte werden jeweils quadriert und addiert. Der Injury Severity Score kann dabei Werte zwischen null und 75 Punkten annehmen, wobei eine tödliche Verletzung automatisch zu 75 Punkten führt. Ab einem Punktwert von  $\geq 16$  spricht man von einem Polytrauma.

Körperregion	Verletzungsschwere nach AIS	Berechnung
Kopf, Hals	1 (gering)	A = höchster Punktwert
Gesicht	2 (mäßig)	B = zweithöchster Punktwert
Extern	3 (ernst)	C = dritthöchster Punktwert
Thorax	4 (schwer)	Injury Severity Score = $A^2+B^2+C^2$
Abdomen	5 (sehr schwer)	
Extremitäten	6 (maximal - tödlich)	

**Tabelle 1:** Berechnung des *Injury Severity Scores*

## Short-Form-Health-Survey

Mit dem *Short-Form-Health-Survey* kann ein umfassendes Bild zur Lebensqualität des Patienten bzw. der Patientin ermittelt werden.<sup>(127)</sup> Der Test liegt in unterschiedlichen Versionen hinsichtlich der Fragenanzahl vor. Im Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie wird standardmäßig die 36-Fragen-Variante (SF-36) Version 2.0 verwendet. Im Test werden in acht Dimensionen die psychischen und physischen Qualitäten untersucht. In jeder Dimension wird durch Addition der Punktwerte der dazugehörigen Fragen ein Ergebnis zwischen null und 100 ermittelt, wobei 100 Punkte das Optimum darstellt. Anhand der jeweiligen Werte lässt sich die körperliche Summenskala (PCS) wie auch die psychische

Summenskala (MCS) errechnen. Dabei liegen die Durchschnittswerte der deutschen Bevölkerung auf der körperliche Summenskala bei  $54,3 \pm 0,6$  bzw.  $48,7 \pm 0,7$  Punkten auf der psychische Summenskala.<sup>(128)</sup>

Dimensionen	Fragenanzahl
Allgemeine Gesundheitswahrnehmung	5
Physische Gesundheit	10
Eingeschränkte physisch-bedingte Rollenfunktion	4
Körperliche Schmerzen	2
Vitalität	4
Mentale Gesundheit	5
Eingeschränkte emotional-bedingte Rollenfunktion	3
Soziale Funktionsfähigkeit	2

**Tabelle 2:** Dimensionen des *Short-Form-Health-Survey-36 (SF-36)*

### EuroQol EQ-5D-Score

Der *EuroQol EQ-5D-Score* ist ein weiterer Score zur Ermittlung der posttraumatischen Lebensqualität. Er umfasst fünf Dimensionen mit jeweils drei möglichen Antworten sowie eine visuelle Analogskala zur Erfassung des Gesundheitszustands. Mit den erhobenen Daten lässt sich im Hinblick auf die Gesamtbevölkerung des jeweiligen Landes eine Aussage über eine mögliche Minderung der Lebensqualität treffen.

Dimensionen	Werte
Mobilität	1-3
Selbstversorgung	1-3
Allgemeine Aktivitäten	1-3
Schmerzen	1-3
Psyche	1-3
Skala zur Lebensqualität	0-100

**Tabelle 3:** Dimensionen und Punktwerte des *EuroQol EQ-5D-Scores*

### Merle D'Aubigné-Postel-Score

Der *Merle D'Aubigné-Postel-Score* setzt sich aus drei Kategorien (Schmerzen, Beweglichkeit und Gehfähigkeit) zusammen und gibt Aufschluss über die Funktion des Hüftgelenks. Jede Kategorie wird mit einem Wert von eins bis sechs versehen. Diese werden aufaddiert und ergeben den finalen Punktwert. Anhand dieses Punktwertes wird eine Einschätzung über die Funktion getroffen, wobei ein Punktwert von 18 das bestmögliche und 3 Punkte das schlechtmögliche Ergebnis darstellen.

Dimensionen	Werte
Schmerzen	1-6
Beweglichkeit	1-6
Gehfähigkeit	1-6
Auswertung	18 Punkte: „ <i>Sehr gut</i> “ 15-17 Punkte: „ <i>Gut</i> “ 12-14 Punkte: „ <i>Mäßig</i> “ <12 Punkte: „ <i>Schlecht</i> “

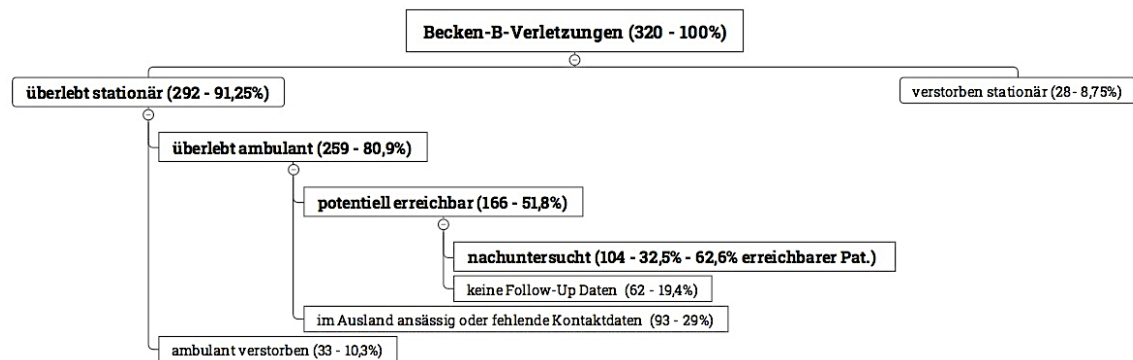
**Tabelle 4:** Dimensionen und Punktwerte des *Merle D'Aubigné-Postel-Scores*

### Statistische Auswertung

Für die statistische Analyse der erhobenen Daten kam die Statistik-Software SPSS (Version 25.0, Fa. IBM Corporation) zum Einsatz. Ein p-Wert < 0,05 wurde als statistisch signifikant deklariert. Der *Kolmogorov-Smirnov-Test* wurde zur Bestimmung der Normalverteilungen verwendet. Als vergleichende statistische Tests kamen in Abhängigkeit der Normalverteilung und Datentyp die *Varianzanalyse*, der *Kruskal-Wallis-Test* sowie der *Chi-Quadrat-Test* zum Einsatz. Zur Darstellung des stationären Überlebens erfolgte eine *Kaplan-Meier-Analyse*.

#### 4. Ergebnisse

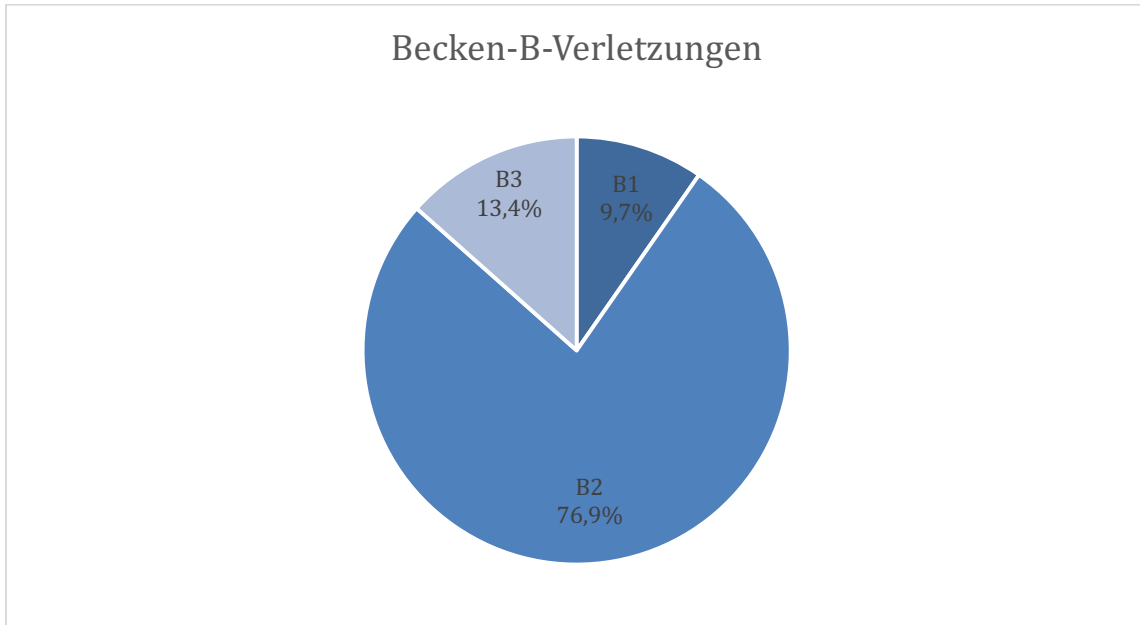
Im Studienzeitraum wurden insgesamt 1153 Patienten und Patientinnen aufgrund einer Beckenverletzung im Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie der Medizinischen Fakultät der Charité behandelt. 345 Patienten/Patientinnen (29,9%) erlitten eine isolierte Typ-A-, 320 eine Typ-B- (27,7%) und 120 (10,4%) eine Typ-C-Verletzung. Unter den 1153 Patienten/Patientinnen fanden sich ebenfalls 237 Acetabulumfrakturen (20,5%), 95 Kombinationsverletzungen (8,2%) aus Becken- und Acetabulumfrakturen, 29 isolierte Sacrumfrakturen (2,5%) sowie 7 Fälle (0,6%), bei denen die Beckenverletzung aufgrund unzureichender Datenlage nicht genauer bestimmt werden konnte.



**Diagramm 1:** Darstellung der Studienpopulation

Von 320 behandelten Patienten/Patientinnen (183 weiblich – 57,1%, 137 männlich – 42,8%) mit Beckenringverletzung Typ-B erlitten 31 eine *Open-Book-Verletzung* (9,7%), 246 eine Kompressionsverletzung (76,9%) und 43 eine beidseitige Typ-B-Verletzung (13,4%). Der durchschnittliche *ISS* des Kollektivs lag bei 22,3 Punkten. Im Weiteren werden *Open-Book-Verletzungen*, analog der Beckenfrakturklassifikation der *AO/OTA* von 2007, als Typ-B1, Kompressionsverletzungen als Typ-B2 und Kombinationsverletzungen als Typ-B3 bezeichnet.

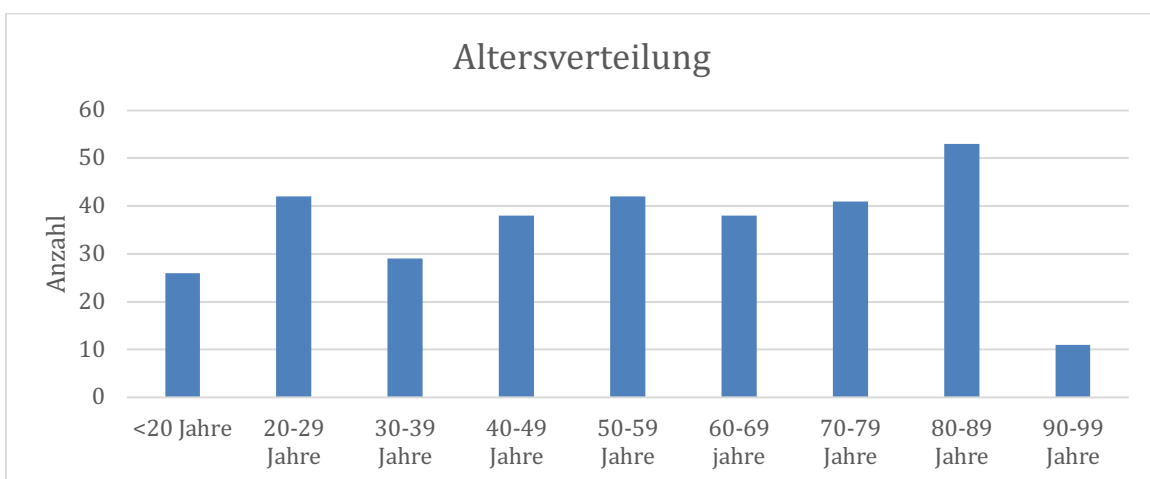




**Diagramm 2:** Prozentuale Verteilung der Fraktursubtypen im Patientenkollektiv

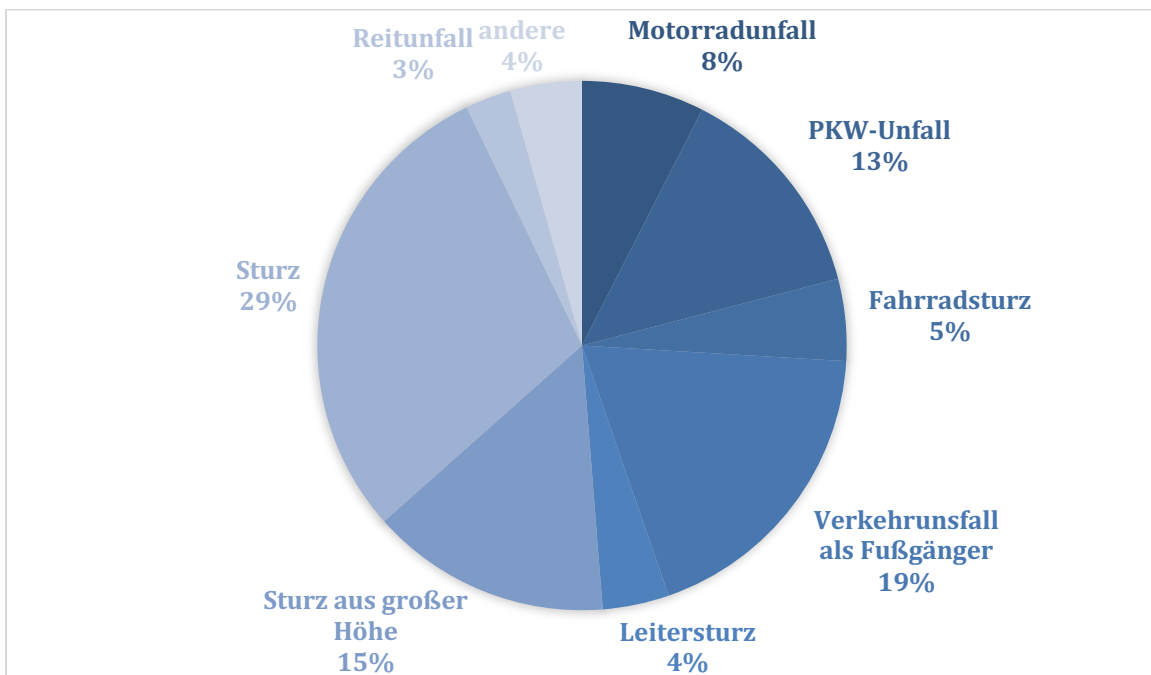
168 (52,5%) Patienten/Patientinnen wurden im Rahmen eines Polytraumas ( $ISS \geq 16$ ) hospitalisiert. 17 (5,3%) erlitten ein Komplext trauma des Beckens, wovon ein Todesfall zu verzeichnen war.

