

**Outcome nach Versorgung von bilateralen  
Fragilitätsfrakturen des Os sacrum mittels  
bisegmentaler transsakraler Verschraubung versus  
spinopelviner Stabilisierung**

Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades doctor medicinae (Dr. med.)

Vorgelegt dem Rat der Medizinischen Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität Jena

Friederike Klauke, geb. Franke, geboren am 12.05.1989 in Lutherstadt Eisleben

## Gutachter

1. Prof. Dr. med. Dr. rer. nat. Gunter O. Hofmann, Universitätsklinik Jena & BG Klinikum Bergmannstrost Halle
2. Privatdozent Dr. med. habil. Thomas Mendel, BG Klinikum Bergmannstrost Halle
3. apl. Prof. Dr. med. David Wohlrab, Universitätsklinik Halle

Tag der öffentlichen Verteidigung: 07.12.2021

# Inhaltsverzeichnis

<b>Einleitung</b> .....	<b>5</b>
ANATOMIE, BIOMECHANIK & TRAUMATOLOGIE DES BECKENS .....	6
Anatomie .....	6
Biomechanik .....	13
Traumatologie .....	14
Klassifikationssysteme .....	16
<b>Ziele der Arbeit</b> .....	<b>20</b>
<b>Material und Methoden</b> .....	<b>21</b>
STUDIENDESIGN .....	21
Gruppenzuordnung .....	21
Ein-, Ausschluss- und Abbruchkriterien .....	26
STUDIENABLAUF .....	27
Objektive Daten .....	28
Scoring-Systeme .....	32
STATISTIK .....	34
<b>Ergebnisse</b> .....	<b>35</b>
KOHORTE .....	35
ZEITPUNKT I – PRÄOPERATIV .....	37
Bildgebung .....	38
ZEITPUNKT II – PERIOPERATIV .....	40
ZEITPUNKT III – 1 WOCHE POSTOPERATIV .....	41
Komplikationen .....	41
FitBit®-Schrittzähler .....	42
Zebris-RehaWalk .....	42
Entlassungsmodalitäten und Mobilitätsgrad .....	43
ZEITPUNKT IV – 6 MONATE POSTOPERATIV .....	44
Radiologisches Outcome .....	45
FitBit®-Schrittzähler .....	45
Zebris-RehaWalk .....	45
Scoring-Systeme .....	46
Lebensumstände und Mobilitätsgrad .....	47
ZEITPUNKT III UND IV IM VERLAUF .....	47
FitBit®-Schrittzähler im zeitlichen Verlauf .....	48
Mobilitätsgrad im zeitlichen Verlauf – Verwendung orthopädischer Hilfsmittel .....	48
<b>Diskussion</b> .....	<b>50</b>

<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>60</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>75</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>76</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis.....</b>	<b>77</b>
<b>Ehrenwörtliche Erklärung .....</b>	<b>78</b>
<b>Danksagung.....</b>	<b>79</b>

## Einleitung

Der fortschreitende demografische Wandel der Gesellschaft setzt neue Ansprüche an die Medizin. Spezifische Erkrankungen und Verletzungen der älteren Generation verzeichnen eine deutliche Zunahme. Die häufigste Ursache für Fragilitätsfrakturen bei älteren Menschen ist die Osteoporose. Häufig betroffen sind die Wirbelsäule, das proximale Femur, der distale Radius, der proximale Humerus sowie das Becken. Letztere bilden damit neben den Rasantraumata des 20. und 30. Lebensjahrzehnts den zweiten Gipfel der epidemiologischen Verteilung von Beckenfrakturen (Bohme et al. 2012). Besonders das weibliche Geschlecht zwischen dem 70. und 80. Lebensjahrzehnt ist betroffen. Bei osteoporosebedingten Frakturen des Beckens ist mit 66% das Os sacrum am häufigsten betroffen (Rommens 2013). Diese sind oft mit einer begleitenden Verletzung des vorderen Beckenrings assoziiert. Ursächlich ist zumeist ein banales Sturzereignis Stand oder Gang. Bei hochgradiger Minderung des Kalksalzgehaltes können solche Frakturen bereits unter repetitiver physiologischer Last, also ohne ein vorausgehendes Unfallereignis auftreten. Diese werden als sogenannte Insuffizienzfrakturen bezeichnet. Die Symptomatik bietet ein breites Fenster. Häufig werden Beschwerden des tiefen Lendenwirbelbereiches, Bauchschmerzen, Myelopathien und Harnabflussstörungen angegeben (Schindler et al. 2007). Der Übergang von Fragilitäts- zu Insuffizienzfrakturen ist fließend. Einigkeit besteht darin, dass geriatrische Beckenbrüche nach Niederenergietraumen im Sinne des Therapieansatzes wie Insuffizienzfraktur zu bewerten sind (Stuby et al. 2013).

Ist die gesicherte Diagnose einer Fragilitätsfraktur gestellt, gilt auch für die Therapie der Anspruch, diese am Allgemeinzustand und Lebensumständen des älteren Patienten zu orientieren. Neben der konservativen Behandlung (Höch, Özkurtul et al. 2017; Osterhoff et al. 2019; Marrinan et al. 2015; Mears und Berry 2011) kommt in jüngster Zeit der operativen Frakturstabilisierung eine immer größere Bedeutung zu (Hopf et al. 2015; Mehling et al. 2012; Morris et al. 2000; Noser et al. 2018; Taillandier et al. 2003; Osterhoff et al. 2011; Vanderschot et al. 2009). Besonders für die operative Versorgung ist es wichtig, die verminderte Haltekraft des Knochens einerseits und die Komorbidität des Patienten andererseits zu berücksichtigen. So sollte ein Osteosyntheseverfahren möglichst primär belastungsstabil sein, um lange Liegephasen und einen damit einhergehenden Muskelabbau sowie durch Immobilität bedingte Komplikationen des Patienten zu verhindern. Dem gegenüber ist ein möglichst minimalinvasives Vorgehen anzustreben, um das Risiko von Wundheilungsstörungen und die

Wahrscheinlichkeit von Wundinfekten zu minimieren. Außerdem sind die Operations- und damit die Anästhesiedauer zu berücksichtigen, welche bei den zumeist komorbiden Patienten ebenfalls Gefahren birgt.

In Bezug auf die Häufigkeit der Beteiligung des Os sacrum bei pelvinen Fragilitätsfrakturen kommt hier der Art des angewendeten Stabilisierungsverfahrens eine entscheidende Bedeutung zu. Eine Besonderheit stellt hierbei die bilaterale Fraktur des Kreuzbeins mit einer Inzidenz von 15,1 % dar (Rommens und Hofmann 2013). Verschiedene Osteosynthesen in minimalinvasiver wie auch offener Technik kommen für deren Versorgung zur Anwendung. Hierbei werden die spinopelvine Stabilisierung (SP) und die bisegmentale transsakrale Verschraubung (BTS) als adäquate Stabilisierungstechniken angesehen (Rommens und Hofmann 2013; Mehling et al. 2012; Gardner et al. 2010; Hopf et al. 2015) . Bis dato existieren in der Literatur jedoch keine prospektiven Daten zu deren klinischem Outcome.

## **Anatomie, Biomechanik & Traumatologie des Beckens**

### **Anatomie**

Sowohl das Os sacrum als auch die übrigen Abschnitte der Wirbelsäule gehen von metameren Somiten aus, welche sich frühzeitig in Dermatome, Myotome und Sklerotome entwickeln. Somit bilden sie die Grundlage für die Entwicklung der knöchernen Basis, als auch der hier ansetzenden autochthonen Muskulatur. Auf dieser Grundanlage entwickelt sich mit Beginn der primären Verknöcherung ab dem 3. Fetalmonat das Os sacrum. Different zu den übrigen Wirbelkörpern verschmelzen die bis zu sechs Wirbelkörper miteinander. Die von den kranialen Sklerotomen angelegten Bandscheiben entwickeln sich nur rudimentär. Die Rippenanlagen bilden einen Großteil der Pars lateralis, die an den lateralen Gelenksflächen mit dem Os ilium artikuliert. Das verknöcherte Os sacrum entspricht einer dreieckigen Form mit zu Beginn dorsokaudaler Ausrichtung seiner Basis ossis sacri (Transversalneigung von  $47^\circ$ ), welche in Höhe des 3. Sakralwirbels in eine ventrokaudale Ausrichtung übergeht. Die lumbosakrale Neigung nahm im Laufe der Evolution stetig zu. So findet sich bei Affen kaum eine Neigung, jedoch bei Skelettfunden von frühen Primaten bereits eine deutliche Zunahme (Abitbol 1987; Le Huec et al. 2011; Peleg et al. 2007). Ähnliche Anpassungen an den Bipedalismus finden sich

auch in der Abnahme der Länge und Zunahme der Breite des Beckens (DeSilva und Rosenberg 2017).

Den lateralen Part bildet die Ala ossis sacri und geht in die Facies auricularis über, welche die gelenkige nierenförmige Verbindung zum Os ilium bildet. Durch die Verschmelzung der Deckplatten und der Zwischenwirbelscheiben bleiben die Lineae transversae sichtbar. Hier ist eine Variabilität der Anzahl der Sakralwirbelkörper zu finden. So finden sich zumeist zwischen 4 und 6 Sakralwirbelkörper, an die sich das Os coccyx anschließt. Die Verschmelzung erfolgte durch die zunehmende vertikale Last im aufrechten Gang und ging zu Lasten der intersegmentalen sakralen Beweglichkeit (Abitbol 1987). Die den Facies dorsales entspringenden Dornfortsätze bilden die Crista sacralis mediana. Lateral der Neuroforamina erstreckt sich die Crista sacralis lateralis, welche durch die verschmolzenen Processus accessorii imponiert. Der Canalis sacralis öffnet sich nach lateral durch die Foramina sacralia anteriora et posteriora und gibt den Weg zum Übertreten von Spinalnervenästen frei (Drenckhahn et al. 1994).

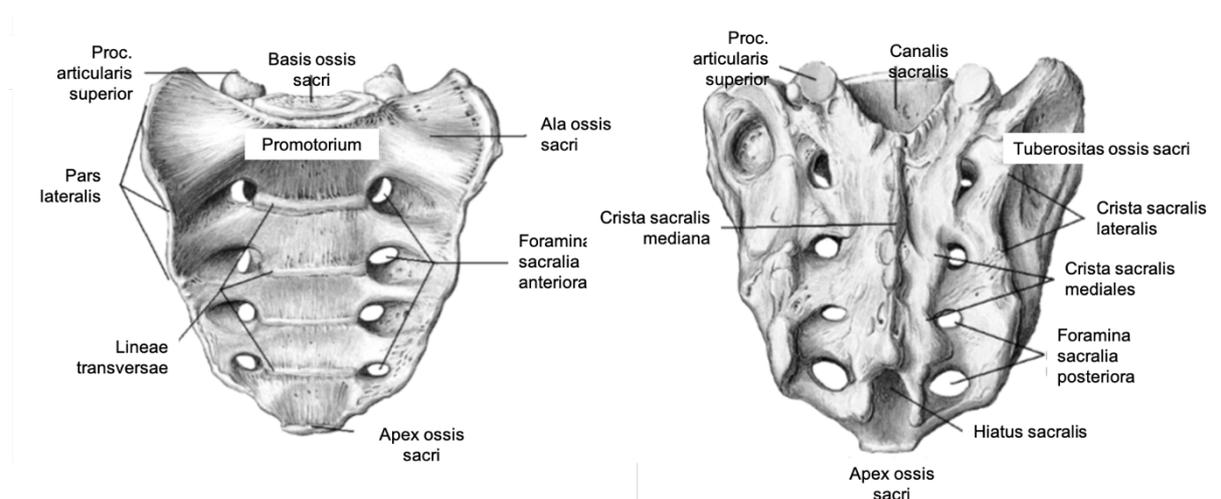


Abbildung 1 – Knöcherner Anatomie Os sacrum nach Sobotta (Waschke et al. 2015)

Der hintere Beckenring wird durch kräftige mehrschichtige Bänder (Ligg. sacroiliacale dorsalia) stabilisiert, welche der Neutralisation von Kräften in Stand und Gang dienen. Hauptangriffspunkt der dorsalen Bänder stellt die Tuberositas ossis sacri lateral der Neuroforamina dar. So wird ein mögliches Blockieren der nervalen Strukturen durch Ligamente ausgeschlossen. Die Foramenebene selbst wird einzig von der autochtonen Rückenmuskulatur überspannt. Ventral wird das SI-(Sakroiliakal) Gelenk von den Ligg. sacroiliacale ventralia

überspannt, die aber, im Verhältnis zum dorsalen Äquivalent, deutlich schwächer ausgebildet sind (Tscherne und Pohlemann 1998).

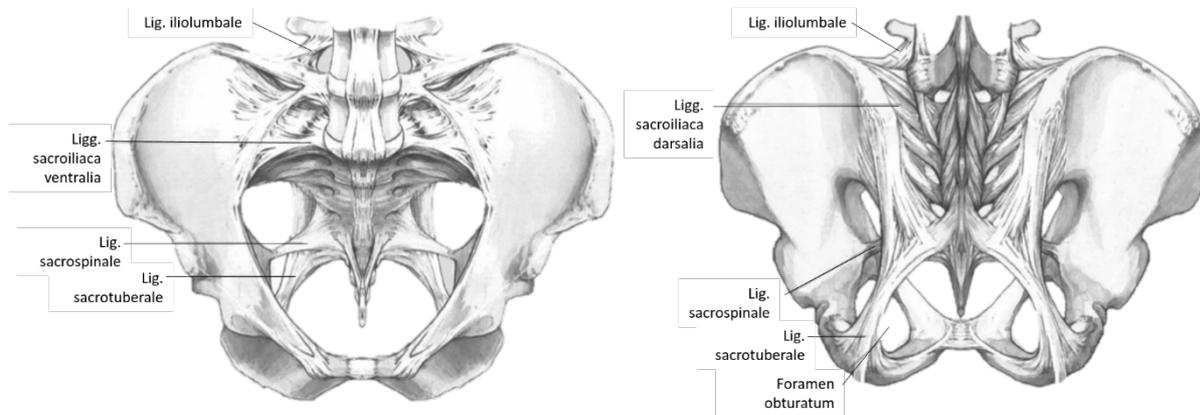


Abbildung 2 - Ligamentäre Bandstrukturen des hinteren Beckenringes nach Tscherne et al. (Tscherne und Pohlemann 2014)

Weiterhin entscheidend ist die räumliche Nähe des Os sacrum zu Gefäßen und Nerven. So verlaufen die Aa. iliaca communis unmittelbar präsakral und geben unter anderem die A. sacralis lateralis ab. Ebenfalls in unmittelbarer Nähe verläuft die V. cava und teilt sich in die V. iliaca externa und interna. Letztere wird durch die Verbindung der Vv. gluteae inferiores et superiores gespeist. Beide Glutaelvenen bildet ventral des Sakrum den Plexus venosus sacralis aus. Dem Sakrum entspringen die Spinalnerven S<sub>1</sub> bis S<sub>5</sub> und bilden gemeinsam den Plexus sacralis (Tillmann 2011).

In Hinblick auf die spezielle Formvarianz des Os sacrum beschäftigten sich zahlreiche Arbeiten mit einer möglichen Kategorisierung der anatomischen Varianz. Bis dato gelang es nicht, eine einheitliche Definition für Dysplasie zu erreichen (Koeng et al. 2013; König et al. 2016; Gras et al. 2012; Carlson et al. 2000).

In Folge der uneinheitlichen Definition finden sich auch bezüglich der geschlechtsspezifischen Unterschiede deutliche Diskrepanzen. Gras et al. fand eine Häufung von Dysplasie basierend auf 280 analysierten Becken beim weiblichen Geschlecht (Gras et al. 2016). Hasenboehler et al. kam zu ähnlichen Ergebnissen und wies bei 19 % der weiblichen und 12 % der männlichen Becken eine Dysplasie nach (Hasenboehler et al. 2011). Dem gegenüber steht eine Analyse von 50 Becken, welche keine Annahme geschlechtsspezifischer Unterschiede zulässt (Gardner et al. 2010). Insgesamt finden sich in der Literatur Angaben von 12 bis 35 % für das Vorliegen

einer Dysplasie (Hasenboehler et al. 2011; Mendel et al. 2011; Routt und Simonian 1996; Radetzki et al. 2014).

Weiterhin wurden Untersuchungen zur rein deskriptiven Analyse von Sakren unternommen: Anhand von 1000 Datensätzen konnten so 3 Typen von Sakren identifiziert werden: ascendierender, deszendierender und horizontaler Typ (Goetzen et al. 2016).

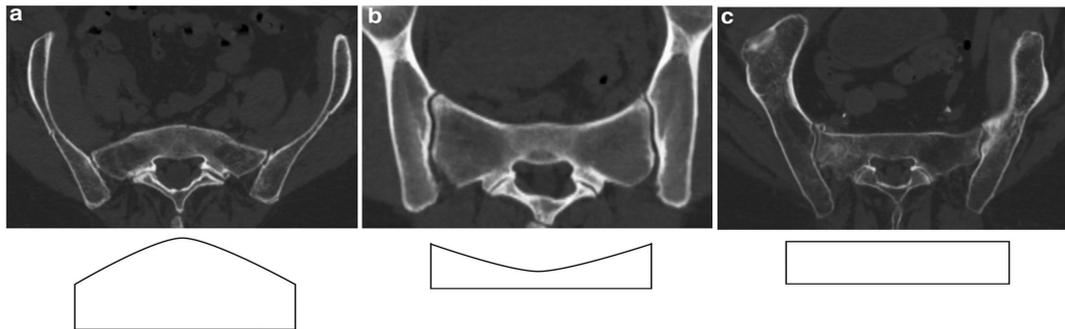
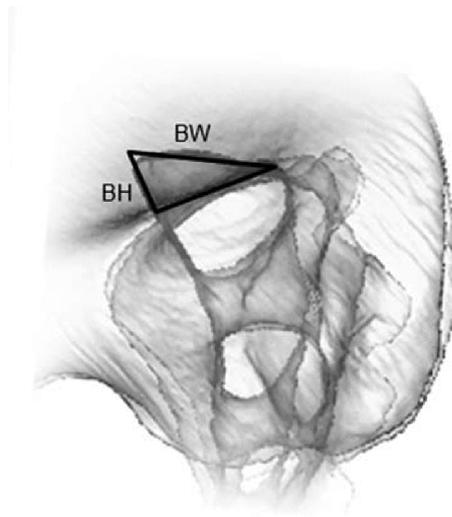


Abbildung 3 – Coronale CT-Schnitte mit der Darstellung der Formbeschreibung von Sakren nach Goetzen et al. (Goetzen et al. 2016) mit (a) ascendierendem, (b) deszendierendem und (c) horizontalem Typ

Grundlage für den Begriff der Sakrumdysplasie in der vorliegenden Arbeit bildet der von Mendel et al. definierte Dysplasie-Begriff basierend auf der Analyse des ersten Sakralwirbels im sagittalen Bild des Beckens (Mendel et al. 2011). Hierfür wird ein Dreieck aus der den ersten Sakralwirbel schneidenden Linea terminalis, der die Linea terminalis überragenden Vorderkante (BH) des ersten Sakralwirbels und der Deckplatte (BW) selbst gebildet. Aus dem Quotienten dieser Maße errechnet sich die  $Ratio_T$  (BW/BH). Ergibt sich eine  $Ratio_T < 1,5$ , so gilt ein Sakrum als dysplastisch. Die Analyse von 80 Datensätzen ermittelte eine Häufigkeit von 20% für eine vorliegende Dysplasie. Diese entsprechen am ehesten ascendierenden Sakren nach Goetzen et al..



*Abbildung 4 – Dreiecksquotient des lateralen Sakraldreiecks Ratio nach Mendel (Mendel et al. 2011)*

Ableiten lässt sich aus diesem Begriff der Dysplasie gleichzeitig die Wahrscheinlichkeit für das Vorliegen eines sicheren transsakralen Korridors auf Segmenthöhe S1, der für die Insertion von langen Schraubenimplantaten genutzt werden kann. So bietet nach Mendel et al. ein dysplastisches Sakrum nicht genug Raum für einen sicheren transsakralen S1-Korridor (Mendel, Radetzki et al. 2013; Mendel et al. 2011) und findet sich daher nur bei kapaziösen Formvarianten. Dieser wird ventral und cranial vom Kortex des Os sacrum, posterior vom Wirbelkanal, sowie kaudal vom S1 Neuroforamen begrenzt (Mendel et al. 2011). Dementgegen wird ein transsakraler Korridor auf Segmenthöhe S2 nicht von der Formvarianz des Sakrum beeinflusst und findet sich daher nahezu immer (Radetzki et al. 2014). Dieser wird ventral von sakralen Kortex, dorsal vom Sakralkanal und cranial bzw. caudal von den Neuroforamina S1 bzw. S2 begrenzt (Wagner et al. 2017).

Ein Korridor wird als „sicher“ definiert, wenn das Einbringen einer typischerweise hier zur Anwendung kommenden 7,3 mm Schraube im gesamten Verlauf als möglich gilt (Gras et al. 2016). Somit sind die Existenz und der Verlauf der Korridore entscheidend für die Therapieplanung beim Einbringen von transsakralen Schraubenimplantaten, um die Gefährdung der ventral von S1 verlaufenden Nervenbahnen von L4 und L5, den iliakalen Gefäßen sowie der kaudal und kranial gelegenen Neuroforamen zu minimieren.

Ein sicherer S1-Korridor ist nicht konstant vorhanden, wohingegen der S2-Korridor einer relativen Konstanz zu folgen und dabei unabhängig von der Existenz des S1-Korridors scheint. Unter Einbezug der Dysplasie nach Mendel ergibt sich, dass bei 75% der dysplastischen Becken

kein Korridor in S1 zu finden ist. Dahingegen aber bei 96% der Becken mit einer  $\text{Ratio}_T > 1,5$  (Mendel et al. 2011). In 68 % der Becken gilt ein sicherer S1-Korridor bei einer Durchschnittsradius von 12,8 mm als vorhanden (Wagner et al. 2017). In S2 findet sich in der Literatur zwar ein signifikant geringerer Durchschnittsradius von 11,6 mm, aber gleichzeitig auch eine höhere Auftretenswahrscheinlichkeit von 99 % (Radetzki et al. 2014). Beide Korridore zueinander verhalten sich in Bezug auf ihre Größe umgekehrt proportional. Je kleiner S1 desto größer S2 (Mendel, Noser et al. 2013). Eine zusätzliche Variabilität findet sich zwischen den Geschlechtern: Das Volumen der Korridore ist bei Frauen signifikant geringer als bei Männern (Konig et al. 2016; Mendel, Noser et al. 2013; Mendel, Radetzki et al. 2013).

Neben der quantitativen Beschreibung existieren Arbeiten zur Qualität von Korridoren. Die geringste Knochenmasse findet sich auf Höhe der sakralen Flügel und somit im Bereich der „Alar voids“. Gleichzeitig besitzt der Korridor S2 weniger Knochenmasse als S1 (Wagner et al. 2017). Bestärkt wird diese Annahme durch eine Bestimmung der Hounsfield Units (HU) entlang der Korridore. Vergleicht man die Stelle der höchsten Qualität innerhalb von S1 und S2, so findet sich eine Differenz von 90 HU zu Lasten von S2 (Salazar et al. 2015).

### *Besonderheiten des geriatrischen Beckens*

Im Laufe des Alterungsprozesses und in Folge einer osteokatabolen Stoffwechsellage ergeben sich spezifische Veränderungen im Sakrum, welche Auswirkungen auf die Biomechanik, vor allem der Laststruktur, haben. Hinzu kommen sklerosierende Prozesse innerhalb der Iliosakralfugen, welche das Bewegungsausmaß einschränken.

Wagner et al. konnte durch eine Kartographierung der Sakrums anhand von Hounsfield Units zeigen, dass sich im osteoporotischen Sakrum innerhalb der sakralen Flügel auf Höhe SWK1 bis SWK3 Höhlen entwickeln, welche nahezu leer erscheinen, also einen negativen HU-Wert aufweisen. Diese „alar voids“ stellen somit die Schwachstelle im osteoporotischen Sakrum dar (Wagner et al. 2016). Der Nachweis, dass spongiöser Knochen stärker von Osteoporose betroffen ist als kortikaler (Burge et al. 2007; Dalstra und Huskes 1994), erklärt die Hohlraumentstehung nicht in Gänze. Peretti wies 1991 nach, dass es sich hierbei nicht um wirkliche „Hohlräume“ sondern vielmehr um fettgefüllte Räume handelt (Peretti et al. 1991). Geht man davon aus, dass Fett eine Grauwertdichte von -100 HU aufweist, wäre dieses mit den von Wagner beschriebenen negativen HU zu vereinbaren.

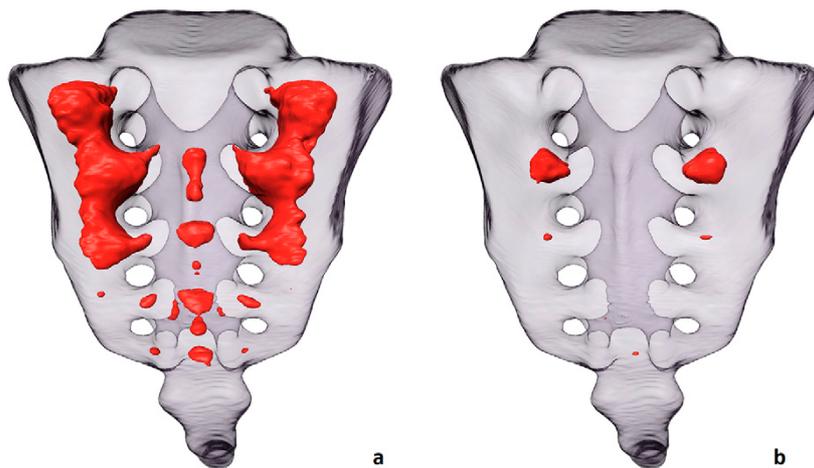


Abbildung 5 - Darstellung der Zonen mit negativem HU in rot bei (a) einem Messwert von  $<100$  HU in LWK5 und (b) einem Messwert von  $> 100$  HU in LWK5 (Wagner et al. 2016)

Neben dem knöchernen hinteren Ringanteil übernehmen kräftige sakral überspannende Bänder eine wichtige stabilisierende Funktion. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Lastübertragung im osteoporotischen Sakrum im zentralen Korpusbereich knöchern erfolgt. Lateral, im Bereich der sakralen Flügel wird ein Großteil der übertragenen Last über die überspannenden Bänder aufgenommen (Linstrom et al. 2009).

