

Aus der Klinik für Unfallchirurgie, Orthopädie und Plastische Chirurgie  
(Prof. Dr. med. W. Lehmann)  
der Medizinischen Fakultät der Universität Göttingen

**Insuffizienzfrakturen des Sakrums -  
operative Versorgung durch  
minimalinvasive dorsale winkelstabile  
Plattenosteosynthese**

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades  
der Medizinischen Fakultät der  
Georg-August-Universität zu Göttingen

vorgelegt von

**Imke Ulrike Schmerwitz**

aus

Salzgitter

Göttingen 2021

Dekan: Prof. Dr. med. W. Brück

**Betreuungsausschuss**

Betreuer/in Prof. Dr. med. W. Lehmann

Ko-Betreuer/in: Prof. Dr. med. A. Hell

**Prüfungskommission**

Referent/in Prof. Dr. med. W. Lehmann

Ko-Referent/in: .....

Drittreferent/in: .....

Datum der mündlichen Prüfung: .....

Hiermit erkläre ich, die Dissertation mit dem Titel „Insuffizienzfrakturen des Sakrums – operative Versorgung durch minimalinvasive dorsale winkelstabile Plattenosteosynthese“ eigenständig angefertigt und keine anderen als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet zu haben.

Göttingen, den .....  
.....  
(Unterschrift)

Die Daten, auf denen die vorliegende Arbeit basiert, wurden teilweise publiziert:

**Schmerwitz IU, Jungebluth P, Lehmann W, Hockertz TJ (2021):** Minimally invasive posterior locked compression plate osteosynthesis shows excellent results in elderly patients with fragility fractures of the pelvis. *Eur J Trauma Emerg Surg* 47, 37-45

**Schmerwitz IU, Jungebluth P, Bartels S, Hockertz TJ (2021):** Winkelstabile Platte zur Behandlung der Insuffizienzfrakturen des Beckens (minimally invasive posterior locked compression plate). *Unfallchirurg* DOI 10.1007/s00113-021-01039-x

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>	<b>I</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>III</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis.....</b>	<b>IV</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1 Epidemiologie.....	1
1.2 Anatomie .....	2
1.3 Traumamechanismus .....	3
1.4 Diagnostik.....	3
1.5 Klassifikation.....	4
1.5.1 Die AO Klassifikation (Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen) .....	4
1.5.2 Die FFP Klassifikation (Fragility Fractures of the Pelvis).....	5
1.6 Operationsmethoden .....	6
1.6.1 Perkutane iliosakrale Schraubenosteosynthese .....	6
1.6.2 Epi- oder transsakrale Positionsstabosteosynthese.....	6
1.6.3 Sakroplastie.....	6
1.6.4 Lumbo-pelvine Abstützung.....	7
1.6.5 Bridging Plate Osteosynthese.....	7
1.6.6 Fixateur externe und subcutaner Fixateur interne .....	7
1.6.7 Retrograde transpubische Schraubenosteosynthese .....	7
1.6.8 Plattenosteosynthese.....	7
1.7 Osteoporose .....	8
1.7.1 Epidemiologie der Osteoporose .....	8
1.7.2 Diagnostik und Therapie der Osteoporose.....	8
<b>2 Material und Methoden .....</b>	<b>10</b>
2.1 Einschlusskriterien .....	10
2.2 Patientenaquise .....	10
2.3 Diagnostik und Behandlung.....	10
2.4 Operationsmethode .....	11
2.5 Untersuchungsparameter .....	14
2.6 Statistische Auswertung.....	14
<b>3 Ergebnisse.....</b>	<b>15</b>
3.1 Demographische Daten.....	15
3.2 Radiologische Ergebnisse und Klassifikation .....	16
3.3 Intraoperative Ergebnisse, Operationsdaten .....	17
3.4 Krankenhausaufenthalt.....	18

---

3.5	Nachuntersuchung.....	21
4	<b>Diskussion.....</b>	<b>23</b>
5	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>30</b>
6	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>31</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: A: Zugangsweg, B: Schaffung des Plattenlagers, C: Biegen der Platte, D: Plattenlage.....	12
Abbildung 2: A: Platte, B: Lage der Platte am Modell, C: Platzieren der Schrauben.....	13
Abbildung 3: Rahmenverband.....	13
Abbildung 4: Patientenkollektiv.....	15
Abbildung 5: Beckenübersicht und CT präoperativ.....	16
Abbildung 6: Beckenübersicht, CT im Verlauf.....	16
Abbildung 7: Durchleuchtungszeit in Sekunden, Dosisflächenprodukt in cGycm <sup>2</sup> .....	17
Abbildung 8: allgemeine Komplikationen.....	18
Abbildung 9: operationsassoziierte Komplikationen.....	18
Abbildung 10: Krankenhausaufenthalt in Tagen.....	19
Abbildung 11: Wohnsituation vor dem Krankenhausaufenthalt.....	20
Abbildung 12: Wohnsituation nach Entlassung.....	20
Abbildung 13: Verlauf VAS Score.....	21
Abbildung 14: Barthelscore bei Entlassung und bei der Nachuntersuchung.....	22

## Abkürzungsverzeichnis

AHB	Anschlußheilbehandlung
AO	Arbeitsgemeinschaft Osteosynthesefragen
ASA	American Society of Anesthesiologists
ASIF/OTA	American Society for Internal Fixation/Orthopaedic Trauma Association
BMI	Body Mass Index
CT	Computertomographie
FFP	<i>Fragility Fractures of the Pelvis</i>
ICD	<i>International Classification of Diseases</i>
ICPM	<i>International Classification of Procedures in Medicine</i>
IPS	Iowa Pelvic Score
LCP	<i>Locked Compression Plate</i>
MIPLCP	<i>Minimally invasive posterior locked compression plate</i>
MRT	Magnetresonanztomographie
SD	<i>Standard Deviation</i>
SI	Sacro-Iliakal
TEP	Totalendoprothese
VAS	<i>Visual Analog Scale</i>



# 1 Einleitung

Bei der Betrachtung der Häufigkeitsgipfel von Beckenfrakturen fallen zwei Altersstufen ins Auge. Die eine ist die Gruppe im Alter zwischen dem 20. und 35. Lebensjahr, mit einer Betonung des männlichen Geschlechtes. Die andere ist die Gruppe um das 85. Lebensjahr mit einer Betonung des weiblichen Geschlechtes, auch als Altersfrakturen bezeichnet. In dieser Arbeit soll es um die Betrachtung dieser auch als „*Fragility Fractures*“ bezeichneten Entität gehen, die noch vergleichsweise wenig untersucht ist.

## 1.1 Epidemiologie

Die Prävalenz der Osteoporose-assoziierten Beckenfrakturen nimmt mit steigendem Alter zu (Burge et al. 2007; Cauley 2013; Singer et al. 2015; Otero et al. 2017). Obwohl ein Großteil der Frakturen die Wirbelsäule, die Hüfte und die Handgelenke betrifft, nimmt auch die Zahl der osteoporotischen Beckenfrakturen, oder auch Fragilitätsfrakturen des Beckens, zu (Parkkari et al. 1996; Boufous et al. 2005; Giannoudis 2006; Balogh et al. 2007; Islam et al. 2009; Soles und Ferguson 2012; Nanninga et al. 2014; Andrich et al. 2015; Kannus et al. 2015; Breuil et al. 2016). Die Inzidenz der Beckenfrakturen in der über sechzig jährigen deutschen Bevölkerung beträgt 22,4 pro 10000 Einwohner, es konnte ein signifikanter Einfluss von Alter und Geschlecht nachgewiesen werden (Andrich et al. 2015).

Weltweit steigt die Zahl der osteoporosebedingten Frakturen, bedingt durch den Anstieg des Anteils der älteren Bevölkerung (Johnell und Kanis 2006; Hernlund et al. 2013; Kowal et al. 2019). In der Folge wird auch die sozio-ökonomische Belastung durch die Erkrankung weiter zunehmen. In den Vereinigten Staaten von Amerika beträgt der Anteil der Beckenfrakturen an der Gesamtheit der osteoporotischen Frakturen bei den über fünfzig jährigen 7% und macht damit 5% der gesundheitspolitischen Gesamtkosten aus (Burge et al. 2007).

Studien konnten eine nicht unerhebliche Ein-Jahres-Sterblichkeit von 8-27% bei der, an Fragilitätsfrakturen des Beckens erkrankten Bevölkerung zeigen, wobei die Übersterblichkeit in den ersten vier Wochen nach der Verletzung am höchsten war (Center et al. 1999; Morris et al. 2000; Balogh et al. 2007; Deakin et al. 2007; Krappinger et al. 2009; Krappinger et al. 2010; Andrich et al. 2017). Die Zahl derjenigen, die von einer eigenständigen Lebenssituation in eine Pflegeeinrichtung ziehen mussten, war ähnlich hoch, wie bei Patienten, die aufgrund von Hüftgelenksfrakturen behandelt wurden

(Marrinan et al. 2015; Benzinger et al. 2019). Letztlich ist es aber noch nicht abschließend untersucht, welchen Anteil die Frakturen selbst und welchen Anteil Vorerkrankungen und schlechter Gesundheitszustand an der erhöhten Sterblichkeit haben (Schousboe 2017).

## 1.2 Anatomie

Das knöcherne Becken setzt sich aus den beiden Hüftbeinen, den *Ossa coxae*, und dem Kreuzbein, dem *Os sacrum*, zusammen. Ventral schließt sich der Ring über die *Symphysis pubica* und bildet den sogenannten Beckenring. Das *Os sacrum* ist dorsal über die Sakroiliakal Gelenke, auch SI Gelenke genannt, straff bandgeführt verbunden. Das *Os sacrum* selbst ist aus der Verschmelzung von fünf Wirbelkörpern entstanden und fungiert als Verbindungsstruktur zwischen Wirbelsäule und Beckenring.

Über die *Ossa coxae* findet die Kraftübertragung von den unteren Extremitäten über das *Os sacrum* auf die Wirbelsäule statt. Insbesondere der dorsale Beckenring ist von kräftigen Bandstrukturen überzogen. Insbesondere sind hier die *Ligamenta sacrotuberale*, *sacrospinale* und *ilio-lumbale*, sowie im Bereich der SI Gelenke die *Ligamenta sacroiliaca ventralia* und *dorsalia* zu erwähnen.

Im Bereich des vorderen Beckenringes sind die Bandstrukturen im Vergleich zum dorsalen Beckenring eher schwach ausgebildet. Im Bereich der Symphyse wird die Bandverbindung durch das *Ligamentum arcuatum pubis* und das *Ligamentum superius pubicus* gebildet.

Das *Os sacrum* bildet den dorsalen Anteil des knöchernen Beckenringes und weist mehrere Durchtrittspunkte für Nervenwurzeln, die *Foramina sacralia pelvina et dorsalia*, auf. Die laterale Fläche des Sacrums, auch *Massa lateralis* oder auch *Ala ossis sacri* bezeichnet, stellt beidseits über die *Facies auricularis* die gelenkige Verbindung zu den Darmbeinschaukeln her. Untersuchungen zur Verteilung der Knochendichte konnten eine Verminderung der Knochendichte im lateralen Anteil des Sacrums bei älteren Menschen feststellen. Dieser sogenannte „Alar void“ ist vermutlich für die typischen Frakturverläufe von osteoporotischen Beckenfrakturen verantwortlich (de Peretti et al. 1991; Wagner et al. 2018). Diese Bereiche verminderter Knochendichte lassen sich auch in der computertomographischen Darstellung des Beckens als Bereiche mit negativen Hounsfield Units darstellen (Wagner et al. 2016).

Das knöcherne Becken bildet den Ursprung einer Vielzahl von Muskelgruppen. Im vorderen und seitlichen Bereich die Muskeln der vorderen und seitlichen Bauchwand und dorsal, im Wesentlichen an der Rückfläche des *Os sacrum*, die Muskelzüge des *Erector spinae*. Die Hüftmuskeln bilden einen weiteren Anteil, der zu großen Teilen am Beckenring ansetzt. Nicht zu vergessen die Muskeln des Beckenbodens, die die wesentliche Funktion der Kontinenzhaltung haben.

Im Zusammenhang mit der Schlüsselfunktion des Beckens, die Verbindung zwischen Rumpf und unteren Extremitäten herzustellen, ist es von einer Vielzahl großer Leitungsbahnen (Nerven, Arterien und Venen) durchlaufen. Dies setzt dezidierte anatomisch-topographische Kenntnisse zur chirurgischen Versorgung von Beckenfrakturen voraus.

### 1.3 Traumamechanismus

Im Gegensatz zu den traumatischen Beckenfrakturen mit Häufigkeitsgipfel zwischen dem 20. und 35. Lebensjahr, welche schwere Unfälle mit hoher Gewalteinwirkung als Ursache haben, treten die osteoporotischen Beckenfrakturen meist im Rahmen von Bagatellverletzungen oder sogar spontan auf. Hier reicht oft ein Sturz aus dem Stand zurück auf den Stuhl oder eine unbedachte Bewegung aus, um die Beckenfraktur auszulösen. Als Risikofaktoren gelten weibliches Geschlecht, niedriger Body Mass Index (BMI), Begleiterkrankungen und Gangunsicherheiten. Auch Erkrankungen, die das Sturzrisiko erhöhen, wie Sehschwäche, Gehörschwäche, oder auch neurologische Erkrankungen, gehören zu den Risikofaktoren, sich eine Fragilitätsfraktur des Beckens zuzuziehen.

Einige Patienten stellen sich mit tief sitzendem Rückenschmerz erstmalig beim Hausarzt vor, ein Unfall ist oft nicht erinnerlich. Nach umfassender Diagnostik wird die ursächliche Beckenfraktur dann häufig erst in der Computertomographie (CT) oder manchmal auch erst in der Kernspintomographie (MRT) des Beckens festgestellt (Briem et al. 2007; Fuchs et al. 2013; Nüchtern et al. 2015).

### 1.4 Diagnostik

Zur Diagnostik der Beckenfrakturen steht an erster Stelle die konventionelle Beckenübersichtsaufnahme anteroposterior. Zur weiteren Abklärung von Verletzungen des vorderen und hinteren Beckenringes stehen mit der Inlet- und der Outletaufnahme des Beckens Spezialaufnahmen zur Verfügung. Die Inletaufnahme erlaubt eine weitere Beurteilung des vorderen Beckenringes, die Outletaufnahme lässt den hinteren Beckenring besser beurteilen.