Das durchschnittliche Alter betrug 54,3 Jahre. Die Altersverteilung zeigte ein Maximum um das 80-89. Lebensjahr.



**Diagramm 3:** Altersverteilung des Patientenkollektivs

Laut Unfallanamnese ließen sich die Unfallursachen in neun Untergruppen einteilen (siehe *Diagramm 4*). Als häufigste isolierte Ursache ist dabei der Sturz aus dem Stand zu nennen. Kumulativ betrachtet stellen jedoch Verkehrsunfälle (Motorrad, PKW, Fahrrad, Fußgänger) mit 44,7% des Patientenkollektivs (Durschnittalter 46,9 Jahre) die häufigste Unfallursache dar. Diese Patienten/Patientinnen wurden in 74,8% der Fälle als Polytrauma hospitalisiert. In 15% war ein Sturz aus großer Höhe im Sinne eines Hochrasanztraumas unfallursächlich. Insgesamt wurden 17 Verletzungen (5.3%) im Rahmen einer suizidalen Handlung verursacht.



**Diagramm 4:** Darstellung der häufigsten Unfallursachen bei Patienten mit Becken-B-Verletzung

In der weiteren Analyse der Unfallursachen in Kombination mit dem *ISS* zeigte sich, dass Stürze aus dem Stand vornehmlich isolierte geriatrische Verletzungen darstellten, während Verkehrs-Unfälle und Stürze aus großer Höhe junge polytraumatisierte Patienten betrafen (siehe *Tabelle 5*).

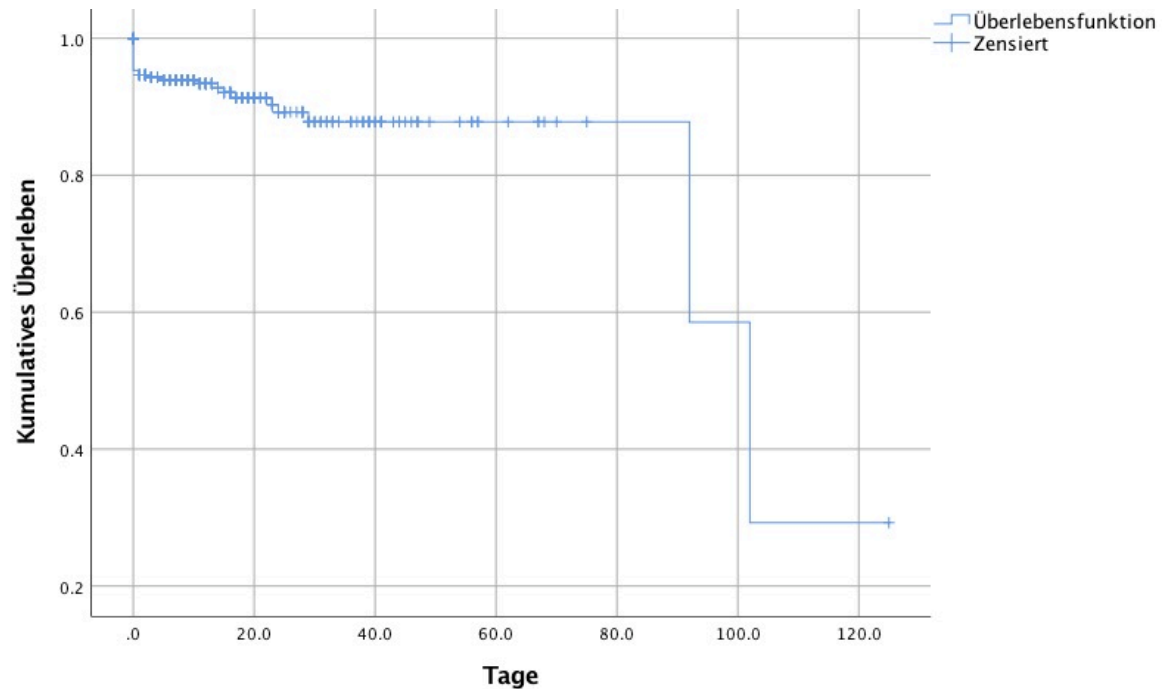
Unfallursache	Alter (Jahre)	ISS (Punkte)	Anzahl (n)
Motorradunfall	41,1 (SD 14,3)	25,5 (SD 11,7)	24
PKW-Unfall	38,4 (SD 18,9)	32,0 (SD 15,1)	43
Fahrradsturz	53,5 (SD 15,4)	24,9 (SD 16,8)	16
Verkehrsunfall als Fußgänger	53,6 (SD 21,4)	26,9 (SD 13,9)	60
Leitersturz	66,4 (SD 14,1)	16,0 (SD 13,1)	13
Sturz aus großer Höhe	37,2 (SD 18,3)	29,5 (SD 15,9)	47
Sturz	75,2 (SD 15,9)	11,5 (SD 7,0)	94
Reitunfall	45,7 (SD 17,1)	12,8 (SD 7,3)	9
andere	44,2 (SD 21,9)	24,6 (SD 18,4)	14
Insgesamt	54,4 (SD 23,4)	22,3 (SD 15,0)	320

**Tabelle 5:** Altersdurchschnitt und *Injury Severity Score* bei Aufnahme in Abhängigkeit der der Unfallursache

28 Patienten/Patientinnen (8,75%) verstarben bei einem Durchschnittsalter von 53,2 (SD: 26,6) Jahren während des Klinikaufenthaltes. Der durchschnittliche *ISS* betrug bei diesen 45,2 (SD: 18,4) Punkte. Die Todesursache war in acht der 28 Fälle multifaktoriell (2x schweres Schädelhirntrauma und unstillbare abdominelle Blutung, 1x schweres Schädelhirntrauma und unstillbare thorakoabdominelle Blutung, 1x schweres Schädelhirntrauma mit gleichzeitiger A. carotis-Verletzung, 1x fulminante Lungenarterienembolie und septischer Schock, 1x schwerstes Thoraxtrauma mit gleichzeitiger unstillbarer abdomineller Blutung, 2x unstillbare abdominelle als auch gleichzeitig pelvine Blutung). Bei 20 der 28 Patienten/Patientinnen ließ sich eine isolierte Todesursache bestimmen (1x starke pelvine Blutung mit Volumenmangelschock, 7x schweres Schädelhirntrauma, 2x schweres

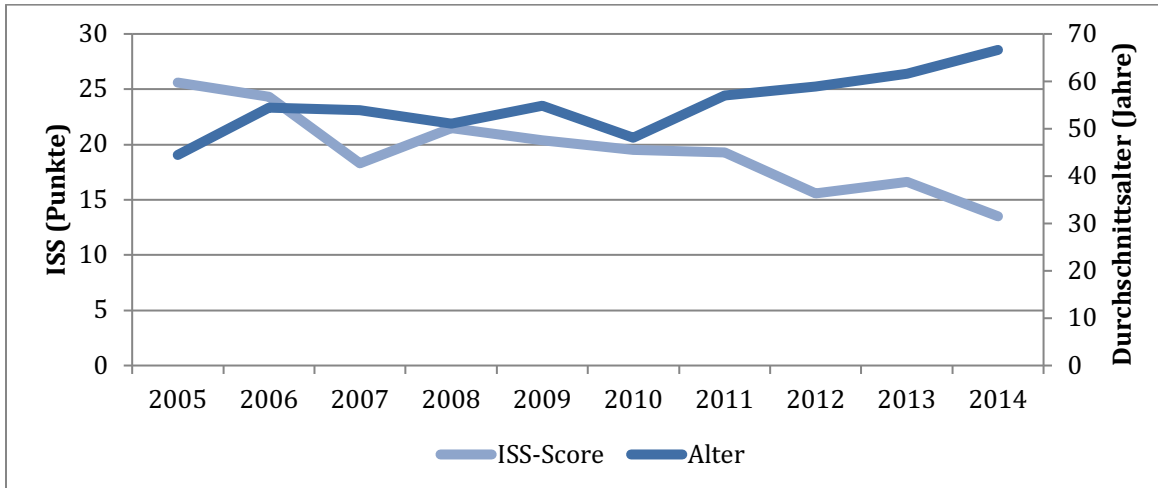
Thoraxtrauma, 1x ARDS, 4x unstillbare starke abdominelle Blutung, 5x Sepsis bzw. Multiorganversagen).

Verbluten war bei elf der 28 Patienten/Patientinnen (39%) Haupt- bzw. Teiltodesursache. Insgesamt verstarben 15 der genannten 28 Patienten/Patientinnen bereits am Unfalltag (53,5%) bei einem durchschnittlichen ISS von 53,3 (SD: 14,5) Punkten.



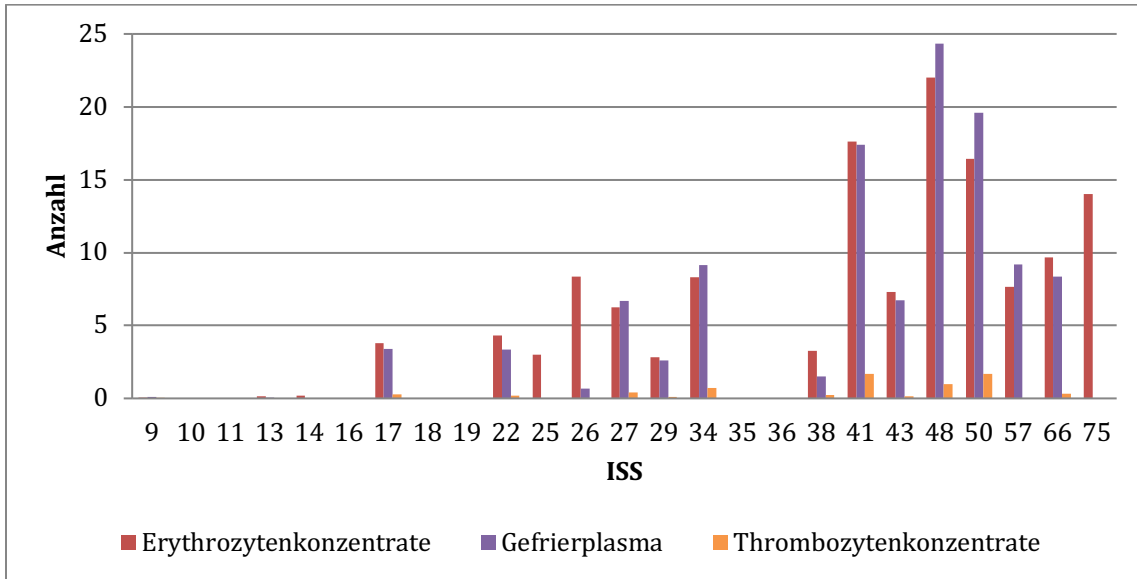
**Diagramm 5:** Kaplan-Meier-Kurve der stationären Letalität

Der durchschnittliche Schweregrad der Verletzungen gemessen am ISS nahm im Beobachtungszeitraum kontinuierlich ab, bei gleichzeitiger Zunahme des Durchschnittalters (siehe Diagramm 6).



**Diagramm 6:** Zeitlicher Verlauf des durchschnittlichen *Injury Severity Scores* 2005-2014 und Durchschnittsalters bei Patienten/Patientinnen mit Beckenringverletzungen vom Typ-B

Durchschnittlich wurden den Patienten/Patientinnen im Rahmen des stationären Aufenthaltes 4,0 (SD: 11,1) Erythrozytenkonzentrate, 4,0 (SD: 12,9) Konserven Gefrierplasma sowie 0,3 (SD: 1,1) Thrombozytenkonzentrate verabreicht. Bei 69,7% der Patienten/Patientinnen mussten keinerlei Blutprodukte transfundiert werden. Wie *Diagramm 7* illustriert, wurden bei einem *ISS* < 17 nur in Ausnahmefällen Blutprodukte transfundiert.



**Diagramm 7:** Durchschnittliche Anzahl der Bluttransfusionen in Abhängigkeit vom ISS

Basierend auf der Frakturklassifikation der AO/OTA 2007 ließen sich das Patientenkollektiv und die dazugehörigen Parameter in drei Subgruppen unterteilen (siehe *Tabelle 6*).

