

**Aus der Fakultät für Medizin  
der Universität Regensburg  
Prof. Dr. Bernd Füchtmeier  
Unfallchirurgie**

**Ursache des Cut-Out nach Dynamischer Hüftschraube und  
Proximalem Femurnagel bei der Versorgung proximaler  
Femurfrakturen**

**Gibt es hierzu Unterschiede?**

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Zahnmedizin

der  
Fakultät für Medizin  
der Universität Regensburg

vorgelegt von  
Andreas Bäuml

2022



**Aus der Fakultät für Medizin  
der Universität Regensburg  
Prof. Dr. Bernd Füchtmeier  
Unfallchirurgie**

**Ursache des Cut-Out nach Dynamischer Hüftschraube und  
Proximalem Femurnagel bei der Versorgung proximaler  
Femurfrakturen**

**Gibt es hierzu Unterschiede?**

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Zahnmedizin

der

Fakultät für Medizin  
der Universität Regensburg

vorgelegt von  
Andreas Bäuml

2022

Dekan: Prof. Dr. Dirk Hellwig

1. Berichterstatter: Prof. Dr. Bernd Füchtmeier

2. Berichterstatter: Prof. Dr. Marcus Scherer

Tag der mündlichen Prüfung: 21.10.2022

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung und Problemstellung</b> .....	5
<b>1.1. Epidemiologie der proximalen Femurfrakturen</b> .....	5
<b>1.2. Anatomie des Femurs</b> .....	8
<b>1.3. Klassifikation der proximalen Femurfrakturen</b> .....	11
<b>1.4.1. Geschichte der Versorgung pertrochantärer Femurfrakturen</b> ...	18
<b>1.4.2. Die dynamische Hüftschraube</b> .....	19
<b>1.4.3. Der proximale Femurnagel</b> .....	21
<b>1.5. Komplikationen bei der Frakturversorgung</b> .....	23
<b>2. Material und Methoden</b> .....	26
<b>2.1. Patientenkollektiv</b> .....	26
<b>2.2. Untersuchte Parameter</b> .....	27
<b>2.2.1. Tip-Apex-Distance</b> .....	27
<b>2.2.2. Qualität der Osteosynthese</b> .....	29
<b>2.2.3. Positionierung der Schraube im Femurkopf</b> .....	30
<b>2.3. Fragestellung</b> .....	31
<b>2.4. Beschreibung der statistischen Methoden</b> .....	32
<b>3. Ergebnisse</b> .....	33
<b>3.1. Alter zum Zeitpunkt der Operation</b> .....	33
<b>3.2. Geschlecht</b> .....	34
<b>3.3. Seitenlokalisierung</b> .....	35
<b>3.4. Frakturklasse nach AO-Klassifikation</b> .....	36
<b>3.5. Wahl der Therapie (DHS versus PFN)</b> .....	37
<b>3.6. Tip-Apex- Distance</b> .....	38
<b>3.7. Qualität der Frakturreposition</b> .....	40
<b>3.8. Positionierung der Schraube im Femurkopf</b> .....	42
<b>4. Diskussion</b> .....	46

<b>5. Fallbeispiele</b> .....	53
<b>6. Zusammenfassung</b> .....	59
<b>7. Literaturverzeichnis</b> .....	61
<b>8. Abbildungsverzeichnis</b> .....	69
<b>9. Tabellenverzeichnis</b> .....	71
<b>10. Lebenslauf</b> .....	72
<b>11. Danksagung</b> .....	73
<b>12. Eidesstattliche Versicherung</b> .....	74

# 1. Einleitung und Problemstellung

## 1.1. Epidemiologie der proximalen Femurfrakturen

Die proximale Femurfraktur ist eine der häufigsten Frakturen bei Menschen höheren Alters (1). Insgesamt wurden bei der Erfassung von proximalen Femurfrakturen, welche sich zusammensetzen aus pertrochantären Frakturen und Schenkelhalsfrakturen, durch die Bundesstelle für Qualitätssicherung im Jahr 2008 98.971 Fälle gezählt (2), im Jahre 2014 bereits 108.440 (3).

Seit dem Jahr 2014 erfolgt eine spezifische Dokumentation von osteosynthetisch versorgten hüftgelenksnahen Femurfrakturen. Hier ergab die Bundesauswertung des Instituts für Qualitätssicherung und Transparenz im Gesundheitswesen für das Jahr 2020 61.188 Fälle (3) nach 58.975 erfassten Fällen für das Jahr 2014 (2).

Insgesamt 85% der Betroffenen weisen ein Lebensalter von über 70 Jahren auf, das Durchschnittsalter beträgt etwa 80 Jahre und Frauen sind in ca. 75% der Fälle betroffen (4).

Betrachtet man die Zahlen des Statistischen Bundesamtes zur demografischen Entwicklung und zur Lebenserwartung der Bevölkerung, so lässt sich schlussfolgern, dass die Inzidenz der proximalen Femurfrakturen in den kommenden Jahren weiter steigen wird. Die aktuelle Lebenserwartung bei Geburt für Männer beträgt 78,3 Jahre, bei Frauen 83,18 Jahre. Heute 65-jährige Männer haben eine weitere fernere Lebenserwartung von noch 17,8 Jahren, Frauen dieses Alters von weiteren 21,0 Jahren (5). Die Zahl der Menschen in Deutschland in einem Alter ab 67 Jahren stieg bereits zwischen 1990 und 2020 um 55,8% von 10,4 Millionen auf 16,2 Millionen (6,7). Es wird erwartet, dass diese Zahlen bis 2039 um weitere 5 bis 6 Millionen auf mindestens 21 Millionen wachsen und anschließend bis 2060 relativ stabil bleiben werden. Die Zahl der Menschen in einem Alter von 80 Jahren oder älter beträgt für 2018 5,4 Millionen, wobei das Statistische Bundesamt ein Wachstum dieser Bevölkerungsgruppe auf 6,2 Millionen im Jahre 2022 und bis zum Jahre 2050 auf zwischen 8,9 Millionen und 10,5 Millionen Menschen prognostiziert, je nach angenommener Entwicklung

der Lebenserwartung (6). Eine Zunahme der Inzidenz proximaler Femurfrakturen für die nächsten Jahre ist also nicht nur zu erwarten, sondern kann auch bereits beobachtet werden. So beobachteten Müller et al. in einer Studie über operativ versorgte proximale Femurfrakturen über den Zeitraum von zehn Jahren eine Zunahme von 74,1% oder 7,4% jährlich bei ansonsten gleichbleibender Krankenhausstruktur (8).

Hauptursache der proximalen Femurfrakturen sind sogenannte Niedrigrasanz-Traumata, zumeist ein Sturz aus dem Stand oder ein Sturz aus niedriger Höhe auf die Hüfte (9). Als hauptsächlicher Risikofaktor ist die Osteoporose zu sehen, besonders in Kombination mit einer im Alter abnehmenden motorischen Koordination (10). Es sind jedoch auch weitere Faktoren wie kardiovaskuläre oder neurologische Vorerkrankungen, wie beispielsweise Morbus Parkinson, zu beachten, nicht zuletzt auch die häufige Medikation mit daraus folgenden Nebenwirkungen aufgrund genannter Vorerkrankungen (10). Hauptursache bei jüngeren Menschen, insgesamt jedoch selten, sind sogenannte Hochrasanz-Traumata, beispielsweise bei Verkehrsunfällen (9).

Die Therapie der proximalen Femurfrakturen erfolgt in den meisten Fällen operativ, wobei die Therapieziele im Alter klar definiert sind. Hervorzuheben sind hierbei besonders eine alsbaldige Vollmobilisierung und Belastung der Extremitäten sowie eine Rückführung in den Alltag (11). Auch wenn endoprothetische Versorgungen an Bedeutung gewinnen, so werden insbesondere pertrochantäre Femurfrakturen nach wie vor hauptsächlich osteosynthetisch versorgt, wobei als intramedulläres Verfahren der Proximale Femurnagel, als extramedulläres Verfahren die Dynamische Hüftschraube (DHS) heute der Goldstandard sind (12).

Hinsichtlich der Spätfolgen haben proximale Femurfrakturen für die Patienten tiefgreifendere Auswirkungen als beispielsweise Wirbelkörperfrakturen, da sie bei 20% der Patienten komplikationsbedingt zum Tode führen können und bei weiteren 20% zu einer dauerhaften Pflegebedürftigkeit (13). Um Sekundärfolgen, die durch zu lange Immobilisation auftreten können, wie unter anderem Dekubitus, Thrombosen oder pneumonale Komplikationen, zu minimieren, muss eine auch unter Belastung stabile Osteosynthese das Ziel der Therapie sein, um baldmöglichst mit einer Frühmobilisation beginnen zu können (10). Bei einem



Versagen der Osteosynthese ist eine zweite Operation notwendig, meistens muss den Patienten dann eine Endoprothese implantiert werden, was mit zusätzlichen Komplikationen und Risiken behaftet ist.

Aufgrund dieser Entwicklungen hat die Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU) die Arbeitsgemeinschaft Alterstraumatologie ins Leben gerufen (14,15,16). Eines der Hauptprojekte der Arbeitsgemeinschaft war die Erstellung eines Kriterienkatalogs und eines Zertifizierungsverfahrens um Alterstraumazentren zu schaffen. Ziele der Alterstraumazentren sind hauptsächlich eine Förderung unfallchirurgisch-geriatrischer Interdisziplinarität bei der Behandlung des Alterstraumas sowie Verbesserung der Behandlungsqualität und der Behandlungsergebnisse. Seit Beginn der Aktion haben 115 Kliniken in Deutschland, Österreich und der Schweiz das Zertifikat „AltersTraumazentrum DGU“ erhalten und 50 weitere Kliniken befinden sich im Zertifizierungsverfahren (Stand 24.10.2021). Im Jahr 2020 wurde der Anforderungskatalog bereits ein erstes Mal überarbeitet und an neueste Erkenntnisse angepasst, wobei hier auch besonderes Augenmerk auf die Behandlung proximaler Femurfrakturen gelegt wurde. Neuer Bestandteil war hier beispielsweise eine operative Versorgung der Patienten innerhalb von höchstens 24 Stunden, um die Heilungschancen zu verbessern und Spätfolgen zu minimieren (15,16).