Letztlich ist es aber durch die konventionell-radiologischen Aufnahmen oftmals nicht möglich, insbesondere Verletzungen des dorsalen Beckenringes ausreichend zu beurteilen, sodass eine Computertomographie des Beckens mittlerweile zum diagnostischen Standard gehört (Henes et al. 2012; Scheyerer et al. 2012; Nüchtern et al. 2015).

Bei jeder Darstellung einer Verletzung des vorderen Beckenringes auf einer Beckenübersichtsaufnahme sollte eine Computertomographie des Beckens angeschlossen werden, um die häufig ebenfalls nachweisbaren Verletzungen des hinteren Beckenringes nicht zu übersehen. Studien konnten eine Beteiligung des dorsalen Beckenringes bei einem Großteil der Patienten, mit initial vermuteter isolierter vorderer Beckenringfraktur, nachweisen (Cosker et al. 2005; Fuchs et al. 2011).

Die MRT hat bezüglich der Nachweisbarkeit von Beckenfrakturen eine höhere Sensitivität, sodass sie bei Patienten mit persistierenden Beschwerden und fehlender Nachweisbarkeit einer Fraktur im CT zusätzlich als Diagnostikum zur Anwendung kommen sollte, um den Patienten den oftmals langen Leidensweg bis zur Diagnosefindung zu ersparen (Cosker et al. 2005; Henes et al. 2012; Nüchtern et al. 2015). Die Dual-Energy-CT kann die Vorteile von MRT und CT in Zukunft vielleicht verbinden, steht aber aktuell noch nicht flächendeckend zur Verfügung (Hackenbroch et al. 2017b; Hackenbroch et al. 2017a; Palm et al. 2020).

Auch in der Skelettszintigraphie lassen sich Fragilitätsfrakturen des Beckens mit einer hohen Sensitivität nachweisen, allerdings mit einer niedrigen Spezifität. Die Rolle der Szintigraphie ist aufgrund der flächendeckend verfügbaren Kernspintomographen in den Hintergrund getreten und spielt im klinischen Alltag keine bedeutende Rolle mehr zur Diagnostik von osteoporotischen Beckenfrakturen (Lyders et al. 2010).

## 1.5 Klassifikation

Für die Klassifikation von Beckenverletzungen sind weltweit die Klassifikation von M. Tile, überarbeitet durch die ASIF/OTA, und die Young-Burgess Klassifikation verbreitet. Sie bilden die Grundlage weiterführender Klassifikationen (Tile 1988; Dalal et al. 1989a; Dalal et al. 1989b; Burgess et al. 1990; Tile 1996a; Tile 1996b).

Die Tile Klassifikation basiert auf der Untersuchung des Verletzungsmechanismus unter Berücksichtigung des einwirkenden Kraftvektors. Dabei wird zwischen einer anterior-posterioren Krafrichtung, einer lateralen Kompression und einer vertikalen Scherverletzung unterschieden. Die auf dem Verletzungsmechanismus basierte Einteilung kann als Grundlage aller derzeitigen Klassifikationen betrachtet werden, wobei weitere Unterteilungen nach Stabilitäts- und Instabilitätskriterien erfolgen (Pennal et al. 1980; Burgess et al. 1990).

### 1.5.1 Die AO Klassifikation (Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen)

Die AO Klassifikation basiert auf der Tile und Young/Burgess Klassifikation und wurde durch eine weitere Untergliederung in Hinblick auf Instabilitätskriterien von A bis C ergänzt, wobei die Instabilität von A nach C zunimmt. Nach Modifikation in den

Segmenten 6.1 (Becken) und 6.2 (Acetabulum) wurde das System der Klassifikation der Frakturen (AO Klassifikation) 1996 durch die Orthopedic Trauma Association leicht modifiziert und publiziert (Fracture and dislocation compendium. Orthopaedic Trauma Association Committee for Coding and Classification 1996). Typ A Frakturen stellen die stabilsten Verletzungen dar, die Integrität des dorsalen Beckenringes bleibt unangetastet. Bei der Typ B Verletzung ist der hintere Beckenring inkomplett und bei der Typ C Verletzung komplett unterbrochen.

### **1.5.2 Die FFP Klassifikation (Fragility Fractures of the Pelvis)**

Für die Klassifikation der Fragilitätsfrakturen des Beckens haben Rommens und Hofmann im Jahre 2013 die Comprehensive Classification or Fragility Fractures of the Pelvic Ring (FFP Klassifikation) vorgeschlagen (Rommens und Hofmann 2013).

Hierbei finden die typischen Frakturverläufe, die bei osteoporotischen Beckenfrakturen auftreten, Berücksichtigung.

Die Einteilung unterscheidet FFP 1, FFP 2, FFP 3 und FFP 4 Frakturen, wobei die Instabilität von FFP 1 nach FFP 4, zunimmt. Innerhalb der Gruppen werden Subgruppen von a bis b oder c gebildet.

Für die Durchführung der Klassifikation ist eine Computertomographie des Beckens Grundlage.

Als FFP 1 Fraktur werden Frakturen bezeichnet, bei denen lediglich der vordere Beckenring betroffen ist. FFP 1a beschreibt die unilaterale, FFP 1b die bilaterale Verletzung.

Als FFP 2 Frakturen werden undislozierte Verletzungen des dorsalen Beckenringes ohne (FFP 2a) oder mit Beteiligung des vorderen Beckenringes (FFP 2b und c) bezeichnet.

FFP 3 beschreibt dislozierte, unilaterale dorsale Verletzungen mit zusätzlicher Verletzung des vorderen Beckenringes, wobei FFP 3a die unilaterale Ilium Fraktur, FFP 3b die unilaterale iliosakrale Verletzung und FFP 3c die unilaterale Sakrumfraktur beschreibt.

FFP 4 Läsionen sind charakterisiert durch dislozierte bilaterale dorsale Frakturen. Dabei beschreibt FFP 4a die bilateralen Iliumfrakturen oder Sakroiliakalen Verletzungen, die FFP 4b Läsionen ist die bilaterale vertikale Fraktur durch die Massa lateralis des Sakrums mit einer zusätzlichen horizontalen Komponente, die die beiden Frakturlinien verbindet (H-Fraktur) und FFP 4c beschreibt bilaterale Frakturen mit unterschiedlichen Frakturverläufen auf beiden Seiten.

Die FFP 4b Fraktur ähnelt in ihrem Erscheinungsbild der Spino-pelvinen Dissoziation oder auch Suicide Jumper's Fracture, mit dem Unterschied, dass die Frakturen nicht durch die Neuroforamen, sondern durch die Massa lateralis des Sakrums laufen (Linstrom et al. 2009).

Verbunden mit der FFP Klassifikation sind Empfehlungen zur Therapie, wobei FFP 1 und FFP 2 Frakturen eher konservativ behandelt werden und FFP 3 und FFP 4 Frakturen eher operativ.

Aktuelle Studien konnten auch eine Tendenz nachweisen, dass sich die Frakturen im Verlauf verschlechtern und ein Upgrading in eine Klassifikationsgruppe mit höherer Instabilität stattfindet. Diese sogenannte Fracture Progression beschreibt eine Zunahme der Instabilität unter der konservativen Therapie. Dies führt im weiteren Verlauf unter Umständen zur Notwendigkeit der operativen Versorgung nach initial konservativer Therapie (Rommens et al. 2019; Ueda et al. 2019).

## **1.6 Operationsmethoden**

### **1.6.1 Perkutane iliosakrale Schraubenosteosynthese**

Die Iliosakrale Schraubenosteosynthese mit oder ohne Zementaugmentation stellt ein häufiges Operationsverfahren zur Versorgung von Beckenfrakturen dar. Bei dieser Operationsmethode werden ein oder zwei Teilgewindeschrauben perkutan durch das Iliosakralgelenk in den Wirbelkörper von S1 oder S2 eingebracht. Die Schrauben werden unter Bildwandlerkontrolle oder CT - gestützt über Führungsdrähte platziert. Einige Autoren bevorzugen die Zementaugmentation des Schraubengewindes, um die Festigkeit der Schrauben im osteoporotischen Knochen zu erhöhen (Routt et al. 1997; Wähnert et al. 2013).

### **1.6.2 Epi- oder transsakrale Positionsstabosteosynthese**

Bei dieser Operationsmethode werden ein oder zwei Gewindestäbe dorsokranial des Sakrums durch die beiden hinteren Beckenkämme platziert. Eine Kompression kann durch das bilaterale Anziehen der Schraubenmutter erreicht werden. Alternativ kann ein transsakraler Stab positioniert werden, der durch den Wirbelkörper von S1 läuft (Vanderschot et al. 2009; Mehling et al. 2012).

### **1.6.3 Sakroplastie**

Bei der Sakroplastie wird Knochenzement in den Frakturbereich appliziert, um eine Schmerzreduktion zu erzielen. Das Verfahren eignet sich nur für die Versorgung isolierter und inkompletter Frakturen. Randomisierte Studien über Komplikationen und Langzeitergebnisse stehen noch aus (Garant 2002).

#### **1.6.4 Lumbo-pelvine Abstützung**

Bei der lumbopelvinen oder auch spinopelvinen Abstützung werden Pedikelschrauben in den Pedikel des dritten und vierten oder vierten und fünften Lendenwirbelkörper eingebracht. Eine weitere, möglichst großkalibrige Schraube wird in die Spina iliaca posterior superior parallel zum Iliosakralgelenk platziert. Die eingebrachten Schrauben werden mittels Verbindungsstab verbunden und bilden einen Fixateur interne (Schildhauer et al. 1998; Culemann et al. 2010; Dudda et al. 2013; Roetman und Schildhauer 2013).

#### **1.6.5 Bridging Plate Osteosynthese**

Bei der Bridging Plate Osteosynthese wird über einen minimal-invasiven Zugang eine winkelstabile Platte der Stärke 4,5 LCP dorsal über das Sakrum platziert. Im Weiteren werden insgesamt vier winkelstabile Schrauben über das Iliosakralgelenk in das Sakrum eingebracht. Genaueres zur Operationsmethode findet sich im Material- und Methodenteil dieser Arbeit.

#### **1.6.6 Fixateur externe und subcutaner Fixateur interne**

Beim Fixateur externe erfolgt die Stabilisierung des Beckenringes durch Platzierung von Schanz-Schrauben bilateral im supraazetabulären Bereich. Die Verbindung der Schanz-Schrauben erfolgt durch Carbonstangen (Culemann et al. 2010).

Ähnlich erfolgt die Platzierung der Schrauben beim subkutanen Fixateur interne, mit dem Unterschied, dass die Verbindungsstange subkutan geführt wird (Kuttner et al. 2009; Gardner et al. 2012).

#### **1.6.7 Retrograde transpubische Schraubenosteosynthese**

Bei der transpubischen Schraubenosteosynthese wird eine Schraube minimalinvasiv von medial nach lateral in den Schambeinast eingebracht. Häufig wird dieses Verfahren in Kombination mit dorsalen Stabilisationsmethoden angewendet (Roult et al. 1995).

#### **1.6.8 Plattenosteosynthese**

Zur Versorgung von Frakturen im Bereich des vorderen und hinteren Beckenringes werden auch offene Repositionstechniken und Plattenosteosyntheseverfahren durchgeführt. Hierbei kommen 3,5 mm und 4,5 mm Platten zur Anwendung (Rommens et al. 2012).

## 1.7 Osteoporose

### 1.7.1 Epidemiologie der Osteoporose

Die Osteoporose bezeichnet eine systemische Skeletterkrankung, bei der es durch eine niedrige Knochenmasse und eine mikroarchitektonische Verschlechterung des Knochengewebes zu einem Anstieg der Knochenfragilität und der Neigung zu Frakturen kommt. Von einer manifesten Osteoporose spricht man, wenn bereits Frakturen als Folge der Osteoporose aufgetreten sind (Peck 1993).

Nach der WHO (World Health Organisation) aus dem Jahre 1994 liegt eine Osteoporose vor, wenn der Knochenmineralgehalt in einer DXA-Knochendichtemessung an der Lendenwirbelsäule und/oder am proximalen Femur um  $< -2,5$  Standardabweichungen vom Mittelwert einer 20-29 jährigen Frau abweicht (Kanis et al 1994).

Die in den Standardabweichungen angegebene Abweichung der Knochendichte wird als T-Score bezeichnet. Der T-Score muss aber immer im Gesamtkontext betrachtet werden, um andere Erkrankungen, die ebenfalls zu einer Abnahme der Knochendichte führen, auszuschließen.

Die Osteoporose ist eine der bedeutsamsten Volkskrankheiten in Deutschland. Nach Ergebnissen der BEST Studie sind circa 6,3 Millionen Menschen über 50 Lebensjahre betroffen. Das weibliche Geschlecht zeigt eine deutlich erhöhte Inzidenz. Frauen erkranken fünfmal häufiger als Männer. Innerhalb eines Jahres werden in Deutschland 885000 neue Fälle erwartet (Hadjj et al. 2013; Thomasius et al. 2018).

Etwa 20% der Patienten werden nach einer osteoporosebedingten Fraktur hilfsbedürftig, circa 30% pflegebedürftig und circa 15-20% der Patienten versterben im ersten postoperativen Jahr nach einer Schenkelhalsfraktur (Morin et al. 2012).

Insgesamt wird in den kommenden Jahren ein Anstieg der Inzidenz der Osteoporose, wie auch der osteoporoseassoziierten Frakturen, erwartet (Hadjj et al. 2013).

Im Jahre 2005 wurden die Kosten für die Versorgung osteoporotischer Frakturen in den USA auf 17 Billionen Dollar geschätzt (Burge et al. 2007).

### 1.7.2 Diagnostik und Therapie der Osteoporose

Zur Diagnostik der Osteoporose wird die Anamnese, die körperliche Untersuchung, Laborwertbestimmungen, Röntgenaufnahmen und die Osteodensitometrie genutzt.