Verletzungstyp	B1	B2	B3	Sign. (p)
Anzahl (n)	31	246	43	<b>&lt;0,001</b>
Alter	47,2 (SD: 15,3)	55,3 (SD: 23,7)	54,8 (SD: 25,3)	0,141
ISS	30,0 (SD: 13,7)	21,2 (SD: 14,7)	23,3 (SD: 16,0)	<b>0,001</b>
Operativ	28 (90,4%)	85 (34,6%)	22 (51,1%)	<b>&lt;0,001</b>
Konservativ	3 (9,6%)	161 (65,4%)	21 (48,9%)	<b>&lt;0,001</b>
Komplikationen	5 (16,1%)	7 (2,8%)	1 (2,3%)	<b>0,002</b>
Verstorben	3 (9,6%)	21 (8,5%)	4 (12,5%)	0,969
Aufenthaltsdauer (T)	27,6 (SD: 24,9)	15,3 (SD: 15,3)	18,0 (SD: 19,2)	<b>0,006</b>
Erythrozytenkonz.	10,6 (SD: 18,8)	3,2 (SD: 9,9)	4,0 (SD: 8,9)	<b>&lt;0,001</b>
Gefr. Frischplasma	10,4 (SD: 27,6)	3,3 (SD: 10,0)	3,8 (SD: 10,2)	<b>&lt;0,001</b>
Thrombozytenkonz.	0,5 (SD: 1,9)	0,2 (SD: 1,1)	0,3 (SD: 1,0)	0,325

**Tabelle 6:** Überblick über das Patientenkollektiv in Abhängigkeit vom Frakturtyp

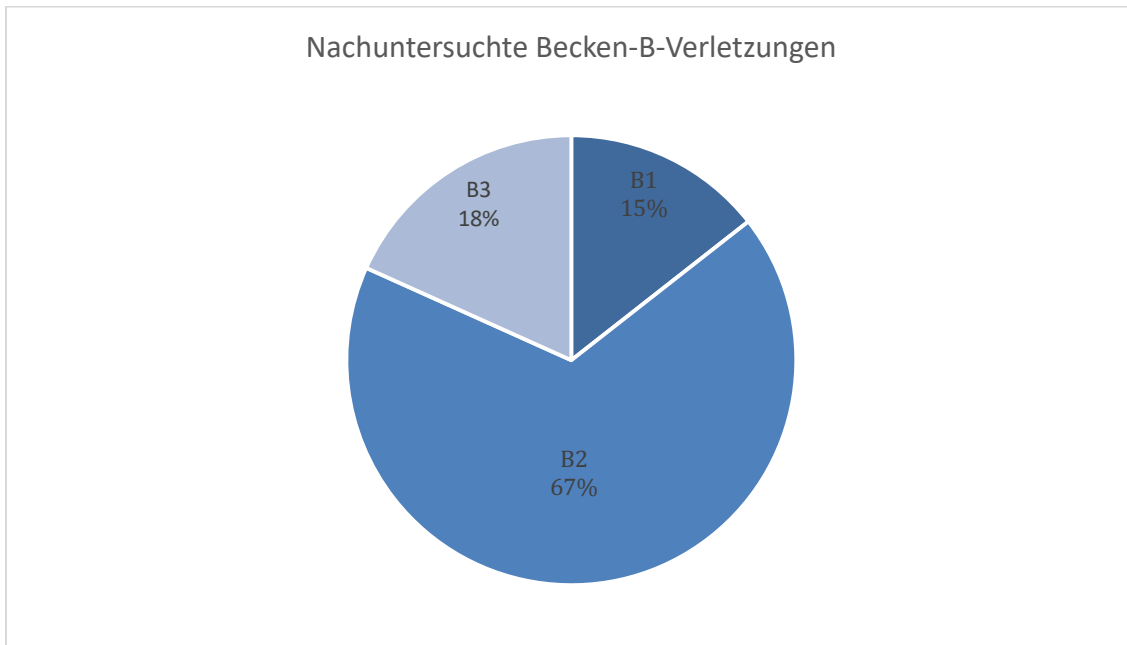
*Tabelle 6* zeigt, dass Patienten/Patientinnen mit Becken-B1-Verletzung im Schnitt sowohl deutlich jünger als auch, gemessen am *ISS*, signifikant schwerer verletzt waren. Aufgrund ihrer Instabilität mussten diese außer bei palliativer Zielsetzung operativ versorgt werden. Bedingt durch die schweren Verletzungen wurden diesen Patienten/Patientinnen überdurchschnittlich häufig Blutprodukte transfundiert.

Postoperative Komplikationen traten bei fünf Patienten/Patientinnen auf (1x postoperatives Hämatom bei Nachblutung, 1x Implantatlockerung mit Plattendislokation, 1x HIT-Syndrom, 1x SIRS, 1x Narbenhernie). Im Vergleich waren behandelte Patienten/Patientinnen mit einer Typ-B2- als auch Typ-B3-Verletzung älter und auch weniger stark verletzt. Die absolute Mehrheit (65,4%) der Typ-B2-Verletzung wurde konservativ behandelt.

Typ-B3-Verletzungen mussten aufgrund der beidseitigen Instabilität in 51,1% der Fälle operiert werden. Dazu passend konnten Patienten/Patientinnen mit einer Typ-B2- und Typ-B3-Verletzung signifikant früher aus dem Krankenhaus entlassen werden und hatten eine geringere Komplikationsrate (Typ-B2-Verletzungen: 2x tiefe Beinvenenthrombose, 1x Pneumonie 1x ARDS, 2x Sepsis/Multiorganversagen, 1x neurologische Defizite, 1x hypertensive Krise mit Lungenödem, 1x akutes Nierenversagen; Typ-B3-Verletzungen: 1x neurologische Defizite; Mehrfachnennungen pro Patient möglich). Im Fall einer Becken-B1-Verletzung als auch einer Becken-B3-Verletzung musste eine Embolisation vorgenommen werden.

Eine Notfallaparotomie war bei keinem der 320 Patienten/Patientinnen aufgrund der Beckenverletzung notwendig. Bemerkenswerterweise zeigte sich kein Unterschied in Hinblick auf die Mortalität bei den unterschiedlichen Frakturtypen.

Insgesamt stellten sich 104 Patienten/Patientinnen nach mindestens einem Jahr nach Becken-B-Verletzung (62 weiblich – 59,6%, 42 männlich – 40,4%) ambulant in der Beckenspezialsprechstunde vor und wurden routinemäßig nachuntersucht. Das zeitliche Intervall betrug durchschnittlich 3,4 Jahre. Der Altersdurchschnitt lag bei 53,7 Jahren (Minimum: 14 Jahre, Maximum 93 Jahre). 42 Patienten/Patientinnen waren konservativ, 62 operativ versorgt worden. Von den 104 Patientinnen und Patienten erlitten 52 (50%) ein Polytrauma, 8 (5,5%) ein Komplextrauma des Beckens. Der durchschnittliche ISS lag bei 21,1 Punkten. (Minimum 9 Punkte, Maximum 57 Punkte). 15 Patienten/Patientinnen (15%) hatten eine Typ-B1-Verletzung nach AO/OTA 2007 erlitten, 70 weitere eine Typ-B2-Verletzung (67%) sowie 19 eine Typ-B3-Verletzung (18%).



**Diagramm 8:** Fraktursubgruppen der nachuntersuchten Patienten/Patientinnen



Verletzungstyp	B1	B2	B3	Sign. (p)
Anzahl (n)	15	70	19	<b>&lt;0,001</b>
Altersdurchschnitt	49 (SD: 13,5)	56 (SD: 23,4)	47 (SD: 24,3)	0,139
ISS	30,4 (SD: 12,7)	18,6 (SD: 11,6)	23,0 (SD: 16,3)	<b>0,006</b>
Operativ (n)	15	33	14	<b>&lt;0,001</b>
Konservativ (n)	0	37	5	<b>&lt;0,001</b>
Intervall (Jahre)	3,1 (SD: 2,1)	3,3 (SD: 2,5)	4,0 (SD: 2,3)	0,325
EuroQol EQ-5D	85,9 (SD: 8)	87,1 (SD: 10)	87,9 (SD: 9)	0,691
Merle D'Aubigné Postel Score	14,5 (SD: 2,3)	14,8 (SD: 3,5)	15,7 (SD: 2,4)	0,332
SF-36 (PCS)	35,1 (SD: 10,6)	39,1 (n=59, SD: 12,1)	41,4 (SD: 12,1)	0,326
SF-36 (MCS)	51,2 (SD: 10,0)	46,9 (n=59, SD: 11,4)	51,9 (SD: 8,9)	0,154
Implantatentfernung	3 (20%)	0 (0%)	3 (15,9%)	<b>0,001</b>

**Tabelle 7:** Klinische Ergebnisse der nachuntersuchten Patienten/Patientinnen nach Frakturtyp

Die Patienten und Patientinnen zeigten (siehe *Tabelle 7*) bei vergleichbaren Altersverteilung und nicht signifikant unterschiedlichem Nachuntersuchungsintervall ein deutlich unterschiedliches Verletzungsmuster, wobei Typ-B1-Verletzungen durchschnittlich einen ISS von 30,4 Punkten aufwiesen, gefolgt von 23 Punkten bei Typ-B3-Frakturen und 18,6 Punkten bei Typ-B2-Frakturen. Typ-B1-Verletzungen waren durchgehend und Typ-B3-Verletzungen mit 73% überwiegend aufgrund der Instabilität operativ versorgt worden. Bei den erhobenen Funktionsscores zeigte sich kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Frakturtypen.

Aufgrund der geringen Fallzahlen von Typ-B1- und Typ-B3-Verletzungen war lediglich bei Typ-B2-Verletzung eine aussagekräftige Subgruppenanalyse nach Versorgungsart möglich. Der Vollständigkeit halber werden alle erhobenen Daten in *Tabelle 9* und *Tabelle 10* dargestellt. Die Subgruppenanalyse nach Versorgungsart der Typ-B2-Verletzungen ist in *Tabelle 8* dargestellt.

	Konservativ	Fixateur externe (isoliert)	SI-Schraube (isoliert)	Initial: Fixateur externe Sek: SI-Schraube, Fixateur belassen	Sign. (p)
Anzahl (n)	37	17	6	10	<0,001
Alter (Jahre)	70,3 (SD: 15,5)	39,7 (SD: 18,6)	55,0 (SD: 29,7)	34,4 (SD: 16,1)	<0,001
ISS	14,3 (SD: 7,8)	23,6 (SD: 12,6)	19,1 (SD: 15,5)	25,5 (SD: 14,3)	0,008
Intervall (Jahre)	3,5 (SD: 2,6)	4,2 (SD: 2,6)	2,0 (SD: 0,9)	1,8 (SD: 1,5)	0,035
EuroQol EQ-5D-Score	87,6 (SD: 9)	87,0 (SD: 9)	81,8 (SD: 11)	88,6 (SD: 10)	0,565
Merle D'Aubigné Postel-Score	13,9 (SD: 4,0)	16,0 (SD: 2,4)	15,0 (SD 3,6)	16,1 (SD: 2,6)	0,263
SF-36 (PCS)	39,1 (n=26, SD: 12,4)	39,9 (SD: 12,4)	32,1 (SD: 11,0)	41,84 (SD: 11,5)	0,445
SF-36 (MCS)	45,9 (n=26, SD: 10,8)	47,9 (SD: 12,9)	52,0 (SD: 10,4)	40,1 (SD: 11,1)	0,207

**Tabelle 8:** Klinisches Ergebnis in Abhängigkeit von der Versorgungsart nach Typ-B2-Verletzung

Zusammenfassend zeigten die analysierten Daten hinsichtlich der unterschiedlichen operativen Versorgungsmodalitäten die besten Ergebnisse bei einer 360° Versorgung mittels Fixateur externe und SI-Schraube dorsal. Allerdings waren die ermittelten Unterschiede statistisch nicht signifikant. Gleichzeitig bestanden jedoch signifikante Unterschiede im Altersdurchschnitt, der Verletzungsschwere sowie des Nachuntersuchungsintervalls. Beckenkompressionsverletzungen, welche konservativ behandelt wurden, betrafen bei einem Durchschnittsalter von 70,3 Jahren ein geriatrisches Patientenkollektiv mit

gleichzeitig geringgradigen Begleitverletzungen und einem *ISS* von durchschnittlich 14,3 (SD: 7,8) Punkten. Die langfristigen klinischen Scores zeigten auch im Hinblick auf das hohe Patientenalter ein zufriedenstellendes Ergebnis.

	Fix. ext. (isoliert)	Initial: Fix. ext. Sek: Sym. Platte, Fixateur entfernt	Initial: Fix. ext. Sek: SI-Schraube, Fixateur belassen	Sym. Platte (isoliert)	Sym. Platte + SI-Schraube	Initial: Fix. ext. Sek: Sym. Platte+ SI-Schraube, Fixateur entfernt	SI-Schraube (isoliert)
Anzahl (n)	2	1	3	2	1	5	1
Alter (Jahre)	52 (SD: 11,3)	35	46 (SD: 6,5)	49,5 (SD 38,8)	38,0	52,0 (SD: 5,8)	66
ISS	28,5 (SD: 20,5)	48	27 (SD: 16)	28,5 (SD: 27,5)	27	29,8 (SD: 6,3)	38
Intervall (Jahre)	4,5 (SD: 3,5)	4,7	1,5 (SD: 0,4)	3,9 (SD: 3,3)	6,4	2,6 (SD: 1,7)	1,2
EuroQol EQ-5D-Score	90,9 (SD: 7)	82,8	84,7 (SD: 5)	91,4 (SD: 12)	82,8	85,8 (SD: 11)	0,760
Merle D'Aubigné Postel-Score	15 (SD: 2,8)	14	14 (SD: 2,6)	16 (SD: 2,8)	14	15 (SD: 2,4)	11
SF-36 (PCS)	42,1 (SD: 0,6)	35,4	30,6 (SD: 16,8)	39,3 (SD 18,5)	30,5	37,7 (SD: 5,4)	17,6
SF-36 (MCS)	55,0 (SD: 5,5)	48,0	43,0 (SD: 18,5)	58,1 (SD: 4,7)	60,2	48,1 (SD: 3,8)	63,8

**Tabelle 9:** Klinisches Ergebnis in Abhängigkeit von der Versorgungsart bei Typ-B1-Verletzungen

	Konservativ	Fixateur externe (isoliert)	SI-Schraube (isoliert)	Initial: Fixateur ext. Sek: SI-Schraube, Fixateur belassen	Initial: Fix. ext. Sek: Sym. Platte + SI Schraube, Fixateur entfernt
Anzahl (n)	5	3	3	5	3
Alter (Jahre)	62,8J (SD: 18,8)	34,6 (SD 29,7)	56,6 (SD: 37,0)	36,2 (SD: 21,9)	43,0 (SD: 10,1)
ISS	23 (SD: 18,9)	17,6 (SD: 8,0)	22,0 (SD: 22,5)	27,8 (SD: 21,0)	21,3 (SD: 11,1)
Intervall (Jahre)	3.5 (SD: 1,6)	6,7 (SD: 2,1)	3,4 (SD: 3,1)	3,0 (SD: 1,7)	4,5 (SD: 3,0)
EuroQol EQ-5D Score	84,5 (SD: 11)	94,5 (SD: 9)	94,5 (SD: 4)	87,8 (SD: 7)	80,3 (SD: 4)
Merle D'Aubigné Postel Score	14,6 (SD: 2,8)	15,3 (SD: 3,7)	18 (SD: 0,0)	15,8 (SD. 1,7)	16,0 (SD: 2,0)
SF-36 (PCS)	29,7 (n=3, SD: 13,3)	49,4 (SD: 15,5)	50,2 (SD: 7,6)	40,3 (SD: 10,7)	38,0 (SD: 6,4)
SF-36 (MCS)	50,7 (n=3, SD: 16,0)	49,9 (SD: 10,2)	58,1 (SD: 8,0)	49,71 (SD: 7,8)	52,5 (SD: 3,1)

**Tabelle 10:** Klinisches Ergebnis in Abhängigkeit von der Versorgungsart bei Typ-B3-Verletzungen

## 5. Diskussion

Ziel dieser Arbeit ist die Analyse der kurz und langfristigen Ergebnisse von Becken-B-Verletzungen im Hinblick auf das klinische Ergebnis im mittelfristigen Follow-Up. Des Weiteren sollten die Daten auf prognostische Faktoren hin untersucht werden.