Neben den gesundheitlichen und sozialen Folgen für den einzelnen Patienten sind auch die gesamtwirtschaftlichen Folgen für die Gesellschaft immens, so beziffern Stöckle et al. bereits 2005 die jährlichen Kosten für das Gesundheitssystem durch Oberschenkelhalsbrüche mit 2,5 Milliarden Euro (17). 2 Jahre später bezifferten Weyler et al. in ihrer Untersuchung die Kosten für das deutsche Gesundheitssystem bereits mit 2,77 Milliarden Euro und sie prognostizierten eine weitere Steigerung auf 3,85 Milliarden Euro im Jahr 2030 (18). 2015 wurden für den Deutschen Kongress für Unfallchirurgie und Orthopädie die direkten Kosten einer operativen Versorgung von Patienten mit proximalen Femurfrakturen an einer deutschen Universitätsklinik untersucht. Die Autoren bezifferten die Kosten der akut-stationären Versorgung mit durchschnittlich 8049,17 Euro; hierbei machte die stationäre Versorgung der Patienten mit 5360,61 Euro den größten Anteil aus, die Kosten der operativen

Versorgung betragen durchschnittlich 1766,76 Euro (19). Bereits 1999 untersuchten Pientka et al. die Folgekosten hüftgelenksnaher Frakturen nach erfolgter Akutversorgung. Es konnte gezeigt werden, dass die Folgekosten einen großen Anteil an den Gesamtkosten ausmachten und umso höher waren, je eher eine Pflegebedürftigkeit oder ein Heimaufenthalt eines Patienten nötig wurde (20). Italienische Forscher untersuchten 2018 die sozio-ökonomischen Kosten hüftgelenksnaher Frakturen im Vergleich zu anderen Erkrankungen mit hoher Hospitalisationsrate und kamen zu dem Schluss, dass die direkten Kosten zwar ähnlich seien, die Folgekosten aufgrund neu auftretender Komorbiditäten und Pflegebedürftigkeit aber deutlich höher (21).

Aus diesen Gründen haben sich bereits zahlreiche Studien mit der Frage nach intraoperativen Indikatoren, die eine zuverlässige Prognose über den langfristigen Erfolg einer Osteosynthese bei proximalen Femurfrakturen ermöglichen, befasst. Diese Arbeit soll dazu beitragen, indem sie den Einfluss dreier intraoperativ überprüfbarer Faktoren auf einen möglichen Cut-Out untersucht. Neben der Qualität der Reposition und der dreidimensionalen Lage des Schraubenmaterials im Femurkopf wird auch der Abstand der Schraube zur Spitze des Femurkopfs, die sogenannte Tip-Apex-Distance, überprüft.

## **1.2. Anatomie des Femurs**

Das Femur ist der längste Knochen des menschlichen Skeletts. Es bildet die knöcherne Grundlage des Oberschenkels und bestimmt wesentlich die Körpergröße des Menschen. Von proximal nach distal gliedert es sich in Caput femoris (bildet den kugeligen Gelenkkopf des Hüftgelenks), Collum femoris (Schenkelhals), Corpus femoris (Femurschaft) und Condyli femoris (bilden die beiden proximalen Anteile des Kniegelenks). Am Übergang von Schenkelhals zu Femurschaft imponieren zwei Muskelansatzhöcker, der Trochanter major nach lateral und der Trochanter minor nach medial. Der Trochanter Major dient als Ansatzpunkt für Teile der Gesäßmuskulatur, am Trochanter minor setzen Muskeln der inneren Hüftmuskulatur an. Der Schenkelhals bildet zum Schaft einen Winkel von im Mittel  $126^\circ$  zum Femurschaft, der sogenannte CCD-Winkel (Caput-Collum-Diaphysen) oder Kollodiaphysenwinkel. Im Greisenalter zeigt sich

eine Tendenz zu einer Verringerung dieses Winkels bis zu  $120^\circ$ , wobei ein vergrößerter Winkel eine aus mechanischer Sicht bessere Situation darstellen würde, da hierbei hauptsächlich Druckbelastungen auf den Schenkelhals wirken (22).

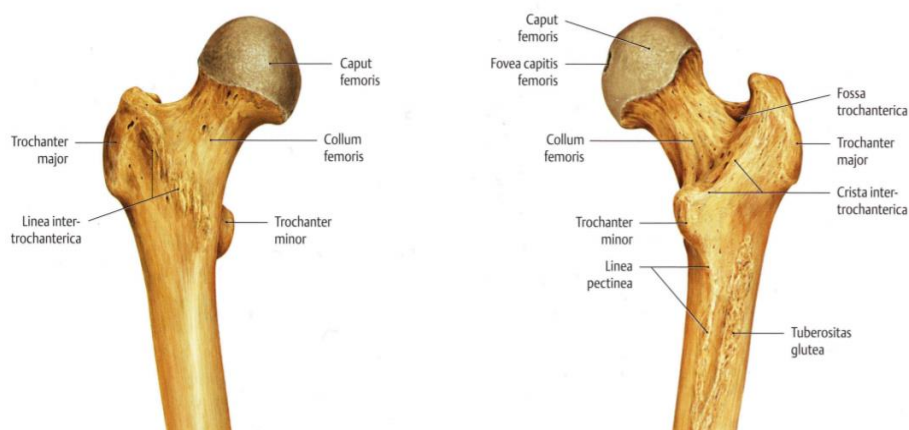
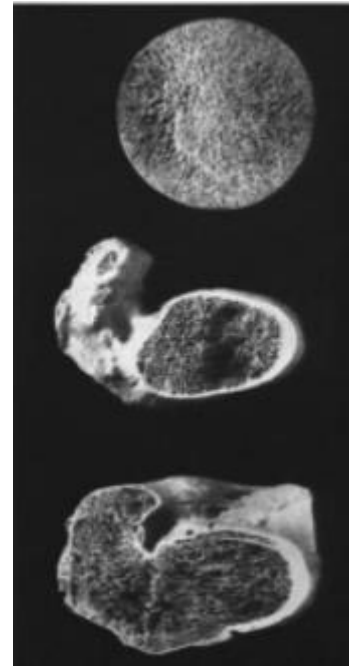
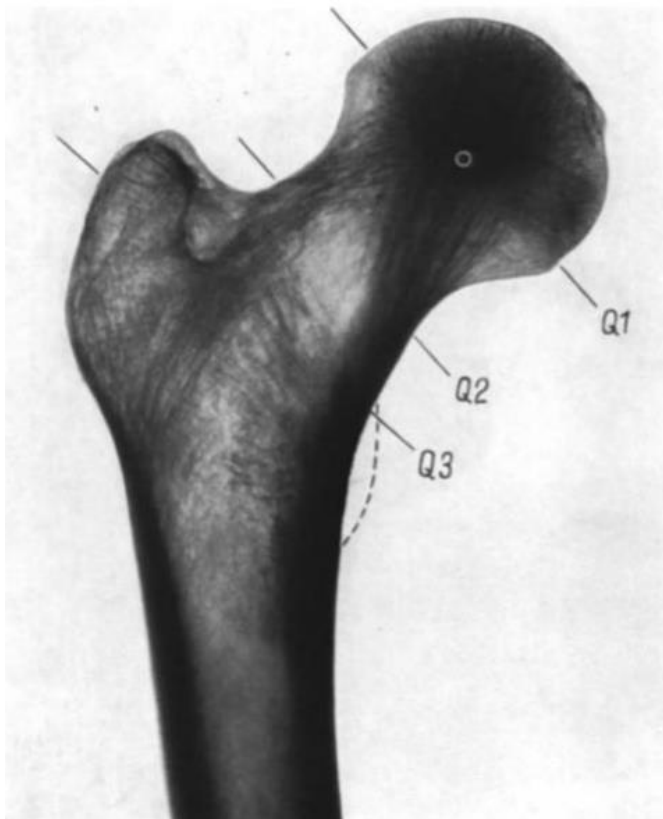


Abbildung 1: Proximaler Teil des rechten Oberschenkels (23)

Die Belastung des proximalen Femurs erfolgt durch das Körpergewicht und durch einwirkende Muskel- und Bandkräfte, es wird also physiologischerweise sowohl durch Druck als auch durch Flexion beansprucht. Die Spongiosa des Femurkopfes ist an diese Situation durch die Ausrichtung ihrer Zug- und Drucktrabekel angepasst. Drucktrabekel verlaufen hierbei vom kranialen Teil des Femurkopfes zur medialen Kortikalis des Schenkelhalses. Die Zugtrabekel reichen vom unteren Teil des Femurkopfes zum lateralen Teil des Schenkelhalses und kreuzen die Drucktrabekel dabei in einem rechten Winkel. Durch die beschriebene Ausrichtung der Trabekel wirken die Kräfte am Femur als Druck- und Zugspannung, Biegespannung wird hingegen umgewandelt und tritt nicht auf (24).

Ein grundsätzliches Verständnis für die Kräfte, die auf das Hüftgelenk und das proximale Femurende einwirken, lieferten die Überlegungen und Erkenntnisse des Biomechanikers Friedrich Pauwels. Er konnte außerdem zeigen, dass die Knochenmasse des Femurkopfes dort am dichtesten ist, wo die größten Spannungen auftreten, also in der medialen und lateralen Kortikalis. Die

Spongiosa mit ihrem Trabekelfachwerk weist hingegen eine deutlich geringere Dichte auf (25), anschaulich dargestellt auf unten folgendem Bild.



*Abbildung 2 Darstellung des Trajektorienverlaufs am proximalen Femur, rechts daneben von oben nach unten die Schnittbilder an den links im Bild markierten Stellen Q1, Q2 und Q3 (50)*

Die auf das Femur einwirkenden Kräfte konnten Bergmann et al 1989 durch eine in-vivo Untersuchung messen. Freiwillige Teilnehmer wurden mit speziellen Hüftendoprothesen, die zusätzlich über Sensoren zur Belastungsaufzeichnung verfügten, versorgt. Dabei traten bereits beim Stehen Belastungen von 60% des Körpergewichts auf. Beim Gehen mit Unterarmstützen wurden Kräfte von bis zu 160% des eigenen Körpergewichts gemessen, beim vollbelasteten Gehen bis zu 280% (26).



*Abbildung 3 Beckenübersichtsaufnahme a.p. ohne pathologischen Befund an den Femora (27)*

### **1.3. Klassifikation der proximalen Femurfrakturen**

Die Gruppe der proximalen Femurfrakturen umfasst die Femurkopffrakturen, die Schenkelhalsfrakturen, welche das Collum femoris betreffen, und die Frakturen der peri- und subtrochantären Region. Schenkelhalsfrakturen und peritrochantäre Frakturen kommen in etwa in gleicher Häufigkeit vor und machen jeweils ungefähr 45% der proximalen Femurfrakturen aus, auf subtrochantäre Frakturen entfallen circa 10%, Frakturen des Femurkopfes stellen eine vergleichsweise seltene Verletzungsform dar (28). In dieser Arbeit sollen peritrochantäre Femurfrakturen genauer untersucht werden, welche wiederum in unterschiedliche Frakturschemata untergliedert werden.



Abbildung 4 Frakturen des proximalen Femurs (9)

Für pertrochantäre Frakturen ist die Klassifikation der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen (AO) nach Müller heute am gebräuchlichsten (29). In der AO-Klassifikation finden sich in der Region 31 die extraartikulären Frakturen der Trochanterregion 31A und die intraartikulären Frakturen des Schenkelhalses 31B. Punkt 31A unterscheidet weiter in drei Untergruppen, 31A1 für die einfachen Frakturen, 31A2 für die mehrfragmentären Frakturen und 31A3 für die intertrochantären Frakturen, also Frakturen distal des Trochanter major und proximal des Trochanter minor. Jede dieser Untergruppen wird in drei weitere Teile untergliedert, was eine genaue Bezeichnung des Frakturverlaufs ermöglicht (30). Dies soll in der folgenden Abbildung schematisch dargestellt werden.

