

Aus der Klinik für Allgemeine, Unfall- und Wiederherstellungschirurgie,  
Muskuloskelettales Universitätszentrum München  
der Ludwig-Maximilians-Universität zu München  
Direktor: Prof. Dr. med. Wolfgang Böcker

**Biomechanische und klinisch-experimentelle Analysen  
zur Versorgung spezieller Verletzungen an Beckenring und Acetabulum**

Als kumulative Habilitationsschrift  
für das Fach Orthopädie und Unfallchirurgie  
der medizinischen Fakultät



vorgelegt von

Dr. med. Christopher Alexander Becker

München 2022

**Inhaltsverzeichnis:**

<b>1. Einleitung .....</b>	<b>4</b>
<b>2. Teilprojekte der Habilitation &amp; Bedeutung für das Fachgebiet .....</b>	<b>7</b>
2.1 <i>Minimally invasive screw fixation is as stable as anterior plating in acetabular T-Type fractures - a biomechanical study.....</i>	<i>7</i>
2.2 <i>3D printing method for next-day acetabular fracture surgery using a surface filtering pipeline: feasibility and 1-year clinical results.....</i>	<i>8</i>
2.3 <i>Cementless hip revision cup for the primary fixation of osteoporotic acetabular fractures in geriatric patients.....</i>	<i>10</i>
2.4 <i>The T-pod is as stable as supraacetabular fixation using 1 or 2 Schanz screws in partially unstable pelvic fractures: a biomechanical study.....</i>	<i>12</i>
2.5 <i>Load-Bearing Detection with Insole-Force Sensors Provides New Treatment Insights in Fragility Fractures of the Pelvis.....</i>	<i>14</i>
2.6 <i>Biomechanical stability of sacroiliac screw osteosynthesis with and without cement augmentation.....</i>	<i>16</i>
2.7 <i>Modified less invasive anterior subcutaneous fixator for unstable Tile-C-pelvic ring fractures: a biomechanical study.....</i>	<i>18</i>
2.8 <i>Tape suture for stabilization of incomplete posterior pelvic ring fractures - biomechanical analysis of a new minimally invasive treatment for incomplete lateral compression pelvic ring fractures.....</i>	<i>20</i>
<b>3. Kurzzusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>22</b>
<b>4. Liste der zur kumulativen Habilitation beitragenden Publikationen.....</b>	<b>23</b>
<b>5. Literaturverzeichnis.....</b>	<b>25</b>
<b>6. Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>33</b>

<b>7. Abkürzungsverzeichnis.....</b>	<b>34</b>
<b>8. Anhang.....</b>	<b>35</b>
8.1 Gesamtverzeichnis wiss. Veröff. einschließlich Vortragsverzeichnis.....	35
8.1.1. Originalarbeiten als Erst- oder Letztautor.....	35
8.1.2. Originalarbeiten als Ko-Autor.....	37
8.1.3. Kasuistiken.....	39
8.1.4. Übersichtsarbeiten.....	39
8.1.5. Buchkapitel.....	39
8.1.6. Zitierfähige Abstracts von Vorträgen & Kongressbeiträgen / Kongressteilnahmen.....	40
8.1.7. Poster.....	45
<b>9. Danksagung.....</b>	<b>46</b>

## 1. Einleitung:

Beckenring- und Acetabulumfrakturen stellen hohe Anforderungen an den mit den Verletzungen konfrontierten Unfallchirurgen [12,25,47]. Insgesamt ist die Inzidenz von Beckenring- und Acetabulumfrakturen im Vergleich zu anderen Knochenbrüchen, wie z.B. distalen Radius- oder Sprunggelenksfrakturen, niedrig, was den routinierten Umgang mit diesen Verletzungen beeinflusst [11,42].

Zunehmend häufiger zeigen sich auch Fragilitätsfrakturen im Bereich des Beckenringes bei geriatrischen Patienten. Hier steigt die Inzidenz der Frakturen bei Patienten > 80 Jahren stetig an [1,37,42]. Aufgrund der demografischen Entwicklung ist von einem weiteren Anstieg von insbesondere Fragilitätsfrakturen des Beckenringes und des Acetabulums auszugehen [43]. Diese Patientengruppe stellt die Unfallchirurgie auf Grund mehrerer zusätzlicher Faktoren, wie zum Beispiel aufgrund ihrer Komorbiditäten, vor enorme Herausforderungen. Gehäuft liegt bei geriatrischen Patienten neben anderen Komorbiditäten eine verminderte Knochenqualität (Osteoporose) vor, was die chirurgische Gesamtbetreuung dieser Patientenklientel zusätzlich erschwert [24,31,37].

Bei Acetabulumfrakturen handelt es sich in vielen Fällen um Hochrasanz-Traumata von jüngeren Patienten [53]. Auf Grund der Tatsache, dass Acetabulumfrakturen Gelenkfrakturen darstellen, ist insbesondere die anatomische Reposition für das klinische Ergebnis jüngerer Patienten entscheidend [40,45]. Außerdem sind für diese oft ausgedehnte operative Zugänge notwendig, was die postoperative Mobilisation des Patienten erschwert und den Krankenhausaufenthalt mit konsekutiv möglichen Komplikationen verlängert [14,27]. Dies gilt insbesondere auch für geriatrische Patienten, bei welchen die sofortige Mobilisation und Vermeidung von Komplikationen noch essenzieller ist [37,50].

Um die Mobilisation postoperativ und die Eingriffsmorbidität des Patienten perioperativ zu verbessern, sind minimal-invasive Therapieoptionen bzw. die Einbringung von minimal-invasiven Implantaten bei den o.g. Verletzungen essenziell [22,49].

Welche Implantate und über welchen operativen Zugangsweg diese eingebracht werden sollen, wird aktuell in der Literatur und in Fachkreisen kontrovers diskutiert. Es existieren diesbezüglich eine Vielzahl von Zugängen, Implantaten und Implantat-Konstruktionen.

Minimal-invasive Operationszugänge zeigen aber beim Patienten eine schnellere postoperative Rehabilitation, weniger Blutverlust intraoperativ und einen kürzeren Krankenhausaufenthalt [2,21,62].

Bei Acetabulumfrakturen muss differenziert werden, welche Knochenqualität, welches Alter und welcher Allgemeinzustand der Patient aufweist. Der Goldstandard für die operative Versorgung von Patienten mit dieser Art von Fraktur ist aktuell noch die Plattenosteosynthese, entweder am vorderen und/oder hinteren Acetabulumpfeiler [54,63]. Hierzu sind ausgedehnte Zugänge notwendig (Stoppa-, ilioinguinaler Zugang, Kocher-Langenbeck-Zugang) [2,36,54], welche auch mit relevanten Komplikationen assoziiert sind (hoher Blutverlust, verlängerter Krankenhausaufenthalt, höhere Infektionsgefahr, schlechtere postoperative Mobilisation) [14].

Noch schwieriger gestaltet sich die klinische Versorgung von geriatrischen Acetabulumfrakturen. Auch hier besteht in der Literatur kein Konsens über die beste Versorgungsstrategie. Beschrieben sind in diesem Bereich diverse Osteosynthese-Strategien, z.B. die Implantation einer Hüft-Totalendoprothese in Kombination mit Plattenosteosynthese, oder Plattenosteosynthese singulär bis hin zur Versorgung mittels Revisionsendoprothese [5,33]. Mit welcher Versorgungsstrategie das beste Outcome der geriatrischen Patienten erzielt werden kann, ist weiterhin weitgehend unklar.

Bei dem geriatrischen Patientenkollektiv werden zunehmend auch Beckenringfrakturen relevant [37,43]. In der klinischen Versorgung stellt sich nach Diagnostik der vorderen bzw. der hinteren Beckenringfraktur (Fragilitätsfrakturen bei Osteoporose, FFP = „fragility fractures of the pelvis“) regelhaft die Frage nach der besten Behandlungsstrategie. Nach Rommens et al. ist zunächst eine schmerzadaptierte Mobilisation bei FFP Typ 2-Frakturen indiziert [44]. Eine operative Versorgung sollte bei inadäquater Mobilisation oder beim Ausbleiben von Schmerzkompensation in Betracht gezogen werden [37,44].

Wann der beste Zeitpunkt für einen operativen Eingriff ist, bzw. wie lange die präoperative Mobilisierung versucht werden sollte und wie diese objektiviert werden kann, ist aktuell unklar.

Weiterhin besteht Unklarheit bzgl. der Versorgungsstrategie von vorderen und/oder hinteren Beckenringfrakturen [3,18]. Insbesondere bleibt die Frage, welche Art von Osteosynthese-Konstruktionen bzw. Osteosynthese-Kombinationen die sinnvollste und stabilste Osteosynthese bei gleichzeitig minimaler Invasivität darstellt, bisher weitgehend unbeantwortet.

Bei Patienten nach Hochrasanztrauma mit einer Typ B-Verletzung des Beckenringes (horizontale Instabilität) wird als sog. „Damage Control-Maßnahme“ die Anlage eines supraacetabulären Fixateur externe propagiert [64]. Jedoch ist unklar, wie viele Fixateur-Pins supraacetabulär eingebracht werden müssen, um die bestmögliche Stabilität bei minimaler Invasivität zu ermöglichen. Im Bereich der präklinischen Notfallmedizin wird standardmäßig bei instabilen Beckenfrakturen ein sog. „Pelvic Binder“ angelegt. Diese einfach durchzuführende, nicht invasive Maßnahme, zeigt in Studien eine gute Reposition/Stabilisierung des Beckenringes [51,64].

In der Literatur existieren eine Vielzahl von Operationsverfahren und teilweise auch biomechanische Analysen bzgl. der Versorgung von Beckenring- und Acetabulumfrakturen. Welche Implantat-Konstruktionen und welche Implantat-Kombinationen nun für eine minimal-invasive Versorgung in Frage kommen, bzw. welche biomechanischen Eigenschaften diese besitzen, ist nur unzureichend geklärt.

Durch die eigenen Arbeiten im Rahmen dieses Habilitationsprojektes, soll u.a. auf diese Fragestellungen weiter eingegangen werden.

Meine Motivation zu dieser Habilitationsarbeit war es, die möglichst optimale Versorgungsstrategie bei Beckenring- und Acetabulumfrakturen mit höchster Stabilität und gleichzeitig niedrigster Invasivität zu beleuchten.

*Nachfolgend werden die Teilprojekte der Habilitation als Zusammenfassung präsentiert. Die Volltexte der Publikationen können über die jeweiligen Journale bzw. Open-Access bezogen werden.*

## 2. Teilprojekte der Habilitation & Bedeutung für das Fachgebiet:

2.1 *Minimally invasive screw fixation is as stable as anterior plating in acetabular T-Type fractures - a biomechanical study.*

**Becker CA**, Kammerlander C, Cavalcanti Kußmaul A, Dotzauer F, Woiczinski M, Rubenbauer B, Sommer F, Linhart C, Weidert S, Zeckey C, Greiner A.

Orthop Traumatol Surg Res. 2018 Nov;104(7):1055-1061. doi: 10.1016/j.otsr.2018.06.013. Epub 2018 Sep 1. IF = 1,6.

Zusammenfassung [2]:

Die optimale Behandlungsstrategie bei T-förmigen Acetabulumfrakturen ist bis dato nicht abschließend geklärt [16,63]. Der Goldstandard bei diesen Frakturen ist auch weiterhin die von ventral eingebrachte Plattenosteosynthese für den vorderen Pfeiler und optional eine dorsale Plattenosteosynthese für den hinteren Pfeiler, welches zwei ausgedehnte und invasive Zugänge erfordert [14,54,63]. Minimal-invasive operative Zugänge sind für die Versorgung von Acetabulumfrakturen wünschenswert, da hierdurch unter anderem die Rehabilitation des Patienten beschleunigt werden kann [21,62]. Biomechanische Daten zu minimal-invasiven Osteosyntheseoptionen bei T-förmigen Acetabulumfrakturen sind unterrepräsentiert in der aktuellen Literatur.

In einer von uns durchgeführten biomechanischen Studie konnten wir an synthetischen Beckenknochen ein minimal-invasives Osteosyntheseverfahren für T-förmige Acetabulumfrakturen analysieren. Hierbei wurden insgesamt 24 synthetische Beckenhälften (Fa. Sawbone, Vashon Island, USA) mit T-förmigen Acetabulumfrakturen in vier Gruppen eingeteilt und einer statischen und dynamischen biomechanischen Belastung ausgesetzt. Der hintere Acetabulumpfeiler wurde in allen Gruppen mit einer kanülierten Schraube fixiert, der vordere Pfeiler jedoch verschiedenartig osteosynthetisch versorgt (Schraubenosteosynthese, Schrauben-Stab-Fixateur intern, Schrauben-Stab-Fixateur intern + Schraubenosteosynthese). Als Vergleichsgruppe diente die konventionelle ventrale Plattenosteosynthese für den vorderen Pfeiler. Die Dislokation im Frakturspalt wurde mittels Ultraschallmesssensoren dokumentiert und die Steifigkeit der Osteosynthesekonstruktionen berechnet.

