

Aus der Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie,  
Muskuloskelettales Universitätszentrum München (MUM),  
Klinikum der Universität München, LMU München

Direktor: Prof. Dr. med. Boris Holzapfel  
Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr. med. Wolfgang Böcker

**Osteoporose assoziierte Frakturen am Stammskelett:  
Biomechanische und klinische Analysen**

Der Medizinischen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München  
als kumulative Habilitationsschrift

vorgelegt von

Dr. med. Christoph Linhart

München 2024

Aus der Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie,  
Muskuloskelettales Universitätszentrum München (MUM),  
Klinikum der Universität München, LMU München

Direktor: Prof. Dr. med. Boris Holzapfel

Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr. med. Wolfgang Böcker

**Osteoporose assoziierte Frakturen am Stammskelett:  
Biomechanische und klinische Analysen**

Der Medizinischen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München  
als kumulative Habilitationsschrift

vorgelegt von

Dr. med. Christoph Linhart

München 2024

## Inhaltsverzeichnis

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Wissenschaftlicher Hintergrund</b> .....  | <b>3</b>  |
| <b>Liste der zur kumulativen Habilitation beitragenden Publikationen</b> .....                     | <b>8</b>  |
| <b>Ziele der Habilitationsarbeit</b> .....   | <b>9</b>  |
| <b>Hintergrund und Ergebnisse</b> .....  | <b>11</b> |
| <i>Publikation A</i> .....   | 11        |
| <i>Publikation B</i> .....   | 14        |
| <i>Publikation C</i> .....   | 16        |
| <i>Publikation D</i> .....   | 19        |
| <i>Publikation E</i> .....   | 23        |
| <i>Publikation F</i> .....   | 25        |
| <b>Diskussion</b> .....  | <b>28</b> |
| <i>Publikation A</i> .....   | 28        |
| <i>Publikation B</i> .....   | 32        |
| <i>Publikation C</i> .....   | 35        |
| <i>Publikation D</i> .....   | 38        |
| <i>Publikation E</i> .....   | 41        |
| <i>Publikation F</i> .....   | 43        |
| <b>Zusammenfassung</b> .....   | <b>46</b> |
| <b>Ausblick</b> .....  | <b>51</b> |
| <b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....   | <b>53</b> |
| <b>Literaturverzeichnis</b> .....  | <b>55</b> |
| <b>Danksagung</b> .....  | <b>62</b> |
| <b>Appendix</b> .....  | <b>64</b> |
| <i>Lebenslauf</i> .....  | 64        |
| <i>Verzeichnis der wissenschaftlichen Veröffentlichungen</i> .....                                 | 68        |
| <i>Bericht und Verzeichnis der abgehaltenen Lehrveranstaltungen sowie Forschungsarbeiten</i> ..... | 76        |
| Lehr- und Vortragsveranstaltungen .....  | 76        |
| Forschungsarbeiten .....   | 78        |
| Lehrleistung .....   | 80        |

## Wissenschaftlicher Hintergrund

Der demografische Wandel führt zu einem kontinuierlichen Anstieg der geriatrischen Bevölkerung. Aufgrund verbesserter Lebensbedingungen und medizinischer Versorgung steigt auch die Lebenserwartung in diesem Kollektiv und es wird eine Verdreifachung der Geriatriepatienten im Alter ab 85 Jahren und älter auf 19 Millionen im Jahr 2050 in Deutschland erwartet [70, 76]. Neben den üblichen altersbedingten Komorbiditäten wie Bluthochdruck oder Diabetes wird Osteoporose häufig nicht diagnostiziert und erst nach einem Sturz und einer anschließenden Fraktur festgestellt [54]. Trotz dieses diagnostischen Versagens ist die Osteoporose weltweit verbreitet. In Deutschland sind fast 8 Millionen Patienten von einer Osteoporose betroffen, wobei die Prävalenz altersabhängig ist: Während Frauen über 50 Jahre eine Prävalenz von 24 % aufweisen, steigt sie bei Frauen über 75 Jahren auf bis zu 30 % an [29, 31, 92]. Dies ist von klinischer Bedeutung, da gleichzeitig eine Zunahme von so genannten Fragilitätsfrakturen zu beobachten ist [88, 92]. Eine Fragilitätsfraktur ist definiert durch das Auftreten aufgrund eines inadäquaten Traumas, das typischerweise nicht zu einer Fraktur führt. Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) hat dieses "niederenergetische" Trauma als Kräfte definiert, die einem Sturz aus dem Stand oder weniger entsprechen [6]. Auch im stationären Bereich steigt der Anteil der Fragilitätsfrakturen altersabhängig auf bis zu 95 % bei Patienten im Alter von 75 Jahren und älter [5]. Neben Frakturen der Hüfte, des proximalen Femurs und der Wirbelsäule sind Fragilitätsfrakturen des Beckens (FFP) häufig und nehmen stetig zu. Diese Fraktorentitäten werden unter dem Begriff des „Stammskelettes“ zusammengefasst und stellen somit eine große Fraktorentität des geriatrischen Patienten dar. In den USA vervielfachten sich geriatrische Beckenringfrakturen von 1993 bis 2010 um 24 % [31].

Im Gegensatz zu arterieller Hypertension und Diabetes mellitus, als häufige Komorbiditäten des Alters, bleibt Osteoporose bis zu einer sturzbedingten Fraktur, einer in diesem Zusammenhang sogenannten Fragilitätsfraktur, meist unentdeckt wie bereits ausgeführt wurde. Bereits vor neun Jahren, im Jahr 2014, zeigte Plass et al. mit einer Untersuchung, die auch durch das Robert-Koch-Institut unterstützt wurde, dass sturzbedingte Verletzungen neben Herzerkrankungen, Karzinome, Demenz und

Schlaganfall zu den fünf wesentlichen Ursachen eines Verlusts an Lebensqualität gehören [47, 66]. Die S3 Leitlinie „Prophylaxe, Diagnostik und Therapie der Osteoporose“ des DVO (Dachverband der deutschsprachigen wissenschaftlichen osteologischen Gesellschaft e.V.) empfiehlt eine Basisdiagnostik bei Frauen und Männern ab dem 70. Lebensjahr. Dennoch wird ein Fehlen von Informationen bezüglich der Knochengesundheit (v.a. der Osteoporose/Osteomalazie) älterer Patienten beobachtet. Trotz steigender Inzidenz wird die sekundäre Frakturprävention bezüglich Beurteilung und Behandlung von Osteoporose und/oder Osteomalazie oftmals vernachlässigt. Der Literaturrecherche zu den Krankheitsbildern Osteoporose und Osteomalazie ist zu entnehmen, dass einige Metaboliten des Knochenstoffwechsels, wie beispielsweise das Hormon Vitamin-D und die Mineralien Kalzium und Phosphat, eine zentrale Rolle einnehmen. Eine Störung des Gleichgewichts der genannten Komponenten erklärt die verminderte Mineralisierung des Osteoids (organische Knochenkomponente) und stellt einen möglichen Zusammenhang zu Fragilitätsfrakturen (FFP) dar [13, 23, 73, 90]. Zu FFPs in Kombination mit Vitamin-D-Spiegel, alkalischer Phosphatase (AP), Serum-Kalzium und Serum-Phosphat (als Teil des osteologischen Basislabors) hat die Literaturrecherche keine Ergebnisse gezeigt. Neben der Bestimmung von Laborparametern ist auch die Knochendichtemessung, die sogenannte Dual-X-Ray-Absorptiometry (DXA), ein wesentlicher Aspekt der Diagnostik sowohl von Osteoporose als auch von Osteomalazie. Die Suche nach validen Zusammenhängen zwischen T-Scores (ermittelt durch die DXA-Messung an Lendenwirbelkörpern und Femurhals) und Frakturschwere der Beckenringfrakturen blieb ebenfalls ergebnislos.

Operative Verfahren in der Versorgung von geriatrischen Acetabulumfrakturen werden kontrovers diskutiert. Insbesondere beim geriatrischen Patienten sollte beim Versorgungskonzept auf eine mögliche Vollbelastung postoperativ geachtet werden. Dies ist jedoch bei den Standard-Osteosynthese-Verfahren (Plattenosteosynthese) nicht möglich, da es bei Vollbelastung zu einem Repositionsverlust oder Ausbruch der Osteosynthese kommen kann. Zur Verbesserung dieser Tatsache existieren einige klinische Studien zur Versorgung von Acetabulumfrakturen beim alten Menschen mit schlechter Knochenqualität. Einige Studien schlagen ein erfolgversprechendes Konzept,

nämlich die Implantation einer Hüft-Totalendoprothese bei diesen Verletzungen vor [72, 77, 89]. Hier ergeben sich auf Grund der Fraktur und der schlechten Knochenqualität bei geriatrischen Patienten jedoch einige Probleme. Insbesondere im Bereich des frakturierten Acetabulums ist die Verankerungsmöglichkeit der Hüft-TEP-Pfanne schwierig [10, 11]. Eine Komplikation ist hier die Auslockerung des Implantates. Der Vorteil der Hüft-Totalendoprothese (Hüft-TEP) zur Versorgung von Acetabulumfrakturen ist prinzipiell die postoperative Vollbelastbarkeit des Implantates. Durch Implantation einer Hüft-TEP mit einer speziellen zementfreien winkelstabilen Revisionspfanne am Acetabulum könnte primär eine postoperative Vollbelastung erreicht werden. Dies hätte den Vorteil einer besseren Mobilisation und Vermeidung einer Pflegebedürftigkeit bei älteren Patienten und wurde bisher noch nicht wissenschaftlich beleuchtet.

Eine weitere äußerst prominente Fraktur des Stammskeletts im orthogeriatrischen Patientengut sind die proximalen Femurfrakturen. Durch den demographischen Wandel hin zur älteren Gesellschaft nehmen die Osteoporose bedingten proximalen Femurfrakturen ebenfalls weiter stetig zu [36]. Aufgrund biomechanischer Vorteile eines intramedullären Kraftträgers entwickelte sich die Marknagelosteosynthese zur operativen Versorgung der Wahl [2].

Zur intramedullären Fixierung stehen unterschiedliche Implantate zur Verfügung, z.B. PFNA oder Gamma-Nägel. Die Implantate funktionieren nach dem gleichen Grundprinzip: Ein intramedullärer Nagel, dieser reicht vom Trochanter major herab in den Femurschaft und ein bis zwei Komponenten (Schrauben oder Klingen), die vom Nagel durch den Oberschenkelhals in den Oberschenkelkopf eingebracht werden. Der PFNA (proximaler Femurnagel Antirotation) verfügt über eine speziell entwickelte Spiralklinge, die eine Rotation verhindert und eine Kompression der spongiösen Strukturen im osteoporotischen Knochen zur Folge hat.

In den letzten Jahren konzentrierte sich die Forschung vor allem auf das Vermeiden von Implantatversagen.

Dagegen wird die optimale Versorgung der subtrochantären Femurfrakturen (AO 31-A3) in der aktuellen Literatur äußerst kontrovers diskutiert. Wegen der suszipierten höheren Stabilität wird häufig die intramedulläre Versorgung mit einem langen Marknagel

bevorzugt. Klinische Studien zeigen jedoch keinen Vorteil eines langen gegenüber eines kurzen Marknagels [40, 60] und systematische biomechanische Vergleiche der Stabilität nach langer beziehungsweise kurzer Marknagelosteosynthese von subtrochantären Frakturen fehlen. Die hohe klinische Relevanz der Implantatwahl ergibt sich nicht zuletzt aus der längeren Operationszeit, des höheren Blutverlusts und des höheren Weichteiltraumas bei Wahl eines langen intramedullären Implantates [19]. Wir wollten mit Hilfe unserer Studie die biomechanische Grundlage zu einer Entscheidungsfindung der optimalen Implantatwahl schaffen.

Oftmals begleitend zu den proximalen Femurfrakturen ist der Trochanter minor, vor allem bei per-, inter- und subtrochantären Frakturen, ebenfalls frakturiert und/oder zusätzlich disloziert. Bei Involvierung des Trochanter minors bei diesen Frakturen wird allgemein von einer fehlenden medialen Abstützung und damit von einer Frakturinstabilität ausgegangen. Biomechanische Analysen ergaben, dass für die axiale Stabilität des Femurs die mediale Kortikalis signifikant wichtiger ist als die laterale Kortikalis [57]. Dies lässt sich vor allem durch die Verteilung der Knochenbälkchen in Abhängigkeit der Kraft zeigen, die vor allem auf die mediale Kortikalis wirkt. In der medialen Kortikalis sind sowohl die Anzahl als auch die Verlaufsrichtung der Knochenbälkchen stabilisierender als in der lateralen Kortikalis. Deshalb wäre eine Reposition und Refixierung des Trochanter minors, wann immer möglich, sinnvoll [57]. Unter dem Aspekt, dass am Trochanter minor der wichtigste Beugemuskel der Hüfte ansetzt, der eine sehr hohe Zugkraft besitzt, ist ebenfalls zu empfehlen dieses Fragment zu refixieren, da es ohne Fixierung nach kranial wandert und zu einer biomechanisch geringeren Kraftentwicklung und erschwerten Beugung führt [3]. Dennoch wird die Refixation des Trochanter minor Fragments in der Regel vernachlässigt oder bleibt der Präferenz des Chirurgen überlassen im klinischen Alltag, da kein Goldstandard bzgl. dieser Frakturversorgung existiert [16, 30, 46]. Hierzu wollten wir mit unserer biomechanischen Untersuchung die Grundlage schaffen.

Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule sind häufige Verletzungen mit einer Inzidenz in der Gesamtbevölkerung von 64 pro 100.000 Einwohnern in Deutschland [35, 71]. Thorakolumbale Frakturen können sowohl durch ein Trauma mit hoher Energie bei

jüngeren Patienten als auch durch ein Trauma mit niedriger Energie bei geriatrischen Patienten und bei Patienten mit Osteoporose auftreten [26]. Die dorsale Instrumentation mit Pedikelschrauben und -stäben ist die am häufigsten angewandte Technik zur Behandlung von thorakolumbalen Frakturen der Wirbelsäule v.a. auch im orthogeriatrischen Patientengut bei einer Schmerzpersistenz und/oder aufgehobener Mobilität. Das Verfahren zielt auf die Wiederherstellung der neurologischen und biomechanischen Funktionen der Wirbelsäule ab und ermöglicht eine frühzeitige Mobilisierung, gerade der orthogeriatrischen Patienten. Hierbei ist der Zusammenhang zwischen dem Grad der Reposition der Wirbelkörperfraktur und dem funktionellen Outcome, gemessen an der Lebensqualität, bisher nicht untersucht worden. Zudem besteht in der Fachwelt Uneinigkeit darüber, ob das hohe Alter sowie das Vorliegen einer manifesten Osteoporose einen Einfluss auf die postoperative Lebensqualität ausüben.

Durch die eigenen wissenschaftlichen Arbeiten im Rahmen dieses Habilitationsprojektes habe ich versucht, diese Fragestellungen zu adressieren.

## Liste der zur kumulativen Habilitation beitragenden Publikationen

- A.) Linhart C, Kistler M, Woiczinski M, Neudeck R, Kassube M, Böcker W, Ehrnthaller C.**  
„Biomechanical comparison of screw vs. cerclage refixation in orthogeriatric lesser trochanteric fractures: a cadaveric study.“  
Eur J Trauma Emerg Surg. 2022 Sep 27;. doi: 10.1007/s00068-022-02116-5. [Epub ahead of print] PubMed PMID: 36167986. **(IF 2021 = 2,374)**
- B.) Gleich J, Kußmaul AC, Steiner E, Böcker W, Neuerburg C, Linhart C.**  
„High prevalence of missed information related on bone health in orthogeriatric patients with fragility fractures of the pelvis-an institutional register-based analysis.“  
Osteoporos Int. 2022 Apr;33(4):901-907. doi: 10.1007/s00198-021-06246-1. Epub 2021 Nov 24. PubMed PMID: 34817618; PubMed Central PMCID: PMC8930908. **(IF 2021 = 5,071)**
- C.) Linhart C, Kistler M, Kussmaul AC, Woiczinski M, Böcker W, Ehrnthaller C.**  
„Biomechanical stability of short versus long proximal femoral nails in osteoporotic subtrochanteric A3 reverse-oblique femoral fractures: a cadaveric study.“  
Arch Orthop Trauma Surg. 2022 Jan 21;. doi: 10.1007/s00402-022-04345-0. [Epub ahead of print] PubMed PMID: 35061084. **(IF 2021 = 2,928)**
- D.) Becker CA\*, Linhart C\*, Bruder J, Zeckey C, Greiner A, Cavalcanti Kußmaul A, Weidert S, Suero EM, Böcker W, Kammerlander C.**  
„Cementless hip revision cup for the primary fixation of osteoporotic acetabular fractures in geriatric patients.“  
Orthop Traumatol Surg Res. 2021Feb;107(1):102745. doi: 10.1016/j.otsr.2020.102745. Epub 2020 Dec 14. PubMed PMID: 33333281. \* geteilte Erstautorenschaft **(IF 2020 = 2,256)**
- E.) Linhart C, Neuwieser D, Kussmaul AC, Degen N, Greiner A, Kammerlander C, Suero EM.**  
„Effect of angular correction during posterior instrumentation of spinal fractures on postoperative outcomes and quality of life.“  
Technol Health Care. 2022;30(6):1417-1422. doi: 10.3233/THC-213616. PubMed PMID: 35661032. **(IF 2021 = 1,205)**
- F.) Linhart C, Becker CA, Befrui N, Suero EM, Kussmaul AC, Böcker W, Kammerlander C, Greiner A.**  
„A Novel Device for Closed Reduction and Percutaneous Fixation of Thoracolumbar Fractures.“  
In Vivo. 2022 Jan-Feb;36(1):384-390. doi: 10.21873/invivo.12715. PubMed PMID: 34972739; PubMed Central PMCID: PMC8765129. **(IF 2021 = 2,406)**

## Ziele der Habilitationsarbeit

Vor dem Hintergrund der geschilderten wissenschaftlichen Standpunkte und des aktuellen Wissenstandes im Rahmen osteoporotischer Frakturen am Stammskelett, ergeben sich folgende Ziele für das vorliegende Habilitationsprojekt:

- Klärung einer möglichen Korrelation zwischen dem Vitamin-D-Spiegel, bzw. dem Knochenstoffwechselfparametern (alkalischer Phosphatase (AP), Serum-Kalzium und Serum-Phosphat als Teil des osteologischen Basislabor) und der Komplexität der FFP-Frakturen. (**Publikation B**)
- Nachweis von validen Zusammenhängen zwischen T-Scores (ermittelt durch die DXA-Messung an Lendenwirbelkörpern und Femurhals) und Frakturschwere der Beckenringfrakturen erbringen. (**Publikation B**)
- Durch Implantation einer Hüft-TEP mit einer speziellen zementfreien winkelstabilen Revisionspfanne am Acetabulum könnte primär eine postoperative Vollbelastung erreicht werden. Dies hätte den Vorteil einer besseren Mobilisation und Vermeidung einer Pflegebedürftigkeit bei älteren Patienten und wurde bisher noch nicht wissenschaftlich beleuchtet. (**Publikation D**)
- Mit Hilfe unserer Studie möchten wir die biomechanische Grundlage zu einer Entscheidungsfindung der optimalen Implantatwahl schaffen bei subtrochantären osteoporotischen Femurfrakturen (AO 31-A3) -> Langer vs. Kurzer Marknagel (Kadaverstudie). (**Publikation C**)
- Oftmals begleitend zu den proximalen Femurfrakturen ist der Trochanter minor, vor allem bei per-, inter- und subtrochantären Frakturen, ebenfalls frakturiert und/oder disloziert. Die Refixation des Trochanter minor Fragments wird in der Regel vernachlässigt oder bleibt der Präferenz des Chirurgen überlassen im klinischen Alltag, da kein Goldstandard bzgl. dieser Frakturversorgung existiert.

Wir möchten zur Schaffung eines Goldstandards mit unserer Studie maßgeblich beitragen. **(Publikation A)**

- Der Grad der Reposition bei Wirbelkörperfrakturen und dem funktionellen Outcome, gemessen an der Lebensqualität, ist bisher nicht untersucht worden. Zudem besteht in der Fachwelt Uneinigkeit darüber, ob das hohe Alter sowie das Vorliegen einer manifesten Osteoporose einen Einfluss auf die postoperative (Wirbelsäulenoperation) Lebensqualität ausüben. **(Publikation E)**
  
- Nachweis erbringen der Auswirkung und Nutzen eines neuartigen minimal-invasiven Devices zur Reposition und Retention von thorakolumbalen Frakturen. **(Publikation F)**

## Hintergrund und Ergebnisse

### Publikation A

**Linhart C**, Kistler M, Woiczinski M, Neudeck R, Kassube M, Böcker W, Ehrnthaller C.

„Biomechanical comparison of screw vs. cerclage refixation in orthogeriatric lesser trochanteric fractures: a cadaveric study.“

Eur J Trauma Emerg Surg. 2022 Sep 27;. doi: 10.1007/s00068-022-02116-5. [Epub ahead of print] PubMed PMID: 36167986. **(IF 2021 = 2,374)**

Frakturen des proximalen Femurs gehören zu den häufigsten Verletzungen in der orthopädischen Unfallchirurgie. Diese Frakturen treten häufig bei einem Trauma mit geringem Impact auf, z. B. bei einem Stolpersturz, der bei älteren Menschen häufig vorkommt [88, 92]. Der fortschreitende demografische Wandel wird zu einer weiteren Zunahme proximaler Femurfrakturen bei älteren Patienten führen [36]. In Deutschland liegt die Inzidenz für proximale Femurfrakturen bei 90 je 100.000 Einwohnern [7, 8]. Jährlich sind etwa 100.000 Patienten betroffen, wobei die perioperative Mortalität innerhalb des ersten Jahres zwischen 5,7 und 20 % liegt [18, 44, 93]. Ist bei proximalen Femurfrakturen der Trochanter minor betroffen, wird in der Regel von einer fehlenden medialen Abstützung und damit Instabilität der Fraktur ausgegangen. Frühere Analysen haben gezeigt, dass die mediale Kortikalis deutlich wichtiger ist als die laterale Kortikalis, wenn es um die axiale Stabilität des proximalen Femurs geht [57]. Einige Autoren empfehlen die Refixation des Trochanter minor aufgrund einer möglichen Dislokation und einer konsekutiv verminderten Kraft der Hüftbeuger [3, 57]. Dennoch wird die Refixation des Trochanter minor Fragments in der Regel vernachlässigt oder bleibt der Präferenz des Chirurgen überlassen [16, 30, 46]. Ein Goldstandard existiert in diesem Fall nicht. Ziel dieser Studie war es, eine biomechanische Entscheidungsgrundlage für die optimale Wahl der Art der Refixation des Trochanter minor zu liefern, die nach der Implantation einer dynamischen Hüftschraube (DHS) einmal mittels einer Drahtcerclage und einmal mittels einer Schraubenrefixation des Trochanter minor bei orthogeriatrischen Patienten durchgeführt wurde.

Hierzu verwendeten wir zunächst künstliche Knochen (n = 14), welche explizit für biomechanische Versuchsaufbauten konzipiert sind, und testeten die Machbarkeit des geplanten Projektes. Anschließend wurde der Versuchsaufbau mit menschlichen

Knochen von Körperspendern (n = 16) durchgeführt. Beide Gruppen wurden mittels einer dynamischen Hüftschraube (DHS) instrumentiert und das Trochanter minor Fragment wurde entweder durch eine Drahtcerclage oder mittels direkten Schraubenfixierung reponiert (siehe Abbildung 1).

Nach Vorbelastung des simulierten M. iliopsoas mit 10 N (Newton) wurde ein Zugversuch durchgeführt, der entweder mit einem 70-prozentigen Festigkeitsverlust oder einer Dislokation des Fragments endete. Die Mittelwerte der Abrisskraft und der Oberflächendehnung wurden aufgezeichnet.

Alle Zugversuche zeigten keine signifikanten Unterschiede zwischen der Refixation mit einer direkten Schraubenversorgung oder einer Drahtcerclage, sowohl beim künstlichen Knochen als auch bei den Kadavern. Die absoluten Werte zeigten höhere Abrisskräfte nach direkter Schraubenfixierung als nach Refixierung mit einer Drahtcerclage. Die Oberflächenspannung der mit direkter Schraubenfixierung behandelten Proben war geringer als die der mit Drahtcerclage behandelten Knochen. Bei künstlichen Knochen wurde ein gegenteiliger Effekt beobachtet. Beide Effekte sind statistisch nicht signifikant gewesen. Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 2 dargestellt.