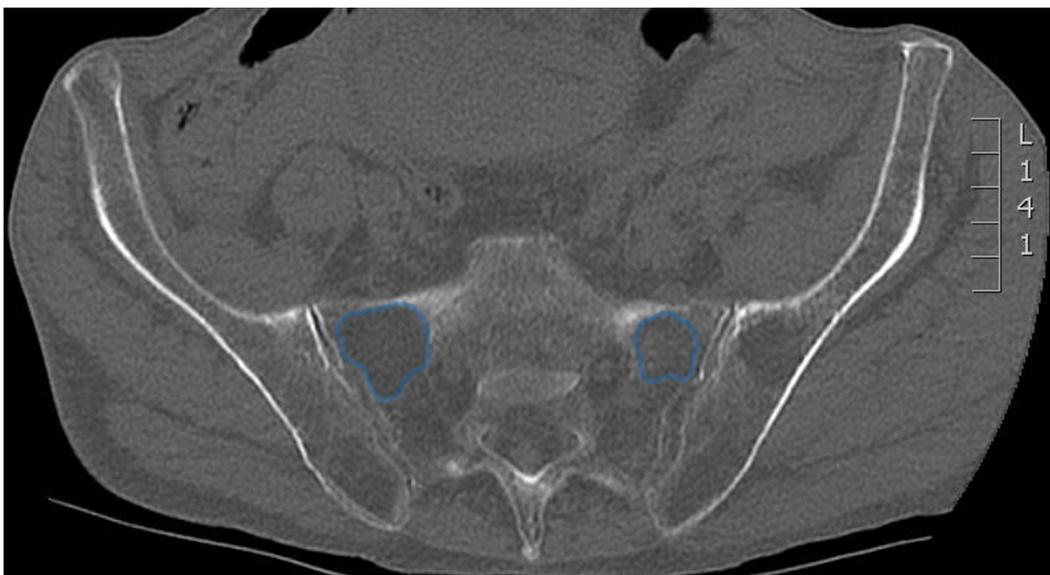


Abbildung 6 - CT-morphologisch ausgeprägte "Alar Voids" (blau markiert) beider Sakrumflügel bei einer 81-jährigen Patientin

Auch die Iliosakralfugen sind im Laufe des Alterungsprozesses von Veränderungen betroffen. So stellen diese sich anfangs glatt begrenzt dar, nehmen aber höheren Alter an Irregularität zu. Diese zunehmende „Verzahnung“ geht vorrangig vom Ilium aus (Vleeming, Stoeckart et al. 1990; Vleeming, Volkers et al. 1990). Mit additiv hinzukommender Ossifikation folgt eine vermehrte Rigidität des hinteren Beckenrings (Josten und Höch 2017).

## Biomechanik

Das Bewegungsmuster des Os sacrum an seinen Artikulationsflächen zum Os ilium stellt sich komplex dar und entspricht am ehesten einer Mischung aus Translations- und Rotationsbewegung, die sogenannte Nutation. Das Bewegungsausmaß für die Rotation beträgt hierbei  $2^{\circ}$  bis  $12^{\circ}$  und die Translation 2 bis 26 mm (Egund et al. 1978; Lavignolle et al. 1983; Tscherne und Pohlemann 1998). Das Zentrum der Bewegung liegt auf Höhe des 2. Sakralwirbels (Hammer et al. 2013).

Im Zweibeinstand erfolgt die Lastübertragung von den Hüftköpfen auf das Os sacrum ausgehend über die Hüftpfanne und das Os innominatum zum dorsalen Beckenring mit Durchtritt über die Iliosakralfugen. Durch die sich nach dorsal verjüngende Form des Sakrum bewegt sich dieses tendenziell eher nach ventral-kaudal. Diese Bewegungstendenz wird durch die dorsal überspannenden Bänder kompensiert (Euler et al. 2000).

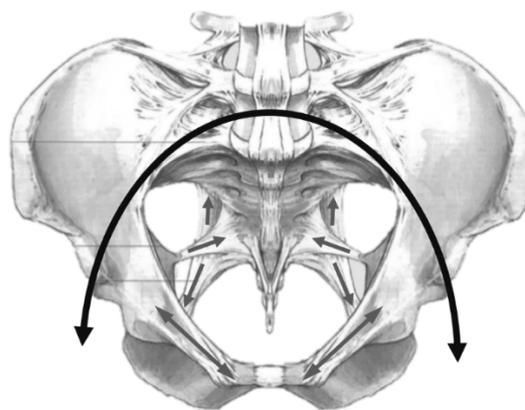


Abbildung 7 - Lastübertragung innerhalb des Beckenringes mit Zugrichtung der Ligamente im Stand

Die langfristige biomechanische Belastung der knöchernen Strukturen lässt sich anhand der ausgebildeten Trabekel verfolgen (Mahato 2011). So findet sich innerhalb von LWK5 eine eher vertikal ausgerichtete Trabekelstruktur, welche schlussfolgern lässt, dass Kräfte in erster Linie vertikal durch den Wirbelkörper verlaufen. Dieses Bild ändert sich im ersten Sakralwirbel. Die Trabekelstruktur wird zunehmend querverlaufend. Es erfolgt also die horizontale Kraftüberleitung zum Ilium. Der quere Verlauf der Trabekel ist im dorsalen Anteil des Sakrum deutlich stärker, was Anhalt gibt, dass die Kraftübertragung vorrangig im Facettengelenk L5-S1 stattfindet. Mahato spricht vom „gemeinsamen Komplex der Kraftübertragung“ (Mahato 2011). Die Richtungsänderung der Trabekel repräsentiert dabei entsprechend dem Wolff'schen Gesetz die Änderung des Lastflusses (Wolff 2010). So wird hier aus Zuglast Drucklast generiert und auf die Hüftgelenke übertragen. Somit ist die Hauptübertragung der Kraft im hinteren Anteil lokalisiert (Culemann et al. 2010). Die den hinteren Beckenring überspannenden Muskeln verfügen über Eigenschaften einer Zuggurtung und haben so einen protektiven Effekt vor auftretenden ossären Lastspitzen (Linstrom et al. 2009).

Misst man die vorherrschenden Kräfte auf den hinteren Beckenring unter Bewegung, so lässt sich nachweisen, dass im normalen Zweibeinergang die Kraftspitzen um 145-207 % gegenüber dem Stand gesteigert werden. Während des Treppensteigens sogar um bis zu 500 % (Khoo et al. 1995).

## **Traumatologie**

Obwohl Beckenringfrakturen nur 3-9 % ausmachen, sind sie unter Berücksichtigung der hohen Letalität mit 5-20 % von entscheidender Bedeutung (Hauschild et al. 2008; Pohlemann et al. 2011). Es werden bei 25 % der Polytraumatisierten Verletzungen des Beckenrings gefunden (Stuby et al. 2013). Häufig liegen gleichzeitig Verletzungen des Schädels oder Thorax vor. Entscheidend für das Überleben zeigte sich zudem das Ausmaß der weichteiligen Verletzungen. Gebildet wird das Patientenkollektiv der Hochenergietraumata vorrangig durch Männer in der 2. und 3. Lebensdekade. Dabei entfallen 36,6 % der Frakturen auf Typ-A Frakturen, 21,0 % auf Typ-B und 15,5 % auf Typ-C nach AO (Pohlemann et al. 1996). Die Letalität liegt bei 7,8 % (Pohlemann et al. 1994). Das Os sacrum selbst ist bei 17-30 % der Beckenverletzungen beteiligt (Denis et al. 1988; Gibbons et al. 1990; Stuby et al. 2013).

## Traumatologie beim geriatrischen Becken

Anders als bei den Frakturen im Rahmen von Hochenergetraumata liegen bei den Frakturen des geriatrischen Beckens häufig nur Bagateltraumata vor (sog. Fragilitätsfrakturen). In einem Teil der Fälle liegt sogar kein erinnerliches Traumat vor (sog. Insuffizienzfrakturen). Hierbei entstehen die Frakturen aufgrund der hochgradigen osteoporotischen Rarefizierung des Knochengerüsts bereits unter repetetiver physiologischer Belastung. Lourie definierte die Insuffizienzfraktur bereits 1982 als eine ohne Trauma entstehende Fraktur (Lourie 1982). Somit ist sie klar von den traumatischen, aber auch von den Stressfrakturen abzugrenzen, welche bei Knochengesunden bei Repetition von pathologischer Last entstehen (Abbildung 8).

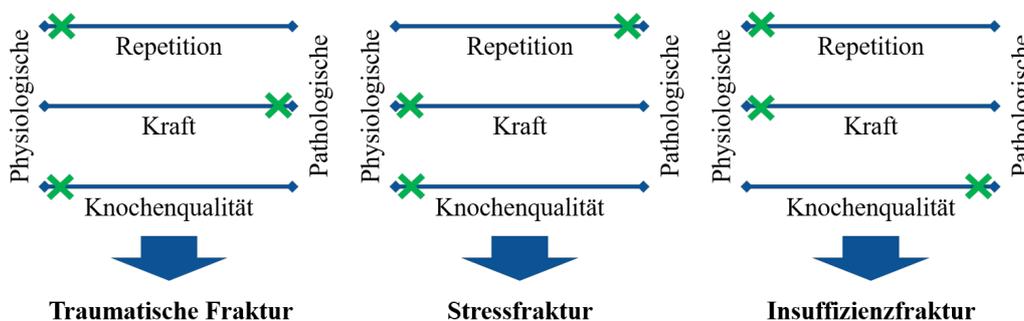


Abbildung 8 – Begriffserklärung

Bei Knochengesunden sind Kräfte zwischen um 10.000 N nötig um den Beckenring zu sprengen. Um diese Energie aufzubringen sind Hochenergetraumata wie Autounfälle oder Stürze aus großer Höhe nötig (Stuby et al. 2013). Liegen jedoch osteoporotische Verhältnisse vor, sind Kräfte von 3.200 ( $\pm 1.200$ ) N ausreichend um den Beckenring zu frakturieren (Waites et al. 2007). So reicht ein Bagateltrauma oder die Repetition von axialer Belastung aus, um eine Fragilitäts- bzw. Insuffizienzfraktur herbeizuführen. Zumeist sind diese Geschehnisse dem Patienten nicht mehr erinnerlich (Cooper et al. 1985). Lediglich ein Drittel der Patienten kann ein Ereignis mit dem Schmerzbeginn verknüpfen (Peh et al. 1995). Diese beiden Entitäten spiegeln sich auch in den Häufigkeitsgipfeln der Beckenfrakturen wider. Zum einen findet sich hier der erste Gipfel im frühen Erwachsenenalter, vorwiegend bei Männern im Sinne der Hochenergetraumen, zum anderen im Altersbereich der 7. und 8. Lebensdekade bei Frauen im Sinne von Fragilitäts- bzw. Insuffizienzfrakturen. Neben Alter und Geschlecht wirken auch eine Hyperlordose im Lendenbereich, die Ermüdung von beckenüberspannenden Bändern,

beckennahe Implantate, Spondylolisthesis sowie Übergewicht begünstigend auf die Entstehung von Insuffizienzfrakturen (Tsiridis et al. 2007; Linstrom et al. 2009).

Bei Vorliegen einer vorderen Beckenringfraktur liegt häufig auch eine Beteiligung des hinteren Beckenrings vor. In der Literatur finden sich Angaben zwischen 54 und 94 % ( (Rommens und Hofmann 2013; Scheyerer et al. 2012; Nüchtern et al. 2015; Alnaib et al. 2012; Lau und Leung 2010).

## **Klassifikationssysteme**

Die AO/OTA (Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthese/Orthopaedic Trauma Association)-Klassifikation bezieht sich ausschließlich auf Hochenergietraumata. Grundlage ist die Einteilung in A-/B-/C-Verletzungen basierend auf der Richtung der einwirkenden Last und dem daraus resultierenden Grad der Instabilität (Tile M. 1995). Zusätzlich lässt sie eine detaillierte Beschreibung von anatomischer Lokalisation durch einen alphanummerischen Code zu.

Für den klinischen Alltag lassen sich hieraus direkte OP-Indikationen ablesen (Mendel et al. 2018). Die A-Frakturen sind überwiegend konservativ zu behandeln, wohingegen bei den B-Verletzungen eine relative und bei den C-Verletzungen eine absolute OP-Indikation besteht.

Eine direkte Übertragung dieses Vorgehens auf die Fragilitätsfrakturen ist jedoch nicht möglich, da die AO/OTA-Klassifikation nicht den Sachverhalt der bei osteoporotisch bedingten Frakturen primär intakten Bänder (Beckmann und Chinapuvvula 2017) berücksichtigt.

Bei traumatischen Sakrumfrakturen spielt die Beteiligung der Facettengelenken L5/S1 eine große Rolle für das Vorgehen der Reposition, sowie der Wahl der Therapie (Serafi et al. 1992). Isler beschrieb in einer Serie von 193 Beckenfrakturen Typ C die Lokalisation der Fraktur in Abhängigkeit von der Facette. Typ I verläuft demnach lateral der Facette, Typ II durch die Facette und Typ III medial der Facette (Isler 1990). Ob die Beteiligung der Facette auch bei Insuffizienzfrakturen eine Rolle spielt, ist derzeit fraglich. Erste Analysen lassen die Vermutung zu, dass diese eher selten vorkommen. So konnten Heinecke et al. in einer Analyse von 46 Sakrumfrakturen zeigen, dass in 87 % eine Typ I Fraktur nach Isler vorliegt (Heinecke et al. 2018).

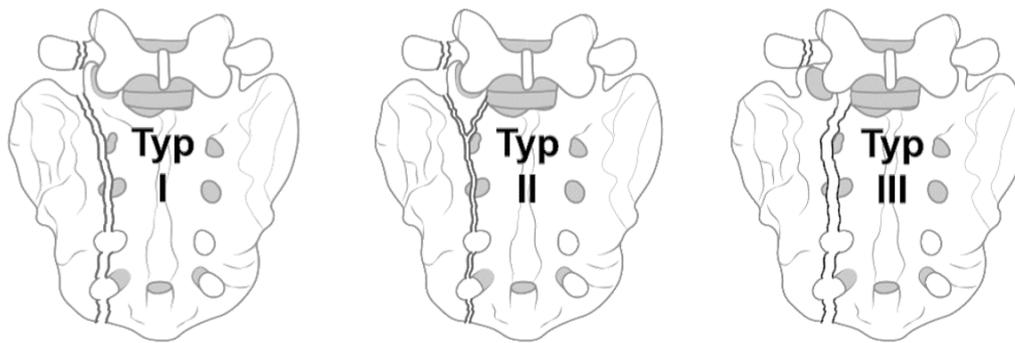


Abbildung 9 - Facettengelenksbeteiligung nach Isler (Heinecke et al. 2018)

Ebenfalls von bisher ungeklärter Bedeutung, ist das Vorhandensein eines Abrisses des Querfortsatzes vom 5. Lendenwirbelkörper. Bei traumatischen Beckenverletzungen wird dieser als Zeichen einer höheren Instabilität gesehen. Die These, dass es auch bei geriatrischen Becken ein Zeichen für eine Dekompensation der ligamentären Strukturen des hinteren Beckenrings darstellt, wird derzeit diskutiert (Rommens, Arand et al. 2019).

Denis orientierte seine Analyse an den vertikalen Komponenten der Sakrumfrakturen. Er klassifizierte 3 Typen von Frakturen: Jene durch die sakralen Flügel (Zone 1), durch die Ebene der Neuroforamina (Zone 2), sowie medial durch den Korpus (Zone 3). Alle Frakturen mit zentralen Anteil, als alle im U- oder H-Typ entfallen auf Typ 3. Denis konnte nachweisen, dass die Wahrscheinlichkeit von neuronalen Schäden von Typ 1 zu Typ 3 zunimmt (Denis et al. 1988). Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Wahrscheinlichkeit neuronaler Schäden, sowie der Auftretenswahrscheinlichkeit der einzelnen Typen bezogen auf alle Sakrumfrakturen (Neugebauer und Nothofer 2003). Zu beachten bleibt, dass Denis sich ausschließlich auf traumatische Sakrumfrakturen bezog. Da eine direkte Übertragung der Ergebnisse auf die Fragilitätsfrakturen nicht möglich erscheint, wird die Klassifikation nach Denis für diese Arbeit nicht herangezogen.

	Häufigkeit (%)	Neuronale Schäden (%)
Zone 1	54	0
Zone 2	36	29
Zone 3	10	56

Tabelle 1 - Übersicht zur Häufigkeit der Frakturtypen nach Denis bezogen auf alle Sakrumfrakturen sowie der prozentuale Anteil an neurologischen Ausfällen bezogen auf den Typ (Denis et al. 1988)

## *Klassifikationssysteme für geriatrische Beckenfrakturen*

Die bisher einzige bestehende Klassifikation, welche den Anspruch erhebt für Fragilitätsfrakturen entworfen zu sein, ist die von Rommens und Hofmann publizierte „Classification of fragility fractures of the pelvis“ (FFP) (Rommens und Hofmann 2013). Grundlage der Klassifikation bildeten 245 analysierte Becken-CTs. Es konnten 4 Gruppen kategorisiert werden, welche in bis zu 6 weiteren Untergruppen gegliedert sind.

Typ I beschreibt die isolierte vordere Beckenringfraktur. Bei Typ II kommt eine einseitige und unverschobene Fraktur des hinteren Beckenrings hinzu bzw. besteht isoliert. Typ III erfasst die einseitige dislozierte Fraktur des hinteren Beckenringes und schließlich Typ IV die bilaterale Fraktur des Os sacrum und die transiliakalen Frakturen. Zentrales Kriterium ist hier, wie auch bei der AO/OTA Klassifikation, die Stabilität des Beckens (Oberkircher et al. 2018). Aus dieser Einteilung heraus werden erste Therapieempfehlungen ausgesprochen. In Abbildung 10 wird die Kategorie IV der Klassifikation dargestellt, da sie die in dieser Arbeit thematisierten beidseitigen Sakrumfrakturen enthält (Typ IVb).

Kritikpunkte an dieser Klassifikation sind zum einen darin zu sehen, dass zur Diagnostik ausschließlich die CT herangezogen wurde (Rommens, Wagner et al. 2019), zum anderen der fehlende Bezug zur Morphologie (Bakker et al. 2018). Weiterhin ist zu bedenken, dass die Wichtigkeit der Dislokation angesichts der Seltenheit bei Insuffizienzfrakturen ggf. zu stark repräsentiert wurde.

In zahlreichen Studien konnte dieser Klassifikation eine moderate Zuverlässigkeit belegt werden (Thiesen et al. 2018; Pieroh et al. 2018; Krappinger et al. 2018). Die Zuverlässigkeit zur Unterscheidung von disloziert und nicht disloziert war jedoch als nur gering einzuschätzen, weshalb Krappinger von einer nur eingeschränkten Nützlichkeit der Klassifikation im klinischen Kontext spricht (Krappinger et al. 2018).

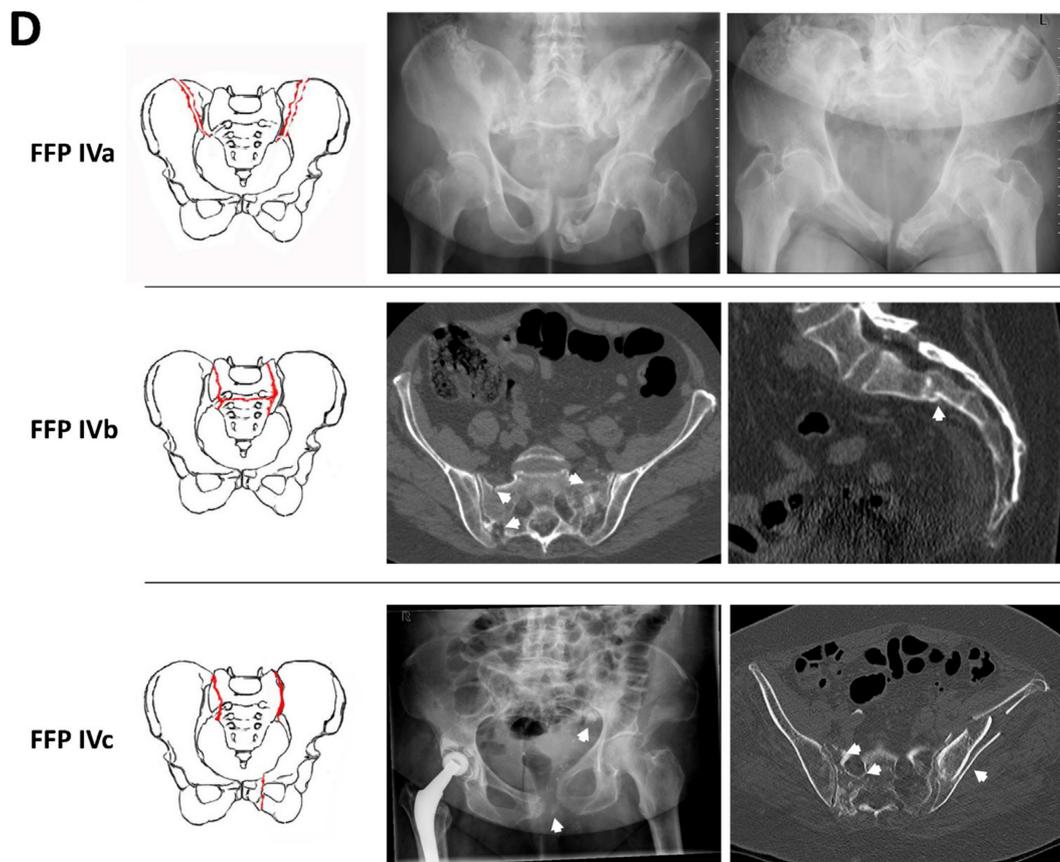


Abbildung 10 - FFP Klassifikation Klasse IV (Rommens und Hofmann 2013)

Einen weiteren Klassifikationsversuch unternahmen Bakker et al.. Sie klassifizierten hierfür 179 geriatrische Becken mit Sakrumfraktur, welche kein oder lediglich ein Bagateltrauma aufwies. Er statuierte 3 Klassen von Frakturen: A-Frakturen sind hiernach Frakturen, die lediglich ein Knochenödem im MRT aufweisen ohne Kortikalisunterbrechungen oder Frakturen, die nur partiell im Sakrum verlaufen, B-Frakturen umfassen die kompletten Frakturen der sakralen Ala und C-Frakturen unterliegen der Beteiligung des sakralen Korpus (Bakker et al. 2018).

In den Kohorten von Rommens et. al. und Denis verliefen der Großteil der Frakturen mit sakraler Beteiligung innerhalb des sakralen Ala. Eine besondere Herausforderung für die Therapie stellen die beidseitigen transalaren Frakturen dar. Sie sollen den Schwerpunkt dieser Arbeit bilden.

## Ziele der Arbeit

Zu diesem Zeitpunkt besteht kein einheitlicher Konsens über die Versorgung von bilateralen Insuffizienzfrakturen des Os sacrum. Bisher existieren in der Literatur lediglich retrospektive Outcomeanalysen zu Fragilitätsfrakturen des Beckens. Hierbei wurden Behandlungsergebnisse nach operativer (Hopf et al. 2015; Mehling et al. 2012; Morris et al. 2000; Noser et al. 2018; Taillandier et al. 2003; Osterhoff et al. 2011; Vanderschot et al. 2009) als auch nach konservativer Therapie (Höch, Özkurtul et al. 2017; Osterhoff et al. 2019; Marrinan et al. 2015; Mears und Berry 2011) untersucht. Alle diese Studien sind jedoch von retrospektivem Charakter und konzentrieren sich in erster Linie auf frühe chirurgische Komplikationen und die Gesamtmortalitätsrate. Es muss festgestellt werden, dass es an einer prospektiven Evidenz für objektive funktionelle Ergebnisse fehlt, die die Ergebnisse der verschiedenen Behandlungsoptionen bei geriatrischen Frakturen des Beckens widerspiegeln.

Ziel dieser Arbeit ist es daher, das klinisch-funktionelle Outcome für das spezifische Muster der bilateralen Sakruminsuffizienzfraktur (FFP IVb) im Vergleich zwischen zwei etablierten minimalinvasiven Osteosyntheseverfahren des hinteren Beckenrings zu untersuchen. Die an unserem Haus standardmäßig durchgeführten Methoden sind die spinopelvine Stabilisierung und die bisegmentale transsakrale Verschraubung. In dieser Studie soll das klinisch-funktionelle Outcome anhand objektiver und subjektiver Daten im Vergleich zwischen beiden OP-Methoden prospektiv untersucht werden.

Die enorme Präsenz und Relevanz dieser Frakturen zeigt sich in der raschen Prävalenzsteigerung der letzten Jahre (Kannus et al. 2000). In den Jahren 1970 bis 1997 wurde die Anzahl der Diagnose „Insuffizienzfraktur des Beckens“ um 460% gesteigert, weitere 56% werden in den Jahren 2005 bis 2025 erwartet (Burge et al. 2007). Die Inzidenz einer osteoporotischen Fraktur verdoppelt sich mit jeder Lebensdekade (Kanis et al. 2000). Zudem zeigt die hohe Rate der Mortalität von über 50% binnen der ersten 2 Jahre (Noser et al. 2018) den deutlichen Bedarf an besseren Behandlungsregimen und Therapieoptionen.

# Material und Methoden

## Studiendesign

Die vorliegende Studie ist biometrisch geprüft und wurde als prospektive explorative Beobachtungsstudie durchgeführt (Evidenzlevel 2). Eine Fallrandomisierung wurde nicht durchgeführt, da die Entscheidungsfindung für ein spezifisches Stabilisierungsverfahren auf der individuellen Sakralanatomie und dem Frakturmuster basierte. Die Studie dient der Generierung von Hypothesen.

Betrachtet wurden die Zeitpunkte präoperativ, perioperativ, postoperativ und 6 Monate im Follow up.