Zur Therapie der Osteoporose wird nach individuellem Risikoprofil eine anschließende Therapieentscheidung nach der DVO-S-III-Leitlinie erhoben. Zur Therapie kommen Kalzium, Vitamin D3 Präparate, Alendronat, Bazedoxifen, Denosumab, Ibandronat,



---

Östrogene, Teriparatid, Parathormon, Raloxifen, Risedronat, Strontiumranelat und Zoledronat zur Anwendung (Hadji et al. 2013; Thomasius et al. 2018).

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Einschlusskriterien

In die Studie aufgenommen wurden alle Patienten, die im Zeitraum vom 1.5.2007 bis zum 31.5.2015 aufgrund einer Beckenfraktur im Städtischen Klinikum Wolfenbüttel durch *minimally invasive posterior locked compression plate* (MIPLCP) versorgt wurden. Einschlusskriterien waren Alter über 60 Jahre, Niedrigenergietrauma, alleinige Versorgung durch MIPLCP.

Patienten, bei denen zusätzliche Osteosyntheseverfahren zur Anwendung kamen, wurden von der Studie ausgeschlossen. Weitere Ausschlusskriterien waren Alter unter 60 Jahre, sowie Hochrasanztrauma oder pathologische Frakturen im Rahmen einer onkologischen Erkrankung.

### 2.2 Patientenaquise

Nach Eingang des positiven Votums der Ethikkommission der Universität Göttingen (Antragsnummer 8/9/15) führten wir eine retrospektive Analyse aller im Zeitraum vom 1.5.2007 bis zum 31.5.2015 im Städtischen Klinikum Wolfenbüttel aufgrund einer Beckenfraktur behandelten Patienten durch. Alle in diesem Zeitraum aufgenommenen Patienten wurden nach ICD (*International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems*) und ICPM (*International Classification of Procedures in Medicine*) Ziffern gefiltert. Zur Auswertung kamen nur die Patienten, die die Einschlusskriterien erfüllten und die der Nachuntersuchung schriftlich und mündlich zugestimmt hatten. Bei Patienten, die vor der Nachuntersuchung verstorben waren oder welche die Nachuntersuchung abgelehnt hatten, wurden lediglich die anonymisierten statistischen Daten bezüglich der Operationszeit, der Strahlenexposition und der Komplikationen erfasst.

### 2.3 Diagnostik und Behandlung

Alle Patienten, die sich in der Unfallaufnahme oder der unfallchirurgischen Sprechstunde nach Sturz oder persistierendem tiefen Kreuzschmerz vorstellten, wurden der in unserer Klinik angewandten standardisierten Behandlungsmethode unterzogen.

Erfasst wurden zunächst die anamnestischen Daten inklusive Unfallhergang, Medikamentenanamnese, vorbestehender Osteoporosemedikation und Begleiterkrankungen sowie bisheriger Krankheitsverlauf und körperliche Untersuchung. Die Röntgendiagnostik umfasste die Durchführung einer Beckenübersicht und im Falle des Nachweises einer Fraktur im Bereich des vorderen Beckenringes, die Durchführung einer Computertomographie des Beckens. Im Falle persistierender Schmerzen ohne augenscheinliche radiologische Veränderungen wurde eine Kernspintomographie des Beckens durchgeführt. Initial wurde ein konservativer Therapieversuch unternommen. Alle Patienten wurden unter physiotherapeutischer Anleitung und Schmerzmedikation mobilisiert. Im Falle einer verzögerten oder unzureichenden Mobilisierbarkeit, wurde den Patienten das operative Vorgehen vorgeschlagen. Im Falle einer Ablehnung der Operation, wurde die konservative Therapie fortgesetzt.

Bei fortschreitender Immobilität wurden die Patienten bei entsprechendem Therapiewunsch im weiteren Verlauf operativ versorgt. Weitere Indikationen zur operativen Versorgung waren radiologische Instabilitätskriterien und ein Fortschreiten der klinischen und radiologischen Befunde (*Fracture Progression*).

## 2.4 Operationsmethode

Die Operation wird in Bauchlage durchgeführt. Die Lagerung erfolgt auf einem röntgendurchlässigen Tisch, vorzugsweise auf einem Karbontisch. Vor dem sterilen Abwaschen und Abdecken des Operationsgebietes erfolgt eine Kontrolle der korrekten Lagerung und Röntgeneinstellung und eine Einmalantibiotikagabe als perioperative Prophylaxe. Lateral der Spina iliaca superior posterior werden zwei längsgerichtete Hautschnitte von etwa vier bis fünf Zentimeter Länge durchgeführt. Nach Durchtrennung des Subcutangewebes werden der Musculus gluteus maximus und die thorakolumbale Faszie dargestellt und scharf vom Knochen abgetrennt. Die Faszie wird mit Haltefäden gesichert, um eine subfasziale Lage der Platte sicherzustellen und um den Wundverschluss und die Readaptation der Faszie am Ende der Operation sicherzustellen.

Die Muskulatur wird mit Hilfe eines Rasparatoriums vom lateralen Aspekt der Beckenschaufel abgeschoben und ein subfaszialer Tunnel zur Gegenseite wird, ebenfalls mit Hilfe eines Rasparatoriums, geschaffen. Anschließend wird eine 4.5 Locked Compression Plate (LCP, Synthes), in der Regel eine 10-12 Loch Platte, im Bereich des dritten Plattenloches auf beiden Seiten um etwa 55-60° gebogen. Die Platte wird durch den vorbereiteten subfaszialen Tunnel zur Gegenseite durchgeschoben und um 180° gedreht (Abbildung 1).



Abbildung 1: A: Zugangsweg, B: Schaffung des Plattenlagers, C: Biegen der Platte, D: Plattenlage

Anschließend erfolgt eine radiologische Kontrolle der Plattenlage und die Platte wird zunächst mit zwei 4.5 er Kortikalisschrauben (65-80 mm), welche in der Beckenschaufel verankert werden, fixiert. Hierdurch wird die Platte dicht an das posteriore Ilium herangezogen. Im weiteren Operationsverlauf werden auf beiden Seiten der Platte zwei winkelstabile Schrauben im ersten und zweiten Plattenloch eingebracht (Abbildung 2). Das Bohren erfolgt durch drei Kortikalis, sodass die winkelstabilen Schrauben im Sakrum zu liegen kommen. Manchmal kommt es hierbei zu einer Behinderung durch die, zum Heranziehen der Platte eingebrachten Kortikalisschrauben. In diesem Fall wird die Platte zunächst durch eine monokortikale, winkelstabile Schraube gesichert, welche dann nach Entfernung der Kortikalisschraube gegen eine 45-50 mm lange winkelstabile Schraube ausgetauscht wird.

Nach einer Abschlussröntgenkontrolle erfolgt nun der Wundverschluss. Um den Behandlungserfolg sicherzustellen, ist ein adäquater Verschluss der Weichteile von essentieller Bedeutung. Hierzu wird die gesicherte Faszie des Musculus gluteus maximus und die thorakolumbale Faszie fest über der Platte verschlossen. Nach Wundspülung mit Kochsalzlösung erfolgt die Subcutannaht und die Hautnaht. Ein Rahmenverband (Abbildung 3), der die Wundflächen vor Druckbelastungen schützen soll, wird abschließend angelegt. Die Patienten werden sofort postoperativ mit physiotherapeutischer Hilfe und entsprechender Schmerzmedikation, mit schmerzadaptierter Vollbelastung mobilisiert.



Abbildung 2: A: Platte, B: Lage der Platte am Modell, C: Platzieren der Schrauben



Abbildung 3: Rahmenverband

## 2.5 Untersuchungsparameter

Wir untersuchten die demographischen Daten der Patientenkohorte. Erfasst wurden Alter, Geschlecht, Lebenssituation vor und nach der Operation und Pflegestufe. Des Weiteren wurde der Body Mass Index, die American Society of Anesthesiologists (ASA) Physical Status, die Zeit vom ersten Symptom bis zur Operation, Gesamtlänge des Krankenhausaufenthaltes, prä- und postoperativer Aufenthalt, sowie die aufgetretenen Komplikationen, erfasst.

Die durchgeführte Diagnostik wurde ausgewertet und Operationsdaten, wie Dauer der Operation, intraoperative Komplikationen, Durchleuchtungszeit und Durchleuchtungsdosis wurden dokumentiert. Daten zur Einnahme von Medikamenten zur Osteoporoseprophylaxe bei Aufnahme und zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung wurden festgehalten. Während des stationären Verlaufs wurde ein Schmerzscore erstellt (Visual Analog Score, VAS) und dokumentiert. Im Rahmen der Nachuntersuchung erfolgte eine Befragung zur Mobilität und zum Beschwerdebild, hierzu wurde mit den Patienten ein Fragebogen (Iowa Pelvic Score) durchgegangen und ausgefüllt. Der Iowa Pelvic Score beinhaltet neben Fragen zur Mobilität im Alltag auch Angaben zum Schmerzverhalten. Des Weiteren wurde auch der, im Rahmen des Aufenthaltes erhobene Barthelscore erfasst und ausgewertet.

Die Einteilung der Frakturen erfolgte anhand der Fragility Fractures of the Pelvis Klassifikation (FFP).

Im Rahmen der Auswertung analysierten wir die statistischen Daten des gesamten Patientenkollektivs in Bezug auf Lebenssituation vor und nach dem Unfall, Krankenhausaufenthalt, Zeit bis zur Operation, BMI, ASA, VAS, Operationszeit, Durchleuchtungszeit, antiosteoporotische Medikation und Komplikationen. Im Rahmen der Nachuntersuchung wurden VAS, Lebenssituation, Mobilitätsscore (Iowa Pelvic Score) und osteoporotische Medikation erfasst.

## 2.6 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mit einer Software R Version 3.4.0; R core team 2018 als rein deskriptive Statistik.

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Demographische Daten

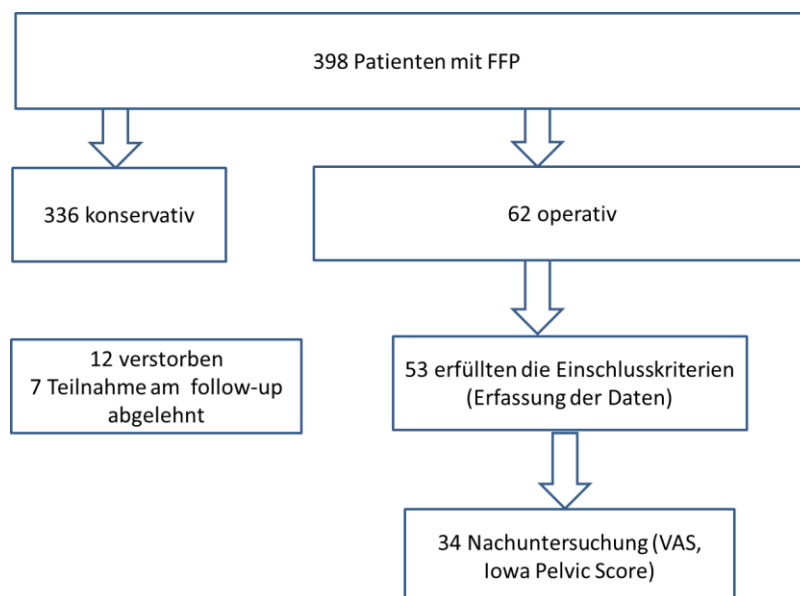


Abbildung 4: Patientenkollektiv

Im Beobachtungszeitraum vom 1.5.2007 bis zum 31.5.2015 wurden insgesamt 398 Patienten mit Fragilitätsfrakturen des Beckens (FFP) im Städtischen Klinikum Wolfenbüttel behandelt. 62 Patienten wurden operativ behandelt, 53 Patienten erfüllten die Einschlusskriterien und konnten in die Studie aufgenommen werden. Für die Nachuntersuchung standen 34 Patienten zur Verfügung, Zwölf Patienten waren zwischenzeitlich verstorben, sieben Patienten lehnten die Nachuntersuchung ab (Abbildung 4). Die ausgewertete Patientenkohorte setzte sich aus 48 Frauen (90,5%) und fünf Männern zusammen. Der Altersdurchschnitt lag bei 79,1 Jahren (SD 7,8).

Der Body Mass Index lag bei 24,8 (SD 4,5), die *American Society of Anesthesiologists* Klassifikation (ASA) bei 2,7 (SD 0,6).

### 3.2 Radiologische Ergebnisse und Klassifikation

Alle Patienten erhielten eine Computertomographie des Beckens zur Frakturklassifikation (Abbildung 5). Die Klassifikation erfolgte nach der *Fragility Fractures of the Pelvis* Klassifikation (FFP).

Im Kollektiv der Patienten fand sich ein Patient (2%) mit einer FFP 2a Fraktur, drei Patienten (6%) mit einer FFP 2b Fraktur, neun Patienten (19%) mit einer FFP 2c Fraktur. Ein Patient (2%) mit einer FFP 3b Fraktur, 21 Patienten (40%) mit einer FFP 3c Fraktur und 18 Patienten (31%) mit einer Fraktur der Klassifikation FFP 4b.



Abbildung 5: Beckenübersicht und CT präoperativ



Abbildung 6: Beckenübersicht, CT im Verlauf



### 3.3 Intraoperative Ergebnisse, Operationsdaten

Die Auswertung der intraoperativen Daten ergab eine Operationszeit (Schnitt-Naht-Zeit) von durchschnittlich 52,3 Minuten. Die Operationszeit variierte von 31 bis 117 Minuten. Die mittlere Durchleuchtungszeit betrug 9,42 Sekunden mit einer Standardabweichung von 9,6 Sekunden (Abbildung 7). Das mittlere Dosisflächenprodukt betrug 70,1 cGycm<sup>2</sup> (SD 58).