Es zeigte sich bei den Ergebnissen kein signifikanter Unterschied bezüglich der Stabilität der Osteosynthesen mit minimal-invasiv eingebrachten

Osteosynthesetechniken gegenüber der mit weitaus höherer Invasivität einzubringenden Plattenosteosynthese für den ventralen Acetabulumpfeiler.

Wir konnten mit unserem biomechanischen Projekt zeigen, dass (im synthetischen Knochenmodell) die minimal-invasiven Osteosynthesetechniken, den klassischen, invasiven Verfahren nicht unterlegen sind. Hieran wird sich eine klinische Studie anschließen, um die biomechanischen Ergebnisse klinisch zu validieren. Ziel der Arbeit ist es einen neuen minimal-invasiven Standard in der Versorgung von T-förmigen Acetabulumfrakturen zu generieren.

### *2.2 3D printing method for next-day acetabular fracture surgery using a surface filtering pipeline: feasibility and 1-year clinical results.*

Weidert S., Andress S, Linhart C, Suero EM, Greiner A, Böcker W, Kammerlander C, **Becker CA.**

Int J Comput Assist Radiol Surg. 2020 Mar;15(3):565-575. doi: 10.1007/s11548-019-02110-0. Epub 2020 Jan 2. IF = 2,9.

Abb. 1: 3D gedrucktes Modell einer Acetabulumfraktur mit angebogener, vorkonfektionierter Rekonstruktionsplatte, welche nach Anbiegen zur Sterilisation gegeben wird. Bildmaterial: [59],



<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7973705/>. Creative Commons Attribution 4.0 International License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

## Zusammenfassung [59]:

3D-Druckverfahren in der Medizin haben in den letzten Jahren eine große Aufmerksamkeit erfahren. Im Bereich der Unfallchirurgie zeigen sich vielversprechende Ergebnisse in der Acetabulumchirurgie bei Benutzung von 3D-gedruckten Modellen [9,10,60]. Nachteilig ist hier jedoch, dass kein definierter Workflow existiert, welcher beschreibt, wie die CT-Rekonstruktionen der Acetabulumfrakturen letztlich in einer strukturierten und einfachen Art und Weise in das 3D-Druckmodell überführt werden können [54]. Außerdem ist nur wenig bekannt darüber, wie die Anwendung von 3D-gedruckten Modellen die Operationszeit und den intraoperativen Blutverlust beeinflussen kann.

Wir führten diesbezüglich eine klinisch-experimentelle Studie mit 12 Patienten durch. Bei diesen Patienten wurde zuvor eine 3D-Druck-Rekonstruktion des frakturierten Acetabulums angefertigt. Die Fraktur im 3D-Druck des Acetabulums wurde reponiert und eine ventrale Rekonstruktionsplatte am Acetabulum angebogen und aufgesetzt (Abb. 1). Diese konfektionierte Platte wurde danach sterilisiert und stand dem Operateur am Folgetag zur Implantation zur Verfügung. Außerdem definierten wir einen Workflow, mit welchem wir die 3D-Modelle mit einem open-source-Programm (3D Slicer, <https://www.slicer.org>) zunächst modelliert und erzeugt haben. Danach konnte mit einem herkömmlichen 3D-Drucker der Druck des Modells erfolgen. Insgesamt wurden 12 Patienten in die Studie inkludiert und ein klinisches Follow-Up durchgeführt.

Als Ergebnis konnten wir durch unseren definierten Workflow zeigen, dass die durchschnittliche Druckzeit der 3D-Modelle um ca. 65% reduziert werden kann. Außerdem stellten wir dar, dass hierdurch die Kosten für die 3D-Modell-Drucke reduziert werden. Durch die vorkonfektionierte Platte war nahezu keine Schränkung/Modellierung der Platte intraoperativ mehr nötig, was zu einer Reduktion der OP-Zeit führte. Außerdem zeigte sich ein geringer intraoperativer Blutverlust bei Verwendung der am 3D-gedruckten Modell vorkonfektionierten Platten.

Unsere Studie zeigt die Überlegenheit am 3D-gedruckten Modell vorkonfektionierte Platten gegenüber nicht patientenspezifischen Implantaten in der Acetabulumchirurgie.

Durch den Workflow kann problemlos ohne aufwendigen Soft- oder Hardwareeinsatz, ein detailgetreues 3D-Modell eines Acetabulums generiert werden. Hierdurch kann der Workflow während der Operation verbessert und unter anderem die Operationszeit verkürzt werden.

*2.3 Cementless hip revision cup for the primary fixation of osteoporotic acetabular fractures in geriatric patients.*

**Becker CA\***, Linhart C\*, Bruder J, Zeckey C, Greiner A, Cavalcanti Kußmaul A, Weidert S, Suero EM, Böcker W, Kammerlander C.

Orthop Traumatol Surg Res. 2020 Dec 14;102745. doi:

10.1016/j.otsr.2020.102745. Online ahead of print. \*geteilte Erstautorenschaft, IF = 2,3.

Zusammenfassung [5]:

Problematisch bei der Versorgung von Acetabulumfrakturen sind insbesondere die geriatrischen Acetabulumfrakturen [48]. Einige Autoren untersuchten bei dieser Klientel bei verminderter Knochenqualität die direkte Implantation einer Hüft-Totalendoprothese mit und ohne zusätzliche Acetabulum-Plattenosteosynthese [6,7,32,35,41,58]. Dieses Vorgehen unterscheidet sich deutlich von dem Management von Acetabulumfrakturen bei jüngeren Patienten, bei welchen das Mittel der ersten Wahl die offene Reposition und interne Fixation mit Platten- und Schraubenosteosynthese am Acetabulum ist [41,46]. Eine unzementierte Hüft-Revisionspfanne wird nicht standardmäßig in der geriatrischen Acetabulumchirurgie eingesetzt, bietet aber unter anderem den Vorteil einer postoperativ vollen Belastbarkeit des betroffenen Beines, weshalb wir hierzu eine klinische Studie initiierten.

In der Pilotstudie mit 10 geriatrischen Patienten führten wir eine Implantation einer speziellen Hüftrevisionspfanne bei Acetabulumfrakturen in Kombination mit einer Hüft-Totalendoprothese durch. Außerdem wurde die gängige Literatur im Sinne einer Literaturübersicht analysiert. Im postoperativen Follow-Up führten wir ein ortho-geriatrisches Assessment durch (Parker Mobility Score, EQ-5D-3L, VAS, Barthel-

Index). In den Nachuntersuchungen zeigte sich, dass bei den geriatrischen Patienten eine gute Schmerzreduktion erreicht werden konnte.

Die Mobilität der betagten Patienten zeigte sich gemessen an den erhobenen Scores eingeschränkt (Modified Harrison Hip Score, Merle D'Aubigne und Postel Score, Modified Merle D'Aubigne und Postel Score). Dies ist insbesondere auch durch die vorherrschenden Komorbiditäten der Patienten und deren hohes Alter begründet. Insgesamt kann durch die Implantation der Hüftrevisionspfanne eine postoperative Vollbelastung erreicht werden, wodurch eine Mobilisation der geriatrischen Patienten möglich ist. Somit können Komplikationen, welche durch Immobilisation im postoperativen Verlauf verursacht werden, vermieden werden.

Des Weiteren zeigten die Patienten in den Follow-Up-Untersuchungen eine adäquate Schmerzkontrolle. Außerdem finden sich Belege in der Literatur, dass die Implantation einer Hüft-Totalendoprothese Vorteile beim o.g. Patientenkollektiv bietet, sodass wir bei Patienten mit dislozierten Acetabulumfrakturen und reduzierter Knochenqualität die Durchführung einer Hüft-Totalendoprothese, inklusive spezieller Revisionspfanne, in einem Algorithmus für die Versorgung geriatrischer Acetabulumfrakturen festgelegt haben.

Durch diese Pilotstudie konnte gezeigt werden, dass die Implantation einer unzementierten Hüft-Revisionspfanne, welche eine volle postoperative Belastbarkeit erlaubt, eine gute therapeutische Option für geriatrische Patienten mit osteoporotischen Acetabulumfrakturen darstellen kann.

*2.4 The T-pod is as stable as supraacetabular fixation using 1 or 2 Schanz screws in partially unstable pelvic fractures: a biomechanical study.*

Zeckey C, Cavalcanti Kußmaul A, Suero EM, Kammerlander C, Greiner A, Woiczinski M, Braun C, Flatz W, Boecker W, **Becker CA.**

Eur J Med Res. 2020 Jul 18;25(1):26. doi: 10.1186/s40001-020-00427-0.

IF = 2,2.

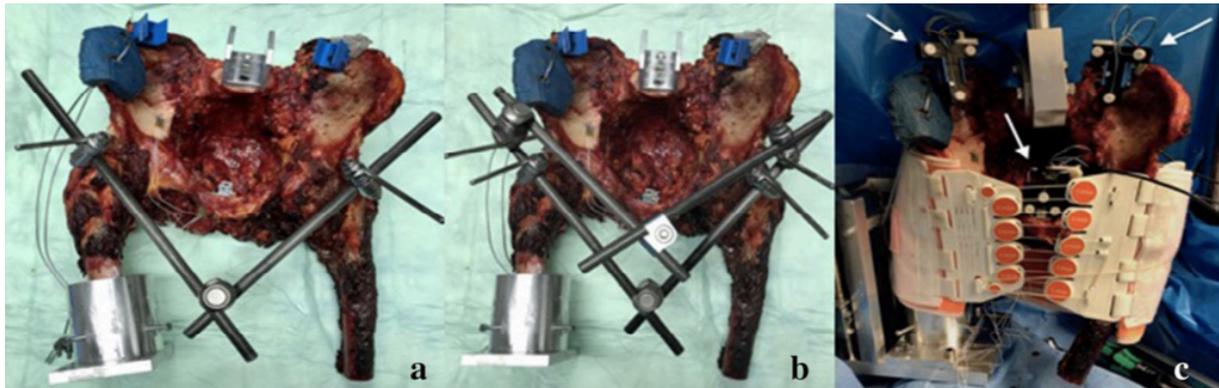


Abb. 2: Biomechanisches Setup. a: supraacetabulärer Fixateur externe (1 Pin) am Leichenbecken, b: supraacetabulärer Fixateur externe (2 Pins), c: angelegter „Pelvic Binder“ am Leichenbecken. Pfeile: Ultraschallmesssensoren. Bildmaterial: [64] <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7368791/>. Creative Commons Attribution 4.0 International License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

Zusammenfassung [64]:

Bezüglich instabiler/ partiell instabiler Beckenringfrakturen besteht kein abschließender Konsens über die beste Versorgungsstrategie, weder im Notfall, noch im elektiven Bereich [18,28,61]. Präklinisch erfolgt bei Verdacht auf Beckentrauma meist bereits die Anlage eines sog. „Pelvic Binders“ [51]. Klinisch kann nachfolgend als sog. „Damage Control Maßnahme“ die Anlage eines Fixateur externe jeweils mit 1- oder 2 Fixateur-Pins supraacetabulär erfolgen [17,29]. Die Frage nach der biomechanischen Stabilität, sowohl des Pelvic Binders, als auch des supraacetabulären Fixateur externe, welcher mit einem oder zwei Fixateur-Pins angebracht wird, ist in der Literatur noch nicht beantwortet.

Wir analysierten insgesamt 7 unfixierte humane Kadaver-Becken, welche mit einer standardisierten Fraktur (AO Typ B2.2) des Os sacrum (inkomplett) sowie des vorderen Beckenringes jeweils unilateral versehen wurden. Die Messung der

Dislokation am vorderen und hinteren Beckenring wurde mittels Ultraschallmesssensoren vorgenommen und aus den Daten die Dislokation (in mm) und die Steifigkeit (in N/mm) berechnet und evaluiert. Testungen wurden jeweils mit einem Pelvic Binder, einem supraacetabulären Fixateur externe mit beidseits einem Schanz-Pin und beidseits zwei Schanz-Pins vorgenommen.