Insgesamt lassen sich aus den Ergebnissen folgende Kernaussagen ableiten:

### 1. Beckenverletzungen vom Typ-B1 als auch Typ-B3 wurden mit guten klinischen Ergebnissen hauptsächlich operativ versorgt.

Die höchste Gesamtverletzungsschwere zeigte sich mit einem *ISS* von  $30,0 \pm 13,7$  Punkten in der Gruppe der Typ-B1-Verletzungen, gefolgt von Typ-B3-Verletzungen mit einem *ISS* von  $23,3 \pm 16,0$  Punkten, welches sich auch in der stationären Aufenthaltsdauer von durchschnittlich 27,6 bzw. 18,0 Tagen widerspiegelt. Dem klinikinternen Versorgungsalgorithmus folgend, wurden Typ-B1-Verletzungen mit 90,3% überwiegend operativ therapiert, Typ-B3-Verletzungen immerhin in ca. 51% der Fälle. Die konservative Therapie von Typ-B1-Verletzungen wurde lediglich bei palliativer Therapiezielsetzung durchgeführt. Diese Vorgehensweise deckt sich mit den Empfehlungen anderer Autoren, welche beim kurativen Ansatz aufgrund des biomechanischen und klinischen Vorteils zu einer zeitnahen internen Fixation von *Open-Book-Verletzungen* raten.<sup>(130, 131, 132)</sup> Die optimale sekundäre Versorgungsmodalität wird dabei bis heute diskutiert, neue Studien sehen jedoch neben der ventralen Stabilisierung mittels Plattenosteosynthese auch die Notwendigkeit einer dorsalen internen Fixation, beispielsweise durch eine SI-Schraube.<sup>(100, 133, 134)</sup> Aufgrund der geringen Fallzahl von nachuntersuchten Typ-B1-Verletzungen im zur Verfügung stehenden Kollektiv konnte das langfristige klinische Ergebnis bezüglich der unterschiedlichen Versorgungsmodalitäten nicht verlässlich differenziert werden.

Trotz der deutlich gravierenderen Verletzungen der Typ-B1-Verletzungen konnte *kein* signifikanter Unterschied zu Typ-B2- als auch Typ-B3-Verletzungen im Hinblick auf die Mortalität nachgewiesen werden. Hier mögen zwei Aspekte eine wesentliche Rolle spielen:

Zum einen waren die betroffenen Patienten und Patientinnen in dieser Studie mit im Mittel  $47,2 \pm 15,3$  Jahren verglichen zu der Patientengruppe der anderen Frakturtypen deutlich jünger. Zum anderen profitieren diese von einer modernen und erfolgreichen intensivmedizinischen Betreuung, welche nachgewiesenermaßen sowohl das Überleben als auch das klinische Outcome maßgeblich verbessert.<sup>(135)</sup> Die in dieser Analyse ermittelten Ergebnisse zur stationären Mortalität entsprechen den Ergebnissen einer Studie von *Hermans et al.* an einem niederländischen Level-I-Traumazentrum.<sup>(136)</sup>

Im klinischen funktionellen Langzeitergebnis zeigte sich anhand der klinischen Scores im untersuchten Kollektiv bei Typ-B1- als auch Typ-B3-Verletzungen eine gute bis sehr gute Funktion. Die Datenlage in der Literatur ist diesbezüglich unzureichend und nur bedingt mit den Daten in dieser Studie vergleichbar. So wurde zur Bestimmung des Langzeitergebnisses nach Becken-B-Verletzung von anderen Autoren abweichende klinische Scores (z.B. *Majeed Score*) verwendet und nur teilweise eine Unterscheidung der unterschiedlichen Fraktorentitäten nach *Tile* bzw. *AO/OTA* getroffen. Somit ist eine Vergleichbarkeit mit den erhobenen Daten nur indirekt gegeben und die Ergebnisse durchaus als heterogen zu bezeichnen. In einer Studie von *Kokubo et al.* konnte ein sehr gutes bis exzellentes Resultat bei 88% aller Typ-B-Frakturen im langfristigen Follow-Up erreicht werden.<sup>(137)</sup> *Lindahl et al.* berichtete bei 71% der Typ-B-Verletzungen von einem sehr guten bis exzellenten Ergebnis. Patienten/Patientinnen mit einer *Open-Book-Verletzung* erreichten in dieser Studie jedoch lediglich in 50% der Fälle ein gutes funktionales Niveau. Allerdings ist die statistisch geringe Fallzahl von lediglich acht *Open-Book-Verletzungen* zu berücksichtigen. Außerdem wurden Typ-B1- als auch Typ-B3.1-Verletzungen nicht gesondert, sondern kumulativ analysiert.<sup>(99)</sup> *Dujardin et al.* zeigte in einer Studie sogar ein leicht besseres funktionelles Ergebnis nach *Open-Book-Verletzung* im Vergleich zu Typ-B2-Verletzungen mit 55% versus 45% guter Ergebnisse im *Majeed Score*.<sup>(138)</sup> Allerdings war die Frakturverteilung in dieser Studie deutlich abweichend von der üblichen Frakturverteilung mit einem starken Übergewicht von *Open-Book-Verletzungen* (36 Fälle) gegenüber 22 Typ-B2-Verletzungen, sodass ein statistische Verzerrung in dieser Arbeit wahrscheinlich ist.

Bedingt durch die hohe Verletzungsschwere als auch die Notwendigkeit der operativen Versorgung ist es nachvollziehbar, dass Typ-B1-Verletzungen die prozentual höchste allgemeine und eingriffsspezifische Komplikationsrate aufwiesen. Anzeichen der höheren Gesamtverletzungsschwere der Typ-B1-Verletzungen war außerdem der höhere Bedarf an Blutprodukten. Die Transfusion von Blutprodukten wurde bis auf wenige Ausnahmen (siehe *Diagramm 7*) nur bei Patienten/Patientinnen benötigt, die gemessen am *ISS* die Definition eines Polytraumas erfüllten ( $ISS \geq 16$  Punkte). Dies war bei Patienten/Patientinnen mit Typ-B1-Verletzungen bei 25 von 31 Fällen zutreffend. Die untersuchten Daten zum hohen Transfusionsbedarf bei Typ-B1-Verletzungen bestätigen damit andere Arbeiten, die zeigen konnten, dass es sich bei einem Schockraumpatienten mit einer *Open-Book-Verletzung* hochwahrscheinlich um einen polytraumatisierten Patienten mit kalkulierbar hohem Transfusionsbedarf handelt.<sup>(139)</sup> Diese Erkenntnis sollte in die Planung des klinischen Versorgungsalgorithmus einfließen und bereits im Schockraum – bei Nachweis einer *Open-Book-Verletzung* des Beckens – die hohe Wahrscheinlichkeit einer Blutungskomplikation antizipiert werden (z.B. durch frühzeitige Aktivierung eines Massentransfusionsprotokolls).

Eine Implantatentfernung wurde bei 20% der Typ-B1- bzw. 15,9% bei Typ-B3-Verletzungen durchgeführt. Bei Typ-B2-Verletzungen war diese nicht indiziert. Grundsätzlich ist die Implantatentfernung nach Beckenosteosynthese nur bei der korrekten Indikationsstellung sinnvoll und betrifft in erster Linie Fälle mit periimplantären Infektionen, Implantatfehlplatzierung, Implantatlockerung und Dislokation, fehlender Weichteildeckung und konsolidierten Beckenfrakturen bei Kindern.<sup>(140)</sup> Dabei muss beachtet werden, dass sich die intraoperative Situation präoperativ häufig nur schwer einschätzen lässt. Ein häufig diskutierter Fall in der klinischen Praxis ist die Implantatentfernung bei Frauen im gebärfähigen Alter nach Beckenfraktur, welche überproportional häufig eine *Sectio* erhalten.<sup>(141)</sup> Da sowohl die Beweglichkeit der Symphyse als auch der Iliosacralgelenke eine entscheidende Rolle beim natürlichen Geburtsvorgang spielen, erscheint die zeitgerechte

Entfernung der entsprechenden Implantate sinnvoll. Allerdings konnte ein Nutzen in einer retrospektiven Meta-Analyse bei ventraler wie auch dorsaler Implantatentfernung bisher nicht eindeutig nachgewiesen werden.<sup>(142)</sup>

## **2. Beckenverletzungen vom Typ-B2 zeigen bei konservativer Versorgung im Rahmen von Niedrigenergetraumata des alten Menschen gute langfristige Ergebnisse.**

Die optimale Versorgung von geriatrisch, osteoporotischen Beckenverletzungen vom Typ-B2 wird aufgrund der unzureichenden Datenlage weiterhin kontrovers diskutiert. Ein evidenzbasierter Therapieansatz fehlt bis heute.<sup>(143, 144, 145, 146)</sup> Der aktuelle Hauptfokus der operativen Therapie von nicht-geriatrischen Beckenverletzungen ist die rasche Wiederherstellung der Beckenstabilität durch eine operative Intervention. Allerdings ist bisher ungeklärt, ob im Falle von Insuffizienzfrakturen mit dem gleichen Frakturmuster – bedingt durch die herabgesetzte Knochenstabilität bei Osteoporose, Immobilität oder durch eine Cortisontherapie – ein ähnlich hoher Instabilitätsgrad vorliegt. Bei diesen bleiben nämlich in der Regel die wichtigen Bandstrukturen erhalten.<sup>(147, 148, 149)</sup> Das Ausmaß der Instabilität wird daher nicht adäquat durch die Klassifikationen nach *Tile* oder *Young-Burgess* abgebildet.<sup>(129, 147)</sup> Aufgrund dessen wurde 2013 von *Rommens et al.* eine neue Klassifikation von geriatrischen Insuffizienzfrakturen des Beckens vorgeschlagen, welche auf bildmorphologischen Kriterien beruht und eine Aussage über den Grad der Instabilität gibt.<sup>(147)</sup>

Es ist wichtig, die initiale Mortalität im stationären Verlauf von der langfristigen ambulanten Mortalität zu unterscheiden. Während schwerverletzte, in der Regel junge, Patienten/Patientinnen meist unmittelbar nach dem Unfall versterben (siehe *Diagramm 5*), sind leichtverletzte, geriatrische Patienten/Patientinnen den langfristigen Risiken der schmerzbedingten Immobilität ausgesetzt. So beläuft sich die posttraumatische Mortalität dieser Insuffizienzverletzungen auf bis zu 41% nach zwei Jahren und liegt damit sehr hoch.<sup>(18, 148, 150, 151, 152)</sup> Die von *Rommens* empfohlene Herangehensweise erscheint daher schlüssig, welche vorsieht, Patienten/Patientinnen mit dieser Frakturmorphologie primär einer suffizienten Schmerztherapie zuzuführen. Falls schmerzbedingt keine ausreichende



Mobilität erreicht werden kann, sollte in Abhängigkeit etwaiger Komorbiditäten die operative Versorgung angestrebt werden.<sup>(148)</sup>

Dieser Empfehlung folgend umfasst das nachuntersuchte Kollektiv an Beckenverletzungen vom Typ-B2, welches konservativ behandelt wurde, geriatrische Patienten/Patientinnen mit geringgradigen Begleitverletzungen bei einem Durchschnittsalter von  $70,3 \pm 15,5$  Jahren und einem *ISS* von  $14 \pm 7,8$  Punkten. Die Ergebnisse, gemessen an den erhobenen klinischen Scores, zeigen für diese Patienten/Patientinnen ein langfristig gutes klinisches Resultat. Im Vergleich mit der publizierten Literatur zeigen sich dort bei konservativer Versorgung ähnliche Ergebnisse. So konnte in einer Studie von *Höch et al.* an rein geriatrischen Beckenkompressionsverletzungen ebenfalls ein gutes klinisches Ergebnis im direkten Vergleich einer konservativen zu einer operativ versorgten Patientengruppe demonstriert werden. Die Analyse der Funktion erfolgte an den geläufigen Scores *SF-12*- als auch *EQ-5D*. Allerdings zeigte sich ein signifikant besseres Langzeitüberleben der operativ versorgten Gruppe mit 82% versus 61%. Die Autoren weisen jedoch zurecht darauf hin, dass aufgrund der Patientenselektion und des unterschiedlichen Durchschnittalters nicht von einer grundsätzlichen Überlegenheit der operativen Therapie ausgegangen werden darf.<sup>(151)</sup> *Zwingmann et al.* analysierten über einen Zeitraum von zehn Jahren 114 Beckenverletzungen vom Typ-B2 und verglichen eine operative mit einer konservativen Therapiegruppe. Die konservative Therapiegruppe war mit durchschnittlich 58,3 Jahren sowohl deutlich älter als auch weniger stark verletzt als die operativ versorgte Gruppe mit durchschnittlich 43,7 Jahren und konnte langfristig ebenfalls ein ähnlich gutes Ergebnis erreichen. Diese Ergebnisse sind vom funktionellen Ergebnis mit den hier dargestellten Ergebnissen vergleichbar, auch wenn der Altersdurchschnitt für die konservativ versorgten Kompressionsverletzungen der hier vorliegenden Studie deutlich höher lag (siehe oben). Die Mortalität der konservativen Gruppe wurde in der Studie von *Zwingmann et al.* mit 6,6% angegeben und die Verletzungsschwere gemessen am *Injury Severity Score* als unabhängiger Risikofaktor benannt.<sup>(153)</sup> Da sich das ambulante Überleben des hier untersuchten Kollektivs basierend auf den Daten im KIS nicht lückenlos rekonstruieren ließ,

kann die Langzeitmortalität retrospektiv nicht sicher abgeschätzt und mit den einschlägigen Studien verglichen werden.