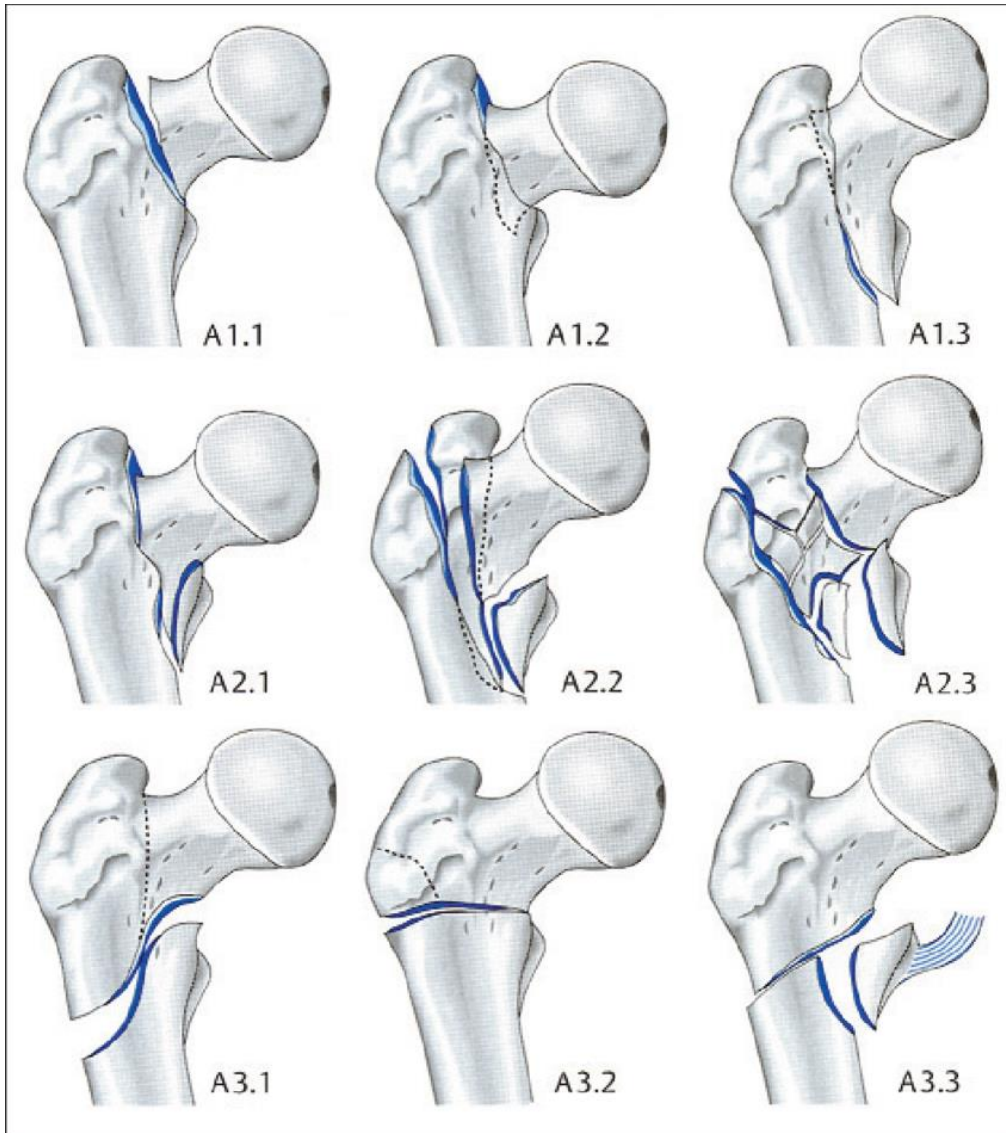


Abbildung 5 Fraktуреinteilung der AO nach Müller (AOTA Classification Compendium (30))

Für die Schenkelhalsfrakturen ist im klinischen Alltag und für die Therapiefindung die Klassifikation nach Garden von Bedeutung (29) Garden unterteilte 1961 die Schenkelhalsfraktur abhängig vom Ausmaß der Dislokation in 4 Grade, wobei die Grade 1 und 2 nicht dislozierte Frakturen darstellen und die Grade 3 und 4 dislozierte Frakturen. Die Grade 1 und 2 haben somit ein deutlich reduziertes Risiko hinsichtlich postoperativer Komplikationen wie beispielsweise einer Hüftkopfnekrose als die Grade 3 und 4 (31)

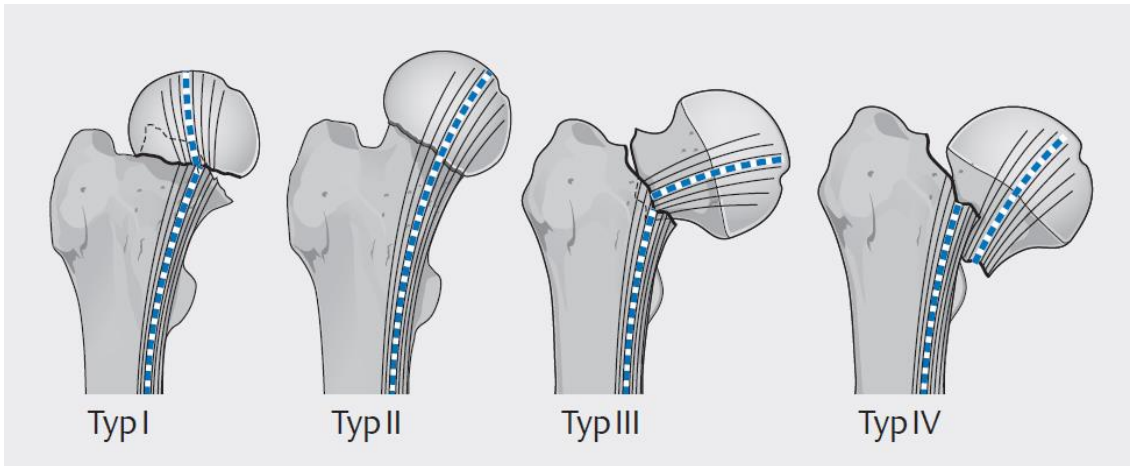


Abbildung 6 Klassifikation der Schenkelhalsfrakturen nach Garden (32)

Eine weitere relevante Einteilung der Schenkelhalsfrakturen ist die Frakturklassifikation nach Pauwels. Hierbei orientiert man sich am Winkel zwischen der Horizontalen und der Frakturlinie und die Frakturformen werden in drei Kategorien unterteilt.

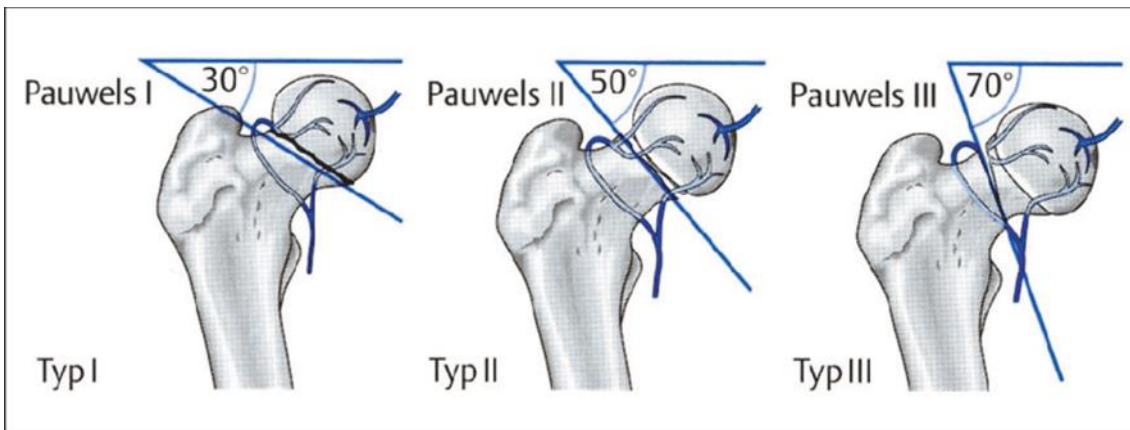


Abbildung 7 Frakturklassifikation nach Pauwels (aus Haas N, Josten C.: Verletzung des Hüftgelenks und des proximalen Femurs)

Bei Pauwels Klasse I beträgt der Frakturwinkel weniger als  $30^\circ$  zur Horizontalen, was einer Abduktionsfraktur in Valgusstellung entspricht. Pauwels Klasse II Frakturen weisen einen Frakturwinkel von ungefähr  $50^\circ$  auf, entsprechend einer Adduktionsfraktur in Varusstellung. Beträgt der Frakturwinkel mehr als  $70^\circ$  handelt es sich um eine Fraktur der Pauwels Klasse III, hierbei spricht man von einer Abscherfraktur (9). Mit zunehmender Pauwels Zahl steigt die Instabilität der Fraktur, verschlechtert sich die Prognose der Frakturheilung und es steigt die Gefahr einer Pseudarthrosenbildung.



#### **1.4. Diagnostik und Prinzipien der Frakturversorgung**

Ursache, klinisches Erscheinungsbild und Diagnostik von Schenkelhalsfrakturen sind analog zu denen der pertrochantären Frakturen. Anamnestisch lässt sich in den meisten Fällen ein Sturz aus geringer Höhe oder aus dem Stand eruieren. Klinisch zeigt sich eine Außenrotation und Verkürzung des betroffenen Beins. Das betroffene Bein ist nicht belastungsfähig und es besteht eine Schwellung sowie ein Klopf- und Bewegungsschmerz im Hüftbereich. Zur radiologischen Diagnostik wird eine Beckenübersichtsaufnahme und zusätzlich eine axiale Aufnahme der Hüfte angefertigt. Eine CT- Untersuchung kann angefertigt werden, sollte eine Beurteilung mittels der Standardröntgenaufnahmen nicht möglich sein (9). Ziel der operativen Therapie ist in jedem Falle, den Patienten zeitnah wieder zu mobilisieren und eine Vollbelastung zu ermöglichen, um Sekundärkomplikationen durch zu lange Immobilität zu vermeiden. Aktuelle Richtlinien empfehlen eine operative Versorgung der Fraktur binnen 24 Stunden nach Auftreten der Verletzung. Diese Zeit muss genutzt werden, um die Patienten zu stabilisieren und etwaige Komorbiditäten und Polypharmazien abzuklären (9).

Studien zeigten, dass bis zu 95% der Patienten mit pertrochantären Frakturen Komorbiditäten aufwiesen (33).

Als häufigste und relevanteste Begleiterkrankungen bei pertrochantären Femurfrakturen listet die DGU in ihrer Leitlinie zu diesem Thema die Osteoporose, kardiovaskuläre Erkrankungen, Diabetes Mellitus, Leber - und Nierenerkrankungen und neurologische Erkrankungen. Neurologische Erkrankungen spielen auch insoweit eine Rolle, als dass sie, wie beispielsweise Morbus Parkinson, zu einem unsicheren Gangbild und damit zu einem erhöhten Sturzrisiko führen können. Allgemein lässt sich festhalten, dass pertrochantäre Femurfrakturen eine bereits häufig an multiplen Vorerkrankungen leidene Patientengruppe betrifft, und je ausgeprägter die Komorbiditäten beim einzelnen Patienten, desto schlechter sind die Prognose und der spätere Outcome nach Versorgung. Hinsichtlich der Polypharmazien ist besonderes Augenmerk auf blutgerinnungshemmende Medikamente zu legen, außerdem auf Zytostatika und metforminhaltige Antidiabetika (10).