In der biomechanischen Untersuchung zur Testung der Stabilität eines Pelvic Binders im Vergleich zum supraacetabulären Fixateur konnten wir am Leichenknochen zeigen, dass kein signifikanter Unterschied bezüglich der Stabilität der Osteosynthese zwischen der Einbringung von einem oder zwei supraacetabulären Schanz-Pins zur Fixateur externe-Versorgung besteht ( $p > 0,05$ ). Bei Typ B-Frakturen zeigte sich dieser Befund sowohl in der dynamischen als auch in der statischen biomechanischen Untersuchung. Gleichzeitig wurde als Vergleichsgruppe ein Pelvic Binder angelegt (s. Abb. 2c). Auch hier konnte kein signifikanter Unterschied bzgl. der Frakturdislokation und Steifigkeit gemessen werden.

Unseren Studienergebnissen nach ist der Pelvic Binder, welcher ohne Operation angebracht werden kann und schon meist präklinisch angelegt wird, eine gute Stabilisierungsoption insbesondere für Typ B-Frakturen des Beckenringes. Für die externe Fixation im Rahmen von Notfalleingriffen bei instabilen Beckenringfrakturen, zeigen sich biomechanisch Hinweise, dass das Einbringen von einem Fixateur-Pin beidseits supraacetabulär eine ausreichende Stabilität bietet, sodass auf das Einbringen eines zweiten Fixateur-Pins beidseitig nach ersten biomechanischen Gesichtspunkten verzichtet werden kann.

## 2.5 Load-Bearing Detection with Insole-Force Sensors Provides New Treatment Insights in Fragility Fractures of the Pelvis.

Pfeufer D\*, **Becker CA\***, Faust L, Keppler AM, Stagg M, Kammerlander C, Böcker W, Neuerburg C.

J Clin Med. 2020 Aug 6;9(8):2551. doi: 10.3390/jcm9082551.\*geteilte Erstautorenschaft. IF = 4,2.

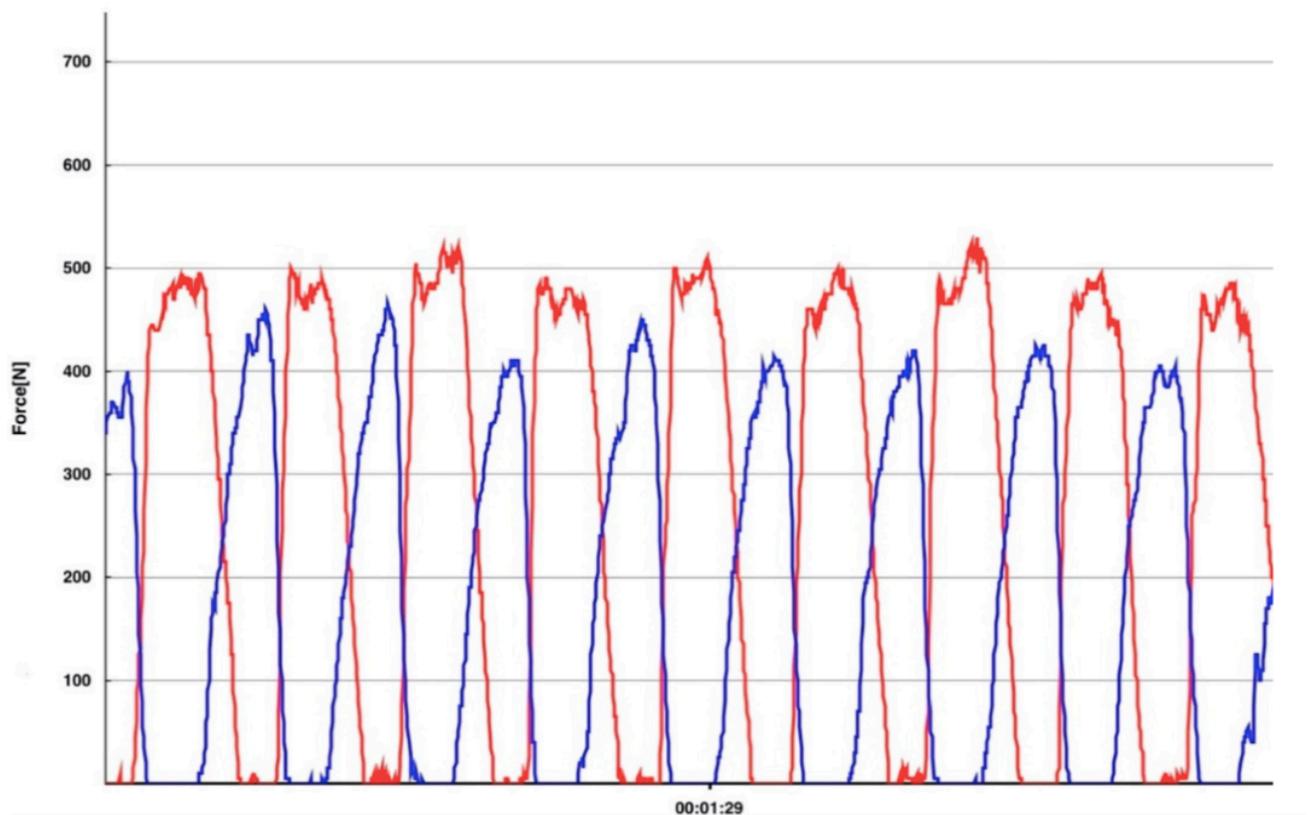


Abb. 3: roter Graph: Belastung (Newton) des gesunden Beines, blauer Graph: Belastung (Newton) des Beines mit ipsilateraler Beckenringfraktur. x-Achse: Zeitstrahl, y-Achse: Kraftmessung (N). Bildmaterial: [37]:

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0.>, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7463446/>

### Zusammenfassung [37]:

Fragilitätsfrakturen des Beckens gehören zu den Herausforderungen im Rahmen des klinischen, traumatologischen Alltags und zeigen sich mit stetig steigender Inzidenz [1]. Bei den Fragilitätsfrakturen des Beckens (geriatrische Beckenfrakturen, Typen FFP 1-4 nach Rommens et al.) ist die primäre Prämisse sowohl Schmerzfreiheit als auch eine schnelle Mobilisation, am besten mit Vollbelastung, zu ermöglichen, damit

Komplikationen wie Pneumonie, tiefe Beinvenenthrombose und Muskelabbau bestmöglich vermieden werden können [39,50].

In einer von uns durchgeführten Studie stellten wir die Hypothese auf, dass bei den Fragilitätsfrakturen des Beckens unterschiedliche Belastungen der Becken bei Mobilisation vorherrschen. Hierzu untersuchten wir in einer Pilotstudie 22 Patienten mit einem durchschnittlichen Alter von 84 Jahren. Es wurde eine Ganganalyse mit Sensoren in den Schuhsohlen durchgeführt.

Die Messsensoren detektierten die unterschiedlichen Belastungen der Sohlen durch Messung der durchschnittlichen und maximalen „Peak force“ (Spitzenbelastung) (s. Abb. 3). Alle inkludierten Patienten wurden zusätzlich mit geriatrischen Scoring-Systemen analysiert (ASA-Score, Barthel-Index und Parker Mobility Score).

Hierbei konnte gezeigt werden, dass Patienten mit einer Fraktur Typ FFP 1 das verletzte Bein signifikant stärker belasten konnten als beispielsweise Patienten mit Frakturen vom Typ FFP 4 ( $p=0,035$ ), bei welcher insbesondere der hintere Beckenring beidseitig frakturiert ist. Es zeigte sich außerdem ein signifikanter Unterschied der mittleren „Peak force“ der FFP 1-Gruppe gegenüber der FFP 4-Gruppe ( $p=0,036$ ). Weiterhin zeigte sich ein sehr deutlicher Unterschied zu der Gruppe der FFP Typ- 2, -3 und -4-Frakturen. Hierbei konnte ebenfalls nachgewiesen werden, dass die Patienten in der FFP 1-Gruppe das verletzte Bein signifikant stärker belasten konnten als jene Patienten mit höhergradigen, auch obligat den hinteren Beckenring betreffenden Beckenringfrakturen (FFP 2-4) (mittlere „peak force“:  $p=0.002$ , maximale „peak force“:  $p<0,001$ ).

In unserer Studie konnten wir zeigen, dass die Druckmesssensoren in den Schuhsohlen nachvollziehbar und korrekt die Belastung des verletzten Beines bzw. die verletzungsbedingten Veränderungen des Gangbildes bezogen auf die Frakturschwere bei Fragilitätsfrakturen des Beckens zeigen. Insbesondere konnten Veränderungen des Gangbildes im Vergleich zu höhergradigen, den hinteren Beckenring ebenfalls betreffenden Beckenringfrakturen, gezeigt werden.

Hierbei ist in Zukunft das Potential vorhanden, sowohl den korrekten Interventionszeitpunkt zu finden, als auch die Frage zu beleuchten, ob überhaupt eine operative Intervention vorgenommen werden muss.

## 2.6 *Biomechanical stability of sacroiliac screw osteosynthesis with and without cement augmentation.*

Suero EM, Greiner A, **Becker CA**, Cavalcanti Kußmaul A, Weidert S, Pfeufer D, Woiczinski M, Braun C, Flatz W, Böcker W, Kammerlander C. *Injury*. 2020 Jan 30:S0020-1383(20)30071-1. doi: 10.1016/j.injury.2020.01.043. IF = 2,6.

### Zusammenfassung [52]:

Frakturen im Bereich des hinteren Beckenringes treten sowohl bei Patienten mit solider Knochenqualität, als auch bei Patienten mit Osteoporose auf [34]. Die sakroiliakale Schraubenosteosynthese hat sich in der Vergangenheit als eines der Standardverfahren zur Versorgung von Sakrumfrakturen durchgesetzt [13,20]. Wenngleich es sich um ein minimal-invasives bzw. perkutanes Verfahren handelt, kann eine operative Komplikation zu relevanten Problemen bzgl. des Outcomes des Patienten führen. Insbesondere Nerven- oder Nervenwurzelverletzungen, genauso wie Gefäßverletzungen mit konsekutiver Blutungskomplikation, müssen mit größter Sicherheit vermieden werden [26]. Mit steigender Anzahl der eingebrachten Schrauben, steigt die Wahrscheinlichkeit einer o.g. operativen Komplikation an. Deshalb führten wir eine biomechanische Analyse an humanen Kadaver-Becken bzgl. der Stabilität zweier sakroiliakaler Schrauben, verglichen mit einer sakroiliakalen Schraube und einer zementaugmentierten sakroiliakalen Schraube durch.

Nach Präparation der Kadaver-Becken (Zufügen einer inkompletten unilateralen Sakrum-Längsfraktur, sowie einer oberen und unteren unilateralen Schambeinastfraktur, AO Typ B2.1) wurden die drei o.g. Osteosyntheseverfahren jeweils unter fluoroskopischer Kontrolle hinzugefügt und unter axialer Belastung statisch und zyklisch belastet. Mittels Ultraschallmesssensoren konnte die Dislokation der Frakturen gemessen werden. Dislokation der Frakturen sowie die Steifigkeit der Osteosynthesekonstruktion wurden berechnet und analysiert.

In den Ergebnissen zeigte sich der folgende Befund: Die einfach applizierte, unzementierte SI-Schraube zeigte eine signifikant schlechtere Stabilität am vorderen Beckenring ( $p=0,013$ ) bezogen auf den Dislokationsgrad im Vergleich zur doppelten SI-Schraubenosteosynthese. Außerdem konnte keine signifikante Verbesserung der

Stabilität im Bereich des vorderen Beckenringes im Vergleich der doppelten SI-Schraubenosteosynthese zur einfach applizierten, zementaugmentierten SI-Schraube nachgewiesen werden. Die Dislokation im Bereich des Os sacrum am hinteren Beckenring zeigte keinen signifikanten Unterschied der drei Osteosyntheseverfahren untereinander.

Mit unserer Studie konnten wir nachweisen, dass im humanen Beckenpräparat, die einfach applizierte, zementaugmentierte SI-Schraubenosteosynthese die gleiche Stabilität bezogen auf den gesamten Beckenring aufweist, wie eine doppelte SI-Schraubenosteosynthese.

Dieser Befund könnte in der klinischen Anwendung dazu verhelfen, bei Patienten mit B-Typ-Beckenringfrakturen, eine einfache, zementaugmentierte SI-Schraubenosteosynthese bzgl. der Gesamtstabilität des Beckenringes als ausreichend anzusehen. Hierdurch könnte als Folge auf die Applikation einer zweiten SI-Schraube, mit etwaigen operativen Komplikationen, verzichtet werden.