Aufgrund der gleichen Stabilität nach der Platzierung einer Zugschraube im Vergleich zur Cerclage-Verdrahtung befürworten wir die Platzierung einer Zugschraube in das Trochanter minor Fragment bei pertrochantären Femurfrakturen, wenn eine dynamische Hüftschraube im orthogeriatrischen Patientengut verwendet wird. Durch die Anwendung dieser Technik kombiniert der Chirurg die biomechanischen Vorteile der Refixation des Trochanter minors mit Erhöhung der Stabilität der primären Osteosynthese ohne Nachteile wie zusätzliche chirurgische Dissektion oder einem erhöhten Blutungsrisiko, wenn eine dynamische Hüftschraube im Vergleich zu einem intramedullären Implantat verwendet wird.

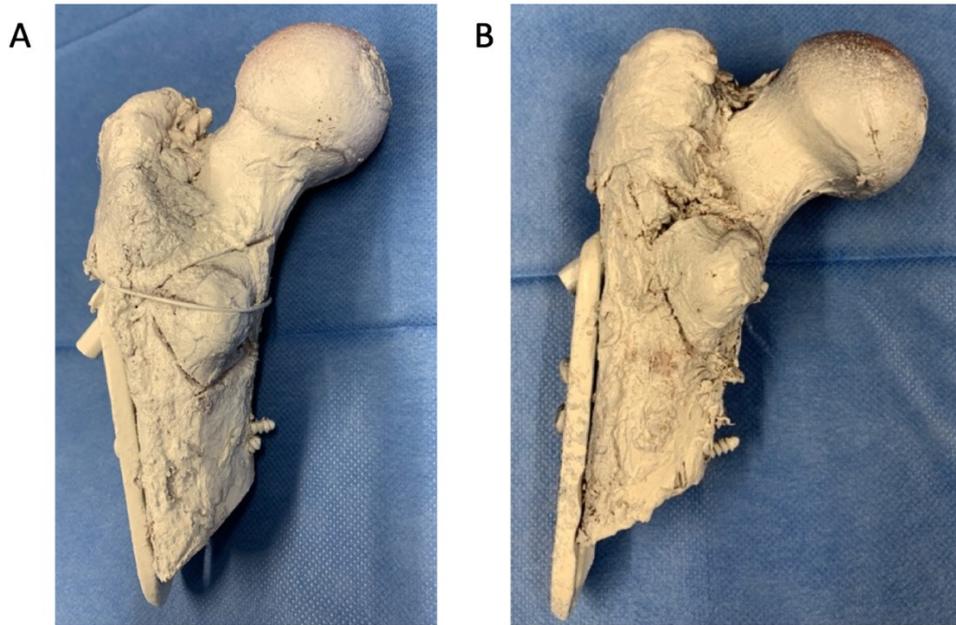


Abbildung 1: Menschlicher proximaler Oberschenkelknochen mit weißer Färbung für das optische Messsystem, instrumentiert mit einer DHS und refixiertem Trochanter minor Fragment A: mit einer Cerclage. B: mit einer Schraube.

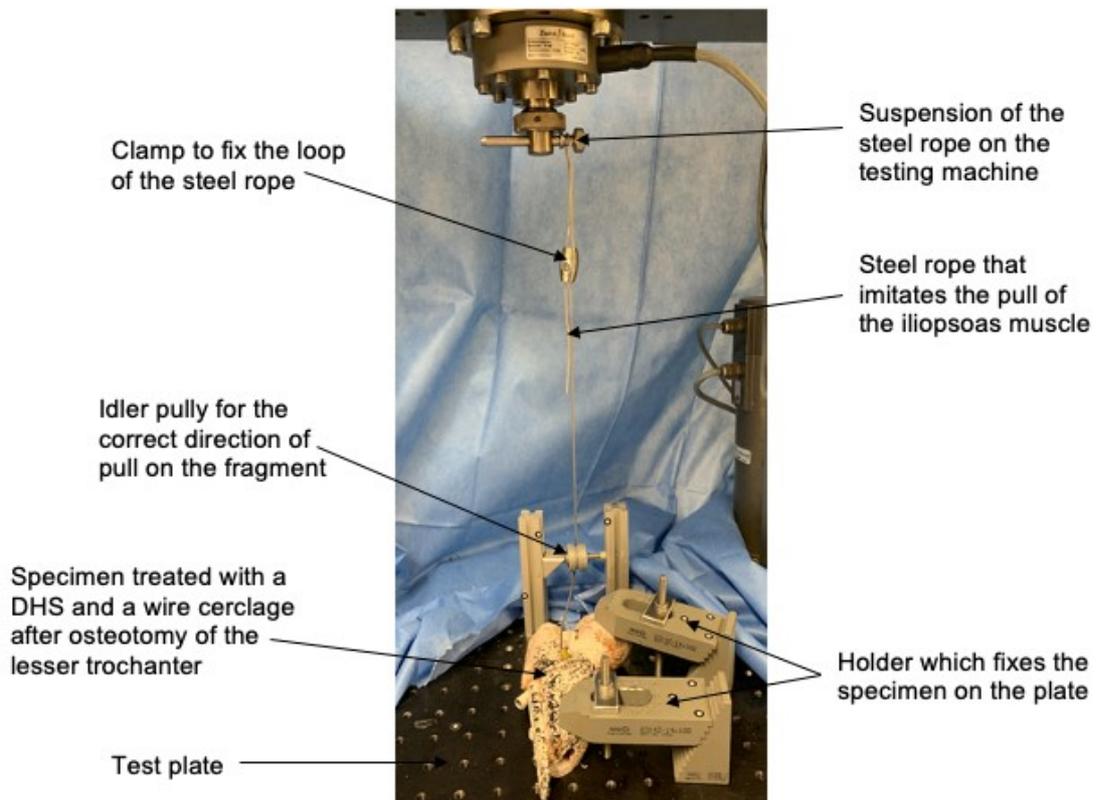


Abbildung 2: Biomechanischer Versuchsaufbau mit eingespanntem proximalem Oberschenkelknochen in der Testmaschine und simuliertem Iliopsoas-Muskel.

## Publikation B

Gleich J, Kußmaul AC, Steiner E, Böcker W, Neuerburg C, **Linhart C.**

„High prevalence of missed information related on bone health in orthogeriatric patients with fragility fractures of the pelvis-an institutional register-based analysis.“  
Osteoporosis Int. 2022 Apr;33(4):901-907. doi: 10.1007/s00198-021-06246-1. Epub 2021 Nov 24. PubMed PMID: 34817618; PubMed Central PMCID: PMC8930908. **(IF 2021 = 5,071)**

Parallel zu den bereits aufgeführten proximalen Femurfrakturen sind die sog. Fragilitätsfrakturen des Beckens (FFP) bei orthogeriatrischen Patienten zunehmend häufiger und werden auch als solche zunehmend erkannt. Die Klassifikation ist Abbildung 3 zu entnehmen, sowie CT-morphologische Beispiele Abbildung 4. Die sekundäre Frakturprävention im Hinblick auf die Bewertung und Behandlung einer zugrundeliegenden Osteoporose oder Osteomalazie wird immer noch häufig vernachlässigt [54].

Ziel dieser, auf einem institutionellen Register basierenden Analyse, war es die Häufigkeit der eingeleiteten diagnostischen Verfahren für die zugrundeliegende Pathologie während des Krankenhausaufenthalts orthogeriatrischer Patienten, die eine FFP erlitten hatten, zu ermitteln, die Prävalenz des Vitamin-D-Mangels bei den untersuchten Patienten zu bewerten und festzustellen, ob vom Frakturtyp abhängige Verteilungsmuster der Serum-25(OH)-Vitamin-D-Spiegel beobachtet werden konnten. Hierzu wurde eine retrospektive Analyse der prospektiv erhobenen Daten unseres institutionellen Registers durchgeführt. Eingeschlossen wurden Patienten im Alter ab 80 Jahren und älter (n = 456), die zwischen 01/2003 und 12/2019 mit einer FFP unser Traumazentrum der Stufe I eingeliefert wurden.

Bei 456 Patienten war FFP-Typ II führend (66,7 %). Bei 37,1 % der Patienten wurde eine Messung des Vitamin-D-Spiegels und bei 21,7 % eine DXA-Messung durchgeführt. Ein Vitamin-D-Mangel wurde bei 62,7 % festgestellt, Indikatoren für eine zugrunde liegende Osteomalazie bei 45,8 % und eine Osteoporose bei 46,5 % der untersuchten Patienten. Obwohl FFP weit verbreitet sind und zunehmen werden, mangelt es immer noch an einer sekundären Frakturprävention, die mit Informationen über die Knochengesundheit beginnt. Bei den untersuchten Patienten wurde eine hohe

Prävalenz des Vitamin-D-Mangels festgestellt, aber es wurde kein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Vitamin-D-Spiegel und der Art der Fraktur beobachtet. Eine kontinuierliche Aufklärung über die unterschiedliche Ätiologie und die spezifische Behandlung dieser Frakturen ist notwendig, da die chirurgische Behandlung vereinheitlicht wurde, die medikamentöse Therapie jedoch weiterhin unterschiedlich ist.

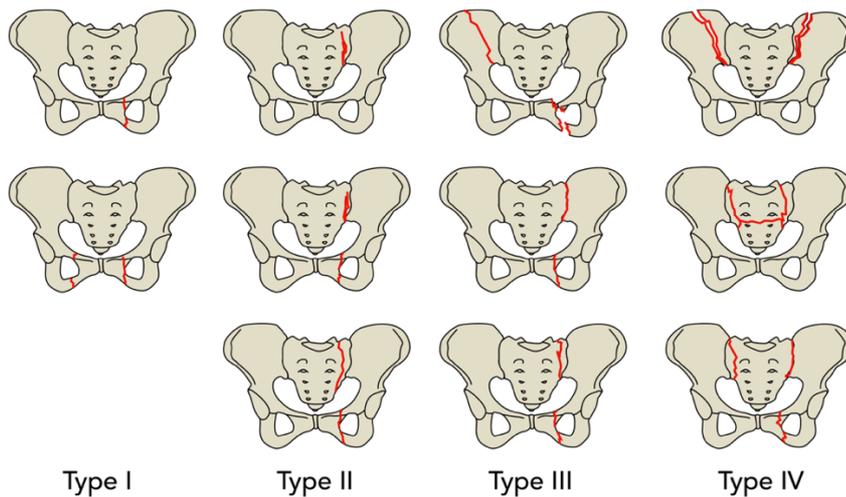


Abbildung 3: Klassifizierung von Fragilitätsfrakturen des Beckens nach Rommens und Hoffmann [74]. FFP Typ I: Nur anteriore Beckenringverletzung. FFP Typ II: Nicht verschobene hintere Beckenringverletzung. FFP Typ III: Vershobene einseitige hintere Beckenringverletzung (bei Typ II und III meist zusätzliche Beeinträchtigung des vorderen Beckenrings). FFP Typ IV: Vershobene bilaterale hintere Beckenringverletzung.

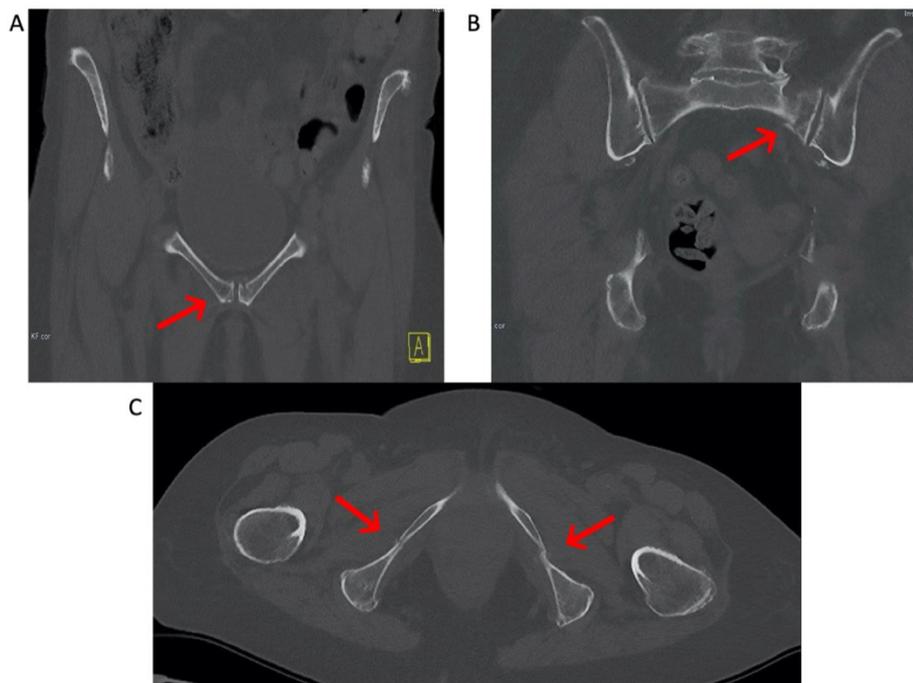


Abbildung 4: CT-Aufnahme eines Patienten (weiblich, 83 Jahre alt) mit einer FFP IIIc Fraktur links (A: koronare Ansicht der oberen Schambeinfraktur; B: koronare Ansicht der Sakralfraktur; C: axiale Ansicht der unteren Schambeinfraktur).

## Publikation C

**Linhart C**, Kistler M, Kussmaul AC, Woiczinski M, Böcker W, Ehrnthaller C.

„Biomechanical stability of short versus long proximal femoral nails in osteoporotic subtrochanteric A3 reverse-oblique femoral fractures: a cadaveric study.“

Arch Orthop Trauma Surg. 2022 Jan 21;. doi: 10.1007/s00402-022-04345-0. [Epub ahead of print] PubMed PMID: 35061084. **(IF 2021 = 2,928)**

Aufgrund des demographischen Wandels hin zu einer älteren Gesellschaft nehmen osteoporosebedingte proximale Femurfrakturen stetig zu. Eine proximale Femurfraktur zu erleiden ist daher für ältere Patienten ein lebensveränderndes Ereignis. Eine anschließende, manchmal dauerhafte Beeinträchtigung der Aktivitäten des täglichen Lebens und der Selbstständigkeit ist häufig, und im ersten Jahr nach der Fraktur können Mortalitätsraten von bis zu 20 % beobachtet werden [18, 93]. Zur operativen Versorgung werden zumeist intramedulläre Nagelosteosynthesen verwendet, welche in verschiedenen Längen erhältlich sind, wobei sich die Anwendungsgebiete dieser überschneiden.

Ziel dieser Studie war es, eine biomechanische Entscheidungsgrundlage für die optimale Wahl des Implantats bei subtrochantären Femurfrakturen zu schaffen, mit der Hypothese, dass die chirurgische Versorgung mit einem kurzen Marknagel bei diesen Frakturen in Abhängigkeit von der Frakturausdehnung an der lateralen Kortikalis möglich ist. Bislang fehlt ein systematischer biomechanischer Vergleich der Stabilität nach langer oder kurzer intramedullärer Nagelosteosynthese von subtrochantären Frakturen. Diese Fragestellung wollten wir in einem biomechanischen Versuchsaufbau beantworten.

Hierzu haben wir zunächst, um eine generelle Machbarkeit der Studie zu beantworten, den Versuchsaufbau an Kunstknochen getestet (siehe Abbildung 5), um ihn im Anschluss an menschlichen Kadaverknochen durchzuführen (siehe Abbildung 6). Ein kurzer PFNA (proximaler Femurnagel Antiration, Fa. DepuySynthes) und ein langer PFNA wurden sowohl in sieben Kunstknochen als auch in osteoporotische menschliche Kadaverknochen implantiert. In die Kadaver und Kunstknochen wurde eine standardisierte AO 31-A3 (reverse-oblique) Fraktur mit einem lateralen Frakturausläufer 2 cm proximal der distalen Verriegelungsschraube (kurzer PFNA) gesetzt und

eingebettet. Der simulierte iliotibiale Traktus wurde mit 50 N vorbelastet. Die Kraft wurde mit 10 mm/min bis zu einer Kraft von 200 - 800 N (künstliche Knochen) und 200 - 400 N (menschliche Kadaver) aufgebracht. Gemessen wurden die Verschiebung des Frakturspalts, die axiale Knochensteifigkeit des Knochenkonstrukts und die Kraftkurve des Tractus iliotalialis.

Hierbei kamen wir zu dem Ergebnis, dass es keinen Unterschied gibt zwischen der Verwendung eines kurzen und eines langen PFNA in Bezug auf die Steifigkeit des Gesamtkonstrukts und nur eine leichte Zunahme der Dislokation im Frakturspalt bei einem kurzen PFNA im Vergleich zu einem langen Marknagel.

In Zusammenschau der verfügbaren Literatur unterstützt die vorliegende Studie die These, dass es keinen klinischen Unterschied zwischen langen und kurzen Nägeln bei A3-Femurfrakturen gibt. Darüber hinaus definiert die vorliegende Studie einen sicheren biomechanischen Bereich der Frakturdistal oberhalb der Verriegelungsschraube des kurzen Marknagels, der im Vergleich zum langen Marknagel gleiche biomechanische Ergebnisse ermöglicht.

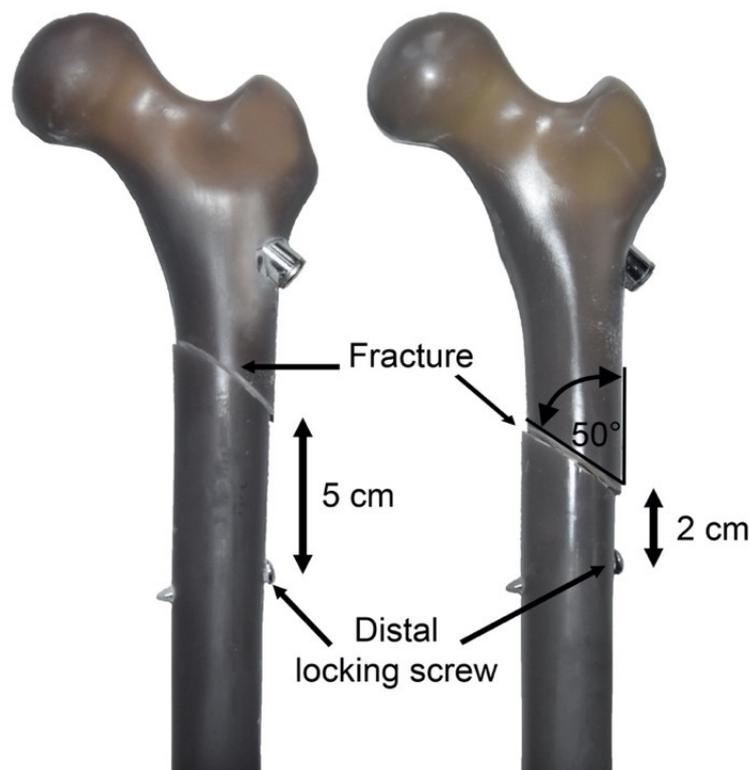


Abbildung 5: Abbildung der biomechanischen Kunstknochen nach der Implantation eines kurzen PFNA und einer "reverse oblique"-Osteotomie an verschiedenen Stellen im künstlichen Knochen.

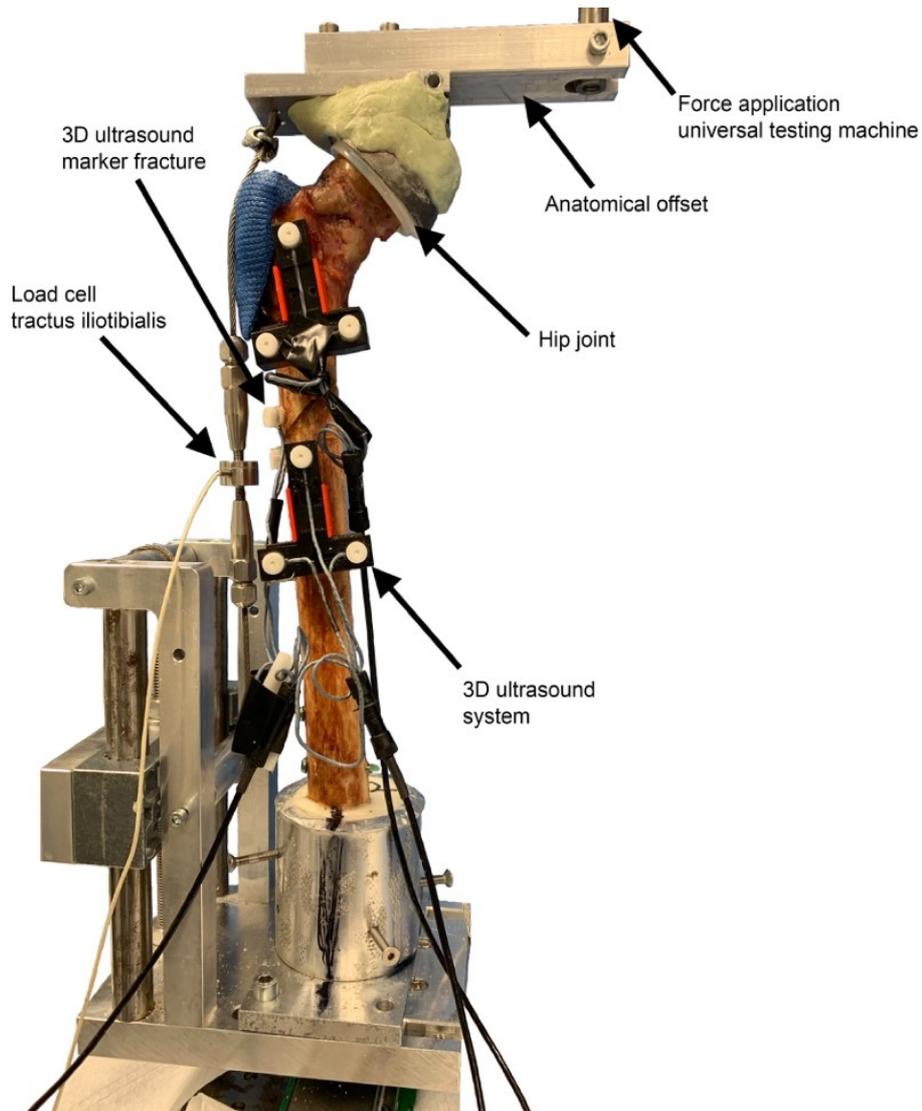


Abbildung 6: Abbildung des biomechanischen Testaufbaus für die Krafteinleitung in der Universalprüfmaschine mit simuliertem Traktur iliotibialis eines Kadavers.

## Publikation D

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

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

Orthop Traumatol Surg Res. 2021Feb;107(1):102745. doi:

10.1016/j.otsr.2020.102745. Epub 2020 Dec 14. PubMed PMID: 33333281.

\* geteilte Erstautorenschaft (**IF 2020 = 2,256**)

Die Versorgung von geriatrischen Acetabulumfrakturen folgt sowohl in der Literatur als auch klinisch keinen klaren Vorgaben [81]. Einige Autoren haben in diesem Patientengut bereits die direkte Implantation einer Hüft-Totalendoprothese mit und ohne additiver Plattenosteosynthese am Acetabulum beschrieben, was im Gegensatz zur Versorgung von Hochrasanztraumata steht, welche primär mittels offener Reposition und interne Fixation mit Platten- und Schraubenosteosynthese operativ versorgt werden [72, 77, 89, 91]. Da ältere Patienten mit Hüftfrakturen in der Regel nicht in der Lage sind die postoperativen Belastungslimitationen einzuhalten, muss die operative Fixierung so stabil wie möglich sein [38]. Daher könnte die primäre Hüfttotalendoprothese bei geriatrischen Patienten ein geeignetes Verfahren sein, da die unzementierte Revisionspfanne mit winkelstabilen Schrauben am intakten Ileum befestigt wird. Dieses Verfahren ermöglicht die sofortige postoperative Vollbelastung und garantiert eine zügige Mobilisation.