Die Koagulation hemmenden Medikamente spielen auch insoweit eine Rolle, als dass Patienten, die insbesondere neue orale Antikoagulanzen (NOAKs) einnehmen, deshalb nicht innerhalb von 24 Stunden operiert werden können. Hierzu besteht noch keine einheitliche Meinung oder klare Handlungsempfehlung durch Leitlinien, wobei aktuelle Studien darauf hindeuten, dass auch die Einnahme von NOAKs in der Regel keine Verzögerung des Operationszeitpunkts rechtfertigt (34).



*Abbildung 8 Aufnahme des rechten Hüftgelenks a.p. bei pertrochantärer Femurfraktur mit Absprengung des Trochanter minor (AO 31.A2) (35)*

Hinsichtlich der Therapieentscheidung unterscheiden sich die beiden Frakturformen. Während bei pertrochantären Frakturen in aller Regel eine Osteosynthese Mittel der Wahl ist, muss bei den Schenkelhalsfrakturen das Alter des Patienten und die Komorbidität berücksichtigt werden. Bei Patienten unter

65 Jahren soll bei allen Frakturklassen nach Garden eine osteosynthetische Versorgung angestrebt werden, bei Patienten über 75 wird zu einer prothetischen Versorgung geraten. Bei Patienten zwischen 65 und 75 wird bei nicht dislozierten Frakturen (Garden I/II) und keinen Begleiterkrankungen eine Osteosynthese empfohlen, bei Patienten mit Begleiterkrankungen und bei allen dislozierten Frakturen (Garden III/IV) wird zur prothetischen Versorgung geraten (29).

Betrachtet man die Frakturklassifikation nach Pauwels, so kann bei Frakturen der Klasse I unter Umständen konservativ versorgt werden für den Fall, dass die betreffenden Patienten in der Lage sind, zumindest partiell zu belasten. Hier sind also weitere Faktoren und Komorbiditäten zu berücksichtigen. Je schlechter der Allgemeinzustand des Patienten, desto eher sollte osteosynthetisch versorgt werden. Bei Frakturformen der Pauwels Klassen II und III besteht in jedem Fall eine Indikation zur operativen Versorgung (9).

Zur osteosynthetischen Versorgung proximaler Femurfrakturen stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung. Es muss grundsätzlich zwischen intramedullären und extramedullären Systemen unterschieden werden. Bei den intramedullären Verfahren ist der proximale Femurnagel (PFN) und seine Weiterentwicklung, der proximale Femurnagel Antirodation (PFNA) von besonderer Bedeutung, bei den extramedullären Verfahren die dynamische Hüftschraube (DHS) (12).

Die Auswahl des passenden Systems hängt von der Frakturform ab. Bei Schenkelhalsfrakturen und einfachen pertrochantären Frakturen der Klasse 31A1 besteht die Indikation zur Verwendung einer dynamischen Hüftschraube, bei komplizierten und somit instabilen pertrochantären Frakturen der Klassen 31A2 und 31A3 soll ein extramedulläres Verfahren gewählt werden. Alternativ kann bei instabilen Frakturen auf eine DHS mit Trochanterstabilisierungsplatte zurückgegriffen werden (29). Liegt ein Abriss des Trochanter minor vor, muss von einer fehlenden medialen Abstützung ausgegangen werden, weshalb in solchen Fällen ebenfalls eine Indikation zur Verwendung eines proximalen Femurnagels vorliegt.

Eine Versorgung der pertrochantären Femurfrakturen mittels Endoprothesen ist laut Leitlinien bei Vorliegen gewichtiger Gründe möglich, beispielsweise bei

Vorliegen einer Coxarthrose oder wenn mit einem Implantat keine ausreichende Stabilität erreicht werden kann. Ohne diese genannten Gründe gibt es keine Evidenz für einen Vorteil des primären künstlichen Gelenkersatzes im Vergleich zur Einbringung eines Implantates (10). Gegen die Versorgung mittels Endoprothese spricht vor allem die erhöhte 1-Jahres- Mortalität im Vergleich zur Osteosynthese (12).

#### **1.4.1. Geschichte der Versorgung pertrochantärer Femurfrakturen**

Die erste Beschreibung einer osteosynthetischen Versorgung erfolgte 1858 durch Langenbeck, der eine Schenkelhalsfraktur mit einem Nagel versorgte. Trotzdem war noch lange Zeit eine konservative Therapie mittel Schienung und Ruhigstellung Mittel der Wahl (36). Erst 1925 konnte mit der Entwicklung des Dreilamellennagels durch Smith-Petersen ein Paradigmenwechsel eingeleitet werden. Dieser Nagel konnte sowohl bei pertrochantären Frakturen als auch bei Schenkelhalsfrakturen eingesetzt werden.<sup>43</sup> Darauf aufbauend entwickelten Ernst Pohl und Gerhard Küntscher den Y-Nagel, der 1940 vorgestellt wurde. Dieser extramedulläre Kraftträger konnte sich außerhalb des deutschsprachigen Raums nie durchsetzen (37). Dies änderte sich erst 1986 durch den Gamma-Nagel, der durch Grosse, Kempf und Tanglang in Frankreich als Weiterentwicklung des Y-Nagels entwickelt wurde (38). Aufbauend auf dem System des Gamma-Nagels wurde schließlich durch die Firma Synthes 1996 der Proximale Femurnagel eingeführt.

Die Geschichte der dynamischen Hüftschraube beginnt 1934, als Robert Danis das erste Design eines dynamischen Implantates vorstellte, welches allerdings nicht zur praktischen Anwendung gelangte. 1951 patentierte Ernst Pohl in Deutschland die Pohl'sche Lasche, diese wurde ab den 1960er Jahren stetig weiterentwickelt bis hin zur dynamischen Hüftschraube, welche seit den 1980er Jahren Verwendung findet (36).

### **1.4.2. Die dynamische Hüftschraube**

Die dynamische Hüftschraube wurde 1981 durch die Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen entwickelt und wird von der Firma Synthes hergestellt. Das System besteht aus einer Schenkelhalsschraube, die zur Kompression der Fraktur dient, und einer Platte, die dem Femur lateral anliegt. Diese Platte wird mittels einer Hülse über den lateralen Teil der Schenkelhalsschraube geschoben und danach mittels Schrauben am Femurschaft fixiert. Die Schenkelhalsschraube hat einen Gewindedurchmesser von 12,5 Millimetern und ist in Längen von 50-145 Millimetern verfügbar. Die zugehörige Platte gibt es in Längen von 46-270 Millimetern mit 2-16 Löchern zur Fixation am Femurschaft und in CCD-Winkeln von 130-150°. Je instabiler die Fraktur, desto länger sollte die verwendete Femurschaftplatte sein. Ist der Trochanter major mitbetroffen, ist die Verwendung einer Trochanterstabilisierungsplatte sinnvoll.

Die Operation beginnt mit der geschlossenen Reponierung der Fraktur unter Bildverstärkerkontrolle. Im Anschluss wird über eine laterale Inzision der Knochen freigelegt. Es erfolgt die Einbringung eines Führungsdrahtes zur Längenbestimmung. Der CCD-Winkel kann durch das passende Zielgerät auf Werte zwischen 130° und 150° festgelegt werden. Die korrekte Position des Führungsdrahtes wird mittels Bildverstärker überprüft. Der Femurkopf wird für die Einbringung der Schenkelhalsschraube aufgebohrt und diese anschließend eingeschraubt. Bei gesundem Knochen kann vor dem Einschrauben ein Gewinde geschnitten werden, bei osteoporotischem Knochen sollte darauf verzichtet werden. Nachdem die korrekte Position der Schraube überprüft wurde, wird die Hülse der Femurschaftplatte über den lateralen der Teil der Schraube geschoben, die Platte am Femurschaft positioniert und mit Kortikalisschrauben fixiert. Bereits am ersten postoperativen Tag kann mit der Belastung begonnen werden (39).



Abbildung 9 Dynamische Hüftschraube im Röntgenbild (40)



Abbildung 10 Dynamische Hüftschraube in schematischer Darstellung (39)

### **1.4.3. Der proximale Femurnagel**

Der Proximale Femurnagel, ebenfalls hergestellt von der Firma Synthes, wurde 1996 eingeführt. Er findet seine Anwendung vor allem bei instabilen pertrochantären Frakturen. Das Implantat besteht aus einer Schenkelhalsschraube mit 11,0 Millimetern Gewindedurchmesser und dem Nagel, der in den Markraum des Femurs eingebracht wird. Dieser Nagel ist in Standardlängen von 200 mm (PFN kurz), 240 mm (PFN Standard) und 340/360/380/400/420/440 mm (PFN lang) verfügbar. Der Winkel zwischen Schenkelhalsschraube und Nagel wird mit 125/130/135° angeboten. Weiters ist der Nagel in einem medio-lateral Winkel von 6° gebogen, was eine Insertion über die Spitze des Trochanter major ermöglicht. Der Durchmesser des Nagels kann zwischen 10, 11 und 12 mm gewählt werden, was in vielen Fällen ein Einbringen des Implantates ohne vorheriges Aufbohren des Markraums ermöglicht.

Auch beim Proximalen Femurnagel muss die Fraktur zu Beginn unter Bildverstärkerkontrolle geschlossen reponiert werden. Ist eine geschlossene Reposition nicht möglich, so ist eine offene Reposition nötig. Der operative Zugang erfolgt über eine Inzision proximal des Trochanter major. Ein Führungsdraht wird eingebracht und das Femur mit einem Spiralbohrer eröffnet. Bei sehr engen Markräumen muss zusätzlich der Markkanal aufgebohrt und dadurch erweitert werden. Der Nagel wird in den Markraum inseriert, danach werden zuerst die proximale Antirationsschraube und im Anschluss die Schenkelhalsschraube in den Femurkopf eingeschraubt. Der Nagel wird distal über einen Verriegelungsbolzen fixiert und eine Verschlusschraube dichtet das proximale Ende ab (41).