### **3. Hauptursache von Becken-B-Verletzungen bleiben Hochrasanztraumata. Das Verletzungsspektrum verschiebt sich jedoch im Laufe der Jahre zunehmend zur isolierten geriatrischen Beckenverletzung.**

Die kumulativ häufigste Unfallursache von Typ-B-Verletzungen stellt das Hochrasanztrauma bei Verkehrsunfällen (PKW, Motorrad, Fußgänger, Radfahrer) dar, welche im untersuchten Kollektiv insgesamt 44,7% betrug und bei einem Durchschnittsalter von 46,7 Jahren Patienten/Patientinnen im mittleren Alter betraf. Bedingt durch den Unfallmechanismus waren diese Patienten gemessen am *Injury Severity Score* in ca. 75% der Fälle polytraumatisiert. Daneben, und durchschnittlich noch schwerer verletzt, finden sich in 15% der Fälle Stürze aus großer Höhe (>3m), welche ebenfalls zu den Hochrasanztraumata zu zählen sind. Oft handelte es sich hierbei um Arbeitsunfälle oder suizidale Handlungen. In bisher publizierten epidemiologischen Arbeiten anderer Autoren wurde der Fokus der Ursachenanalyse auf die Gesamtheit aller Beckenringverletzungen gelegt und diese nicht separiert nach Frakturtyp aufgeschlüsselt. Der Vergleich ist somit nur annähernd möglich. *Balogh et al.* berichteten in einer Studie über die epidemiologischen Ergebnisse von Beckenfrakturen an einem australischen Level-I-Traumazentrum. Dort kamen Typ-B-Verletzungen auf 31% des Patientenkollektivs, welche in der hier vorliegenden Studie 27,7% ausmachten. Bei 43% der Patienten/Patientinnen mit einer Beckenringfraktur handelte es sich um Hochrasanztraumata, wobei 13% des Gesamtkollektivs bereits präklinisch verstarb.<sup>(1)</sup> *Hermans et al.* zeigten in einer Studie eine Inzidenz von Becken-B-Verletzungen von ca. 39% sowie eine hohe Rate von Hochrasanztraumata aller Beckenfrakturen von insgesamt 86%, wobei 64,9% Verkehrsunfälle darstellten.<sup>(136)</sup> *Gänsslen et al.* berichteten in einer Registerarbeit der Becken-AG der DGU von 59,7% Verkehrsunfällen als Ursache von Beckenringfrakturen in Deutschland, wobei insgesamt 24,7% Becken-B-Verletzungen darstellten.<sup>(4)</sup>

Als häufigste isolierte Unfallursache findet sich der Sturz aus dem Stand auf das Becken im fortgeschrittenen Alter, welche in einer Beckenfraktur mit geringgradigen Begleitverletzungen resultierte. Der Altersdurchschnitt im untersuchten Kollektiv beträgt bei Patienten mit diesem Unfallmechanismus 75 Jahre. Aufgrund der demografischen Entwicklung in der westlichen Welt mit einer zunehmenden Überalterung der Bevölkerung ist eine weltweite Zunahme von geriatrischen Beckenverletzungen zu verzeichnen.<sup>(154)</sup> Passend hierzu findet sich im untersuchten Kollektiv eine kontinuierliche Abnahme der Gesamtverletzungsschwere von Typ-B-Verletzungen, gemessen am *Injury Severity Score*, sowie eine kontinuierliche Zunahme des Durchschnittsalters über den Beobachtungszeitraum. Ähnlich wie in bereits publizierten Daten zeigen auch die Daten der hier vorliegenden Studie eine Dominanz von Kompressionsverletzungen von Typ-B2 in dieser Patientengruppe.<sup>(155)</sup>

#### **4. Die stationäre Mortalität von hospitalisierten Patienten mit Beckenverletzungen vom Typ-B bleibt mit 8,75% weiterhin hoch.**

Die zahlenmäßig häufigste Todesursache der 28 stationär verstorbenen Patienten bzw. Patientinnen stellten mit jeweils 39% der Fälle Exsanguation (Thorax, Abdomen als auch Becken) sowie schwere Schädelhirntraumata dar. Schwere intrapelvine Blutungen betrafen nur drei Patienten/Patientinnen (0,9% aller Typ-B-Verletzungen). In 21% der Verstorbenen kam es während des stationären Verlaufs zu einer Sepsis mit konsekutiv letal verlaufenden Multiorganversagen. Diese Distribution ist typisch für instabile Beckenfrakturen, wobei laut Literatur ebenfalls in erster Linie Begleitverletzungen die direkte Todesursache darstellen.<sup>(50, 156, 157)</sup>

So konnte vergleichend gezeigt werden, dass in den ersten 24 Stunden nach Trauma die thorakale und abdominelle Exsanguation die dominierende Todesursache bei Patienten mit einer Beckenringfraktur darstellt.<sup>(136, 156)</sup> Dabei ist die gefürchtete pelvine Blutung als Todesursache mit 0,4-1,4% aller Beckenfrakturen jedoch verhältnismäßig selten.<sup>(4, 50)</sup> Schädelhirntraumata sind neben der extrapelvinen Exsanguation der häufigste

limitierende Faktor.<sup>(158)</sup> Diese Mortalitätsursachenverteilung ist somit gut mit den in dieser Arbeit dargestellten Ergebnissen vergleichbar.

Die stationäre Mortalität von 8,75% bei Becken-B-Verletzungen liegt im Vergleich zu einschlägigen epidemiologischen Studien (2,8%-14,2%) im mittleren Bereich.<sup>(2, 43, 156, 157)</sup> Die Ursache für die stark divergierenden Ergebnisse in der Literatur ist vor allem in den unterschiedlichen Einschlusskriterien der einzelnen Studien zu finden (unterschiedliche Verletzungsmuster und Frakturtypen).

Die hier vorliegenden Ergebnisse können insofern interpretiert werden, dass der im Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie angewandte Behandlungsalgorithmus bei Beckenringverletzungen vom Typ-B gut etabliert ist und durch die fokussierte Blutungskontrolle pelvine Blutungen nur noch selten die Todesursache darstellen. Im Hinblick auf die oben beschriebenen Verletzungs- und Todesursachen bei Hochrasanztraumata bedarf es zukünftig zur weiteren Senkung der Mortalität in erster Linie einer Reduktion der allgemeinen Verletzungsschwere und sekundär einer Optimierung der Therapie von Schädelhirntraumata, thorakoabdominellen Blutungen sowie der Sepsis und Multiorganversagen. Erreicht werden könnte dies präventiv durch eine verschärfte Geschwindigkeitsbegrenzung insbesondere im Stadtverkehr und durch die flächendeckende Einführung von sicherheitsrelevanten Fahrerassistenzsystemen (z.B. Abbiegeassistent). Langfristig könnten durch weitere Innovationen der Fahrerassistenzsysteme, des Fahrzeugdesigns sowie der Verkehrsführung zusätzliche Fortschritte erzielt werden.

Es ist anzunehmen, dass geriatrische Patienten, analog zu anderen typisch geriatrischen Verletzungen wie Schenkelhalsfrakturen oder osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen, primär von einer adäquaten Sturzprophylaxe und osteoporotischen Therapie sowie sekundär von einer suffizienten Schmerztherapie und Mobilisation profitieren könnten.<sup>(159,</sup>

160)

**5. Beckenverletzungen beim jungen, meist polytraumatisierten, Patienten vom Typ-B2 werden mit guten Ergebnissen operativ versorgt. Die Subgruppenanalyse zeigt dabei einen Vorteil der ventrodorsalen Stabilisierung mittels supraacetabulären Fixateur externe und SI-Schraube.**

Junge Patienten/Patientinnen, welche sich eine Kompressionsverletzung zugezogen hatten, wurden mit guten funktionellen Ergebnissen operativ versorgt. Dabei besteht eine Präferenz zur 360° Stabilisierung mit Fixateur externe und dorsaler SI-Schraube, welche insgesamt die besten Ergebnisse zeigte. Die isolierte Verschraubung mittels SI-Schraube ergab hingegen die durchschnittlich schlechtesten operativen Ergebnisse. Es sollte jedoch beachtet werden, dass Patienten/Patientinnen, welche eine Versorgung mit einer isolierten SI-Schraube erhielten, mit durchschnittlich 55 Jahren deutlich älter waren als die anderen untersuchten Gruppen. Außerdem konnte aufgrund der Fallzahl insgesamt kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Versorgungsarten ermittelt werden.

Durch das meist retrospektive Studiendesign bei Typ-B2-Beckenverletzungen und das unterschiedliche Ausmaß der Begleitverletzungen ist es historisch sowohl schwierig, operative und konservative Verfahren miteinander, als auch operative Verfahren untereinander zu vergleichen.<sup>(9)</sup> Die Meinungen gehen hinsichtlich der Verfahrenswahl weit auseinander.<sup>(122, 161, 162)</sup> In der Literatur wird die operative Versorgung von Typ-B2-Verletzungen auch bei jüngeren Patienten mit einer Dislokation < 10 mm zunehmend kritisch gesehen und sogar wieder die konservative Therapie empfohlen.<sup>(163, 164, 165)</sup> So konnte in einer Studie von *Sembler et al.* keine erhöhte sekundäre Dislokationsrate nach Mobilisation bei konservativ behandelten Typ-B2-Verletzungen ermittelt werden. Das Durchschnittsalter der Patienten/Patientinnen lag mit 46 Jahren niedrig, jedoch handelte es sich bei einem ISS von  $15 \pm 11$  Punkten durchschnittlich nicht um Schwerverletzte.<sup>(166)</sup> In einer Studie von *Hagen et al.* konnte durch eine operative Stabilisierung von Becken-B2-Verletzungen keine Reduktion der Schmerzmedikation sowie im Vergleich keine frühzeitige Mobilisation erreicht werden.<sup>(167)</sup>

Dem gegenüberstehend konnte in einer Meta-Analyse von *Papakostidis et al.* eine verbesserte Lauffähigkeit, ein besseres Repositionsergebnis und eine verminderte Pseudarthrosenrate bei dorsaler Fixation von Beckenverletzungen nachgewiesen werden.<sup>(114)</sup> Eine gute Reposition, wie bereits in anderen Studien gezeigt, sollte mit einem klinisch besseren Ergebnis einhergehen.<sup>(114, 168)</sup> In einer kürzlich erschienenen retrospektiven Analyse des deutschen Beckenregisters von *Schmal et al.* konnte eine Reduktion der Mortalität um 36% bei operativer Versorgung von Typ-B- und Typ-C-Frakturen gezeigt werden. Allerdings verdoppelte sich in der operativen Gruppe die Komplikationsrate. Sie empfehlen die dorsale Stabilisierung mit einer Iliosacralschraube ggf. in Kombination mit einem Fixateur externe.<sup>(169)</sup> *Wardle et al.* empfehlen sogar, die ventrale Komponente von instabilen Beckenringfrakturen, nicht nur bei *Open-Book-Verletzungen*, grundsätzlich intern mit einer Plattenosteosynthese zu fixieren.<sup>(170)</sup>

Die Ergebnisse der hier vorliegenden Arbeit geben Hinweise darauf, dass die operative Therapie der Becken-B-Verletzung bei jungen Patienten einen Vorteil hinsichtlich des Outcomes haben kann. Eine abschließende Bewertung lässt sie jedoch nicht zu.

### **Limitationen**

Die Aussagekraft dieser Arbeit ist auch bei Einhaltung der Qualitätskriterien aufgrund des monozentrischen retrospektiven Studiendesigns limitiert. So sind klassische Qualitätsmarker wie eine Randomisierung der Patienten, Verblindung und regelmäßige Nachuntersuchungen in festgesetzten Intervallen unmöglich zu implementieren. Dies bedeutet, dass die dargestellten Ergebnisse keine Kausalitäten beweisen, sondern vielmehr Assoziationen bzw. Korrelationen aufzeigen können. Dies ist eine inhärente Problematik, welche bereits vielfach von anderen Autoren zum Thema festgestellt und beschrieben wurde.

Ein gewichtiger Störfaktor ist, dass sich die Verletzungsfolgen von Begleitverletzungen und Komorbiditäten nicht zuverlässig aus den Follow-Up-Scores zur klinischen Langzeitevaluation herausrechnen lassen. Ebenfalls muss die Follow-Up-Rate von knapp 62,6% der potentiell erreichbaren Patienten/Patientinnen als Kritikpunkt angeführt werden und

könnte die Aussagekraft der klinischen Langzeitergebnisse beeinflussen. Es kann diesbezüglich spekuliert werden, dass sich Patienten/Patientinnen mit Restbeschwerden mit höherer Wahrscheinlichkeit einer Nachuntersuchung unterzogen haben und somit die erhobenen Resultate insgesamt eher negativ gefärbt sind. Die Existenz einer Vielzahl unterschiedlicher Trauma- und Funktionsscores erschwert ebenfalls die Vergleichbarkeit mit anderen Arbeiten.<sup>(114)</sup>

Zur weiteren Differenzierung und Klärung der optimalen Versorgungsmodalität bedarf es zukünftig Studien mit deutlich höherer Fallzahl und somit eines Multi-Center- sowie eines prospektiven Studiendesigns. Insbesondere vor dem Hintergrund des demographischen Wandels und der steigenden geriatrischen Patientenzahl werden Becken-B-Verletzungen weiter in den Fokus geraten, sodass klare evidenzbasierte Behandlungsalgorithmen vonnöten sind.