*2.7 Modified less invasive anterior subcutaneous fixator for unstable Tile-C-pelvic ring fractures: a biomechanical study.*

**Becker CA**, Kammerlander C, Kußmaul AC, Woiczinski M, Thorwächter C, Zeckey C, Sommer F, Linhart C, Weidert S, Suero EM, Böcker W, Greiner A.

Biomed Eng Online. 2019 Mar 29;18(1):38. doi: 10.1186/s12938-019-0648-z.

IF = 2,1.

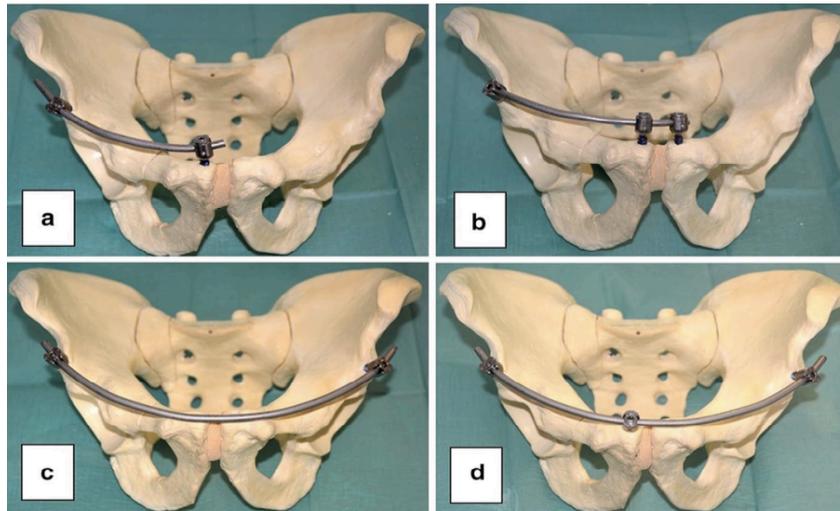


Abb. 4: Osteosynthesekonstruktionen Beckenring am Kunstknochen. A: unilateraler INFIX, B: erweiterter unilateraler INFIX, C: bilateraler INFIX, D: erweiterter bilateraler INFIX. Bildmaterial: [29], <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>). <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6441140/>.

### Zusammenfassung [3]:

Sowohl bei den geriatrischen als auch bei den nicht-geriatrischen Beckenringfrakturen sollte das Ziel sein, eine minimal-invasive Versorgung mit möglichst wenigen/ keinen intra- und postoperativen Komplikationen zu erreichen [22,49]. Zu den neueren, minimal-invasiven Therapieoptionen bei Beckenringfrakturen zählt auch der ventrale (anteriore) subkutane Fixateur interne (INFIX), der gute biomechanische und klinische Eigenschaften aufweist [56,57]. Ein Nachteil des INFIX ist jedoch, dass wie beim supraacetabulären Fixateur externe, der Nervus cutaneus femoris lateralis oft kompromittiert wird [15,55]. Außerdem besteht in der Literatur Unklarheit über die Vor- und Nachteile des Hinzufügens einer zusätzlichen Schraube am vorderen Beckenring, zur Verbesserung der Stabilität des INFIX.

In einer von uns durchgeführten biomechanischen Studie an synthetischen Beckenknochen (Fa. Sawbone, Vashon Island, USA) konnten wir die Stabilität von

Modifizierungen des INFIX analysieren (s. Abb. 4). Vier Gruppen mit jeweils 6 synthetischen Beckenknochen wurden mit jeweils einer modifizierten Form des INFIX versehen.

Gruppe 1 bestand aus einem unilateralen INFIX, Gruppe 2 aus einem unilateralen INFIX mit zusätzlicher Schraube am vorderen Beckenring (erweiterter unilateraler INFIX), Gruppe 3 aus dem „konventionellen“ bilateralen INFIX und Gruppe 4 aus einem bilateralen INFIX mit zusätzlicher Schraube am vorderen Beckenring (erweiterter bilateraler INFIX). Zuvor wurde an den Beckenmodellen jeweils eine AO-Typ C1.3-Fraktur mit vollständiger Fraktur des vorderen und hinteren Beckenringes generiert. Die hintere Beckenringfraktur wurde in allen Gruppen mit zwei kanülierten SI-Schrauben identisch fixiert. Ultraschallmesssensoren wurden am vorderen und hinteren Beckenring angebracht um die Dislokation/ Bewegung und Steifigkeit der Osteosynthese-konstruktionen zu messen.

In der dynamischen und statischen biomechanischen Stabilitätstestung zeigte der erweiterte unilaterale INFIX die niedrigste Dislokationsrate aller Gruppen. Die Rotationsstabilität (Steifigkeit) des Beckens durch den erweiterten unilateralen INFIX zeigt sich gegenüber dem bilateralen INFIX signifikant verbessert ( $p=0,004$ ). Außerdem zeigte der erweiterte unilaterale INFIX eine signifikant verbesserte Stabilität bezogen auf die Frakturdislokation am vorderen Beckenring ( $p=0,01$ ).

Durch das Hinzufügen einer zusätzlichen Schraube des bilateralen INFIX am vorderen Beckenring (erweiterter bilateraler INFIX) zeigt sich die Stabilität am vorderen Beckenring leicht, aber nicht signifikant verbessert gegenüber dem „konventionellen“ bilateralen INFIX ( $p=0,07$ ).

In ersten biomechanischen Analysen am Kunstknochen zeigt der erweiterte unilaterale INFIX vielversprechende Ergebnisse bezogen auf die Stabilität der minimal-invasiven Osteosynthese. Im klinischen Gebrauch könnte der erweiterte unilaterale INFIX bei niedrigerer Invasivität und hoher Stabilität die Versorgung von Beckenringfrakturen verbessern. Hierzu wird eine klinische Studie folgen.

2.8 Tape suture for stabilization of incomplete posterior pelvic ring fractures - biomechanical analysis of a new minimally invasive treatment for incomplete lateral compression pelvic ring fractures.

**Becker CA**, Kussmaul AC, Suero EM, Regauer M, Woiczinski M, Braun C, Flatz W, Pieske O, Kammerlander C, Böcker W, Greiner A.

J Orthop Surg Res. 2019 Dec 27;14(1):465. doi: 10.1186/s13018-019-1509-y.

IF = 1,8.

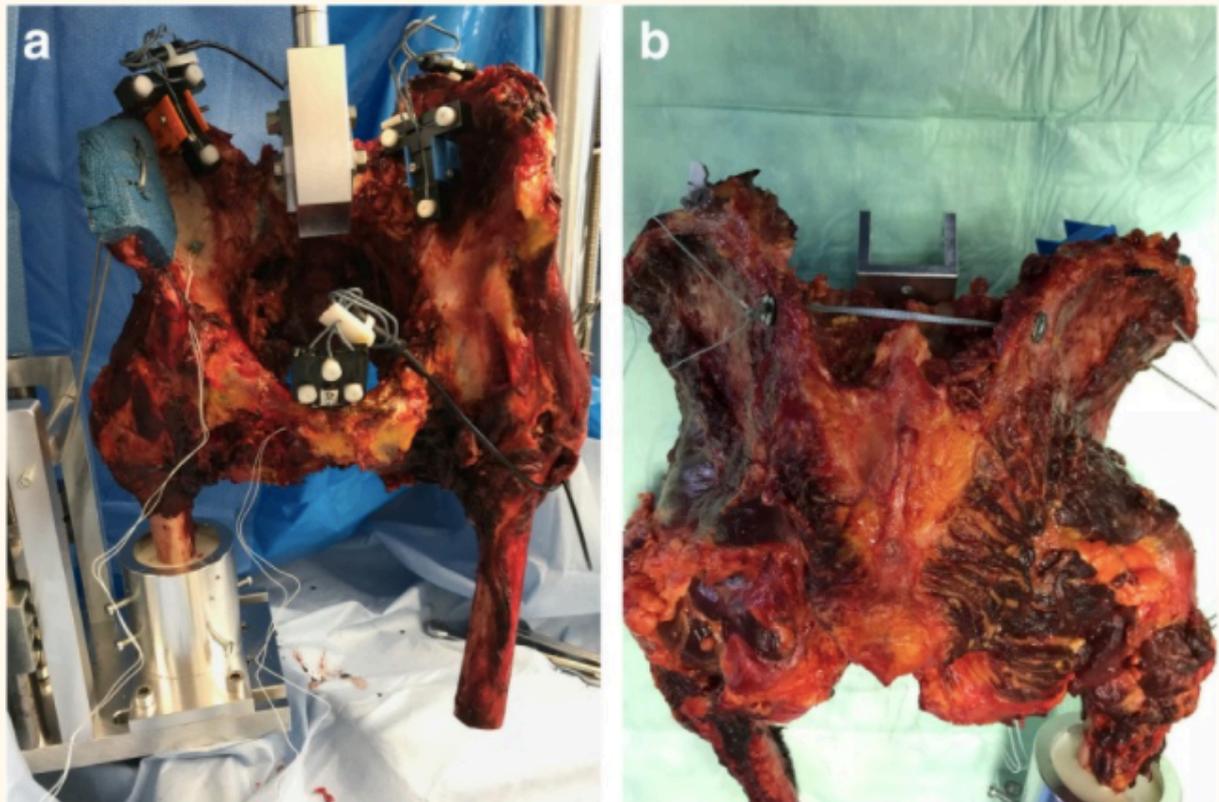


Abb. 5: a) Biomechanisches Setup des Leichenbeckens, welches in der Prüfmaschine fixiert wurde, b) Bandstabilisierung hinterer Beckenring zwischen Spina iliaca post. sup. beidseits. <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6935107/>. Bildmaterial: [4]

#### Zusammenfassung [4]:

Dorsale Beckenringfrakturen zeigen sich sehr häufig insbesondere bei geriatrischen Patienten [23,30]. Ein Standardverfahren für die minimal-invasive Versorgung stellt die sakroiliakale Schraubenosteosynthese (SI-Schraubenosteosynthese) dar [19,26].

Prinzipiell besteht beim Einbringen einer SI-Schraube das Risiko einer Gefäß- oder Nervenverletzung oder einer Schraubenfehl-/-dislokation, wobei durch das

Einbringen einer zweiten Schraube im SWK-2-Segment das Risiko einer Nervenverletzung deutlich erhöht wird [8,26,38]. Die Anzahl der ISG-Schrauben und die Frage, ob diese in das Segment SWK-1 (1. Sakralwirbelsegment) und/oder in das Segment SWK-2 eingebracht werden sollten, wird aktuell in der Literatur kontrovers diskutiert.

In einer von uns durchgeführten Studie (an 6 humanen Kadaver-Becken) analysierten wir durch Einbringen eines Fiber Tape® (Stabilisierungsband aus hochstabilem Polyethylen) am hinteren Beckenring im Bereich der Spina iliaca posterior superior die biomechanische Stabilität. Hierzu wurde an jedem Kadaver-Becken eine inkomplette hintere und komplette vordere Beckenringfraktur (AO Typ B2.1) generiert und Ultraschallmesssensoren zur Analyse der Dislokationen im Frakturspalt und der Steifigkeit der Osteosynthese angebracht. Verglichen wurde die konventionelle SI-Schraubenosteosynthese (SWK-1) mit der Fiber Tape®-Osteosynthese unter dynamischen und statischen Belastungsbedingungen.

Bei den inkompletten hinteren Beckenringfrakturen (AO Typ B2.1) zeigte sich in der biomechanischen Untersuchung das Fiber Tape® unter zyklischer und statischer Belastung als stabil. Kein signifikanter Unterschied bezüglich der Dislokationsrate und Steifigkeit am hinteren Beckenring war im Vergleich zur SI-Schraubenosteosynthese (1 x SWK-1-Schraube) nachweisbar.

Im Vergleich zur SI-Schraubenosteosynthese hat das eingebrachte Fiber Tape® den Vorteil, dass es hier zu keiner Verletzung der Nervenwurzelstrukturen kommen kann, da die Einbringung des Fiber Tapes® außerhalb des Os sacrum erfolgt. Die intakten Iliosakralgelenke werden durch diese Art der Osteosynthese nicht kompromittiert und bleiben unverletzt. Hierdurch könnte eine Verbesserung der Behandlung im Sinne eines minimal-invasiven Therapiekonzeptes insbesondere von inkompletten Frakturen des hinteren Beckenringes erzielt werden.