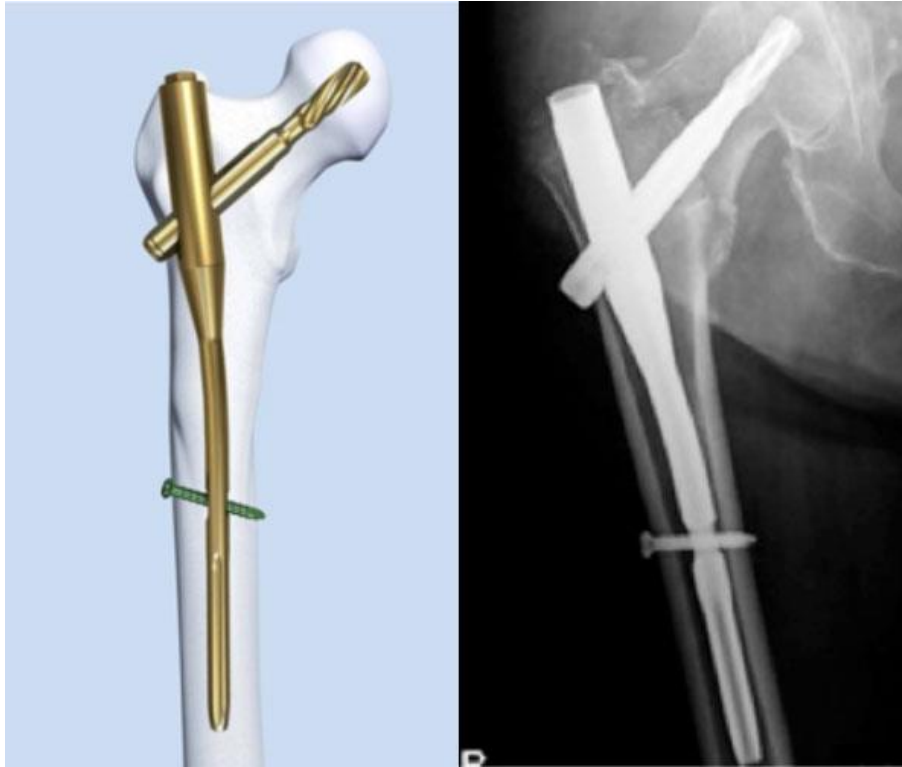


Abbildung 11 Proximaler Femurnagel (PFN A) in schematischer Darstellung und im Röntgenbild (43)

Bei instabilen Frakturen und reduzierter Knochendichte ist seit einigen Jahren eine zusätzliche Augmentation des Hüftkopfes mittels Knochenzement möglich. Hierzu wird ein hochvisköser Knochenzement aus PMMA (Polymethylmethacrylat) eingesetzt. Frakturposition und Implantation des Proximalen Femurnagels erfolgen wie beim herkömmlichen Verfahren. Anschließend wird mittels eines Spritzen-Kits ca. 3-5 ml Zement in die Klinge eingebracht, bis Zement aus den perforierten Löchern der Klinge in den Hüftkopf austritt. Dies erfolgt unter Bildwandlerkontrolle und erfordert allerdings ca. 10-15 Minuten zusätzliche Operationszeit (42). Dieses Verfahren ist nicht Gegenstand dieser Studie, es sei jedoch der Vollständigkeit halber erwähnt.





Abbildung 12 Röntgenbild einer Patientin mit peritrochantärer Femurfraktur nach Versorgung mit zementaugmentiertem PFN (42)

### 1.5. Komplikationen bei der Frakturversorgung

Nach den Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (10) wird in allgemeine, lokale und operationsabhängige Komplikationen unterschieden, außerdem zwischen Früh- und Spätkomplikationen. Als allgemeine Komplikationen werden Thrombosen, Embolien und Pneumonien genannt. Zu den lokalen Komplikationen zählen Infektionen und Hämatome. Operationsabhängige Komplikationen sind das Implantatversagen, der Implantatausbruch, Irritationen des Weichgewebes durch das Implantat und die Perforation von Schrauben durch den Hüftkopf. Letzteres ist als Cut-Out oder Cut-through bekannt, wobei Cut-Out eine Perforation des Hüftkopfs in kranialer Richtung beschreibt, Cut-Through die Perforation nach medial in das Becken (Acetabulum). Während der Cut-Out hauptsächlich bei Implantatsystemen mit einer einzelnen Schenkelhalshalsschraube zu beobachten ist, tritt der Cut-Through mehrheitlich bei Systemen, die mit mehreren Schrauben, beispielsweise zusätzlichen Antirotationsschrauben, im Femurkopf arbeiten, auf (10).

Das Versagen der Osteosynthese ist die Hauptkomplikation bei der Versorgung peritrochantärer Femurfrakturen (12). Cut-Outs sind hierbei sowohl bei extramedullären als auch bei intramedullären Osteosyntheseverfahren zu beobachten. Angaben zur Versagensrate schwanken in der Literatur. Murena et al. geben bei einer Studie mit 813 Fällen eine Cut-Out Rate von 2,2% an (44), Hohendorff et al. bei einem Kollektiv von 139 Patienten eine Rate von 7,9% (45). Andruszkow et al. gaben bei einer Untersuchung Raten von 3,2% und 4,3% an (46). Neuere Studien legen einen Vorteil bei der Cut-Out Rate für die intramedullären Osteosyntheseverfahren gegenüber den extramedullären Systemen nahe (47). Füchtmeier et al. fanden bei einem Vergleich verschiedener Studien Versagensraten der Osteosynthese zwischen 3,4 und 7,7% (12).

Füchtmeier et al. gingen in ihrer Untersuchung (12) jedoch nicht nur auf den Cut-Out als Komplikation ein, sondern untersuchten noch zahlreiche weitere Komplikationen bei der operativen Versorgung proximaler Femurfrakturen auf ihre Häufigkeit und gingen hierbei auch auf Unterschiede zwischen intra- und extramedullären Kraftträgern ein. Als häufigste Komplikationen fanden sie Schmerzen selbst bei sonst komplikationslosem Ablauf (bei 35,5–63,1% der Fälle) und soziale Beeinträchtigungen aufgrund eingeschränkter Funktion (34,2–61,0%). Die untersuchten Studien fanden Wundinfektionen in 1,6–12,0% der Fälle, eine Krankenhausmortalität in 4,7–17,6% der Fälle und eine Einjahresletalität in 17,6–27,6%. Hierbei muss aber berücksichtigt werden, dass es sich bei dem vorliegenden Patientenkollektiv vielfach um ältere und multimorbide Patienten handelt, die prinzipiell ein höheres Komplikationsrisiko haben. Trotz allem hielten Füchtmeier et al. fest, dass die Hauptkomplikation nach wie vor ein Cut-Out der Hüftschraube ist und hierbei kein Unterschied zwischen intramedullären und extramedullären Systemen in den analysierten Studien beobachtet werden konnte. Die Versagensmuster, die zum Cut-Out führten, glichen sich jedoch über die verschiedenen Studien hinweg.

In Anbetracht dieser hohen Komplikationsrate stellten die Autoren (12) auch die Frage nach einer endoprothetischen Versorgung als Alternative, um die Komplikationsrate zu senken. In Ausnahmefällen, wie bei Vorliegen einer Koxarthrose, ist die Versorgung mittels Endoprothese indiziert, der höheren

Primärstabilität stehen jedoch eine höhere Prothesenluxationsrate (8,3%) und eine höhere Einjahresletalität gegenüber.

Um diese immer noch zu hohen Komplikationsraten zu senken, haben sich bereits zahlreiche Studien mit der Frage nach intraoperativen Indikatoren, die eine zuverlässige Prognose über den langfristigen Erfolg einer Osteosynthese bei proximalen Femurfrakturen ermöglichen, befasst.

Diese Arbeit soll dazu beitragen, indem sie den Einfluss intraoperativer Faktoren auf einen möglichen Cut-Out untersucht. Neben der Qualität der Reposition und der dreidimensionalen Lage des Schraubenmaterials im Femurkopf wird auch der Abstand der Schraube zur Spitze des Femurkopfs, die sogenannte Tip-Apex-Distance, überprüft.

## **2. Material und Methoden**

### **2.1. Patientenkollektiv**

Zur Datenerhebung für diese retrospektive Studie konnte auf eine Datenbank der Klinik für Unfallchirurgie und Orthopädie des Krankenhauses der Barmherzigen Brüder in Regensburg zurückgegriffen werden. Diese über die Jahre gewachsene Datenbank zur Analyse des hauseigenen Krankenguts diente als Grundlage für zahlreiche Studien bezüglich proximaler Femurfrakturen, sowohl hinsichtlich osteosynthetisch versorgter Frakturen als auch bei endoprothetischer Versorgung (48-52,72). Insgesamt umfasste der Datensatz ein Kollektiv von weit über 2000 Patientenfällen aus einem Zeitraum vom 01.01.2006 bis zum 05.12.2014, allesamt an der Klinik für Unfallchirurgie und Orthopädie des Krankenhauses der Barmherzigen Brüder in Regensburg operativ versorgt aufgrund einer proximalen Femurfraktur.

Einschlusskriterium war eine operativ versorgte proximale Femurfraktur maximal 5 cm unterhalb des Trochanter Minor. Der Nachuntersuchungszeitraum betrug bei allen eingeschlossenen Patienten mindestens ein Jahr.

Ausschlusskriterium war folglich ein Follow-Up von weniger als einem Jahr. Außerdem wurden keine Patientenfälle untersucht, bei denen eine kontralaterale Fraktur des Femurs vorlag oder eine zementaugmentierte Osteosynthese durchgeführt wurde.

Aus diesem Kollektiv wurden insgesamt 988 Patienten osteosynthetisch versorgt, davon 568 Patienten mit einer Dynamischen Hüftschraube, 420 mittels Proximalen Femurnagels. Hieraus wurden nun sämtliche Patienten untersucht, bei denen als Komplikation ein Versagen der Osteosynthese durch Cut-Out auftrat, dies betraf 29 Patienten (5,1%) aus der DHS-Gruppe und 8 Patienten (1,9%) aus der PFN Gruppe.

Als Kontrollgruppen wurden zwei Gruppen von jeweils 100 Patienten ohne Komplikationen mit DHS respektive PFN gebildet. Die Patientenauswahl für die Kontrollgruppen erfolgte jeweils zufällig aus dem Microsoft Excel Datensatz aller mit DHS beziehungsweise PFN ohne Komplikationen versorgten Patienten.

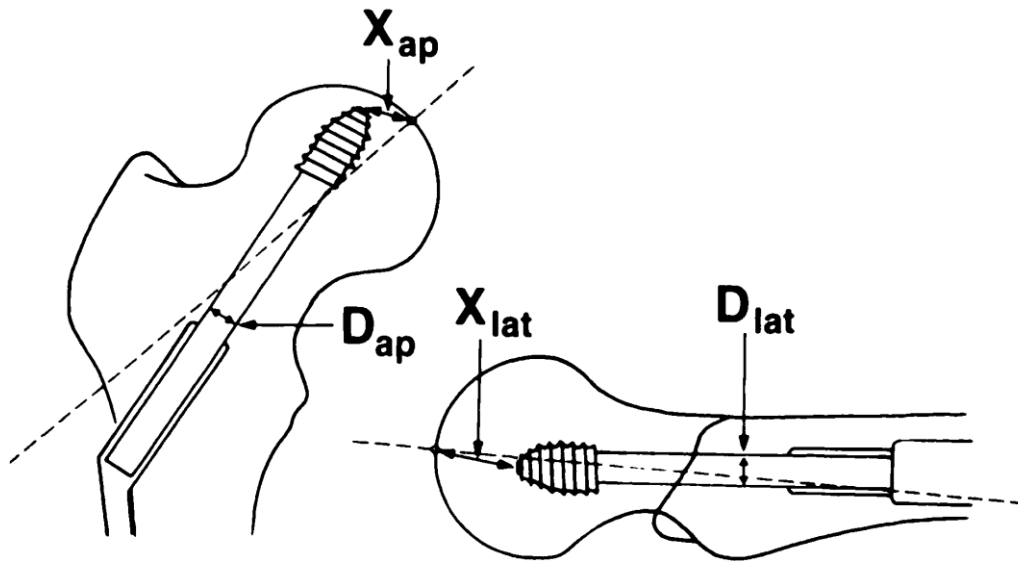
## **2.2. Untersuchte Parameter**

Bei allen untersuchten Patienten wurden die gleichen Parameter erhoben. Untersucht wurde die Tip-Apex Distance nach Baumgartner, die Qualität der Osteosynthese anhand der Frakturposition und die Positionierung des Osteosynthesematerials im Femurkopf unterteilt in die Cleveland-Zonen. Alle Messungen wurden anhand postoperativer Röntgenbilder am PC-Bildschirm mittels JiveX Medical Viewer (VISUS Health IT GmbH) durchgeführt.