Das funktionelle Ergebnis einer Hüfttotalendoprothese mit Hüftrekonstruktionscage bei einer Acetabulumfraktur wurde bei 10 Patienten anhand mehrerer Scoring-Systeme bewertet und im Sinne einer Pilotstudie ausgewertet. Radiologische prä- und postoperative Beispielbilder sind der Abbildung 7 zu entnehmen. Außerdem wurde ein Algorithmus zur Standardisierung der geeigneten Behandlungsoption für geriatrische Patienten entwickelt, welche sich eine Acetabulumfraktur zugezogen haben (Siehe Abbildung 8). Parallel wurde die einschlägige Fachliteratur i.S. einer Literaturübersicht analysiert und ausführlich dargelegt (siehe Abbildung 9).

Im postoperativen Follow-up führten wir ein orthogeriatrisches Assessment durch (Parker Mobility Score, EQ-5D-3L, VAS, Barthelindex). Die Mobilität der geriatrischen

Patienten zeigte sich anhand der angewendeten Scores (Modified Harrison Hip Score, Modified + Merle D'Aubigne, Postel Score) eingeschränkt. Dies verwundert nicht bei Betrachtung der vorherrschenden Komorbiditäten. Die Verwendung einer unzementierten Revisionspfanne für die primäre Endoprothetik bei geriatrischen Patienten mit Acetabulumfrakturen zeigte gute Ergebnisse, bei gleichzeitig erlaubter postoperativer Vollbelastung. Postoperativ zeigten die Patienten in den Follow-up Untersuchungen weiterhin eine gute Schmerzkontrolle. Außerdem zeigt die Literaturübersicht, dass die Implantation einer Hüft-Totalendoprothese Vorteile beim genannten geriatrischen Patientenkollektiv bietet, so dass wir bei Patienten mit dislozierten Acetabulumfrakturen und schlechter Knochenqualität die Durchführung einer Hüft-Totalendoprothese, inklusive spezieller Revisionspfanne, in einem Algorithmus für die Versorgung geriatrischer Acetabulumfrakturen festgelegt haben.



Abbildung 7: 72 Jahre alte Pat., der CT-Scan zum Zeitpunkt des Unfalls zeigt eine anteriore mit posteriorer hemitransversaler Acetabulumfraktur mit Hüftluxation zum inneren Becken mit anschließender operativer Versorgung mittels Abstützpfanne und einer Hüft-Totalendoprothese.

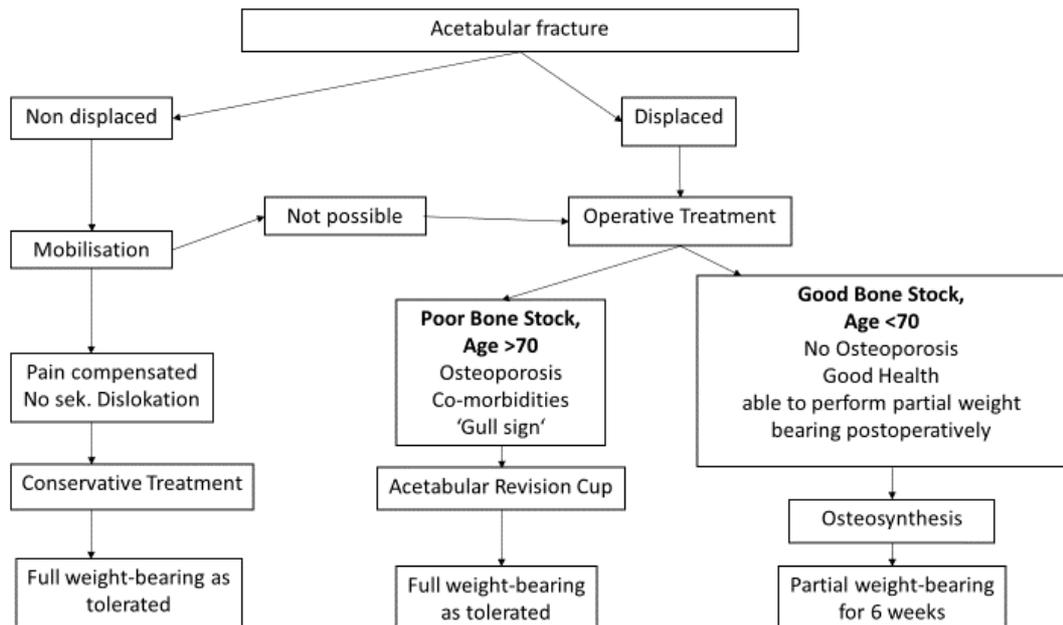


Abbildung 8: Der Behandlungsalgorithmus für geriatrische Patienten mit osteoporotischen Acetabulumfrakturen.

| Author                            | Total number of patients included | Number of patients with primary THA/CHP after acetabular fracture | Mean time of follow-up (month) | Classification of fracture | Mean patient age (date of surgery, THA group) | Dislocation of fracture | Osteoporosis | Comorbidities assessed     | Mean Harris Hip Score   | Merle d'Aubigne and Postel                                |
|-----------------------------------|-----------------------------------|---|--------------------------------|----------------------------|---|-------------------------|--------------|----------------------------|-------------------------|---|
| Ortega-Briones et al. (2017) [12] | 14                                | 14  | 49.0                           | n.a.                       | 77.4  | n.a.                    | Assumed      | n.a.                       | 92.0                    | Excellent – 6<br>Good – 6<br>Fair – 1<br>n.a. – 1<br>n.a. |
| Borg et al. (2019) [13]           | 27                                | 13  | 24.0                           | Letournel                  | 72.2  | Yes                     | n.a.         | ASA Score                  | n.a.                    | n.a.  |
| Boeich et al. (2017) [15]         | 32                                | 9   | n.a.                           | Letournel                  | 79.8  | Yes                     | Yes          | ASA Score                  | n.a.                    | n.a.  |
| Solomon et al. (2015) [23]        | 10                                | 10  | 18.0                           | Letournel                  | 81.0  | Yes                     | Yes          | Charlson Comorbidity Index | n.a.                    | n.a.  |
| Weaver et al. (2018) [17]         | 70                                | 37  | 22.0                           | Letournel                  | 79.0  | Yes                     | Assumed      | n.a.                       | 82.0                    | n.a.  |
| Giunta et al. (2019) [18]         | 27                                | 27  | 48.0                           | Letournel                  | 68.5  | n.a.                    | Assumed      | ASA Score                  | 70.4                    | 14.3  |
| Salama et al. (2017) [19]         | 18                                | 18  | 21.7                           | Letournel                  | 66.0  | Yes                     | Assumed      | n.a.                       | 93.0                    | n.a.  |
| Lont et al. (2019) [20]           | 59                                | 34  | 16.8                           | Letournel                  | 71.0  | Yes                     | Assumed      | Charlson Comorbidity Index | n.a. (Oxford Hip Score) | n.a.  |
| McMahon et al. (2017) [21]        | 5                                 | 5   | 15.0                           | Letournel                  | 75.0  | Yes                     | Assumed      | Yes, detailed              | n.a.                    | n.a.  |
| Resch et al. (2017) [26]          | 30                                | 30 (25 primary acetabular fractures)                              | 6.0 (24 patients, other: LoF)  | Letournel                  | 79.9  | Yes                     | Yes          | ASA Score                  | n.a.                    | n.a.  |
| Manson et al. (2016) [14]         | n.a.                              | 20  | n.a.                           | Letournel, AO              | > 60.0  | Yes                     | n.a.         | n.a.                       | n.a.                    | n.a.  |

THA: total hip arthroplasty; CHP: combined hip procedure; n.a.: not available; LoF: loss of follow-up.

Abbildung 9: Merkmale der durchgeführten Literaturrecherche

## Publikation E

**Linhart C**, Neuwieser D, Kussmaul AC, Degen N, Greiner A, Kammerlander C, Suero EM.

„Effect of angular correction during posterior instrumentation of spinal fractures on postoperative outcomes and quality of life.“

Technol Health Care. 2022;30(6):1417-1422. doi: 10.3233/THC-213616. PubMed PMID: 35661032. **(IF 2021 = 1,205)**

Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule sind häufige Verletzungen mit einer Inzidenz in der Gesamtbevölkerung von 64 pro 100.000 Einwohnern [35, 71]. Thorakolumbale Frakturen können sowohl durch ein Hochrasanztrauma bei jüngeren Patienten als auch durch sog. Bagateltraumata mit niedriger Energie bei geriatrischen Patienten und bei Patienten mit Osteoporose auftreten [26]. Die dorsale Instrumentation mit Pedikelschrauben und Stäben ist die am häufigsten angewandte Technik zur Behandlung thorakolumbalen Frakturen der Wirbelsäule. Das Verfahren zielt auf die Wiederherstellung der neurologischen und biomechanischen Funktionen der Wirbelsäule ab und ermöglicht eine frühzeitige Mobilisierung und schnelle Wiedereingliederung in die Gesellschaft [43, 85]. Es ist bisher unklar, ob das Ausmaß der Korrektur einen Einfluss auf die postoperativen Ergebnisse hat und ob das hohe Alter oder eine manifeste Osteoporose die postoperative Lebensqualität beeinflussen.

Wir analysierten die prä- und postoperativen Röntgenbilder von 52 Patienten, bei denen perkutane Pedikelschrauben zur Behandlung thorakolumbalen Frakturen eingesetzt wurden, sowie die von ihnen selbst angegebenen Werte für Lebensqualität, Schmerzen und funktionelle Ergebnisse (EQ5D-3L und COMI). Es wurden Regressionsmodelle erstellt, um den Einfluss des Ausmaßes der Cobb-Winkel-Korrektur auf die postoperativen Ergebnisse zu ermitteln. Außerdem untersuchten wir die Korrelation zwischen dem EQ5D-3L und den COMI-Werten, sowie den möglichen Einfluss einer zugrundeliegenden Osteoporose.

Der mediane EQ5D-3L TTO-Score lag bei 0,9 (Bereich -0,1 bis 1). Der Median des COMI-Scores lag bei 3,1 (Spanne von 0 bis 10). Es gab keine signifikante Auswirkung des Ausmaßes der Korrektur auf die EQ5d-3L-TTO-Werte ( $p =$

0,3379;  $R = 0,36$ ) oder auf die COMI-Werte ( $p = 0,3379$ ;  $R = 0,15$ ). Alter und Knochenmineraldichte (Osteoporose) erwiesen sich nicht als signifikante Prädiktoren für das Ergebnis ( $p = 0,05$ ). Es bestand eine starke Korrelation zwischen dem EQ5D-3L TTO und den COMI-Werten ( $r = -0,62$ ) (siehe Abbildung 11).

Das Ausmaß der Cobb-Winkelkorrektur (siehe Abbildung 10) während der Pedikelschrauben-Instrumentation thorakolumbalen Frakturen hatte keinen Einfluss auf die Lebensqualität, die Schmerzen oder die Funktionsergebnisse postoperativ. Es bestand eine gute Korrelation zwischen den EQ5D-3L TTO-Scores und den COMI-Scores.



Abbildung 10: Messung des bisegmentalen Cobb-Winkels zwischen der Grundplatte des kaudalen Wirbelkörpers und der Deckplatte des kranialen Wirbelkörpers in Bezug auf den verletzten Wirbelkörper prä- (links) und postoperativ (rechts) in einem CT-Scan.

|                | <i>Dependent variable:</i> |                     |
|----------------|----------------------------|---------------------|
|                | EQ5D-3L TTO                | COMI-Score          |
|                | (1)                        | (2)                 |
| Correction     | -0.010<br>(0.012)          | 0.156<br>(0.154)    |
| Age<br>(years) | -0.015<br>(0.008)          | 0.057<br>(0.108)    |
| BMD<br>(HU)    | -0.003<br>(0.002)          | 0.006<br>(0.031)    |
| Age *<br>BMD   | 0.0001<br>(0.00004)        | -0.0003<br>(0.0005) |
| Constant       | 1.708**<br>(0.600)         | 0.435<br>(7.935)    |
| R <sup>2</sup> | 0.319                      | 0.148               |

*Note:* \*p<0.05; \*\*p<0.01; \*\*\*p<0.001

*Abbildung 11: Berechnung der EQ5D-3L TTO-Scores und COMI-Scores in Abhängigkeit von der Größe der sagittalen Korrektur, dem Alter und der Knochenmineraldichte.*

**Linhart C**, Becker CA, Befrui N, Suero EM, Kussmaul AC, Böcker W, Kammerlander C, Greiner A.

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

In Vivo. 2022 Jan-Feb;36(1):384-390. doi: 10.21873/invivo.12715. PubMed PMID: 34972739; PubMed Central PMCID: PMC8765129. **(IF 2021 = 2,406)**

Obwohl Frakturen des thorakolumbalen Übergangs der Wirbelsäule nach traumatischen Verletzungen, vor allem der Osteoporose assoziiert, häufig vorkommen, ist die optimale Behandlungsoption nach wie vor umstritten [82, 99, 102]. In den letzten Jahren haben Methoden und Systeme zur minimalinvasiven Fixierung in der Wirbelsäulenchirurgie einen Aufschwung erlebt. Diese Techniken versprechen eine schnellere Rehabilitation, eine geringere Infektionsrate und einen geringeren intraoperativen Blutverlust sowie eine schnellere postoperative Mobilisierung aufgrund geringerer Schmerzen im Vergleich zu den traditionellen offen-chirurgischen Behandlungsalternativen [1, 94, 97]. Da eine geschlossene Reposition komplexer Frakturen nicht immer möglich ist, bleiben die traditionellen offen-chirurgischen Methoden ein wesentlicher Bestandteil des Standardrepertoires des Unfallchirurgen.

Minimal-invasive technische Entwicklungen könnten zu ähnlichen radiologischen Ergebnissen führen, während die damit verbundenen Komplikationen vermieden werden. Wir haben die radiologischen und perioperativen Ergebnisse bei thorakolumbalen Frakturen unter Verwendung eines neuartigen minimal-invasiven Devices (NForce, Fa. Medtronic) untersucht.

Hierzu wurden 26 Patienten mit 29 thorakolumbalen Frakturen, bei denen das NForce-Device eingesetzt wurde, analysiert (siehe Abbildung 12). Die postoperative Reposition und Ausrichtung wurden durch radiologische Messung des lokalen Kyphosewinkels (LKA) bis zu einer Nachbeobachtungszeit von 9 Monaten beurteilt.

Die postoperative Bildgebung ergab eine durchschnittliche Reduktion der traumatischen Kyphose von  $8,25^\circ (\pm 7,72^\circ)$  mit einem durchschnittlichen postoperativen LKA von  $3,24^\circ (\pm 8,97^\circ)$ . Der höchste Grad der Reduktion betrug  $27,39^\circ$ . Die mittlere LKA stieg auf  $5,08^\circ (\pm 5,17^\circ)$  nach 3 Monaten postoperativ,  $5,43^\circ (\pm 4,32^\circ)$  nach 6 Monaten und  $6,21^\circ (\pm 3,82^\circ)$  nach 9 Monaten.

Unsere Ergebnisse zeigen, dass das minimal-invasive NForce-System bei der perkutanen Reposition von thorakolumbalen Wirbelsäulenfrakturen wirksam ist, um

Winkelkorrekturen und postoperative Stabilität zu erreichen. Das System bietet eine Alternative zu offenen chirurgischen Verfahren, die das Weichteiltrauma und die damit verbundenen Komplikationen verringern könnte.

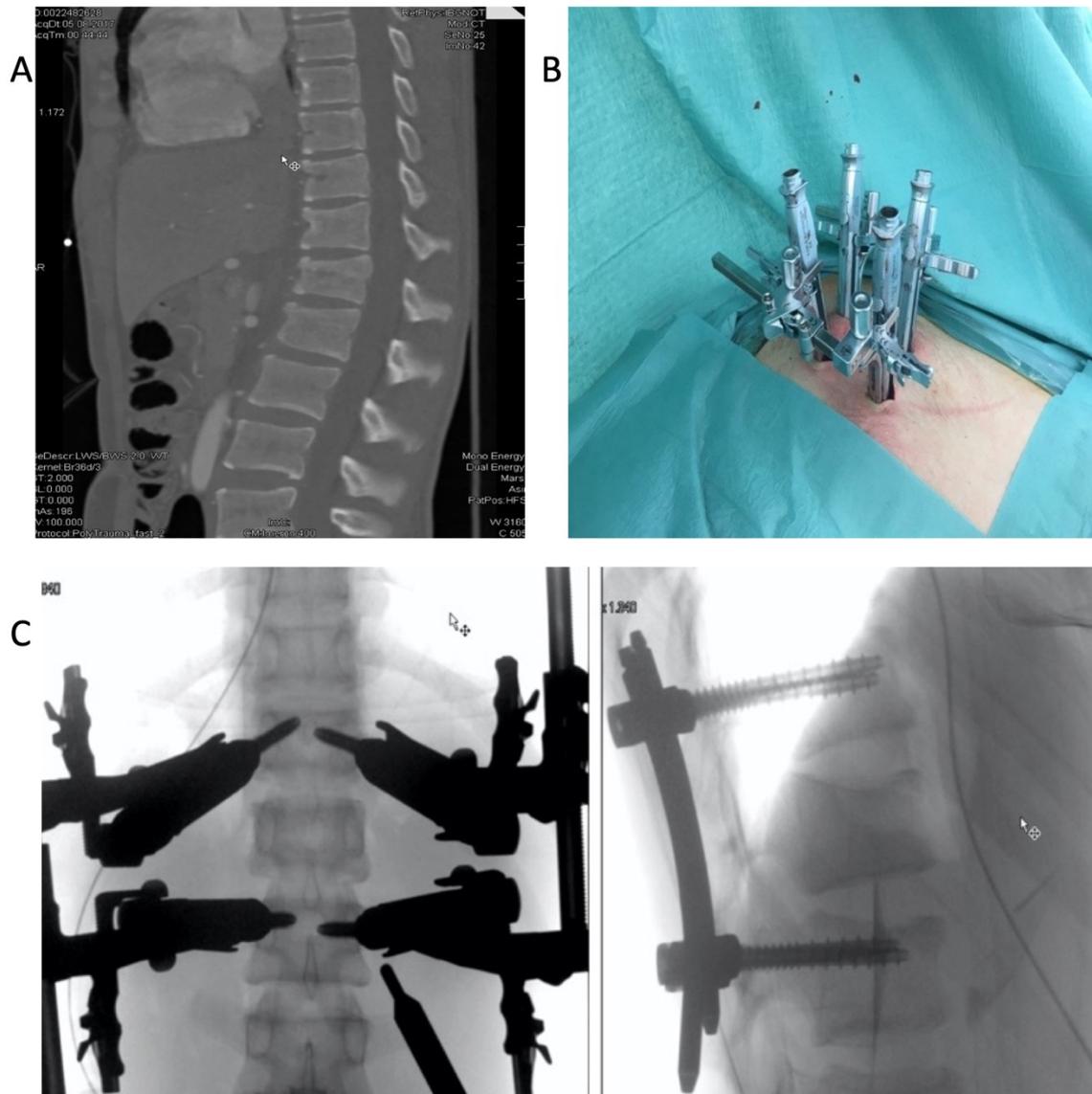


Figure 12: Abbildung eines 2001 geborenen Pat: (A) zeigt eine Fraktur des L1-Wirbelkörpers. (B) intraoperativer Einsatz des NForce-Systems: Repositionsvorrichtung für die minimalinvasive perkutane dorsale Instrumentation. (C) intraoperative Durchleuchtungsdarstellung der Anwendung des NForce-Gerätes. Das Ausmaß der Korrektur wird durch den doppelten Ratsch-Mechanismus erreicht.

## Diskussion

### Publikation A

**Linhart C**, Kistler M, Woiczinski M, Neudeck R, Kassube M, Böcker W, Ehrnthaller C.

„Biomechanical comparison of screw vs. cerclage refixation in orthogeriatric lesser trochanteric fractures: a cadaveric study.“

Eur J Trauma Emerg Surg. 2022 Sep 27; . doi: 10.1007/s00068-022-02116-5. [Epub ahead of print] PubMed PMID: 36167986. **(IF 2021 = 2,374)**

In dieser Studie sollte die biomechanische Stabilität von zwei verschiedenen Fixationsmethoden zur Refixation eines Trochanter-Minor-Fragments bei pertrochantären Frakturen in der orthogeriatrischen Population untersucht werden. Dazu wurde ein biomechanischer Testaufbau mit schrittweise ansteigender Belastung durchgeführt. Dabei wurden sowohl der Spannungsverlust als auch die Dislokation des Trochanterfragments erfasst. Wir konnten die erste biomechanische Analyse verschiedener Fixationsmethoden zur Refixation des Trochanter minors bei pertrochantären Femurfrakturen liefern. Es konnte gezeigt werden, dass die Platzierung einer Zugschraube durch das Plattenloch der dynamischen Hüftschraube (DHS) eine gleichwertige Stabilisierung des Trochanterfragments erreicht als die Verwendung einer Drahtcerclage.

Obwohl allgemein anerkannt ist, dass eine posteromediale Instabilität einen erheblichen Einfluss auf die Stabilität nach einer Osteosynthese haben kann, wird eine Refixation des Trochanter minor bisher nicht allgemein empfohlen [16, 30, 46]. Die Bedeutung des Trochanter minor Fragments für die Stabilität des proximalen Femurs wurde bereits durch Finite-Elemente-Studien hervorgehoben, die zeigten, dass die Belastung der Implantatoberfläche mit medialer Instabilität zunimmt, und durch eine andere Studie, die eine allmähliche Abnahme der Stabilität mit zunehmender Größe eines Trochanter minor Fragments zeigte [16, 20].

Erste biomechanische Studien konnten eine erhöhte Primärstabilität nach Cerclage-Verdrahtung des Trochanter minor Fragments bei osteoporotischen pertrochantären Frakturen nach intramedullärer Osteosynthese nachweisen [21]. Konsekutive Studien zeigten ähnliche Ergebnisse hinsichtlich der Stabilität mit einer modifizierten Candy-

Package-Cerclagetechnik, bei der zwei Cerclage-Drähte oberhalb und unterhalb der Spitze des Trochanter minor platziert wurden [78].

Die Ergebnisse der letztgenannten Studien korrelieren eindeutig mit den Ergebnissen der oben erwähnten Finite-Elemente-Studien, die die Theorie einer positiven Rolle der Refixation des Trochanter minor Fragments unterstützen.

Abgesehen davon, dass ein eindeutiger Beweis für die positiven Auswirkungen einer chirurgischen Refixation des Trochanter minor in der klinischen Anwendung fehlt, wurden erste klinische Indikatoren von Chang et al. genannt, der die röntgenologische mediale kortikale Unterstützung nach Fixation von pertrochantären Frakturen untersuchte. Die Arbeitsgruppe konnte zeigen, dass Patienten mit reponierter medialer Kortikalis den geringsten Verlust des Hals-Schaft-Winkels und der Halslänge aufwiesen, viel früher wieder gehen konnten, gute funktionelle Ergebnisse zeigten und weniger Hüft-Oberschenkel-Schmerzen auftraten als Patienten ohne Reposition [14].

Diese Ergebnisse wurden durch Studien bestätigt, die eine Korrelation zwischen der Hüftbeugekraft und der Dislokation des Trochanter minor [3] sowie Studien über eine symptomatische Kompression lokaler Nerven und Gefäße durch ein disloziertes Trochanter minor Fragment zeigten [58].

Kontroverse Daten wurden von Liu et al. in einer retrospektiven Analyse von 85 intertrochantären, intramedullär stabilisierten Frakturen veröffentlicht [48]. Hinsichtlich der postoperativen Komplikationen und des funktionellen Ergebnisses konnten die Autoren keine signifikanten Unterschiede zwischen Patienten mit und ohne ein zusätzliches disloziertes Trochanter minor Fragment feststellen. Einschränkungen der Studie sind in der nicht standardisierten Größe des Trochanter minor Fragments sowie dem Gesundheitszustand des Patientenkollektivs (62 % ASA I/ II) ohne Hinweise auf eine zugrunde liegende Osteoporose zu sehen. Da bekannt ist, dass die Größe des Trochanter minor Fragments die mechanische Stabilität signifikant verändert und die mechanische Instabilität bei jungen und gesunden Patienten durch das Fehlen einer Osteoporose kompensiert werden kann, sind diese Ergebnisse mit Vorsicht zu interpretieren [16].