### **3. Kurzzusammenfassung und Ausblick:**

Im Rahmen der oben beschriebenen Forschungsarbeiten konnte bei Acetabulumfrakturen der therapeutische Effekt durch eine minimal-invasive Versorgung für sog. T-Frakturen gezeigt werden. Weiterhin wurde der 3D-Druck als experimentelle Methode als Workflow zur Etablierung in die klinische Medizin für Acetabulumfrakturen und eine Studie zur Verbesserung des Operations-Workflows bei 3D-gedruckten und vorkonfektionierten Platten für Acetabulumfrakturen beschrieben. Wir konnten bei geriatrischen Patienten in einer Pilotstudie zeigen, dass eine Vollbelastung nach Acetabulumfrakturen mit guter Schmerzkomensation möglich ist.

Im Zuge der Analyse der Beckenringfrakturen konnten wir in den biomechanischen Untersuchungen die verschiedenen Osteosynthesen (Fixateur externe, Fixateur interne und modifizierter Fixateur, SI-Schrauben sowie ein neuartiges Fiber Tape®) zur Versorgung von Beckenringfrakturen biomechanisch evaluieren. Durch eine neuartige Belastungsdetektion mittels Sensoren in den Fußsohlen konnten wir bei geriatrischen Patienten nachweisen, dass – je nach Frakturschwere – das verletzte Bein unterschiedlich belastet wird und sich das Gangbild entsprechend der Frakturmorphologie verändert.

Mit Blick in die Zukunft können hier die Sohlen-Messsensoren als sinnvolles Tool bezüglich der Evaluation des Operationszeitpunktes bzw. für die Entscheidung, ob ein operatives oder konservatives Prozedere bei Fragilitätsfrakturen des Beckens durchgeführt werden sollte, dienen.

Die größtenteils experimentell durchgeführten Forschungsarbeiten sollten in der Zukunft durch klinische Untersuchungen untermauert werden. Hierdurch ergibt sich ein sehr hohes Potential für die minimal-invasive Versorgung sowohl bei geriatrischen als auch nicht-geriatrischen Beckenring- und Acetabulumfrakturen. Es könnte ein jahrelang schwelender Dissens über die verschiedenen Versorgungsmodalitäten bei den genannten Frakturen weiter aufgeklärt werden.

#### 4. Liste der zur kumulativen Habilitation beitragenden Publikationen:

1. Cementless hip revision cup for the primary fixation of osteoporotic acetabular fractures in geriatric patients.  
**Becker CA\***, Linhart C\*, Bruder J, Zeckey C, Greiner A, Cavalcanti Kußmaul A, Weidert S, Suero EM, Böcker W, Kammerlander C.  
Orthop Traumatol Surg Res. 2020 Dec 14;102745. doi: 10.1016/j.otsr.2020.102745. Online ahead of print.  
\* geteilte Erstautorenschaft, IF = 2,3.
2. Load-Bearing Detection with Insole-Force Sensors Provides New Treatment Insights in Fragility Fractures of the Pelvis.  
Pfeufer D\*, **Becker CA\***, Faust L, Keppler AM, Stagg M, Kammerlander C, Böcker W, Neuerburg C.  
J Clin Med. 2020 Aug 6;9(8):2551. doi: 10.3390/jcm9082551.  
\* geteilte Erstautorenschaft, IF = 4,2.
3. The T-pod is as stable as supraacetabular fixation using 1 or 2 Schanz screws in partially unstable pelvic fractures: a biomechanical study.  
Zeckey C, Cavalcanti Kußmaul A, Suero EM, Kammerlander C, Greiner A, Woiczinski M, Braun C, Flatz W, Boecker W, **Becker CA**.  
Eur J Med Res. 2020 Jul 18;25(1):26. doi: 10.1186/s40001-020-00427-0. IF = 2,2.
4. Biomechanical stability of sacroiliac screw osteosynthesis with and without cement augmentation.  
Suero EM, Greiner A, **Becker CA**, Cavalcanti Kußmaul A, Weidert S, Pfeufer D, Woiczinski M, Braun C, Flatz W, Böcker W, Kammerlander C.  
Injury. 2020 Jan 30:S0020-1383(20)30071-1. doi: 10.1016/j.injury.2020.01.043.  
IF = 2,6.

5. 3D printing method for next-day acetabular fracture surgery using a surface filtering pipeline: feasibility and 1-year clinical results.  
Weidert S., Andress S, Linhart C, Suero EM, Greiner A, Böcker W, Kammerlander C, **Becker CA**.  
Int J Comput Assist Radiol Surg. 2020 Mar;15(3):565-575. doi: 10.1007/s11548-019-02110-0. Epub 2020 Jan 2. IF = 2,9.
6. Tape suture for stabilization of incomplete posterior pelvic ring fractures- biomechanical analysis of a new minimally invasive treatment for incomplete lateral compression pelvic ring fractures.  
**Becker CA**, Kussmaul AC, Suero EM, Regauer M, Woiczinski M, Braun C, Flatz W, Pieske O, Kammerlander C, Boecker W, Greiner A.  
J Orthop Surg Res. 2019 Dec 27;14(1):465. doi: 10.1186/s13018-019-1509-y. IF = 1,8.
7. Modified less invasive anterior subcutaneous fixator for unstable Tile-C-pelvic ring fractures: a biomechanical study.  
**Becker CA**, Kammerlander C, Kußmaul AC, Woiczinski M, Thorwächter C, Zeckey C, Sommer F, Linhart C, Weidert S, Suero EM, Böcker W, Greiner A.  
Biomed Eng Online. 2019 Mar 29;18(1):38. doi: 10.1186/s12938-019-0648-z. IF = 2,1.
8. Minimally invasive screw fixation is as stable as anterior plating in acetabular T-Type fractures - a biomechanical study.  
**Becker CA**, Kammerlander C, Cavalcanti Kußmaul A, Dotzauer F, Woiczinski M, Rubenbauer B, Sommer F, Linhart C, Weidert S, Zeckey C, Greiner A.  
Orthop Traumatol Surg Res. 2018 Nov;104(7):1055-1061. doi: 10.1016/j.otsr.2018.06.013. Epub 2018 Sep 1. IF = 1,6.

## 5. Literaturverzeichnis:

- [1] S. Andrich, B. Haastert, E. Neuhaus, K. Neidert, W. Arend, C. Ohmann, J. Grebe, A. Vogt, P. Jungbluth, G. Rösler, J. Windolf, A. Icks, Epidemiology of pelvic fractures in Germany: Considerably high incidence rates among older people, PLoS ONE. 10 (2015).
- [2] C.A. Becker, C. Kammerlander, A.C. Kußmaul, F. Dotzauer, M. Woiczinski, B. Rubenbauer, F. Sommer, C. Linhart, S. Weidert, C. Zeckey, A. Greiner, Minimally invasive screw fixation is as stable as anterior plating in acetabular T-Type fractures - a biomechanical Study, Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research. (2018).
- [3] C.A. Becker, C. Kammerlander, A.C. Kußmaul, M. Woiczinski, C. Thorwächter, C. Zeckey, F. Sommer, C. Linhart, S. Weidert, E.M. Suero, W. Böcker, A. Greiner, Modified less invasive anterior subcutaneous fixator for unstable Tile-C-pelvic ring fractures: a biomechanical study, BioMedical Engineering OnLine. 18 (2019) 38.
- [4] C.A. Becker, A.C. Kussmaul, E.M. Suero, M. Regauer, M. Woiczinski, C. Braun, W. Flatz, O. Pieske, C. Kammerlander, W. Boecker, A. Greiner, Tape suture for stabilization of incomplete posterior pelvic ring fractures- biomechanical analysis of a new minimally invasive treatment for incomplete lateral compression pelvic ring fractures, Journal of Orthopaedic Surgery and Research. 14 (2019).
- [5] C.A. Becker, C. Linhart, J. Bruder, C. Zeckey, A. Greiner, A. Cavalcanti Kußmaul, S. Weidert, E.M. Suero, W. Böcker, C. Kammerlander, Cementless hip revision cup for the primary fixation of osteoporotic acetabular fractures in geriatric patients, Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research. (2020) 102745.
- [6] S. Boelch, M. Jordan, R. Meffert, H. Jansen, Comparison of open reduction and internal fixation and primary total hip replacement for osteoporotic acetabular fractures: a retrospective clinical study, International Orthopaedics. 41 (2017) 1831–1837.
- [7] T. Borg, B. Hernefalk, N. Hailer, Acute total hip arthroplasty combined with internal fixation for displaced acetabular fractures in the elderly: a short-term

- comparison with internal fixation alone after a minimum of two years, *The Bone & Joint Journal*. 101-B (2019) 478–483.
- [8] E.W. van den Bosch, C.M. a van Zwiene, A.B. van Vugt, Fluoroscopic positioning of sacroiliac screws in 88 patients., *The Journal of Trauma*. 53 (2002) 44–48.
- [9] G. Brown, K. Firoozbakhsh, R. Gehlert, Three-dimensional CT modeling versus traditional radiology techniques in treatment of acetabular fractures, *The Iowa Orthopaedic Journal*. 21 (2001) 20–24.
- [10] G. Brown, B. Milner, K. Firoozbakhsh, Application of computer-generated stereolithography and interpositioning template in acetabular fractures: a report of eight cases, *Journal of Orthopaedic Trauma*. 16 (2002) 347–352.
- [11] H. Te Chen, Y.C. Wang, C.C. Hsieh, L.T. Su, S.C. Wu, Y.S. Lo, C.C. Chang, C.H. Tsai, Trends and predictors of mortality in unstable pelvic ring fracture: A 10-year experience with a multidisciplinary institutional protocol, *World Journal of Emergency Surgery*. 14 (2019).
- [12] M.S. Ead, L. Westover, S. Polege, S. McClelland, J.L. Jaremko, K.K. Duke, Virtual reconstruction of unilateral pelvic fractures by using pelvic symmetry, *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*. 15 (2020) 1267–1277.
- [13] H. Eckardt, A. Egger, R. Hasler, C. Zech, W. Vach, N. Suhm, M. Morgenstern, F. Saxer, Good functional outcome in patients suffering fragility fractures of the pelvis treated with percutaneous screw stabilisation: Assessment of complications and factors influencing failure, *Injury*. 48 (2017) 2717–2723.
- [14] M. Elmadağ, Y. Güzel, M.A. Acar, G. Uzer, M. Arazi, The Stoppa approach versus the ilioinguinal approach for anterior acetabular fractures: A case control study assessing blood loss complications and function outcomes, *Orthopaedics and Traumatology: Surgery and Research*. 100 (2014) 675–680.
- [15] C. Fang, H. Alabdulrahman, H. Pape, Complications after percutaneous internal fixator for anterior pelvic ring injuries, *International Orthopaedics*. 41 (2017) 1785–1790.
- [16] A. Gänsslen, H. Oestern, [Acetabular fractures], *Der Chirurg; Zeitschrift Fur*

- Alle Gebiete Der Operativen Medizin. 82 (2011) 1133–1150.
- [17] A. Gänsslen, T. Pohlemann, C. Krettek, [A simple supraacetabular external fixation for pelvic ring fractures], *Operative Orthopädie Und Traumatologie*. 17 (2005) 296–312.
- [18] M.J. Gardner, S.E. Nork, Stabilization of unstable pelvic fractures with supraacetabular compression external fixation, *Journal of Orthopaedic Trauma*. 21 (2007) 269–273.
- [19] M. Giráldez-Sánchez, A. Lázaro-González, J. Martínez-Reina, D. Serrano-Toledano, A. Navarro-Robles, P. Cano-Luis, E. Fragkakis, P. Giannoudis, Percutaneous iliosacral fixation in external rotational pelvic fractures. A biomechanical analysis, *Injury*. 46 (2015) 327–332.
- [20] B. Goldberg, R. Lindsey, C. Foglar, T. Hedrick, T. Miclau, J. Hadad, Imaging assessment of sacroiliac screw placement relative to the neuroforamen, *Spine*. 23 (1998) 585–589.
- [21] F. Gras, I. Marintschev, C.E. Schwarz, G.O. Hofmann, T. Pohlemann, U. Culemann, Screw-versus plate-fixation strength of acetabular anterior column fractures: A biomechanical study, *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*. 72 (2012) 1664–1670.
- [22] T. Hiesterman, B. Hill, P. Cole, Surgical technique: a percutaneous method of subcutaneous fixation for the anterior pelvic ring: the pelvic bridge, *Clinical Orthopaedics and Related Research*. 470 (2012) 2116–2123.
- [23] A. Höch, O. Özkurtu, P. Pieroh, C. Josten, J. Böhme, Outcome and 2-Year Survival Rate in Elderly Patients With Lateral Compression Fractures of the Pelvis, *Geriatric Orthopaedic Surgery & Rehabilitation*. 8 (2017) 3–9.
- [24] A. Höch, P. Pieroh, F. Gras, T. Hohmann, S. Märdian, F. Holmenschlager, H. Keil, H.G. Palm, S.C. Herath, C. Josten, H. Schmal, F.M. Stuby, Age and “general health”—beside fracture classification—affect the therapeutic decision for geriatric pelvic ring fractures: a German pelvic injury register study, *International Orthopaedics*. 43 (2019) 2629–2636.
- [25] P. Incagnoli, A. Puidupin, S. Ausset, J.P. Beregi, J. Bessereau, X. Bobbia, J. Brun, E. Brunel, C. Buléon, J. Choukroun, X. Combes, J.S. David, F.R.