Zusätzlich wurde bei allen Patienten das Alter zum Zeitpunkt der Operation, das Geschlecht, die Seitenlokalisation und die Frakturklasse nach AO-Klassifikation erfasst und untersucht ob ein signifikanter Unterschied bezüglich des Outcomes vorlag.

### **2.2.1. Tip-Apex-Distance**

Die Tip-Apex-Distance (TAD) wurde von Baumgaertner et al. 1995 als bedeutender Vorhersagewert über die Wahrscheinlichkeit eines Cut-Outs etabliert (53). Sie beschreibt die Position der Schenkelhalsschraube zum Femurkopf. Sie wird anhand post-operativer Röntgenbilder in antero-posteriorer und axialer Ansicht gemessen und definiert sich als der Abstand der Spitze der Schraube von der Spitze des Femurkopfes. Zur Bestimmung wird sowohl in antero-posteriorer als auch in axialer Ansicht eine Gerade durch den Schraubenkopf gezogen und der Abstand zur Gelenkoberfläche gemessen. Nach Korrektur der Messergebnisse anhand der aus dem OP-Bericht bekannten Implantatdurchmesser werden die Distanzen aus beiden Messungen addiert und das Ergebnis in Millimetern angegeben.



$$\mathbf{TAD} = \left( X_{ap} \times \frac{D_{true}}{D_{ap}} \right) + \left( X_{lat} \times \frac{D_{true}}{D_{lat}} \right)$$

Abbildung 13 Berechnung der TAD nach Baumgaertner (53)

Abbildung 9 zeigt schematisch die Messung des TAD sowie die verwendete Berechnungsformel.  $X_{ap}$  und  $X_{lat}$  beschreibt die im Röntgenbild gemessene Entfernung der Schraubenspitze vom Femurkopf in antero-posteriorer beziehungsweise axialer Ansicht.  $D_{true}$  bezeichnet den tatsächlichen Durchmesser des Implantates, bekannt aus Herstellerangaben, und  $D_{ap}$  und  $D_{lat}$  beschreiben die im Röntgenbild gemessenen Durchmesser. Durch den Korrekturfaktor werden Verzerrungen des Röntgenbildes behoben und man erhält ein exaktes Ergebnis.

Empfohlen werden von Baumgartner et al. (53) für die Tip-Apex-Distance Werte von  $\leq 25\text{mm}$ , da das Risiko für Cut-Outs und Osteosyntheseversagen steigt, wenn dieser Wert überschritten wird. Intraoperativ kann die TAD unter Verwendung eines Bildwandlers gut abgeschätzt werden.

## 2.2.2. Qualität der Osteosynthese

Zur Bewertung der Qualität der Osteosynthese wurde der Alignment-Index nach Garden (31) verwendet, welcher eine Beurteilung der Frakturreposition sowohl bei Schenkelhalsfrakturen als auch bei proximalen Femurfrakturen ermöglicht. Gemessen wird der Winkel zwischen Femurschaft und medialer Kompressionstrabekel. Als physiologische Winkel und damit anzustrebende Werte gelten  $160^\circ$  in anterior-posterior Ansicht und  $180^\circ$  in axialer Ansicht.

Basierend auf der Klassifikation von Garden haben Lenich et al. (54) folgende Systematik entwickelt, welche im eigenen Kollektiv Anwendung finden soll. Das Repositionsergebnis wurde in vier Gruppen eingeteilt, diese waren sehr gut (=1), gut (=2), befriedigend (=3) und schlecht (=4). Eine Kombination eines Winkels von  $160^\circ$  in a.-p. Ansicht und  $180^\circ$  axial wurde als sehr gut definiert. Als gut galten Winkel zwischen  $160^\circ$  und  $180^\circ$  a.-p. und  $180^\circ$  axial, als befriedigend wurden Winkel zwischen  $150^\circ$  und  $160^\circ$  a.-p. und  $180^\circ$  axial gewertet und als schlecht wurden Winkel von  $<150^\circ$  a.-p. oder  $\neq 180^\circ$  axial definiert. Eine leichte Valgisierung ist aus biomechanischen Gesichtspunkten einer Varisierung vorzuziehen.

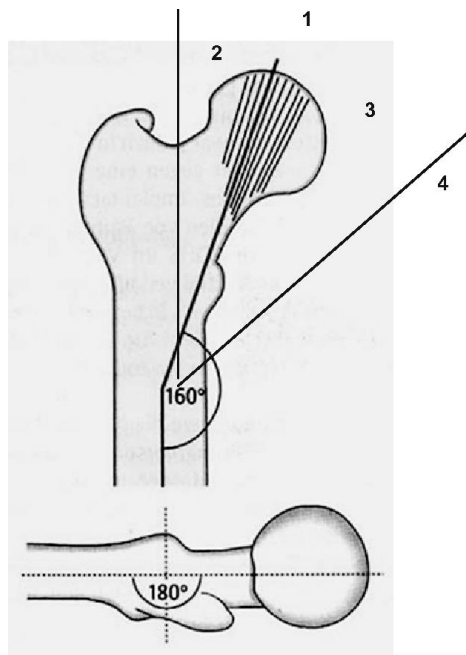


Abbildung 14 Qualität der Frakturreposition nach Lenich et.al. (54)

### 2.2.3. Positionierung der Schraube im Femurkopf

Zur Beurteilung der Schraubenposition im Femurkopf wurde der Femurkopf nach Cleveland et al. (55) in neun Zonen unterteilt, was in Abbildung 11 schematisch dargestellt ist. Zone 5 entspricht der zentralen Position sowohl in anterior-posteriorer als auch axialer Betrachtungsweise (Centre-Centre-Position). Wird die Schraube in anterior-posteriorer Hinsicht zu weit cranial positioniert, findet sie sich in den Zonen 1, 2 und 3. Bei einer Positionierung unterhalb des Zentrums befindet man sich in den Zonen 7, 8 und 9. Weicht man in axialer Hinsicht vom Zentrum nach ventral (anterior) ab, befindet man sich in den Zonen 1, 4 oder 7 und bei zu dorsaler (posteriorer) Positionierung kommt die Schraube in den Zonen 3, 6 oder 9 zu liegen.

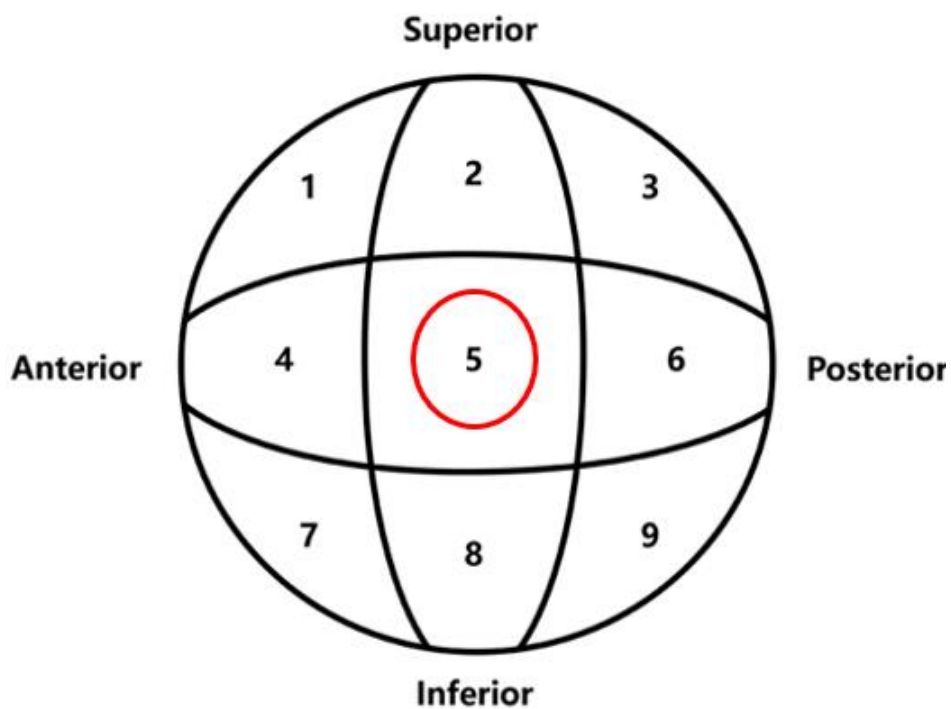


Abbildung 15 Einteilung des Femurkopfes in die 9 Cleveland Zonen

Eine Positionierung der Schraube sollte nach aktueller Studienlage in zentraler Position angestrebt werden (54, 56, 57, 58). Frühere Untersuchungen (46, 59, 60) kamen zu Ergebnissen, bei welchen auch Positionen in den Zonen 6, 8 und



9, also in inferiorer und posteriorer Lage, mit geringeren Komplikationsraten vergesellschaftet sind und somit als akzeptabel galten und nur eine Lage der Schraube im anterioren und superioren Teil des Femurkopfs auf jeden Fall vermieden werden sollte. Diese Meinung ist inzwischen überholt und es gilt als Konsens, dass nur eine Lage des Schraubenkopfes in Cleveland Zone 5 Ziel sein sollte (54, 55, 56).

### **2.3. Fragestellung**

In dieser Dissertation sollen folgende Fragestellungen untersucht werden:

I: Welche intraoperativen Faktoren begünstigen das Entstehen eines Cut-Outs?

Diese untersuchten Faktoren sind:

- Die Tip-Apex-Distance
- Die Qualität der Frakturpositionierung
- Die Positionierung der Schraube im Femurkopf

II: Ferner soll untersucht werden, ob es hierzu Unterschiede zwischen Dynamischer Hüftschraube und Proximalem Femurnagel gibt.

Die Null-Hypothese ist, dass die Tip-Apex-Distance allein weniger entscheidend für das Cut-Out ist, sondern dass sowohl eine zentrale Schraubenpositionierung entsprechend der Cleveland Zone 5 als auch die Qualität der Frakturpositionierung von entscheidender Bedeutung sind.

Außerdem gilt die Annahme, dass sich die untersuchten Faktoren auf Dynamische Hüftschraube und Proximale Femurnagel in gleicher Art und Weise auswirken, der Proximale Femurnagel aber insgesamt weniger anfällig für einen Cut-Out ist.