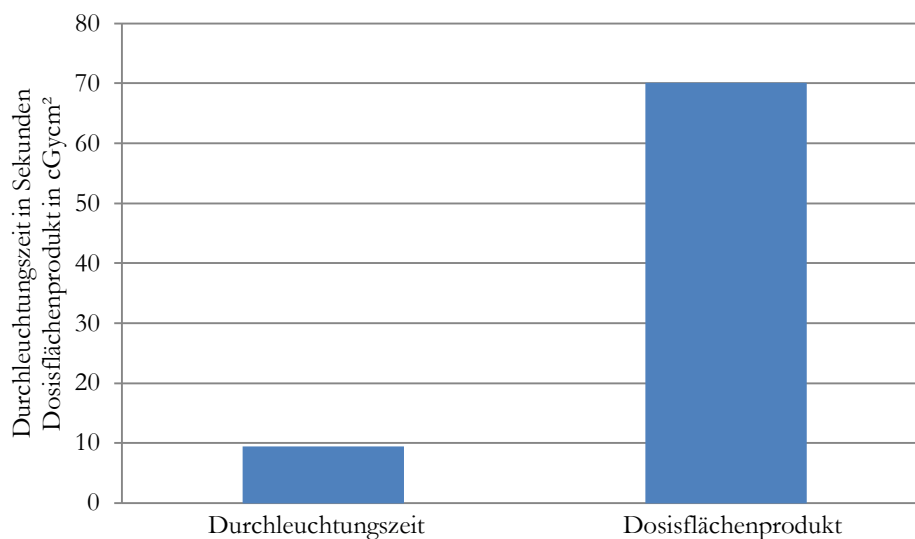


Abbildung 7: Durchleuchtungszeit in Sekunden, Dosisflächenprodukt in cGycm<sup>2</sup>

Bei sieben der 53 Patienten (13%) traten operationsassoziierte Komplikationen auf (Abbildung 9). Namentlich eine Schraubenfehllage, die klinisch asymptomatisch war und keiner operativen Revision bedurfte, eine Irritation der sakralen Nervenwurzel S1, drei Wundinfektionen mit Notwendigkeit der operativen Revision und zwei Fälle von verlängerter Wundsekretion, die spontan sistierten. Bei 85% der Patienten (n=45) traten keine operationsassoziierten Komplikationen auf. 36 von 53 Patienten wurden mittels 11-Loch LCP 4,5 (Synthes) versorgt (Abbildung 6), bei zehn Patienten kam eine 10-Loch Platte und bei sechs Patienten eine 12 -Loch Platte zur Anwendung. Eine Patientin wurde mittels 9-Loch Platte versorgt.

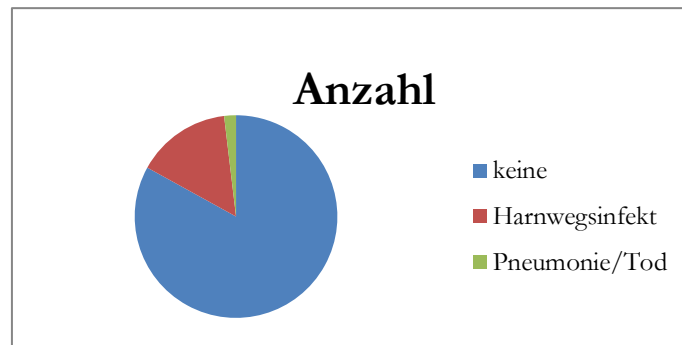


Abbildung 8: allgemeine Komplikationen

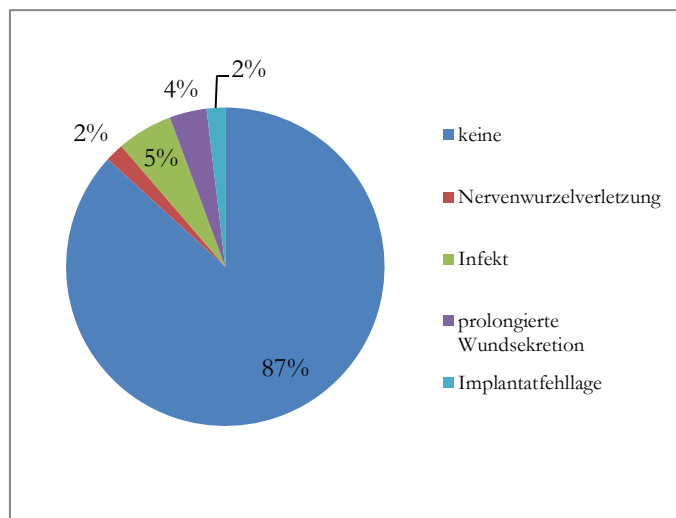


Abbildung 9: operationsassoziierte Komplikationen

### 3.4 Krankenhausaufenthalt

Der mittlere Krankenhausaufenthalt betrug 14,3 Tage (SD 4,9). Die mittlere Aufenthaltsdauer bis zur Operation betrug 6,7 Tage (SD 5,1). Die mittlere postoperative Aufenthaltsdauer betrug 14,3 Tage (SD 9,6) (Abbildung 10).

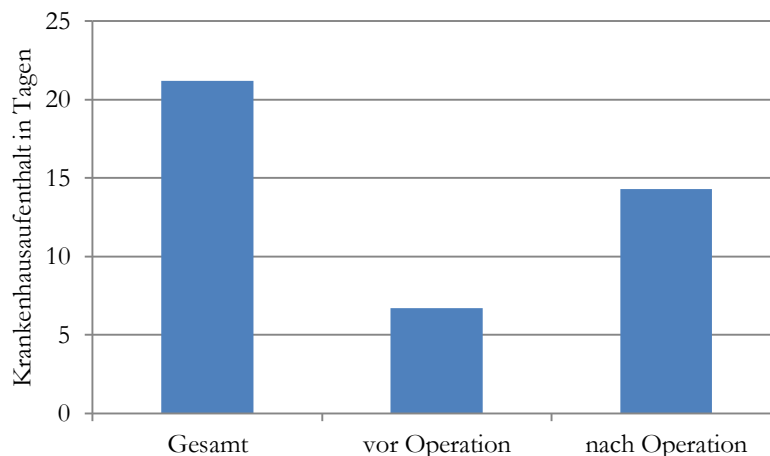


Abbildung 10: Krankenhausaufenthalt in Tagen

Auffällig war, dass die Zeit vom Beginn der Beschwerdesymptomatik bis zur definitiven Behandlung durchschnittlich 55,5 Tage (3-720) betrug. Ein Großteil der Patienten war bis zur Diagnosefindung lange in ambulanter Behandlung.

Während des stationären Aufenthaltes kam es bei acht der 53 Patienten (15%) zur Ausbildung eines Harnwegsinfektes, eine Patientin (1,8%) starb im Rahmen des Krankenhausaufenthaltes an einer Lungenentzündung (Abbildung 8).

Im Anschluss an den Krankenhausaufenthalt wurden 34 Patienten in eine Anschlussheilbehandlung (AHB) entlassen, davon konnten anschließend 21 Patienten wieder in ihre Wohnung zurückkehren und sich selbst versorgen. Drei Patienten zogen nach Abschluss der AHB in eine betreute Wohneinrichtung, eine Patientin bezog nach Abschluss der AHB wieder ihre Wohnung im betreuten Wohnen. Eine Patientin, die vor der Operation in der Kurzzeitpflege untergebracht war, konnte sich wieder selbst versorgen und in Ihr Haus zurückkehren. Acht Patienten wurden in eine Pflegeeinrichtung verlegt, davon fünf als Neuaufnahmen. Eine Patientin, die zuvor im Altenpflegeheim untergebracht war, verstarb.

Von den achtzehn Patienten, die keine AHB gemacht hatten, konnten sechzehn direkt nach Hause und eine Patientin in das betreute Wohnen entlassen werden. Eine weitere Patientin befand sich vor der Operation in der Kurzzeitpflege und konnte wieder in Ihre Wohnung zurückkehren.

Insgesamt waren 44 der Patienten nach der Operation in der Lage sich selbst zu versorgen oder brauchten nur wenig Unterstützung (Abbildung 11,12).

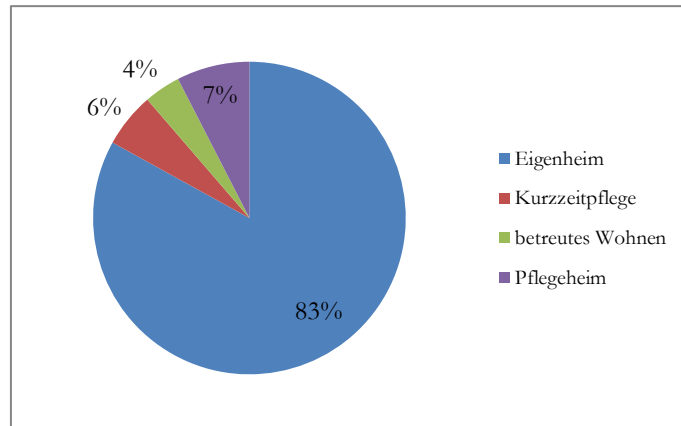


Abbildung 11: Wohnsituation vor dem Krankenhausaufenthalt

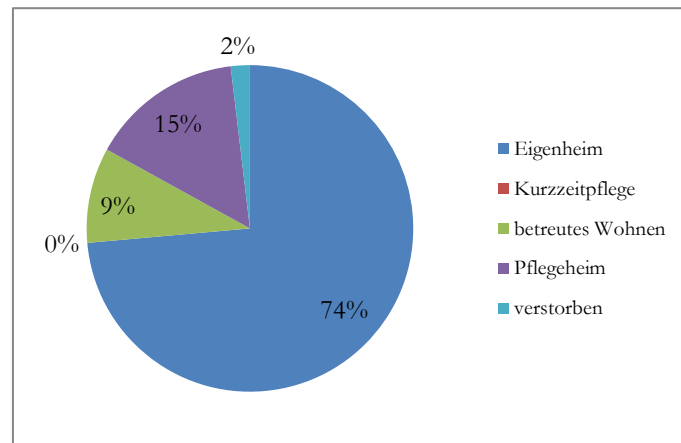


Abbildung 12: Wohnsituation nach Entlassung

Bei 31 der 53 Patienten liegt eine Dokumentation des Schmerzniveaus auf der Visual Analog Skala (VAS) bei Aufnahme vor und betrug im Mittel 4,8 (SD 2), das Schmerzniveau präoperativ konnte bei 34 der 53 Patienten erfasst werden und lag im Mittel bei 4,3 (SD 2,6). Vor Entlassung lag das Schmerzniveau bei erfassten 40 von 53 Patienten im Mittel bei 1,98 (SD 0,97) (Abbildung 13).

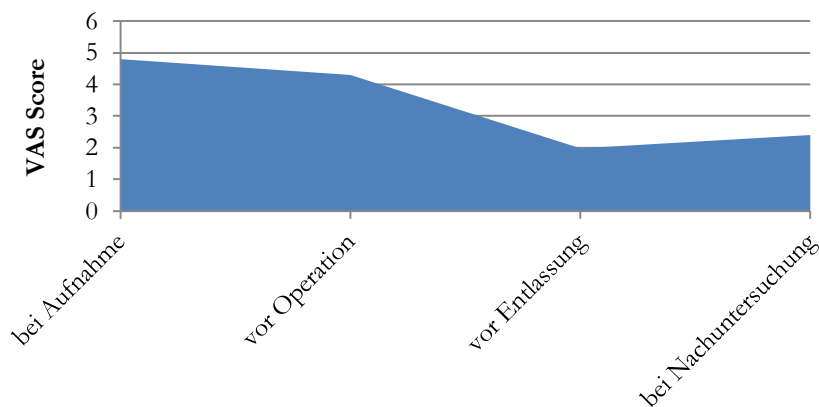


Abbildung 13: Verlauf VAS Score

### 3.5 Nachuntersuchung

Eine Untergruppe von 34 Patienten konnte nach im Mittel 31,5 Monaten (SD 19,33) nachuntersucht werden. Zwölf Patienten waren zwischenzeitlich verstorben, sieben lehnten die Nachuntersuchung ab. Im Rahmen der Nachuntersuchung erfolgte eine Erhebung des Beschwerdebildes. Hierzu wurde ein VAS Score, sowie der Iowa Pelvic Score (Fragebogen zur Erfassung des Mobilitätsgrades) erfasst. Die Patienten wurden des Weiteren zur aktuellen Osteoporosemedikation befragt. Das Schmerzniveau der 34 nachuntersuchten Patienten betrug zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung 2,4 auf einer Skala von 0-10, wobei 0 kein Schmerz und 10 maximal vorstellbarer Schmerz bedeutete.

Im Mittel erreichten die Patienten 85,6 (SD 11,1) Punkte im Iowa Pelvic Score, bei einer möglichen Höchstpunktzahl von 100.

Im Rahmen der Krankenhausbehandlung wurde zusätzlich bei 41 der Patienten der Barthel score (Score zur Einschätzung der Selbstständigkeit) erfasst, dieser betrug bei der Entlassung im Mittel 69,4 mit einer Standardabweichung von 18,8 (Abbildung 14). Im Rahmen der Nachuntersuchung betrug der Score bei den 34 nachuntersuchten Patienten im Mittel 95,1 (SD 8,4). Im Rahmen der Nachuntersuchung wurden 17 der 34 Patienten (55%) anti-osteoporotisch behandelt, während bei der stationären Aufnahme nur 3 Patienten (8,8%) entsprechende Medikamente einnahmen.