- Desfemmes, D. Garrigue, J.L. Hanouz, I. Plénier, F. Rongieras, B. Vivien, T. Gauss, A. Harrois, P. Bouzat, E. Kipnis, Early management of severe pelvic injury (first 24 hours), *Anaesthesia Critical Care and Pain Medicine*. 38 (2019) 199–207.
- [26] J. Iorio, A. Jakoi, S. Rehman, Percutaneous Sacroiliac Screw Fixation of the Posterior Pelvic Ring, *The Orthopedic Clinics of North America*. 46 (2015) 511–521.
- [27] F. Iqbal, S. Younus, Asmatullah, O. Bin Zia, N. Khan, Surgical Site Infection Following Fixation of Acetabular Fractures, *Hip & Pelvis*. 29 (2017) 176.
- [28] M. Jain, S. Nanda, S. Mohapatra, B. Samal, Bladder incarceration following anterior pelvic infix of a traumatic pubic symphysis diastasis treated with immediate open reduction and internal fixation, *Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma*. 8 (2017) S11–S16.
- [29] W. Kim, T. Hearn, O. Seleem, E. Mahalingam, D. Stephen, M. Tile, Effect of pin location on stability of pelvic external fixation, *Clinical Orthopaedics and Related Research*. (1999) 237–244.
- [30] S. Lee, W. Kim, S. Koh, Y. Kim, Posterior locked lateral compression injury of the pelvis in geriatric patients: an infrequent and specific variant of the fragility fracture of pelvis, *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*. 137 (2017) 1207–1218.
- [31] I.S. Liem, C. Kammerlander, N. Suhm, M. Blauth, T. Roth, M. Gosch, A. Hoang-kim, D. Mendelson, J. Zuckerman, F. Leung, J. Burton, C. Moran, M. Parker, A. Giusti, Identifying a standard set of outcome parameters for the evaluation of orthogeriatric co-management for hip fractures, *Injury*. 44 (2013) 1403–1412.
- [32] T. Lont, J. Nieminen, A. Reito, T. Pakarinen, I. Pajamäki, A. Eskelinen, M. Laitinen, Total hip arthroplasty, combined with a reinforcement ring and posterior column plating for acetabular fractures in elderly patients: good outcome in 34 patients, *Acta Orthopaedica*. 90 (2019) 275–280.
- [33] K.G. Makridis, O. Obakponovwe, P. Bobak, P. V Giannoudis, Total hip arthroplasty after acetabular fracture: incidence of complications, reoperation

- rates and functional outcomes: evidence today., *The Journal of Arthroplasty*. 29 (2014) 1983–90.
- [34] L. Oberkircher, S. Ruchholtz, P. Rommens, A. Hofmann, B. Bücking, A. Krüger, Osteoporotic Pelvic Fractures, *Deutsches Arzteblatt International*. 115 (2018) 70–80.
- [35] A. Ortega-Briones, S. Smith, M. Rickman, Acetabular Fractures in the Elderly: Midterm Outcomes of Column Stabilisation and Primary Arthroplasty, *BioMed Research International*. 2017 (2017).
- [36] G. Petsatodis, P. Antonarakos, B. Chalidis, P. Papadopoulos, J. Christoforidis, J. Pournaras, Surgically treated acetabular fractures via a single posterior approach with a follow-up of 2-10 years, *Injury*. 38 (2007) 334–343.
- [37] D. Pfeufer, C.A. Becker, L. Faust, A.M. Keppler, M. Stagg, C. Kammerlander, W. Böcker, C. Neuerburg, Load-Bearing Detection with Insole-Force Sensors Provides New Treatment Insights in Fragility Fractures of the Pelvis, *Journal of Clinical Medicine*. 9 (2020) 2551.
- [38] O. Pieske, C. Landersdorfer, C. Trumm, A. Greiner, J. Wallmichrath, O. Gottschalk, B. Rubenbauer, CT-guided sacroiliac percutaneous screw placement in unstable posterior pelvic ring injuries: accuracy of screw position, injury reduction and complications in 71 patients with 136 screws, *Injury*. 46 (2015) 333–339.
- [39] A. Reito, M. Kuoppala, H. Pajulammi, L. Hokkinen, K. Kyrölä, J. Paloneva, Mortality and comorbidity after non-operatively managed, low-energy pelvic fracture in patients over age 70: a comparison with an age-matched femoral neck fracture cohort and general population, *BMC Geriatrics*. 19 (2019).
- [40] H. Resch, D. Krappinger, P. Moroder, A. Auffarth, M. Blauth, J. Becker, Treatment of acetabular fractures in older patients-introduction of a new implant for primary total hip arthroplasty, *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*. 137 (2017) 549–556.
- [41] H. Resch, D. Krappinger, P. Moroder, A. Auffarth, M. Blauth, J. Becker, Treatment of acetabular fractures in older patients-introduction of a new implant for primary total hip arthroplasty, *Archives of Orthopaedic and Trauma*

- Surgery. 137 (2017) 549–556.
- [42] P.P. Rinne, M.K. Laitinen, P. Kannus, V.M. Mattila, The incidence of pelvic fractures and related surgery in the Finnish adult population: a nationwide study of 33,469 patients between 1997 and 2014, *Acta Orthopaedica*. 91 (2020) 587–592.
- [43] P. Rommens, D. Wagner, A. Hofmann, Fragility Fractures of the Pelvis, *JBJS Reviews*. 5 (2017).
- [44] P.M. Rommens, D. Wagner, A. Hofmann, Minimal invasive surgical treatment of fragility fractures of the pelvis, *Chirurgia (Romania)*. 112 (2017) 524–537.
- [45] F. Saxer, P. Studer, M. Jakob, [Open stabilization and primary hip arthroplasty in geriatric patients with acetabular fractures: combination of minimally invasive techniques], *Der Unfallchirurg*. 114 (2011) 1122–7.
- [46] F. Saxer, P. Studer, M. Jakob, [Open stabilization and primary hip arthroplasty in geriatric patients with acetabular fractures: combination of minimally invasive techniques], *Der Unfallchirurg*. 114 (2011) 1122–1127.
- [47] A. Sebaaly, G. Riouallon, M. Zaraa, P. Jouffroy, The added value of intraoperative CT scanner and screw navigation in displaced posterior wall acetabular fracture with articular impaction, *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*. 102 (2016) 947–950.
- [48] A. Sebaaly, G. Riouallon, M. Zaraa, P. Jouffroy, The added value of intraoperative CT scanner and screw navigation in displaced posterior wall acetabular fracture with articular impaction, *Orthopaedics & Traumatology, Surgery & Research : OTSR*. 102 (2016) 947–950.
- [49] A. Shetty, A. Bosco, R. Perumal, J. Dheenadhayalan, S. Rajasekaran, Midterm radiologic and functional outcomes of minimally-invasive fixation of unstable pelvic fractures using anterior internal fixator(INFIX) and percutaneous iliosacral screws, *Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma*. 8 (2017) 241–248.
- [50] A.L. Siu, J.D. Penrod, K.S. Boockvar, K. Koval, E. Strauss, R.S. Morrison, Early ambulation after hip fracture: Effects on function and mortality, *Archives of Internal Medicine*. 166 (2006) 766–771.

- [51] W.R. Spanjersberg, S.P. Knops, N.W.L. Schep, E.M.M. van Lieshout, P. Patka, I.B. Schipper, Effectiveness and complications of pelvic circumferential compression devices in patients with unstable pelvic fractures: A systematic review of literature, *Injury*. 40 (2009) 1031–1035.
- [52] E.M. Suero, A. Greiner, C.A. Becker, A. Cavalcanti-Kußmaul, S. Weidert, D. Pfeufer, M. Woiczinski, C. Braun, W. Flatz, W. Böcker, C. Kammerlander, Biomechanical stability of sacroiliac screw osteosynthesis with and without cement augmentation, *Injury*. (2020).
- [53] R. Tavakoli Darestani, G. Kazemian, M. Emami Moghaddam, A. Manafi Rasi, Y. Alipour, M.M. Bagherian Lemraski, An unusual combination of acetabular and pelvic fracture: Is this a new subtype of acetabular fracture?, *Trauma Monthly*. 18 (2013) 37–40.
- [54] P. Upex, P. Jouffroy, G. Riouallon, Application of 3D printing for treating fractures of both columns of the acetabulum: Benefit of pre-contouring plates on the mirrored healthy pelvis, *Orthopaedics and Traumatology: Surgery and Research*. 103 (2017) 331–334.
- [55] R. Vaidya, E. Kubiak, P. Bergin, D. Dombroski, R. Critchlow, A. Sethi, A. Starr, Complications of anterior subcutaneous internal fixation for unstable pelvis fractures: a multicenter study, *Clinical Orthopaedics and Related Research*. 470 (2012) 2124–2131.
- [56] J.M. Vigdorichik, A.O. Esquivel, X. Jin, K.H. Yang, N.A. Onwudiwe, R. Vaidya, Biomechanical stability of a supra-acetabular pedicle screw Internal Fixation device (INFIX) vs External Fixation and plates for vertically unstable pelvic fractures, *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*. (2012).
- [57] Q. Wang, Q. Wang, J. Wang, Treatment of type B pelvic fracture using anterior subcutaneous internal fixator with triple pedicle screws: a new surgical technique, *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*. (2017).
- [58] M. Weaver, R. Smith, D. Lhowe, M. Vrahas, Does Total Hip Arthroplasty Reduce the Risk of Secondary Surgery Following the Treatment of Displaced Acetabular Fractures in the Elderly Compared to Open Reduction Internal Fixation? A Pilot Study, *Journal of Orthopaedic Trauma*. 32 Suppl 1 (2018) S40–S45.

- [59] S. Weidert, S. Andress, C. Linhart, E.M. Suero, A. Greiner, W. Böcker, C. Kammerlander, C.A. Becker, 3D printing method for next-day acetabular fracture surgery using a surface filtering pipeline: feasibility and 1-year clinical results, *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*. 15 (2020) 565–575.
- [60] S. Weidert, S. Andress, E. Suero, C. Becker, M. Hartel, M. Behle, C. Willy, [3D printing in orthopedic and trauma surgery education and training : Possibilities and fields of application], *Der Unfallchirurg*. 122 (2019) 444–451.
- [61] R. Wojahn, M. Gardner, Fixation of Anterior Pelvic Ring Injuries, *The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*. 27 (2019) 667–676.
- [62] Z. Xiang, D. Wei, M. Liu, X. Duan, J. Ma, Y. Fang, Q. Kong, F. Huang, S. Cen, G. Zhong, MINIMALLY INVASIVE FIXATION UNDER COMPUTER-ASSISTED NAVIGATION FOR TREATMENT OF PERIACETABULAR FRACTURES, ANTERIOR AND POSTERIOR PELVIC RING FRACTURES, *Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi = Zhongguo Xiufu Chongjian Waike Zazhi = Chinese Journal of Reparative and Reconstructive Surgery*. 29 (2015) 10–13.
- [63] A. Yildirim, K. Alemdaroglu, H. Yuksel, Ö. Öken, A. Ucaner, Finite element analysis of the stability of transverse acetabular fractures in standing and sitting positions by different fixation options, *Injury*. 46 Suppl 2 (2015) S29–S35.
- [64] C. Zeckey, A. Cavalcanti Kußmaul, E.M. Suero, C. Kammerlander, A. Greiner, M. Woiczinski, C. Braun, W. Flatz, W. Boecker, C.A. Becker, The T-pod is as stable as supraacetabular fixation using 1 or 2 Schanz screws in partially unstable pelvic fractures: A biomechanical study, *European Journal of Medical Research*. 25 (2020).