## 6. Literaturverzeichnis

1. Balogh Z, King KL, Mackay P, McDougall D, Mackenzie S, Evans JA, Lyons T, Deane SA. The epidemiology of pelvic ring fractures: a population-based study. *The Journal of trauma* 2007;63:1066-73; discussion 72-3.
2. Buller LT, Best MJ, Quinnan SM. A Nationwide Analysis of Pelvic Ring Fractures: Incidence and Trends in Treatment, Length of Stay, and Mortality. *Geriatr Orthop Surg Rehabil* 2016;7:9-17.
3. Pohlemann T, Tscherne H, Baumgartel F, Egbers HJ, Euler E, Maurer F, Fell M, Mayr E, Quirini WW, Schlickewei W, Weinberg A. [Pelvic fractures: epidemiology, therapy and long-term outcome. Overview of the multicenter study of the Pelvis Study Group]. *Der Unfallchirurg* 1996;99:160-7.
4. Gansslen A, Pohlemann T, Paul C, Lobenhoffer P, Tscherne H. Epidemiology of pelvic ring injuries. *Injury* 1996;27 Suppl 1:S-A13-20.
5. Pohlemann T, Bosch U, Gansslen A, Tscherne H. The Hannover experience in management of pelvic fractures. *Clinical orthopaedics and related research* 1994:69-80.
6. Lindahl J, Handolin L, Soderlund T, Porras M, Hirvensalo E. Angiographic embolization in the treatment of arterial pelvic hemorrhage: evaluation of prognostic mortality-related factors. *Eur J Trauma Emerg Surg* 2013;39:57-63.
7. Giannoudis PV, Pape HC. Damage control orthopaedics in unstable pelvic ring injuries. *Injury* 2004;35:671-7.
8. Grimm MR, Vrahas MS, Thomas KA. Pressure-volume characteristics of the intact and disrupted pelvic retroperitoneum. *The Journal of trauma* 1998;44:454-9.
9. Halawi MJ. Pelvic ring injuries: Emergency assessment and management. *J Clin Orthop Trauma* 2015;6:252-8.
10. van Vugt AB, van Kampen A. An unstable pelvic ring. The killing fracture. *The Journal of bone and joint surgery British volume* 2006;88:427-33.
11. Routt ML, Jr., Falicov A, Woodhouse E, Schildhauer TA. Circumferential pelvic antishock sheeting: a temporary resuscitation aid. *Journal of orthopaedic trauma* 2002;16:45-8.
12. Tucker MC, Nork SE, Simonian PT, Routt ML, Jr. Simple anterior pelvic external fixation. *The Journal of trauma* 2000;49:989-94.
13. Tscherne H, Pohlemann T, Gansslen A, Hufner T, Pape HC. Crush injuries of the pelvis. *Eur J Surg* 2000;166:276-82.
14. Matta JM, Saucedo T. Internal fixation of pelvic ring fractures. *Clinical orthopaedics and related research* 1989:83-97.
15. Tile M. Pelvic fractures: operative versus nonoperative treatment. *Orthop Clin North Am* 1980;11:423-64.
16. Tile M. Pelvic ring fractures: should they be fixed? *The Journal of bone and joint surgery British volume* 1988;70:1-12.



17. Goldstein A, Phillips T, Sclafani SJ, Scalea T, Duncan A, Goldstein J, Panetta T, Shaftan G. Early open reduction and internal fixation of the disrupted pelvic ring. *The Journal of trauma* 1986;26:325-33.
18. Culemann U, Scola A, Tosounidis G, Pohlemann T, Gebhard F. [Concept for treatment of pelvic ring injuries in elderly patients. A challenge]. *Der Unfallchirurg* 2010;113:258-71.
19. Dienstknecht T, Pfeifer R, Horst K, Sellei RM, Berner A, Zelle BA, Probst C, Pape HC. The long-term clinical outcome after pelvic ring injuries. *The bone & joint journal* 2013;95-B:548-53.
20. Aumüller Gerhard EJ, Kirsch Joachim, Mense Siegfried. *Duale Reihe Anatomie 3. Auflage*. 2014.
21. Gray H. *Anatomy of the Human Body*. 1918.
22. Winkelmann M, Lopez Izquierdo M, Clausen JD, Liodakis E, Mommsen P, Blossey R, Krettek C, Zeckey C. Fractures of the transverse processes of the fourth and fifth lumbar vertebrae in patients with pelvic ring injuries. *The bone & joint journal* 2018;100-B:1214-9.
23. Teubner E, Gerstenberger F. [Kinematics of the pelvis. Grading and pathomechanical classification of injuries of the pelvic joints and kinematic and clinical consequences of surgical management]. *Der Unfallchirurg* 1992;95:50-7.
24. DonTigny RL IVA, Mooney V, Stoeckart R A detailed and critical biomechanical analysis of the sacroiliac joints and relevant kinesiology: the implications for lumbopelvic function and dysfunction. (eds) *Movement, Stability & Lumbopelvic Pain: Integration of research and therapy*. Churchill Livingstone (Elsevier), Edinburgh, 2007, pp 265-279.
25. Levin SM. A suspensory system for the sacrum in pelvic mechanics: Biotensegrity. *Movement, Stability and Lumbopelvic Pain*, Edition: 2nd December 2007:229-37.
26. Vukicevic S, Marusic A, Stavljenic A, Vujicic G, Skavic J, Vukicevic D. Holographic analysis of the human pelvis. *Spine* 1991;16:209-14.
27. Icke C, Koebke J. Normal stress pattern of the pubic symphysis. *Anat Cell Biol* 2014;47:40-3.
28. Khurana B, Sheehan SE, Sodickson AD, Weaver MJ. Pelvic ring fractures: what the orthopedic surgeon wants to know. *Radiographics* 2014;34:1317-33.
29. Durkin A, Sagi HC, Durham R, Flint L. Contemporary management of pelvic fractures. *Am J Surg* 2006;192:211-23.
30. Culemann U, Tosounidis G, Reilmann H, Pohlemann T. [Injury to the pelvic ring. Diagnosis and current possibilities for treatment]. *Der Unfallchirurg* 2004;107:1169-81; quiz 82-3.
31. Steinke H, Hammer N, Lingslebe U, Hoch A, Klink T, Bohme J. Ligament-induced sacral fractures of the pelvis are possible. *Clin Anat* 2014;27:770-7.
32. Gary JL, Mulligan M, Banagan K, Sciadini MF, Nascone JW, O'Toole R V. Magnetic resonance imaging for the evaluation of ligamentous injury in the pelvis: a prospective case-controlled study. *Journal of orthopaedic trauma* 2014;28:41-7.
33. Bohme J, Lingslebe U, Steinke H, Werner M, Slowik V, Josten C, Hammer N. The extent of ligament injury and its influence on pelvic stability following type II

anteroposterior compression pelvic injuries--A computer study to gain insight into open book trauma. *J Orthop Res* 2014;32:873-9.

34. Pennal GF, Tile M, Waddell JP, Garside H. Pelvic disruption: assessment and classification. *Clinical orthopaedics and related research* 1980:12-21.

35. Doro CJ, Forward DP, Kim H, Nascone JW, Sciadini MF, Hsieh AH, Osgood G, O'Toole RV. Does 2.5 cm of symphyseal widening differentiate anteroposterior compression I from anteroposterior compression II pelvic ring injuries? *Journal of orthopaedic trauma* 2010;24:610-5.

36. Kanakaris NK, Tan HB, Mallina R, Giannoudis PV. STRADDLE FRACTURES OF THE PELVIC RING: CLINICAL PROFILE, METHODS OF FIXATION AND OUTCOMES. *Orthopaedic Proceedings* 2012;94-B:58-.

37. Tile M HD, Kellam J, Isler B, Nazarian S, Mueller ME. Comprehensive Classification of fractures. 1996:1-6.

38. J. M. *Traites des fractures et des luxationes*. . Balliere, Paris 1847.

39. R. W-J. Dislocations and fracture-dislocations of the pelvis. *Br J Surg* 1938:773-81.

40. Huittinen VM, Slati P. Fractures of the pelvis. Trauma mechanism, types of injury and principles of treatment. *Acta Chir Scand* 1972;138:563-9.

41. Young JW, Burgess AR, Brumback RJ, Poka A. Pelvic fractures: value of plain radiography in early assessment and management. *Radiology* 1986;160:445-51.

42. Koo H, Leveridge M, Thompson C, Zdero R, Bhandari M, Kreder HJ, Stephen D, McKee MD, Schemitsch EH. Interobserver reliability of the young-burgess and tile classification systems for fractures of the pelvic ring. *Journal of orthopaedic trauma* 2008;22:379-84.

43. Pohlemann T, Stengel D, Tosounidis G, Reilmann H, Stuby F, Stockle U, Seekamp A, Schmal H, Thannheimer A, Holmenschlager F, Gansslen A, Rommens PM, Fuchs T, Baumgartel F, Marintschev I, Krischak G, Wunder S, Tscherne H, Culemann U. Survival trends and predictors of mortality in severe pelvic trauma: estimates from the German Pelvic Trauma Registry Initiative. *Injury* 2011;42:997-1002.

44. Furey AJ, O'Toole RV, Nascone JW, Sciadini MF, Copeland CE, Turen C. Classification of pelvic fractures: analysis of inter- and intraobserver variability using the Young-Burgess and Tile classification systems. *Orthopedics* 2009;32:401.

45. Fracture and dislocation compendium. Orthopaedic Trauma Association Committee for Coding and Classification. *Journal of orthopaedic trauma* 1996;10 Suppl 1:v-ix, 1-154.

46. Marsh JL, Slongo TF, Agel J, Broderick JS, Creevey W, DeCoster TA, Prokuski L, Sirkin MS, Ziran B, Henley B, Audige L. Fracture and dislocation classification compendium - 2007: Orthopaedic Trauma Association classification, database and outcomes committee. *Journal of orthopaedic trauma* 2007;21:S1-133.

47. Kellam JF, Meinberg EG, Agel J, Karam MD, Roberts CS. Introduction: Fracture and Dislocation Classification Compendium-2018: International Comprehensive Classification of Fractures and Dislocations Committee. *Journal of orthopaedic trauma* 2018;32 Suppl 1:S1-S10.

48. Adams JE, Davis GG, Alexander CB, Alonso JE. Pelvic trauma in rapidly fatal motor vehicle accidents. *Journal of orthopaedic trauma* 2003;17:406-10.

49. Stein DM, O'Connor JV, Kufera JA, Ho SM, Dischinger PC, Copeland CE, Scalea TM. Risk factors associated with pelvic fractures sustained in motor vehicle collisions involving newer vehicles. *The Journal of trauma* 2006;61:21-30; discussion -1.
50. Hauschild O, Strohm PC, Culemann U, Pohlemann T, Suedkamp NP, Koestler W, Schmal H. Mortality in patients with pelvic fractures: results from the German pelvic injury register. *The Journal of trauma* 2008;64:449-55.
51. Friese RS, Malekzadeh S, Shafi S, Gentilello LM, Starr A. Abdominal ultrasound is an unreliable modality for the detection of hemoperitoneum in patients with pelvic fracture. *The Journal of trauma* 2007;63:97-102.
52. Holstein JH, Pizanis A, Kohler D, Pohlemann T, Working Group Quality of Life After Pelvic F. What are predictors for patients' quality of life after pelvic ring fractures? *Clinical orthopaedics and related research* 2013;471:2841-5.
53. Ojodu I, Pohlemann T, Hopp S, Rollmann MF, Holstein JH, Herath SC. Predictors of mortality for complex fractures of the pelvic ring in the elderly: a twelve-year review from a German level I trauma center. *Injury* 2015;46:1996-8.
54. Gansslen A, Giannoudis P, Pape HC. Hemorrhage in pelvic fracture: who needs angiography? *Curr Opin Crit Care* 2003;9:515-23.
55. Cook RE, Keating JF, Gillespie I. The role of angiography in the management of haemorrhage from major fractures of the pelvis. *The Journal of bone and joint surgery British volume* 2002;84:178-82.
56. Wang F, Wang F. The diagnosis and treatment of traumatic retroperitoneal hematoma. *Pak J Med Sci* 2013;29:573-6.
57. Sarin EL, Moore JB, Moore EE, Shannon MR, Ray CE, Morgan SJ, Smith WR. Pelvic fracture pattern does not always predict the need for urgent embolization. *The Journal of trauma* 2005;58:973-7.
58. Majeed SA. Neurologic deficits in major pelvic injuries. *Clinical orthopaedics and related research* 1992:222-8.
59. Reilly MC, Zinar DM, Matta JM. Neurologic injuries in pelvic ring fractures. *Clinical orthopaedics and related research* 1996:28-36.
60. Bjurlin MA, Fantus RJ, Mellett MM, Goble SM. Genitourinary injuries in pelvic fracture morbidity and mortality using the National Trauma Data Bank. *The Journal of trauma* 2009;67:1033-9.
61. Figler BD, Hoffler CE, Reisman W, Carney KJ, Moore T, Feliciano D, Master V. Multi-disciplinary update on pelvic fracture associated bladder and urethral injuries. *Injury* 2012;43:1242-9.
62. Andrich DE, Day AC, Mundy AR. Proposed mechanisms of lower urinary tract injury in fractures of the pelvic ring. *BJU international* 2007;100:567-73.
63. Pavelka T, Houcek P, Hora M, Hlavacova J, Linhart M. [Urogenital trauma associated with pelvic ring fractures]. *Acta chirurgiae orthopaedicae et traumatologiae Cechoslovaca* 2010;77:18-23.
64. Ter-Grigorian AA, Kasyan GR, Pushkar DY. Urogenital disorders after pelvic ring injuries. *Central European journal of urology* 2013;66:352-6.