## 2.4. Beschreibung der statistischen Methoden

Die statistischen Auswertungen wurden mit Hilfe von SPSS für Windows (SPSS Inc., U.S.A.) durchgeführt. Die Darstellung der metrischen Variablen erfolgte als Mittelwerte und Mediane, während die Streumaße als Standardabweichungen und Quartile angegeben wurden. Die kategorisierten bzw. nominalen Daten wurden als absolute und relative Häufigkeit angegeben.

Die metrischen Variablen wurden mittels des Kolmogorow-Smirnow-Tests hinsichtlich ihrer Normalverteilung überprüft. Die getesteten Variablen wiesen ganz überwiegend keine Normalverteilung auf (Kolmogorow-Smirnow-Test:  $p < 0,05$ ). Bei nicht normalverteilten Stichproben wurde der Mann-Whitney-U-Test als nichtparametrisches Verfahren angewendet, der T-Test kam als parametrisches Verfahren zur Anwendung.

Die kategorisierten bzw. nominalen Daten dagegen wurden mit Hilfe des Chi-Quadrat-Tests bzw. des exakten Tests nach Fisher ausgewertet.

Bei allen durchgeführten Tests erfolgte eine zweiseitige Signifikanzüberprüfung, wobei für alle statistischen Tests ein p-Wert  $< 0,05$  als statistisch signifikant angenommen wurde.

	Gruppe	Kolmogorov-Smirnov		
		Statistic	df	Sig.
Alter bei Operation (Jahre)	Cut-Out	.214	37	<b>.000</b>
	Kontrollgruppe	.139	200	<b>.000</b>
Tip-Apex Distance nach Baumgaertner (mm)	Cut-Out	.068	37	<b>.200*</b>
	Kontrollgruppe	.034	200	<b>.200*</b>

*Tabelle 1 Überprüfung der metrischen Variablen auf Normalverteilung*

### 3. Ergebnisse

#### 3.1. Alter zum Zeitpunkt der Operation

In der Gruppe der DHS Patienten mit Cut-Out betrug das mittlere Alter 75,7 Jahre, bei den Patienten mit Cut-Out nach Versorgung mit PFN lag das mittlere Alter bei 79,6 Jahren.

Bei den Patienten ohne Cut-Out betrug das mittlere Alter bei den mit DHS versorgten Patienten 79,6 Jahre, bei den mittels PFN versorgten Patienten lag das mittlere Alter bei 80,2 Jahren.

Die folgenden Tabellen zeigen die gesamte statistische Auswertung bezüglich des Patientenalters.

	Alter bei Operation (Jahre)		
	Gruppe		
	Cut-Out	Kontroll- gruppe	Gesamt
Mean	76.54	79.90	79.38
SD	15.12	9.63	10.70
Percentile 25	74.00	76.00	76.00
Median	82.00	81.00	81.00
Percentile 75	86.00	85.00	85.00
Minimum	22	37	22
Maximum	95	99	99
Count	37	200	237
Valid N	37	200	237

*Tabelle 2 Statistische Auswertung des Patientenalters*

	Alter bei Operation (Jahre)
Mann-Whitney U	3465.000
Wilcoxon W	4168.000
Z	-.614
Asymp. Sig. (2-tailed)	<b>.539</b>

*Tabelle 3 Signifikanzüberprüfung des Patientenalters*

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass das Patientenalter zum OP-Zeitpunkt keinen signifikanten Einfluss auf das Auftreten eines Cut-Outs (n=37) im Vergleich zur Kontrollgruppe (n=200; p=0,539) hatte.

### 3.2. Geschlecht

In der Gruppe der DHS Patienten mit Cut-Out finden sich 23 Frauen (79,3%) und 6 Männer (20,7%). Betrachtet man die Gruppe der PFN-Patienten mit Cut-Out so findet sich eine Geschlechterverteilung von 75% Frauen (n=6) und 25% Männern (n=2).

In den Kontrollgruppen finden sich bei den mit DHS versorgten Patienten 73% Frauen (n=73) und 27% Männer (n=27). Für die Gruppe der mit PFN therapierten Patienten fand sich ein Verhältnis von 85% weiblichen Patienten (n=85) zu 15% männlichen Patienten (n=15).

Betrachtet man untenstehende statistische Gesamtauswertung, so lässt sich auch bezüglich des Geschlechts kein signifikanter Unterschied hinsichtlich des Auftretens eines Cut-Out feststellen (p=0,542).

			Gruppe		Gesamt
			Cut-Out	Kontroll- gruppe	
Geschlecht	weiblich	Count	29	158	187
		% within Geschlecht	15.5%	84.5%	100.0%
		% within Gruppe	78.4%	79.0%	78.9%
	männlich	Count	8	42	50
		% within Geschlecht	16.0%	84.0%	100.0%
		% within Gruppe	21.6%	21.0%	21.1%
Gesamt	Count	37	200	237	
	% within Geschlecht	15.6%	84.4%	100.0%	
	% within Gruppe	100.0%	100.0%	100.0%	

	Value	df	Asymp. Sig. (2-sided)	Exact Sig. (2-sided)	Exact Sig. (1-sided)
Pearson Chi-Square	.007 <sup>a</sup>	1	.932	<b>1.000</b>	.542
Fisher's Exact Test					
N of Valid Cases	237				

Tabelle 4 Statistische Auswertung des Patientengeschlechts sowie Signifikanzüberprüfung

### 3.3. Seitenlokalisierung

Bei den Patienten, bei denen ein Cut-Out auftrat, lag die Fraktur in 54,1% (n=20) auf der rechten Seite, in 45,9% (n=17) auf der linken Seite. In der Kontrollgruppe hatten 47,5% (n=95) der Patienten eine pertrochantäre Fraktur rechtsseitig und 52,5% (n=105) eine linksseitige pertrochantäre Femurfraktur.

Auch bezüglich der Seitenlokalisierung konnte kein signifikanter Einfluss auf das Auftreten eines Cut-Outs festgestellt werden (p=0,480).

			Gruppe		Gesamt
			Cut-Out	Kontrollgruppe	
Seite	links	Count	20	95	115
		% within Seite	17.4%	82.6%	100.0%
		% within Gruppe	54.1%	47.5%	48.5%
rechts	Count	17	105	122	
	% within Seite	13.9%	86.1%	100.0%	
	% within Gruppe	45.9%	52.5%	51.5%	
Gesamt	Count	37	200	237	
	% within Seite	15.6%	84.4%	100.0%	
	% within Gruppe	100.0%	100.0%	100.0%	

	Value	df	Asymp. Sig. (2-sided)	Exact Sig. (2-sided)	Exact Sig. (1-sided)
Pearson Chi-Square	.537 <sup>a</sup>	1	.464	<b>.480</b>	.290
Fisher's Exact Test					
N of Valid Cases	237				

Tabelle 5 Statistische Auswertung der betroffenen Seite sowie Signifikanzüberprüfung

### 3.4. Frakturklasse nach AO-Klassifikation

Von den Patienten, bei denen ein Cut-Out auftrat, lag bei 13,5% (n=5) eine A1-Fraktur vor, bei 64,9% (n=24) eine A2-Fraktur, bei 5,4% (n=2) eine B1-Fraktur, ebenso bei 5,4% (n=2) eine B2-Fraktur und bei 10,8% (n=4) eine B3-Fraktur.

In der Kontrollgruppe lag bei 24,5% der Patienten (n=49) eine A1-Fraktur nach AO-Klassifikation vor, bei 53% (n=106) eine A2-Fraktur, bei 10,5% (n=21) eine B1-Fraktur, bei 7,5% (n=15) eine B2-Fraktur und bei 4,5% (n=9) eine B3-Fraktur.

Die statistische Auswertung zeigt keinen signifikanten Einfluss der Frakturklasse nach AO-Klassifikation auf das Auftreten eines Cut-Outs (p=0,219).

			Gruppe		Gesamt
			Cut-Out	Kontrollgruppe	
AO Klassi- fikation	A1	Count	5	49	54
		% within AO Klassifikation	9.3%	90.7%	100.0%
		% within Gruppe	13.5%	24.5%	22.8%
	A2	Count	24	106	130
		% within AO Klassifikation	18.5%	81.5%	100.0%
		% within Gruppe	64.9%	53.0%	54.9%
	B1	Count	2	21	23
		% within AO Klassifikation	8.7%	91.3%	100.0%
		% within Gruppe	5.4%	10.5%	9.7%
	B2	Count	2	15	17
		% within AO Klassifikation	11.8%	88.2%	100.0%
		% within Gruppe	5.4%	7.5%	7.2%
	B3	Count	4	9	13
		% within AO Klassifikation	30.8%	69.2%	100.0%
		% within Gruppe	10.8%	4.5%	5.5%
Gesamt	Count	37	200	237	
	% within AO Klassifikation	15.6%	84.4%	100.0%	
	% within Gruppe	100.0%	100.0%	100.0%	

	Value	df	Asymp. Sig. (2-sided)
Pearson Chi-Square	5.748 <sup>a</sup>	4	.219
Likelihood Ratio	5.691	4	.223
N of Valid Cases	237		

Tabelle 6 Statistische Auswertung der AO-Klassifikation sowie Signifikanzüberprüfung

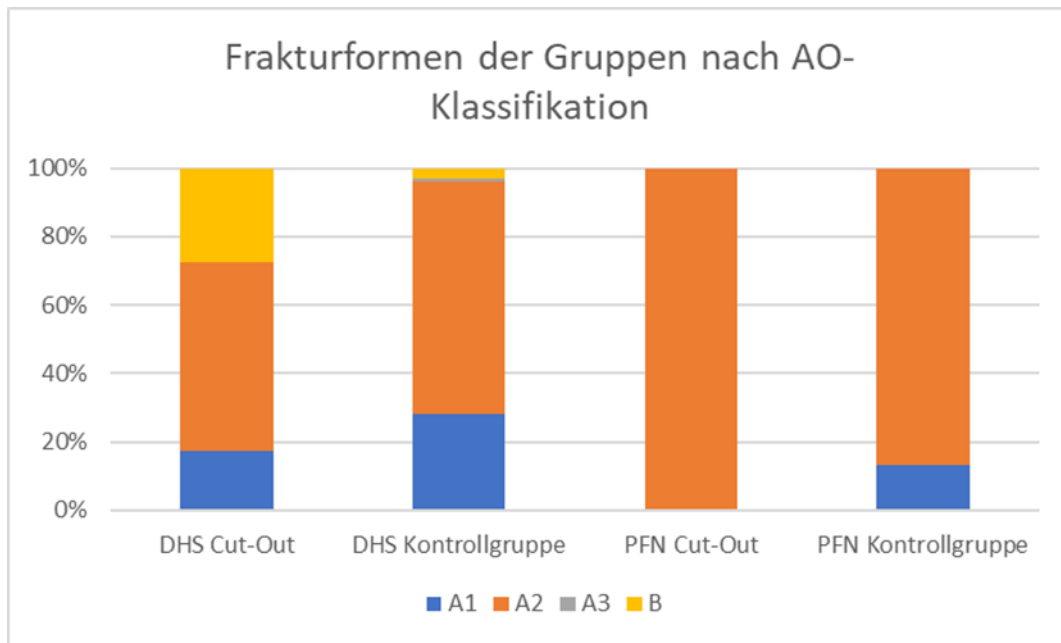


Tabelle 7 Verteilung der Frakturformen nach AO-Klassifikation auf die untersuchten Gruppen

### 3.5. Wahl der Therapie (DHS versus PFN)

Bezüglich der Wahl der Therapie fand eine Unterscheidung hinsichtlich des verwendeten Osteosynthesematerials, also Dynamische Hüftschraube einerseits und Proximaler Femurnagel andererseits, statt.