Die Diskussion eines möglichen Nutzens der Reposition des Trochanter minor muss immer mit dem Hintergrund gesehen werden, dass die Reposition mit einem

zusätzlichen chirurgischen Trauma, das mit diesem Verfahren verbunden ist, und den biomechanischen Vorteilen einer Refixation vergesellschaftet sind.

Mögliche Komplikationen einer chirurgischen Refixation des Trochanter minor, wie z. B. ein erhöhtes Risiko von Blutungen, Infektionen und Einklemmungen von Gefäßen/Nerven, müssen bei der Erwägung dieser Art von Operationstechnik berücksichtigt werden.

Die dynamische Hüftschraube hat den zusätzlichen Vorteil, dass ein Schraubenloch gegenüber dem Trochanter minor Fragment für die Platzierung einer Zugschraube zur Refixierung des Trochanter minors genutzt werden kann.

Obwohl heutzutage viele Chirurgen intramedulläre Kraftträger aufgrund ihres minimalinvasiven, zeitsparenden Ansatzes sowie der theoretisch besseren biomechanischen intramedullären Lastverteilung bevorzugen ist die dynamische Hüftschraube weltweit immer noch das am häufigsten verwendete Implantat für die Behandlung proximaler Femurfrakturen [28]. Eine Überlegenheit eines der Verfahren gegenüber dem anderen konnte bisher nicht eindeutig nachgewiesen werden [22].

Daher könnte eine Verbesserung der Versorgungsqualität in diesem Kollektiv große Auswirkungen auf die Patientenversorgung und die sozioökonomischen Folgen haben. Wenn wir nun unsere Ergebnisse, einer gleichwertigen Stabilität nach Zugschraubenosteosynthese im Vergleich zur Drahtcerclage mit dem reduzierten Risikoprofil für eine Refixation des Trochanter minor bei Verwendung der dynamischen Hüftschraube vergleichen, dann sollte dies Anlass sein, das eigene operative Vorgehen zu überdenken.

Mögliche Einschränkungen der Studie ergeben sich aus der klinischen Übertragbarkeit unserer biomechanischen Ergebnisse. Auch nach erfolgreicher Refixation des Trochanter minor würde immer wieder Zug auf das Trochanter minor Fragment durch den M. iliopsoas ausgeübt werden, was letztlich zu einer Dislokation des Fragments nach Lockerung des Cerclagedrahtes führen könnte. Außerdem könnten wiederholte Gangzyklen ebenfalls zu einer Lockerung der Cerclagedrähte führen, wobei der positive Effekt der Refixation des Trochanter minor nur vorübergehend wäre. Unsere Körperspender wurden nach orthogeriatriischen Kriterien ausgewählt (weiblich, über 75 Jahre alt, nur gematchte Paare verwendet) um ein repräsentatives Kollektiv zu generieren. Diese Kriterien spiegeln am besten die orthogeriatriische Realität und die

tägliche Routine in Notaufnahmen wider. Die Stärken der Studie sind die reproduzierbaren Frakturmuster und die standardisierte Vermessung der Dislokation. Nach den Vorversuchen an Kunstknochen wurde diese Studie ausschließlich an menschlichen Oberschenkelknochen durchgeführt, was ein wesentlich realistischere Versuchsaufbau darstellt als zahlreiche veröffentlichte Studien, die nur an Kunstknochen durchgeführt wurden.

## Publikation B

Gleich J, Kußmaul AC, Steiner E, Böcker W, Neuerburg C, **Linhart C.**

„High prevalence of missed information related on bone health in orthogeriatric patients with fragility fractures of the pelvis-an institutional register-based analysis.“  
Osteoporosis Int. 2022 Apr;33(4):901-907. doi: 10.1007/s00198-021-06246-1. Epub 2021 Nov 24. PubMed PMID: 34817618; PubMed Central PMCID: PMC8930908. **(IF 2021 = 5,071)**

Fragilitätsfrakturen des Beckens (FFP) werden bei älteren erwachsenen traumatologischen Patienten in den nächsten Jahren an Bedeutung gewinnen, da sie zu Immobilität und einem Rückgang der Selbstständigkeit führen. Neben bekannten orthogeriatrischen Frakturmustern wie proximalen Femur- oder Humerusfrakturen wird der FFP immer noch zu wenig Aufmerksamkeit geschenkt. In der vorliegenden registerbasierten Analyse stellten wir die Hypothese auf, dass es immer noch an einer adäquaten Bewertung von Patienten mit FFP mangelt, dass bei den untersuchten Patienten ein Vitamin-D-Mangel und eine daraus resultierende Osteoporose oder Osteomalazie vorherrschen und dass der Vitamin-D-Spiegel mit verschiedenen Frakturmustern korrelieren kann.

Das erste zentrale Ergebnis zeigt, dass der Entstehung von Fragilitätsfrakturen während des stationären Aufenthalts nur wenig Aufmerksamkeit geschenkt wurde. Die geringe Anzahl von Patienten, die auf Vitamin-D-Mangel gescreent und/oder mittels DXA-Messung untersucht wurden, ist ebenfalls üblich und aus anderen Studien bekannt. Smith et al. stellten in einer aktuellen Kohortenübersicht dar, dass bei 947 Patienten mit Beckenfrakturen 90,8 % nie eine DXA-Untersuchung (vor und nach der Fraktur) und 67,3 % nie eine medikamentöse Behandlung gegen Osteoporose während ihres Studienzeitraums erhielten [83]. In Anbetracht der eingangs erwähnten Zunahme der geriatrischen Bevölkerung und der damit verbundenen Zunahme von Fragilitätsfrakturen ist die Verbesserung dieses diagnostischen Mangels für die sekundäre Frakturprävention von größter Bedeutung. Bereits bestehende Programme wie ein Fracture Liaison Service müssen daher weiterentwickelt und verbreitet werden [100].

Bei unseren untersuchten Patienten wurde eine hohe Prävalenz des Vitamin-D-Mangels festgestellt. Bei 62,7 % der Patienten, die während ihres stationären Aufenthalts durch Labormessungen auf einen Vitamin-D-Mangel untersucht wurden, wurde ein Serum-25(OH)-Vitamin-D-Spiegel  $< 20$  ng/ml festgestellt. Dies deckt sich mit früheren Ergebnissen von Maier et al., die bei 79 % ihrer FFP-Patienten einen Vitamin-D-Mangel feststellten und Vitamin-D-Mangel und Osteoporose als Risikofaktoren für Beckeninsuffizienzfrakturen identifizierten [22]. Die DXA-Messung bescheinigte eine zugrunde liegende Osteoporose (T-Score  $< -2,5$ ) bei 10,1 % aller Patienten / 46,5 % der untersuchten Patienten, was auch mit diesen früheren Ergebnissen übereinstimmt. Neben der Osteoporose muss auch die Osteomalazie als Ursache für Fragilitätsfrakturen des Beckens in Betracht gezogen werden, wird aber in den meisten Fällen vernachlässigt oder als Osteoporose fehldiagnostiziert. Da nur Patienten im Alter von 80 Jahren und älter eingeschlossen wurden, unterscheidet sich die vorliegende Studie von bereits vorhandener Literatur, in der in der Regel eine jüngere Kohorte mit einer geringeren Prävalenz von Osteomalazie untersucht wurde [83]. Da Fragilität, Gebrechlichkeit, Sarkopenie und nachfolgende Osteomalazie mit zunehmendem Alter zunehmen, ist dies eine große Stärke der vorliegenden Studie, da die am stärksten gefährdete Kohorte angemessen vertreten ist. Die Labormessungen ergaben bei allen weiblichen Patienten bzw. bei 45,8 % aller Patienten erhöhte Werte der alkalischen Phosphatase, was auf eine zugrunde liegende oder gleichzeitig bestehende Osteomalazie schließen lässt. Da bei allen Patienten und FFP-Typen normale Kalzium- und Phosphatasewerte im Serum festgestellt wurden, wurde keine endgültige Diagnose einer Osteomalazie gestellt. Diese Laborwerte mögen für die chirurgische Behandlung irrelevant erscheinen, sind aber für die Wahl der richtigen medikamentösen Therapie entscheidend. Beim Vitamin-D-Mangel-Typ der Osteomalazie ist eine hochdosierte Vitamin-D-Supplementierung wichtig, so wie bei der Osteoporose auf die anfängliche Vitamin-D-Supplementierung eine spezifische Therapie nach der Frakturheilung folgt (z. B. eine antiresorptive Hormon- oder Bisphosphonattherapie). Wird Osteoporose in Koexistenz mit Osteomalazie diagnostiziert, wird zunächst die Behandlung der Osteomalazie abgeschlossen, bevor das Frakturrisiko der Osteoporose neu bewertet und gegebenenfalls eine spezifische Behandlung eingeleitet wird.

Die beobachtete Verteilung der Frakturmuster stimmt mit den Ergebnissen von Rommens und Hoffmann sowie von Krappinger et al. überein, mit einem größeren Anteil an FFP Typ II (66,7 % in der vorliegenden Studie vs. 51,8 % Rommens / 64,0 % Krappinger) [45, 74]. Soweit wir wissen, ist dies die erste Studie, die den Serum-25(OH)-Vitamin-D-Spiegel mit spezifischen Frakturmustern vergleicht und die verschiedenen Ursachen von FFP anhand von Labor- und Instrumentenmessungen bewertet. Frakturen vom Typ IV mit dem höchsten Grad an Instabilität wiesen den höchsten Serum 25(OH)-Vitamin D-Spiegel auf. Dies ist kontraintuitiv und steht im Gegensatz zu den Ergebnissen der DXA-Scans, bei denen ein Trend zu zunehmend negativen T-Werten bei höheren Instabilitätsgraden zu erkennen war. Frakturen des Typs IV wiesen den niedrigsten T-Score auf, und in allen diesen Fällen wurde das Vorliegen einer zugrunde liegenden Osteoporose bestätigt, und auch Indikatoren für eine gleichzeitig bestehende Osteomalazie waren bei diesen Patienten vorhanden. Da darüber hinaus keine Korrelation zwischen dem Vitamin-D-Spiegel und dem Frakturmuster festgestellt wurde, scheint der spezifische Wert für die Entwicklung eines bestimmten Frakturusters weniger relevant zu sein als ein niedriger Serum-25(OH)-Vitamin-D-Spiegel an sich.

Einige Einschränkungen müssen berücksichtigt werden: Aufgrund der geringen Anzahl von Patienten, die anhand von Laboruntersuchungen und DXA-Scans auf eine zugrunde liegende Osteoporose untersucht wurden, könnten die gewonnenen Daten verzerrt sein, da die Werte einer Gruppe von Frakturmustern unverhältnismäßig stark vertreten sein könnten. Auch die Bewertung von Indikatoren für eine zugrundeliegende Osteomalazie basierte nur auf Labormessungen, eine Überprüfung wurde nicht durchgeführt (z. B. durch eine Knochenbiopsie des Beckenkamms), daher konnte eine Koexistenz von Osteomalazie und Osteoporose nicht endgültig ausgeschlossen werden. Um die erfahrenen Unterschiede zwischen den einzelnen Frakturmustern weiter zu evaluieren, wäre die Hinzunahme einer Kontrollgruppe von Vorteil gewesen, da die Studienpopulation nur aus Patienten besteht, die eine FFP nach einem Trauma erlitten haben, und eine retrospektive Analyse durchgeführt wurde, war die Definition dieser Kontrollgruppe nicht machbar.

## Publikation C

**Linhart C**, Kistler M, Kussmaul AC, Woiczinski M, Böcker W, Ehrnthaller C.

„Biomechanical stability of short versus long proximal femoral nails in osteoporotic subtrochanteric A3 reverse-oblique femoral fractures: a cadaveric study.“

Arch Orthop Trauma Surg. 2022 Jan 21;. doi: 10.1007/s00402-022-04345-0. [Epub ahead of print] PubMed PMID: 35061084. **(IF 2021 = 2,928)**

Hauptanliegen dieser Studie war der erstmalige Nachweis einer biomechanischen Entscheidungsgrundlage für die Stabilisierung von proximalen subtrochantären, reverse-obliquen A3-Femurfrakturen unter Verwendung einer intramedullären Frakturversorgung.

Wir konnten zeigen, dass es bei der Verwendung eines kurzen gegenüber einem langen proximalen Femurnagels (PFNA) keinen Unterschied in Bezug auf die Steifigkeit des Gesamtkonstrukts gibt und dass die Beweglichkeit im Frakturspalt mit einem kurzen PFNA im Vergleich zur Behandlung mit einem langen intramedullären Kraftträger nur um einen geringen Millimeter zunimmt. Obwohl statistisch signifikant, bleibt die klinische Relevanz einer Zunahme der Frakturspaltverschiebung bei kurzen PFNA im Vergleich zu langen PFNA unter einem Millimeter fraglich.

Bislang gibt es wenig oder gar keine Evidenz zu subtrochantären, reverse-obliquen Femurfrakturen und damit auch keine Anleitung, welcher Osteosyntheseform der Vorzug gegeben werden sollte [9, 19, 33, 40].

Daher ist es gängige Praxis, auch bei subtrochantären Frakturen, die nur mit einer geringen Dislokation und Frakturausdehnung einhergehen, einen langen intramedullären Kraftträger zu bevorzugen, um eine ausreichende Stabilität zu erreichen.

Während die offene Reposition und die Verwendung eines langen Femurmarknagels bei schweren Dislokationen, langen Spiral- und Segmentfrakturen, die bis in die Diaphyse reichen, unumgänglich ist, stellt sich die Frage, wie bei weniger stark dislozierten Frakturen ohne große Trümmerzone und eine Ausdehnung über die Verriegelungsschraube eines kurzen Marknagels vorzugehen ist.

Die Frage nach dem chirurgischen Vorgehen ist bei weitem nicht nur eine technische Frage, denn die Verwendung eines kurzen proximalen Femurmarknagels unterscheidet

sich in vielen Aspekten deutlich von der eines langen Marknagels. Erstens erfordert die Verwendung eines langen Marknagels in der Regel ein Aufbohren des femoralen Markraums, damit der lange Marknagel eine ausreichende Stabilität aufweist und sicher durch den Isthmus des Femurs geführt werden kann, wobei das Risiko für Femurschaftfrakturen minimiert wird. Es ist bekannt, dass das Aufbohren des Markraums allein in der Lage ist, eine systemische Entzündungsreaktion auszulösen, mit dem Risiko der Entwicklung eines systemischen Entzündungssyndroms als Folge eines „second hit“ im Hinblick auf das Prinzip der „damage control“ [41, 63]. Darüber hinaus wird die Verwendung eines langen Marknagels häufig mit einer offenen Reposition und Drahtcerclagen der Hauptfragmente kombiniert. Als Folge der größeren Inzisionen steigt der Blutverlust zusammen mit der Operationsdauer und der Durchleuchtungszeit [9, 19, 33, 40]. Darüber hinaus birgt die offene Reposition das Risiko einer Verletzung von Gefäß- und Nervenstrukturen auf der medialen Seite des Oberschenkels. Erst kürzlich wurde in einem geriatrischen Patientenkollektiv gezeigt, dass sich mit zunehmender Instabilität proximaler Femurfrakturen das klinische Ergebnis in Bezug auf die funktionellen Ergebnisse, das Rehabilitationspotenzial, den Verlust des Selbstversorgungspotenzials und letztlich die Mortalität verschlechtert [25]. Obwohl nicht klar ist, welcher Teil des schlechten Ergebnisses frakturspezifisch und welcher pflegeabhängig ist, ist es offensichtlich, dass insbesondere ältere, multimorbide Patienten von einem möglichst schonenden chirurgischen Verfahren profitieren.

In mehreren Studien, in denen ein Mobilitätsmonitoring eingesetzt wurde, hat sich gezeigt, dass die frühe Mobilisierung zu den wichtigsten Faktoren gehört, die das Ergebnis bei ortho-geriatrischen Patienten beeinflussen [64]. Eine optimierte chirurgische Behandlung, bei der auf unnötige lange proximale Femurimplantate verzichtet wird, könnte daher zu einer schnelleren Frühmobilisierung aufgrund geringerer postoperativer Schmerzen führen und letztlich das langfristige Ergebnis verbessern. Daraus wird ersichtlich, dass die Entscheidung für ein langes intramedulläres Implantat sorgfältig auf der Grundlage wissenschaftlicher Daten getroffen werden sollte.

Leider gibt es nicht viele Studien zu diesem Thema, die dem behandelnden Chirurgen bei der Entscheidungsfindung helfen können. Zwar gibt es keine klinischen Vorteile in Bezug auf Stabilität, Heilungszeit und Komplikationen von langen gegenüber kurzen

Nägeln bei pertrochantären Frakturen, aber ein erhöhter Blutverlust und eine längere Operationsdauer für lange Nägel sind hier nachgewiesen worden [9, 33].

Für A3-Frakturen ist die wissenschaftliche Evidenz noch geringer. Den Autoren ist nur eine klinische Studie bekannt, in der kurze und lange Nägel bei reverse-obliquen A3-Frakturen verglichen wurden. Hier konnten bei keinem der untersuchten Parameter signifikante Unterschiede zwischen langen und kurzen Nägeln festgestellt werden [61]. Leider war die Fallzahl sehr gering, was die Aussagekraft dieser Studie einschränkt. Eine weitere Einschränkung ist, dass keine Untersuchung der Ausdehnung der Fraktur in Richtung Isthmus durchgeführt wurde.

Passend zu den Ergebnissen der oben erwähnten klinischen Studie konnte auch eine Meta-Analyse zur Frage, ob bei proximalen Femurfrakturen am besten kurze oder lange Marknägel verwendet werden sollten, keinen signifikanten Vorteil langer Nägel zeigen [60].

Unsere Studie weist sowohl Stärken als auch Schwächen auf. Eine Einschränkung besteht darin, dass die Studie an einem Körperspender (Kadaver) ohne Weichteilgewebe durchgeführt wurde und die Frakturen durch Sägeblätter konfektioniert wurden, was im klinischen Umfeld nicht der Fall ist. Diese Methode gewährleistet jedoch die Reproduzierbarkeit der Frakturmuster bei verschiedenen Proben, was für die genaue Untersuchung der Hypothese dieser Studie von entscheidender Bedeutung ist. Die relativ kleine Stichprobengröße ist ein Nachteil, der auf der begrenzten Verfügbarkeit frischer, gefrorener menschlicher Oberschenkelknochen beruht und mit dem Umfang früherer Studien vergleichbar ist. Die Stärken der Studie sind die reproduzierbaren Frakturmuster und die standardisierte Messung der Dislokation. Darüber hinaus wurde diese Studie nach den Vorversuchen an künstlichen Knochen ausschließlich an menschlichen Knochen durchgeführt, was eine wesentlich realistischere Versuchsanordnung darstellt als zahlreiche veröffentlichte Studien, die nur an künstlichen Knochen durchgeführt wurden.

## Publikation D

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

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

Orthop Traumatol Surg Res. 2021Feb;107(1):102745. doi:

10.1016/j.otsr.2020.102745. Epub 2020 Dec 14. PubMed PMID: 33333281.

\* geteilte Erstautorenschaft (**IF 2020 = 2,256**)

In der vorliegenden Studie wurde die Verwendung einer unzementierten Revisionspfanne bei geriatrischen Patienten untersucht, die eine Acetabulumfraktur erlitten hatten, die mit einer primären Hüftendoprothese behandelt wurden. Andere Studien mit Antiprotrusions-Cages bei Acetabulumfrakturen zeigten gute postoperative Ergebnisse [84, 89]. Die Hauptvorteile dieses Systems sind, dass der modulare Aufbau und die verstellbare Pfanne eine Revision auch nach der endgültigen Fixierung ermöglichen. Darüber hinaus können durch zementfreie Implantationstechniken zementbedingte Komplikationen wie Knochenzellnekrosen oder eine verzögerte Revaskularisierung vermieden werden [87]. Wenn eine Revision erforderlich ist, erschwert Knochenzement die Entfernung, während eine zementfreie Revisionspfanne das Risiko einer Knochenschädigung verringert [72].

In einer Übersichtsarbeit von Makridis 2014 konnte gezeigt werden, dass eine konservative Therapie bei nicht dislozierten Frakturen durchgeführt werden kann [52]. Dies wurde auch durch unsere Literaturanalyse bestätigt [50, 53, 55]. Bei verschobenen Frakturen sollte eine operative Behandlung durchgeführt werden. Laut Literaturrecherche stellen Osteoporose, Dom-Impaktion, Gull-Zeichen und schlechte Knochenqualität eine Indikation zur Hüftprothese (HTEP) dar [4, 24, 50, 53, 75]. Patienten über 70 Jahre sollten ebenfalls mit einer HTEP behandelt werden, da die klinischen Ergebnisse besser sind und eine Vollbelastung möglich ist, was eine frühere Mobilisierung ermöglicht [4, 12, 50, 53, 55, 62, 72, 84, 98]. Bei Patienten, die älter als 70 Jahre sind und mit einer Plattenosteosynthese (ORIF) behandelt werden, ist die Rate der Umstellung auf eine Hüfttotalendoprothese hoch. Weaver et al. berichteten, dass 21 % der Patienten innerhalb von zwei Jahren nach der ORIF eine HTEP erhielten, wobei die

ORIF mit einer Reoperationsrate von 30 % verbunden war [98]. Boelch et al. berichteten über eine Umstellungsrate von ORIF auf HTEP von 45 % [4].

Unsere Literaturrecherche hat gezeigt, dass die HTEP eine praktikable Option für geriatrische Acetabulumfrakturen ist. Vor allem Patienten über 70 Jahre profitieren von der HTEP [4, 12, 50, 53, 62, 72, 84, 98]. Die HTEP kann auch gleichzeitig mit der ORIF durchgeführt werden, wodurch eine stabile Konstruktion für geriatrische Patienten entsteht [12, 50, 62, 75]. Die Verwendung einer Hüftrevisionspfanne oder THA + ORIF konnte in der Literatur nicht als überlegene Behandlungsoption nachgewiesen werden. In unserer Studie wurden alle Patienten im Rahmen eines orthogeriatrischen Co-Management-Systems überwacht. Im Vergleich zu anderen Studien, welche die Behandlung von Acetabulumfrakturen untersuchten, beobachteten wir eine längere LOS (Mittelwert: 20,7d) [42, 65, 96]. Der Vergleich der LOS hat jedoch nur eine sehr begrenzte Aussagekraft, da sie zwischen den verschiedenen Gesundheitssystemen stark variiert [15]. In Bezug auf die Wohnsituation vor und nach der Operation vermuten Weingarten et al., dass eine verlängerte LOS einen Wechsel von zu Hause in ein Pflegeheim wahrscheinlicher machen könnte. Wir haben diesen Wohnortwechsel bei zwei der Patienten beobachtet. Da jedoch keine Daten zu den Gründen für diesen Schritt vorlagen, kann keine Korrelation bestätigt werden.

Die durchschnittliche Dauer des Krankenhausaufenthalts bis zur Operation betrug in unserer Studie  $5 \pm 2$  Tage, was im Einklang mit früheren Studienberichten steht [65, 72]. Die durchschnittliche Dauer des Eingriffs ( $3,7 \pm 1$ h) ist etwas länger als die von Resch et al. bei Verwendung einer zementierten Vorrichtung berichtete. Die Unterschiede könnten auf unsere eher kleine Stichprobengröße ( $n=10$  vs.  $n=30$ ) zurückzuführen sein, wobei sich Ausreißerwerte stärker auswirken [72].

Bei den Scores zur Bewertung der Hüftfunktion (HHS, MMH-, AP-, MAP-Score) und dem PM-Score erzielten die Patienten nur mittelmäßige Ergebnisse. Im Gegensatz dazu kann die Bewertung des EQ-5D-3L und des Barthel-Index als zufriedenstellend angesehen werden. Ein Grund dafür könnte sein, dass die Anforderungen an die Mobilität bei diesen Scores geringer sind. Beim Barthel-Index kann z. B. das beste Ergebnis für die Bewegung noch erreicht werden, wenn ein Patient auf Gehhilfen angewiesen ist, während sich der HHS-, MMH-, AP-, MAP-Score zwischen der Art der Gehhilfen und einem ausgezeichneten Ergebnis kann nur ohne Hilfsmittel erreicht werden.