## Gruppenzuordnung

Zur Zeit existiert kein einheitlicher Konsens über die Art der Therapie osteoporosebedingter Sakrumfrakturen, was nicht zuletzt an der aktuell schwachen Studienlage abzulesen ist (Booth et al. 2019). Weder gibt es einheitliche Empfehlungen, wann eine operative Therapie anzuwenden ist, noch über Art und Umfang der operativen Maßnahmen. Einigkeit besteht jedoch dahingehend, dass der konservative Therapieversuch als erster Weg anzustreben ist (Wagner et al. 2016; Hu et al. 2013). Klar scheint, dass eine höhergradige Frakturdislokation oder das Auftreten neurologischer Defizite als absolute OP-Indikation gilt (Mears und Berry 2011). Diese finden sich jedoch im Rahmen der primär relativ stabilen Verhältnisse von Insuffizienzfrakturen relativ selten. Immer mehr zeigt sich, dass sich die Indikation weniger in der Konfiguration der Fraktur, sondern vielmehr im Beschwerdeausmaß des Patienten begründet und orientierend am vorbestehenden Aktivitätsniveau des Patienten gestellt werden sollte (Mehling et al. 2012; Hoffmann et al. 2013). Für die im Rahmen dieser Dissertation zugrundeliegende Studie wurde der folgende standardisierte Behandlungsalgorithmus angewendet:

Patienten, bei denen eine bilaterale Sakruminsuffizienzfraktur diagnostiziert wurde, wurden zunächst stationär aufgenommen. Unter analgetischer Therapie nach WHO Schema III mit der Gabe auch höherpotenter Opioidanalgetika wie Oxycodon erfolgte die gezielte Mobilisation auf Stationsebene unter physiotherapeutisch angeleiteter schmerzorientierter Vollbelastung.

Konnte diese erreicht und im Laufe der folgenden 3 bis 5 Tage gehalten werden, wurde die konservative Therapie weiter fortgeführt. Konnte dieses Ziel schmerzbedingt nicht erreicht werden, wurde die Indikation zur operativen Therapie gestellt.

### *Bisegmentale Transsakrale Schraubenosteosynthese (BTS)*

Die von Vanderschot bereits 2001 publizierte Methode, den hinteren Beckenring über ein intraossäres Implantat trans-iliosakroiliakal zu stabilisieren (Vanderschot et al. 2009; Vanderschot et al. 2001), wurde für die bilateralen Insuffizienzfrakturen neu aufgegriffen (Mehling et al. 2012). Der Vorteil wird in der beidseitigen trikortikalen Verankerung und in der Möglichkeit gesehen, unmittelbar auf die Frakturzonen Kompression auszuüben. Genutzt wurde diese Methode bisher vorrangig bei Hochenergieverletzungen des hinteren Beckenrings (Beaulé et al. 2006; Sean et al. 2001; Gardner und Routt 2011; Heydemann et al. 2016), erfährt aber in den letzten Jahren eine zunehmende Anwendung bei geriatrischen Fragilitätsfrakturen.

In dieser Studie findet im Speziellen die Methode der bisegmentalen transsakralen Verschraubung Anwendung. Hierbei wird sowohl der S1- als auch der S2-Korridor mit einem transsakralen Implantat besetzt. Durch das Besetzen des 2. Korridors wird eine 2-Punkt-Fixation des knöchern diszierten Sakralkoprus erreicht und so eine potenzielle Pseudonutationsbewegung in den transalaren Frakturlinien ausgeschaltet. Angenommen wird, dass nur so die auf die Fraktur wirkenden Inklinationskräfte langfristig aufgehoben werden können und das Auslockern der Implantate verhindert wird.

Hierfür ist Voraussetzung, dass:

- die individuelle Anatomie zwei besetzbare transsakrale Korridore (Level S1 & S2) aufweist
  - Sakrumdysplasien scheiden daher per se für diese Methode aus.
- die Frakturmorphologie der bilateralen transalaren Sakrumfrakturen die Platzierung zweier transsakraler Implantate erlaubt, also
  - keine Querkomponente vorhanden ist oder
  - die Querkomponente auf Level sub S2 lokalisiert ist.

Der S1-Korridor wird mit einem 6 mm Gewindestab (Depuy-Synthes: 6mm Sakralstab) stabilisiert. Dieser kann durch Verwendung beidseitiger Muttern dosiert auf Kompression gebracht werden. Zusätzlich wird eine Unterlegscheibe zwischen Mutter und Oberfläche des Os ilium gesetzt, um die Auflagefläche zu erhöhen und hierdurch das Einbrechen in das Os ilium zu verhindern. Der S2-Korridor wird in jedem Fall besetzt. Je nach Länge des Korridors wird entweder eine 7,3 mm Schraube oder ein zweiter 6 mm Gewindestab verwendet.

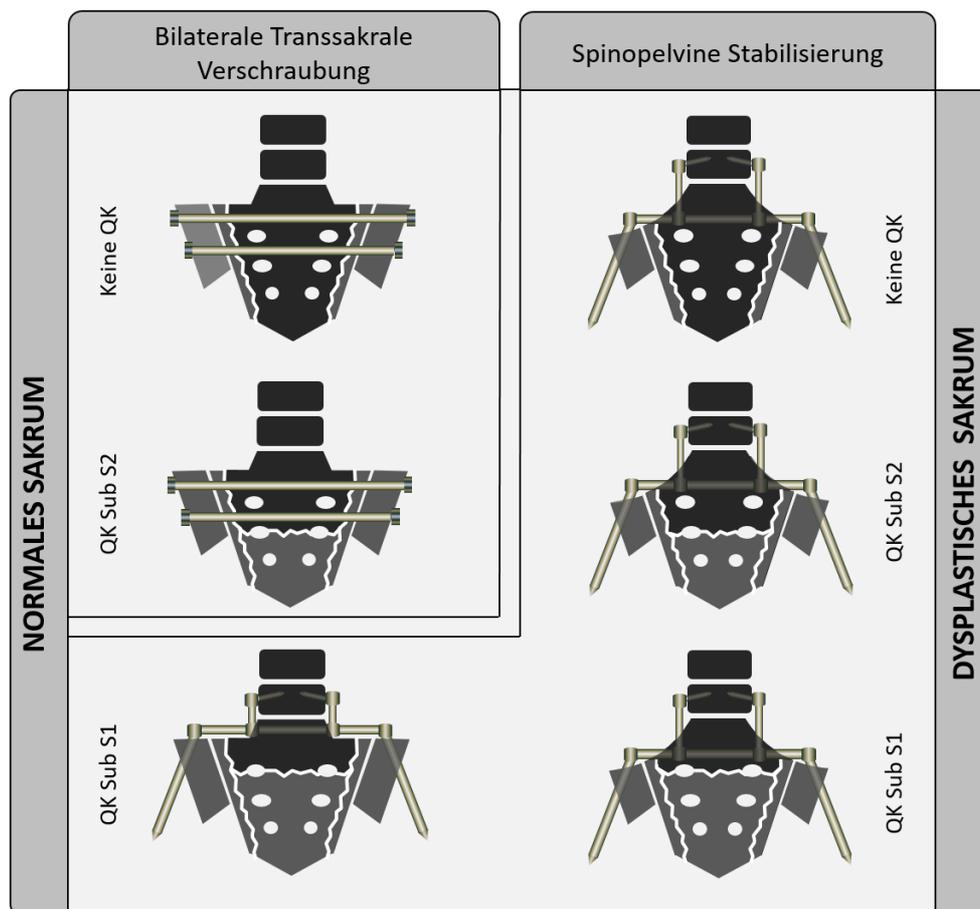


Abbildung 11 - Schematische Darstellung der Wahl des Osteosyntheseverfahrens in Abhängigkeit der Anatomie und Frakturmorphologie (QK - Querkomponente)

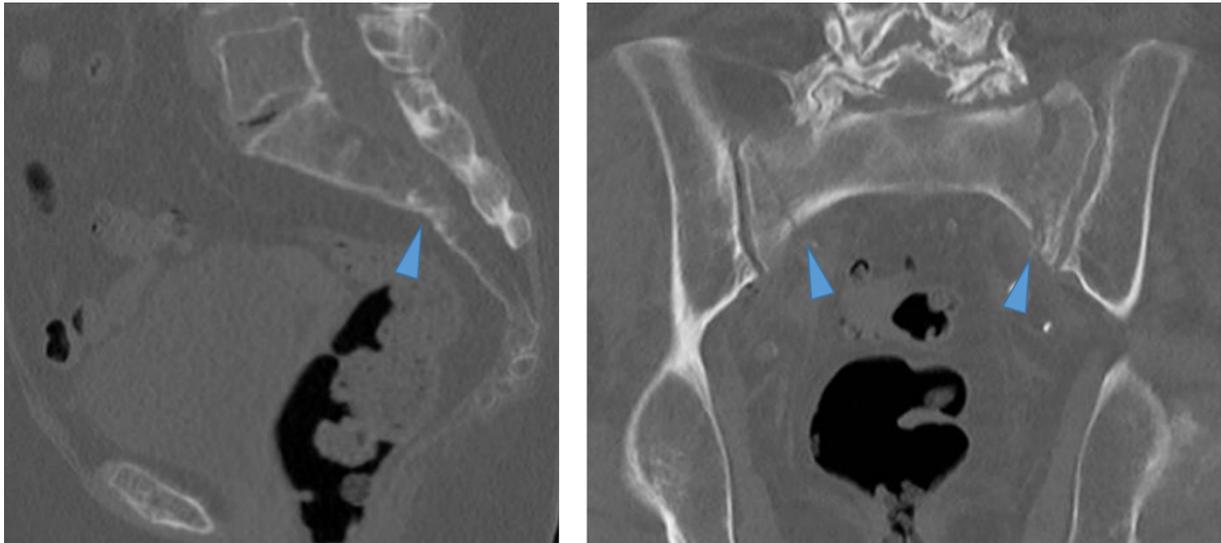


Abbildung 12 - Beispiel einer 77-jährigen Patientin mit bilateraler tranalarer Fraktur und Querkomponente auf Level sub S2.

Die bisegmentale transsakrale Verschraubung mittels Besetzung des S1- und S2-Korridors hat sich in Untersuchungen am Finite Element Modell als signifikant stabiler erwiesen, als die Versorgung mittels SI-Schrauben (Zhao et al. 2013). Weiterhin zeigte sich, dass eine mögliche Auslockerung durch das Besetzen des 2. Korridors gesenkt wird.

Das minimalinvasive Vorgehen erfolgt in klassischer fluoroskopischer Technik unter Verwendung eines Bildverstärkers in Bauchlage des Patienten auf einem Karbontisch. Hierbei werden die klassischen Matta-Projektionen in inlet und outlet sowie eine streng seitliche Projektion des Os sakrum verwendet. Die in der Literatur (Stockle et al. 2007) zu findene Navigation wird nicht angewandt.

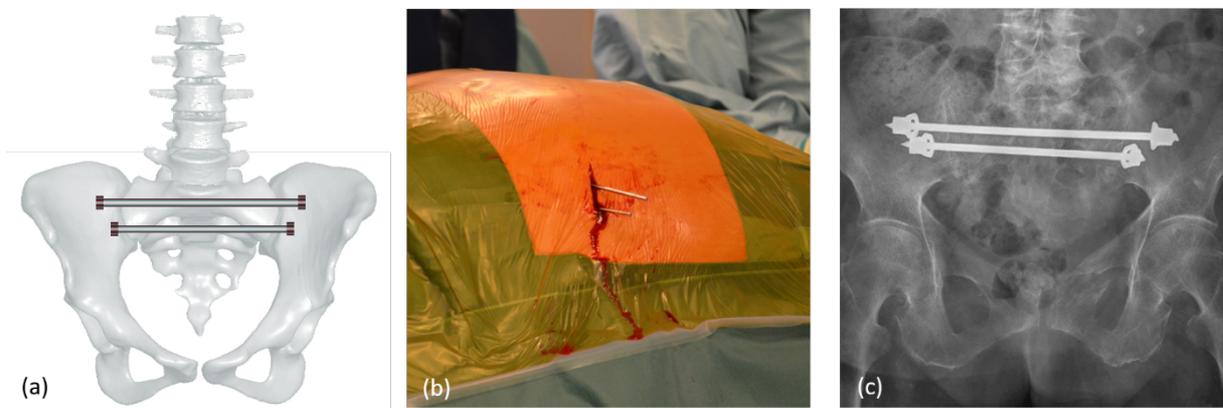
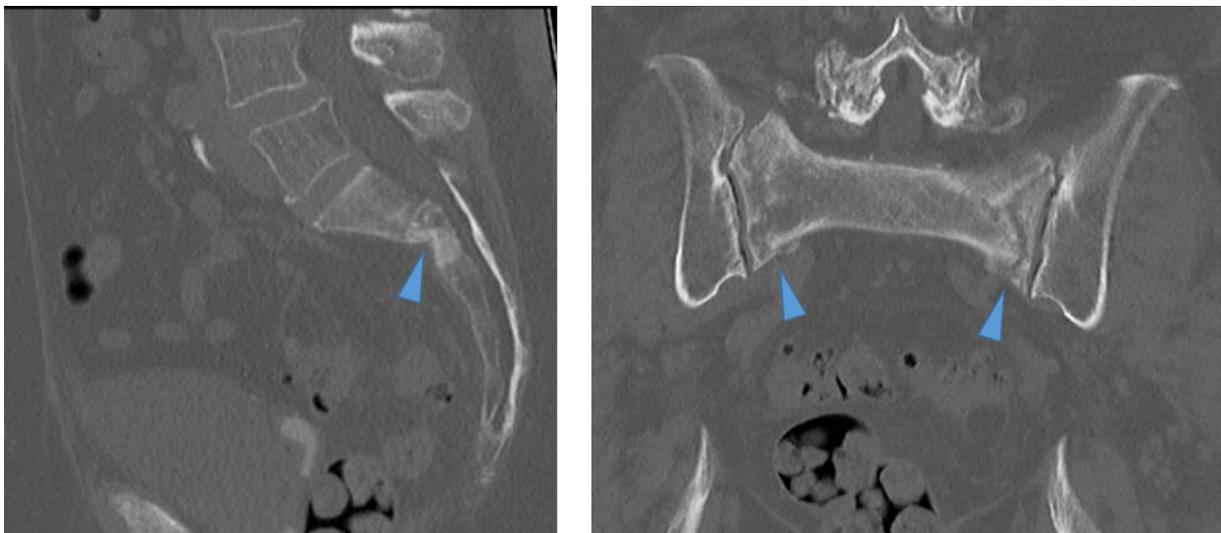


Abbildung 13 – Bisegmentale transsakrale Verschraubung (a) Schematische Darstellung (b) intraoperatives Bild (c) postoperatives Röntgenbild

### *Spinopelvine Stabilisierung (SP)*

Die Spinopelvine Stabilisierung (synonym Vertebropelvine Stabilisierung, Lumbopelvine Stabilisierung) ist ein bewährtes Verfahren sowohl bei hochenergetischen Verletzungen wie auch bei den Insuffizienzfrakturen (Roetman und Schildhauer 2013). Die technische Umsetzung variiert hierbei stark. Die Variabilität betrifft im Besonderen den spinalen Anteil des Konstrukts. So favorisieren einige Autoren die Insertion von Pedikelschrauben in LWK4 und 5, andere schließen auch LWK3 in das Konstrukt ein. Eine weitere Methode ist, entweder LWK4 oder 5 zu besetzen und durch einen Querträger im Konstrukt die Stabilität zu erhöhen (Tscherne und Pohlemann 1998). In der vorliegenden Studie wurde lediglich ein Lumbalwirbel instrumentiert (LWK4 oder LWK5). Die Querstabilisierung erfolgte durch die direkte Verbindung beider Iliumschrauben mit einem 5,5mm-Stab. Die Konnektion nach cranial auf die linke bzw. rechte lumbale Pedikelschraube erfolgte dann mittels je eines Lateralkonnektors (Depuy-Synthes: Expedium Viper 2) (Abbildung 13). Um die Ausrissfestigkeit der Schrauben zu erhöhen, konnte je nach Knochenqualität die adaptive Zementaugmentation der Schrauben erforderlich sein (Dubory et al. 2015).



*Abbildung 14 - Beispiel einer 72-jährigen Patientin mit bilateraler Fraktur und Querkomponente auf Level sub S1*

Auch bei dieser minimalinvasiv durchgeführten Technik kam ein C-Bogen zur intraoperativen Bildgebung in den Standardprojektionen zur Anwendung. Die in der Literatur auch hierfür

mitunter beschriebene Navigation (Marintschev et al. 2010; Rübberdt et al. 2009) wurde von uns nicht angewandt.

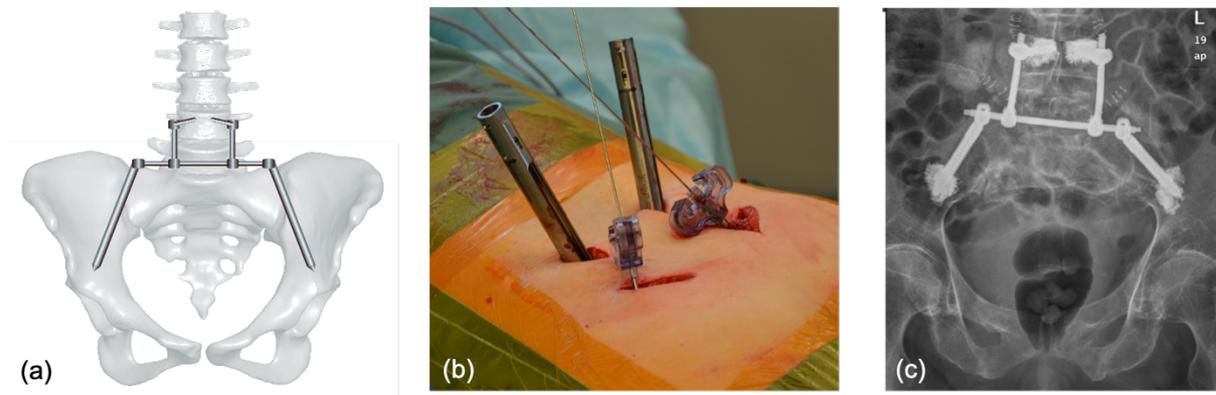


Abbildung 15 – Spinopelvine Stabilisierung (a) Schematische Darstellung (b) intraoperatives Bild (c) postoperatives Röntgenbild

Während der zusätzliche Stabilitätsgewinn bei der additiven Versorgung des vorderen Beckenrings bei klassischen traumatischen Beckenverletzungen Typ B und C biomechanisch nachgewiesen ist, ist dies bei pelvinen Insuffizienzfrakturen aufgrund der primär intakten ligamentären Integrität bis dato noch unklar. Einige Zentren postulieren die Versorgung des vorderen Beckenrings in derselben Sitzung der operativen Versorgung, um absolute Stabilität zu erhalten. In unserem Vorgehen blieb der vordere Beckenring explizit unversorgt, um zu prüfen, ob die singuläre dorsale Stabilisierung der bilateralen Sakruminsuffizienzfrakturen ausreichend erscheint. Eine Staturerhebung bezüglich der knöchernen Heilung wurde zum 6-Monats Followup durchgeführt.

### Ein-, Ausschluss- und Abbruchkriterien

Im Zeitraum von 10/2015 bis 01/2018 wurden alle am BG Klinikum Bergmannstrost Halle operativ versorgten bilateralen Fragilitätsfrakturen des Os sacrum prospektiv erfasst.

Zum Einschluss in die Studie mussten folgende Kriterien vorliegen:

- radiologisch gesicherte beidseitige Sakrumfraktur (CT, ggf. zusätzlich MRT STIR) auf dem Boden eines inadäquaten Traumas bzw. ohne Sturzereignis
- ein Alter über 55 Jahre

- das Einverständnis des Patienten

Patienten mit begleitenden Frakturen der unteren Extremitäten und solche, die durch kognitive Beeinträchtigung nicht in der Lage waren, die Fragebögen zu beantworten, wurden von der Studie ausgeschlossen. Weitere Ausschlusskriterien waren maligne Erkrankungen oder ein Hochenergietrauma als Ursache für vorliegende Beckenverletzung.

Der Nachweis der eindeutigen Überlegenheit einer der beiden Operationsmethoden wurde im Sinne der „Good Clinical Practice“ als Kriterium zum Abbruch der Studie definiert. Weiterhin sollte das Auftreten schwerwiegender Komplikationen zum Studienabbruch führen.

## Studienablauf

Zeitpunkt I Präoperativ	Mod. Oswestry Disability Index
	Bildgebung (Röntgen, CT, MRT)
Zeitpunkt II Perioperativ	Durchleuchtungszeit
	Schnitt-Naht-Zeit
	Postoperative Aufenthaltsdauer
	Komplikationen
Zeitpunkt III Postoperativ	Fit-Bit-Schrittzähler
	Zebris Ganganalyse
	Bildgebung (CT)
	Komplikationen
Zeitpunkt IV Followup	Fit-Bit-Schrittzähler
	Zebris Ganganalyse
	Bildgebung (Röntgen, CT)
	Mod. Majeed-Score, Mod. Oswestry Disability Index, Barthel-Index, SF12
	Komplikationen

Abbildung 16 - Übersicht Zeitpunkte

## Objektive Daten

### *Röntgen-, CT- und MRT-Bilddaten*

Entsprechend des diagnostischen Standards des Hauses wurde bei allen Patienten mit klinischem Verdacht auf eine Beckenverletzung zum Zeitpunkt der stationären Aufnahme primär eine Röntgen-Beckenübersichtsaufnahme durchgeführt. Es ist bekannt, dass die Übersichtsaufnahme zur Detektion von Läsionen am hinteren Beckenring insbesondere bei rarefzierter Knochenstruktur problematisch sein kann. Auch die Anwendung von Inlet- und Outle-Aufnahmen (Pennal 1980) bleiben hierbei der CT und MRT weit unterlegen. Somit wurde bei klinischem Verdacht einer Läsion am hinteren Beckenrings zudem routinemäßig eine Computertomografie durchgeführt. Es konnte bereits in früheren Studien gezeigt werden, dass die CT eine Sensitivität von 77 % bei Insuffizienzfrakturen des Beckenrings aufweist (Henes et al. 2012; Nüchtern et al. 2015). In Fällen, in denen CT-morphologisch primär nur eine einseitige Sakrumfraktur nachweisbar war, wurde zur Detektion einer etwaigen okkulten Fraktur der Gegenseite eine zusätzliche Magnetresonanztomografie durchgeführt, da die MRT eine Sensitivität von 98,6% erreicht (Nüchtern et al. 2015; Henes et al. 2012), weshalb die MRT zur Diagnostik von Fragilitätsfrakturen in der Literatur zunehmend als unerlässlich angesehen wird (Ahovuo et al. 2004). Der Nachweis der Frakturbeteiligung auch der kontralateralen sakralen Ala und damit die Bestätigung einer bilateralen Sakrumfraktur führte dann entsprechend o.g. Kriterien zum Studieneinschluss. Unter Berücksichtigung der CT- und MRT-Aufnahmen wurde das vorliegende Frakturmuster klassifiziert und entsprechend Abbildung 12 unter Berücksichtigung der Sakrumform nach Mendel et al. (Mendel et al. 2011) und dem Vorliegen einer Frakturquerkomponente der jeweiligen Versorgungstechnik zugeteilt. Zudem wurde das begleitende Vorliegen einer ein- oder beidseitigen vorderen Beckenringsfraktur erfasst.

Im postoperativen stationären Verlauf wurde regelhaft eine CT zur Beurteilung der Frakturstellung und der Implantatlage durchgeführt. Weiterhin erfolgte die Beurteilung der Frakturkonsolidierung des hinteren Beckenrings mindestens 6 Monate nach der operativen Versorgung durch eine erneute CT. Hierbei wurde unterschieden in knöcherne Konsolidierung oder Pseudarthrose. Beurteilt wurde zudem der Grad der sekundären Dislokation im Bereich des vorderen bzw. hinteren Beckenringbereich im Vergleich zur postoperativen CT.

Jeder Patient wurde befragt, wann sich ein Sturzereignis ereignete, oder seit wann die Schmerzen bestünden. Ab diesem Zeitpunkt wurden die Tage erfasst, bis Röntgen, CT und MRT durchgeführt wurden.

Weiterhin erfasst wurde die durchführende Fachabteilung der Initialdiagnostik, um abbilden zu können, wieviele Patienten primär durch die Unfalchirurgie aufgenommen wurden, oder ob es möglicherweise Primäreinweisungen zu anderen Fachabteilungen mit sekundärer Verlegung gab.

### *Perioperative Prozessdaten*

Die Dauer der Eingriffe wurde mit der Zeitspanne zwischen Hautschnitt und Hautnaht definiert (Schnitt-Naht-Zeit). Die Zeiten wurden den entsprechenden Operationsprotokollen entnommen. Des Weiteren war die intraoperative Durchleuchtungsdauer mittels eines C-Bogens in Hinblick auf die Strahlenbelastung für Patient und Operationsteam von Interesse. Die einzelnen Durchleuchtungszeiten wurden der Dokumentation im PACS-System der Klinik entnommen. Weiterhin erfasst wurde die Dauer des postoperativen stationären Aufenthaltes. Hierfür wurde die Anzahl von Tagen ab dem ersten postoperativen Tag bis zum Entlassungstag erfasst. Zusätzlich wurde die Notwendigkeit eines etwaig notwendigen ITS- oder IMC-Aufenthaltes dokumentiert.

### *Komplikationen*

Es wurden alle im postoperativen Aufenthalt auftretenden Komplikationen erfasst. Hierzu zählten OP-assoziierte Komplikationen wie Nachblutung, Wundinfektion, Nervenschäden, Implantatversagen und –fehlage. Zudem wurden Sekundärkomplikationen wie neu aufgetretende Harnwegsinfektionen, nosokomiale Pneumonien und Thrombembolien erfasst.

### *Fitbit®-Schrittzähler*

Unmittelbar postoperativ zum Zeitpunkt II (Abb. 17) wurden die Patienten mit einem Fitnessarmband für 5 Tage á 24 Stunden ausgestattet. Verwendung fand das Modell Flex

(Fitbit® Incorporated, San Francisco, USA) Dieses Armband ermittelt im getragenen Zeitfenster die Aktivität über den Parameter Schritte/Tag durch einen dreidimensionalen Beschleunigungsmesser. Hierfür wurden alle vollen Tage erfasst. Die Tragedauer betrug mindestens 4 Tage. OP-Tag und Entlassungstag entfielen.

Zum Zeitpunkt IV (Abb. 17) wurden die Patienten erneut mit dem Fitbit®-Schrittzähler ausgestattet, um das erreichte Ausmaß der Mobilität zum Erwartungszeitpunkt einer suffizienten Frakturheilung beurteilen zu können.