## 6. Abbildungsverzeichnis:

- Abb. 1: 3D gedrucktes Modell einer Acetabulumfraktur mit angebogener, vorkonfektionierter Rekonstruktionsplatte, welche nach Anbiegen zur Sterilisation gegeben wird.
- Abb. 2: Biomechanisches Setup. a: supraacetabulärer Fixateur externe (1 Pin) am Leichenbecken, b: supraacetabulärer Fixateur externe (2 Pins), c: angelegter „Pelvic Binder“ am Leichenbecken. Pfeile: Ultraschallmesssensoren.
- Abb. 3: Belastungsanalyse mittels Sohlensensoren.  
roter Graph: Belastung (Newton) des gesunden Beines, blauer Graph: Belastung (Newton) des Beines mit ipsilateraler Beckenringfraktur. x-Achse: Zeitstrahl, y-Achse: Kraftmessung (N).
- Abb. 4: Osteosynthesekonstruktionen Beckenring am Kunstknochen. A: unilateraler INFIX, B: erweiterter unilateraler INFIX, C: bilateraler INFIX, D: erweiterter bilateraler INFIX.
- Abb. 5: a) Biomechanisches Setup des Leichenbeckens, welches in der Prüfmaschine fixiert wurde.  
b) Bandstabilisierung hinterer Beckenring zwischen Spina iliaca post. sup. beidseits.

## 7. Abkürzungsverzeichnis:

Abb.	Abbildung
ASA	American Society of Anaesthesiologists
EQ-5D-3L	European Quality of Life 5 Dimensions 3 Level Version
Fa.	Firma
FFP	Fragility Fractures of the Pelvis
INFIX	interner Fixateur
ISG	Iliosakralgelenk
mm	Millimeter
N/mm	Newton pro Millimeter
N	Newton
SI-Schraube	Sakroiliakale Schraube
Spina iliaca post. sup.	Spina iliaca posterior superior
SWK	Sakralwirbelkörper
T-POD	Trauma Pelvic Orthotic Device
VAS	Visuelle Analog Skala
Veröff.	Veröffentlichungen
wiss.	wissenschaftlich

## 8. Anhang:

### 8.1 Gesamtverzeichnis wiss. Veröff. einschließlich Vortragsverzeichnis

#### 8.1.1. Originalarbeiten als Erst- oder Letztautor:

1. Cementless hip revision cup for the primary fixation of osteoporotic acetabular fractures in geriatric patients.  
**Becker CA\***, Linhart C\*, Bruder J, Zeckey C, Greiner A, Cavalcanti Kußmaul A, Weidert S, Suero EM, Böcker W, Kammerlander C.  
Orthop Traumatol Surg Res. 2020 Dec 14;102745. doi: 10.1016/j.otsr.2020.102745. Online ahead of print.  
\* geteilte Erstautorenschaft, IF = 2,3.
  
2. Load-Bearing Detection with Insole-Force Sensors Provides New Treatment Insights in Fragility Fractures of the Pelvis.  
Pfeufer D\*, **Becker CA\***, Faust L, Keppler AM, Stagg M, Kammerlander C, Böcker W, Neuerburg C.  
J Clin Med. 2020 Aug 6;9(8):2551. doi: 10.3390/jcm9082551.  
\* geteilte Erstautorenschaft, IF = 4,2.
  
3. The T-pod is as stable as supraacetabular fixation using 1 or 2 Schanz screws in partially unstable pelvic fractures: a biomechanical study.  
Zeckey C, Cavalcanti Kußmaul A, Suero EM, Kammerlander C, Greiner A, Woiczinski M, Braun C, Flatz W, Boecker W, **Becker CA**.  
Eur J Med Res. 2020 Jul 18;25(1):26. doi: 10.1186/s40001-020-00427-0. IF = 2,2.
  
4. Resomer C212© in vertebroplasty or kyphoplasty: A feasibility study on artificial bones with biomechanical and thermal evaluation.  
Greiner A, Bongartz A, Woiczinski M, Befrui N, Pieske O, Suero EM, Bruder J, Kammerlander C, Böcker W, **Becker CA**.  
Technol Health Care. 2020 Jul 14. doi: 10.3233/THC-202159. Online ahead of print. IF = 1,3.

5. 3D printing method for next-day acetabular fracture surgery using a surface filtering pipeline: feasibility and 1-year clinical results.  
Weidert S., Andress S, Linhart C, Suero EM, Greiner A, Böcker W, Kammerlander C, **Becker CA**.  
Int J Comput Assist Radiol Surg. 2020 Mar;15(3):565-575. doi: 10.1007/s11548-019-02110-0. Epub 2020 Jan 2. IF = 2,9.
6. Tape suture for stabilization of incomplete posterior pelvic ring fractures- biomechanical analysis of a new minimally invasive treatment for incomplete lateral compression pelvic ring fractures.  
**Becker CA**, Kussmaul AC, Suero EM, Regauer M, Woiczinski M, Braun C, Flatz W, Pieske O, Kammerlander C, Boecker W, Greiner A.  
J Orthop Surg Res. 2019 Dec 27;14(1):465. doi: 10.1186/s13018-019-1509-y. IF = 1,8.
7. Biomechanical comparison of minimally invasive treatment options for Type C unstable fractures of the pelvic ring.  
Cavalcanti Kußmaul A, Greiner A, Kammerlander C, Zeckey C, Woiczinski M, Thorwächter C, Gennen C, Kleber C, Böcker W, **Becker CA**.  
Orthop Traumatol Surg Res. 2020 Feb;106(1):127-133. doi: 10.1016/j.otsr.2019.09.032. Epub 2019 Dec 18. IF = 1,8.
8. Modified less invasive anterior subcutaneous fixator for unstable Tile-C-pelvic ring fractures: a biomechanical study.  
**Becker CA**, Kammerlander C, Kußmaul AC, Woiczinski M, Thorwächter C, Zeckey C, Sommer F, Linhart C, Weidert S, Suero EM, Böcker W, Greiner A.  
Biomed Eng Online. 2019 Mar 29;18(1):38. doi: 10.1186/s12938-019-0648-z. IF = 2,1.

9. Minimally invasive screw fixation is as stable as anterior plating in acetabular T-Type fractures - a biomechanical study.

**Becker CA**, Kammerlander C, Cavalcanti Kußmaul A, Dotzauer F, Woiczinski M, Rubenbauer B, Sommer F, Linhart C, Weidert S, Zeckey C, Greiner A.

Orthop Traumatol Surg Res. 2018 Nov;104(7):1055-1061. doi:  
10.1016/j.otsr.2018.06.013. Epub 2018 Sep 1. IF = 1,6.

#### 8.1.2. Originalarbeiten als Ko-Autor:

1. A Novel Device for Closed Reduction and Percutaneous Fixation of Thoracolumbar Fractures.

Linhart C, **Becker CA**, Befrui N, Suero EM, Cavalcanti-Kußmaul A, Böcker W, Kammerlander C, Greiner A.

In Vivo. Jan-Feb 2022;36(1):384-390. doi: 10.21873/invivo.12715. IF (2020): 2,2.

2. Novel minimally invasive tape suture osteosynthesis for instabilities of the pubic symphysis: a biomechanical study.

Cavalcanti Kußmaul A, Schwaabe F, Kistler M, Gennen C, Andreß S, **Becker CA**, Böcker W, Greiner A.

Arch Orthop Trauma Surg. 2021 May 29. doi: 10.1007/s00402-021-03968-z. IF (2020): 3,1.

3. Intraoperative use of cortical step sign and diameter difference sign: Accuracy, inter-rater agreement and influence of surgical experience in subtrochanteric transverse fractures.

Degen N, Suero E, Bogusch M, Neuerburg C, Manz KM, **Becker CA**, Befrui N, Kammerlander C, Böcker W, Zeckey C.

Orthop Traumatol Surg Res. 2020 Jun;106(4):639-644. doi:  
10.1016/j.otsr.2020.01.015. Epub 2020 Apr 9. IF = 2,3.

4. Fluoroscopic Marker-Based Guidance System Improves Gamma Lag Screw Placement During Nailing of Intertrochanteric Fractures: A Randomized Controlled Trial.  
Weidert S, Sommer F, Suero EM, **Becker CA**, Pieske O, Greiner A, Kammerlander C, Böcker W, Grote S.  
J Orthop Trauma. 2020 Mar;34(3):145-150. doi: 10.1097/BOT.0000000000001662. IF = 2,5.
5. Biomechanical stability of sacroiliac screw osteosynthesis with and without cement augmentation.  
Suero EM, Greiner A, **Becker CA**, Cavalcanti Kußmaul A, Weidert S, Pfeufer D, Woiczinski M, Braun C, Flatz W, Böcker W, Kammerlander C.  
Injury. 2020 Jan 30:S0020-1383(20)30071-1. doi: 10.1016/j.injury.2020.01.043. IF = 2,6.
6. Radiographic cortical thickness parameters as predictors of rotational alignment in proximal femur fractures: A cadaveric study.  
Zeckey C, Bogusch M, Borkovec M, **Becker CA**, Neuerburg C, Weidert S, Suero EM, Böcker W, Greiner A, Kammerlander C.  
J Orthop Res. 2019 Jan;37(1):69-76. doi: 10.1002/jor.24166. Epub 2018 Nov 19. IF = 2,7.
7. Temporal profile of inflammatory response to fracture and hemorrhagic shock: Proposal of a novel long-term survival murine multiple trauma model.  
Kleber C, **Becker CA**, Malysch T, Reinhold JM, Tsitsilonis S, Duda GN, Schmidt-Bleek K, Schaser KD.  
J Orthop Res. 2015 Jul;33(7):965-70. doi: 10.1002/jor.22857. Epub 2015 Mar 31. IF = 2,8
8. Are pentraxin 3 and transsignaling early markers for immunologic injury severity in polytrauma? A pilot study.  
Kleber C, **Becker CA**, Schmidt-Bleek K, Schaser KD, Haas NP.  
Clin Orthop Relat Res. 2013 Sep;471(9):2822-30. doi: 10.1007/s11999-013-2922-x. IF = 2,9

### 8.1.3. Kasuistiken:

Coincidence of traumatic tracheal rupture accompanied by ARDS. Illustrated by the example of a 17-year-old patient with multiple injuries.

Kleber C, **Becker CA**, van Scherpenzeel KM, Weidemann H, Deja M, Haas NP. Unfallchirurg. 2012 Jun;115(6):546-51. doi: 10.1007/s00113-011-1995-9. IF = 0,6.

### 8.1.4. Übersichtsarbeiten:

1. 3D printing in orthopedic and trauma surgery education and training: Possibilities and fields of application.

Weidert S, Andress S, Suero E, **Becker CA**, Hartel M, Behle M, Willy C. Unfallchirurg. 2019 Jun;122(6):444-451. doi: 10.1007/s00113-019-0650-8. IF = 0,7.

2. Diagnostic and Treatment Strategies in Morel-Lavallee Lesions in the Spinal Column and Pelvis.

**Becker CA**, Kammerlander C, Greiner A, Sommer F, Linhart C, Böcker W, Rubenbauer B, Weidert S. Z Orthop Unfall. 2018 Oct;156(5):541-546. doi: 10.1055/a-0596-8018. Epub 2018 Apr 12. IF = 0,6.

### 8.1.5. Buchkapitel:

Learning from Failures in Orthopedic Trauma: Acetabular Fracture. In: Videla Ces M, Sales Perez JM, Giros Torres J, Rivero Sosa R (2020). Learning from Failures in Orthopedic Trauma. Key Points for Success (S. 327-332). Davos, Schweiz. Georg Thieme Verlag Stuttgart. ISBN: 978-3-13-243457-8.

### 8.1.6. Zitierfähige Abstracts von Vorträgen & Kongressbeiträgen /

#### Kongressteilnahmen:

1. Der "unfaire Vorteil" des Hybrid Wirbelsäulen-OP Simulators macht ihn beim Erlernen von perkutaner Pedikelschraubenplatzierung so effektiv wie den Kadaver: eine prospektiv randomisierte Studie mit freiwilligen Anfängern.  
Weidert S, Bischoff JA, **Becker CA**, Böcker W, Kammerlander C, Greiner A, Mayr M.  
Dezember 2020. 15. Deutscher Wirbelsäulenkongress.
  