Wir stellen die Hypothese auf, dass Komorbiditäten und das Auftreten medizinischer Komplikationen während des Krankenhausaufenthalts einen signifikanten Einfluss auf die Parameter des orthogeriatriischen Co-Managements haben könnten. Daher müssen die Ergebnisse des HHS-, MMH-, AP-, MAP- und des PM-Scores im Kontext interpretiert werden, da 90 % unserer Patienten vier oder mehr Komorbiditäten aufwiesen.

Da die Werte des Gesamtscores durch Komorbiditäten verzerrt sein könnten, wurden die Parameter für Schmerz und Mobilität getrennt analysiert. Für beide Parameter konnten wir gute bis sehr gute Ergebnisse feststellen. Wir interpretieren diese Ergebnisse als ein positives Ergebnis der Behandlung, da nur die Gelenkfunktion der betroffenen Hüfte bewertet wird, nicht aber der körperliche Gesamtzustand des Patienten.

Dennoch muss die relativ geringe Anzahl der untersuchten Patienten als die wichtigste Einschränkung dieser Studie angesehen werden. Dies ist ebenso wie die vergleichsweise kurze Nachbeobachtungszeit darauf zurückzuführen, dass die Studienpopulation aus älteren Traumapatienten besteht, was die Nachbeobachtung erheblich erschwert im Gegensatz zu anderen, jüngeren, Studienpopulationen. Außerdem stellt diese Studie nur einen ersten Versuch zur Etablierung einer neuen Behandlungsoption in der Alterstraumatologie dar, welcher bereits erfolgreich auf diversen internationalen Kongressen vorgetragen werden konnte.

## Publikation E

**Linhart C**, Neuwieser D, Kussmaul AC, Degen N, Greiner A, Kammerlander C, Suero EM.

„Effect of angular correction during posterior instrumentation of spinal fractures on postoperative outcomes and quality of life.“

Technol Health Care. 2022;30(6):1417-1422. doi: 10.3233/THC-213616. PubMed PMID: 35661032. **(IF 2021 = 1,205)**

In der vorliegenden Studie haben wir die Auswirkungen des Ausmaßes der sagittalen Winkelkorrektur auf die postoperativen Ergebnisse nach dorsaler Wirbelsäuleninstrumentierung bei Wirbelkörperfrakturen untersucht. Wir fanden keine Hinweise darauf, dass das Ausmaß der Korrektur die Lebensqualität, gemessen mit dem EQ5D-3L TTO-Instrument, oder Schmerzen und Funktion, gemessen mit dem COMI-Instrument, beeinflusst. Wir fanden auch keinen signifikanten Zusammenhang zwischen Alter oder Knochenmineraldichte und den EQ5d-3L TTO- oder COMI-Werten.

Wir untersuchten auch die Beziehung zwischen den EQ5D-3L TTO-Werten und den COMI-Werten und fanden eine mäßige bis starke Korrelation zwischen ihnen. Obwohl die Scores einen gewissen Zusammenhang widerspiegeln, war eine perfekte Korrelation nicht zu erwarten, da der COMI-Score zusätzliche Informationen über den Patienten liefern soll, wie z. B. Schmerzen und Funktionsstatus.

Es gibt einige Einschränkungen bei dieser Untersuchung. Erstens birgt der retrospektive Charakter der Studie inhärente Nachteile, die mit dem Studiendesign einhergehen. Zweitens war die Zahl derer, die auf unsere Umfrage geantwortet haben, relativ gering. In Anbetracht der bekannten Schwierigkeit, Traumapatienten nachzubehandeln, und des Mangels an veröffentlichten Daten über die Ergebnisse des COMI-Scores nach der Instrumentation von Wirbelsäulenfrakturen liefern die Ergebnisse der Studie jedoch wichtige Informationen über die Ergebnisse nach der operativen Behandlung von Wirbelsäulenfrakturen und bieten eine Grundlage für die künftige klinische Versorgung und Forschung. Der Stichprobenumfang ist auch vergleichsweise höher als bei den wenigen ähnlichen Studien, die über Ergebnisse nach Wirbelsäulenfrakturen berichten [49].

Ein wichtiges Ergebnis dieser Studie war, dass die Knochenmineraldichte kein signifikanter Prädiktor für das Ergebnis war. Obwohl man erwarten würde, dass Patienten mit Osteoporose eine schlechtere Lebensqualität, Schmerzen und funktionelle Ergebnisse haben, war dies in dieser Studie nicht der Fall. Obwohl es schwierig ist, dieses Phänomen genau zu erklären, ist es möglich, dass moderne Frakturfixationsimplantate und die Wahl der Zementaugmentation dem Konstrukt genügend Stabilität verleihen und damit die potenziell schädlichen Auswirkungen einer schlechten Knochenqualität verringern. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, dass in unserer Einrichtung Patienten mit bekannter Osteoporose zum Zeitpunkt der Operation eine Osteoporosebehandlung eingeleitet wird, die eine Vitamin-D-Supplementierung und möglicherweise Bisphosphonate oder andere Medikation umfasst. Die positiven Auswirkungen einer Osteoporosebehandlung auf die Behandlungsergebnisse wurden bereits früher beschrieben und sollten auch weiterhin ein Hauptbestandteil der Behandlung sein, insbesondere bei Frauen und geriatrischen Patienten [56, 79].

## Publikation F

**Linhart C**, Becker CA, Befrui N, Suero EM, Kussmaul AC, Böcker W, Kammerlander C, Greiner A.

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

In Vivo. 2022 Jan-Feb;36(1):384-390. doi: 10.21873/invivo.12715. PubMed PMID: 34972739; PubMed Central PMCID: PMC8765129. **(IF 2021 = 2,406)**

In den letzten Jahrzehnten hat sich in der Chirurgie ein Übergang von offenen zu minimalinvasiven chirurgischen Verfahren vollzogen, da diese nachweislich einen geringeren intraoperativen Blutverlust, einen kürzeren Krankenhausaufenthalt, geringere Schmerzwerte und eine schnellere Mobilisierung ermöglichen [17, 34, 51, 68]. Während in vielen medizinischen Bereichen wie der Allgemein- und Thoraxchirurgie, der Urologie, der Gynäkologie, der Orthopädie und der Unfallchirurgie der Extremitäten inzwischen eine Vielzahl minimal-invasiver chirurgischer Techniken angewandt wird, waren für die Reposition von Wirbelsäulenfrakturen in der Regel offene chirurgische Verfahren erforderlich, die mit einem erheblichen operativen Trauma verbunden waren. Das NForce-System verspricht, diese Lücke zu schließen, indem es die perkutane Reposition und dorsale Instrumentierung von Wirbelsäulenfrakturen ermöglicht. In der aktuellen Studie haben wir eine radiologische Analyse von Fällen durchgeführt, in denen eine Reposition von Wirbelsäulenfrakturen mit dem NForce-Repositionstool durchgeführt wurde.

Wir fanden heraus, dass der postoperative Status der Wirbelsäulenausrichtung und der lokalen Kyphose, der nach der perkutanen Reposition von Wirbelsäulenfrakturen ermittelt wurde, dem der traditionellen offenen Reposition bei posteriorer Instrumentation entsprach. In unserer Studie wurde in der unmittelbaren postoperativen Röntgenaufnahme der Wirbelsäule eine durchschnittliche LKA von 3,24° ( $\pm 8,97^\circ$ ) festgestellt, mit einer durchschnittlichen Reduktion der traumatischen Kyphose von 8,25° ( $\pm 7,72^\circ$ ). In einer systematischen Übersicht über die postoperativen Ergebnisse nach thorakolumbalen Frakturstabilisierung, die von Verlaan et al. durchgeführt wurde, wurde ein identischer durchschnittlicher Cobb-Winkel von 1,1° nach traditioneller offener Reposition und kurzer posteriorer Instrumentierung ermittelt, mit einer etwas höheren durchschnittlichen Winkelkorrektur von 12,8° [95].

Bei der postoperativen Nachkontrolle zeigte sich eine leichte Progression der lokalen Kyphose von durchschnittlich bis zu  $3^\circ$  nach 9 Monaten postoperativ. Dies ist ein positiver Vergleich zu früheren Untersuchungen, die einen durchschnittlichen Korrekturverlust von  $7,6^\circ$  12 Monate oder mehr nach einer traditionellen offenen Reposition bei kurzer dorsaler Segmentierung zeigten. Bei einer langen posterioren Segmentierung (mehr als 2 Segmente) und kombinierten anterioren und posterioren Stabilisierungstechniken wurde ein durchschnittlicher Korrekturverlust von  $10^\circ$  festgestellt [95]. In einem Fall, der in unserer Studie beobachtet wurde, machten ein erheblicher postoperativer Korrekturverlust und eine Zunahme der lokalen Kyphose nach einer NForce-Reposition und einer kurzsegmentalen posterioren Stabilisierung einen Korrekturingriff mittels einer erweiterten posterioren Stabilisierung erforderlich. Diese Ergebnisse zeigen, dass mit einer perkutanen Repositionsmethode nahezu identische Ergebnisse in Bezug auf das Ausmaß der Winkelkorrektur und die postoperative Stabilität erzielt werden können. Beim Vergleich der postoperativen Stabilität verschiedener Repositionstechniken und Stabilisierungssysteme müssen jedoch auch die Unterschiede in den Komponenten und technischen Konfigurationen berücksichtigt werden. Ein Beispiel ist der kleinere Durchmesser der 5,5 mm Verbindungsstäbe des Longitude II Systems, die in Verbindung mit dem NForce Repositionsinstrument verwendet werden, im Vergleich zu den 6 mm Stäben, die in Systemen wie dem Universal Spine System (USS, Synthes, PA, USA) verwendet werden. Ein klarer Vorteil des NForce-Systems ist die Möglichkeit der minimalinvasiven Anwendung. Aufgrund des relativ komplexen Designs der NForce-Repositionsvorrichtung im Vergleich zur offenen monoaxialen Frakturversorgung ist der Zeitaufwand für die chirurgische Behandlung spürbar erhöht, nimmt aber auf der anderen Seite durch die Erfahrung mit der Vorrichtung wieder ab. Zudem ist es schwierig, eine definierte Kraft abzuschätzen und im Bereich der lordotischen Lendenwirbelsäule stößt man durch störende Kollisionen der Systemkomponenten leicht an die Grenzen der möglichen Reposition. Neben klinischen Studien sollten auch Versuchsaufbauten mit biomechanischen Stabilitätstests an finiten Elementen eine Rolle spielen, um die durch das Repositionsmanöver wirkenden Kräfte unter Verwendung eines neuen Repositionssystems an der Wirbelsäule besser zu verstehen [32]. Obwohl klinische Patientendaten wie die Schmerzintensität, die Mobilität und die

Dauer des Krankenhausaufenthalts nach einer Frakturreposition mit dem NForce-System noch untersucht werden müssen, können solche klinischen Vorteile bei der Wahl einer weniger invasiven und traumatischen Operationsmethode erwartet werden. Trotz der begrenzten Fallzahl und des begrenzten Zeitraums unserer Studie erwiesen sich die Röntgenergebnisse nach der perkutanen Reposition von Wirbelsäulenfrakturen als vielversprechend und gleichwertig mit denen, die nach der traditionellen offenen Frakturreposition beobachtet wurden.

## Zusammenfassung

Weltweit ist die Volkskrankheit Osteoporose die häufigste systemische Skeletterkrankung. In ihren Folgen hat sie erheblichen Einfluss auf die Lebensqualität der Betroffenen, aber auch auf die Morbidität und Mortalität. Seit Jahren stehen ein standardisiertes diagnostisches Vorgehen und Therapieempfehlungen mittels deutschsprachiger und auch internationaler (S3-)Leitlinien zur Verfügung, welche größtenteils im klinischen Alltag nicht allumfassend beachtet und umgesetzt werden. Osteoporose ist die häufigste Erkrankung, die für 95 % der Frakturen bei älteren Patienten verantwortlich ist, die zur Behandlung von Frakturen ins Krankenhaus eingeliefert werden mit stetig steigender Inzidenz.

In diesem Zusammenhang haben wir klinische und biomechanische Analysen durchgeführt, um die folgenden expliziten Fragestellungen zu adressieren bei Frakturen am Stammskelett. Das Stammskelett beinhaltet Frakturentitäten des Beckens, der Hüfte, des proximalen Femurs und der Wirbelsäule unter besonderer Beleuchtung und Herausforderung der osteoporotischen Frakturversorgung und postoperativen zügigen Mobilisation unter erlaubter schmerzlimitierender Vollbelastung.

Somit haben wir in der **Publikation A** die biomechanische Stabilität von zwei verschiedenen Fixationsmethoden (Cerclage vs. Schraube) zur Refixation eines Trochanter-Minor-Fragments bei pertrochantären Frakturen an osteoporotischen Kadaverknochen untersucht. Hierzu verwendeten wir künstliche (n = 14) (Anzahl), sowie menschliche Knochen (n = 16), welche wir mit einer Dynamischen Hüftschraube instrumentierten (DHS), das Trochanter-Minor-Fragment wurde durch eine Cerclage-Verdrahtung oder direkte Schraubenfixierung reponiert. Nach einer Vorbelastung des simulierten M. Iliopsoas mit 10 N wurde ein biomechanischer Zugversuch durchgeführt, der entweder mit einem 70 % Festigkeitsverlust oder einer vollständigen Dislokation des Fragments endete. Die Mittelwerte der Abrisskraft und der Oberflächendehnung wurden aufgezeichnet. Alle Zugversuche zeigten keine signifikanten Unterschiede zwischen der Refixation mit einer direkten Schraube oder einer Drahtcerclage, sowohl bei künstlichen Knochen als auch bei den Kadavern. Die absoluten Werte zeigten höhere Abrisskräfte nach direkter Schraubenfixierung als nach Refixierung mit einer

Drahtcerclage. Die Oberflächenspannung der mit direkter Schraubenfixierung behandelten Proben war geringer als die der mit Drahtcerclage behandelten Proben. Bei künstlichen Knochen wurde ein gegenteiliger Effekt beobachtet. Beide Effekte waren statistisch nicht signifikant. Aufgrund der gleichen Stabilität nach der Platzierung einer Zugschraube im Vergleich zu einer Drahtcerclage befürworten wir die Platzierung einer Zugschraube in das Fragment des Trochanter minors bei pertrochantären Femurfrakturen bei Verwendung einer dynamischen Hüftschraube.

Die Fragilitätsfrakturen des Beckens (FFP) sind bei orthogeriatrischen Patienten häufig. Sekundäre Frakturprävention in Bezug auf die Bewertung und Behandlung einer zugrundeliegenden Osteoporose oder Osteomalazie wird aber immer noch häufig vernachlässigt. Das Ziel der **Publikation B** war es zu untersuchen, wie viele Informationen über die Knochengesundheit älterer erwachsener FFP-Patienten fehlen und wie häufig ein Vitamin-D-Mangel bei den untersuchten Patienten vorliegt. Zudem haben wir untersucht, ob ein frakturabhängiges Verteilungsmuster beobachtet werden kann. Es wurde eine retrospektive Analyse der prospektiv erhobenen Daten unseres institutionellen Registers durchgeführt. Patienten im Alter von 80 Jahre und älter (n = 456), die zwischen 01/2003 und 12/2019 mit einer FFP in einem Traumazentrum der Stufe I eingeliefert wurden, wurden eingeschlossen. Wir konnten 456 Patienten einschließen, bei denen war die FFP Typ II führend (66,7 %). Bei 37,1 % der Patienten wurde eine Diagnostik durchgeführt hinsichtlich Messung des Vitamin-D-Spiegels und bei 21,7 % der Patienten eine DXA-Messung durchgeführt. Ein Vitamin-D-Mangel wurde bei 62,7 % festgestellt. Indikatoren für eine zugrundeliegende Osteomalazie bei 45,8 % und eine Osteoporose bei 46,5 % der untersuchten Patienten. Obwohl FFPs weit verbreitet sind und zunehmen werden, mangelt es immer noch an sekundärer Frakturprävention, angefangen bei Informationen über die Knochengesundheit. Bei den untersuchten Patienten war eine hohe Prävalenz von Vitamin-D-Mangel festzustellen, aber kein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Vitamin-D-Spiegel und der Art der Frakturen. Kontinuierliche Untersuchungen über unterschiedliche Ätiologie und die spezifische Behandlung dieser Frakturen ist notwendig, da die chirurgische Behandlung sich einheitlich zeigte, die medikamentöse Therapie jedoch weiterhin unterschiedlich ist.

Die osteoporosebedingten proximalen Femurfrakturen nehmen stetig zu, somit haben wir uns in der **Publikation C** den pertrochantären Femurfrakturen zugewandt und deren operativen Versorgungsmöglichkeiten bei osteoporotischen Frakturen untersucht. Intramedulläre Nagelosteosynthesen sind in verschiedenen Längen erhältlich, wobei sich die Anwendungsgebiete überschneiden und stellen den Goldstandard bei pertrochantären Femurfrakturen dar. Ziel dieser Studie war es zu untersuchen, ob auch subtrochantäre Frakturen mit einem kurzen femoralen Marknagel an osteoporotischen Kadaverknochen stabil versorgt werden können. Ein kurzer proximaler Femurnagel Antiration (PFNA) und ein langer PFNA wurden sowohl in sieben Kunstknochen als auch in osteoporotische menschliche Kadaver implantiert. In die Proben wurde eine standardisierte AO 31-A3 (reverse-oblique) Fraktur mit einem lateralen Frakturausläufer von 2 cm proximal der distalen Verriegelungsschraube (kurzer PFNA) gesetzt und eingebettet. Der simulierte iliotibiale Traktus wurde mit 50 N vorbelastet. Die Kraft wurde mit 10 mm/min bis zu einer Kraft von 200 - 800 N (künstliche Knochen) und 200 - 400 N (menschliche Kadaver) aufgebracht. Gemessen wurde die Verschiebung des Frakturspalts, die axiale Knochensteifigkeit des Knochenkonstrukts und die Kraftkurve des Tractus iliotibialis. In den Ergebnissen gibt es keinen Unterschied zwischen der Verwendung eines kurzen und eines langen PFNA in Bezug auf die Steifigkeit des Gesamtkonstrukts und nur eine leichte Zunahme der Dislokation im Frakturspalt bei einem kurzen PFNA im Vergleich zu einem langen Marknagel. Somit unterstützt unsere Studie unter Würdigung der verfügbaren Literatur die These, dass es keinen klinischen Unterschied zwischen langen und kurzen Nägeln bei A3-Femurfrakturen gibt. Darüber hinaus definiert die vorliegende Studie einen sicheren biomechanischen Bereich der Frakturextension oberhalb der Verriegelungsschraube des kurzen Marknagels.

Ältere Patienten mit Hüftfrakturen sind in der Regel nicht in der Lage die postoperativen Belastungslimitierungen einzuhalten. Daher muss das gewählte Implantat so stabil wie möglich sein. Ziel der **Publikation D** war es festzustellen, ob ein therapeutischer Vorteil bei der Behandlung von Acetabulumfrakturen bei geriatrischen Patienten erzielt werden kann und ob eine Hüftgelenkpfanne geeignet ist, um eine schnelle postoperative Mobilisierung unter Vollbelastung zu erreichen. Zudem, versucht die Frage zu klären,

wann eine Behandlung mit einer unzementierten Hüftgelenkpfanne zur primären Fixierung osteoporotischer Acetabulumfrakturen bei geriatrischen Patienten indiziert ist. Das funktionelle Ergebnis einer HTEP mit einer Rekonstruktionspfanne bei einer Acetabulumfraktur wurde bei zehn Patienten anhand standardisierter Bewertungsinstrumente bewertet. Darüber hinaus wurde eine Analyse der vorhandenen Literatur zum totalen Hüftgelenkersatz bei geriatrischen Acetabulumfrakturen durchgeführt und ein Algorithmus zur Standardisierung des Behandlungsansatzes für geriatrische Patienten mit Acetabulumfrakturen entwickelt. Die primäre Hüftendoprothetik unter Verwendung einer unzementierten, mit winkelstabilen Schrauben fixierten Revisionspfanne, zeigte gute Ergebnisse und ist eine praktikable Behandlungsoption für Acetabulumfrakturen bei geriatrischen Patienten. Der Ansatz ist insbesondere bei Patienten mit geringer Knochenqualität vorteilhaft und ermöglicht eine postoperative Vollbelastung. Der vorgestellte Behandlungsalgorithmus könnte ein nützliches Instrument zur Ermittlung der am besten geeigneten Behandlungsoption sein.

Die dorsale Instrumentation mit Pedikelschrauben und -stäben ist die am häufigsten angewandte Technik zur Behandlung von thorakolumbalen Frakturen der Wirbelsäule. Das Verfahren zielt darauf ab, die neurologischen und biomechanischen Funktionen der Wirbelsäule wiederherzustellen und ermöglicht eine frühe Mobilisierung und schnelle Wiedereingliederung in die Gesellschaft. Uns hat in der **Publikation E** interessiert, ob das Ausmaß der Winkelkorrektur der Wirbelsäule einen Einfluss auf die postoperativen Ergebnisse hat und ob es einen Zusammenhang mit einer etwaig vorliegenden Osteoporose gibt. Wir analysierten die prä- und postoperativen Röntgenbilder von 52 Patienten, die sich bei thorakolumbalen Frakturen einer perkutanen dorsalen Instrumentierung unterzogen hatten, sowie die von ihnen selbst angegebenen Werte für Lebensqualität, Schmerzen und funktionelle Ergebnisse nach EQ5D-3L und COMI. Es wurden Regressionsmodelle erstellt, um den Einfluss des Ausmaßes der Cobb-Winkel-Korrektur auf die postoperativen Ergebnisse zu korrelieren. Außerdem, ob es eine Korrelation zwischen den EQ5D-3L- und COMI-Werten gibt. Der mediane EQ5D-3L TTO-Score betrug 0,9 (-0,1 bis 1). Der Median des COMI-Scores lag bei 3,1 (0 bis 10). Es gab keinen signifikanten Einfluss des Ausmaßes der Korrektur auf die EQ5d-3L TTO-Werte (p

= 0,3379;  $R = 0,36$ ) oder auf die COMI-Werte ( $p = 0,3379$ ;  $R = 0,15$ ). Alter und Knochenmineraldichte erwiesen sich nicht als signifikante Prädiktoren für das Ergebnis ( $p = 0,05$ ). Es bestand eine starke Korrelation zwischen dem EQ5D-3L TTO und den COMI-Werten ( $r = -0,62$ ). Das Ausmaß der Cobb-Winkelkorrektur während der dorsalen Instrumentierung von thorakolumbalen Frakturen hatte keinen Einfluss auf die Lebensqualität, die Schmerzen oder die Funktionsergebnisse. Es bestand eine gute Korrelation zwischen den EQ5D-3L TTO-Scores und den COMI-Scores.

In der **Publikation F** haben wir osteoporotische Wirbelsäulenfrakturen und deren operative Herausforderungen untersucht. Die offene chirurgische Reposition/Fixation thorakolumbalen Frakturen führt zu einem erheblichen Weichteiltrauma und damit verbundenen Komplikationen. Minimal-invasive technische Entwicklungen könnten ähnliche radiologische Ergebnisse liefern, während die damit verbundenen Komplikationen vermieden werden. Wir haben die radiologischen und perioperativen Ergebnisse bei thorakolumbalen Frakturen unter Verwendung eines neuartigen minimal-invasiven Devices untersucht. Hierzu wurden 26 Patienten mit 29 thorakolumbalen Frakturen, bei denen die NForce-Applikation eingesetzt wurde, analysiert. Die postoperative Reposition und Ausrichtung wurden durch die radiologische Messung des lokalen Kyphosewinkels (LKA) bis zu einer Nachbeobachtungszeit von 9 Monaten beurteilt. Die postoperative Bildgebung ergab eine durchschnittliche Reduktion der traumatischen Kyphose von  $8,25^\circ (\pm 7,72^\circ)$  mit einem durchschnittlichen postoperativen LKA von  $3,24^\circ (\pm 8,97^\circ)$ . Der höchste Grad der Reduktion betrug  $27,39^\circ$ . Die mittlere LKA stieg auf  $5,08^\circ (\pm 5,17^\circ)$  nach 3 Monaten postoperativ,  $5,43^\circ (\pm 4,32^\circ)$  nach 6 Monaten und  $6,21^\circ (\pm 3,82^\circ)$  nach 9 Monaten. Daraus schließen wir, dass das minimalinvasive NForce-System wirksam bei der Durchführung anatomischer perkutaner Reposition/Fixation ist.