### *Gang- & Standanalyse mittels Zebris RehaWalk*

Um eine objektive Aussage über das Gangbild und Laufverhalten sowie die posturale Stabilität im Rumpfbereich treffen zu können, wurde die Durchführung einer Stand- und Ganganalyse auf einem Zebris RehaWalk (Zebris Medical GmbH, Isny, Germany) geplant. In der Standanalyse galt die Vorgabe bei parallel beckenbreit auseinander stehenden Füßen für eine Messdauer von 60 Sekunden frei zu stehen. Gemessen wurde die Schwankung des Körperschwerpunktes. Anschließend ermittelte das Gerät autonom ellipsoide Fläche, in der sich der Schwerpunkt („Centre of Pressure“) zu 95 % der Zeit befand. Diese sog. „Vertrauenellipse“ spiegelt die Standfestigkeit wider und gilt somit als Maß für die posturale Stabilität. Je kleiner die Vertrauensellipse ist, desto sicherer ist der Stand. Als weiteres Maß dient die Länge der Spur, welche durch den „Centre of Pressure“ (COP-Spur) beschrieben wird. Problematisch ist, dass derzeit keine Referenzdaten für geriatrisches Patientengut vorliegen.

In der Ganganalyse muss eine Mindestgeschwindigkeit erreicht werden, um die Analyse durchzuführen. Vor der Messung wird ausgehend von der Mindestgeschwindigkeit die für den Patienten individuelle Wohlfühlgeschwindigkeit gewählt. Diese wird für die Messung konstant durch das Gerät gehalten. Die Patienten wurden aufgefordert, möglichst gleichmäßig im freien Gang für 3 Minuten auf dem Laufband zu gehen. Auch in der Ganganalyse existieren zum Zeitpunkt der Studie keine Referenzwerte einer gesunden geriatrischen Population.

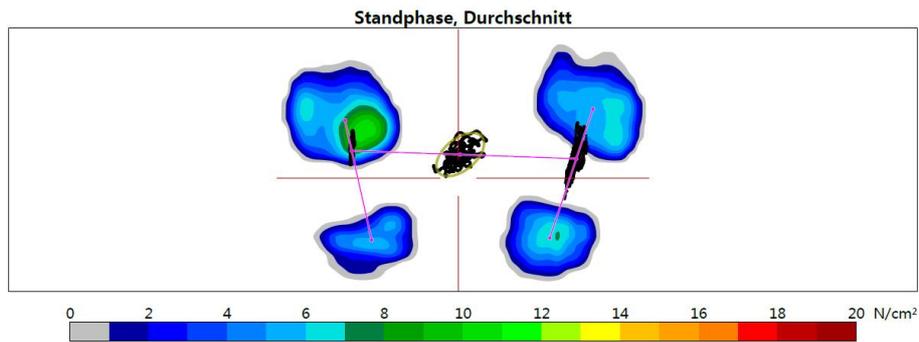


Abbildung 17 - Schematische Darstellung der Standanalyse. Die zentralen schwarzen Linien zeigen die COP-Spur als Ausdruck der Schwerpunktbewegung. Die eingezeichnete olivfarbene Ellipse repräsentiert die 95 %ige Vertrauensellipse.

### *Mortalität*

Konnte sechs Monate nach Entlassung kein erneuter Kontakt zu einem Patienten aufgebaut werden, so erfolgte über das zuständige Einwohnermeldeamt eine Abfrage zu einem möglichen Wohnortwechsel oder Versterben. Alle erhaltenen Sterbedaten wurden erfasst und ausgewertet.

### *Hilfsmittel, Entlassungsmodalitäten und Lebensumstände*

Für alle eingeschlossenen Patienten wurde die Notwendigkeit orthopädischer Hilfsmittel zur Mobilisation zum Entlassungszeitpunkt wie die Verwendung von Rollstuhl, Gehbank, Rollator oder Unterarmgehstützen im Sinne einer Ordinalskala erfasst. Wurde kein Hilfsmittel verwendet, wurde die Mobilität als „frei“ definiert. Zum Wiedervorstellungszeitpunkt IV im Followup nach mindestens 6 Monaten wurde die Erhebung erneut durchgeführt.

Therapeutisches Ziel zur Entlassung war die Entlassung der Patienten in ausreichender Mobilität außer Bettes. In Abhängigkeit vom individuellen Rehabilitationspotenzial wurden die Entlassung in die Häuslichkeit, der Transfer in eine Anschlussheilbehandlung, in eine akutgeriatrische stationäre Behandlung, in eine Kurzzeitpflegeeinrichtung oder in ein betreutes Wohnen/Pflegeheim organisiert. Eine Verlegung hausintern in eine andere Fachabteilung aufgrund behandlungspflichtiger Komorbiditäten wurde ebenfalls erfasst.

Zum Followup-Zeitpunkt IV erfolgte erneut eine Abfrage der aktuellen Lebensumstände. Differenziert wurde nach „selbstständig zu Hause“, „betreutes Wohnen“ und „Pflegeheim“.

## Scoring-Systeme

### *Modifizierter Majeed-Score*

Der Majeed-Score wurde eigens für Beckenverletzte entworfen. Er stützt sich auf die Items Schmerz, Arbeit, Sitzen, sexuelle Aktivität, benötigte Hilfsmittel, Gehstrecke und Treppensteigen. Vergeben werden unterschiedliche Punktzahlen je Item, sodass eine direkte Wichtung der Items stattfindet (Majeed 1989). Ähnlich wie auch in anderen Studien, die den Score bei geriatrischen Patienten angewendet haben, wurde der Score dahingehend angepasst, dass das Item „sexuelle Aktivität“ nicht abgefragt wurde (Höch, Özkurtul et al. 2017; Osterhoff et al. 2019). Die maximal mögliche Gesamtpunktzahl beläuft sich somit auf 96 statt 100 Punkte.

#### **Modifizierter Majeed Score**

##### **Schmerzen – 30 Punkte**

Intensiv, in Ruhe	0
Intensiv bei Aktivität	10
Tolerabel aber Aktivitätslimitierend	15
Bei moderater Bewegung, nicht in Ruhe	20
Mild, Aktivität nicht eingeschränkt	25
Wenige oder keine Schmerzen	30

##### **Arbeit – 20 Punkte**

Keine reguläre Arbeit möglich	0
Leichte Arbeit	8
Einige Arbeiten nicht mehr möglich	12
Alle Arbeiten möglich, jedoch reduziert	16
Keine Einschränkungen	20

##### **Sitzen – 10 Punkte**

Immer schmerzhaft	0
Bei langen Sitzen Schmerzhaft	6
Unangenehm	8
Frei	10

##### **Hilfsmittel – 12 Punkte**

Bettlägerig	0
Rollstuhl	4
Zwei Unterarmgehilfen	6
Zwei Gehstöcke	8
Ein Gehstock	10
Keine Hilfsmittel	12

##### **Gangverhalten – 12 Punkte**

Nicht gehfähig	0
Tippelschritte	4
Grobes Hinken	6
Mittleres Hinken	8
Dezentes Hinken	10
Physiologisches Gangbild	12

##### **Gehstrecke – 12 Punkte**

Nicht gehfähig	0
Sehr limitiert	4
Limitiert, nur mit Gehhilfe	6
Wenig limitiert, mit Gehhilfe	8
Wenig limitiert, ohne Gehhilfe	10
Normal	12

Abbildung 18 - Modifizierter Majeed-Score (Majeed 1989)

### *Modifizierter Oswestry Disability Index*

Der Standardisierte Fragebogen „OSWESTRY Disability Index“ wurde 1976 durch John O’Brien speziell für Krankheitsleiden des Rückens und der Wirbelsäule entwickelt und 1980

erstmalig von Fairbank et al. publiziert (Fairbank und Pynsent 2000). Heute gilt er als einer der am häufigsten angewandten Scores für Patienten mit tiefen Rückenschmerzen. Der Patient wird dabei zu 10 Bereichen befragt, für die er jeweils 0 (keine Einschränkung) bis 5 (sehr starke Einschränkung) Punkte vergeben kann. Summiert sind somit maximal 50 Punkte möglich. Die abgefragten Lebensbereiche umfassen dabei:

- Schmerzintensität
- Heben
- Sitzen
- Schlafen
- Sozialleben
- Körperpflege
- Gehen
- Stehen
- Sexualleben
- Mobilität

Die Erhebung des Scores erfolgte in unserer Studie unmittelbar vor Entlassung und 6 Monate postoperativ. Auch dieser Score wurde um das Item „Sexualleben“ gekürzt. Somit erhält man eine erreichbare Punktzahl von 45 statt 50 Punkten.

### *Barthel-Index*

Den Barthel-Index (Activity of daily live) zur Beurteilung der Unabhängigkeit von Patienten im Alltag sowie der Prognosestellung der Rehabilitation entwickelten Mahoney und Barthel 1965. Ursprünglich wurde dieser für Erkrankungen neuromuskulären und muskuloskelettalen Ursprungs herangezogen (Mahoney und Barthel 1995). Heute wird er ubiquitär in der Medizin verwendet. Bezüglich therapeutischer Vorhersagen wird dem Barthel-Index eine gute prädiktive Wertigkeit angerechnet (Sainsbury 2005).

Die betrachteten Kategorien umfassen:

- Essen
- Körperpflege
- Stuhlkontrolle
- Toilettenbenutzung
- Mobilität
- Baden
- An- und Auskleiden
- Harnkontrolle
- Bett-/Stuhltransfer
- Treppensteigen

Je Kategorie können 0-15 Punkte erreicht werden. Die Summe beläuft sich somit auf eine Maximalanzahl von 100 Punkten. Eine Klassifikation der Punkte erfolgt in drei Bereiche: 100

Punkte entsprechen einer völlig „selbstständigen Lebensführung ohne fremde Hilfe“. 65-95 Punkte bedeuten „Selbstständigkeit mit Hilfe“ und Punktsummen unter 65 stehen für „Unselbstständigkeit“ (Mahoney und Barthel 1995).

### *Short Form Health Survey 12*

Zur generischen Erfassung des allgemeinen, subjektiv empfundenen Gesundheitszustandes und zur Evaluation des Umganges mit Alltagssituationen wurde die Kurzform des Short Form Health Survey 36 (SF-36) in Form des SF-12 herangezogen. Bearbeitungen ergaben, dass die Reduktion der Items von 36 auf 12 zu vergleichbaren Ergebnissen führten und somit gleicher Standard und gleiche Norm für die Interpretation gelten (Bullinger und Kirchberger 1998). Bei einer maximalen Punktzahl von 100 repräsentieren niedrige Ergebnisse einen besseren Gesundheitszustand als hohe. Beurteilt werden subjektives Befinden, Sozialverhalten, Verfassung, Rollenfunktion, Schmerz und Leistungsfähigkeit.

Die Erhebung wurde zum Zeitpunkt IV durch selbstständiges Ausfüllen des Fragebogens durchgeführt.

## **Statistik**

Der Test auf Normalverteilung der Vergleichsgruppen erfolgte mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test. Unterschiede zwischen den Intervention (SP bzw. BTS) für die Variablen OP-Zeit, BV-Zeit, Dauer des postoperativen Aufenthalts, die Anzahl der Schritte und des ODI wurden mittels verteilungsadäquatem Test für unabhängige Stichproben (t-test, Mann-Whitney U-Test) untersucht. Interventionsbedingte Unterschiede im Auftreten postoperativer Komplikationen wurden mit Chi<sup>2</sup>-Test (exakter Test nach Fisher) untersucht. Einflüsse der Interventionen auf den ODI-Score wurden mittels ANOVA mit Messwiederholung (Intervention (2: SP und BTS) × Zeitpunkt (2: prä und postoperativ)) geprüft. Das Signifikanzniveau wurde mit  $\alpha=0.05$  (5%) festgelegt. Verwendet wurde die IBM Software SPSS V.24 (IBM, SPSS Inc., Chicago IL).

# Ergebnisse

## Kohorte

Primär wurden im Untersuchungszeitraum in unserer Klinik insgesamt 92 Patienten mit einer bilateralen Insuffizienzfraktur des Os sacrum behandelt. 31 (34 %) der Patienten wurden aufgrund einer guten Mobilisierbarkeit unter adäquater analgetischer Therapie der konservativen Therapie zugeführt. Die verbleibenden Patienten wurden nach erfolglosem konservativen Therapieversuch unter WHO-III Schmerzmedikation in die Studie eingeschlossen und entsprechend des Frakturverlaufes unter Berücksichtigung der individuellen Sakrumanatomie einer der beiden operativen Therapieoptionen zugeführt. Hierbei wurde in 41 Fällen (67 %) die spinopelvine Stabilisierung angewandt, die bisegmentale transsakrale Verschraubung in 20 Fällen (33 %) (Abb. 12).

Somit konnten im benannten Zeitraum 61 Patienten (6 Männer, 55 Frauen) eingeschlossen werden. Das Durchschnittsalter betrug  $80 \pm 10$  Jahre, bei einer mittleren Größe von  $163 \pm 7$  cm und einem Gewicht von  $71 \pm 14,0$  kg. Das perioperative Risiko wurde anhand des „American Society of Anaesthesiologists-Score“ (ASA-Scores) mit  $2,7 \pm 0,5$  bestimmt. In Tabelle 2 werden die Charakteristiken der Gruppen gegenübergestellt.

Die Gruppen werden als vergleichbar angesehen.

	<b>Gesamt (n=61)</b>	<b>BTS (n=20)</b>	<b>SP (n=41)</b>
Alter (Jahre)	80 ( $\pm 10$ )	80 ( $\pm 12$ )	80 ( $\pm 9$ )
Größe (cm)	163 ( $\pm 7$ )	162 ( $\pm 6$ )	163 ( $\pm 5$ )
Gewicht (kg)	71 ( $\pm 14$ )	70 ( $\pm 14$ )	71 ( $\pm 14$ )
BMI	27 ( $\pm 5$ )	27 ( $\pm 5$ )	26 ( $\pm 4$ )
ASA	2,7 ( $\pm 0,6$ )	2,7 ( $\pm 0,5$ )	2,7 ( $\pm 0,6$ )

*Tabelle 2- Übersicht über die epidemiologischen Daten der beiden Gruppen unter Angabe vom Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung. BTS- Bisegmentale Transsakrale Verschraubung, SP - Spinopelvine Aufhängung*

Ein erinnerliches Trauma konnte von 31 der 61 eingeschlossenen Patienten (50,8 %) berichtet werden. Es handelte sich in jedem Fall um ein Bagateltrauma wie Sturz über die Teppichkante, sich in einen tiefen Stuhl fallen lassen, bis hin zu einem berichteten starken Nießen in einem Fall.

In Abbildung 19 wird der Patienteneinschluss über die Dauer der Studie gezeigt. Im postoperativen Prozedere kam es bei 3 Fällen zum Exitus letalis. In einem Fall der SP-Gruppe ereignete sich am 6. postoperativen Tag eine Magenperforation. Unter bewusster Verweigerung einer Operation verstarb die Patientin. Eine weitere 86-jährige Patientin in dieser Gruppe erlitt im stationären Verlauf einen Herzinfarkt mit letalem Ausgang. In der BTS-Gruppe verstarb eine Patientin in Folge einer Lungenembolie am 4. postoperativen Tag.

Zum Followup-Zeitpunkt IV stellten sich auf Einladung 14 Patienten der BTS-Gruppe erneut zur Untersuchung vor. Drei Patienten waren innerhalb des Followup-Zeitraums verstorben, weitere 2 Patienten antworteten nicht auf die Einladung. Es ergibt sich eine Survivors Followup von 87,5 % unter Berücksichtigung der Mortalität von 20 %.

Aus der SP-Gruppe wurden 23 Patienten zum Zeitpunkt IV wieder vorstellig. Fünf Patienten waren verstorben, 6 antworteten nicht auf die Einladung und weitere 5 lehnten Wiedervorstellung ab. Das Survivors Followup lag somit bei 67,6 % bei einer Mortalität von 17,1 %.

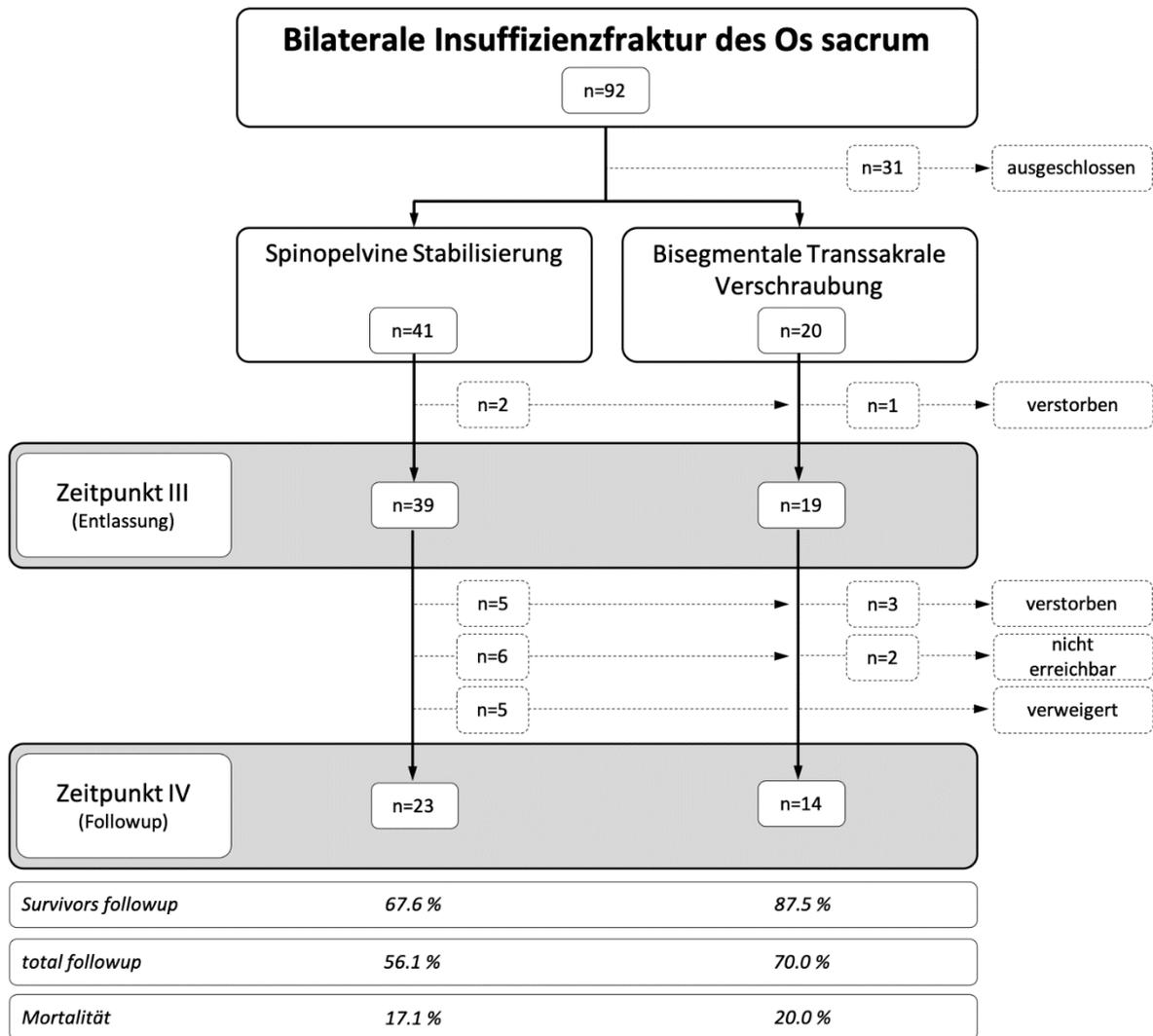


Abbildung 19 – Anzahl der ein- und ausgeschlossenen Patienten und Übersicht über die Patientenzahlen postoperativ bis zum Followup

## Zeitpunkt I – präoperativ

Für den Zeitpunkt I gingen die Daten aller operativ versorgten Patienten ein. Die für diesen Zeitpunkt genannten Ergebnisse beziehen sich somit auf eine Gesamtzahl von 61 Patienten mit bilateralen Sakrumraktionen. Hiervon wurden zu einem späteren Zeitpunkt 41 mittels spinopelviner Stabilisierung und 20 mittels bisegmentaler transsakraler Verschraubung behandelt.

## Bildgebung

Die Analyse der vollständigen Datensätze aller eingeschlossenen Fälle belegt eine deutliche Mehrheit der Frakturverläufe durch die sakrale Ala. Mit 67 % ist der Großteil der Frakturen dort lokalisiert. In 33 % finden sich Frakturausläufer in die Ebene der Neuroforamen. Vertikale Frakturlinien durch den Sakrumkorpus fanden sich nicht.

	<b>BTS</b>	<b>SP</b>	<b>Gesamt</b>
Fraktur entlang der Ala	19 (95%)	24 (59%)	41 (67%)
Fraktur transforaminal	3 (5%)	17 (41%)	20 (33%)
Fraktur durch den Korpus	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)

*Tabelle 3 - Verteilung des Verlaufs der vertikalen Frakturkomponenten. Zahlen absolut und in Prozent (%)*

Bei Hochenergietraumata mit resultierender vertikaler Instabilität des Beckens ist die Bedeutung des Facettengelenkverletzung bekannt und für die Therapieentscheidung zu beachten. Unklar ist deren Bedeutung und deren begleitendes Auftreten bei den Insuffizienzfrakturen. In Summe zeigt sich in unserer Gesamtkohorte, dass die Facettengelenke mit 13 % (Isler 2 oder 3) selten betroffen sind. Ein unmittelbares Einlaufen der Frakturlinie in die Gelenkfläche (Isler 2) des S1-Facettfortsatzes war nur bei 3 % (2 Fälle) zu eruieren. Ein Verlauf medial des Facettfortsatzes ohne Beteiligung der Gelenkfläche (Isler 3) war bei 10 % nachweisbar.

	<b>BTS</b>	<b>SP</b>	<b>Gesamt</b>
Isler 1	18 (90%)	35 (85%)	53 (87%)
Isler 2	1 (5%)	1 (3%)	2 (3%)
Isler 3	1 (5%)	5 (12%)	6 (10%)

*Tabelle 4 - Verteilung der Facettengelenksbeteiligung nach der Klassifikation nach Isler et al., Zahlen absolut und in Prozent (%)*

Entsprechend der in dieser Studie betrachteten Frakturmuster bilateraler Sakruminsuffizienzfrakturen (Abb. 12) sind alle Fälle dem Typ FFP IVb nach Rommens et al. (100 %) zuzuordnen.

Unabhängig von einem gängigen Klassifikationssystem ist eine rein morphologische Beschreibung nach Dysplasie, Vorhandensein einer Querkomponente, Fraktur des Querfortsatzes LWK5 sowie des vorderen Beckenrings möglich. Erwartungsgemäß findet sich in nur 11 % der Sakren eine Dysplasie entsprechend einer Triangle Ratio  $> 1,5$  (Mendel et al. 2011). Alle eingeschlossenen dysplastischen Sakren wurden mittels spinopelviner Abstützung versorgt, da ein S1-Korridor definitionsgemäß nicht vorhanden war.

Insgesamt 43 Frakturen (70 %) wiesen in CT und/oder MRT eine Querkomponente im Sinne einer H- oder U-Fraktur auf. Der überwiegende Teil der Querkomponenten fand sich im Niveau sub S1 (30 Fälle). In der Gruppe der BTS fand sich entsprechend der Gruppenzuordnungskriterien (Abb. 12) keine Querkomponente in sub S1.

Die bei traumatischen Frakturen häufig als „Zeichen höhergradiger Instabilität“ interpretierten Avulsionsfrakturen der LWK5-Querfortsätze, sind auch in knapp der Hälfte der Insuffizienzfrakturen nachweisbar. Die Gruppenverteilung ist inhomogen: So finden sich bei der BTS-Gruppe überwiegend Frakturen ohne Querfortsatzabriss (75%) und bei der SP-Gruppe überwiegend Frakturen mit Querfortsatzabriss (62%).

Das Vorhandensein einer vorderen Beckenringfraktur wird in keiner der genannten Klassifikationen gesondert betrachtet, sofern eine hintere bilaterale Fraktur vorliegt. Bei der FFP-Klassifikation der Gruppe IVb ändert eine begleitende vordere Beckenringfraktur nicht die Klassifikationsgruppe. Aus diesem Grund wurden die vorderen Beckenringe gesondert betrachtet: In 49 % der Datensätze war der vordere Beckenring frakturiert. 5 davon wiesen eine bilaterale Fraktur auf. Es verblieben 51 % ohne eine Läsion im vorderen Beckenring. Tabelle 5 gibt eine Übersicht über die Anatomie und Morphologie der eingeschlossenen Fälle.

		<b>BTS</b>	<b>SP</b>	<b>Gesamt</b>
		<b>n = 20</b>	<b>n = 41</b>	
Dysplasie	Ja	0 (0%)	7 (17%)	7 (11%)
	Nein	20 (100%)	34 (83%)	54 (89%)
Querkomponente	sub S1	0 (15%)	30 (66%)	30 (49%)
	sub S2	6 (30%)	7 (17%)	13 (21%)
	Keine	11 (55%)	7 (17%)	18 (30%)
Fraktur des LWK5- Querfortsatzes	Ja	5 (25%)	25 (61%)	30 (49%)
	Nein	15 (75%)	16 (39%)	31 (51%)
vordere Beckenfraktur	Ja	13 (67%)	17 (66%)	30 (49%)
	Nein	7 (33%)	14 (34%)	31 (51%)

*Tabelle 5 - Anzahl der dysplastischen Becken, Vorhandensein von Querfrakturen, Beteiligung des Querfortsatzes LWK5 und des vorderen Beckenrings. Absolutzahlen und in Prozent (%) Gesamtzahl: 61*

Es verging durchschnittlich eine Woche von Beschwerdebeginn bis zur ersten Diagnostik mittels Röntgen. Lediglich 24 der 61 Patienten (39,3%) stellten sich unmittelbar am Tag des Beschwerdebeginns vor. Es vergingen durchschnittlich weitere 6 Tage bis eine CT Diagnostik durchgeführt wurde und nochmals 7 Tage bis zum Vorliegen der MRT.

In der Erfassung der Primär-/Sekundäraufnahmen ergab sich, dass 11 der 63 (17%) Patienten primär in die Neurochirurgie eingewiesen bzw. aufgenommen wurden.