65. Aihara R, Blansfield JS, Millham FH, LaMorte WW, Hirsch EF. Fracture locations influence the likelihood of rectal and lower urinary tract injuries in patients sustaining pelvic fractures. *The Journal of trauma* 2002;52:205-8; discussion 8-9.
66. Demetriades D, Karaiskakis M, Toutouzas K, Alo K, Velmahos G, Chan L. Pelvic fractures: epidemiology and predictors of associated abdominal injuries and outcomes. *J Am Coll Surg* 2002;195:1-10.
67. Siegmeth A, Mullner T, Kukla C, Vecsei V. [Associated injuries in severe pelvic trauma]. *Der Unfallchirurg* 2000;103:572-81.
68. Rieger H, Dietl KH. Traumatic hemipelvectomy: an update. *The Journal of trauma* 1998;45:422-6.
69. Grotz MR, Allami MK, Harwood P, Pape HC, Krettek C, Giannoudis PV. Open pelvic fractures: epidemiology, current concepts of management and outcome. *Injury* 2005;36:1-13.
70. Kothe M, Lein T, Weber AT, Bonnaire F. [Morel-Lavallee lesion. A grave soft tissue injury]. *Der Unfallchirurg* 2006;109:82-6.
71. Sauerland S, Bouillon B, Rixen D, Raum MR, Koy T, Neugebauer EA. The reliability of clinical examination in detecting pelvic fractures in blunt trauma patients: a meta-analysis. *Arch Orthop Trauma Surg* 2004;124:123-8.
72. Shlamovitz GZ, Mower WR, Bergman J, Chuang KR, Crisp J, Hardy D, Sargent M, Shroff SD, Snyder E, Morgan MT. How (un)useful is the pelvic ring stability examination in diagnosing mechanically unstable pelvic fractures in blunt trauma patients? *The Journal of trauma* 2009;66:815-20.
73. Verbeek DO, Zijlstra IA, van der Leij C, Ponsen KJ, van Delden OM, Goslings JC. The utility of FAST for initial abdominal screening of major pelvic fracture patients. *World J Surg* 2014;38:1719-25.
74. Biffi WL, Smith WR, Moore EE, Gonzalez RJ, Morgan SJ, Hennessey T, Offner PJ, Ray CE, Jr., Franciose RJ, Burch JM. Evolution of a multidisciplinary clinical pathway for the management of unstable patients with pelvic fractures. *Ann Surg* 2001;233:843-50.
75. Courtney PM, Taylor R, Scolaro J, Donegan D, Mehta S. Displaced inferior ramus fractures as a marker of posterior pelvic injury. *Arch Orthop Trauma Surg* 2014;134:935-9.
76. Scheyerer MJ, Osterhoff G, Wehrle S, Wanner GA, Simmen HP, Werner CM. Detection of posterior pelvic injuries in fractures of the pubic rami. *Injury* 2012;43:1326-9.
77. Tile M. Acute Pelvic Fractures: II. Principles of Management. *J Am Acad Orthop Surg* 1996;4:152-61.
78. Schicho A, Schmidt SA, Seeber K, Olivier A, Richter PH, Gebhard F. Pelvic X-ray misses out on detecting sacral fractures in the elderly - Importance of CT imaging in blunt pelvic trauma. *Injury* 2016;47:707-10.
79. Nuchtern JV, Hartel MJ, Henes FO, Groth M, Jauch SY, Haegele J, Briem D, Hoffmann M, Lehmann W, Rueger JM, Grossterlinden LG. Significance of clinical examination, CT and MRI scan in the diagnosis of posterior pelvic ring fractures. *Injury* 2015;46:315-9.

80. Cosker TD, Ghandour A, Gupta SK, Tayton KJ. Pelvic ramus fractures in the elderly: 50 patients studied with MRI. *Acta Orthop* 2005;76:513-6.
81. Ingram MD, Watson SG, Skippage PL, Patel U. Urethral injuries after pelvic trauma: evaluation with urethrography. *Radiographics* 2008;28:1631-43.
82. Stahel PF, Hammerberg EM. History of pelvic fracture management: a review. *World J Emerg Surg* 2016;11:18.
83. Eberbach H, Hohloch L, Feucht MJ, Konstantinidis L, Sudkamp NP, Zwingmann J. Operative versus conservative treatment of apophyseal avulsion fractures of the pelvis in the adolescents: a systematical review with meta-analysis of clinical outcome and return to sports. *BMC Musculoskelet Disord* 2017;18:162.
84. Flint LM, Jr., Brown A, Richardson JD, Polk HC. Definitive control of bleeding from severe pelvic fractures. *Ann Surg* 1979;189:709-16.
85. Meighan A, Gregori A, Kelly M, MacKay G. Pelvic fractures: the golden hour. *Injury* 1998;29:211-3.
86. Mohanty K, Musso D, Powell JN, Kortbeek JB, Kirkpatrick AW. Emergent management of pelvic ring injuries: an update. *Can J Surg* 2005;48:49-56.
87. Stover MD, Summers HD, Ghanayem AJ, Wilber JH. Three-dimensional analysis of pelvic volume in an unstable pelvic fracture. *The Journal of trauma* 2006;61:905-8.
88. Baque P, Trojani C, Delotte J, Sejour E, Senni-Buratti M, de Baque F, Bourgeon A. Anatomical consequences of "open-book" pelvic ring disruption: a cadaver experimental study. *Surg Radiol Anat* 2005;27:487-90.
89. Ertel W, Keel M, Eid K, Platz A, Trentz O. Control of severe hemorrhage using C-clamp and pelvic packing in multiply injured patients with pelvic ring disruption. *Journal of orthopaedic trauma* 2001;15:468-74.
90. Kellam JF. The role of external fixation in pelvic disruptions. *Clinical orthopaedics and related research* 1989:66-82.
91. Moreno C, Moore EE, Rosenberger A, Cleveland HC. Hemorrhage associated with major pelvic fracture: a multispecialty challenge. *The Journal of trauma* 1986;26:987-94.
92. Ghanayem AJ, Wilber JH, Lieberman JM, Motta AO. The effect of laparotomy and external fixator stabilization on pelvic volume in an unstable pelvic injury. *The Journal of trauma* 1995;38:396-400; discussion -1.
93. Hsu SD, Chen CJ, Chou YC, Wang SH, Chan DC. Effect of Early Pelvic Binder Use in the Emergency Management of Suspected Pelvic Trauma: A Retrospective Cohort Study. *Int J Environ Res Public Health* 2017;14.
94. DeAngelis NA, Wixted JJ, Drew J, Eskander MS, Eskander JP, French BG. Use of the trauma pelvic orthotic device (T-POD) for provisional stabilisation of anterior-posterior compression type pelvic fractures: a cadaveric study. *Injury* 2008;39:903-6.
95. Tan EC, van Stigt SF, van Vugt AB. Effect of a new pelvic stabilizer (T-POD(R)) on reduction of pelvic volume and haemodynamic stability in unstable pelvic fractures. *Injury* 2010;41:1239-43.
96. Ganz R, Krushell RJ, Jakob RP, Kuffer J. The antishock pelvic clamp. *Clinical orthopaedics and related research* 1991:71-8.
97. Noordeen MH, Taylor BA, Briggs TW, Lavy CB. Pin placement in pelvic external fixation. *Injury* 1993;24:581-4.

98. Gansslen A, Pohlemann T, Krettek C. [A simple supraacetabular external fixation for pelvic ring fractures]. *Operative Orthopadie und Traumatologie* 2005;17:296-312.
99. Lindahl J, Hirvensalo E, Bostman O, Santavirta S. Failure of reduction with an external fixator in the management of injuries of the pelvic ring. Long-term evaluation of 110 patients. *The Journal of bone and joint surgery British volume* 1999;81:955-62.
100. Stuby FM, Lenz M, Doebele S, Agarwal Y, Skulev H, Ochs BG, Zwingmann J, Gueorguiev B. Symphyseal fixation in open book injuries cannot fully compensate anterior SI joint injury-A biomechanical study in a two-leg alternating load model. *PLoS One* 2017;12:e0184000.
101. Ohmori T, Kitamura T, Nishida T, Matsumoto T, Tokioka T. The impact of external fixation on mortality in patients with an unstable pelvic ring fracture: a propensity-matched cohort study. *The bone & joint journal* 2018;100-B:233-41.
102. Pohlemann T, Krettek C, Hoffmann R, Culemann U, Gansslen A. [Biomechanical comparison of various emergency stabilization measures of the pelvic ring]. *Der Unfallchirurg* 1994;97:503-10.
103. Egbers HJ, Draijer F, Havemann D, Zenker W. [Stabilizing the pelvic ring with the external fixator. Biomechanical studies and clinical experiences]. *Der Orthopade* 1992;21:363-72.
104. Bellabarba C, Ricci WM, Bolhofner BR. Distraction external fixation in lateral compression pelvic fractures. *Journal of orthopaedic trauma* 2006;20:S7-14.
105. Niola R, Pinto A, Sparano A, Ignarra R, Romano L, Maglione F. Arterial bleeding in pelvic trauma: priorities in angiographic embolization. *Curr Probl Diagn Radiol* 2012;41:93-101.
106. Fang JF, Shih LY, Wong YC, Lin BC, Hsu YP. Repeat transcatheter arterial embolization for the management of pelvic arterial hemorrhage. *The Journal of trauma* 2009;66:429-35.
107. Wong JM, Bucknill A. Fractures of the pelvic ring. *Injury* 2017;48:795-802.
108. Abrassart S, Stern R, Peter R. Unstable pelvic ring injury with hemodynamic instability: what seems the best procedure choice and sequence in the initial management? *Orthopaedics & traumatology, surgery & research : OTSR* 2013;99:175-82.
109. Riemer BL, Butterfield SL, Diamond DL, Young JC, Raves JJ, Cottingham E, Kislan K. Acute mortality associated with injuries to the pelvic ring: the role of early patient mobilization and external fixation. *The Journal of trauma* 1993;35:671-5; discussion 6-7.
110. Rommens P, Hartwig T, Wissing H, Schmit-Neuerburg KP. Diagnosis and treatment of unstable fractures of the pelvic ring. *Acta Chir Belg* 1986;86:352-9.
111. Enninghorst N, Toth L, King KL, McDougall D, Mackenzie S, Balogh ZJ. Acute definitive internal fixation of pelvic ring fractures in polytrauma patients: a feasible option. *The Journal of trauma* 2010;68:935-41.
112. Fulkerson EW, Egol KA. Timing issues in fracture management: a review of current concepts. *Bull NYU Hosp Jt Dis* 2009;67:58-67.
113. Katsoulis E, Giannoudis PV. Impact of timing of pelvic fixation on functional outcome. *Injury* 2006;37:1133-42.

114. Papakostidis C, Kanakaris NK, Kontakis G, Giannoudis PV. Pelvic ring disruptions: treatment modalities and analysis of outcomes. *International orthopaedics* 2009;33:329-38.
115. Draijer F, Egbers HJ, Havemann D. Quality of life after pelvic ring injuries: follow-up results of a prospective study. *Arch Orthop Trauma Surg* 1997;116:22-6.
116. Majeed SA. External fixation of the injured pelvis. The functional outcome. *The Journal of bone and joint surgery British volume* 1990;72:612-4.
117. Atlihan D, Tekdemir I, Ates Y, Elhan A. Anatomy of the anterior sacroiliac joint with reference to lumbosacral nerves. *Clinical orthopaedics and related research* 2000:236-41.
118. Chiu FY, Chuang TY, Lo WH. Treatment of unstable pelvic fractures: use of a transiliac sacral rod for posterior lesions and an external fixator for anterior lesions. *The Journal of trauma* 2004;57:141-4; discussion 4-5.
119. Routt ML, Jr., Nork SE, Mills WJ. High-energy pelvic ring disruptions. *Orthop Clin North Am* 2002;33:59-72, viii.
120. Fuchtmeier B, Maghsudi M, Neumann C, Hente R, Roll C, Nerlich M. [The minimally invasive stabilization of the dorsal pelvic ring with the transiliacal internal fixator (TIFI)--surgical technique and first clinical findings]. *Der Unfallchirurg* 2004;107:1142-51.
121. Routt ML, Jr., Simonian PT, Swiontkowski MF. Stabilization of pelvic ring disruptions. *Orthop Clin North Am* 1997;28:369-88.
122. Yinger K, Scalise J, Olson SA, Bay BK, Finkemeier CG. Biomechanical comparison of posterior pelvic ring fixation. *Journal of orthopaedic trauma* 2003;17:481-7.
123. Williams SK, Quinnan SM. Percutaneous Lumbopelvic Fixation for Reduction and Stabilization of Sacral Fractures With Spinopelvic Dissociation Patterns. *Journal of orthopaedic trauma* 2016;30:e318-24.
124. Mardian S, Schaser KD, Hinz P, Wittenberg S, Haas NP, Schwabe P. Fixation of acetabular fractures via the ilioinguinal versus pararectus approach: a direct comparison. *The bone & joint journal* 2015;97-B:1271-8.
125. Mardian S, Rau D, Hinz P, Wittenberg S, Giesecke M, Schwabe P. Acetabular Fractures in an Advanced Age - Current Knowledge and Treatment Options. *Acta chirurgiae orthopaedicae et traumatologiae Cechoslovaca* 2017;84:241-6.
126. Geeraerts T, Chhor V, Cheisson G, Martin L, Bessoud B, Ozanne A, Duranteau J. Clinical review: initial management of blunt pelvic trauma patients with haemodynamic instability. *Critical care* 2007;11:204.
127. Ware JE, Jr. SF-36 health survey update. *Spine* 2000;25:3130-9.
128. Ellert U, Kurth BM. [Health related quality of life in adults in Germany: results of the German Health Interview and Examination Survey for Adults (DEGS1)]. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz* 2013;56:643-9.
129. Pieroh P, Hoch A, Hohmann T, Gras F, Mardian S, Pflug A, Wittenberg S, Ihle C, Blankenburg N, Dallacker-Losensky K, Schroder T, Herath SC, Wagner D, Palm HG, Josten C, Stuby FM. Fragility Fractures of the Pelvis Classification: A Multicenter Assessment of the Intra-Rater and Inter-Rater Reliabilities and Percentage of Agreement. *The Journal of bone and joint surgery American volume* 2019;101:987-94.