## Ausblick

Der fortschreitende demografischen Wandel wird die Entwicklungen im Gesundheitssystem in den kommenden Jahren wesentlich mitbestimmen und vor gänzlich neue Herausforderungen stellen. Hier zeigt sich beispielsweise bei der proximalen Femurfraktur (PFF) die hohe Relevanz für den zukünftigen klinischen Alltag in der Orthopädie und Unfallchirurgie. Die Mehrzahl der proximalen Femurfrakturen betrifft ältere Menschen, da mehr als drei Viertel der PFF in Deutschland bei Patienten über 75 Jahren auftreten [86]. Während 1990 weltweit etwa 1,3 Millionen Hüftfrakturen gemeldet wurden, wird die Zahl bis 2050 schätzungsweise zwischen 7,3 und 21,3 Millionen liegen [27].

Bereits heute sind durch ein Trauma bedingte Frakturen sowie Insuffizienzfrakturen durch Osteoporose von großer Bedeutung für die medizinische Versorgung des älteren Patienten. Sie sind dabei häufig Folge eines zuvor nicht erkannten körperlichen und geistigen Abbaus, welcher sich im Kontext einer Fraktur weiter beschleunigen kann.

Um genau diesen nicht erkannten körperlichen und geistigen Abbau „abzufangen“ und eine Mobilisation und Teilhabe wiederzuerlangen, wie vor dem Frakturereignis, existieren zwar bereits weltweit geriatrische Co-Management-Modelle in unterschiedlichen Fachdisziplinen, diese sind jedoch in ihrer Gesamtheit betrachtet sehr länderspezifisch und differieren strukturell teils erheblich. In Deutschland haben sich in den letzten Jahren in der Versorgung älterer unfallchirurgischer Patienten zunehmend zertifizierte alterstraumatologische Zentren etabliert. Hierbei erfolgt bereits eine frühzeitige altersmedizinische Mitbehandlung geriatrischer Traumapatienten auf orthogeriatrischen Stationen. Postoperativ wird in der Regel nach den durch die Krankenkassen vorgegebenen Strukturvoraussetzungen eine geriatrische frührehabilitative Komplexbehandlung (OPS 8-550) mit wöchentlichen Teamsitzungen durchgeführt. Auf Stationsebene muss ein fachpflegerisches Team mit zertifizierter Zusatzausbildung vorhanden und weitere angeschlossene Fachdisziplinen wie Physiotherapie, Ergotherapie, Logopädie, Psychologie und teamintegrierter Sozialdienst nachweisbar in die Behandlung der jeweiligen Patienten integriert sein.

Einige Studien konnten zwischenzeitlich den Benefit einer solchen orthogeriatrischen Kooperation in der Versorgung hüftgelenksnaher Frakturen darstellen. So profitieren

diese Patienten von einer signifikant reduzierten Morbidität und Mortalität [59, 69, 101]. Zusätzlich profitieren die orthogeriatrischen Patienten dadurch von einem besseren funktionellen Outcome [67]. Diese Entwicklungen sind bei weitem noch nicht ausgereift und sind an einigen Punkten nach wie vor im klinischen Alltag insuffizient umgesetzt bzw. auch nicht flächendeckend vorhanden.

Parallel zum orthogeriatrischen Co-Management muss sich die operative Versorgung weiter an das sich verändernde Patientengut anpassen und hierbei bereit sein sich zum Teil von altbewährten Versorgungsprinzipien zu verabschieden. Als Beispiel möchte ich hierbei die postoperative Belastung nach proximalen Femurfrakturen nennen. Hierbei galt seit jeher der Grundsatz einer postoperativen Entlastung mit stetiger Aufbelastung im weiteren Genesungsverlauf. Aufgrund des Paradigmenwechsels und der Bereitschaft dies zu hinterfragen, wissen wir heute, dass eine Entlastung oder eine Teilbelastung vom orthogeriatrischen Patientengut nicht suffizient eingehalten werden kann [38]. Aufgrund dieser neuen Erkenntnisse wurde die Versorgung angepasst. Der eingebrachte proximale Femurnagel wird im orthogeriatrischen Patientengut nun mittels additiver Zementaugmentation der Schenkelhalsklinge versorgt und eine postoperative schmerzlimitierende Vollbelastung freigegeben mit sehr gutem postoperativem Outcome [37, 39, 80].

## Abkürzungsverzeichnis

|                |  |
|----------------|--|
| <              | unter  |
| >              | über   |
| ≤              | unter/ gleich  |
| ≥              | über/ gleich   |
| ±              | plus/ minus  |
| +              | Addition   |
| -              | Subtraktion  |
| %              | Prozent  |
| °C             | Grad Celsius   |
| Abb.           | Abbildung  |
| ASA            | American Society of Anesthesiologists  |
| AO             | Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen  |
| AP             | Alkalische Phosphatase   |
| CRS            | Dekompensiertes kardiorenales Syndrom  |
| DHS            | Dynamische Hüftschraube  |
| DVO            | Dachverband der deutschsprachigen wissenschaftlichen osteologischen Gesellschaft e. V. |
| DXA            | Dual Energy X-ray Absorptiometry   |
| e.V.           | Eingetragener Verein   |
| Fa.            | Firma  |
| FFP            | Fragility fracture of the pelvis   |
| HTEP, Hüft-TEP | Hüfttotalendoprothese  |
| LKA            | Lokale Kyphosewinkel   |
| LOS            | Length of stay   |
| M.             | Musculus   |
| n              | Anzahl   |
| N              | Newton   |
| ORIF           | Open Reduction and Internal Fixation   |

|      |                                   |
|------|-----------------------------------|
| PFF  | Proximale Femurfraktur            |
| PFNA | Proximaler Femurnagel Antirotaion |
| v.a. | vor allem                         |

## Literaturverzeichnis

1. Alander DH, Cui S. Percutaneous Pedicle Screw Stabilization: Surgical Technique, Fracture Reduction, and Review of Current Spine Trauma Applications. *J Am Acad Orthop Surg.* 2018;26(7):231-40.
2. Anglen JO, Weinstein JN, American Board of Orthopaedic Surgery Research C. Nail or plate fixation of intertrochanteric hip fractures: changing pattern of practice. A review of the American Board of Orthopaedic Surgery Database. *J Bone Joint Surg Am.* 2008;90(4):700-7.
3. Aprato A, Lo Baido R, Crosio A, Matteotti R, Grosso E, Masse A. Does lesser trochanter impaction affect hip flexion strength in proximal femur fracture? *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2015;41(5):523-9.
4. Boelch SP, Jordan MC, Meffert RH, Jansen H. Comparison of open reduction and internal fixation and primary total hip replacement for osteoporotic acetabular fractures: a retrospective clinical study. *Int Orthop.* 2017;41(9):1831-7.
5. Bogoch ER, Elliot-Gibson V, Beaton DE, Jamal SA, Josse RG, Murray TM. Effective initiation of osteoporosis diagnosis and treatment for patients with a fragility fracture in an orthopaedic environment. *J Bone Joint Surg Am.* 2006;88(1):25-34.
6. Bonjour JP, Ammann P, Rizzoli R. Importance of preclinical studies in the development of drugs for treatment of osteoporosis: a review related to the 1998 WHO guidelines. *Osteoporos Int.* 1999;9(5):379-93.
7. Bonnaire F, Lein T, Engler KJ. [Treatment of femoral neck fractures]. *Chirurg.* 2008;79(6):595-611; quiz 2.
8. Bonnaire F, Lein T, Hohaus T, Weber A. [Prosthetic care of proximal femur fractures]. *Unfallchirurg.* 2005;108(5):387-99; quiz 400.
9. Boone C, Carlberg KN, Koueiter DM, Baker KC, Sadowski J, Wiater PJ, et al. Short versus long intramedullary nails for treatment of intertrochanteric femur fractures (OTA 31-A1 and A2). *J Orthop Trauma.* 2014;28(5):e96-e100.
10. Borens O, Wettstein M, Garofalo R, Blanc CH, Kombot C, Leyvraz PF, et al. [Treatment of acetabular fractures in the elderly with primary total hip arthroplasty and modified cerclage. Early results]. *Unfallchirurg.* 2004;107(11):1050-6.
11. Borg T, Hailer NP. Outcome 5 years after surgical treatment of acetabular fractures: a prospective clinical and radiographic follow-up of 101 patients. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2015;135(2):227-33.
12. Borg T, Hernefalk B, Hailer NP. 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. *Bone Joint J.* 2019;101-B(4):478-83.
13. Canalis E, Giustina A, Bilezikian JP. Mechanisms of anabolic therapies for osteoporosis. *N Engl J Med.* 2007;357(9):905-16.
14. Chang SM, Zhang YQ, Ma Z, Li Q, Dargel J, Eysel P. Fracture reduction with positive medial cortical support: a key element in stability reconstruction for the unstable pertrochanteric hip fractures. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2015;135(6):811-8.
15. Clarke A, Rosen R. Length of stay. How short should hospital care be? *Eur J Public Health.* 2001;11(2):166-70.

16. Do JH, Kim YS, Lee SJ, Jo ML, Han SK. Influence of fragment volume on stability of 3-part intertrochanteric fracture of the femur: a biomechanical study. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2013;23(4):371-7.
17. Dorr LD, Maheshwari AV, Long WT, Wan Z, Sirianni LE. Early pain relief and function after posterior minimally invasive and conventional total hip arthroplasty. A prospective, randomized, blinded study. *J Bone Joint Surg Am.* 2007;89(6):1153-60.
18. Downey C, Kelly M, Quinlan JF. Changing trends in the mortality rate at 1-year post hip fracture - a systematic review. *World J Orthop.* 2019;10(3):166-75.
19. Dunn J, Kusnezov N, Bader J, Waterman BR, Orr J, Belmont PJ. Long versus short cephalomedullary nail for trochanteric femur fractures (OTA 31-A1, A2 and A3): a systematic review. *J Orthop Traumatol.* 2016;17(4):361-7.
20. Eberle S, Gabel J, Hungerer S, Hoffmann S, Patzold R, Augat P, et al. Auxiliary locking plate improves fracture stability and healing in intertrochanteric fractures fixated by intramedullary nail. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2012;27(10):1006-10.
21. Ehrnthaller C, Olivier AC, Gebhard F, Durselen L. The role of lesser trochanter fragment in unstable pertrochanteric A2 proximal femur fractures - is refixation of the lesser trochanter worth the effort? *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2017;42:31-7.
22. Fu CW, Chen JY, Liu YC, Liao KW, Lu YC. Dynamic Hip Screw with Trochanter-Stabilizing Plate Compared with Proximal Femoral Nail Antirotation as a Treatment for Unstable AO/OTA 31-A2 and 31-A3 Intertrochanteric Fractures. *Biomed Res Int.* 2020;2020:1896935.
23. Girgis CM, Clifton-Bligh RJ, Hamrick MW, Holick MF, Gunton JE. The roles of vitamin D in skeletal muscle: form, function, and metabolism. *Endocr Rev.* 2013;34(1):33-83.
24. Giunta JC, Tronc C, Kerschbaumer G, Milaire M, Ruatti S, Tonetti J, et al. Outcomes of acetabular fractures in the elderly: a five year retrospective study of twenty seven patients with primary total hip replacement. *Int Orthop.* 2019;43(10):2383-9.
25. Gleich J, Neuerburg C, Linhart C, Keppler AM, Pfeufer D, Kammerlander C, et al. Inferior Outcome after Unstable Trochanteric Fracture Patterns Compared to Stable Fractures in the Elderly. *J Clin Med.* 2021;10(2).
26. Gonschorek O, Lorenz M, Bühren V. Wirbelsäulenverletzungen. *Trauma und Berufskrankheit.* 2013;17(S1):157-63.
27. Gullberg B, Johnell O, Kanis JA. World-wide projections for hip fracture. *Osteoporos Int.* 1997;7(5):407-13.
28. Guo Q, Shen Y, Zong Z, Zhao Y, Liu H, Hua X, et al. Percutaneous compression plate versus proximal femoral nail anti-rotation in treating elderly patients with intertrochanteric fractures: a prospective randomized study. *J Orthop Sci.* 2013;18(6):977-86.
29. Hadji P, Klein S, Haussler B, Kless T, Linder R, Rowinski-Jablokow M, et al. The bone evaluation study (BEST): patient care and persistence to treatment of osteoporosis in Germany. *Int J Clin Pharmacol Ther.* 2013;51(11):868-72.
30. Haidukewych GJ. Intertrochanteric Fractures: Ten Tips to Improve Results. *JBJS.* 2009;91(3):712-9.
31. Haussler B, Gothe H, Gol D, Glaeske G, Pientka L, Felsenberg D. Epidemiology, treatment and costs of osteoporosis in Germany--the BoneEVA Study. *Osteoporos Int.* 2007;18(1):77-84.
32. He Z, Zhang M, Li W, Long Z, Wang L, Li QQ, et al. Finite Element Analysis of an Improved Correction System for Spinal Deformity. *In Vivo.* 2021;35(4):2197-205.

33. Hou Z, Bowen TR, Irgit KS, Matzko ME, Andreychik CM, Horwitz DS, et al. Treatment of pertrochanteric fractures (OTA 31-A1 and A2): long versus short cephalomedullary nailing. *J Orthop Trauma*. 2013;27(6):318-24.
34. Hu JC, Gu X, Lipsitz SR, Barry MJ, D'Amico AV, Weinberg AC, et al. Comparative effectiveness of minimally invasive vs open radical prostatectomy. *JAMA*. 2009;302(14):1557-64.
35. Hu R, Mustard CA, Burns C. Epidemiology of incident spinal fracture in a complete population. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1996;21(4):492-9.
36. Icks A, Haastert B, Wildner M, Becker C, Meyer G. Trend of hip fracture incidence in Germany 1995-2004: a population-based study. *Osteoporos Int*. 2008;19(8):1139-45.
37. Kammerlander C, Neuerburg C, Verlaan JJ, Schmoelz W, Miclau T, Larsson S. The use of augmentation techniques in osteoporotic fracture fixation. *Injury*. 2016;47 Suppl 2:S36-43.
38. Kammerlander C, Pfeufer D, Lisitano LA, Mehaffey S, Bocker W, Neuerburg C. Inability of Older Adult Patients with Hip Fracture to Maintain Postoperative Weight-Bearing Restrictions. *J Bone Joint Surg Am*. 2018;100(11):936-41.
39. Kammerlander C, Hem ES, Klopfer T, Gebhard F, Sermon A, Dietrich M, et al. Cement augmentation of the Proximal Femoral Nail Antirotation (PFNA) - A multicentre randomized controlled trial. *Injury*. 2018;49(8):1436-44.
40. Kanakaris NK, Tosounidis TH, Giannoudis PV. Nailing intertrochanteric hip fractures: short versus long; locked versus nonlocked. *J Orthop Trauma*. 2015;29 Suppl 4:S10-6.
41. Keel M, Trentz O. Pathophysiology of polytrauma. *Injury*. 2005;36(6):691-709.
42. Kim JW, Herbert B, Hao J, Min W, Ziran BH, Mauffrey C. Acetabular fractures in elderly patients: a comparative study of low-energy versus high-energy injuries. *Int Orthop*. 2015;39(6):1175-9.
43. Kirkpatrick JS. Thoracolumbar fracture management: anterior approach. *J Am Acad Orthop Surg*. 2003;11(5):355-63.
44. Klopfer T HP, Ziegler P, Stöckle U, Bahrs C. Proximale Femurfraktur und Insuffizienzfrakturen im Alter. *Trauma und Berufskrankheit*. 2017;19:27-36.
45. Krappinger D, Kaser V, Kammerlander C, Neuerburg C, Merkel A, Lindtner RA. Inter- and intraobserver reliability and critical analysis of the FFP classification of osteoporotic pelvic ring injuries. *Injury*. 2019;50(2):337-43.
46. Krischak G, Durselen L, Roderer G. [Treatment of peritrochanteric fractures: biomechanical considerations]. *Unfallchirurg*. 2011;114(6):485-90.
47. Liener B, Rapp, Raschke, Kladny, Wirtz Weißbuch Alterstraumatologie und Orthogeriatric2022.
48. Liu X, Liu Y, Pan S, Cao H, Yu D. Does integrity of the lesser trochanter influence the surgical outcome of intertrochanteric fracture in elderly patients? *BMC Musculoskelet Disord*. 2015;16:47.
49. Loibl M, Korsun M, Reiss J, Gueorguiev B, Nerlich M, Neumann C, et al. Spinal fracture reduction with a minimal-invasive transpedicular Schanz Screw system: clinical and radiological one-year follow-up. *Injury*. 2015;46 Suppl 4:S75-82.
50. Lont T, Nieminen J, Reito A, Pakarinen TK, Pajamaki I, Eskelinen A, et al. Total hip arthroplasty, combined with a reinforcement ring and posterior column plating for acetabular fractures in elderly patients: good outcome in 34 patients. *Acta Orthop*. 2019;90(3):275-80.
51. Mack MJ. Minimally invasive and robotic surgery. *JAMA*. 2001;285(5):568-72.

52. Makridis KG, Obakponovwe O, Bobak P, Giannoudis PV. Total hip arthroplasty after acetabular fracture: incidence of complications, reoperation rates and functional outcomes: evidence today. *J Arthroplasty*. 2014;29(10):1983-90.
53. Manson TT, Reider L, O'Toole RV, Scharfstein DO, Tornetta P, 3rd, Gary JL, et al. Variation in Treatment of Displaced Geriatric Acetabular Fractures Among 15 Level-I Trauma Centers. *J Orthop Trauma*. 2016;30(9):457-62.
54. McCloskey E, Rathi J, Heijmans S, Blagden M, Cortet B, Czerwinski E, et al. The osteoporosis treatment gap in patients at risk of fracture in European primary care: a multi-country cross-sectional observational study. *Osteoporos Int*. 2021;32(2):251-9.
55. McMahon SE, Cusick LA. Total hip replacement in complex acetabular fractures using a coned hemipelvic acetabular component. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2017;27(5):631-6.
56. Neuerburg C, Mittlmeier L, Schmidmaier R, Kammerlander C, Bocker W, Mutschler W, et al. Investigation and management of osteoporosis in aged trauma patients: a treatment algorithm adapted to the German guidelines for osteoporosis. *J Orthop Surg Res*. 2017;12(1):86.
57. Nie B, Chen X, Li J, Wu D, Liu Q. The medial femoral wall can play a more important role in unstable intertrochanteric fractures compared with lateral femoral wall: a biomechanical study. *J Orthop Surg Res*. 2017;12(1):197.
58. Nielsen KD, Dammen I. Late symptoms after hip fracture with displacement of the lesser trochanter--a case report. *Acta Orthop Scand*. 2003;74(4):500-1.
59. Nordstrom P, Thorngren KG, Hommel A, Ziden L, Anttila S. Effects of Geriatric Team Rehabilitation After Hip Fracture: Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *J Am Med Dir Assoc*. 2018;19(10):840-5.
60. Norris R, Bhattacharjee D, Parker MJ. Occurrence of secondary fracture around intramedullary nails used for trochanteric hip fractures: a systematic review of 13,568 patients. *Injury*. 2012;43(6):706-11.
61. Okcu G, Ozkayin N, Okta C, Topcu I, Aktuglu K. Which implant is better for treating reverse obliquity fractures of the proximal femur: a standard or long nail? *Clin Orthop Relat Res*. 2013;471(9):2768-75.
62. Ortega-Briones A, Smith S, Rickman M. Acetabular Fractures in the Elderly: Midterm Outcomes of Column Stabilisation and Primary Arthroplasty. *Biomed Res Int*. 2017;2017:4651518.
63. Pape HC, Giannoudis P, Krettek C. The timing of fracture treatment in polytrauma patients: relevance of damage control orthopedic surgery. *Am J Surg*. 2002;183(6):622-9.
64. Pfeufer D, Zeller A, Mehaffey S, Bocker W, Kammerlander C, Neuerburg C. Weight-bearing restrictions reduce postoperative mobility in elderly hip fracture patients. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2019;139(9):1253-9.
65. Phruetthiphath OA, Willey M, Karam MD, Gao Y, Westerlind BO, Marsh JL. Comparison of Outcomes and Complications of Isolated Acetabular Fractures and Acetabular Fractures With Associated Injuries. *J Orthop Trauma*. 2017;31(1):31-6.
66. Plass D, Vos T, Hornberg C, Scheidt-Nave C, Zeeb H, Kramer A. Trends in disease burden in Germany: results, implications and limitations of the Global Burden of Disease study. *Dtsch Arztebl Int*. 2014;111(38):629-38.
67. Prestmo A, Saltvedt I, Helbostad JL, Taraldsen K, Thingstad P, Lydersen S, et al. Who benefits from orthogeriatric treatment? Results from the Trondheim hip-fracture trial. *BMC Geriatr*. 2016;16:49.

68. Rahman M, Summers LE, Richter B, Mimran RI, Jacob RP. Comparison of techniques for decompressive lumbar laminectomy: the minimally invasive versus the "classic" open approach. *Minim Invasive Neurosurg.* 2008;51(2):100-5.
69. Rapp K, Becker C, Todd C, Rothenbacher D, Schulz C, König HH, et al. The Association Between Orthogeriatric Co-Management and Mortality Following Hip Fracture. *Dtsch Arztebl Int.* 2020;117(4):53-9.
70. Rau CS, Lin TS, Wu SC, Yang JC, Hsu SY, Cho TY, et al. Geriatric hospitalizations in fall-related injuries. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med.* 2014;22:63.
71. Reinhold M, Knop C, Beisse R, Audige L, Kandziora F, Pizanis A, et al. [Operative treatment of traumatic fractures of the thoracic and lumbar spinal column. Part I: epidemiology]. *Unfallchirurg.* 2009;112(1):33-42, 4-5.
72. Resch H, Krappinger D, Moroder P, Auffarth A, Blauth M, Becker J. Treatment of acetabular fractures in older patients-introduction of a new implant for primary total hip arthroplasty. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2017;137(4):549-56.
73. Reuss-Borst M, Lange U. Metabolische Knochenkrankheit: Osteomalazie. *Aktuelle Rheumatologie.* 2017;42(03):228-32.
74. Rommens PM, Hofmann A. Comprehensive classification of fragility fractures of the pelvic ring: Recommendations for surgical treatment. *Injury.* 2013;44(12):1733-44.
75. Salama W, Mousa S, Khalefa A, Sleem A, Kenawey M, Ravera L, et al. Simultaneous open reduction and internal fixation and total hip arthroplasty for the treatment of osteoporotic acetabular fractures. *Int Orthop.* 2017;41(1):181-9.
76. Sambrook PN, Cameron ID, Chen JS, Cumming RG, Lord SR, March LM, et al. Influence of fall related factors and bone strength on fracture risk in the frail elderly. *Osteoporos Int.* 2007;18(5):603-10.
77. Saxer F, Studer P, Jakob M. [Open stabilization and primary hip arthroplasty in geriatric patients with acetabular fractures: combination of minimally invasive techniques]. *Unfallchirurg.* 2011;114(12):1122-7.
78. Schopper C, Faschingbauer M, Moeller RT, Gebhard F, Duerselen L, Seitz A. Modified Candy-Package technique vs Cerclage technique for refixation of the lesser trochanteric fragment in pertrochanteric femoral fractures. A biomechanical comparison of 10 specimens. *Injury.* 2020;51(8):1763-8.
79. Schray D, Neuerburg C, Stein J, Gosch M, Schieker M, Bocker W, et al. Value of a coordinated management of osteoporosis via Fracture Liaison Service for the treatment of orthogeriatric patients. *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2016;42(5):559-64.
80. Schuetze K, Ehinger S, Eickhoff A, Dehner C, Gebhard F, Richter PH. Cement augmentation of the proximal femur nail antirotation: is it safe? *Arch Orthop Trauma Surg.* 2021;141(5):803-11.
81. Sebaaly A, Riouallon G, Zaraa M, Jouffroy P. The added value of intraoperative CT scanner and screw navigation in displaced posterior wall acetabular fracture with articular impaction. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2016;102(7):947-50.
82. Shen WJ, Shen YS. Nonsurgical treatment of three-column thoracolumbar junction burst fractures without neurologic deficit. *Spine (Phila Pa 1976).* 1999;24(4):412-5.
83. Smith CT, Barton DW, Piple AS, Carmouche JJ. Pelvic Fragility Fractures: An Opportunity to Improve the Undertreatment of Osteoporosis. *J Bone Joint Surg Am.* 2021;103(3):213-8.