## **Zeitpunkt II – perioperativ**

Die erhobenen perioperativen Prozessdaten ergaben für die Schnitt-Naht-Zeit bei der bisegmentalen transsakralen Verschraubung im Mittel eine Dauer von  $68 \pm 24$  min womit sich diese Methode gegenüber der spinopelvinen Stabilisierung mit  $94 \pm 26$  min als signifikant schneller darstellt ( $p=0,004$ ). Die benötigte intraoperative fluoroskopische Durchleuchtungszeit war bei beiden Gruppen mit  $114 \pm 37$  s (SP) versus  $122 \pm 62$  s (BTS) vergleichbar ( $p=0,625$ ). Beide Gruppen unterschieden sich ebenfalls nicht in Bezug auf die stationäre Behandlungsdauer. Diese betrug bei der bisegmentalen transsakralen Verschraubung  $8 \pm 3$ , bei der spinopelvinen Stabilisierung  $9 \pm 5$  Tage ( $p=0,539$ ). Acht (19,5 %) der 41 mittels SP versorgten Patienten mussten postoperativ auf ITS/IMC aufgenommen werden. Der durchschnittliche Aufenthalt betrug drei Tage  $\pm 0,3$  Tage. In der Gruppe der BTS-versorgten wurden drei (15 %) Patienten postoperativ auf eine Überwachungsstation aufgenommen

(Durchschnittlicher Aufenthalt: 4 Tage  $\pm$  0,5 Tage. Ein Unterschied zwischen den Gruppen ergab sich nicht.

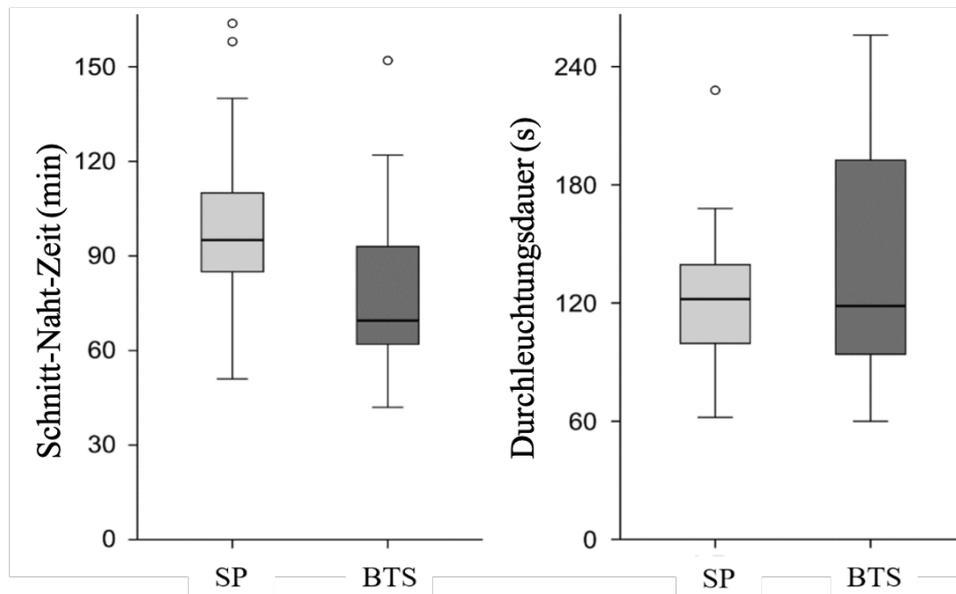


Abbildung 20 - Schnitt-Naht-Zeit in Minuten und benötigte Durchleuchtungszeit beider Methoden im Vergleich

### Zeitpunkt III – 1 Woche postoperativ

Zum Zeitpunkt III konnten – sofern im Folgenden nicht anders angegeben – insgesamt 58 Patienten eingeschlossen werden. Davon verblieben für die spinopelvine Stabilisierung 39 und für die bisegmentale transsakrale Verschraubung 19 Patienten. Grund für die Reduktion war die postoperative Mortalität (Abb. 20).

### Komplikationen

Innerhalb der ersten 7 Tage nach der Operation traten in 5 Fällen Komplikationen auf. Wobei nur 1 der 6 Komplikationen, die revisionspflichtige Fehllage einer Iliumschraube bei der spinopelvinen Stabilisierung, als unmittelbar OP-assoziiert zu betrachten ist. In 3 Fällen (BTS: n=2, SP: n=1) trat postoperativ ein unkomplizierter Harnwegsinfekt auf. In der BTS-Gruppe führten je eine fulminante Lungenembolie und eine Magenperforation zum Exitus letalis. Bei Letzterer lehnte die betroffene Patientin die dringende Empfehlung zur Notfalloperation

vehement ab. In der SP-Gruppe verstarb eine Patientin im postoperativen Verlauf an einem akuten Myokardversagen bei vorbestehender koronarer Herzkrankheit.

	<b>BTS</b>	<b>SP</b>	<b>Gesamt</b>
Nachblutung	0	0	1
Infektion Wunde	0	0	0
Nervenschäden	0	0	0
Implantatversagen	0	0	0
Implantatfehlage	0	1	1
Harnwegsinfekt	2	1	3
Pneumonie	0	0	0
Thrombembolie	1	0	1
Sonstige	0	1	1
<b>Gesamt</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>5</b>
<b>Exitus letalis</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>

*Tabelle 6 - Komplikationen innerhalb der ersten postoperativen Woche.*

### **FitBit®-Schrittzähler**

Ab dem 1. postoperativen Tag trugen alle Patienten das Aktivitätsarmband zur objektiven Erfassung der Mobilität. Innerhalb der ersten postoperativen Tage erreichten Patienten mit BTS eine durchschnittliche Schrittzahl von  $339 \pm 325$  am Tag. Im ähnlichen Bereich mobilisierten sich Patienten, welche mittels spinopelviner Stabilisierung versorgt wurden. Sie liefen durchschnittlich  $327 \pm 394$  Schritte am Tag.

### **Zebris-RehaWalk**

Die sichere Durchführung der Standanalyse gelang 63 % der bisegmental transsakral versorgten Patienten (11 von 19) und lediglich 36 % der spinopelvin Versorgten /16 von 39). Allen anderen geriatrischen Probanden war der freie Stand ohne orthopädische Hilfsmittel in der unmittelbar postoperativen Phase nicht möglich. Als Ausdruck der posturalen Stabilität ergab sich hierfür in Summe eine Vertrauensellipse von  $420 \pm 381 \text{ mm}^2$  für BTS und  $374 \pm 265 \text{ mm}^2$  für SP. Ein signifikanter Unterschied bestand hier zwischen beiden Gruppen nicht.

	<b>BTS (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>SP (mm<sup>2</sup>)</b>
	n = 11 / 19	n = 16 / 39
Gesamt	420	374
Standardabweichung	381	265
<b>p-Wert</b>	<b>0,5</b>	

*Tabelle 7 - Vertrauensellipse als Zeichen für die posturale Stabilität zum Zeitpunkt eine Woche nach Operation in mm<sup>2</sup>*

Eine Ganganalyse, also das hilfsmittelfreie Gehen über 3 Minuten auf einem Laufband konnte in jeder Gruppe lediglich von 2 Patienten des betagten Patientengutes physisch und kognitiv umgesetzt werden. Somit entfallen diese Daten aus der statistischen Betrachtung.

### **Entlassungsmodalitäten und Mobilitätsgrad**

Im Rahmen der Studie wurde die Art der poststationären Versorgung der Patienten aus der unfallchirurgischen Behandlung heraus erfasst. Bei den bisegmental transsakral versorgten Patienten konnten 7 (37 %) Patienten die Klinik zurück in das gewohnte häusliche Umfeld verlassen, weitere 6 (32 %) Patienten boten das Rehabilitationspotenzial für eine stationäre Anschlussheilbehandlung. Jeweils 2 (10 %) wurden entweder einer akutgeriatrischen Einrichtung bzw. einer Kurzzeitpflege zugewiesen. Bei weiteren 2 Patienten war aufgrund dominierender internistischer Comorbiditäten die Verlegung in einer andere Fachabteilung erforderlich.

Deutlich weniger Patienten der spinopelvin versorgten Gruppe (n = 5; 13 %) konnten zurück in die Häuslichkeit entlassen werden. Degegenüber konnten jedoch 44 % (n=17) eine Anschlussheilbehandlung antreten. Ein Aufenthalt in temporären Pflegeeinrichtungen wurde für 26 % durch eine Akutgeriatrie und für 13 % durch eine Kurzzeitpflege umgesetzt. Zwei Fälle wurden innerhalb des Krankenhauses zur Weiterbehandlung inter internistischer Grundleiden verlegt. Eine genaue Übersicht bietet Tabelle 8.

	<b>BTS</b>	<b>SP</b>
zurück nach Hause	7 (37 %)	5 (13 %)
Anschlussheilbehandlung	6 (33 %)	17 (44 %)
Akutgeriatrie	2 (10 %)	10 (26 %)
Kurzzeitpflege	2 (10 %)	5 (13 %)
Innerklinische Verlegung	2 (10 %)	2 (5 %)

*Tabelle 8 - Entlassungsmodalitäten nach Abschluss der unfallchirurgischen Therapie*

Des Weiteren wurde der Grad der Mobilität im Zusammenhang mit der Notwendigkeit orthopädischer Hilfsmittel erfasst. Ein freier Gang konnte von 31 % der BTS-Patienten und 8 % der SP-Patienten umgesetzt werden. Unterarmgehstützen wurden von 21 % bei BTS und 23 % bei SP benötigt. Am häufigsten waren die Patienten in beiden Gruppen (42 % bei BTS, 38 % bei SP) zum Entlassungszeitpunkt an einer Gehband mobilisiert. Ein Patient, welcher mit der bisegmentalen transsakralen Verschraubung versorgt worden war, mobilisierte sich mit einem Rollator (5 %). Bei den spinopelvin Versorgten griffen 13 % auf diesen zurück. Nicht gehfähig verblieb in der Gruppe der BTS kein Patient, jedoch 18 % in der Gruppe der SP (Rollstuhl 15 %, bettlägerig 3 %). Tabelle 9 gibt eine Übersicht über das gesamte Studienkollektiv zum Zeitpunkt III.

	<b>BTS</b>	<b>SP</b>
Freies Gehen	6 (31 %)	3 (8 %)
Unterarmgehstützen	4 (21 %)	9 (23 %)
Gehbank	8 (42 %)	15 (38 %)
Rollator	1 (5 %)	5 (13 %)
Rollstuhl	0 (0 %)	6 (15 %)
Bettlägerig	0 (0 %)	1 (3 %)

*Tabelle 9 - Notwendigkeit orthopädischer Hilfsmittel zum Zeitpunkt der Entlassung aus der unfallchirurgischen Behandlung*

## **Zeitpunkt IV – 6 Monate postoperativ**

Zum Followup nach mindestens 6 Monaten folgten 14 Patienten der BTS-Gruppe und 23 Patienten der SP-Gruppe der Nachuntersuchungsaufforderung (Abb. 20). Die im folgenden beschriebenen Ergebnisse beziehen sich auf diese Anzahlen, soweit nicht anders angegeben.

## **Radiologisches Outcome**

In den durchgeführten CT-Untersuchungen wurden sowohl die Konsolidierung und Stellung des hinteren Beckenrings als auch des vorderen Beckenrings beurteilt, insofern bei Letzterem eine Beteiligung vorlag.

Es zeigte sich bei durchweg allen Patienten beider Gruppen eine vollständige Konsolidierung des hinteren Beckenrings in primär fixierter Stellung ohne sekundären Stellungsverlust. Bei den vorderen Beckenringfrakturen fand sich in der BTS-Gruppe in 8 der 14 Fällen eine begleitende vordere Beckenringfraktur. In 5 Fällen war diese zum Zeitpunkt IV vollständig konsolidiert. Jedoch verblieben auch 3 Pseudarthrosen. Bei den SP-Patienten wurden 7 Fälle mit primärer vorderer Beckenringfraktur erneut gesichtet. Vier waren primär verheilt, 3 wiesen eine Pseudarthrose im vorderen Beckenring auf. Eine Dislokation von mehr als Schaftbreite war bei keinem der Fälle vorliegend.

Weiterhin wurden 5 Lockerungen von Ilium- oder Pedikelschrauben bei den spinopelvinen Stabilisierungen gesehen. Bei einem Konstrukt versagte das Material im Sinne einer gelösten Verriegelung einer polyaxialen Schrauben-Stab-Verbindung. Drei Patienten der SP-Gruppe wiesen Anschlussfrakturen der Lendenwirbelsäule auf. In der Gruppe der bisegmental transsakral verschraubten Patienten fanden sich keine implantatassoziierten Komplikationen.

## **FitBit®-Schrittzähler**

Die Wiederholung der Aktivitätsmessung mittels FitBit® zum Zeitpunkt IV ergab durchschnittliche Werte von  $3401 \pm 908$  (BTS) versus  $3040 \pm 716$  Schritten pro Tag (SP). Hier ergab sich kein signifikanter Unterschied ( $p=0,31$ ).

## **Zebris-RehaWalk**

Zum Followup schafften 9 der 14 nachuntersuchten Patienten mit bisegmentaler transsakraler Stabilisierung (64 %) und 11 der 23 Patienten mit Spinopelviner Fixierung (48 %) einen hilfsmittelfreien Stand auf dem Zebris-Laufband. Die Vertrauensellipse maß in der BTS-Gruppe im Durchschnitt  $310 \pm 209$  mm<sup>2</sup> und in der SP-Gruppe  $262 \pm 189$  mm<sup>2</sup> ( $p=0,5$ ). Die

Anzahl der durchführbaren Ganganalysen verblieb wie auch schon zum Zeitpunkt III zu gering für eine statistisch repräsentative Auswertung.

## Scoring-Systeme

Nach mindestens 6 Monaten wurde der modifizierte Oswestry Disability Index erhoben. Die BTS-Gruppe erreichte einen „Grad der Einschränkung“ von 22 % (10 Punkte) und die SP versorgte Gruppe 33 % (15 Punkte). Es ergibt sich ein signifikanter Unterschied der Gruppen ( $p=0.003$ ).

In der allgemeinen Erhebung der Alltagskompetenz (Barthel Index) findet sich kein statistischer Unterschied zwischen beiden Gruppen. Beide erreichten eine gute Alltagsfunktion von 93 Punkten für BTS und 88 Punkten für SP.

Bei einer möglichen Punktzahl von 95 auf der Basis der angewendeten Modifikation erreichten beide Gruppen ein moderates Ergebnis im Majeed-Score. Mit 67 % der erreichten Punkte fällt dieser für die bisegmental transsakral verschraubten Patienten zum Zeitpunkt IV signifikant ( $p=0,007$ ) besser aus als für die spinopelvin stabilisierten mit 57 % der erreichbaren Punkte.

Die Besonderheit des SF12 liegt in der Differenzierung zwischen körperlichem und mentalem Zustand. Im körperlichen Status erreichen BTS-versorgte Patienten signifikant bessere Ergebnisse (48 Punkte) als die Gruppe SP-Patienten (40 Punkte). Dem gegenüber ist jedoch im seelischen Zustand kein Unterschied zu finden (49 vs. 45 Punkte).

		BTS	SP	P-Wert
ODI (0-50 Pkt)		10 ± 6	15 ± 7	0,003*
Barthel (0-100 Pkt)		93 ± 15	88 ± 8	0,3
Majeed (0-96 Pkt)		64 ± 9	54 ± 9	0,007*
SF-12	Körperlich	48 ± 6	40 ± 9	0,006*
	Mental	49 ± 6	45 ± 9	0,1

*Tabelle 10 - Übersicht der Ergebnisse von ODI, Barthel, Majeed und SF-12. Alle Angaben in Punkten mit Standardabweichung und p-Werten (\* signifikanter Unterschied).*

## Lebensumstände und Mobilitätsgrad

Von 14 zum Zeitpunkt IV nachuntersuchten BTS-Patienten konnten sich 57 % (8/14) in der häuslichen Umgebung unabhängig selbst versorgen. Ebenfalls 57 % (13 von 23 nachuntersuchten Patienten) der SP-Gruppe lebten unabhängig in häuslicher Umgebung. 14 % (2/14) der mittels BTS und 30 % (7/23) der mittels SP versorgten Patienten waren zum Zeitpunkt IV in einem Pflegeheim untergebracht. Die übrigen 29 % (4/14) der BTS-Gruppe lebten im betreuten Wohnen. In der SP-Gruppe waren es 13 % (3/23).

Die Befragung der überwiegend verwendeten Hilfsmittel wurde nach 6 Monaten erneut gestellt. Ein Großteil der Patientin war ohne Hilfsmittel mobilisiert. Jeoch griffen noch über die Hälfte auf die Unterstützung von Hildmitteln zurück. Überwiegend Unterarmgehstützen oder eine Gehbank wurde genutzt. In der BTS Gruppe war keiner der Patienten auf einen Rollator oder Rollstuhl angewiesen. In keiner der beiden Gruppen verblieben Patienten bettlägerig. Tabelle 11 gibt eine Übersicht zu den verwendeten Hilfsmitteln zum Zeitpunkt IV.

	BTS	SP
Freies Gehen	6 (42 %)	8 (35 %)
Unterarmgehstützen	5 (36 %)	5 (22 %)
Gehbank	3 (22 %)	5 (22 %)
Rollator	0 (0 %)	4 (17 %)
Rollstuhl	0 (0 %)	1 (4 %)
Bettlägerig	0 (0 %)	0 (0 %)

*Tabelle 11 - Übersicht über die Verwendung von Hilfsmitteln zum Zeitpunkt IV. Alle Angaben als Absolut- und Prozentwerte.*

## Zeitpunkt III und IV im Verlauf

Um die zeitliche Entwicklung des objektiven Outcomes über die Untersuchungsphase hinweg zu ermitteln, wurden die Daten der Schrittzähleranalyse mittels Fitbit der beiden Untersuchungszeitpunkte III und IV im Subgruppenvergleich gegenübergestellt. Zudem wurde der Mobilitätsgrad anhand der ordinalskalierten Daten zu der Notwendigkeit orthopädischer Hilfsmittel im Vergleich zwischen den beiden Zeitpunkten betrachtet.

## FitBit®-Schrittzähler im zeitlichen Verlauf

Für die Analyse der Schrittzähler-Daten ergibt sich eine signifikante Steigerung der durchschnittlichen täglichen Schrittzahl zwischen den Messzeitpunkten III und IV für jede der beiden angewandten OP-Methoden ( $p < 0,001$ ). Jedoch fand sich im Vergleich zwischen beiden Operationsmethoden in Bezug auf den jeweiligen Zeitpunkt kein signifikanter Unterschied ( $p = 0,46$ ). In der Messwiederholung wurden ausschließlich Patienten betrachtet, welche zu beiden Zeitpunkten die Untersuchung erhielten.

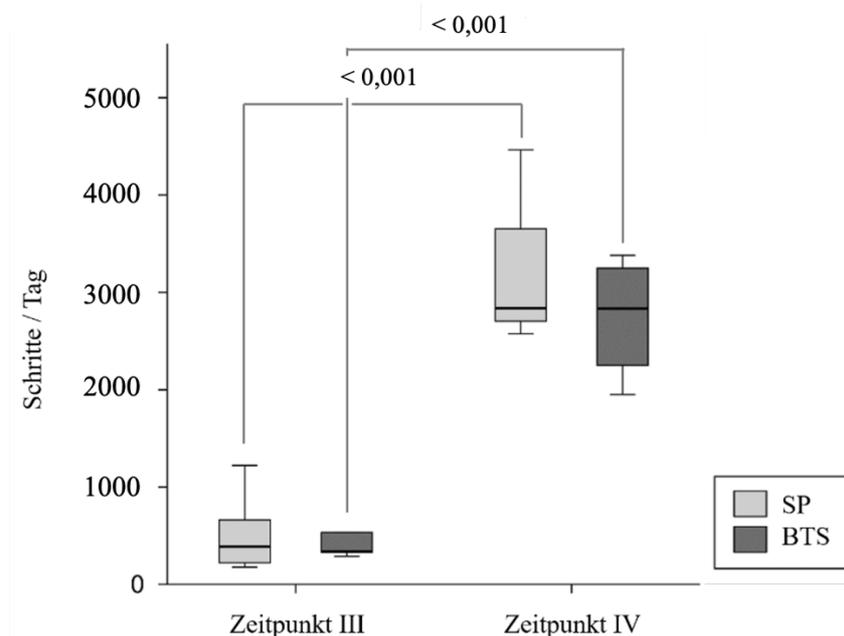


Abbildung 21 - Darstellung der FitBit®-Ergebnisse im Vergleich zwischen beiden Zeitpunkten.

## Mobilitätsgrad im zeitlichen Verlauf – Verwendung orthopädischer Hilfsmittel

Eine Erhebung der verwendeten Hilfsmittel wurde sowohl zum Zeitpunkt III (Entlassung aus der stationären Behandlung) als auch zum Zeitpunkt IV (Followup) durchgeführt. Abbildung 22 bietet hier einen grafischen und tabellarischen Überblick. In diese vergleichende Betrachtung gingen alle zum jeweiligen Zeitpunkt Überlebenden ein. Insgesamt zeichnet sich ein geringerer Bedarf an unterstützenden Hilfsmitteln wie dem Rollstuhl, Rollator oder der Gehbank zu Gunsten von Unterarmgehstützen und der hilfsmittelfreien Bewegung ab.

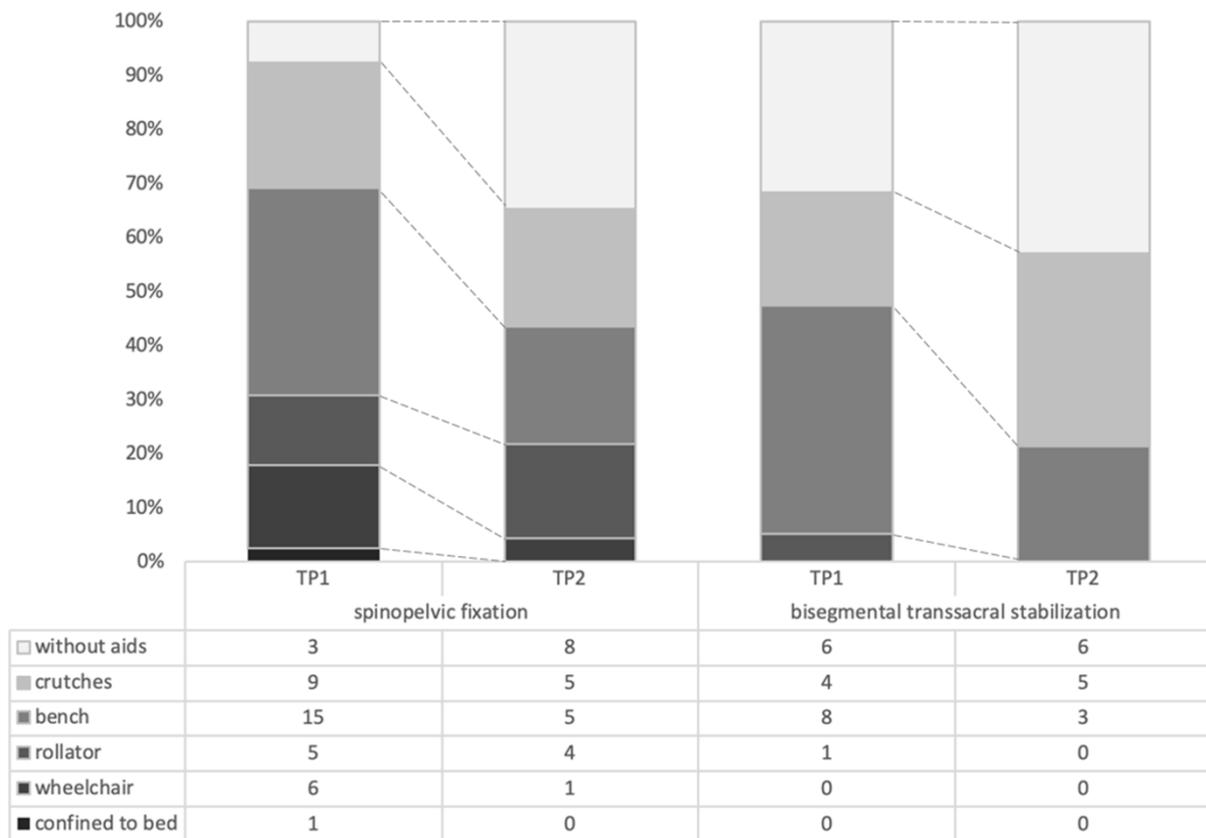


Abbildung 22 – Vergleichende Darstellung der Abhängigkeit von orthopädischen Hilfsmitteln im zeitlichen Verlauf zwischen beiden Operationsmethoden

## Diskussion

Im Jahr 2018 lag der Anteil der über 67-Jährigen bei 19% an der Gesamtbevölkerung in Deutschland. Aktuelle Rechnungen erwarten einen Anstieg auf bis zu 30% bis 2060. Noch drastischer wird die Entwicklung im Bereich der „Hochalten“ – also jener über 80 Jahre. Der Anteil wird von 2018 mit 6 % auf 13 % bis 2060 steigen (Statistisches Bundesamt 27.06.2019). Mit dem voranschreitenden Altern der Gesellschaft verändern sich die Anforderungen an unser Gesundheitssystem. Diese Veränderungen kommen bereits jetzt in allen Fachgebieten der Medizin zum Tragen. Der „klassisch Beckenverletzte“ junge, körperlich aktive Menschen wurde abgelöst von den osteoporoseassoziierten Fragilitätsfrakturen des Beckens im Senium nach Bagatelltrauma. Jährlich sind Anstiege der Fallzahlen zu verzeichnen, ohne dass eine Stagnation der Zahlen zu erwarten ist (Kannus et al. 2000). In den letzten Jahren rückten im Besonderen die Sakrumfrakturen in das Zentrum des Interesses. OP-Techniken wurden in Hinblick auf den häufig multimorbiden Patienten von aufwändigen 360° Stabilisierungen des Beckens mit teils hohen Komplikations- und Mortalitätsraten hin zu heute regelhaft Anwendung findenden minimalinvasiven Methoden modifiziert. Letztere versprechen ein besseres Outcome bei wenigen perioperativen Komplikationen. Einen methodischen „Goldstandard“ gibt es hierfür jedoch bisher nicht, denn prospektive Studien zum Outcome der einzelnen Methoden im Kontext zu geriatrischen Beckenringverletzungen fehlen bisher.

Zur Stabilisierung der bilateralen Fraktur des osteoporotischen Sakrum haben sich zwei Methoden bewährt und kommen dementsprechend regelhaft zur Anwendung. Diese sind die spinopelvine Stabilisierung (Decker et al. 2019; Marintschev et al. 2010; Zeng et al. 2019) und die transsakrale Verschraubung (Mehling et al. 2012; Gardner und Routt 2011; Vanderschot et al. 2009; Beaulé et al. 2006), jeweils in minimalinvasiver Technik. Ob diese beiden Methoden beim geriatrischen Patienten regelhaft zur Frakturheilung und zu einem guten funktionellen Outcome führen, und ob sich eine dieser Methoden sogar als überlegen erweist, ist bis dato unklar, da prospektive Daten hierzu nicht existieren. Die vorliegende Studie soll diese Fragestellungen untersuchen.