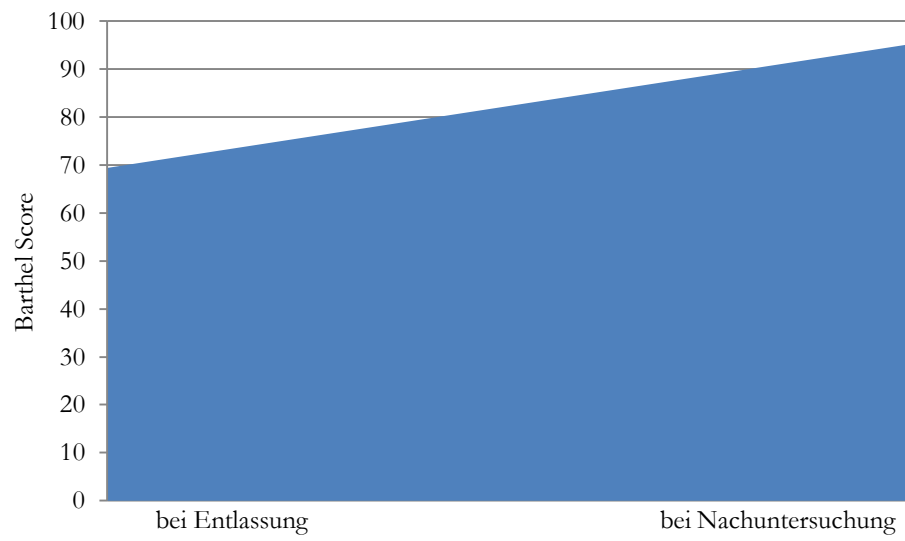


Abbildung 14: Barthelscore bei Entlassung und bei der Nachuntersuchung

## 4 Diskussion

Bisherige Studien bezüglich Fragilitätsfrakturen des Beckens (FFP) konnten einen starken Anstieg der Inzidenz der osteoporotischen Beckenfrakturen in den letzten Jahrzehnten aufzeigen (Nanninga et al. 2014; Andrich et al. 2015; Kannus et al. 2015). Wenngleich ein Teil des Anstieges auf die bessere Verfügbarkeit von Computertomographen und Kernspintomographen und auf die zunehmende Bekanntheit des Krankheitsbildes zurückzuführen ist, so bleibt die Bedeutung der Erkrankung immens. Bezüglich der operativen Behandlung existiert bis heute kein Goldstandard und Studien mit größeren Patientenkollektiven sind noch ausstehend.

Die am häufigsten angewandte Operationsmethode ist die Ilio-Sakrale Schraubenosteosynthese (SI Schrauben), bei der kannülierte Schrauben über Kirschnerdrähte bildwandlergestützt zur Stabilisation des dorsalen Beckenringes implantiert werden.

Weitere Operationsmethoden sind die SI Schrauben mit Zementaugmentation, die Implantation eines Transsakralstabes, die Sakroplastie, der Transiliakale Interne Fixateur, die Lumbo-pelvine Fixation mit und ohne Zementaugmentation, die intramedulläre Stabilisation durch ein photodynamisches Knochenstabilisationssystem (IlluminOss), sowie die überbrückende winkelstabile Plattenosteosynthese (MIPLCP) (Matta und Saucedo 1989; Routt et al. 1995; Nork et al. 2001; Butler et al. 2005; Tsiridis et al. 2007; Vanderschot et al. 2009; Zwingmann et al. 2009; Kobbe et al. 2012; Mehling et al. 2012; Wähnert et al. 2013; Zwingmann et al. 2013; Schmitz et al. 2015; Ayoub et al. 2016; Hockertz 2017; Schmitz et al. 2018; Oikonomidis et al. 2019).

Der Großteil der Fragilitätsfrakturen betrifft sowohl den vorderen, als auch den hinteren Beckenring, sodass es in einigen Fällen notwendig ist, auch eine ventrale Versorgung in Erwägung zu ziehen (Rommens et al. 2017a). Hierzu beschreibt die Arbeitsgruppe um Routt zum Beispiel die retrograde transpubische Schraubenosteosynthese (Routt et al. 1995).

In den letzten Jahren hat es sich mehr und mehr heraus kristallisiert, dass die osteoporotischen Beckenbrüche, oder auch Fragilitätsfrakturen des Beckens, eine von den traumatischen Beckenfrakturen zu unterscheidende Erkrankung sind. Sie unterscheiden sich nicht nur in Hinblick auf den Frakturmechanismus, sondern auch bezüglich der Knochenqualität und des Instabilitätsgrades (Rommens et al. 2015; Wagner et al. 2015). 2013 hat die Arbeitsgruppe um Rommens und Hofmann ein neues Klassifikationssystem für die Einteilung und Behandlung der Fragilitätsfrakturen entwickelt. Die sogenannte FFP Klassifikation (Frailty Fractures of the Pelvis Classification) scheint gut geeignet zu sein,

die operationsbedürftigen Frakturen von denen zu unterscheiden, die eher konservativ behandelt werden sollten (Rommens und Hofmann 2013). Auf Basis dieser Klassifikation können verschiedene Behandlungskonzepte dieses Krankheitsbildes erwogen werden.

In der Literatur zu den Fragilitätsfrakturen finden sich einige Studien zur Ilio-sakralen Schraubenosteosynthese mit und ohne Zementaugmentation, zur Osteosynthese durch Transsakralstab und zur lumbo-pelvinen Stabilisation (Tosounidis et al. 2007; Osterhoff et al. 2011b; Mehling et al. 2012; Zwingmann et al. 2013; Spalteholz und Gahr 2014; Stuby et al. 2014; Fischer et al. 2015; Hopf et al. 2015; Pieske et al. 2015; Schmitz et al. 2015; Collinge und Crist 2016; Sanders et al. 2016; Eckardt et al. 2017; Höch et al. 2017a; Rommens et al. 2017b; König et al. 2018; Noser et al. 2018; Teo et al. 2018; Balling 2019; Wong et al. 2019).

Die am häufigsten angewandte Methode scheint die ilio-sakrale Schraubenosteosynthese des dorsalen Beckenringes zu sein. Die Methode wird häufig auch in Zusammenhang mit zusätzlichen Osteosyntheseverfahren des vorderen Beckenringes durchgeführt. Hier kommen zusätzliche ventrale Plattenosteosynthesen, die retrograde transpubische Schraubenosteosynthese, wie auch die Versorgung durch Fixateur externe oder interne zur Anwendung.

Im Rahmen unseres Beobachtungszeitraums konnten wir 398 Fragilitätsfrakturen des Beckens erfassen, von denen 62 operativ versorgt werden mussten. 53 Patienten erfüllten die Einschlusskriterien, insgesamt 34 Patienten konnten nachuntersucht werden.

Wie auch in anderen Studien liegt das mittlere Alter im Senium. Bei unserem Patientenkollektiv betrug es 79 Jahre (60-99) (Hopf et al. 2015; Collinge und Crist 2016; Sanders et al. 2016; Eckardt et al. 2017; Höch et al. 2017a; König et al. 2018; Noser et al. 2018; Balling 2019; Wong et al. 2019). Auch bei der prozentualen Verteilung des Geschlechts waren unsere Daten ähnlich denen anderer Forschungsgruppen. So betrug der Anteil weiblicher Patienten 90% aller unserer Patienten (Roetman und Schildhauer 2013; Hopf et al. 2015; Collinge und Crist 2016; Sanders et al. 2016; Noser et al. 2018; Balling 2019; Wong et al. 2019).

In unseren Daten konnten wir einen mittleren Krankenhausaufenthalt von 6,7 Tagen bis zur operativen Versorgung feststellen, der mittlere Gesamtaufenthalt lag bei 21,2 Tagen. Diese Daten decken sich mit den Daten aus anderen Studien, in denen der Gesamtkrankenhausaufenthalt zwischen 13 und 23,7 Tagen betrug (Stuby et al. 2014; Hopf et al. 2015; Noser et al. 2018; Balling 2019; König et al. 2019). Die Arbeitsgruppe um Hopf beschreibt einen mittleren Krankenhausaufenthalt bis zur Operation von 9,2 Tagen, welches sich nicht relevant von unseren Daten unterscheidet.

Auffällig war in unserem Patientenkollektiv, dass eine große Anzahl an Patienten einen relativ langen ambulanten Krankheitsverlauf mit zunehmenden Beschwerden aufwies,



bevor es zur Diagnosefindung und zur operativen Versorgung kam. Hier wurden Zeiträume von bis zu zwei Jahren dokumentiert.

Teilweise lag das an der Tatsache, dass die Ursache der Beschwerden nicht sofort entdeckt wurde. Bei einer Patientin beispielsweise wurde die Fraktur erst mit deutlicher Verzögerung diagnostiziert und zwar im Rahmen einer szintigraphischen Untersuchung zur Abklärung bei Verdacht auf Hüft TEP Lockerung. Die weiterführend durchgeführten Kernspin- und Computertomographien des Beckens zeigten die Fragilitätsfraktur des Sakrums. Ob diese Beobachtung ein generelles regionales Phänomen ist, lässt sich anhand der aktuellen Literatur nicht abschließend beurteilen. Lediglich in zwei weiteren Studien wird auf diesen Aspekt eingegangen, Sanders et al und Eckhardt et al kommen dabei aber zu einem ähnlichen Ergebnis mit teilweise sehr langen ambulanten Verläufen vor der Operation (Sanders et al. 2016; Eckardt et al. 2017).

Bei Patienten, bei denen eine Fraktur im Bereich des vorderen Beckenringes festgestellt wird, sollte in jedem Fall eine computertomographische Untersuchung des Beckens angeschlossen werden, da häufig begleitende Verletzungen des hinteren Beckenringes festgestellt werden. Bei unklaren Beschwerden tief lumbal ist die Durchführung einer Kernspintomographie sinnvoll, um auch okkulte Frakturen nachweisen zu können. Neuere Studien zeigen, dass die Sensitivität des Dual-Energy-CTs zur Erfassung von okkulten Frakturen an die der Kernspintomographie heranreicht, diese Untersuchungsmethode ist jedoch noch nicht sehr weit verbreitet. Zur Planung der Behandlung und zur Klassifikation der Frakturen ist eine Computertomographie des Beckens erforderlich (Henes et al. 2012; Schmitz et al. 2015; Nüchtern et al. 2015; Rommens et al. 2015; Hackenbroch et al. 2017a; Hackenbroch et al. 2017b; Palm et al. 2020).

Im Rahmen der Nachbehandlung erfolgte die sofortige Mobilisation der Patienten mit Vollbelastung unter physiotherapeutischer Anleitung. In der Nachbehandlung beschreiben einige Studien zunächst Bettruhe oder Mobilisation mit Teilbelastung, dies könnte im weiteren Verlauf zu einer fortschreitenden Reduktion von Muskelmasse und Knochenqualität führen (Arduini et al. 2015; Rommens et al. 2015).

Die Daten unserer Studie zeigen im Mittel ein Intervall von 55,5 Tagen (3-720), das vom ersten Symptom bis zur Operation verging. Ähnliche Daten finden sich auch bei den Untersuchungen von Eckhardt et al. und Sanders et al. In diesen Kollektiven lag die Zeit vom ersten Symptom bis zur Operation im Mittel bei 33,1 (7-103) und 68 Tagen, wobei bei 10% der Patienten mehr als 104 Tage bis zur Operation vergingen (Sanders et al. 2016; Eckardt et al. 2017).

Zur Klassifikation kam bei unserer Studie die FFP (Fragility Fractures of the Pelvis Classification) zur Anwendung. In einer Vergleichsstudie zur klinischen Anwendung der FFP Klassifikation von Pieroh et al. konnten moderate Intra-rater und substantielle Inter-Rater Ergebnisse erzielt werden (Pieroh et al. 2019). Demnach scheint die FFP

Klassifikation im klinischen Alltag gut zur Diagnose- und Therapiefindung anwendbar zu sein (Rommens und Hofmann 2013; Wagner et al. 2015; Rommens et al. 2019).

Im Rahmen der Auswertung fanden wir in unserem Patientengut 13 Patienten mit einer FFP 2 (24,5%), 22 Patienten mit einer FFP 3 (41,5%) und 18 Patienten mit einer FFP 4 Fraktur (41,5%). In der Arbeitsgruppe um Noser wurden ähnliche Daten erhoben, hier entfielen 28,3% auf FFP 2, 41,3% auf FFP 3 und 28,3% auf FFP 4 Frakturen. In den Daten der Arbeitsgruppe um Eckhardt fanden sich 30% FFP 2, 20% FFP 3 und 50% FFP 4 Frakturen (Eckardt et al. 2017; Noser et al. 2018).

In unserem Behandlungsablauf wurde zunächst bei allen Patienten ein konservativer Behandlungsversuch unternommen. Kam es nach fünf bis sieben Tagen nicht zu einer deutlichen Besserung der Beschwerden und der Mobilität oder zu einer Beschwerdezunahme nach initial erfolgreicher konservativer Therapie, so wurde die operative Behandlung durch MIPLCP (minimal invasive posterior locked compression plate) vorgeschlagen. Bei ausgeprägter Dislokation der Frakturen im Bereich des vorderen Beckenringes oder einer vertikalen Instabilität erfolgte zusätzlich eine Osteosynthese des vorderen Beckenringes. Diese Patienten wurden von der Studie ausgeschlossen.

Unsere operativen Daten zeigten eine mittlere Durchleuchtungszeit von 9,42 Sekunden. Das Dosisflächenprodukt lag im Mittel bei 70,125 cGycm<sup>2</sup>, die mittlere Operationszeit betrug 52,3 Minuten (34-117). Die auffällig erhöhte Operationsdauer von 117 Minuten ist auf einen singulären Fall zurückzuführen, bei dem neben der Beckenversorgung simultan eine Hüft-TEP Implantation aufgrund einer gleichzeitig bestehenden ankylosierenden Coxarthrose durchgeführt wurde. Nimmt man diesen außergewöhnlichen Fall raus, lag die mittlere Operationsdauer bei 50,4 Minuten mit einer maximalen OP Dauer von 73 Minuten.

Andere Studien zeigten Operationszeiten zwischen 19 (Fixateur externe) und 220 Minuten (Hilgert et al. 2005; Gänsslen et al. 2006; Tosounidis et al. 2007; Osterhoff et al. 2011a; Arduini et al. 2015; Fischer et al. 2015; Pieske et al. 2015; Sanders et al. 2016; Eckardt et al. 2017; Höch et al. 2017b; König et al. 2018; Schmitz et al. 2018; Oikonomidis et al. 2019; Wong et al. 2019).

Wong et al. fanden eine mittlere Operationsdauer von 93,7 Minuten bei präoperativ geplanten und von 133 Minuten bei intraoperativ geplanten Eingriffen, die deutlich über den Operationszeiten unserer Studie lagen (Wong et al. 2019).

Die Technik der Ilio-sakralen Schraubenosteosynthese ist im Allgemeinen mit nicht unerheblichen Durchleuchtungszeiten und Strahlendosen vergesellschaftet. Leider gibt es nur wenige Studien, in denen die Durchleuchtungszeiten und Strahlendosen durchgehend erfasst werden.

In diesen werden Durchleuchtungszeiten von bis zu zwei Minuten und Dosisflächenprodukte bis 952,4 Gycm<sup>2</sup> beschrieben (Hilgert et al. 2005; Tosounidis et al.