84. Solomon LB, Studer P, Abrahams JM, Callary SA, Moran CR, Stamenkov RB, et al. Does cup-cage reconstruction with oversized cups provide initial stability in THA for osteoporotic acetabular fractures? *Clin Orthop Relat Res.* 2015;473(12):3811-9.
85. Spivak JM, Vaccaro AR, Cotler JM. Thoracolumbar Spine Trauma: II. Principles of Management. *J Am Acad Orthop Surg.* 1995;3(6):353-60.
86. Statistisches Bundesamt D-ZA, Wiesbaden. Krankenhausstatistik - Diagnosedaten der Patienten und Patientinnen in Krankenhäusern. 2020.
87. Sturup J, Madsen J, Tondevold E, Jensen JS. Decreased blood perfusion in canine tibial diaphysis after filling with acrylic bone cement compared with inert bone wax. *Acta Orthop Scand.* 1990;61(2):143-7.
88. Sullivan MP, Baldwin KD, Donegan DJ, Mehta S, Ahn J. Geriatric fractures about the hip: divergent patterns in the proximal femur, acetabulum, and pelvis. *Orthopedics.* 2014;37(3):151-7.
89. Tidermark J, Blomfeldt R, Ponzer S, Soderqvist A, Tornkvist H. Primary total hip arthroplasty with a Burch-Schneider antiprotrusion cage and autologous bone grafting for acetabular fractures in elderly patients. *J Orthop Trauma.* 2003;17(3):193-7.
90. Tiefenbach M, Scheel M, Maier A, Gehlen M, Schwarz-Eywill M, Werner M, et al. [Osteomalacia-Clinical aspects, diagnostics and treatment]. *Z Rheumatol.* 2018;77(8):703-18.
91. Tonetti J, Jouffroy P, Pelvis-Acetabulum C. Recent progress in the diagnosis and treatment of pelvic ring and acetabular fracture. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2017;103(5):631-2.
92. Trajanoska K, Schoufour JD, de Jonge EAL, Kieboom BCT, Mulder M, Stricker BH, et al. Fracture incidence and secular trends between 1989 and 2013 in a population based cohort: The Rotterdam Study. *Bone.* 2018;114:116-24.
93. Turesson E, Ivarsson K, Thorngren KG, Hommel A. Hip fractures - Treatment and functional outcome. The development over 25 years. *Injury.* 2018;49(12):2209-15.
94. Vanek P, Bradac O, Konopkova R, de Lacy P, Lacman J, Benes V. Treatment of thoracolumbar trauma by short-segment percutaneous transpedicular screw instrumentation: prospective comparative study with a minimum 2-year follow-up. *J Neurosurg Spine.* 2014;20(2):150-6.
95. Verlaan JJ, Diekerhof CH, Buskens E, van der Tweel I, Verbout AJ, Dhert WJ, et al. Surgical treatment of traumatic fractures of the thoracic and lumbar spine: a systematic review of the literature on techniques, complications, and outcome. *Spine (Phila Pa 1976).* 2004;29(7):803-14.
96. Walley KC, Appleton PT, Rodriguez EK. Comparison of outcomes of operative versus non-operative treatment of acetabular fractures in the elderly and severely comorbid patient. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2017;27(5):689-94.
97. Wang H, Zhou Y, Li C, Liu J, Xiang L. Comparison of Open Versus Percutaneous Pedicle Screw Fixation Using the Sextant System in the Treatment of Traumatic Thoracolumbar Fractures. *Clin Spine Surg.* 2017;30(3):E239-E46.
98. Weaver MJ, Smith RM, Lhowe DW, Vrahas MS. 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. *J Orthop Trauma.* 2018;32 Suppl 1:S40-S5.
99. Weninger P, Schultz A, Hertz H. Conservative management of thoracolumbar and lumbar spine compression and burst fractures: functional and radiographic outcomes in

136 cases treated by closed reduction and casting. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2009;129(2):207-19.

100. Wu CH, Tu ST, Chang YF, Chan DC, Chien JT, Lin CH, et al. Fracture liaison services improve outcomes of patients with osteoporosis-related fractures: A systematic literature review and meta-analysis. *Bone.* 2018;111:92-100.

101. Zeltzer J, Mitchell RJ, Toson B, Harris IA, Close J. Determinants of time to surgery for patients with hip fracture. *ANZ J Surg.* 2014;84(9):633-8.

102. Zhao Q, Zhang H, Hao D, Guo H, Wang B, He B. Complications of percutaneous pedicle screw fixation in treating thoracolumbar and lumbar fracture. *Medicine (Baltimore).* 2018;97(29):e11560.

## Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Beteiligten herzlich bedanken, die mich auf dem langen Weg der kumulativen Habilitation begleitet haben:

Zuallererst gilt mein Dank meinen Eltern, die entscheidend die Grundsteine in meiner Ausbildung für meine spätere medizinischen Karriere gelegt haben und meine akademischen Ziele von Beginn an unterstützt haben.

Mein besonderer Dank gilt meinem Chef, Herrn Professor Dr. med. Wolfgang Böcker, für die unentwegte Unterstützung bei der Umsetzung und Realisierung dieser Habilitation, die Bereitstellung aller notwendigen Ressourcen, Beratungen und Überwindung von bestehenden bürokratischen Hürden.

Ganz herzlich möchte ich mich bei meinem früheren Betreuer, Herren Professor Dr. med. Rainer Pliquet, meiner Dissertation bedanken. Aufgrund unseres freundschaftlichen Austausches bereits während meines Studiums in Halle an der Saale wurde mein Interesse für wissenschaftliches Arbeiten nachhaltig geweckt und trug maßgeblich zur Motivation dies weiter zu forcieren bei.

Meine weitere wissenschaftliche Entwicklung wurde anschließend durch die „Arbeitsgemeinschaft Wirbelsäulen- und Beckenchirurgie“ an der LMU der Unfallchirurgie geprägt. Hierbei möchte ich vor allem Herren Professor Dr. med. Christian Kammerlander und Herren Professor Dr. med. Carl Neuerburg hervorheben. Gerade die Zusammenarbeit mit Herren Professor Dr. med. Carl Neuerburg hat mich bis heute begeistert und dient mir als klinisches wie akademisches Vorbild.

Weiter möchte ich dem gesamten Team der AG Wirbelsäulen- und Beckenchirurgie meinen außerordentlichen Dank ausdrücken und namentlich einige hervorheben: Dr. med. Bianca Rubenbauer, PD Dr. med. Axel Greiner, PD Dr. med. Christopher Becker, Dr. med. Jan Bruder und Dr. med. Adrian Cavalcanti-Kußmaul.

Besonderer Dank gilt insbesondere Herren PD Dr. med. Christian Ehrnthaller, der mich in unvergesslicher freundschaftlicher Art und Weise auf dem bislang längsten Teil meiner klinisch-wissenschaftlichen Laufbahn geprägt hat und mir ein einzigartiger Mentor war. Seine stetige Unterstützung auch über seinen Arbeitsplatzwechsel hinaus, hat maßgeblich zur Entstehung dieser Habilitationsleistung beigetragen.

Für die Umsetzung meiner biomechanischen Kadaversuche möchte ich mich herzlich bei den Kollegen des biomechanischen Labors unserer Klinik des muskuloskelettalen Universitätszentrums der LMU bedanken. Hier möchte ich mich namentlich beim Leiter des Labors, PD Dr. Dipl.-Ing. Matthias Woiczinski und Manuel Kistler (M. Eng.) für die unentwegt zielgerichtete und lösungsorientierte Zusammenarbeit bedanken.

Abschließend gilt der wohl größte Dank der stetigen Unterstützung meiner Frau Julia, die mir trotz der für sie vielen Unannehmlichkeiten immer den größten Rückhalt gegeben hat. Durch ihre Unterstützung, mir neben ihrem wohl größten Geschenk, unseren beiden Kindern, auch bei meiner klinisch-wissenschaftlichen Karriere stets den

Rücken freizuhalten, verdient meine größte Anerkennung, für die ich ihr immer dankbar sein werde.

## Appendix

### Lebenslauf

#### Dr. med. Christoph Linhart

**Geburtsdatum/-ort:** XXXX

**Adresse:** XXXX

**Familienstatus:** XXXX

**Sprachen:** Deutsch – Muttersprache  
Englisch – Fließend in Wort und Schrift

**Kontakt:**

XXXX

#### Schulische Laufbahn

1993 – 1997            Grundschule, Grafing bei München  
1997 – 2006            ISAR – Gymnasium, München

#### Hochschulstudium

2008 – 2014            Humanmedizin, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg  
Seit 2021                Masterstudiengang MHBA, Friedrich-Alexander-Universität  
Erlangen-Nürnberg

#### Beruflicher Werdegang

Seit 08/2015            Assistenzarzt in der Klinik für Allg., Unfall- und  
Wiederherstellungschirurgie der LMU München, Prof. Böcker  
Seit 04/2021 in der fusionierten neuen Klinik:  
Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie, Muskuloskelettales  
Universitätszentrum München (MUM), Klinikum der Universität  
München, LMU München, Prof. Böcker & Prof. Holzapfel

Seit 10/2015            Mitglied der Forschungsgruppe für Wirbelsäulen- und  
Beckenchirurgie in der Klinik für Allg., Unfall- und  
Wiederherstellungschirurgie der LMU München, Prof. Böcker

04/2017 – 10/2017    Rotation Intensivmedizin in der Klinik für Anästhesiologie der  
LMU München, Prof. Zwißler

Seit 05/2018            Assistentensprecher in der Klinik für Allg., Unfall- und  
Wiederherstellungschirurgie der LMU München, Prof. Böcker

11/2019 – 11/2020    Rotation Orthopädie in der Klinik und Poliklinik für Orthopädie,  
Physikalische Medizin und Rehabilitation der LMU München,  
Prof. Jansson

05/2022                Facharzt für Orthopädie und Unfallchirurgie

**doctor medicinae (Dr. med.)**

„Rolle von Endotoxin-Translokation und Monozytenfunktion bei dekompensiertem kardioresnenalen Syndrom“, 08.01.2019.

2019 Promotion an der Universitätsklinik und Poliklinik für Innere Medizin II der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg: „Rolle von Endotoxin-Translokation und Monozytenfunktion bei dekompensiertem kardioresnenalen Syndrom“.

**Qualifikationen**

10/2019 Notfallsonographie DEGUM, Garmisch-Partenkirchen  
09/2020 DVO Zertifikat B „Experte für allgemeine Osteoporoseversorgung“, Frankfurt a.M.

**Weiterbildungen**

09/2016 Notarstkurs, Berlin  
09/2016 ACLS-Provider, American Heart Association, Berlin  
04/2018 AO-Kurs I, Düsseldorf  
07/2019 Zertifikat Medizindidaktik der Bayerischen Universitäten – Grundstufe, LMU  
09/2019 AO Spine Basis Seminar (Modul 4, DWG), Ingolstadt  
10/2020 ATLS – Advanced Trauma Life Support, München  
01/2021 ICH/GCP – Grundlagenkurs (gem. AMG), MRI, München  
03/2021 ICH/GCP – Aufbaukurs (gem. AMG), MRI, München  
06/2021 Grundkurs im Strahlenschutz mit Kenntniserwerb, Leverkusen  
11/2022 AO-Handkurs am Präparat, Berlin UKB

**Mitgliedschaften**

07/2016 Mitglied in der Deutschen Gesellschaft für Orthopädie und Unfallchirurgie e.V. (DGOU)  
03/2019 MeCum-Mentor, LMU München mit aktuell 3 Menti  
08/2019 Aktives Mitglied im Jungen Forum O & U, Sektion Wissenschaft der DGOU  
08/2019 AO Trauma International, Swiss  
01/2020 Aktives Mitglied der AG Digitalisierung der Deutschen Gesellschaft für Orthopädie und Unfallchirurgie e.V. (DGOU)

**Publikationen:**

Pubmed link

[https://www.ncbi.nlm.nih.gov/myncbi/1TG\\_edStRGjgtZ/bibliography/public/](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/myncbi/1TG_edStRGjgtZ/bibliography/public/)

Aktive Teilnahme an wissenschaftlichen Kongressen (Vortrag; Poster; Abstract; Beiträge):

Siehe hierzu die detaillierte Darstellung im Schriftenverzeichnis.

**Buchbeitrag** Co-Autor Referenz Knie, Pseudarthrose, Thieme, Oktober 2022  
(ISBN: 9783132435407)

### **Eingeworbene Forschungsmittel und Preise**

01/2017                    Forschungsförderung durch die Friedrich-Baur-Stiftung  
(Drittmittel): „Machbarkeitsstudie eines Augmented Reality 3D  
Telepräsenz Systems zur Unterstützung von chirurgischen  
Eingriffen“  
**Fördermittel:** 5.100 €

05/2019                    Forschungsförderung FöFoLe (Drittmittel):  
„Biomechanische Studie bei osteoporotischen A3-  
Femurfrakturen nach prox. Femurnagelung mittels kurze vs.  
lange Nagel“  
**Fördermittel:** 55.000 €

09/2022                    Jahreskongress DVO Osteologie 2022, Baden-Baden, BVOD  
(Posterpreis):  
„Hohe Prävalenz fehlender Informationen bezüglich der  
Knochengesundheit orthogeriatrischer Patienten mit  
Fragilitätsfrakturen des Beckens – eine  
institutionelle Registeranalyse“  
**Fördermittel:** 500 € + Sachpreis Lehrbuch

07/2023                    Beste Publikationsleistung MUM 2022:  
Beste klinische Originalarbeit des Jahres 2022 als Erst- oder  
Letztautor  
(IF = 5,071)  
2-wöchige Hospitation bei einem Weiterbilder nach Wahl

08/2023                    EU Horizon Europe Grant:  
„Mesenchymale Stammzellstudie Ortho-Allo-Union  
(Pseudarthrosen): ORTHOpaedic treatment with ALLOgenic  
combined ATMP in long bone fracture delayed UNION and  
nonunion (ORTHO-ALLO-UNION)“  
Europaweite Studie mit Studienzentrum LMU.

**Fördermittel:** Genehmigung erteilt, Höhe der Fördermittel noch  
ausstehend

## **Wissenschaftliche Gutachtertätigkeiten**

Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery  
Spine  
Journal of Clinical Medicine  
Scientific Reports  
Technology and Health Care  
Die Unfallchirurgie

## Verzeichnis der wissenschaftlichen Veröffentlichungen

### Originalarbeiten als Erst- oder Letztautor:

1. **Linhart C**, Kistler M, Woiczinski M, Neudeck R, Kassube M, Böcker W, Ehrnthaller C.  
„Biomechanical comparison of screw vs. cerclage refixation in orthogeriatric lesser trochanteric fractures: a cadaveric study.”  
Eur J Trauma Emerg Surg. 2022 Sep 27;. doi: 10.1007/s00068-022-02116-5. [Epub ahead of print] PubMed PMID: 36167986. **(IF 2021 = 2,374)**
2. Gleich J, Kußmaul AC, Steiner E, Böcker W, Neuerburg C, **Linhart C**.  
„High prevalence of missed information related on bone health in orthogeriatric patients with fragility fractures of the pelvis-an institutional register-based analysis.”  
Osteoporos Int. 2022 Apr;33(4):901-907. doi: 10.1007/s00198-021-06246-1. Epub 2021 Nov 24. PubMed PMID: 34817618; PubMed Central PMCID: PMC8930908. **(IF 2021 = 5,071)**
3. **Linhart C**, Kistler M, Kussmaul AC, Woiczinski M, Böcker W, Ehrnthaller C.  
„Biomechanical stability of short versus long proximal femoral nails in osteoporotic subtrochanteric A3 reverse-oblique femoral fractures: a cadaveric study.”  
Arch Orthop Trauma Surg. 2022 Jan 21;. doi: 10.1007/s00402-022-04345-0. [Epub ahead of print] PubMed PMID: 35061084. **(IF 2021 = 2,928)**
4. **Linhart C**, Befrui N, Etzel L, Böcker W, Kammerlander C, Ehrnthaller C.  
„Jumper's fracture of the sacrum: a novel and reproducible way for successful reduction and fixation.”  
Eur Spine J. 2022 Jan;31(1):18-27. doi: 10.1007/s00586-021-07010-z. Epub 2021 Oct 5. PubMed PMID: 34609616. **(IF 2021 = 2,721)**

5. **Linhart C**, Becker CA, Befrui N, Suero EM, Kussmaul AC, Böcker W, Kammerlander C, Greiner A.  
„A Novel Device for Closed Reduction and Percutaneous Fixation of Thoracolumbar Fractures.“  
In Vivo. 2022 Jan-Feb;36(1):384-390. doi: 10.21873/invivo.12715. PubMed PMID: 34972739; PubMed Central PMCID: PMC8765129. **(IF 2021 = 2,406)**
  
6. **Linhart C**, Neuwieser D, Kussmaul AC, Degen N, Greiner A, Kammerlander C, Suero EM.  
„Effect of angular correction during posterior instrumentation of spinal fractures on postoperative outcomes and quality of life.“  
Technol Health Care. 2022;30(6):1417-1422. doi: 10.3233/THC-213616. PubMed PMID: 35661032. **(IF 2021 = 1,205)**
  
7. Becker CA\*, **Linhart C\***, Bruder J, Zeckey C, Greiner A, Cavalcanti Kußmaul A, Weidert S, Suero EM, Böcker W, Kammerlander C.  
„Cementless hip revision cup for the primary fixation of osteoporotic acetabular fractures in geriatric patients.“  
Orthop Traumatol Surg Res. 2021Feb;107(1):102745. doi: 10.1016/j.otsr.2020.102745. Epub 2020 Dec 14. PubMed PMID: 33333281.  
\* geteilte Erstautorenschaft **(IF 2020 = 2,256)**
  
8. **Linhart C**, Ulrich C, Greinert D, Dambeck S, Wienke A, Girndt M, Pliquett RU.  
„Systemic inflammation in acute cardiorenal syndrome: an observational pilot study.“  
ESC Heart Fail. 2018 Oct;5(5):920-930. doi: 10.1002/ehf2.12327. Epub 2018 Jul 17. PubMed PMID: 30015388; PubMed Central PMCID: PMC6165938.  
**(IF 2018 = 3,407)**

**Originalarbeiten als Co-Autor:**

1. Cavalcanti Kußmaul A, Schwaabe F, Becker CA, Kleber C, **Linhart C**, Thorwächter C, Rubenbauer B, Böcker W, Greiner A.  
„Does augmentation increase the pull-out force of symphyseal screws? A biomechanical cadaver study.“  
Eur J Trauma Emerg Surg. 2022 Oct;48(5):4215-4221. doi: 10.1007/s00068-022-01963-6. Epub 2022 Apr 1. PubMed PMID: 35364692; PubMed Central PMCID: PMC9532288. **(IF 2021 = 2,374)**
  
2. Schwaabe F, Gleich J, **Linhart C**, Keppler AM, Woiczinski M, Kammerlander C, Greiner A, Böcker W, Cavalcanti Kußmaul A.  
„How relevant is lumbar bone mineral density for the stability of symphyseal implants? A biomechanical cadaver study.“  
Eur J Trauma Emerg Surg. 2022 Aug;48(4):3101-3108. doi: 10.1007/s00068-021-01850-6. Epub 2021 Dec 8. PubMed PMID: 34881391; PubMed Central PMCID: PMC9360150. **(IF 2021 = 2,374)**
  
3. Degen N, Daniel T, Sass J, Keppler AM, **Linhart C**, Ehrnthaller C, Prall WC, Böcker W, Fürmetz J.  
„A new 3D software for analysis and planning of lower limb and patellofemoral alignment: Reliability and accuracy.“  
Knee. 2022 Jan;34:1-8. doi: 10.1016/j.knee.2021.11.006. Epub 2021 Dec 3. PubMed PMID: 34871972. **(IF 2021 = 2,423)**
  
4. Keppler AM, Pfeufer D, Kau F, **Linhart C**, Zeckey C, Neuerburg C, Böcker W, Kammerlander C.  
„Cement augmentation of the Proximal Femur Nail Antirodation (PFNA) is associated with enhanced weight-bearing in older adults.“  
Injury. 2021 Oct;52(10):3042-3046. doi: 10.1016/j.injury.2021.01.037. Epub 2021 Feb 5. PubMed PMID: 33583593. **(IF 2021 = 2,687)**

5. Gleich J, Neuerburg C, **Linhart C**, Keppler AM, Pfeufer D, Kammerlander C, Böcker W, Ehrnthaller C.  
„Inferior Outcome after Unstable Trochanteric Fracture Patterns Compared to Stable Fractures in the Elderly.“  
J Clin Med. 2021 Jan 6;10(2). doi: 10.3390/jcm10020171. PubMed PMID: 33418912; PubMed Central PMCID: PMC7825070. **(IF 2021 = 4,964)**
  
6. Weidert S, Andress S, **Linhart C**, Suero EM, Greiner A, Böcker W, Kammerlander C, Becker CA.  
„3D printing method for next-day acetabular fracture surgery using a surface filtering pipeline: feasibility and 1-year clinical results.“  
Int J Comput Assist Radiol Surg. 2020 Mar;15(3):565-575. doi: 10.1007/s11548-019-02110-0. Epub 2020 Jan 2. PubMed PMID: 31897965; PubMed Central PMCID: PMC7973705. **(IF 2020 = 2,924)**
  
7. Becker CA, Kammerlander C, Kußmaul AC, Woiczinski M, Thorwächter C, Zeckey C, Sommer F, **Linhart C**, Weidert S, Suero EM, Böcker W, Greiner A.  
„Modified less invasive anterior subcutaneous fixator for unstable Tile-C-pelvic ring fractures: a biomechanical study.“  
Biomed Eng Online. 2019 Mar 29;18(1):38. doi: 10.1186/s12938-019-0648-z. PubMed PMID: 30925898; PubMed Central PMCID: PMC6441140. **(IF 2019 = 2,059)**

**Kumulierter Impact-Factor Originalarbeiten: 42,173**

**Übersichtsarbeiten:**

1. **Linhart C**, Mutschler W, Helfen T.  
“83/m-Fall on the head: Preparation for the medical specialist examination: part 48”.  
Unfallchirurg. 2021 Dec;124(Suppl 1):129-136. doi: 10.1007/s00113-020-00919-y. PubMed PMID: 33231703. **(IF 2021 = 0,918)**
2. Becker CA, Kammerlander C, Greiner A, Sommer F, **Linhart C**, Böcker W, Rubenbauer B, Weidert S.  
“Diagnostic and Treatment Strategies in Morel-Lavallee Lesions in the Spinal Column and Pelvis”.  
Z Orthop Unfall. 2018 Oct;156(5):541-546. doi: 10.1055/a-0596-8018. Epub 2018 Apr 12. Review. PubMed PMID: 29649850. **(IF 2018 = 0,631)**

**Buchbeitrag:**

Co-Autor Referenz Knie, Pseudarthrose, Thieme Verlag, Oktober 2022  
(ISBN: 9783132435407)

**Zitierfähige Abstracts, Vorträge, Poster und Veröffentlichungen ohne Impact-Factor:**

1. DKOU 2023, Berlin, Oktober 2023, **Vortrag**  
„HU statt DXA? Evaluation der Knochendichte alterstraumatologischer Patienten mit Fragilitätsfrakturen des Beckens anhand der Hounsfield Units“  
**Linhart Christoph**, Steiner Elisabeth, Kußmaul Adrian Cavalcanti, Böcker Wolfgang, Neuerburg Carl, Gleich Johannes
2. 5. Alterstraumatologie Kongress, München 2022, **Vortrag**  
„Biomechanischer Vergleich am Kadaver des Knochen-Zement-Interphase-Verhaltens von bioresorbierbaren vs. PMMA-Knochenzementen bei osteoporotischen proximalen Femurfrakturen“  
**Linhart C**, Saller M, Kassube M, Kistler M, Lampert C, Böcker W, Ehrnthaller C ; DOI 10.3205/22altra15