2. Spinal Cord Stimulator Improves Pain in Patients with Failed Back Surgery Syndrome: A Prospective Study with up to 2 Years of Follow-up.  
Weidert S, **Becker CA**, Greiner A, Böcker W, Suero EM.  
Oktober 2020. Deutscher Kongress für Orthopädie und Unfallchirurgie (DKOU) 2020, in Zeitschrift für Orthopädie & Unfallchirurgie, Ausgabe 5/20, Online-Supplement
  
3. Does a Single Cement-Augmented Screw Provide Sufficient Stability in Percutaneous Sacroiliac Osteosynthesis?  
Suero EM, Greiner A, **Becker CA**, Weidert S, Pfeufer D, Cavalcanti Kussmaul A, Böcker W, Kammerlander C.  
Oktober 2020. Deutscher Kongress für Orthopädie und Unfallchirurgie (DKOU) 2020, in Zeitschrift für Orthopädie & Unfallchirurgie, Ausgabe 5/20, Online-Supplement
  
4. FiberTape® Zuggurtung zur Stabilisierung von inkompletten hinteren Beckenring Kompressionsfrakturen - eine biomechanische Analyse einer neuen minimal-invasiven Therapie.  
Greiner A, Woiczinski M, Suero EM, Cavalcanti Kussmaul A, Pieske O, Kammerlander C, Böcker W, **Becker CA**.  
Oktober 2020. Deutscher Kongress für Orthopädie und Unfallchirurgie (DKOU) 2020, in Zeitschrift für Orthopädie & Unfallchirurgie, Ausgabe 5/20, Online-Supplement

5. New Mobile 3D C-Arm Achieves Reduced Radiation Exposure.  
Suero EM, Strohbach O, **Becker CA**, Greiner A, Böcker W, Weidert S.  
Oktober 2020. Deutscher Kongress für Orthopädie und Unfallchirurgie (DKOU) 2020, in Zeitschrift für Orthopädie & Unfallchirurgie, Ausgabe 5/20, Online-Supplement
  
6. Biomechanischer Vergleich minimal-invasiver Osteosynthesen für instabile Typ C Beckenringfrakturen.  
Cavalcanti Kussmaul A, Greiner A, Kammerlander C, Zeckey C, Woiczinski M, Gennen C, Böcker W, **Becker CA**.  
Oktober 2020. Deutscher Kongress für Orthopädie und Unfallchirurgie (DKOU) 2020, in Zeitschrift für Orthopädie & Unfallchirurgie, Ausgabe 5/20, Online-Supplement
  
7. Der T-Pod zur Akutversorgung instabiler Beckenfrakturen – eine Alternative zum Fixateur?  
Cavalcanti Kußmaul A, Zeckey C, Suero EM, Kammerlander C, Greiner A, Böcker W, **Becker CA**.  
Oktober 2020. Deutscher Kongress für Orthopädie und Unfallchirurgie (DKOU) 2020, in Zeitschrift für Orthopädie & Unfallchirurgie, Ausgabe 5/20, Online-Supplement.
  
8. Modifizierter minimal-invasiver anteriorer subkutaner Fixateur interne für instabile C-Frakturen des Beckenrings: eine biomechanische Studie.  
**Becker CA**, Cavalcanti Kußmaul A, Kammerlander C, Woiczinski M, Linhart C, Suero EM, Böcker W, Greiner A.  
Oktober 2020. Deutscher Kongress für Orthopädie und Unfallchirurgie (DKOU) 2020, in Zeitschrift für Orthopädie & Unfallchirurgie, Ausgabe 5/20, Online-Supplement.
  
9. Haben alterstraumatologische Patienten mit einem erniedrigten Vitamin-D-Spiegel ein erhöhtes Risiko für eine höhergradige Beckeninsuffizienzfraktur?  
Linhart C, Steiner E, **Becker CA**, Böcker W, Kammerlander C, Neuerburg C.  
Oktober 2020. Deutscher Kongress für Orthopädie und Unfallchirurgie

(DKOU) 2020, in Zeitschrift für Orthopädie & Unfallchirurgie, Ausgabe 5/20, Online-Supplement.

10. Novel method to objectively validate and quantify the quality of 3D-printed models for acetabulum fracture surgery.  
Andreß S, Achilles F, Suero EM, Weidert S, **Becker CA**, Greiner A, Kammerlander C, Böcker W.  
Oktober 2019. Deutscher Kongress für Orthopädie und Unfallchirurgie (DKOU) 2019
11. Biomechanische Untersuchung zementaugmentierter Hohlschraubenosteosynthesen bei medialen Schenkelhalsfrakturen.  
Sommer F, Lanzinger L, **Becker CA**, Greiner A, Thorwaechter C, Kammerlander C, Pieske O, Böcker W.  
Oktober 2019. Deutscher Kongress für Orthopädie und Unfallchirurgie (DKOU) 2019
12. A Method for Validation and Error-Quantification of 3D-Printed Models for Acetabulum Fracture Surgery.  
Andreß S, Achilles F, Suero EM, Weidert S, **Becker CA**, Linhart C, Greiner A, Rubenbauer B, Kammerlander C, Böcker W.  
Juni 2019. The 19th Annual Meeting of the International Society for Computer Assisted Orthopaedic Surgery, New York City, NY, USA.
13. Intraoperative use of cortical step sign and diameter difference sign: Accuracy, Inter-rater agreement and influence of surgical training.  
Degen N, Suero EM, Weidert S, Zeckey C, **Becker CA**, Bogusch M, Greiner A, Böcker W, Neuerburg C, Kammerlander C.  
Mai 2019. 67. Jahrestagung der VSOU e.V. 2019, Baden-Baden
14. Biomechanische Aspekte bei der operativen Versorgung von Becken-Insuffizienzfrakturen – Augmentation Ja / Nein?  
**Becker CA**  
März 2019. Osteologie Kongress 2019. Frankfurt/Main.

15. Biomechanische Analyse minimal-invasiver Schraubenosteosynthesen bei T-Typ Acetabulum-Frakturen.  
**Becker CA**, Greiner A, Woiczinski M, Kammerlander C, Weidert S, Cavalcanti Kußmaul A, Zeckey C.  
Oktober 2018. Deutscher Kongress für Orthopädie & Unfallchirurgie 2018. Berlin.
16. Beckeninsuffizienzfrakturen - Eine unterschätzte Indikatorfraktur für eine zugrundeliegende Osteoporose.  
Linhart C, Keppler AM, Rubenbauer B, Neuerburg C, **Becker CA**, Böcker W, Kammerlander C.  
Oktober 2018. DKOU 2018 – Deutscher Kongress für Orthopädie und Unfallchirurgie Berlin.
17. Automatic Surface model reconstruction to enhance treatment of acetabular fracture surgery with 3D Printing.  
Weidert S, Eck U, **Becker CA**, Andreß S, Greiner A.  
Februar 2018. CAOS International – 17th Annual Meeting. Aachen
18. Prospektiv randomisierte Evaluation navigationsgestützter Gammanagel-Implantation  
Sommer F, Grote S, **Becker CA**, Weidert S, Linhart C, Rubenbauer B, Greiner A, Böcker W.  
Oktober 2016. Deutscher Kongress für Orthopädie und Unfallchirurgie (DKOU 2016)
19. Patientenspezifische Osteosynthese von Acetabulumfrakturen mit präoperativ durch 3D Druck konfektionierten Rekoplaten.  
Weidert S, Andreß S, **Becker CA**, Kammerlander C, Linhart C, Greiner A, Böcker W, Rubenbauer B.  
Juli 2016. 93. Jahrestagung der Vereinigung der Bayerischen Chirurgen e.V. 2016.

20. Machbarkeit von patientenspezifischen HWS-Orthesen durch CAD und 3D Druck ausgehend vom CT-Datensatz des Patienten.  
Weidert S, Greiner A, Rubenbauer B, Böcker W, **Becker CA**, Linhart C.  
Juli 2016. 93. Jahrestagung Vereinigung der Bayerischen Chirurgen e.V.
21. Fluoroscopic vs. Computer Aided Gamma Nail Surgery with ADAPT - An Ongoing Randomised Controlled Trial  
Weidert S, Sommer F, **Becker CA**, Grote S, Greiner A, Linhart C, Rubenbauer B.  
June 2016. 17th Annual Meeting of the International Society for Computer Assisted Orthopaedic Surgery 2016. Osaka, Japan.
22. Etablierung und Validierung eines Polytraumamodells der Maus zur in vivo Analyse der posttraumatischen Immunantwort und Interaktion von hämorrhagischen Schock und Frakturheilung.  
Kleber C, **Becker CA**, Reinhold J, Schaser KD, Malysch T, Tsitsilonis S, Duda G, Schmidt-Bleek K.  
Oktober 2014. Deutscher Kongress für Orthopädie und Unfallchirurgie (DKOU) 2014.
23. Notfallmanagement einer offenen Beckenfraktur mit traumatischem Kreislaufstillstand.  
**Becker CA**, Märdian S, Haas NP, Kleber C, Schaser KD.  
September 2013. Jahrestagung der Berliner Chir. Gesellschaft 2013.
24. Influence of the pathogen spectrum after traumatic amputation and type 3C open fracture on the initial antibiotic therapy.  
Giesecke M, **Becker CA**, Haas NP, Kleber C.  
Mai 2012. EFORT Conference 2012 Berlin.
25. Polytrauma and Open fracture: A dangerous combination, complicating the clinical course of trauma patients.  
Kleber C, **Becker CA**, Haas NP, Schaser KD.  
April 2012. 129. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Chirurgie, Berlin 2012.

26. Erfolgreiches Management eines komplexen Beckentraumas mit Morel-Lavallée-Verletzung nach Überrolltrauma.

**Becker CA**, Kleber C, Schwabe P, Schaser KD, Haas NP, Krapohl B.  
September 2011. 36. Berliner Chirurgentreffen 2011.

#### 8.1.7. Poster:

1. ADAPT Navigation System Improves Tip-Apex Distance during Gamma Nailing of intertrochanteric Fractures: Results of a monocentric randomized controlled trial.

Sommer F, Suero E, **Becker CA**, Pieske O, Greiner A, Kammerlander C, Böcker W, Grote S.

20. EFORT Annual Congress Lissabon 2019.

- ausgezeichnet mit Jaques Duparc Award -

2. Zementfreie Hüftrevisionspfanne zur Versorgung von osteoporotischen Acetabulumfrakturen – Münchner Algorithmus als Entscheidungshilfe - Linhart C, **Becker CA**, Bruder J, Zeckey C, Greiner A, Sommer F, Weidert S, Böcker W, Kammerlander C.

12. Endoprothetik Kongress Berlin. Februar 2019.

3. Erprobung eines neuartigen Hybrid-Simulators für dorsale bildwandlerunterstützte perkutane Wirbelsäulenoperationen.

Weidert S, Mayr M, Achilles F, Greiner A, Rubenbauer B, **Becker CA**, Sommer F, Kammerlander C.

12. Jahrestagung der Deutschen Wirbelsäulengesellschaft in Stuttgart. März 2018

- ausgezeichnet mit 2. Posterpreis -

## 9. Danksagung

Besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. med. Wolfgang Böcker für die Förderung meiner Forschungsgebiete und die kontinuierliche Unterstützung bei der gesamten wissenschaftlichen und klinischen Tätigkeit. Außerdem möchte ich den weiteren Mitgliedern des Fachmentorats Prof. Dr. Steffen Peldschus und PD Dr. Sebastian Pratschke für die Unterstützung im Rahmen des Habilitationsverfahrens danken.

Mein ausdrücklicher Dank gilt meinen geschätzten Kollegen Prof. Dr. Christian Kammerlander, Prof. Dr. Carl Neuerburg, PD Dr. Axel Greiner, Dr. Simon Weidert, Dr. Bianka Rubenbauer, Dr. Christoph Linhart, Dr. Eduardo Suero, Dr. Adrian Cavalcanti Kußmaul, Dr. Sebastian Andreß und der gesamten Arbeitsgruppe Wirbelsäulen- und Beckenchirurgie für die tatkräftige Unterstützung und oft kontroversen, aber immer konstruktiven Diskussionen, die maßgeblich zum Gelingen der Forschungsvorhaben beigetragen haben.

Meinen Kollegen aus dem Institut für Biomechanik und Experimentelle Orthopädie Prof. Dr. Dipl.-Ing. Volkmar Jansson, Dr. Matthias Woiczinski und Christoph Thorwächter, MSc möchte ich für die Unterstützung insbesondere bei den experimentellen Arbeiten und die Unterstützung bei der Erstellung diverser Manuskripte ausdrücklich danken.

Der größte Dank gilt aber meiner Familie und insbesondere meiner Frau Dr. Regina Becker für die kontinuierliche, unermüdliche Unterstützung, ohne die diese Habilitation sicher nicht möglich gewesen wäre.