2007; Fischer et al. 2015; Pieske et al. 2015; Sanders et al. 2016; Eckardt et al. 2017; Schmitz et al. 2018; Zwingmann et al. 2009; Teo et al. 2018).

In der Arbeitsgruppe um Fischer wurden für die operative Versorgung durchschnittliche Operationszeiten von 84 Minuten beschrieben, die Strahlendosis lag zwischen 53 und 2238 cGycm<sup>2</sup> (Zwingmann et al. 2013; Fischer et al. 2015; Teo et al. 2018). Osterhoff et al. beschreiben Operationszeiten von 16 Minuten pro Schraube, Daten zur Anwendung von Röntgenstrahlen wurden nicht beschrieben. Die Zeit bis zum Erreichen der Vollbelastung betrug 9 Wochen (Osterhoff et al. 2011a). Im Vergleich mit diesen Studien konnten wir niedrigere Durchleuchtungszeiten und moderate Operationszeiten nachweisen.

Eine Analyse der Tennessee Surgical Quality Collaborative konnte zeigen, dass die Länge der Operationszeit mit der Komplikationsrate und einem erhöhten Risiko korreliert. Demnach kann eine schnelle und effektive Operationsmethode zur Sicherheit des im Allgemeinen eher gebrechlichen Patientenkollektiv beitragen (Daley et al. 2015).

Unsere Daten konnten zeigen, dass auch Patienten mit einer Fraktur der Klassifikation FFP 4b erfolgreich durch MIPLCP versorgt werden können.

Für die sichere und komplikationsarme Platzierung der Ilio-sakralen Schrauben ist die sichere Einstellung der anatomischen Landmarken durch intraoperative Röntgenaufnahmen essentiell. Dies gestaltet sich im klinischen Alltag manchmal schwierig. Im Vergleich hierzu ist die Platzierung der MIPLCP relativ einfach und erfordert nicht in gleichem Maße die Bildwandlertechnik. Demzufolge sind die intraoperativen Durchleuchtungszeiten und auch die Operationszeiten vergleichsweise niedrig, dies führt zu einer geringeren Strahlenexposition des OP-personals und zu einer Reduktion der operationsbezogenen Komplikationsraten (Daley et al. 2015; Wagner et al. 2017; Teo et al. 2018).

Im Allgemeinen sind Minimalinvasive Zugänge bekannt für eine niedrigere Rate an lokalen Komplikationen, daher nutzten wir ebenfalls einen minimalinvasiven Zugangsweg (Shuler et al. 1995; Hilgert et al. 2005; Chen et al. 2013).

Winkelstabile Implantate haben sich bereits in anderen Körperregionen zur Versorgung der osteoporotischen Frakturen bewährt. Sie zeigen eine höhere Stabilität und Ausreißkraft als konventionelle Implantate, daher nutzten wir eine winkelstabile Platte zur Versorgung dieser Frakturen (Giannoudis 2006; Yaacobi et al. 2017; DeKeyser et al. 2019). In unserem Kollektiv sahen wir im Beobachtungszeitraum kein Implantatversagen im Sinne von Schraubenlockerungen oder Ausrissen oder Plattenbrüchen. Unsere Ergebnisse sind aus biomechanischer und klinischer Sicht äußerst vielversprechend, bedürfen aber selbstverständlich weiterer prospektiver Vergleichsstudien.

Bei der Auswertung unserer Daten fanden wir 13% operationsabhängige Komplikationen, Harnwegsinfekte sahen wir in 15%. Eine 99 jährige Patientin entwickelte im postoperativen

Verlauf eine Pneumonie und verstarb. Hopf et al hatte mit 20% vergleichbare Komplikationsraten (Hopf et al. 2015). In anderen Studien werden Komplikationsraten von Null bis 43,3% beschrieben (Tosounidis et al. 2007; Zwingmann et al. 2009; Longhino et al. 2011; Osterhoff et al. 2011b; Osterhoff et al. 2011a; Zwingmann et al. 2013; Arduini et al. 2015; Fischer et al. 2015; Hopf et al. 2015; Collinge und Crist 2016; Eckardt et al. 2017; Höch et al. 2017a; Noser et al. 2018; Schmitz et al. 2018; Teo et al. 2018; Balling 2019; Oikonomidis et al. 2019; Wong et al. 2019).

Die Arbeitsgruppe um Hopf et al. dokumentierte einen postoperativen Schmerzscore von 1,8 auf der Visual Analog Skala (VAS) und konnte eine deutliche Reduktion im Vergleich zu präoperativen Daten nachweisen. Daten unserer Studie zeigten mit einem VAS von 1,9 bei Entlassung und 2,4 in der nachuntersuchten Untergruppe, ähnliche Werte. Der Nachuntersuchungszeitraum betrug im Mittel 31,5 Monate. Präoperative lag der Wert auf der VAS Skala im Mittel bei 4,8, sodass eine signifikante Reduktion des Schmerzniveaus gezeigt werden konnte. In anderen Studien lag der VAS Score bei der Nachuntersuchung zwischen 0,36 und 3,4 (Zwingmann et al. 2013; Collinge und Crist 2016; Sanders et al. 2016; Höch et al. 2017a; Oikonomidis et al. 2019; Wong et al. 2019). Der Vergleich unserer Daten bei Entlassung (VAS 1,98) und bei der Nachuntersuchung (VAS 2,4) mit den Ergebnissen der Arbeitsgruppe um Hopf (VAS 1,73 bei Entlassung) zeigte keinen statistisch relevanten Unterschied. In beiden Gruppen konnte eine signifikante Reduktion des Schmerzniveaus erzielt werden (Hopf et al. 2015).

Alle Patienten unserer Studie wurden unmittelbar postoperativ mit Vollbelastung mobilisiert, sodass die Patienten frühzeitig bereits wieder ein gutes Mobilitätsniveau erreichen konnten. Das spiegelt sich auch in der Tatsache wider, dass nur ein geringer Anteil der Patienten in eine Pflegeeinrichtung entlassen werden musste und der überwiegende Anteil der Patienten (74%) in der Lage war sich auch weiterhin selbstständig versorgen zu können. In anderen Studien mussten bis zu 75% der Patienten in eine Pflegeeinrichtung entlassen werden (Noser et al. 2018).

Als Nachuntersuchungsscore entschieden wir uns, den Iowa Pelvic Score (IPS) zu nutzen. Der ausgewählte Score hat sich als sinnvolles Tool in diesem Zusammenhang herausgestellt, da eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse mit dem SF-36 besteht (Lefavre et al. 2014; Lumsdaine et al. 2016). Derzeit existiert noch kein durchgehend validiertes Scoringssystem für die Nachuntersuchung von Beckenfrakturen. Die Nachuntersuchungsbögen sind üblicherweise relativ einfach konfiguriert, mit Ja und Nein Antworten, die mit einem Punktwert versehen werden. Dies hat sich für die ältere Patientengruppe als gut anwendbar erwiesen. Studien von Lumsdaine et al und Lefavre et al. konnten für den Iowa Pelvic Score, wie auch für den Majeed Pelvic Score und den Orlando Pelvic Score einen Ceiling Effekt nachweisen, der anzeigt, dass die Aussagekraft für die Diskriminierung der besseren Ergebnisse eingeschränkt ist (Lefavre et al. 2014; Lumsdaine et al. 2016).

Unsere Daten zeigen einen Wert von 85,6 für den IPS im Rahmen der Nachuntersuchung, wobei Null das Schlechteste und 100 das best-mögliche Resultat ist.

Möglicherweise könnte es im Falle von instabilen Beckenfrakturen vorteilhaft sein und bessere funktionelle Ergebnisse zeigen, wenn frühzeitig die operative Behandlung vorgeschlagen würde. Ob durch eine frühzeitige Operation die mit 8-27% relativ hohe Mortalität der konservativ behandelten Patienten reduziert werden kann, sollte weiter untersucht werden (Morris et al. 2000; Balogh et al. 2007; Prieto-Alhambra et al. 2012; Andrich et al. 2015; Breuil et al. 2016; Andrich et al. 2017). Eine Studie von Ting et al konnte einen Unterschied in der Ein-Jahres-Mortalität zwischen mobilen Patienten (6,1%) und Patienten, die nur noch innerhalb ihrer Wohnung mobil sind (24,4%), zeigen. Es konnte gezeigt werden, dass die Wahrscheinlichkeit innerhalb eines Jahres zu versterben, bei nur noch wohnungsmobilen Patienten fünfmal so hoch ist (Ting et al. 2014).

Das korreliert mit Studien, die das Verhältnis zwischen fehlender Mobilität und Überleben untersucht haben (Studenski et al. 2011; Cummings et al. 2014). Ob die Messung der Schrittgeschwindigkeit (Gait-speed) und andere geriatrische Untersuchungsmethoden zur Bestimmung der Mobilität sich als wichtiges Nachuntersuchungsinstrument herausstellen und ob sie auch bei der Indikationsstellung hilfreich sein könnten, ist derzeit noch unklar.

Unveröffentlichte Daten unseres Gesamtkollektives zeigen eine niedrigere Ein-Jahres und Fünf-Jahres Mortalität (6% und 23%) in der operativ behandelten Gruppe im Vergleich zur konservativ behandelten Gruppe (18% und 34%). Allerdings könnte dies auch mit einer Ungleichheit in der Gruppenzusammensetzung zusammenhängen.

In der letzten Zeit mehren sich Vermutungen über einen möglichen Zusammenhang zwischen dem Vorliegen einer Arthrose des Hüftgelenkes, dem Vorhandensein einer Hüftprothese, vorherigen Wirbelsäulenoperationen und der Entwicklung einer Fragilitätsfraktur des Beckens. Allerdings ist bis dato noch unklar, welche Rolle das Krankheitsbild der Osteoporose oder andere Faktoren spielen. Hierzu existieren bis zum jetzigen Zeitpunkt noch keine Studien.

## 5 Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Arbeit wurden die Ergebnisse der operativen Versorgung von Fragilitätsfrakturen des Beckens durch eine minimalinvasive dorsale winkelstabile Beckenplatte im Zeitraum vom 1.5.2007 bis zum 31.5.2015 erfasst und ausgewertet. Einschlusskriterien waren Niedrigenergietrauma und Alter über 60 Jahre. Die operationsspezifischen und allgemeinen Komplikationen, die Frakturklassifikation, der Verlauf des VAS Scores und der Mobilität, die häusliche Versorgungssituation vor und nach dem Krankenhausaufenthalt und die intraoperativen Daten (Durchleuchtungszeit, Operationszeit) wurden erfasst und ausgewertet.

In der Auswertung der Ergebnisse und dem Vergleich mit alternativen Behandlungsmethoden, wie der Iliosakralen Schraubenosteosynthese, konnte gezeigt werden, dass die Versorgung durch MIPLCP (minimally invasive posterior locked compression plate) ähnliche Ergebnisse bezüglich Komplikationsraten und VAS Verlauf bei deutlich reduzierten Durchleuchtungszeiten und vergleichbar schneller Operationszeit bietet. Die anschließend sofort mögliche Mobilisation mit Vollbelastung erleichtert die weitere Versorgung der Patienten und führt zum Wiedererlangen der Selbstständigkeit.

Zusammenfassend eignet sich diese Operationsmethode gut zur Versorgung der osteoporotischen Beckenfraktur und ist insbesondere in Hinblick auf den Strahlenschutz anderen Verfahren überlegen. Das Verfahren sollte, neben allen anderen Verfahren in das Standardrepertoire der unfallchirurgischen Versorgung aufgenommen werden.

## 6 Literaturverzeichnis

- Andrich S, Haastert B, Neuhaus E, Neidert K, Arend W, Ohmann C, Grebe J, Vogt A, Jungbluth P, Rösler G, et al. (2015): Epidemiology of pelvic fractures in Germany: Considerably high incidence rates among older people. *PLoS One* 10, e0139078
- Andrich S, Haastert B, Neuhaus E, Neidert K, Arend W, Ohmann C, Grebe J, Vogt A, Jungbluth P, Thelen S, et al. (2017): Excess mortality after pelvic fractures among older people. *J Bone Miner Res* 32, 1789-1801
- Arduini M, Saturnino L, Piperno A, Iundusi R, Tarantino U (2015): Fragility fractures of the pelvis: treatment and preliminary results. *Aging Clin Exp Res* 27, 61-67
- Ayoub MA, Gad HM, Seleem OA (2016): Standalone percutaneous transiliac plating of vertically unstable sacral fractures: outcomes, complications, and recommendations. *Eur Spine J* 25, 1153–1162
- Balling H (2019): Additional sacroplasty does not improve clinical outcome in minimally invasive navigation-assisted screw fixation procedures for nondisplaced insufficiency fractures of the sacrum. *Spine (Phila Pa 1976)* 44, 534–542
- Balogh Z, King KL, Mackay P, McDougall D, Mackenzie S, Evans JA, Lyons T, Deane SA (2007): The epidemiology of pelvic ring fractures: A population-based study. *J Trauma - Inj Infect Crit Care* 63, 1066-1073
- Benzinger P, Riem S, Bauer J, Jaensch A, Becker C, Büchele G, Rapp K (2019): Risk of institutionalization following fragility fractures in older people. *Osteoporos Int* 30, 1363–1370
- Boufous S, Finch C, Lord S, Close J (2005): The increasing burden of pelvic fractures in older people, New South Wales, Australia. *Injury* 36, 1323-1329
- Breuil V, Roux CH, Carle GF (2016): Pelvic fractures: Epidemiology, consequences, and medical management. *Curr Opin Rheumatol* 28, 442–447
- Briem D, Lehmann W, Grossterlinden L, Begemann PG, Amling M, Rueger JM (2007): Folgen der okkulten Insuffizienzfraktur des Os sacrum. *Unfallchirurg* 110, 1068–1071
- Burge R, Dawson-Hughes B, Solomon DH, Wong JB, King A, Tosteson A (2007): Incidence and economic burden of osteoporosis-related fractures in the United States, 2005-2025. *J Bone Miner Res* 22, 465–475
- Burgess AR, Eastridge BJ, Young JWR, Ellison TS, Ellison PS, Poka A, Bathon GH, Brumback RJ (1990): Pelvic ring disruptions: Effective classification system and treatment protocols. *J Trauma* 30, 848-856
- Butler CL, Given CA, Michel SJ, Tibbs PA (2005): Percutaneous sacroplasty for the treatment of sacral insufficiency fractures. *Am J Roentgenol* 184, 1956-1959