Brozek konnte in einer Analyse von 31.668 osteoporotischen Frakturen zeigen, dass überwiegend Frauen (73,3%) betroffen sind (Brozek et al. 2014). Lag der Anteil in der Gruppe von 50-54-Jährigen noch zu Lasten der Männer (Männer: 58,7 %; Frauen: 41,3 %; gesamt 697 Fälle), änderte sich die Relation ab der Gruppe 60-64 Jahre zu Lasten der Frauen. Gleichzeitig stieg die Gesamtzahl der Frakturen deutlich an (Männer: 46,2 %; Frauen: 53,8 %; Gesamt 1.398

Fälle) und steigerte sich in der Gruppe der 85-89-Jährigen auf 7.975 Fälle mit deutlicher Mehrzahl der Frauen (Männer: 17,8 %; Frauen: 82,2 %). Anschließend fiel die Inzidenz entsprechend einer steigenden Mortalität ab. In der für diese Arbeit vorliegenden Kohorte fanden sich ähnliche Verteilungen bei einem Durchschnittsalter von 80 Jahren und einem Frauenanteil von 90 %. In anderen Analysen finden sich ähnliche Verteilungsmuster auch bei kleineren Populationen. Das Maximum der Inzidenz schwankt je nach Population zwischen 75 (Burge et al. 2007) und 84 Jahren (Hernlund et al. 2013) in europäischen und >85-Jährigen (Lee et al. 2012) in asiatischen Populationen. Grund für den deutlichen Mehranteil der Frauen ist die postmenopausale Osteoporose im Rahmen der hormonellen Umstellung.

Ein Problem der unfallchirurgischen Versorgung von geriatrischen Patientengut stellt die ausgeprägte Komorbidität und damit einhergehende Polypharmazie dar (Stevens und Torke 2016). Hieraus erklärt sich der vorliegende ASA-Score von  $\bar{2},7$  in der unserer untersuchten Kohorte. Auch in anderen Studien finden sich ähnliche ASA-Werte zwischen 2,5 und 2,8 (Höch, Özkurtul et al. 2017). Einhergehend mit der summarisch zunehmenden knöchernen „Fragilität“ und damit häufig assoziierten Sarkopenie steigt das Sturzrisiko der Patienten deutlich an. Eine Vielzahl von Arbeiten beschäftigt sich daher mit der Prävention von Stürzen (Wong et al. 2020; Tsuda 2017). Jedoch lassen sich nicht alle osteoporotischen Frakturen auf ein Trauma zurückführen. Peh berichtete 1995 über einen Anteil von lediglich 1/3 der Fälle, welche sich an ein Trauma erinnerten (Peh et al. 1995). In der vorliegenden Kohorte konnte bei 51 % der Patienten ein erinnerliches Ereignis erfasst werden. Die Definition „Trauma“ wurde hierbei sehr großzügig gestellt. Zumeist waren es Bagatellereignisse wie das Stolpern über eine Teppichkante oder das Fallen in einen tieferen Stuhl, welche mit dem Schmerzbeginn assoziiert wurden. Letztlich bleibt der Übergang zu spontan und ohne eigentliches Unfallereignis schleichend auftretenden Insuffizienzfrakturen klinisch schwer zu trennen, da die Angaben der oft kognitiv eingeschränkten betagten Patienten nur bedingt verwertbar sind.

Das osteoporotische Sakrum zeigt im Alter eine zunehmende Rarifizierung der Spongiosa (Salazar et al. 2015). Es bilden sich regelrechte Höhlen, welche frei von Knochengewebe erscheinen und als „Alar voids“ beschrieben werden (Wagner et al. 2016; Peretti et al. 1991). Entsprechend dem „Locus est aliqua resistentia“ frakturiert das osteoporotische Sakrum zum überwiegenden Teil an dieser Stelle. Dies erklärt das häufige Auftreten transalarer Frakturverläufe bei Fragilitätsfrakturen des Sakrum.

Der Zeitpunkt der Erstvorstellung in der Klinik divergiert innerhalb des Patientenkollektives sehr stark. Unmittelbar am Tag der ersten Beschwerden wurde nur bei 40 % der Patienten eine

Bildgebung durchgeführt. Dies sind überwiegend Patienten, die sich nach Auftreten eines Bagatelltraumas unmittelbar in der Klinik vorstellten. Die übrigen 60 % beklagten bereits bis zu einem Maximum von 70 Tagen Schmerzen im unteren LWS-/Beckenbereich bis eine erste Bildgebung stattfand. Es vergingen bis zu 6 weitere Tage zum CT und weitere 7 Tage zum MRT. Es lässt sich lediglich eine Studie finden, welche sich mit der Zeit von Symptombeginn bis zur operativen Therapie beschäftigt. In dieser findet sich eine durchschnittliche Dauer von 68 Tagen zwischen Symptombeginn und Operation (Eckardt et al. 2017). Grund für die häufig verzögerte Diagnosestellung der Patienten ist zum einen die Leitlinien-entsprechende, zunächst analgetisch geführte Therapie vor Durchführung einer Bildgebung im ambulanten Sektor (Bundesärztekammer (BÄK) - Kassenärztliche Bundesvereinigung (KBV) und Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften (AWMF)) bei nicht-spezifischen Kreuzschmerzen, zum anderen die häufig erschwerte Detektion von Sakrumfrakturen in der röntgenologischen firstline-Diagnostik selbst. Die Beckenübersicht lässt keine sichere Diagnosestellung zu, da eine reelle Dislokation bei osteoporosebedingten Frakturen selten und wenn, dann erst im späteren Verlauf vorkommt. Bei entsprechenden Beschwerdebild wird in der Regel im zweiten Schritt eine CT angeschlossen. Doch auch für die CT findet sich für osteoporotische Insuffizienzfrakturen lediglich eine Sensitivität von 66 % (Henes et al. 2012) bis 83 % (Nüchtern et al. 2015). Eine blande CT darf bei entsprechenden Beschwerden also keineswegs als sicherer Frakturausschluss gelten. Die Durchführung einer MRT ist anzuraten und erbringt eine Sensitivität von 98,6 % (Henes et al. 2012). In der eigenen Kohorte wären 11 % der Frakturen ohne MRT nicht und 23 % wären als falsch-monolateral diagnostiziert worden (Mendel et al. 2020). Bei Übersehen der kontralateralen Frakturbeteiligung des Sakrum würde diese im Rahmen der operativen Versorgung im Zweifel nicht mit adressiert werden. Eine monolaterale Osteosynthese wäre daher nicht zielführend (Lattauschke et al. 2017). Ein weiterer Grund ist die teils initial neurochirurgische Vorstellung der Patienten. Bei „chronifizierenden tieflumbalen Rückenschmerzen“ erfolgt zumeist die diagnostische Abklärung mit Fokus auf Pathologien im Bereich der Lendenwirbelsäule. Die Detektion einer osteoporotischen Fragilitätsfraktur des Sakrum erfolgt hierbei oft als randständig abgebildeter „Nebenbefund“ in der MRT der LWS. In der für diese Arbeit betrachteten Kohorte wurden 17% zunächst neurochirurgisch aufgenommen und nach der Diagnosestellung einer osteoporotischen Sakrumfraktur der Unfallchirurgie zugewiesen. Durch den Wechsel der Fachabteilung ist eine zusätzliche Verzögerung des diagnostischen Ablaufs bedingt.

In Einzelfällen wird von der Anwendung von SPECT/CT mit  $^{99m}\text{Tc}$ -MDP berichtet. Dies ist jedoch bei fehlender Flächenabdeckung von verfügbaren Geräten nicht praktikabel. In den letzten Jahren bekommt die Dual-Energy-CT immer mehr Aufmerksamkeit bei der Detektion von osteoporotischen Frakturen (Issa und Mulligan 2020; Wortman et al. 2020; Fletcher et al. 2009; Hackenbroch et al. 2017). Palm et. al. publizierten hierfür eine Sensitivität von 100 % (Palm et al. 2019). Als Vorteil der Dual-Energy wird das Fehlen von Ausschlusskriterien angebracht. Entfallen einige Patienten für die Durchführung einer MRT aufgrund beispielsweise dem Vorliegen eines nicht-MR-fähigen Schrittmachers, so ist eine Dual-Energy-CT trotzdem möglich.

In Summe führte die Aufarbeitung der eigenen Fälle zu einem Algorithmuswandel innerhalb der Klinik (Lattauschke et al. 2017). Nach unauffälligem Befund der Beckenübersicht oder Vorliegen einer vorderen Beckenringfraktur des geriatrischen Patienten wird bei entsprechenden Beschwerden nunmehr konsequent als zweiter diagnostischer Schritt eine MRT des Beckens in T1-Wichtung und STIR (Fettunterdrückte Inversion-Recovery-Sequenz) durchgeführt. Verbleibt die MRT ohne pathologischen Befund, so gilt eine Fraktur als ausgeschlossen. Wird eine Fraktur erkannt, so wird als dritter, komplettierender Schritt zur knöchernen Darstellung und operativen Planung die CT nachgezogen. Mit diesem Vorgehen kann vermieden werden, dass das Ausmaß der vorliegenden Beckenverletzung unterschätzt wird. Inadäquate osteosynthetische Versorgungen z.B. durch Übersehen der kontralateralen Frakturkomponente des Sakrum werden suffizient vermieden. Zum anderen kann bei fehlendem Frakturachweis im Bereich des hinteren Beckenringes mittels MRT auf eine CT verzichtet werden, was aus strahlenhygienischen Gesichtspunkten vor Vorteil ist.

War die Diagnose einer Fragilitätsfraktur des Os sacrum gesichert und eine konservative Therapie unter analgetischer Medikation gemäß WHO-Schema Stufe 3 nicht erfolgreich, so wurden die Patienten in unserer Studie einer operativen Therapie zugeführt. Ziel der operativen Versorgung von osteoporotischen Frakturen ist es, eine suffiziente Beschwerdelinderung durch mechanische Frakturstabilisierung zu erreichen. Das gewählte Verfahren sollte hierbei wenig invasiv sein. Zugleich sollte die OP-Dauer in Anbetracht eines zumeist betagten und multimorbiden Patientgutes möglichst geringgehalten werden. Gleichzeitig galt es, die Strahlenexposition für den Patienten wie auch das Operationsteam zu limitieren. Im Rahmen unserer Literaturrecherche fand sich keine Studie, in welcher Angaben über die Operations- oder Durchleuchtungsdauer in Hinblick auf operative Stabilisierungstechniken von Fragilitätsfrakturen des Beckens angegeben wurden. Einzig Arduini et al. berichtete von

Operationszeiten mit einer Range von 70 bis 220 Minuten (Arduini et al. 2015). Jedoch wurde in dieser Arbeit weder nach bestimmten Frakturmustern noch nach einzelnen Operationstechniken unterschieden. Andere Arbeiten berichten von einer OP-Dauer von 27 Minuten bei monolateralen SI-Schrauben (Höch, Pieroh et al. 2017). In der vorliegenden Studie konnte hinsichtlich der Schnitt-Naht-Zeit von  $68 \pm 24$  Minuten für die bisegmentale transsakrale Verschraubung ein signifikanter Unterschied im Vergleich zur spinopelvinen Stabilisierung mit  $94 \pm 26$  Minuten ermittelt werden. In Hinblick auf die mittlere Fluoroskopiedauer fand sich kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Methoden.

Wird das Komplikationsprofil in methodenabhängige (Nachblutung, Infektion, Nervenschäden, Implatversagen, Implantatfehlage) und methodenunabhängige (Harnwegsinfektionen, Pneumonien, Thrombembolien, Sonstige) unterteilt, so ergibt sich für die BTS eine Komplikationsrate von 0 % und für die SP von 2,5 % bezüglich der methodenabhängigen Komplikationen. Beide Methoden können somit als komplikationsarm gesehen werden. Bei offen durchgeführten spinopelvinen Stabilisierungen, vorrangig bei Hochenergietraumatisierten, finden sich publizierte Infektionsraten bis zu 21 % (Bellabarba et al. 2006; Goldstein et al. 1986). Diese hohen Raten konnten durch die Reduktion der Zugangsmorbidität im Rahmen des minimalinvasiven Vorgehens drastisch gesenkt werden (van den Bosch, E. W. et al. 2002; Ziran et al. 2003). Für die transsakrale Verschraubung sind keine Referenzwerte publiziert, da siehe i.d.R. standardmäßig in geschlossener Technik durchgeführt wird.

Für methodenunabhängige Komplikationen wurden drei Ereignisse in der BTS- und ein Ereignis in der SP-Gruppe erfasst. Auch im Literaturvergleich sind beide minimalinvasiven OP-Methoden unter Berücksichtigung des betagten und multimorbiden Krankengutes als komplikationsarm zu bewerten (Höch, Pieroh et al. 2017). Dem gegenüber existieren für die konservative Therapie publizierte Daten, bei denen es bei 61 % der Patienten zu Harnwegsinfektionen, bei 29 % zu Pneumonien und 3 % Thrombembolien kam (Maier et al. 2016). Auch Noser et al. 2018 präsentierte krankenhausessoziierte Komplikationen unter konservativer Behandlung wie Pneumonien und Harnwegsinfektionen von 32 %. Thrombembolien traten in seiner Kohorte in 1,7 % der Fälle nach OP auf. Auch in der hier präsentierten Studie verstarben Studienpatienten in drei Fällen in der unmittelbar postoperativen Phase. Eine mittels BTS versorgte Patientin erlitt eine fulminante Lungenembolie, bei einer mittels SP versorgten Patientin kam es zur Magenperforation bei vorbestehendem Ulcusleiden. Der Exitus letalis resultierte aus der bewussten Ablehnung der

Notfalloperation durch die Patientin. Der dritte Exitus war Folge eines Herzinfarktes bei bekannter koronarer Herzkrankheit. Ein methodenspezifischer Zusammenhang ließ sich jedoch nicht herstellen.

Eine Entlassung bzw. Verlegung aus der akutstationären Behandlung konnte bereits nach 8 Tagen bei den bisegmental transsakral und nach 9 Tagen bei den spinopelvin versorgten Patienten erreicht werden. Demgegenüber stehen in der Literatur berichtete Hospitalisierungszeiten bei operativ versorgten Insuffizienzfrakturen des Beckens von 10 (Höch, Pieroh et al. 2017) über 18 Tage (Noser et al. 2018) bei mittels SI-Schrauben versorgten Patienten bis hin zu 30 Tagen (Marrinan et al. 2015). Andere Arbeiten berichten von einer mittleren Verweildauer von 5,8 Tagen, jedoch bei zugleich vorgegebener Bettruhe für 4-6 Wochen nach Operation (Arduini et al. 2015), welche in einer Kurzzeitpflege geleistet wurde. In keiner der Arbeiten wird berichtet, in welches Umfeld die Patienten entlassen werden, sodass ein Vergleich der erhobenen Daten gegen Literatur nicht möglich ist. Fasst man die Kategorie „Zurück nach Hause“ und „Anschlussheilbehandlung“ als „Rehabilitative Entlassung“ zusammen, ergibt sich eine Überlegenheit der bisegmental transsakral versorgten Patienten, welche zu 70 % die rehabilitative Entlassung erreichen. Voraussetzung für eine rehabilitative Entlassung ist eine möglichst unabhängige Mobilisation der Patienten in Stand und Gang. Dem gegenüber waren nur 57 % der spinopelvin fixierten Patienten zu dieser Entlassung fähig. Limitierend für diese Zahlen ist die im klinischen Alltag bekannte Abhängigkeit von verfügbaren Weiterbehandlungsplätzen. Häufig hätten Patienten schon eher entlassen werden können, wäre unmittelbar ein freier Platz in der Anschlussbehandlung vakant. Somit ist die Bewertung der Dauer des stationären Aufenthaltes als Gütemaß für die Behandlungsmethode auch im Vergleich mit der Literatur kritisch zu sehen.

Die häufig gegebene Abhängigkeit von orthopädischen Hilfsmitteln, resultierend aus einer Gang- und Standunsicherheit gepaart mit einer oft eingeschränkten kognitiven Leistungsfähigkeit der geriatrischen Patienten, limitierte die Datenerfassung auf dem Zebris® Laufband. Voraussetzung für eine objektive Ganganalyse war der hilfsmittelfreie Gang auf dem Laufband für mindestens 3 Minuten, was in beiden Gruppen mehr als 90 Prozent der Probanden nicht umsetzen konnten. Es muss konstatiert werden, dass eine Laufband-Ganganalyse für beckenverletzte geriatrische Patienten nicht geeignet erscheint. Hingegen gelang 63 Prozent der BTS- und 36% der SP-Gruppe zumindest der freie Stand auf dem unbewegten Laufband, was eine Erfassung der 95 %igen Vertrauensellipse als Ausdruck der posturalen Stabilität erlaubte. Unterschiede zwischen den beiden Gruppen fanden sich hier nicht. Leider existieren

Vergleichswerte der Zebrisanalysen aktuell nicht für ein geriatrisches Patientengut. Insgesamt muss statuiert werden, dass die Zebris-Standanalyse für betagte Patienten nur bedingt und die Ganganalyse auf Grund der vorgegebenen Geschwindigkeit des Gerätes nicht geeignet erscheint. Gemäß dem Studienprotokoll wurde die Untersuchung nach 6 Monaten wiederholt. Die BTS versorgten konnten ihr Vertrauensellipse von 420 mm<sup>2</sup> auf 310 mm<sup>2</sup> und die SP versorgten von 375 mm<sup>2</sup> auf 262 mm<sup>2</sup> verringern. Hier lässt sich ein Trend der zunehmenden posturalen Stabilität erkennen, welcher jedoch sowohl zwischen den Zeitpunkten als auch zwischen den Methoden ohne signifikanten Unterschied verbleibt.

Entgegen der posturalen Stabilität veränderte sich das Aktivitätsniveau der Patienten, gemessen an der mittleren täglichen Schrittzahl, über den Beobachtungszeitraum deutlich. Innerhalb dieser Zeit konnte die Schrittzahl in beiden Gruppen um das zehnfache gesteigert werden. Beide Methoden führten zuverlässig zu einer Verbesserung der Mobilität. Die Wahl der operativen Versorgungsmethode hatte hierauf keinen Einfluss. Der FitBit®-Schrittzähler erwies sich in unserer Studie als geeignetes Werkzeug zur objektiven Erfassung des Aktivitätsniveaus des geriatrischen Patienten. In zahlreichen Studien wurde die Zuverlässigkeit dieses Tools bereits nachgewiesen (Paul et al. 2015; Sassaman und Johnston 2017). In Vergleichsstudien zeigten die Modelle der FitBit-Serie die höchste Genauigkeit bei der Erfassung von Schrittzahlen (Alinia et al. 2017). Es finden sich zunehmend Anwendungen im Bereich der muskuloskeletalen Rehabilitation (Arch et al. 2018) und konservativen Orthopädie (Amorim et al. 2016). Studienanwendungen zur Analyse des postoperativen Outcomes, wie in unserem Fall, sind derzeit noch nicht bekannt.

Beide angewandten Stabilisierungsverfahren erlaubten eine unmittelbar postoperative Vollbelastung. Dies ist für den älteren Patienten von entscheidender Bedeutung, da dieser zumeist koordinativ nicht in der Lage ist, eine Teilbelastung umzusetzen. In beiden untersuchten Gruppen wurde bereits im unmittelbaren postoperativen Verlauf eine mittlere Schrittzahl von über 300 Schritten am Tag erreicht. Im Vergleich hierzu erfassten Pavon et al. bei hospitalisierten geriatrischen Patienten ohne unfallchirurgische Grunddiagnose, also ohne unfallbedingte körperliche Beeinträchtigung, durchschnittlich 1455 Schritte am Tag (Pavon et al. 2020). Wie wesentlich die Schrittzahl mit der Lebensqualität korreliert, konnte in einer anderen Studie an 94 Osteoporose-Patienten gesichert werden (Dohrn et al. 2016), bei welchen keine Fraktur vorlag. Diese bewegten sich – ohne stattgehabte Fraktur – im Durchschnitt mit 6201 Schritten am Tag im häuslichen Umfeld. In unseren Daten findet sich zwischen Zeitpunkt III und IV eine signifikante Steigerung auf >3000 Schritte pro Tag. Ein

Unterschied zwischen den verwendeten Methoden konnte nicht gesehen werden. Laut gängiger Literatur korreliert die erlebte Lebensqualität direkt mit der Schrittzahl (Dohrn et al. 2016). Im Umkehrschluss ist die gesteigerte Mobilität der eingeschlossenen Patienten der vorliegenden Studie ein Hinweis auf die wiedergewonnene Lebensqualität nach einer in minimalinvasiver Technik operativ versorgtem Insuffizienzfraktur des Sakrum.

In den erhobenen Scores ergab sich für den modifizierten ODI zum Zeitpunkt des Followup ein signifikant besseres Ergebnis für die Gruppe der BTS gegenüber der SP Gruppe. Ähnliche Ergebnisse ergab auch die Auswertung des modifizierten Majeed-Scores. Auch die Auswertung des SF12 stützt diese Ergebnisse. Der mentale Zustand der Patienten unterschied sich nicht signifikant, jedoch zeigte der körperliche Status entsprechend den Ergebnissen des ODI- und des Majeed-Scores eine signifikante Verbesserung im Studienverlauf.

Ein Unterschied im Barthel-Index ist zwischen den Gruppen nicht vorhanden. Osterhoff et al. untersuchten unter anderem mit Hilfe des modifizierten Majeed-Score operativ versorgten Fragilitätsfrakturen des Beckens gegenüber konservativ versorgten (Osterhoff et al. 2019). Es konnte kein Unterschied zwischen den Gruppen gefunden werden. Höch et al. untersuchten ebenfalls operativ und konservativ behandelte laterale Kompressionsfrakturen des Beckens (Höch, Özkurtul et al. 2017). In einer Kohorte von 128 Patienten (Alter > 65 Jahre) wurde ebenfalls kein Unterschied im mentalen und körperlichen Status der Patienten im SF12 gefunden. Limitierend für diese Studien sind jedoch die inhomogenen Populationen. Hier gehen unterschiedliche Frakturmuster in die Auswertungen ein. Die angewandte operative Therapie ist nicht genau definiert und umfasst verschiedene Operationsmethoden. Demgegenüber ist die Studie dieser Dissertation homogen bezüglich Art der Verletzung und operativer Therapie.

In Bezug auf die die situativen Lebensumstände beckenverletzter geriatrischer Patienten finden sich in der Literatur einige, oft jedoch inhomogene Daten in Outcomeanalysen. Eckardt et al. 2017 berichteten, dass 6 der 50 Patienten (12 %) mit SI-Schrauben versorgter Fragilitätsfraktur des Beckens zum Followup in einem Pflegeheim untergebracht waren (Eckardt et al. 2018). Morris et al. berichteten von sehr guten Ergebnissen, wobei 59 % der Patienten mit Fragilitätsfraktur in ihr vorheriges Umfeld zurückkehrten, unabhängig davon, ob konservativ oder operativ behandelt (Morris et al. 2000). Weitere 13,5 % wurden nach 6 Monaten im betreuten Wohnen untergebracht und 7 % im Pflegeheim. In der vorliegenden Studie wurden vergleichbare Ergebnisse erzielt. Bei beiden Versorgungen konnten 57 % der Patienten primär zurück in ihr häusliches Umfeld. Weitere 13 % (BTS) bzw. 30 % waren zum Followup-

Zeitpunkt nach 6 oder mehr Monaten in einem Pflegeheim untergebracht. Die eigenen Ergebnisse sind somit mit denen der Literatur vergleichbar.

In der Literatur finden sich bezüglich der Mortalität bei osteoporotischen Sakrumfrakturen nur wenige Daten. Noser et. al. beschrieben eine Mortalitätsrate von 28,3% nach einem Jahr und 36,7% nach 2 Jahren bei operativ behandelten Fragilitätsfrakturen (Noser et al. 2018). Der Frakturtyp hatte keinen Einfluss auf die Mortalität. Auch Höch et al. belegten eine 2-Jahres-Mortalität von 30%, wobei konservativ behandelte Patienten signifikant höhere Raten zeigten (18% bei operativ und 39% bei konservativ behandelten Patienten) (Höch, Özkurtul et al. 2017). Mears et al. berichteten über eine Mortalitätsrate von 21,4% bei operativ behandelten Patienten und konnten ebenfalls keinen Unterschied im Frakturtyp erfassen (Mears und Berry 2011). In unserer Studie lag die Mortalität zum Followup-Zeitpunkt IV bei 17,1 % (BTS) bzw. 20,0 % (SP). Für geriatrische Patienten können diese Verletzungsentitäten daher letztlich Ausdruck des nahenden Lebensendes sein.