3. 5. Alterstraumatologie Kongress, München 2022, **Poster**  
„Zementfreie Hüftrevisionspfanne zur Versorgung von osteoporotischen Acetabulumfrakturen - Münchener Algorithmus als Entscheidungshilfe“  
**Linhart C**, Becker CA, Bruder J, Zeckey C, Greiner A, Kammerlander C  
DOI 10.3205/22altra50
4. 5. Alterstraumatologie Kongress, München 2022, **Poster**  
„Biomechanischer Vergleich von Refixationen bei osteoporotischen Frakturen des Trochanter minor am Kadaver: Schraube vs. Cerclage“  
**Linhart C**, Kistler M, Neudeck R, Kassube M, Woiczinski M, Böcker W, Ehrnthaller C; DOI 10.3205/22altra58
5. Jahreskongress DVO Osteologie 2022, Baden-Baden, **Poster**  
„Hohe Prävalenz fehlender Informationen bezüglich der Knochengesundheit orthogeriatischer Patienten mit Fragilitätsfrakturen des Beckens – eine institutionelle Registeranalyse“  
**Linhart Christoph**, Steiner Elisabeth, Kußmaul Adrian Cavalcanti, Böcker Wolfgang, Neuerburg Carl, Gleich Johannes  
DOI 10.1055/s-0042-1755894
6. Jahreskongress DVO Osteologie 2022, Baden-Baden, **Vortrag**  
„Biomechanischer Vergleich am Kadaver des Knochen-Zement-Interphase Verhaltens von bioresorbierbaren vs. PMMA-Knochenzementen bei osteoporotischen proximalen Femurfrakturen“  
**Linhart Christoph**, Saller Maximilian, Kassube Matthias, Kistler Manuel, Lampert Christopher, Böcker Wolfgang, Neuerburg Carl, Ehrnthaller Christian  
DOI 10.1055/s-0042-1755856
7. DKOU 2021, Berlin Oktober 2020, **E-Poster**  
„Knochen-Zement-Interphase Verhalten bioresorbierbarer versus PMMA-Knochenzemente im proximalen Femur“  
**Christoph Linhart**, Maximilian Saller, Matthias Kassube, Manuel Kistler, Christian Ehrnthaller
8. 5. Alterstraumatologie Kongress, München 2021, **Poster**  
„Zementfreie Hüftrevisionspfanne zur Versorgung von osteoporotischen Acetabulumfrakturen - Münchener Algorithmus als Entscheidungshilfe“  
**Christoph Linhart**, Christopher A. Becker, Jan Bruder, Christian Zeckey, Axel Greiner, Wolfgang Böcker, Christian Kammerlander
9. Zeitschrift für Osteologie, 2021, **Beitrag**  
„Networks for Young Musculoskeletal Researchers“  
Marietta Herrmann, Benjamin Barth, Ines Foessler, Franca Genest, **Christoph Linhart**, Merle Stein, Andrea Schwab, Kai Oliver Boeker, Felix Schmidt

10. Zeitschrift für Notfall + Rettungsmedizin, 2020, **Beitrag**  
„Extremitätentrauma in der Schockraumphase“  
Fleischhacker E., **Linhart C.**, Kammerlander C., Böcker W., Zeckey C., Helfen T.
11. DKOU 2020, Berlin Oktober 2020, **Vortrag**  
„Haben alterstraumatologische Patienten mit einem erniedrigten Vitamin D Spiegel ein erhöhtes Risiko für eine höhergradige Beckeninsuffizienzfraktur?“  
**C. Linhart**, E. Steiner, CA. Becker, W. Böcker, C. Kammerlander, C. Neuerburg
12. 20th Congress of the European Federation of National Associations of Orthopaedics and Traumatology (EFFORT) in Lisbon, Portugal, 05.-07.2019, **Vortrag**  
“Uncemented Hip Revision Cup for the fixation Of Osteoporotic Acetabular Fractures – Munich Algorithm As A Decision Aid”  
Kammerlander Christian, Zeckey Christian, Becker Christopher A., **Linhart Christoph**, Bruder Jan, Böcker Wolfgang, Greiner, Axel
13. The 19th Annual Meeting of the International Society for Computer Assisted Orthopaedic Surgery (CAOS), 2019, New York, USA, 19.-22.06.2019, **Vortrag**  
“A Method for Validation and Error-Quantification of 3D-Printed Models for Acetabulum Fracture Surgery”  
Sebastian Andress, Felix Achilles, Eduardo M. Suero, Christopher Becker, **Christoph Linhart**, Axel Greiner, Bianka Rubenbauer, Christian Kammerlander, Wolfgang Böcker, Simon Weidert
14. Endoprothetik Kongress, Baden-Baden 2019, **Poster**  
„Zementfreie Hüftrevisionspfanne zur Versorgung von osteoporotischen Acetabulumfrakturen – Münchner Algorithmus als Entscheidungshilfe“  
**C. Linhart**, C. A. Becker, J. Bruder, C. Zeckey, A. Greiner, F. Sommer, S. Weidert, W. Böcker, C. Kammerlander
15. DKOU 2018, Berlin Oktober 2018, **Vortrag**  
„Beckeninsuffizienzfrakturen - Eine unterschätzte Indikatorfraktur für eine zugrundeliegende Osteoporose“  
**C. Linhart**, A. Keppler, C. Becker, B. Rubenbauer, W. Böcker, C. Kammerlander, C. Neuerburg
16. DKOU 2017, Berlin, 24.10. - 27.10.2017, **Vortrag**  
„Osteosynthese von Acetabulumfrakturen mittels 3D-Druck und vorkonfektionierten Platten“  
Weidert S, Andreß S, Becker CA, Greiner A, Rubenbauer B, **Linhart C**, Kammerlander C.

17. 17th Annual Meeting of the International Society for Computer Assisted Orthopaedic Surgery 2016, Osaka, Japan, 08.-11.06.2016, **Vortrag**  
“Fluoroscopic vs. Computer Aided Gamma Nail Surgery with ADAPT – an Ongoing Randomised Controlled Trial”  
Weidert S, Sommer F, Becker CA, Greiner A, Rubenbauer B, **Linhart C**, Grote S
  
18. 93. Jahrestagung der Vereinigung der Bayerischen Chirurgen, München, 20.–22.07.2016, **Vortrag**  
„Effektivität navigierter Gammanagel-Osteosynthesen hinsichtlich Tip-Apex-Distance und OP-Zeit - eine randomisiert kontrollierte klinische Studie“  
Weidert S, Rubenbauer B, Greiner A, Becker CA, **Linhart C**, Sommer F, Böcker W, Grote S.
  
19. DKOU 2016, Vortrag, Berlin, 25.10. - 28.10.2016, **Vortrag**  
„Prospektiv randomisierte Evaluation navigationsgestützter Gammanagel-Implantation“  
Sommer F, Grote S, Becker CA, **Linhart C**, Rubenbauer B, Greiner A, Böcker W, Weidert S.
  
20. Experimental Biology, Boston 28.03.-01.04.2015, **Vortrag**  
“Role of Systemic Inflammation and Monocyte Activation in Acutely-Decompensated Cardiorenal Syndrome Patients”  
**Christoph Linhart**, Rainer U. Pliquett, Christof Ulrich and Matthias Girndt
  
21. 4. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Nephrologie, Hamburg 06-09.10.2012, **Poster**  
„Lipopolysaccharid-bindendes Protein ist erhöht bei dekompenziertem, cardiorenalen Syndrom: Endotoxin-getriggerte Inflammation?“  
**C. Linhart**, C. Ulrich, M. Girndt, R. U. Pliquett

## Bericht und Verzeichnis der abgehaltenen Lehrveranstaltungen sowie Forschungsarbeiten

### Lehr- und Vortragsveranstaltungen

Von Beginn meiner Facharztausbildung an habe ich regelmäßig und ohne Unterbrechung an der Ausbildung von Studenten mitgewirkt. Meine bisherige Lehrtätigkeit in der Unfallchirurgie zunächst als Assistenzarzt, später als Facharzt fortgeführt, begann bereits ab dem ersten Tag als angestellter Arzt am KUM. Zunächst mit täglichem Kontakt mit PJ-StudentInnen und FamulantInnen während der Stationsarbeit, im Operationssaal, aber auch während der Tätigkeit in der Notaufnahme. Hierbei wurden zunächst v.a. praktische Fertigkeiten vermittelt (Verbandswechsel, Blutentnahmen, Op-Assistenz) aber auch die mannigfaltigen Möglichkeiten der Gesprächsführung v.a. in Anamnesegesprächen.

Nach wenigen Monaten wurde ich bereits für die ersten Lehrveranstaltungen eingesetzt, beispielsweise im Rahmen der L-Kurse auf Station, in der Nothilfe, Seminare und Vorlesungen zu unfallchirurgischen Themengebieten im Rahmen des MUSK-Blocks. Weiterhin folgte der Einsatz im Rahmen der OSCE-Prüfungen und als Aufsichtsperson während der schriftlichen Leistungskontrolle.

Durch die Teilnahme an wissenschaftlichen Kongressen und Weiterbildungen zur Verbesserung der eigenen Lehrtätigkeit habe ich mir moderne Konzepte der Lehrpädagogik und Vortragstechnik angeeignet. Insbesondere durch das Intensiv-Seminar Lehre (InSel-Seminar) hat sich meine Perspektive auf die Lehre nochmal deutlich weiter verändert, und – kurze Zeit nach dem Seminar – auch meine Lehrveranstaltungen. Schnell konnte ich feststellen, dass bereits eine Strukturierung nach dem AVIVA-Konzept durch seine freie Gesprächsführung und Abwechslung schon geeignet ist, um die Aufmerksamkeit der Studierenden merklich zu erhöhen und stellte eine merkliche Verbesserung in der Qualität meiner Lehrveranstaltungen dar. Somit konnte der ehemals dominierende Frontalunterricht peu à peu durch die innovativeren Wissensvermittlungsformen ersetzt werden, was sich insbesondere auch bei den neueren Unterrichtsformaten, wie z.B. dem Bedside-Teachings, positiv zeigte.

Meine bisherigen Lehrtätigkeiten der MeCum-assoziierten Unterrichtsformate sind folgend tabellarisch aufgeführt. Die Gesamtlehrleistung pro Semester betrug dabei nie unter 2 Semesterwochenstunden.

Seit 2015 bin ich regelmäßig in die Aus- und Weiterbildung von Doktoranden involviert und aktiv. Die Ausbildung und Betreuung von Doktoranden liegt mir im Rahmen der Lehr- und Forschungsarbeit sehr am Herzen. Aus diesem Grund habe ich bei allen bisher begleiteten Promotionen einen engen Austausch mit den Doktoranden praktiziert. Gemeinsam erarbeitete Konzepte zur Antragsstellung und Akquise von Drittmitteln sowie zur Durchführung wissenschaftlich exakter Forschungsarbeiten.

Hierbei konnte zunächst eine Datenbank über Wirbelkörperfrakturen erstellt werden von Patienten, die an der Wirbelsäule operiert worden sind. Wir haben retrospektiv untersucht, ob das Ausmaß der Korrektur des Kyphosewinkels einen Einfluss auf die postoperativen Ergebnisse hat und sich auf die Lebensqualität auswirkt. Diese Doktorarbeit mündete neben der Promotion auch in einer wissenschaftlichen Veröffentlichung.

Als nächste Doktorarbeit wurde ein biomechanisches Projekt initiiert, mit der Frage, ob sog. A3 subtrochantäre proximale Femurfrakturen bei osteoporotischen Patienten auch mit einem kurzen Marknagel stabil operativ versorgt werden können. Neben der Erstellung eines Ethikantrages und der Planung der Experimente, wurden Drittmittel erfolgreich eingeworben (FöFoLe-Antrag). Nach positivem Votum konnten die Versuche am Kadaver in interdisziplinärer Art und Weise zusammen mit den Kollegen aus dem biomechanischen Labor (ehemals aus der Klinik für Orthopädie, LMU München) erfolgreich durchgeführt und publiziert werden.

Eine weitere von mir initiierte und betreute Doktorarbeit beschäftigte sich mit der Frage, ob Frakturen des Beckens beim alten Menschen (> 80 Jahre) mit einer vermehrt vorliegenden Osteoporose assoziiert sind und ob diese Frakturen (auch FFP-Frakturen genannt) eine mögliche unterschätzte Indikatorfraktur für eine manifeste Osteoporose darstellen. Auch diese Arbeit mündete in einer erfolgreichen Promotion und wissenschaftlichen Veröffentlichung.

Die wissenschaftlichen Ergebnisse der Doktoranden sowie meine eigenen Ergebnisse wurden in regelmäßigen Treffen mit der Arbeitsgruppe „Becken- und Wirbelsäulen Chirurgie“ sowie der Arbeitsgruppe „Alterstraumatologie“ referiert und reflektiert.

Doktoranden-Betreuung:

- Herr Dominik Neuwieser
- Frau Elisabeth Steiner
- Herr Klevin Hoxhaj
- Herr Matthias Kassube

Meine Forschungsergebnisse wurden regelmäßig und durchgehend auf nationalen und internationalen Kongressen präsentiert (siehe Publikationen- und Schriftenverzeichnis). Zudem konnte ich mein Wissen im Bereich Orthopädie/Unfallchirurgie in spezifischen Kursen vertiefen.

Neben der engen Betreuung von Doktoranden habe ich mich seit März 2019 im Rahmen des MeCum-Mentorenprogramm engagiert und durfte bisher insgesamt 7 Menti als sog. Mentor betreuen. Dieses Programm hat das Ziel jedem Medizinstudenten die Möglichkeit zu bieten, einen oder mehrere passende Mentoren/Mentorinnen zu finden, um die individuellen Wünsche und Vorstellungen zur Selbstverwirklichung besser umsetzen zu können. MeCuM-Mentor soll damit einen wesentlichen Beitrag zur Vernetzung innerhalb der medizinischen Fakultät sowie zu einer positiven Lernkultur leisten.

**Forschungsarbeiten**

Im Rahmen eines Blockpraktikums, als Student, in der Nephrologie lernte ich Herrn Oberarzt PD Dr. med. Rainer Pliquett (Universitätsklinik und Poliklinik für Innere Medizin II der Medizinischen Fakultät der Martin-Luther-Universität Halle) kennen und wurde für das wissenschaftliche Arbeiten begeistert und begann meine Promotion unter seiner Führung.

Das Thema meiner Promotion „Rolle von Endotoxin – Translokation und Monozytenfunktion bei dekompensiertem kardiorenalen Syndrom“ wurde zusammen erarbeitet und ein selbständig formuliertes Ethikvotum eingeholt. Für diese klinisch-prospektive Studie habe ich die Patienten rekrutiert, welche an einem dekompensierten kardiorenalen Syndrom (CRS) erkrankt waren und führte die Blutentnahmen durch. Meine zentrale Rolle war hierbei folgend die experimentelle Bearbeitung der Blutproben im Labor. Hierzu wurden verschiedene murine anti-humane Antikörper zur Charakterisierung der Monozytensubpopulation verwendet und mittels

Durchflusszytometrie charakterisiert und zugeordnet. Zusammengefasst deuten die gewonnenen Daten auf eine weit verbreitete vielfältige systemische Entzündung und Monozytenaktivierung bei akutem CRS hin. Hier zeigte sich der frühe Einsatz einer Nierenersatztherapie als vielversprechende Therapieoption. Aufgrund der sehr erfolgreichen experimentellen Versuche im Labor wurde ich durch die gemeinsame Forschungsgruppe ernannt eine Folgestudie zu etablieren, welche basierend auf meinen Daten, als Pilotstudie durchgeführt wurde und äußerst erfolgreich wissenschaftlich publiziert werden konnte mit mir als federführender Initiator, als Erstautor (siehe Publikationen- und Schriftenverzeichnis).

Im Rahmen eines studentischen Nebenjobs als OP-Assistent in der orthopädischen Klinik des Martha-Maria-Krankenhauses, Halle-Dölau, habe ich im Anschluss erste Erfahrungen mit orthopädisch-traumatologischen Krankheitsbildern gemacht. Durch den Kontakt mit wissenschaftlich tätigen Ärzten an dieser Klinik sowie an der Orthopädischen Klinik der Universitätsklinik Halle wurde mein Interesse an der experimentellen Untersuchung von Krankheitsbildern aus dem muskuloskelettalen Formenkreis geweckt.

Nach Beginn meiner ärztlichen Tätigkeit am LMU-Klinikum wurde ich zügig in die Arbeitsgemeinschaft für Wirbelsäulen- und Beckenchirurgie aufgenommen und schrittweise mit mehr und mehr Verantwortung bzgl. klinischer Studien betraut. Durch den Einstieg in diese bereits existierende Arbeitsgemeinschaft konnte ich bereits früh weitere Erfahrung sammeln bei der Planung, Durchführung und schließlich Veröffentlichung in wissenschaftlichen Journals, zunächst als Co-Autor. Hierbei sind zahlreiche Publikationen verwirklicht worden (siehe Publikationen- und Schriftenverzeichnis).

Relativ zügig wurde dann der bereits erwähnte FöFoLe-Antrag erfolgreich erarbeitet und umgesetzt mit der Fragestellung, ob im geriatrischen Patientenkollektiv mit einer manifesten Osteoporose bei subtrochantären proximalen Femurfrakturen die Verwendung eines kurzen proximalen Marknagels biomechanisch möglich und stabil versorgt werden kann. Nach Abschluss dieser biomechanischen Kadaverstudie konnte ich die neue Erfahrung nahtlos in Folgeprojekte auf diesem Forschungsgebiet anwenden, welche ebenfalls in erfolgreichen Publikationen mündeten (siehe Publikationen- und Schriftenverzeichnis).

Parallel hierzu wurden klinische Forschungsprojekte ebenfalls in diesem Bereich durchgeführt mit dem Schwerpunkt der klinischen Nachuntersuchung bei speziellen Acetabulumfrakturen, welche mit einer zementfreien Revisions-Hüftpfanne versorgt wurden und wissenschaftlich publiziert werden konnten. Weitere klinische Studien wurden durchgeführt mit unter anderem der Fragestellung nach der postoperativen Lebensqualität nach durchgeführten Wirbelsäulenoperation und der Erstellung einer Datenbank mit allen dokumentierten Fragilitätsfrakturen des Beckenrings am LMU-Klinikum (FFP-Frakturen) mit der Frage, ob der Schweregrad der Fraktur mit dem Grad der Osteoporose korreliert. Zudem konnte im Rahmen einer experimentellen Studie zur „Augmented Reality“ bei unfallchirurgischen Operationen erfolgreich Drittmittel zur Versuchsdurchführung eingeworben werden.

Durch die bereits durchgeführten und in Zukunft geplanten Projekte der Arbeitsgemeinschaft Becken- und Wirbelsäulenchirurgie wurde mein wissenschaftliches Interesse weiter bestärkt in diesem Fachbereich mein Habilitationsprojekt durchzuführen.

#### **Lehrleistung**

Folgend sind meine Lehrleistungen tabellarisch aufgeführt, welche im Rahmen der Habilitation zu erfüllen sind. Darüber hinaus wurde bis zum heutigen Tage die Lehrleistung selbstverständlich in allen Facetten fortgeführt und ich wurde bereits für das kommende Semester wieder entsprechend eingeteilt.

| Veranstaltungsnummer (z. B. 7M...) | Titel der Lehrveranstaltung/Veranstaltungsreihe | Datum (TT.MM.JJJJ) /Semester     | UE (a 45 Min.) /SWS*   | Bemerkungen  |
|------------------------------------|---|----------------------------------|------------------------|--|
|                                    |   | SS 15 – dato                     | Pro Semester ca. 16 UE | Ab SS 2015 kontinuierliche Lehrtätigkeit (hier nicht einzeln dokumentiert) |
| 7M2401                             | Untersuchungskurs L3 - U3                       | WS 16/17                         | 6 (2x 3) UE            |  |
| 7M2801                             | Untersuchungskurs L5 – U5                       | WS 16/17                         | 6 (2x 3) UE            |  |
| 7M1320                             | OSCE-Unfallchirurgie                            | 10.11.2017 WS 17/18              | 6 UE                   |  |
| 7M1321                             | Blockpraktikum                                  | 24.01.2018 WS 17/18              | 1 UE                   |  |
| 7M1321                             | Blockpraktikum                                  | 25.01.2018 WS 17/18              | 1 UE                   |  |
| 7M1320                             | OSCE-Unfallchirurgie                            | 16.02.2018 WS 17/18              | 6 UE                   |  |
| 7M1334                             | 2x Seminar untere Extremität                    | 28.06.2018 SS 18                 | 4 (2 x 2) UE           |  |
| 7M1321                             | 2x VL <u>Alterstraumatologie</u>                | 03.12.2018 + 14.01.2019 WS 18/19 | 2 (2x 1) UE            |  |
| 7M1334                             | 2x Seminar <u>Osteosyntheselehre</u>            | 14.01.2019 WS 18/19              | 4 (2 x 2) UE           |  |
| 7M1321                             | Blockpraktikum                                  | WS 18/19                         | 1 UE                   |  |
| 7M1320                             | OSCE-Unfallchirurgie                            | 15.02.2019 WS 18/19              | 6 UE                   |  |
| 7M1321                             | 2x VL <u>Alterstraumatologie</u>                | 13.05.2019 + 06.06.2019 SS 2019  | 2 (2x 1) UE            |  |
| 7M1334                             | 2x Seminar Becken                               | 07.06.2019 SS 19                 | 4 (2x 2) UE            |  |

|        |   |  |              |  |
|--------|---|--|--------------|--|
| 7P0730 | PJ-Fortbildung: <a href="#">Red Flags Luxationen der großen Gelenke</a>                                     | 05.09.2019 SS 2019   | 2 UE         |  |
|        | <i>Lehrveranstaltung Orthopädie → siehe gesonderte Auflistung Lehrleistung Orthopädie (unten angehängt)</i> |  |              |  |
| 7M2401 | Untersuchungskurs L3 - U3   | WS 19/20   | 3 UE         |  |
| 7P0730 | PJ-Fortbildung: <a href="#">Wirbelsäulenverletzungen</a>  | 05.12.19 WS19/20   | 2 UE         |  |
| 7M1334 | IC obere Extremität und Seminar obere Extremität  | 02.11.20 WS 20/21  | 4 (2x 2) UE  |  |
| 7M1334 | Seminar Osteosyntheselehre  | 02.11.20 WS 20/21  | 4 (2x 2) UE  |  |
| 7M1321 | <a href="#">VL Alterstraumatologie</a>  | 02.11.20 WS 20/21  | 1 UE         |  |
| 7M1334 | IC untere Extremität und Seminar untere Extremität  | 03.11.20 WS 20/21  | 4 (2x 2) UE  |  |
| 7M1334 | IC SHT und Seminar Polytrauma 1   | 05.11.20 WS 20/21  | 4 (2x 2) UE  |  |
| 7M1334 | Seminar Polytrauma 2  | 05.11.20 WS 20/21  | 2 UE         |  |
| 7M1334 | 2x Seminar obere Extremität   | 13.04.2021 SS 21   | 4 (2x 2) UE  |  |
| 7M1384 | PBL MUSK via Zoom / <a href="#">Telephonkonferenz</a>   | 03.12.21<br>+ 27.01.22<br>+ 03.02.22<br>+ 08.02.22<br>+ 11.02.22<br>WS 21/22 | 10 (5x 2) UE |  |
| 7P0238 | 2x <a href="#">Nahtkurs</a>   | 28.03.22 SS22  | 4 (2x 2) UE  |  |
| 7M1384 | PBL MUSK via Zoom / <a href="#">Telephonkonferenz</a>   | 02.06.22<br>+ 10.06.22<br>SS22   | 4 (2x 2) UE  |  |
| 7M1269 | 2x <a href="#">Vorlesung Trauma</a>   | SS 2022  | 2 (2x 1) UE  |  |
| 7M1321 | Blockvorlesung Muskuloskelettales System und Schmerzmedizin zur Grundlagenvermittlung                       | SS 2022  | 1 UE         |  |

|        |                                     |                          |             |  |
|--------|-------------------------------------|--------------------------|-------------|--|
| 7M2801 | 2x <u>Untersuchungskurs L5 – U5</u> | 11.05.22 + 25.05.22 SS22 | 6 (2x 3) UE |  |
| 7M2602 | 2x <u>Untersuchungskurs L4 – U4</u> | 06.07.22 + 13.07.22 SS22 | 6 (2x 3) UE |  |
| 7M1320 | <u>OSCE Unfallchirurgie</u>         | 15.07.22 SS22            | 6 UE        |  |
| 7P0238 | <u>Nahtkurs</u>                     | 06.12.22 WS 22/23        | 2 UE        |  |