- Cauley JA (2013): Public health impact of osteoporosis. *Journals Gerontol - Ser A Biol Sci Med Sci* 68, 1243–1251
- Center JR, Nguyen T V., Schneider D, Sambrook PN, Eisman JA (1999): Mortality after all major types of osteoporotic fracture in men and women: An observational study. *Lancet* 353, 878-882
- Chen PH, Hsu WH, Li YY, Huang TW, Huang TJ, Peng KT (2013): Outcome analysis of unstable posterior ring injury of the pelvis: Comparison between percutaneous iliosacral screw fixation and conservative treatment. *Biomed J* 36, 289-294
- Collinge CA, Crist BD (2016): Combined percutaneous iliosacral screw fixation with sacroplasty using resorbable calcium phosphate cement for osteoporotic pelvic fractures requiring surgery. *J Orthop Trauma* 30, e217-e222
- Cosker TDA, Ghandour A, Gupta SK, Tayton KJJ (2005): Pelvic ramus fractures in the elderly: 50 patients studied with MRI. *Acta Orthop* 76, 513-516
- Culemann U, Scola A, Tosounidis G, Pohlemann T, Gebhard F (2010): Versorgungskonzept der Beckenringverletzung des alten Patienten: Eine Herausforderung. *Unfallchirurg* 113, 258-271
- Cummings SR, Studenski S, Ferrucci L (2014): A diagnosis of disability—Giving mobility clinical visibility. *JAMA* 311, 2061-2062
- Dalal S, Burgess A, Young J, Siegel J, Dunham C, Gens D (1989a): Pelvic fracture: Classification by force vector and relationship to associated injuries. *J Orthop Trauma* 3, 179
- Dalal SA, Burgess AR, Siegel JH, Young JW, Brumback RJ, Poka A, Dunham CM, Gens D, Bathon H (1989b): Pelvic fracture in multiple trauma: Classification by mechanism is key to pattern of organ injury, resuscitative requirements, and outcome. *J Trauma* 29, 981-1000
- Daley BJ, Cecil W, Clarke PC, Cofer JB, Guillaumondegui OD (2015): How slow is too slow? Correlation of operative time to complications: An analysis from the tennessee surgical quality collaborative. *Journal of the American College of Surgeons* 220, 550–558
- Deakin DE, Boulton C, Moran CG (2007): Mortality and causes of death among patients with isolated limb and pelvic fractures. *Injury* 38, 312-317
- DeKeyser GJ, Kellam PJ, Haller JM (2019): Locked plating and advanced augmentation techniques in osteoporotic fractures. *Orthop Clin North Am* 50, 159-169
- Dudda M, Hoffmann M, Schildhauer TA (2013): Sakrumfrakturen und lumbopelvine Instabilitäten bei Beckenringverletzungen: Klassifikation und biomechanische Aspekte. *Unfallchirurg* 116, 972–978
- Eckardt H, Egger A, Hasler RM, Zech CJ, Vach W, Suhm N, Morgenstern M, Saxer F (2017): Good functional outcome in patients suffering fragility fractures of the pelvis treated with percutaneous screw stabilisation: Assessment of complications and factors influencing failure. *Injury* 48, 2717-2723
- Fischer S, Vogl TJ, Marzi I, Zangos S, Wichmann JL, Scholtz JE, Mack MG, Schmidt S, Eichler K (2015): Percutaneous cannulated screw fixation of sacral fractures and sacroiliac joint



- disruptions with CT-controlled guidewires performed by interventionalists: Single center experience in treating posterior pelvic instability. *Eur J Radiol* 84, 290-294
- Fracture and dislocation compendium. Orthopaedic Trauma Association Committee for coding and classification (1996) *J Orthop Trauma* 10, 1-154
- Fuchs T, Rottbeck U, Hofbauer V, Raschke M, Stange R (2011): Pelvic ring fractures in the elderly : Underestimated osteoporotic fracture. *Unfallchirurg* 114, 663-670
- Fuchs Tomas, Freistühler Markus, Raschke Markus (2013): Geriatrische Beckenfrakturen. *Deutscher Ärzte-Verlag* 2, 248–252
- Gänsslen A, Pohlemann T, Krettek C (2006): Supraacetabular external fixation for pelvic ring fractures. *Eur J Trauma* 32, 489–499
- Garant M (2002): Sacroplasty: A new treatment for sacral insufficiency fracture. *J Vasc Interv Radiol* 13, 1265-1267
- Gardner MJ, Mehta S, Mirza A, Ricci WM (2012): Anterior pelvic reduction and fixation using a subcutaneous internal fixator. *J Orthop Trauma* 26, 314-321
- Giannoudis PV, Schneider E (2006): Principles of fixation of osteoporotic fractures. *J Bone Jt Surg* 88B, 1272-1278
- Hackenbroch C, Riesner H-J, Lang P, Stuby F, Beer M, Friemert B, Palm H-G (2017a): Dual energy computed tomography in musculoskeletal imaging, with focus on fragility fractures of the pelvis. *Z Orthop Unfall* 115, 708-715
- Hackenbroch C, Riesner HJ, Lang P, Stuby F, Danz B, Friemert B, Palm HG (2017b): Dual energy CT - a novel technique for diagnostic testing of fragility fractures of the pelvis. *Z Orthop Unfall* 155, 27–34
- Hadji P, Klein S, Gothe H, Häussler B, Kless T, Schmidt T, Steinle T, Verheyen F, Linder R (2013): The epidemiology of osteoporosis-bone evaluation study (BEST): An analysis of routine health insurance data. *Dtsch Arztebl Int* 110, 52-57
- Henes FO, Nüchtern J V., Groth M, Habermann CR, Regier M, Rueger JM, Adam G, Großterlinden LG (2012): Comparison of diagnostic accuracy of Magnetic Resonance Imaging and Multidetector Computed Tomography in the detection of pelvic fractures. *Eur J Radiol* 81, 2337-2342
- Hernlund E, Svedbom A, Ivergård M, Compston J, Cooper C, Stenmark J, McCloskey E V., Jönsson B, Kanis JA (2013): Osteoporosis in the European Union: Medical management, epidemiology and economic burden: A report prepared in collaboration with the International Osteoporosis Foundation (IOF) and the European Federation of Pharmaceutical Industry Associations (EFPIA). *Arch Osteoporos* 8, 136
- Hilgert RE, Finn J, Egbers H-J (2005): Technik der perkutanen SI-Verschraubung mit Unterstützung durch konventionellen C-Bogen Fluoroscopic guidance of percutaneous iliosacral screw insertion: landmarks for safe positioning. *Unfallchirurg* 108, 954-960

- Höch A, Pieroh P, Henkelmann R, Josten C, Böhme J (2017a): In-screw polymethylmethacrylate-Augmented sacroiliac screw for the treatment of fragility fractures of the pelvis: A prospective, observational study with 1-year follow-up. *BMC Surg* 17, 132
- Höch A, Özkurtul O, Pieroh P, Josten C, Böhme J (2017b): Outcome and 2-Year survival rate in elderly patients with lateral compression fractures of the pelvis. *Geriatr Orthop Surg Rehabil* 8, 3-9
- Hockertz T (2017): Bridging Plate Osteosynthesis. In: Rommens P, Hofmann A (Hrsg): *Fragility Fractures of the Pelvis*. Springer, Cham. 2017, 157-164
- Hopf JC, Krieglstein CF, Müller LP, Koslowsky TC (2015): Percutaneous iliosacral screw fixation after osteoporotic posterior ring fractures of the pelvis reduces pain significantly in elderly patients. *Injury* 46, 1631-1636
- Islam S, Liu Q, Chines A, Helzner E (2009): Trend in incidence of osteoporosis-related fractures among 40- to 69-year-old women: Analysis of a large insurance claims database, 2000-2005. *Menopause* 16, 77-83
- Johnell O, Kanis JA (2006): An estimate of the worldwide prevalence and disability associated with osteoporotic fractures. *Osteoporos Int* 17, 1726-1733
- Kanis JA, Melton LJ, Christiansen C, Johnston CC, Khaltav N (1994): The diagnosis of osteoporosis. *J Bone Min Res* 9, 1137-1141
- Kannus P, Parkkari J, Niemi S, Sievänen H (2015): Low-Trauma pelvic fractures in elderly Finns in 1970–2013. *Calcif Tissue Int* 97, 577-580
- Kobbe P, Hockertz I, Sellei RM, Reilmann H, Hockertz T (2012): Minimally invasive stabilisation of posterior pelvic-ring instabilities with a transiliac locked compression plate. *Int Orthop* 36, 159–164
- König A, Oberkircher L, Beeres FJP, Babst R, Ruchholtz S, Link BC (2019): Cement augmentation of sacroiliac screws in fragility fractures of the pelvic ring—A synopsis and systematic review of the current literature. *Injury* 50, 1411-1417
- König MA, Hediger S, Schmitt JW, Jentzsch T, Sprengel K, Werner CML (2018): In-screw cement augmentation for iliosacral screw fixation in posterior ring pathologies with insufficient bone stock. *Eur J Trauma Emerg Surg* 44, 203-210
- Kowal P, Naidoo N, Chatterji S (2012): WHO's Study on Global AGEing and Adult Health (SAGE). *Int J Epidemiol* 41, 1639-1649
- Krappinger D, Struve P, Schmid R, Kroesslhuber J, Blauth M (2009): Fractures of the pubic rami: A retrospective review of 534 cases. *Arch Orthop Trauma Surg* 129, 1685
- Krappinger D, Kammerlander C, Hak DJ, Blauth M (2010): Low-energy osteoporotic pelvic fractures. *Arch Orthop Trauma Surg* 130, 1167-1175
- Kuttner M, Klaiber A, Lorenz T, Füchtmeier B, Neugebauer R (2009): The pelvic subcutaneous cross-over internal fixator. *Unfallchirurg* 112, 661-669

- Lefavre KA, Slobogean GP, Ngai JT, Broekhuysen HM, O'Brien PJ (2014): What outcomes are important for patients after pelvic trauma? Subjective responses and psychometric analysis of three published pelvic-specific outcome instruments. *J Orthop Trauma* 28, 23-27
- Linstrom NJ, Heiserman JE, Kortman KE, Crawford NR, Baek S, Anderson RL, Pitt AM, Karis JP, Ross JS, Lekovic GP, Dean BL (2009): Anatomical and biomechanical analyses of the unique and consistent locations of sacral insufficiency fractures. *Spine (Phila Pa 1976)* 34, 309-315
- Longhino V, Bonora C, Sansone V (2011): The management of sacral stress fractures: Current concepts. *Clin Cases Miner Bone Metab* 8, 19-23
- Lumsdaine W, Weber DG, Balogh ZJ (2016): Pelvic fracture-specific scales versus general patient reported scales for pelvic fracture outcomes: a systematic review. *ANZ J Surg* 86, 687-690
- Lyders EM, Whitlow CT, Baker MD, Morris PP (2010): Imaging and treatment of sacral insufficiency fractures. *Am J Neuroradiol* 31, 201-210
- Marrinan S, Pearce MS, Jiang XY, Waters S, Shanshal Y (2015): Admission for osteoporotic pelvic fractures and predictors of length of hospital stay, mortality and loss of independence. *Age Ageing* 44, 258-261
- Matta JM, Saucedo T (1989): Internal fixation of pelvic ring fractures. *Clin Orthop Relat Res* 242, 83-97
- Mehling I, Hessmann MH, Rommens PM (2012): Stabilization of fatigue fractures of the dorsal pelvis with a trans-sacral bar. Operative technique and outcome. *Injury* 43, 446-451
- Morin S, Lix LM, Azimae M, Metge C, Majumdar SR, Leslie WD (2012): Institutionalization following incident non-traumatic fractures in community-dwelling men and women. *Osteoporos Int* 23, 2381-2386
- Morris RO, Sonibare A, Green DJ, Masud T (2000): Closed pelvic fractures: Characteristics and outcomes in older patients admitted to medical and geriatric wards. *Postgrad Med J* 76, 646-650
- Nanninga GL, de Leur K, Panneman MJM, van der Elst M, Hartholt KA (2014): Increasing rates of pelvic fractures among older adults: The Netherlands, 1986-2011. *Age Ageing* 43, 648-653
- Nork SE, Jones CB, Harding SP, Mirza SK, Routt MLC (2001): Percutaneous stabilization of U-shaped sacral fractures using iliosacral screws: Technique and early results. *J Orthop Trauma* 15, 238-246
- Noser J, Dietrich M, Tiziani S, Werner CML, Pape HC, Osterhoff G (2018): Mid-term follow-up after surgical treatment of fragility fractures of the pelvis. *Injury* 49, 2032-2035
- Nüchtern J V., Hartel MJ, Henes FO, Groth M, Jauch SY, Haegle J, Briem D, Hoffmann M, Lehmann W, Rueger JM, Großterlinden LG (2015): Significance of clinical examination, CT and MRI scan in the diagnosis of posterior pelvic ring fractures. *Injury* 46, 315-319
- Oikonomidis S, Alabsi A, Ashqar G, Graf M, Sobottke R (2019): Intramedullary stabilization of pubic ramus fractures in elderly patients with a photodynamic bone stabilization system (IlluminOss). *Geriatr Orthop Surg Rehabil* 10, 1-8