Der röntgenologische Nachweis der knöchernen Frakturkonsolidierung gilt als objektives Kriterium zur Beurteilung des Therapieerfolges. Jedoch gibt es insgesamt nahezu keine Studien, die dieses Kriterium berücksichtigen. In unserer Studie waren alle Sakrumfrakturen unabhängig von der operativen Behandlungsmethode ohne sekundäre Stellungsänderung ausgeheilt. Damit bestätigen sich die von Mehling et al. 2012 gemachten Beobachtungen bezüglich der Frakturheilung bei Anwendung der transsakralen Verschraubung (Mehling et al. 2012). Analysen zur Frakturheilung nach spinopelviner Stabilisierung im Zusammenhang mit pelvinen Fragilitätsfrakturen sind aktuell nicht zu finden. Aus biomechanischen Untersuchungen ist bekannt, dass der Beckenring als funktionelle Einheit zu betrachten ist. So ist der Vorteil einer zusätzlichen Stabilisierung des vorderen Beckenringes bei traumatischen Verletzungen vom Typ B und C klar belegt (Trulson et al. 2018; Mückley et al. 2008; Giannoudis et al. 2008; Matta 1996; Tile 1996, 1980). In Bezug auf Fragilitätsfrakturen, die zumeist als Folge eines niedrigerenergetischen Traumas wie dem Sturz aus Stand oder Gang entstehen oder Insuffizienzfrakturen, die ohne zugrundeliegende pathologische Lateinwirkung spontan entstehen, ist von einer primär geringeren Instabilität des pelvinen Ringes auszugehen, da die überspannende ligamentäre Integrität in der Regel nicht oder nur gering gestört ist. Dementsprechend ist bis dato unklar, inwieweit eine zusätzliche Stabilisierung des vorderen Ringabschnittes erforderlich ist. Einige Autoren statuieren die Notwendigkeit der Mitversorgung des vorderen Beckenringes (Rommens et al. 2020; Rommens und Hofmann 2013) im Sinne einer 360° Stabilisierung. Aus dieser Fragestellung heraus wurde in unserer

Studie bewusst auf die additive Versorgung des vorderen Beckenringes verzichtet. Unsere Ergebnisse zeigen, dass in über der Hälfte der Fälle der vordere Beckenring ohne gesonderte Fixation ohne wesentlichen Stellungsverlust knöchern ausheilt. Zwar wurden in beiden Gruppen Pseudarthrosen gesehen (BTS: 37 %, SP: 29 %). Diese verhielten sich jedoch in allen Fällen klinisch stumm. Vor diesem Hintergrund bleibt die Notwendigkeit der Mitversorgung des vorderen Beckenrings bei dieser Verletzungsentität infrage zu stellen. Weiterführende klinische und biomechanische Analysen sind notwendig, um sich der Problematik anzunähern.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass sowohl die spinopelvine Stabilisierung als auch die bisegmentale transsakrale Verschraubung, jeweils in minimalinvasiver Technik, suffiziente Methoden bei der Versorgung von bilateralen Insuffizienzfrakturen des Os sacrum darstellen. Beide sind in kurzer OP-Zeit mit limitierten Zugängen unter vergleichbar geringer Strahlenbelastung sicher durchführbar und komplikationsarm. Beide Konstrukte erlauben für die untersuchte Entität der bilateralen Fragilitätsfraktur des Os sacrum eine sofortige postoperative Vollbelastung im Wechselgang, was den Erfordernissen bei der Mobilisation geriatrischer Patienten Rechnung trägt. Im Laufe des ersten halben Jahres wird in beiden Gruppen ein deutlicher Zugewinn an Mobilität und damit Lebensqualität erreicht. Im klinischen Outcome erscheint die bisegmentale transsakrale Verschraubung der spinopelvinen Stabilisierung in einigen Punkten überlegen. So muss die höhere Komplikationsrate bezüglich Materiallockerung und Anschlussfrakturen bei der spinopelvinen Stabilisierung kritisch gesehen werden. Die additive Stabilisierung des vorderen Beckenrings erscheint anhand dieser Studiendaten nicht zwingend erforderlich. Bei insgesamt schwacher Datenlage in der Literatur fällt der direkte Vergleich unserer Ergebnisse schwer. Aus der Erkenntnis unserer eigenen Studienergebnisse bevorzugen wir bei der operativen Versorgung von bilateralen Fragilitätsfrakturen des Os sacrum wann immer möglich die bisegmentale transsakrale Verschraubung gegenüber der spinopelvinen Stabilisierung, um eine Transfixation des lumbosakralen Scharniers zu vermeiden. Trotzdem bleibt die spinopelvine Stabilisierung in unseren Augen eine gute Alternative, insbesondere bei zusätzlicher Querkomponente im Sinne von H- oder U-förmigen Frakturen, bei denen keine 2 besetzbaren transsakralen Korridore möglich sind.

## Literaturverzeichnis

- 1 Abitbol, M. M. (1987): Evolution of the lumbosacral angle. In: *Am J Physical Anthropology*, S. 361–372.
- 2 Abitbol, M. M. (1987): Evolution of the sacrum in hominoids. In: *American journal of physical anthropology* 74 (1), S. 65–81.
- 3 Ahovuo, J. A.; Kiuru, M. J.; Visuri, T. (2004): Fatigue stress fractures of the sacrum: diagnosis with MR imaging. In: *European radiology* 14 (3), S. 500–505.
- 4 Alinia, P.; Cain, C.; Fallahzadeh, R.; Shahrokni, A.; Cook, D.; Ghasemzadeh, H. (2017): How Accurate Is Your Activity Tracker? A Comparative Study of Step Counts in Low-Intensity Physical Activities. In: *JMIR mHealth and uHealth* 5 (8), S. e106.
- 5 Alnaib, M.; Waters, S.; Shanshal, Y.; Caplan, N.; Jones, S.; St Clair Gibson, A.; Kader, D. (2012): Combined pubic rami and sacral osteoporotic fractures. A prospective study. In: *J Orthopaed Traumatol* 13 (2), S. 97–103.
- 6 Amorim, A. B.; Pappas, E.; Simic, M.; Ferreira, M. L.; Tiedemann, A.; Jennings, M.; Ferreira, P. H. (2016): Integrating Mobile health and Physical Activity to reduce the burden of Chronic low back pain Trial (IMPACT): a pilot trial protocol. In: *BMC musculoskeletal disorders* 17, S. 36.
- 7 Arch, E. S.; Sions, J. M.; Horne, J.; Bodt, B. A. (2018): Step count accuracy of StepWatch and FitBit One™ among individuals with a unilateral transtibial amputation. In: *Prosthetics and orthotics international* 42 (5), S. 518–526.
- 8 Arduini, M.; Saturnino, L.; Piperno, A.; Iundusi, R.; Tarantino, U. (2015): Fragility fractures of the pelvis: treatment and preliminary results. In: *Aging clinical and experimental research* 27 Suppl 1, S. S61-7.
- 9 Bakker, G.; Hattingen, J.; Stuetzer, H.; Isenberg, J. (2018): Sacral Insufficiency Fractures. How to Classify? In: *Journal of Korean Neurosurgical Society* 61 (2), S. 258–266.
- 10 Beaulé, P. E.; Antoniades, J.; Matta, J. M. (2006): Trans-sacral fixation for failed posterior fixation of pelvic ring. In: *Arch Orthop Trauma Surg* (126), S. 49–52.
- 11 Beckmann, N. M.; Chinapuvvula, N. R. (2017): Sacral fractures: classification and management. In: *Emergency radiology* 24 (6), S. 605–617.

- 12 Bellabarba, C.; Schildhauer, T. A.; Vaccaro, A. R.; Chapman, J. R. (2006): Complications Associated With Surgical Stabilization of High-Grade Sacral Fracture Dislocations With Spino-Pelvic Instability. In: *Spine* 31 (11), S. 80–88.
- 13 Bohme, J.; Hoch, A.; Josten, C. (2012): Osteoporotic fractures of the pelvis. In: *Der Chirurg* 83 (10), S. 875–881.
- 14 Booth, A.; Ingoe, H. M. A.; Northgraves, M.; Coleman, E.; Harden, M.; Kassam, J. et al. (2019): Effectiveness of surgical fixation for lateral compression type one (LC-1) fragility fractures of the pelvis: a systematic review. In: *BMJ open* 9 (5), S. e024737.
- 15 Brozek, W.; Reichardt, B.; Kimberger, O.; Zwerina, J.; Dimai, H. P.; Kritsch, D. et al. (2014): Mortality After Hip Fracture in Austria 2008–2011. In: *Calcif Tissue Int* (95), S. 257–266.
- 16 Bullinger, M.; Kirchberger, I. (1998): SF-36 Fragebogen zum Gesundheitszustand (Handanweisung). In: *Hogrefe-Verlag für Psychologie*.
- 17 Bundesärztekammer (BÄK) - Kassenärztliche Bundesvereinigung (KBV); Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften (AWMF): Nationale VersorgungsLeitlinie Nicht-spezifischer Kreuzschmerz – Langfassung, 2. Auflage. Version 1.
- 18 Burge, R.; Dawson-Hughes, B.; Solomon, D. H.; Wong, J. B.; King, A.; Tosteson, A. (2007): Incidence and economic burden of osteoporosis-related fractures in the United States, 2005-2025. In: *Journal of bone and mineral research : the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research* 22 (3), S. 465–475.
- 19 Carlson, D. A.; Scheid, D. K.; Maar, D. C.; Baele, JR; Kaehr, D. M. (2000): Safe Placement of S1 an S2 Iliosacral Screws: The "Vestibule" Concept. In: *J Orthop Trauma* 14 (4), S. 264–269.
- 20 Cooper, K. L.; Beabout, J. W.; Swee, R. G. (1985): Insufficiency fractures of the sacrum. In: *Radiology* 156 (1), S. 15–20.
- 21 Culemann, U.; Scola, A.; Tosounidis, G.; Pohlemann, T.; Gebhard, F. (2010): Versorgungskonzept der Beckenringverletzung des alten Patienten. Eine Herausforderung. In: *Der Unfallchirurg* 113 (4), S. 258–271.
- 22 Dalstra, M.; Huskes, R. (1994): Load Transfer across the pelvic bone. In: *J Biomechanics* 28 (6), S. 715–724.

- 23 Decker, S.; Herden, J.; Krettek, C.; Müller, C. W. (2019): A new minimally invasive U-shaped lumbopelvic stabilization technique. In: *European journal of orthopaedic surgery & traumatology : orthopedie traumatologie* 29 (6), S. 1223–1230.
- 24 Denis, F.; Davis, S.; Comfort, D. (1988): Sacral Fractures. An Important Problem. In: *ClinOrthopRelResearch* 227, S. 67–81.
- 25 DeSilva, J. M.; Rosenberg, K. R. (2017): Anatomy, Development, and Function of the Human Pelvis. In: *Anatomical record (Hoboken, N.J. : 2007)* 300 (4), S. 628–632.
- 26 Dohrn, I.-M.; Hagströmer, M.; Hellenius, M.-L.; Stähle, A. (2016): Gait Speed, Quality of Life, and Sedentary Time are Associated with Steps per Day in Community-Dwelling Older Adults with Osteoporosis. In: *Journal of aging and physical activity* 24 (1), S. 22–31.
- 27 Drenckhahn, D.; Zenker, W.; Benninghoff, A. (1994): Benninghoff Anatomie. Makroskopische Anatomie, Embryologie und Histologie des Menschen. 15. Aufl. 2 Bände. München, Wien, Baltimore: Urban&Schwarzenberg (1).
- 28 Dubory, A.; Bachy, M.; Bouloussa, H.; Courvoisier, A.; Morel, B.; Vialle, R. (2015): Screw augmentation for spinopelvic fixation in neuromuscular spine deformities: technical note. In: *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society* 24 (11), S. 2580–2587.
- 29 Eckardt, H.; Egger, A.; Hasler, R. M.; Zech, C. J.; Vach, W.; Suhm, N. et al. (2017): Good functional outcome in patients suffering fragility fractures of the pelvis treated with percutaneous screw stabilisation: Assessment of complications and factors influencing failure. In: *Injury* 48 (12), S. 2717–2723.
- 30 Eckardt, K.-U.; Bansal, N.; Coresh, J.; Evans, M.; Grams, M. E.; Herzog, C. A. et al. (2018): Improving the prognosis of patients with severely decreased glomerular filtration rate (CKD G4+): conclusions from a Kidney Disease: Improving Global Outcomes (KDIGO) Controversies Conference. In: *Kidney international* 93 (6), S. 1281–1292.
- 31 Egund, N.; Olsson, T. H.; Schmid, H.; Selvik, G. (1978): Movements in the sacroiliac joints demonstrated with roentgen stereophotogrammetry. In: *Acta Radiol Diagn* 19, 1978 (5), S. 833–846.

- 32 Euler, E.; Heining, S.-M.; Kotsianos, D.; Müller-Gerbl, M. (2000): Anatomie und Biomechanik des Beckens. In: *Trauma und Berufskrankheit* 2 (1), S. 2–10.
- 33 Fairbank, J.C.T.; Pynsent, P. B. (2000): The Oswestry Disability Index. 22 Bände: Lippincott : Williams & Wilkins Inc. (22).
- 34 Fletcher, J. G.; Takahashi, N.; Hartman, R.; Guimaraes, L.; Huprich, J. E.; Hough, D. M. et al. (2009): Dual-energy and dual-source CT: is there a role in the abdomen and pelvis? In: *Radiologic clinics of North America* 47 (1), S. 41–57.
- 35 Gardner, M. J.; Morshed, S.; Nork, S. E.; Ricci, W. M.; Routt, M. (2010): Quantification of the Upper and Second Sacral Segment Safe Zones in Normal and Dysmorphic Sacra. In: *J Orthop Trauma* 24 (10), S. 622–629.
- 36 Gardner, M. J.; Routt, M. L. (2011): Transiliac-Transsacral Screws for Posterior Pelvic Stabilization. In: *J Orthop Trauma* 25 (6), S. 378–384.
- 37 Giannoudis, P. V.; Chalidis, B. E.; Roberts, C. S. (2008): Internal fixation of traumatic diastasis of pubic symphysis: is plate removal essential? In: *Archives of orthopaedic and trauma surgery* 128 (3), S. 325–331.
- 38 Gibbons, K. J.; Soloniuk D.S.; Razack, N. (1990): Neurological injury and patterns of sacral fractures. In: *J Neurosurg* 72, S. 889–893.
- 39 Goetzen, M.; Ortner, K.; Lindtner, R. A.; Schmid, R.; Blauth, M.; Krappinger, D. (2016): A simple approach for the preoperative assessment of sacral morphology for percutaneous SI screw fixation. In: *Archives of orthopaedic and trauma surgery* 136 (9), S. 1251–1257.
- 40 Goldstein, A.; Phillips T.; Sclafani, S.; Scalea, T.; Duncan, A.; Goldstein, J. et al. (1986): Early Open Reduction and Internal Fixation of the Disrupted Pelvic Ring. In: *The Journal of Trauma* 26 (4), S. 325–333.
- 41 Gras, F.; Gottschling, H.; Schroder, M.; Marintschev, I.; Hofmann, G. O.; Burgkart, R. (2016): Transsacral Osseous Corridor Anatomy Is More Amenable To Screw Insertion In Males: A Biomorphometric Analysis of 280 Pelves. In: *Clinical Orthopaedics and Related Research*.
- 42 Gras, F.; Marintschev, I.; Schwarz, C. E.; Hofmann, G. O.; Pohlemann, T.; Culemann, U. (2012): Screw- versus plate-fixation strength of acetabular anterior column fractures. a biomechanical study. In: *J Trauma Acute Care Surg* 72 (6), S. 1664–1670.

- 43 Hackenbroch, C.; Riesner, H.-J.; Lang, P.; Stuby, F.; Beer, M.; Friemert, B.; Palm, H.-G. (2017): Die Dual-Energy-Computertomografie in der muskuloskeletalen Radiologie mit Fokus auf Insuffizienzfrakturen des Beckens. In: *Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie* 155 (6), S. 708–715.
- 44 Hammer, N.; Steinke, H.; Lingslebe, U.; Bechmann, I.; Josten, C.; Slowik, V.; Böhme, J. (2013): Ligamentous influence in pelvic load distribution. In: *The spine journal : official journal of the North American Spine Society* 13 (10), S. 1321–1330.
- 45 Hasenboehler, E. A.; Stahel, P. F.; Williams, A.; Smith, W. R.; Newman, J. T.; Symonds, D. L.; Morgan, S. J. (2011): Prevalence of sacral dysmorphism in a prospective trauma population. Implications for a "safe" surgical corridor for sacro-iliac screw placement. In: *Patient Saf Surg* 5 (1), S. 8.
- 46 Hauschild, O.; Strohm, P. C.; Culemann, U.; Pohlemann, T.; Suedkamp, N. P.; Koestler, W.; Schmal, H. (2008): Mortality in patients with pelvic fractures: results from the German pelvic injury register. In: *The Journal of Trauma* 64 (2), S. 449–455.
- 47 Heinecke, M.; Klauke, F.; Hofmann, G. O.; Mendel, T. (2018): Welche Rolle spielt die Facettengelenkbeteiligung L5/S1 bei Insuffizienzfrakturen des Os sacrum? Deutscher Kongress für Orthopädie und Unfallchirurgie 2016. DGOU. Berlin, 2018.
- 48 Henes, F. O.; Nüchtern, J. V.; Groth, M.; Habermann, C. R.; Regier, M.; Rueger, J. M. et al. (2012): Comparison of diagnostic accuracy of Magnetic Resonance Imaging and Multidetector Computed Tomography in the detection of pelvic fractures. In: *European journal of radiology* 81 (9), S. 2337–2342.
- 49 Hernlund, E.; Svedbom, A.; Ivergård, M.; Compston, J.; Cooper, C.; Stenmark, J. et al. (2013): Osteoporosis in the European Union. Medical management, epidemiology and economic burden. In: *Arch Osteoporos* 8 (1-2).
- 50 Heydemann, J.; Hartline, B.; Gibson, M. E.; Ambrose, C. G.; Munz, J. W.; Galpin, M. et al. (2016): Do Transsacral-transiliac Screws Across Uninjured Sacroiliac Joints Affect Pain and Functional Outcomes in Trauma Patients? In: *Clinical Orthopaedics and Related Research* 474 (6), S. 1417–1421.
- 51 Höch, A.; Özkurtul, O.; Pieroh, P.; Josten, C.; Böhme, J. (2017): Outcome and 2-Year Survival Rate in Elderly Patients With Lateral Compression Fractures of the Pelvis. In: *Geriatric orthopaedic surgery & rehabilitation* 8 (1), S. 3–9.

- 52 Höch, A.; Pieroh, P.; Henkelmann, R.; Josten, C.; Böhme, J. (2017): In-screw polymethylmethacrylate-augmented sacroiliac screw for the treatment of fragility fractures of the pelvis: a prospective, observational study with 1-year follow-up. In: *BMC surgery* 17 (1), S. 132.
- 53 Hoffmann, M. F.; Dudda, M.; Schildhauer, T. A. (2013): [Unilateral triangular lumbopelvic stabilization. indications and techniques]. In: *Unfallchirurg* 116 (11), S. 985–990.
- 54 Hopf, J. C.; Krieglstein, C. F.; Müller, L. P.; Koslowsky, T. C. (2015): Percutaneous iliosacral screw fixation after osteoporotic posterior ring fractures of the pelvis reduces pain significantly in elderly patients. In: *Injury* 46 (8), S. 1631–1636.
- 55 Hu, X.; Pei, F.; Wang, G.; He, J.; Kong, Q.; Tu, C. (2013): Application triangular osteosynthesis for vertical unstable sacral fractures. In: *Eur Spine J* 22 (3), S. 503–509.
- 56 Isler, B. (1990): Lumbosacral Lesions Associated with Pelvic Ring Injuries. In: *J Orthop Trauma* 4 (1), S. 1–6.
- 57 Issa, G.; Mulligan, M. (2020): Dual energy CT can aid in the emergent differentiation of acute traumatic and pathologic fractures of the pelvis and long bones. In: *Emergency radiology*.
- 58 Josten, C.; Höch, A. (2017): Sakruminsuffizienzfrakturen. Operativ/konservativ. In: *Die Wirbelsäule* 01 (01), S. 31–40.
- 59 Kanis, J. A.; Johnell, O.; Oden, A.; Jonsson, B.; Laet, C. de; Dawson, A. (2000): Risk of Hip Fracture According to the World Health Organization Criteria for Osteopenia and Osteoporosis. In: *Bone* 27 (5), S. 585–590.
- 60 Kannus, P.; Palvanen, M.; Niemi, S.; Parkkari, J.; Järvinen, M. (2000): Epidemiology of osteoporotic pelvic fractures in elderly people in Finland: sharp increase in 1970-1997 and alarming projections for the new millennium. In: *Osteoporosis international : a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA* 11 (5), S. 443–448.
- 61 Khoo, B.; Goh, J.; Bose, K. (1995): A biomechanical model to determine lumbosacral loads during single stance phase in normal gait 17, S. 27–35.

- 62 Koeng, M. A.; Seidel, U.; Heini, P.; Orler, R.; Quraishi, N. A.; Boszczyk, A. A.; Boszczyk, B. M. (2013): Minimal-invasive Percutaneous Reduction and Transsacral Screw Fixation for U-shaped Fractures. In: *J Spinal Disord Tech* 26 (1), S. 48–54.
- 63 Konig, M. A.; Sundaram, R. O.; Saville, P.; Jehan, S.; Boszczyk, B. M. (2016): Anatomical considerations for percutaneous trans ilio-sacroiliac S1 and S2 screw placement. In: *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society* 25 (6), S. 1800–1805.
- 64 Krappinger, D.; Kaser, V.; Kammerlander, C.; Neuerburg, C.; Merkel, A.; Lindtner, R. A. (2018): Inter- and intraobserver reliability and critical analysis of the FFP classification of osteoporotic pelvic ring injuries. In: *Injury*.
- 65 Lattauschke, A.; Klauke, F.; Ullrich, B. W.; Hofmann, G. O.; Mendel, T. (2017): Behandlungsverlauf der operativen Versorgung einer Sakruminsuffizienzfraktur. Erfolgreiches oder folgenreiches Handeln? In: *Der Unfallchirurg* 120 (10), S. 890–895.
- 66 Lau, T. W.; Leung, F. (2010): Occult posterior pelvic ring fractures in elderly patients with osteoporotic pubic rami fractures. In: *J Orthopaedic Surgery* 18 (18), S. 153–157.
- 67 Lavignolle, B.; Vital, J. M.; Senegas, J.; Destandau, J.; Toson, B.; Bouyx, P. et al. (1983): An approach to the functional anatomy of the sacroiliac joints in vivo. In: *Anat Clin* 5, 1983 (3), S. 169–176.
- 68 Le Huec, J. C.; Saddiki, R.; Franke, J.; Rigal, J.; Aunoble, S. (2011): Equilibrium of the human body and the gravity line: the basics. In: *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society* 20 Suppl 5, S. 558–563.
- 69 Lee, Y. K.; Jang, S.; Lee, H. J.; Park, C.; Ha, Y. C.; Kim, D. Y. (2012): Mortality after vertebral fracture in Korea. Analysis of the National Claim Registry. In: *Osteoporos Int* (12), S. 1859–1865.
- 70 Linstrom, N. J.; Heiserman, J. E.; Kortman, K. E.; Crawford, N. R.; Baek, S.; Anderson, R. L. et al. (2009): Anatomical and biomechanical analyses of the unique and consistent locations of sacral insufficiency fractures. In: *Spine* 34 (4), S. 309–315.
- 71 Lourie, H. (1982): Spontaneous osteoporotic fracture of the sacrum. An unrecognized syndrome of the elderly. In: *JAMA* 248 (6), S. 715–717.

- 72 Mahato, N. K. (2011): Facet dimensions, orientation, and symmetry at L5-S1 junction in lumbosacral transitional States. In: *Spine* 36 (9), S. E569-73.
- 73 Mahoney, F. I.; Barthel, D. W. (1995): Functional Evaluation: The Barthel Index. In: *Md State Med J* (14), S. 61–65.
- 74 Maier, G. S.; Kolbow, K.; Lazovic, D.; Horas, K.; Roth, K. E.; Seeger, J. B.; Maus, U. (2016): Risk factors for pelvic insufficiency fractures and outcome after conservative therapy. In: *Archives of gerontology and geriatrics* 67, S. 80–85.
- 75 Majeed, S. A. (1989): Grading the outcome of pelvic fractures. In: *The Journal of bone and joint surgery. British volume* 71 (2), S. 304–306.
- 76 Marintschev, I.; Gras, F.; Klos, K.; Wilharm, A.; Muckley, T.; Hofmann, G. O. (2010): Navigation of vertebro-pelvic fixations based on CT-fluoro matching. In: *Eur Spine J* 19 (11), S. 1921–1927.
- 77 Marrinan, S.; Pearce, M. S.; Jiang, X. Y.; Waters, S.; Shanshal, Y. (2015): Admission for osteoporotic pelvic fractures and predictors of length of hospital stay, mortality and loss of independence. In: *Age and Ageing* 44 (2), S. 258–261.
- 78 Matta, J. M. (1996): Indications for anterior fixation of pelvic fractures. In: *Clinical Orthopaedics and Related Research* (329), S. 88–96.
- 79 Mears, S. C.; Berry, D. J. (2011): Outcomes of Displaced and Nondisplaced Pelvic and Sacral Fractures in Elderly Adults. In: *Journal of the American Geriatrics Society* 59 (7), S. 1309–1312.
- 80 Mehling, I.; Hessmann, M. H.; Rommens, P. M. (2012): Stabilization of fatigue fractures of the dorsal pelvis with a trans-sacral bar. Operative technique and outcome. In: *Injury* 43 (4), S. 446–451.
- 81 Mendel, T.; Heinecke, M.; Klauke, F.; Göhre, F.; Hofmann, G. O.; Ullrich, B. W. (2018): Versorgung instabiler Verletzungen des hinteren Beckenringes – bewährte Methoden und neue Konzepte. In: *Trauma Berufskrankh* 20 (S4), S. 206–215.
- 82 Mendel, T.; Noser, H.; Kuervers, J.; Goehre, F.; Hofmann, G. O.; Radetzki, F. (2013): The influence of sacral morphology on the existence of secure S1 and S2 transverse bone corridors for iliosacroiliac screw fixation. In: *Injury* 44 (12), S. 1773–1779.

- 83 Mendel, T.; Noser, H.; Wohlrab, D.; Stock, K.; Radetzki, F. (2011): The lateral sacral triangle—A decision support for secure transverse sacroiliac screw insertion. In: *Injury* 42 (10), S. 1164–1170.
- 84 Mendel, T.; Radetzki, F.; Wohlrab, D.; Stock, K.; Hofmann, G. O.; Noser, H. (2013): CT-based 3-D visualisation of secure bone corridors and optimal trajectories for sacroiliac screws. In: *Injury* 44 (7), S. 957–963.
- 85 Mendel, T.; Ullrich, B. W.; Hofmann, G. O.; Schenk, P.; Goehre, F.; Schwan, S.; Klauke, F. (2020): Progressive instability of bilateral sacral fragility fractures in osteoporotic bone: a retrospective analysis of X-ray, CT, and MRI datasets from 78 cases. In: *European journal of trauma and emergency surgery : official publication of the European Trauma Society*.
- 86 Morris, R. O.; Sonibare, A.; Green, D. J.; Masud, T. (2000): Closed pelvic fractures: characteristics and outcomes in older patients admitted to medical and geriatric wards. In: *Postgraduate medical journal* 76 (900), S. 646–650.
- 87 Mückley, T.; Marintschev, I.; Gras, F.; Hofmann, G. O. (2008): Aktueller Stand der Versorgung vorderer Beckenringfrakturen. In: *Trauma und Berufskrankheit* 10 (2), S. 116–122.
- 88 Neugebauer, R.; Nothofer, W. (2003): Sakrumfrakturen. In: *OP-Journal* 19 (2), S. 140–146.
- 89 Noser, J.; Dietrich, M.; Tiziani, S.; Werner, C. M. L.; Pape, H.-C.; Osterhoff, G. (2018): Mid-term follow-up after surgical treatment of fragility fractures of the pelvis. In: *Injury* 49 (11), S. 2032–2035.
- 90 Nüchtern, J. V.; Hartel, M. J.; Henes, F. O.; Groth, M.; Jauch, S. Y.; Haegele, J. et al. (2015): Significance of clinical examination, CT and MRI scan in the diagnosis of posterior pelvic ring fractures. In: *Injury* 46 (2), S. 315–319.
- 91 Oberkircher, L.; Ruchholtz, S.; Rommens, P. M.; Hofmann, A.; Bücking, B.; Krüger, A. (2018): Osteoporotic Pelvic Fractures. In: *Deutsches Arzteblatt international* 115 (5), S. 70–80.
- 92 Osterhoff, G.; Noser, J.; Held, U.; Werner, C. M. L.; Pape, H.-C.; Dietrich, M. (2019): Early operative versus non-operative treatment of fragility fractures of the pelvis - a propensity matched multicenter study. In: *Journal of orthopaedic trauma*.