130. Meissner A, Fell M, Wilk R, Boenick U, Rahmanzadeh R. [Comparison of internal fixation methods for the symphysis in multi-directional dynamic gait simulation]. *Der Unfallchirurg* 1998;101:18-25.
131. Lange RH, Hansen ST, Jr. Pelvic ring disruptions with symphysis pubis diastasis. Indications, technique, and limitations of anterior internal fixation. *Clinical orthopaedics and related research* 1985:130-7.
132. Matta JM. Indications for anterior fixation of pelvic fractures. *Clinical orthopaedics and related research* 1996:88-96.
133. Gill JR, Murphy C, Quansah B, Carrothers A. Management of the open book APC II pelvis: Survey results from pelvic and acetabular surgeons in the United Kingdom. *J Orthop* 2017;14:530-6.
134. Moed BR, Barla J, Israel HA, Tovar S, Joeris A. Current Trends in the Surgical Treatment of Open-Book Pelvic Ring Injuries: An International Survey Among Experienced Trauma Surgeons. *Journal of orthopaedic trauma* 2019;33 Suppl 2:S61-S5.
135. Duane TM, Rao IR, Aboutanos MB, Wolfe LG, Malhotra AK. Are trauma patients better off in a trauma ICU? *J Emerg Trauma Shock* 2008;1:74-7.
136. Hermans E, Biert J, Edwards MJR. Epidemiology of Pelvic Ring Fractures in a Level 1 Trauma Center in the Netherlands. *Hip Pelvis* 2017;29:253-61.
137. Kokubo Y, Oki H, Sugita D, Takeno K, Miyazaki T, Negoro K, Nakajima H. Functional outcome of patients with unstable pelvic ring fracture. *J Orthop Surg (Hong Kong)* 2017;25:2309499016684322.
138. Dujardin FH, Hossenbaccus M, Duparc F, Biga N, Thomine JM. Long-term functional prognosis of posterior injuries in high-energy pelvic disruption. *Journal of orthopaedic trauma* 1998;12:145-50; discussion 50-1.
139. Blackmore CC, Cummings P, Jurkovich GJ, Linnau KF, Hoffer EK, Rivara FP. Predicting major hemorrhage in patients with pelvic fracture. *J Trauma* 2006;61:346-52.
140. Stuby FM, Gonser CE, Baron HC, Stockle U, Badke A, Ochs BG. [Hardware removal after pelvic ring injury]. *Unfallchirurg* 2012;115:330-8.
141. Cannada LK, Barr J. Pelvic fractures in women of childbearing age. *Clinical orthopaedics and related research* 2010;468:1781-9.
142. Riehl JT. Caesarean section rates following pelvic fracture: a systematic review. *Injury* 2014;45:1516-21.
143. Alnaib M, Waters S, Shanshal Y, Caplan N, Jones S, St Clair Gibson A, Kader D. Combined pubic rami and sacral osteoporotic fractures: a prospective study. *J Orthop Traumatol* 2012;13:97-103.
144. Lau TW, Leung F. Occult posterior pelvic ring fractures in elderly patients with osteoporotic pubic rami fractures. *J Orthop Surg (Hong Kong)* 2010;18:153-7.
145. Bohme J, Hoch A, Josten C. [Osteoporotic fractures of the pelvis]. *Chirurg* 2012;83:875-81.
146. Fuchs T, Rottbeck U, Hofbauer V, Raschke M, Stange R. [Pelvic ring fractures in the elderly. Underestimated osteoporotic fracture]. *Der Unfallchirurg* 2011;114:663-70.
147. Rommens PM, Hofmann A. Comprehensive classification of fragility fractures of the pelvic ring: Recommendations for surgical treatment. *Injury* 2013;44:1733-44.



148. Rommens PM, Ossendorf C, Pairon P, Dietz SO, Wagner D, Hofmann A. Clinical pathways for fragility fractures of the pelvic ring: personal experience and review of the literature. *Journal of orthopaedic science : official journal of the Japanese Orthopaedic Association* 2015;20:1-11.
149. Josten C. [Osteoporotic fractures: What is new?]. *Chirurg* 2012;83:857.
150. Bible JE, Kadakia RJ, Wegner A, Richards JE, Mir HR. One-year mortality after isolated pelvic fractures with posterior ring involvement in elderly patients. *Orthopedics* 2013;36:760-4.
151. Hoch A, Ozkurtul O, Pieroh P, Josten C, Bohme J. Outcome and 2-Year Survival Rate in Elderly Patients With Lateral Compression Fractures of the Pelvis. *Geriatr Orthop Surg Rehabil* 2017;8:3-9.
152. Stuby FM, Schaffler A, Haas T, Konig B, Stockle U, Freude T. [Insufficiency fractures of the pelvic ring]. *Der Unfallchirurg* 2013;116:351-64; quiz 65-6.
153. Zwingmann J, Eberbach H, Strohm PC, Sudkamp NP, Lauritsen J, Schmal H. Decision-making, therapy, and outcome in lateral compression fractures of the pelvis - analysis of a single center treatment. *BMC Musculoskelet Disord* 2019;20:217.
154. Burge R, Dawson-Hughes B, Solomon DH, Wong JB, King A, Tosteson A. Incidence and economic burden of osteoporosis-related fractures in the United States, 2005-2025. *J Bone Miner Res* 2007;22:465-75.
155. O'Brien D P, Luchette FA, Pereira SJ, Lim E, Seeskin CS, James L, Miller S, Davis K, Jr., Hurst JM, Johannigman JA, Frame SB. Pelvic fracture in the elderly is associated with increased mortality. *Surgery* 2002;132:710-4; discussion 4-5.
156. Holstein JH, Culemann U, Pohlemann T, Working Group Mortality in Pelvic Fracture P. What are predictors of mortality in patients with pelvic fractures? *Clinical orthopaedics and related research* 2012;470:2090-7.
157. Giannoudis PV, Grotz MR, Tzioupis C, Dinopoulos H, Wells GE, Bouamra O, Lecky F. Prevalence of pelvic fractures, associated injuries, and mortality: the United Kingdom perspective. *J Trauma* 2007;63:875-83.
158. Toth L, King KL, McGrath B, Balogh ZJ. Efficacy and safety of emergency non-invasive pelvic ring stabilisation. *Injury* 2012;43:1330-4.
159. Carneiro MB, Alves DP, Mercadante MT. Physical therapy in the postoperative of proximal femur fracture in elderly. Literature review. *Acta Ortop Bras* 2013;21:175-8.
160. Pahor M. Falls in Older Adults: Prevention, Mortality, and Costs. *JAMA* 2019;321:2080-1.
161. Elzohairy MM, Salama AM. Open reduction internal fixation versus percutaneous iliosacral screw fixation for unstable posterior pelvic ring disruptions. *Orthopaedics & traumatology, surgery & research : OTSR* 2017;103:223-7.
162. Pohlemann T, Angst M, Schneider E, Ganz R, Tscherne H. Fixation of transforaminal sacrum fractures: a biomechanical study. *Journal of orthopaedic trauma* 1993;7:107-17.
163. Hoch A, Schneider I, Todd J, Josten C, Bohme J. Lateral compression type B 2-1 pelvic ring fractures in young patients do not require surgery. *Eur J Trauma Emerg Surg* 2018;44:171-7.

164. Bruce B, Reilly M, Sims S. OTA highlight paper predicting future displacement of nonoperatively managed lateral compression sacral fractures: can it be done? *Journal of orthopaedic trauma* 2011;25:523-7.
165. Gaski GE, Manson TT, Castillo RC, Slobogean GP, O'Toole RV. Nonoperative treatment of intermediate severity lateral compression type 1 pelvic ring injuries with minimally displaced complete sacral fracture. *Journal of orthopaedic trauma* 2014;28:674-80.
166. Sembler Soles GL, Lien J, Tornetta P, 3rd. Nonoperative immediate weightbearing of minimally displaced lateral compression sacral fractures does not result in displacement. *Journal of orthopaedic trauma* 2012;26:563-7.
167. Hagen J, Castillo R, Dubina A, Gaski G, Manson TT, O'Toole RV. Does Surgical Stabilization of Lateral Compression-type Pelvic Ring Fractures Decrease Patients' Pain, Reduce Narcotic Use, and Improve Mobilization? *Clinical orthopaedics and related research* 2016;474:1422-9.
168. Osterhoff G, Ossendorf C, Wanner GA, Simmen HP, Werner CM. Posterior screw fixation in rotationally unstable pelvic ring injuries. *Injury* 2011;42:992-6.
169. Schmal H, Froberg L, M SL, Sudkamp NP, Pohlemann T, Aghayev E, Goodwin Burri K. Evaluation of strategies for the treatment of type B and C pelvic fractures. *The bone & joint journal* 2018;100-B:973-83.
170. Wardle B, Eslick GD, Sunner P. Internal versus external fixation of the anterior component in unstable fractures of the pelvic ring: pooled results from a systematic review. *Eur J Trauma Emerg Surg* 2016;42:635-43.

### **Eidesstattliche Versicherung**

„Ich, Silvan Marius Wittenberg, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: *Klinische Ergebnisse nach Becken-B-Verletzungen* selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren/innen beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) werden von mir verantwortet.

[Für den Fall, dass Sie die Forschung für Ihre Promotion ganz oder teilweise in Gruppenarbeit durchgeführt haben:] Ich versichere ferner, dass ich die in Zusammenarbeit mit anderen Personen generierten Daten, Datenauswertungen und Schlussfolgerungen korrekt gekennzeichnet und meinen eigenen Beitrag sowie die Beiträge anderer Personen korrekt kenntlich gemacht habe. Texte oder Textteile, die gemeinsam mit anderen erstellt oder verwendet wurden, habe ich korrekt kenntlich gemacht.

Meine Anteile an etwaigen Publikationen zu dieser Dissertation entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem/der Erstbetreuer/in, angegeben sind. Für sämtliche im Rahmen der Dissertation entstandenen Publikationen wurden die Richtlinien des ICMJE (International Committee of Medical Journal Editors; [www.icmje.org](http://www.icmje.org)) zur Autorenschaft eingehalten. Ich erkläre ferner, dass ich mich zur Einhaltung der Satzung der Charité – Universitätsmedizin Berlin zur Sicherung Guter Wissenschaftlicher Praxis verpflichte.

Weiterhin versichere ich, dass ich diese Dissertation weder in gleicher noch in ähnlicher Form bereits an einer anderen Fakultät eingereicht habe.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§§156, 161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.“

Datum

Unterschrift

## **Tabellarischer Lebenslauf**

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

## Publikationsliste

1. Mardian S, Schaser KD, Hinz P, **Wittenberg S**, Haas NP, Schwabe P. *Fixation of acetabular fractures via the ilioinguinal versus pararectus approach: a direct comparison*. Bone Joint J 2015;97-B:1271-8.
2. Mardian S, Rau D, Hinz P, **Wittenberg S**, Giesecke M, Schwabe P. *Acetabular Fractures in an Advanced Age - Current Knowledge and Treatment Options*. Acta Chir Orthop Traumatol Cech 2017;84:241-6.
3. Pieroh P, Hoch A, Hohmann T, Gras F, Mardian S, Pflug A, **Wittenberg S**, Ihle C, Blankenburg N, Dallacker-Losensky K, Schroder T, Herath SC, Wagner D, Palm HG, Josten C, Stuby FM. *Fragility Fractures of the Pelvis Classification: A Multicenter Assessment of the Intra-Rater and Inter-Rater Reliabilities and Percentage of Agreement*. J Bone Joint Surg Am 2019;101:987-94.
4. **Wittenberg S**, Sentuerk U, Renner L, Weynandt C, Perka CF, Gwinner C. *[Importance of the tibial slope in knee arthroplasty]*. Orthopade 2020;49:10-7.



## **Danksagung**

An dieser Stelle möchte ich meinen herzlichen Dank nachstehenden Personen entgegenbringen, ohne deren Unterstützung und Hilfe die Anfertigung dieser Dissertation nicht zustande gekommen wäre:

Mein Dank gilt zunächst Herrn Univ.-Prof. Dr. med. Klaus-D. Schaser, unter dessen Führung diese Arbeit 2014 begonnen wurde, jedoch aufgrund seiner Berufung zum Ordinarius für Orthopädie & Unfallchirurgie an die Carl Gustav-Carus-Universität im Jahr 2015 nicht vollendet werden konnte. Es erfolgte der Betreuerwechsel meiner Dissertation zu Herrn Priv.-Doz. Dr. med. Sven Märdian, welchem ich für die weitere umfangreiche Betreuung, die freundliche Hilfe und kritische Auseinandersetzung herzlich danken möchte. Die zahlreichen Gespräche und Diskussionen auf fachlicher wie auch auf persönlicher Ebene werden mir immer positiv in Erinnerung bleiben.

Weiterhin möchte ich Frau Pia Hinz danken, welche in der Anfangsphase des Projektes den Acetabulum-Teil des Beckenfrakturregisters verantwortete und mir in vielerlei Hinsicht mit Tat und Rat zur Seite stand. Ich habe die Zusammenarbeit als sehr bereichernd empfunden und bin stolz darauf, dass auf der Grundlage dieser Arbeit eine Publikation zustande kommen konnte.

Tief verbunden und dankbar bin ich meiner Ehefrau, Ninon Weber-Wittenberg für ihre anhaltende hilfreiche Unterstützung und ihr Verständnis bei der Anfertigung dieser Dissertation.

Mein ganz besonderer Dank gilt meinen Eltern, Alexandra Deisinger-Wittenberg und Dr. med. Christoph Wittenberg, die mir meinen bisherigen Lebensweg ermöglichten und denen ich diese Arbeit widme.