- Osterhoff G, Ossendorf C, Wanner GA, Simmen HP, Werner CML (2011a): Percutaneous iliosacral screw fixation in S1 and S2 for posterior pelvic ring injuries: Technique and perioperative complications. *Arch Orthop Trauma Surg* 131, 809-813
- Osterhoff G, Ossendorf C, Wanner GA, Simmen HP, Werner CML (2011b): Posterior screw fixation in rotationally unstable pelvic ring injuries. *Injury* 42, 992-996
- Otero B, Níguez I, Colomé C, Cuerva M, Canals M, Fernández-Alonso AM, Gonzalez D, Castro A, Serbassi M, Bravo MJ, et al. (2017): Osteoporotic fractures prevalence in postmenopausal women. *Maturitas* 100, 155
- Palm HG, Lang P, Hackenbroch C, Sailer L, Friemert B (2020): Dual-energy CT as an innovative method for diagnosing fragility fractures of the pelvic ring: a retrospective comparison with MRI as the gold standard. *Arch Orthop Trauma Surg* 140, 473–480
- Parkkari J, Kannus P, Niemi S, Pasanen M, Järvinen M, Lühje P, Vuori I (1996): Secular trends in osteoporotic pelvic fractures in Finland: Number and incidence of fractures in 1970-1991 and prediction for the future. *Calcif Tissue Int* 59, 79-83
- Peck WA (1993): Consensus development conference: diagnosis, prophylaxis and treatment of osteoporosis. *Am J Med* 94, 646-650
- Pennal GF, Tile M, Waddell JP, Garside H (1980): Pelvic disruption: assessment and classification. *Clin Orthop Relat Res* 151, 12-21
- de Peretti F, Argenson C, Bourgeon A, Omar F, Eude P, Aboulker C (1991): Anatomic and experimental basis for the insertion of a screw at the first sacral vertebra. *Surg Radiol Anat* 13, 133-137
- Pieroh P, Höch A, Hohmann T, Gras F, Märdian S, Pflug A, Wittenberg S, Ihle C, Blankenburg N, Dallacker-Losensky K, et al. (2019): Fragility fractures of the pelvis classification. *J Bone Jt Surg* 101, 987–994
- Pieske O, Landersdorfer C, Trumm C, Greiner A, Wallmichrath J, Gottschalk O, Rubenbauer B (2015): CT-guided sacroiliac percutaneous screw placement in unstable posterior pelvic ring injuries: Accuracy of screw position, injury reduction and complications in 71 patients with 136 screws. *Injury* 46, 333-339
- Prieto-Alhambra D, Avilés FF, Judge A, Van Staa T, Nogués X, Arden NK, Díez-Pérez A, Cooper C, Javaid MK (2012): Burden of pelvis fracture: A population-based study of incidence, hospitalisation and mortality. *Osteoporos Int* 23, 2797-2803
- Roetman B, Schildhauer TA (2013): Lumbopelvine Stabilisierung bei bilateraler lumbosakraler Instabilität: Indikationen und Technik. *Unfallchirurg* 116, 991–999
- Rommens PM, Hofmann A (2013): Comprehensive classification of fragility fractures of the pelvic ring: Recommendations for surgical treatment. *Injury* 44, 1733-1744
- Rommens PM, Wagner D, Hofmann A (2012): Surgical management of osteoporotic pelvic fractures: A new challenge. *Eur J Trauma Emerg Surg* 38, 499-509

- Rommens PM, Ossendorf C, Paireon P, Dietz S-O, Wagner D, Hofmann A (2015): Clinical pathways for fragility fractures of the pelvic ring: personal experience and review of the literature. *J Orthop Sci* 20, 1–11
- Rommens PM, Wagner D, Hofmann A (Hrsg): *Fragility fractures of the pelvis*. Springer Cham 2017
- Rommens PM, Wagner D, Hofmann A (2017b): Minimal invasive surgical treatment of fragility fractures of the pelvis. *Chir* 112, 524-537
- Rommens PM, Arand C, Hopf JC, Mehling I, Dietz SO, Wagner D (2019): Progress of instability in fragility fractures of the pelvis: An observational study. *Injury* 50, 1966-1973
- Roult ML, Simonian PT, Mills WJ (1997): Iliosacral screw fixation: early complications of the percutaneous technique. *J Orthop Trauma* 11, 584–589
- Roult MLC, Simonian PT, Grujic L (1995): The retrograde medullary superior pubic ramus screw for the treatment of anterior pelvic ring disruptions: A new technique. *J Orthop Trauma* 2, 35-44
- Sanders D, Fox J, Starr A, Sathy A, Chao J (2016): Transsacral-transiliac screw stabilization: Effective for recalcitrant pain due to sacral insufficiency fracture. *J Orthop Trauma* 30, 469–473
- Scheyerer MJ, Osterhoff G, Wehrle S, Wanner GA, Simmen HP, Werner CML (2012): Detection of posterior pelvic injuries in fractures of the pubic rami. *Injury* 43, 1326-1329
- Schildhauer TA, Josten C, Muhr G (1998): Triangular osteosynthesis of vertically unstable sacrum fractures: A new concept allowing early weight-bearing. *J Orthop Trauma* 12, 307-314
- Schmitz P, Baumann F, Acklin YP, Gueorguiev B, Nerlich M, Grechenig S, Müller MB (2018): Clinical application of a minimally invasive cement-augmentable Schanz screw rod system to treat pelvic ring fractures. *Int Orth* 43, 697-703
- Schmitz P, Baumann F, Grechenig S, Gaensslen A, Nerlich M, Müller MB (2015): The cement-augmented transiliacal internal fixator (caTIFD): an innovative surgical technique for stabilization of fragility fractures of the pelvis. *Injury* 46, 114-120
- Schousboe JT (2017): Mortality after osteoporotic fractures: What proportion is caused by fracture and is preventable? *J Bone Miner Res* 32, 1783-1788
- Shuler TE, Boone DC, Gruen GS, Peitzman AB (1995): Percutaneous iliosacral screw fixation: Early treatment for unstable posterior pelvic ring disruptions. *J Trauma - Inj Infect Crit Care* 38, 453-458
- Singer A, Exuzides A, Spangler L, O'Malley C, Colby C, Johnston K, Agodoa I, Baker J, Kagan R (2015): Burden of illness for osteoporotic fractures compared with other serious diseases among postmenopausal women in the United States. *Mayo Clin Proc* 90, 53-62
- Soles GLS, Ferguson TA (2012): Fragility fractures of the pelvis. *Curr Rev Musculoskelet Med* 5, 222-228
- Spalteholz M, Gahr RH (2014): 4-Punkt-Stabilisierung einer Sakruminsuffizienzfraktur mittels Fixateur interne. *Unfallchirurg* 118, 181–187

- Stuby FM, Schäffler A, Haas T, König B, Stöckle U, Freude T (2014): Insuffizienzfrakturen des Beckenrings. *Trauma und Berufskrankheit* 16, 92–100
- Studenski S, Perera S, Patel K, Rosano C, Faulkner K, Inzitari M, Brach J, Chandler J, Cawthon P, Connor EB, et al. (2011): Gait speed and survival in older adults. *JAMA - J Am Med Assoc* 305, 50-58
- Teo AQA, Yik JH, Jin Keat SN, Murphy DP, O'Neill GK (2018): Accuracy of sacroiliac screw placement with and without intraoperative navigation and clinical application of the sacral dysmorphism score. *Injury* 49, 1302-1306
- Thomasius F, Baum E, Thomasius F, Baum E, Bernecker P, Böcker W, Brabant T, Clarenz P, Demary W, Dimai HP, Engelbrecht M, Engelke K, et al. (2018): DVO Leitlinie 2017 zur Prophylaxe D und T der O bei postmenopausalen F und MO, Bernecker P, Böcker W, Brabant T, Clarenz P, Demary W, Dimai HP, Engelbrecht M, Engelke K, et al. (2018): DVO Leitlinie 2017 zur Prophylaxe, Diagnostik und Therapie der Osteoporose bei postmenopausalen Frauen und Männern. *Osteologie* 27, 154-160
- Tile M (1988): Pelvic ring fractures: Should they be fixed? *J Bone Jt Surg* 70B, 1-12
- Tile M (1996a): Acute Pelvic Fractures: I. Causation and Classification. *J Am Acad Orthop Surg* 4, 143-151
- Tile M (1996b): Acute Pelvic Fractures: II. Principles of Management. *J Am Acad Orthop Surg* 4, 152-161
- Ting B, Zurakowski D, Herder L, Wagner K, Appleton P, Rodriguez EK (2014): Preinjury ambulatory status is associated with 1-year mortality following lateral compression Type i fractures in the geriatric population older than 80 years. *J Trauma Acute Care Surg* 76, 1306–1309
- Tosounidis G, Culemann U, Wirbel R, Holstein JH, Pohlemann T (2007): Die perkutane transiliosakrale zugschraubenosteosynthese des hinteren beckenrings: Erhöhte sicherheit durch standardisierung von visualisierung und technik. *Unfallchirurg* 110, 669–674
- Tsiridis E, Upadhyay N, Gamie Z, Giannoudis P V. (2007): Percutaneous screw fixation for sacral insufficiency fractures: A review of three cases. *J Bone Jt Surg* 89B, 1650-1653
- Ueda Y, Inui T, Kurata Y, Tsuji H, Saito J, Shitan Y (2019): Prolonged pain in patients with fragility fractures of the pelvis may be due to fracture progression. *Eur J Trauma Emerg Surg* ,doi 10.1007/s00068-019-01150-0
- Vanderschot P, Koppers M, Sermon A, Lateur L (2009): Trans-iliac-sacral-iliac-bar procedure to treat insufficiency fractures of the sacrum. *Indian J Orthop* 43, 245-252
- Wagner D, Ossendorf C, Gruszka D, Hofmann A, Rommens PM (2015): Fragility fractures of the sacrum: how to identify and when to treat surgically? *Eur J Trauma Emerg Surg* 41, 349-362
- Wagner D, Kamer L, Sawaguchi T, Richards RG, Noser H, Rommens PM (2016): Sacral Bone Mass Distribution Assessed by Averaged Three-Dimensional CT Models: Implications for Pathogenesis and Treatment of Fragility Fractures of the Sacrum. *J Bone Joint Surg Am* 98, 584-590

- Wagner D, Kamer L, Sawaguchi T, Geoff Richards R, Noser H, Uesugi M, Ossendorf C, Rommens PM (2017): Critical dimensions of trans-sacral corridors assessed by 3D CT models: Relevance for implant positioning in fractures of the sacrum. *J Orthop Res* 35, 2577-2584
- Wagner D, Hofmann A, Kamer L, Sawaguchi T, Richards RG, Noser H, Gruszka D, Rommens PM (2018): Fragility fractures of the sacrum occur in elderly patients with severe loss of sacral bone mass. *Arch Orthop Trauma Surg* 138, 971–977
- Wähnert D, Raschke MJ, Fuchs T (2013): Cement augmentation of the navigated iliosacral screw in the treatment of insufficiency fractures of the sacrum. A new method using modified implants. *Int Orthop* 37, 1147-1150
- Wong JSY, Lau JCK, Chui KH, Tiu KL, Lee KB, Li W (2019): Three-dimensional-guided navigation percutaneous screw fixation of fragility fractures of the pelvis. *J Orthop Surg* 27, 1-14
- Yaacobi E, Sanchez D, Maniar H, Horwitz DS (2017): Surgical treatment of osteoporotic fractures: An update on the principles of management. *Injury* 48, 34-40
- Zwingmann J, Konrad G, Kotter E, Südkamp NP, Oberst M (2009): Computer-navigated iliosacral screw insertion reduces malposition rate and radiation exposure. *Clin Orthop Relat Res* 467, 1833
- Zwingmann J, Südkamp NP, König B, Culemann U, Pohlemann T, Aghayev E, Schmal H (2013): Intra- and postoperative complications of navigated and conventional techniques in percutaneous iliosacral screw fixation after pelvic fractures: Results from the German Pelvic Trauma Registry. *Injury* 44, 1765-1772

## Danksagung

Dank gilt meinen Betreuern Frau Professor Dr. Anna Hell und Herrn Professor Dr. Wolfgang Lehmann, wie auch meinem guten Freund Dr. Philipp Jungebluth für seine stetige Unterstützung insbesondere bei Computerfragen und nervous breakdowns.. Besonderer Dank gilt Dr. Thomas Hockertz für die Anregung zur Durchführung der Arbeit, wie auch für die stetige moralische Unterstützung dieses Projekt berufsbegleitend umzusetzen und an meinen früheren Kollegen Professor Dr. Philipp Kobbe, der eine frühe Version der Arbeit kritisch unter die Lupe nahm. Außerdem danke ich ganz besonders meinem Mann Dipl. med. Torsten Zeyher, der die Arbeit kritisch gegengelesen hat.



## Lebenslauf

Geboren wurde ich, Imke Schmerwitz am 10.12.1967 in Salzgitter als Tochter zweier Ärzte. Meine Schulausbildung begann in der Grundschule am Eikel, gefolgt vom Besuch des Gymnasiums in Salzgitter Bad. Nach der Sekundarstufe 1 folgte ein einjähriger USA Aufenthalt, der mit dem Erwerb der amerikanischen Graduation im Jahre 1985 endete. Anschließend Beendigung der deutschen Schulausbildung mit Erwerb der allgemeinen Hochschulreife im Jahre 1988.

Beginn des Studiums der Humanmedizin im Jahre 1988 an der Universität Göttingen, welches 1995 mit dem 3. Staatsexamens abgeschlossen wurde. Beginn der klinischen Ausbildung als Arzt im Praktikum im Dezember 1995 in der Allgemein Chirurgie des Herzogin Elisabeth Heims in Braunschweig, gefolgt von einer Übernahme als Assistenzärztin. Geburt meiner Tochter im Januar 2001. Im Rahmen der Facharztausbildung Wechsel in die Unfallchirurgie des Städtischen Klinikums Wolfenbüttel im Mai 2001 und Erhalt der Facharztanerkennung Chirurgie im Jahre 2003. Weitere ärztliche Tätigkeit in der Klinik für Unfallchirurgie des Städtischen Klinikums Wolfenbüttel. Zum Erlangen der Zusatzbezeichnung Unfallchirurgie, Wechsel 2005 in das Städtische Klinikum Braunschweig, Unfallchirurgie. Abschluss der Ausbildung mit Erhalt der Zusatzbezeichnung im Jahre 2007. Seither Tätigkeit als Oberärztin in der Klinik für Unfallchirurgie des Städtischen Klinikums Wolfenbüttel. Heirat meines langjährigen Lebenspartners Torsten Zeyher im Mai 2013. Seit 2013 berufsbegleitend Arbeit an der Dissertation über die Behandlung osteoporotischer Beckenfrakturen.