- 93 Osterhoff, G.; Ossendorf, C.; Wanner, G. A.; Simmen, H. P.; Werner, C. M. (2011): Posterior screw fixation in rotationally unstable pelvic ring injuries. In: *Injury* 42 (10), S. 992–996.
- 94 Palm, H.-G.; Lang, P.; Hackenbroch, C.; Sailer, L.; Friemert, B. (2019): Dual-energy CT as an innovative method for diagnosing fragility fractures of the pelvic ring: a retrospective comparison with MRI as the gold standard. In: *Archives of orthopaedic and trauma surgery*.
- 95 Paul, S. S.; Tiedemann, A.; Hassett, L. M.; Ramsay, E.; Kirkham, C.; Chagpar, S.; Sherrington, C. (2015): Validity of the Fitbit activity tracker for measuring steps in community-dwelling older adults. In: *BMJ open sport & exercise medicine* 1 (1), S. e000013.
- 96 Pavon, J. M.; Sloane, R. J.; Pieper, C. F.; Colón-Emeric, C. S.; Cohen, H. J.; Gallagher, D. et al. (2020): Accelerometer-Measured Hospital Physical Activity and Hospital-Acquired Disability in Older Adults. In: *Journal of the American Geriatrics Society* 68 (2), S. 261–265.
- 97 Peh, W.; Khong, P. L.; Ho, W. Y.; Yeung, H.; Luk, K. (1995): Sacral Insufficiency Fractures. Spectrum of Radiological Features. In: *Clinical Imaging* 19, S. 92–101.
- 98 Peleg, S.; Dar, G.; Medlej, B.; Steinberg, N.; Masharawi, Y.; Latimer, B. et al. (2007): Orientation of the human sacrum: anthropological perspectives and methodological approaches. In: *American journal of physical anthropology* 133 (3), S. 967–977.
- 99 Pennal, G. F. (1980): Pelvic Disruption. Assessment and Classification. In: *Clinical Orthopaedics and Related Research* (151), S. 12–21.
- 100 Peretti, F. de; 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. In: *Surg Radiol Anat* 13 (2), S. 133–137.
- 101 Pieroh, P.; Höch, A.; Gras, F.; Märdian, S.; Herath, S.; Palm, H.-G. et al. (2018): Bestimmung der Intrarater- und Interraterreliabilität der Klassifikation für Fragilitätsfrakturen des Beckens. Eine multizentrische, retrospektive Reliabilitätsstudie. Unter Mitarbeit von Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie, Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und orthopädische Chirurgie und Berufsverband der Fachärzte für Orthopädie.

- 102 Pohlemann, T.; Bosch, U.; Gänsslen, A.; Tscherne, H. (1994): The Hannover experience in management of pelvic fractures. In: *Clinical Orthopaedics and Related Research* (305), S. 69–80.
- 103 Pohlemann, T.; Stengel, D.; Tosounidis, G.; Reilmann, H.; Stuby, F.; Stöckle, U. et al. (2011): Survival trends and predictors of mortality in severe pelvic trauma: estimates from the German Pelvic Trauma Registry Initiative. In: *Injury* 42 (10), S. 997–1002.
- 104 Pohlemann, T.; Tscherne, H.; Baumgärtel, F.; Egbers, H. J.; Euler, E.; Maurer, F. et al. (1996): Beckenverletzungen: Epidemiologie, Therapie und Langzeitverlauf. Übersicht über die multizentrische Studie der Arbeitsgruppe Becken. In: *Der Unfallchirurg* 99 (3), S. 160–167.
- 105 Radetzki, F.; Wohlrab, D.; Goehre, F.; Noser, H.; Delank, K. S.; Mendel, T. (2014): Anatomical conditions of the posterior pelvic ring regarding bisegmental transverse sacroiliac screw fixation. a 3D morphometric study of 125 pelvic CT datasets. In: *Arch Orthop Trauma Surg* 134 (8), S. 1115–1120.
- 106 Roetman, B.; Schildhauer, T. A. (2013): [Lumbopelvic stabilization for bilateral lumbosacral instabilities. indications and techniques]. In: *Unfallchirurg* 116 (11), S. 991–999.
- 107 Rommens, P. M.; Arand, C.; Hopf, J. C.; Mehling, I.; Dietz, S. O.; Wagner, D. (2019): Progress of instability in fragility fractures of the pelvis: An observational study. In: *Injury* 50 (11), S. 1966–1973.
- 108 Rommens, P. M.; Graafen, M.; Arand, C.; Mehling, I.; Hofmann, A.; Wagner, D. (2020): Minimal-invasive stabilization of anterior pelvic ring fractures with retrograde transpubic screws. In: *Injury* 51 (2), S. 340–346.
- 109 Rommens, P. M.; Hofmann, A. (2013): Comprehensive classification of fragility fractures of the pelvic ring. Recommendations for surgical treatment. In: *Injury* 44 (12), S. 1733–1744.
- 110 Rommens, P. M.; Hofmann, A. (2013): Comprehensive classification of fragility fractures of the pelvic ring: Recommendations for surgical treatment. In: *Injury* 44 (12), S. 1733–1744.
- 111 Rommens, P. M.; Wagner, D.; Hofmann, A. (2019): Do We Need a Separate Classification for Fragility Fractures of the Pelvis? In: *Journal of orthopaedic trauma* 33 Suppl 2, S. S55-S60.

- 112 Routt, M.; Simonian, P. T. (1996): Closed Reduction and Percutaneous Skeletal Fixation of Sacral Fractures. In: *Clin Orthop Relat Res*, S. 121–128.
- 113 Rübberdt, A.; Hofbauer, V.; Fuchs, T.; Raschke, M. J. (2009): Computerassistierte Osteosynthesen am Beckenring. In: *Trauma und Berufskrankheit* 11 (3), S. 128–135.
- 114 Sainsbury, A. (2005): Reliability of Barthel Index when used with older people. In: *Age and Ageing* (34), S. 228–232.
- 115 Salazar, D.; Lannon, S.; Pasternak, O.; Schiff, A.; Lomasney, L.; Mitchell, E.; Stover, M. (2015): Investigation of bone quality of the first and second sacral segments amongst trauma patients: concerns about iliosacral screw fixation. In: *Journal of orthopaedics and traumatology : official journal of the Italian Society of Orthopaedics and Traumatology* 16 (4), S. 301–308.
- 116 Sassaman, Wesley Carroll; Johnston, Rhonda (2017): Using the Fitbit®' Mobility Tracker to encourage exercise self-efficacy and evaluate fall risk potential in elderly Osteoarthritis Patients in Primary Care. Phoenix, Arizona: Grand Canyon University.
- 117 Scheyerer, M. J.; Osterhoff, G.; Wehrle, S.; Wanner, G. A.; Simmen, H.-P.; Werner, C. M. (2012): Detection of posterior pelvic injuries in fractures of the pubic rami. In: *Injury* 43 (8), S. 1326–1329.
- 118 Schindler, O. S.; Watura, R.; Cobby, M. (2007): Sacral insufficiency fractures. In: *Journal of Orthopaedic Surgery* 15 (3), S. 339–346.
- 119 Sean, E. N.; Clifford, B. J.; Susan P. Harding, Sohail, K. Mirza; Routt, M. L. C. (2001): Percutaneous Stabilization of U-Shaped Sacral Fractures Using Iliosacral Screws: Technique and Early Results.
- 120 Serafi, A.; Vielsäcker, H.; Müller, K. W. (1992): Anwendbarkeit der Klassifikation der Beckenringfrakturen nach Isler und Ganz im klinischen Alltag. In: *Aktuelle Traumatol* 22 (5), S. 197–202.
- 121 Statistisches Bundesamt (27.06.2019): Bevölkerung im Wandel. Ergebnisse der 14. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung.
- 122 Stevens, C. L.; Torke, A. M. (2016): Geriatric Trauma: A Clinical and Ethical Review. In: *Journal of trauma nursing : the official journal of the Society of Trauma Nurses* 23 (1), S. 36-41; quiz E3-4.

- 123 Stockle, U.; Schaser, K.; Konig, B. (2007): Image guidance in pelvic and acetabular surgery--expectations, success and limitations. In: *Injury* 38 (4), S. 450–462.
- 124 Stuby, F. M.; Schaffler, A.; Haas, T.; Konig, B.; Stockle, U.; Freude, T. (2013): [Insufficiency fractures of the pelvic ring]. In: *Unfallchirurg* 116 (4), S. 351-64; quiz 365-6.
- 125 Taillandier, J.; Langue, F.; Alemanni, M.; Taillandier-Herliche, E. (2003): Mortality and functional outcomes of pelvic insufficiency fractures in older patients. In: *Joint bone spine* 70 (4), S. 287–289.
- 126 Thiesen, D.; Berger-Groch, J.; Hartel, M.; Ntalos, D.; Hennes, F.; Rueger, J. M. (2018): Zuverlässigkeit der Frakturklassifikation von Beckenfrakturen – Tile/AO, Young & Burgess und FFP. Unter Mitarbeit von Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie, Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und orthopädische Chirurgie und Berufsverband der Fachärzte für Orthopädie.
- 127 Tile, M. (1980): Pelvic fractures: operative versus nonoperative treatment. In: *The Orthopedic clinics of North America* 11 (3), S. 423–464.
- 128 Tile, M. (1996): Acute Pelvic Fractures: II. Principles of Management. In: *The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons* 4 (3), S. 152–161.
- 129 Tile M. (1995): Fractures of the Pelvis and Acetabulum. 2. Aufl. 1 Band. USA: Williams&Wilkins.
- 130 Tillmann, B. (2011): Atlas der Anatomie des Menschen. 2. Aufl. Heidelberg: Springer Medizinverlag.
- 131 Trulson, A.; Küper, M. A.; Trulson, I. M.; Minarski, C.; Stöckle, U.; Stuby, F. M. (2018): Fraktur des vorderen Beckenringes – die vermeintlich leichte Verletzung. In: *Trauma Berufskrankh* 20 (S3), S. 157–162.
- 132 Tscherne, H.; Pohlemann, T. (1998): Tscherne Unfallchirurgie. Becken und Acetabulum. Unter Mitarbeit von Baumgaertel F., Bosch U., Dickson K., Gaensslen A., Hüfner T., Kasperczyk W. et al. 1. Aufl. 13 Bände. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- 133 Tscherne, Harald; Pohlemann, T. (Hg.) (2014): Tscherne Unfallchirurgie. Becken und Acetabulum. Softcover reprint of the original 1st ed. 1998. Berlin: Springer Berlin.
- 134 Tsiridis, E.; Upadhyay, N.; Gamie, Z.; Giannoudis, P. V. (2007): Percutaneous screw fixation for sacral insufficiency fractures. In: *The Journal of Bone and Joint Surgery* 89 (12), S. 1650–1653.

- 135 Tsuda, T. (2017): Epidemiology of fragility fractures and fall prevention in the elderly: a systematic review of the literature. In: *Current orthopaedic practice* 28 (6), S. 580–585.
- 136 van den Bosch, E. W.; van Zwiene, C. M.; van Vugt, A. B. (2002): Fluoroscopic Positioning of Sacroiliac Screws in 88 Patients. In: *Journal of Trauma Injury* 53, 2002 (1), S. 44–48.
- 137 Vanderschot, P.; Koppers, M.; Sermon, A.; Lateur, L. (2009): Trans-iliac-sacral-iliac-bar procedure to treat insufficiency fractures of the sacrum. In: *Indian J Orthop* 43 (3), S. 245–252.
- 138 Vanderschot, P.; Meuleman, C.; Lefèvre, A.; Broos, P. (2001): Trans iliac sacral iliac bar stabilisation to treat bilateral lesions of the sacro iliac joint or sacrum anatomical considerations and clinical experience. In: *Injury* 32, S. 587–592.
- 139 Vleeming, A.; Stoeckart, R.; Volkers, A. C.; Snijders, C. J. (1990): Relation between form and function in the sacroiliac joint. Part I: Clinical anatomical aspects. In: *Spine* 15 (2), S. 130–132.
- 140 Vleeming, A.; Volkers, A. C.; Snijders, C. J.; Stoeckart, R. (1990): Relation between form and function in the sacroiliac joint. Part II: Biomechanical aspects. In: *Spine* 15 (2), S. 133–136.
- 141 Wagner, D.; Kamer, L.; Sawaguchi, T.; Geoff Richards, R.; Noser, H.; Uesugi, M. et al. (2017): Critical dimensions of trans-sacral corridors assessed by 3D CT models: Relevance for implant positioning in fractures of the sacrum. In: *Journal of orthopaedic research : official publication of the Orthopaedic Research Society* 35 (11), S. 2577–2584.
- 142 Wagner, D.; Kamer, L.; Sawaguchi, T.; Richards, R. G.; Noser, H. (2016): Sacral Bone Mass Distribution Assessed by Averaged Three-Dimensional CT Models. Implications for Pathogenesis and Treatment of Fragility Fractures of the Sacrum. In: *The Journal of Bone & Joint Surgery* 98 (7), S. 584–590.
- 143 Waites, M. D.; Mears, S. C.; Mathis, J. M.; Belkoff, S. M. (2007): The strength of the osteoporotic sacrum. In: *Spine* 32 (23), S. E652-5.
- 144 Waschke, Jens; Böckers, Tobias M.; Paulsen, Friedrich (Hg.) (2015): Anatomie. Das Lehrbuch : Sobotta. Unter Mitarbeit von Wolfgang H. Arnold und Johannes Sobotta. 1. Auflage. München: Elsevier Urban & Fischer.

- 145 Wolff, Julius (2010): *Das Gesetz der Transformation der Knochen*. 1. Aufl. Berlin: Pro Business.
- 146 Wong, R. M. Y.; Ho, W.-T.; Tang, N.; Tso, C. Y.; Ng, W. K. R.; Chow, S. K.-H.; Cheung, W.-H. (2020): A study protocol for a randomized controlled trial evaluating vibration therapy as an intervention for postural training and fall prevention after distal radius fracture in elderly patients. In: *Trials* 21 (1), S. 95.
- 147 Wortman, J. R.; Shyu, J. Y.; Dileo, J.; Uyeda, J. W.; Sodickson, A. D. (2020): Dual-energy CT for routine imaging of the abdomen and pelvis: radiation dose and image quality. In: *Emergency radiology* 27 (1), S. 45–50.
- 148 Zeng, W.-F.; Li, Y.-N.; Wang, C. (2019): Progress of minimally invasive treatment about fragility fractures of pelvis. In: *Zhongguo gu shang = China journal of orthopaedics and traumatology* 32 (9), S. 872–875.
- 149 Zhao, Y.; Zhang, S.; Sun, T.; Wang, D.; Lian, W.; Tan, J.; Zou, D. (2013): Mechanical comparison between lengthened and short sacroiliac screws in sacral fracture fixation. a finite element analysis. In: *Orthop Traumatol Surg Res* 99 (5), S. 601–606.
- 150 Ziran, B. H.; Smith, W. R.; Towers, J.; Morgan, S. J. (2003): Iliosacral screw fixation of the posterior pelvic ring using local anaesthesia and computerised tomography. In: *The Journal of Bone and Joint Surgery* 85 (3), S. 411–418.

# Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1 – Knöcherner Anatomie Os sacrum nach Sobotta (Waschke et al. 2015)</i>	7
<i>Abbildung 2 - Ligamentäre Bandstrukturen des hinteren Beckenringes nach Tscherne et al. (Tscherne und Pohlemann 2014)</i>	8
<i>Abbildung 3 – Coronale CT-Schnitte mit der Darstellung der Formbeschreibung von Sakren nach Goetzen et al. (Goetzen et al. 2016) mit (a) ascendierendem, (b) descendierendem und (c) horizontalem Typ</i>	9
<i>Abbildung 4 – Dreiecksquotient des lateralen Sakraldreiecks <math>R_{\text{RatioT}}</math> nach Mendel (Mendel et al. 2011)</i>	10
<i>Abbildung 5 - Darstellung der Zonen mit negativem HU in rot bei (a) einem Messwert von &lt;100 HU in LWK5 und (b) einem Messwert von &gt; 100 HU in LWK5 (Wagner et al. 2016)</i>	12
<i>Abbildung 6 - CT-morphologisch ausgeprägte "Alar Voids" (blau markiert) beider Sakrumflügel bei einer 81-jährigen Patientin</i>	12
<i>Abbildung 7 - Lastübertragung innerhalb des Beckenringes mit Zugrichtung der Ligamente im Stand</i>	13
<i>Abbildung 8 – Begriffserklärung</i>	15
<i>Abbildung 9 - Facettengelenksbeteiligung nach Isler (Heinecke et al. 2018)</i>	17
<i>Abbildung 10 - FFP Klassifikation Klasse IV (Rommens und Hofmann 2013)</i>	19
<i>Abbildung 11 - Schematische Darstellung der Wahl des Osteosyntheseverfahrens in Abhängigkeit der Anatomie und Frakturmorphologie (QK - Querkomponente)</i>	23
<i>Abbildung 12 - Beispiel einer 77-jährigen Patientin mit bilateraler tranalarer Fraktur und Querkomponente auf Level sub S2.</i>	24
<i>Abbildung 13 – Bisegmentale transsakrale Verschraubung (a) Schematische Darstellung (b) intraoperatives Bild (c) postoperatives Röntgenbild</i>	24
<i>Abbildung 14 - Beispiel einer 72-jährigen Patientin mit bilateraler Fraktur und Querkomponente auf Level sub S1</i>	25
<i>Abbildung 15 – Spinopelvine Stabilisierung (a) Schematische Darstellung (b) intraoperatives Bild (c) postoperatives Röntgenbild</i>	26
<i>Abbildung 16 - Übersicht Zeitpunkte</i>	27
<i>Abbildung 17 - Schematische Darstellung der Standanalyse. Die zentralen schwarzen Linien zeigen die COP-Spur als Ausdruck der Schwerpunktbewegung. Die eingezeichnete olivfarbene Ellipse repräsentiert die 95 %ige Vertrauensellipse.</i>	31
<i>Abbildung 18 - Modifizierter Majeed-Score (Majeed 1989)</i>	32
<i>Abbildung 19 – Anzahl der ein- und ausgeschlossenen Patienten und Übersicht über die Patientenzahlen postoperativ bis zum Followup</i>	37
<i>Abbildung 20 - Schnitt-Naht-Zeit in Minuten und benötigte Durchleuchtungszeit beider Methoden im Vergleich</i>	41
<i>Abbildung 21 - Darstellung der FitBit®-Ergebnisse im Vergleich zwischen beiden Zeitpunkten.</i>	48
<i>Abbildung 22 – Vergleichende Darstellung der Abhängigkeit von orthopädischen Hilfsmitteln im zeitlichen Verlauf zwischen beiden Operationsmethoden</i>	49

## Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1 - Übersicht zur Häufigkeit der Frakturtypen nach Denis bezogen auf alle Sakrumfrakturen sowie der prozentuale Anteil an neurologischen Ausfällen bezogen auf den Typ (Denis et al. 1988)</i>	17
<i>Tabelle 2- Übersicht über die epidemiologischen Daten der beiden Gruppen unter Angabe vom Mittelwert <math>\pm</math> Standardabweichung. BTS- Bisegmentale Transsakrale Verschraubung, SP - Spinopelvine Aufhängung</i>	35
<i>Tabelle 3 - Verteilung des Verlaufs der vertikalen Frakturkomponenten. Zahlen absolut und in Prozent (%)</i>	38
<i>Tabelle 4 - Verteilung der Facettengelenksbeteiligung nach der Klassifikation nach Isler et al., Zahlen absolut und in Prozent (%)</i>	38
<i>Tabelle 5 - Anzahl der dysplastischen Becken, Vorhandensein von Querfrakturen, Beteiligung des Querfortsatzes LWK5 und des vorderen Beckenrings. Absolutzahlen und in Prozent (%) Gesamtzahl: 61</i>	40
<i>Tabelle 6 - Komplikationen innerhalb der ersten postoperativen Woche.</i>	42
<i>Tabelle 7 - Vertrauensellipse als Zeichen für die posturale Stabilität zum Zeitpunkt eine Woche nach Operation in mm<sup>2</sup></i>	43
<i>Tabelle 8 - Entlassungsmodalitäten nach Abschluss der unfallchirurgischen Therapie</i>	44
<i>Tabelle 9 - Notwendigkeit orthopädischer Hilfsmittel zum Zeitpunkt der Entlassung aus der unfallchirurgischen Behandlung</i>	44
<i>Tabelle 10 - Übersicht der Ergebnisse von ODI, Barthel, Majeed und SF-12. Alle Angaben in Punkten mit Standardabweichung und p-Werten (* signifikanter Unterschied).</i>	46
<i>Tabelle 11 - Übersicht über die Verwendung von Hilfsmitteln zum Zeitpunkt IV. Alle Angaben als Absolut- und Prozentwerte.</i>	47

## Abkürzungsverzeichnis

A.	Arteria
Aa.	Arteriae
ASA	American Society of Anesthesiologists
BG	Berufsgenossenschaft
BH	Body Height (Höhe der Deckplatte S1)
BMI	Body Mass Index
bspw.	beispielsweise
BTS	Bisegmental Transsakrale (Verschraubung)
BW	Body Width (Weite der Deckplatte S1)
cm	Zentimeter
CT	Computertomographie
d	Day / Tag
et. al.	et alii, et aliae, et alia
FFP	Fragility Fractures of the Pelvis
GCP	Good Clinical Practise
h	hour / Stunde
HU	Hounsfield Units
kg	Kilogramm
L	lumbal
Lig.	Ligament
Ligg.	Ligamenta (Mehrzahl)
LWK	Lendenwirbelkörper
mm	Millimeter
MRT	Magnetresonanztomographie
N	Newton
n	Anzahl
N.	Nervus
OP	Operation
Pkt.	Punkt
Proc.	Processus
Ratio <sub>T</sub>	Triangle Ratio (Quotient des lateralen Sakraldreiecks)
QK	Querkomponente
S	sakral
SI	sakroiliakal
SP	spinopelvine (Stabilisierung)
V.	Vena
WHO	World Health Organisation

## **Ehrenwörtliche Erklärung**

Hiermit erkläre ich, dass mir die Promotionsordnung der Medizinischen Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität bekannt ist, ich die Dissertation selbst angefertigt habe und alle von mir benutzten Hilfsmittel, persönlichen Mitteilungen und Quellen in meiner Arbeit angegeben sind, mich folgende Personen bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskripts unterstützt haben: Privatdozent Dr. med. habil. Thomas Mendel. Die Hilfe eines Promotionsberaters nicht in Anspruch genommen wurde und dass Dritte weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen von mir für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen, dass ich die Dissertation noch nicht als Prüfungsarbeit für eine staatliche oder andere wissenschaftliche Prüfung eingereicht habe und dass ich die gleiche, eine in wesentlichen Teilen ähnliche oder eine andere Abhandlung nicht bei einer anderen Hochschule als Dissertation eingereicht habe.

Halle, 16.12.2021

Friederike Klauke

## Danksagung

Die vorliegende Studie wurde im Oktober 2015 am BG Klinikum Bergmannstrost begonnen. Ohne die Unterstützung zahlreicher Personen und Institutionen hätte sie in dieser Form nicht realisiert werden können. Für die viele Hilfe möchte ich mich an dieser Stelle sehr herzlich bedanken.

Allen voran möchte ich mich bei Herrn Privatdozent Dr. med. habil. Thomas Mendel bedanken. Er betreute mich von Beginn dieser Arbeit an. Wenn gleich seine Pedanterie mich so manches Mal in den Wahnsinn treiben wollte, so war er es, der mich die Liebe zu diesem Fachgebiet lehrte. Sie sind für mich heute so viel mehr als mein Betreuer: mein stets perfektionsorientierter Oberarzt, mein unermüdlicher Ausbilder, mein größter Kritiker und vor allem aber eines: *mein Vorbild*.

Ein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. med. Dr. rer. nat. Gunter O. Hofmann. Die Art wie ich in seiner Klinik empfangen wurde und bis heute gefördert werde, ist alles – aber nicht selbstverständlich. Vielen Dank für die konstruktive Kritik, die vielen Ratschläge, die aufbauenden Worte und all die Möglichkeiten die mir ohne Sie verwehrt geblieben wären.

Herr Dr. med. Bernhard Ullrich – wenn ich dich in wenigen Worten beschreiben müsste so wäre meine Wortwahl wohl „der feingeistige Rock-Star der Unfallchirurgie“. Du hast dich mit mir aufgeregt, geärgert, standest mir tröstend zur Seite und hast mich angetrieben einfach nie aufzugeben. Danke für die vielen Stunden Zeit!

Schließlich möchte ich mich bei meiner Familie bedanken. Zunächst bei Jens Klauke, der diesen Weg als mein Ehemann mit mir begann und als Freund beendete. Ungeachtet der Veränderungen warst du immer da. Danke dafür. Auch gedankt sei Henriette Schwertfeger – mein Antidot, mein Streithahn, mein Konterpart – aber in aller erster Linie: meine in Liebe verbundene Schwester.

„Ihr gebt mir Wurzeln in die eine – und Flügel in die andere Hand“ – Ihr, meine Eltern, Dietmar und Ina Franke. Ihr habt mir all das erst ermöglicht. Ihr habt mir von Kindesbeinen an vorgelebt was man erreichen kann, wenn man nur an sich glaubt und bereit ist dafür zu arbeiten. Und gleichzeitig habt ihr mich gelehrt, dass Glück nicht zwingend an Erfolg hängt, dass Liebe mehr als Geld zählt, dass Familie der größte Reichtum ist. Ich bewundere euch dafür, dass ihr den Mut und die Kraft hattet, mich meine Wege gehen zu lassen – auch wenn es mal Umwege waren. Ihr gebt mir stetig Halt, ohne mich festzuhalten - Danke das ihr mich werden liebt, wer ich bin.