Es konnte ein signifikanter Zusammenhang ( $p=0,002$ ) zwischen der Wahl des Osteosyntheseverfahrens und des Auftretens eines Cut-Outs festgestellt werden, wobei sich der Proximale Femurnagel als weniger anfällig als die Dynamische Hüftschraube herausstellte (8 Fälle beim Proximalen Femurnagel versus 29 Fälle bei der Dynamischen Hüftschraube).

			Gruppe		Gesamt
			Cut-Out	Kontroll- gruppe	
Therapie	DHS	Count	29	100	129
		% within Therapie	22.5%	77.5%	100.0%
		% within Gruppe	78.4%	50.0%	54.4%
	PFN	Count	8	100	108
		% within Therapie	7.4%	92.6%	100.0%
		% within Gruppe	21.6%	50.0%	45.6%
Gesamt	Count	37	200	237	
	% within Therapie	15.6%	84.4%	100.0%	
	% within Gruppe	100.0%	100.0%	100.0%	

	Value	df	Asymp. Sig. (2-sided)	Exact Sig. (2-sided)	Exact Sig. (1-sided)
Pearson Chi-Square	10.138 <sup>a</sup>	1	.001		
Fisher's Exact Test				<b>.002</b>	.001
N of Valid Cases	237				

*Tabelle 8 Statistische Auswertung der Therapieauswahl (DHS versus PFN) und Signifikanzüberprüfung*

### 3.6. Tip-Apex- Distance

Bei Patienten mit einem Cut-Out nach Versorgung mittels Dynamischer Hüftschraube lag der mittlere Tip-Apex-Abstand bei 26,9 mm, der niedrigste Wert lag bei 10,2 mm, der höchste gemessene Wert war 38,3 mm. Von den 29 Patienten dieser Gruppe wiesen 19 Patienten einen Wert >25 mm, entsprechend einem Anteil von 65,5%.

In der Kontrollgruppe der DHS Patienten betrug der mittlere Tip-Apex-Abstand 22,4mm. In dieser Gruppe war der niedrigste gemessene Wert 11,0 mm, der höchste Wert bei 32,5 mm. Über der allgemein empfohlenen TAD von 25 mm lagen 33% der Patienten.

Im Kollektiv der PFN Patienten mit Cut-Out betrug der mittlere Tip-Apex-Abstand 27,9 mm, wobei der niedrigste Wert bei 20,0 mm und der höchste Wert bei 33,8



mm lag. Bei 75% der Patienten betrug der Tip-Apex-Abstand mehr als 25 mm (6 von 8 Patienten)

In der Gruppe der Patienten mit PFN ohne Cut-Out lag der mittlere Tip-Apex-Abstand bei 20,4 mm, hier lag der niedrigste gemessene Wert bei 9,0 mm, der höchste gemessene Wert bei 30,4 mm. Eine Tip-Apex-Distance von >25 mm fand sich bei 23% der Patienten dieser Gruppe.

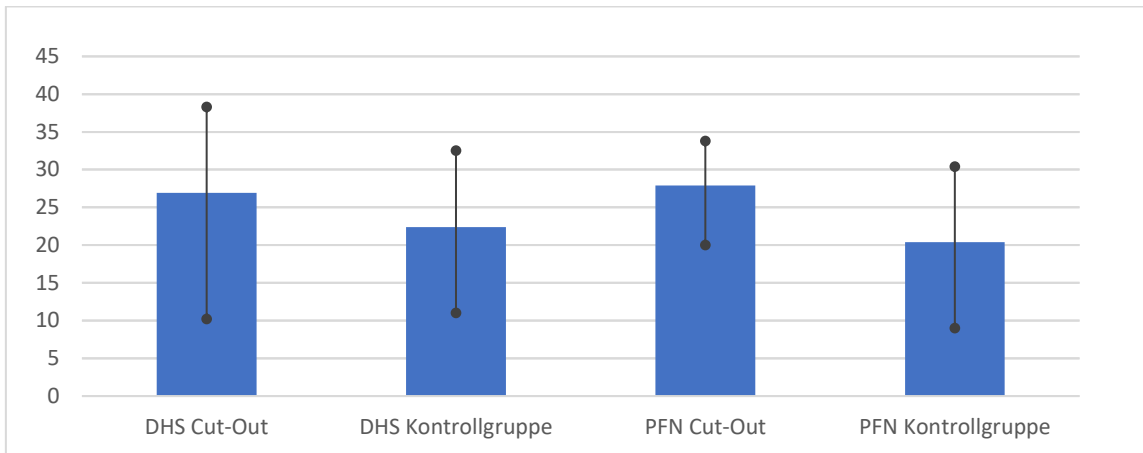


Tabelle 9 Durchschnittliche TAD der 4 Gruppen in mm mit Range aller gemessenen Werte

In der statistischen Auswertung zeigt sich ein signifikanter Einfluss ( $p < 0,001$ ) des Tip-Apex-Abstands auf das Auftreten eines Cut-Outs, wobei mit steigendem Tip-Apex-Abstand auch das Risiko für das Auftreten eines Cut-Outs steigt.

	Tip-Apex Distance nach Baumgaertner (mm)		
	Gruppe		
	Cut-Out	Kontrollgruppe	Gesamt
Mean	27.11	21.41	22.30
SD	6.25	5.37	5.88
SE	1.03	0.38	0.38
95%-CI, lower limit	25.03	20.66	21.55
95%-CI, upper limit	29.20	22.16	23.05
Percentile 25	23.20	18.20	18.50
Median	27.70	21.35	22.20
Percentile 75	31.50	25.40	26.00
Minimum	10.2	9.4	9.4
Maximum	38.3	36.8	38.3
Count	37	200	237
Valid N	37	200	237

Tip-Apex Distance nach Baumgaertner (mm)	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
Equal variances assumed	1.421	.234	5.783	235	<b>.000</b>	5.7040	.9863	3.7609	7.6471
Equal variances not assumed			5.206	46.32	.000	5.7040	1.0956	3.4991	7.9090

Tabelle 10 Statistische Auswertung der Tip-Apex-Distance sowie Signifikanzüberprüfung

### 3.7. Qualität der Frakturposition

Bei Patienten mit einem Cut-Out nach Dynamischer Hüftschraube konnte die Qualität der Frakturposition nach den Kriterien von Lenich et al. (54) in 3,4% (1 Patient) der Fälle mit sehr gut, in 10,3% (3 Patienten) mit gut, in 51,7% (15 Patienten) mit befriedigend und in 34,5% (10 Patienten) mit schlecht bewertet werden.

In der Gruppe der DHS Patienten ohne Komplikationen war die Qualität der Frakturposition in 26% der Fälle sehr gut, bei 36% gut, bei 24% befriedigend und in 14% der Fälle als schlecht anzusehen.

Im Kollektiv der Patienten mit Cut-Out nach Proximalem Femurnagel war die Frakturposition in keinem der Fälle mit sehr gut oder gut zu bewerten, 50% (4 Patienten) der Fälle mussten als befriedigend und 50% (4 Patienten) als schlecht bewertet werden.

In der Kontrollgruppe der PFN Patienten fanden sich 21% sehr gute, 29% gute, 40% befriedigende und 10% schlechte Fälle hinsichtlich der Qualität der Osteosynthese.

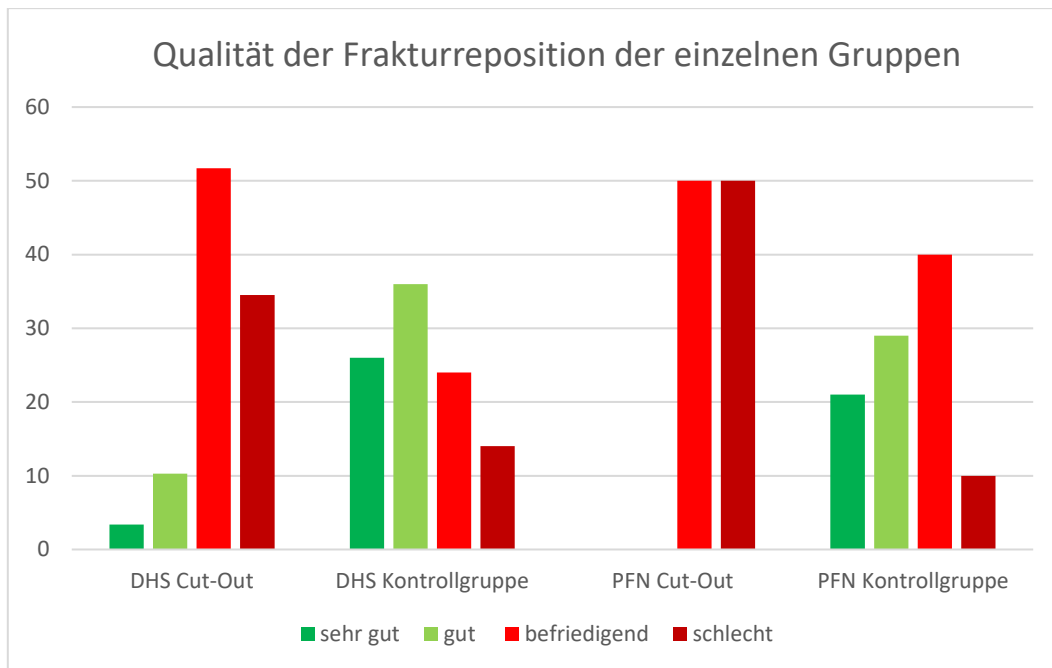


Tabelle 11 Prozentuale Verteilung der Qualität der Frakturposition innerhalb der vier Gruppen

Qualität der Frakturpositionierung		Gruppe		Gesamt
		Cut-Out	Kontrollgruppe	
schlecht	Count	14	25	39
	% within Qualität der Frakturpositionierung	35.9%	64.1%	100.0%
	% within Gruppe	37.8%	12.5%	16.5%
befriedigend	Count	19	64	83
	% within Qualität der Frakturpositionierung	22.9%	77.1%	100.0%
	% within Gruppe	51.4%	32.0%	35.0%
gut	Count	3	63	66
	% within Qualität der Frakturpositionierung	4.5%	95.5%	100.0%
	% within Gruppe	8.1%	31.5%	27.8%
sehr gut	Count	1	48	49
	% within Qualität der Frakturpositionierung	2.0%	98.0%	100.0%
	% within Gruppe	2.7%	24.0%	20.7%
Gesamt	Count	37	200	237
	% within Qualität der Frakturpositionierung	15.6%	84.4%	100.0%
	% within Gruppe	100.0%	100.0%	100.0%

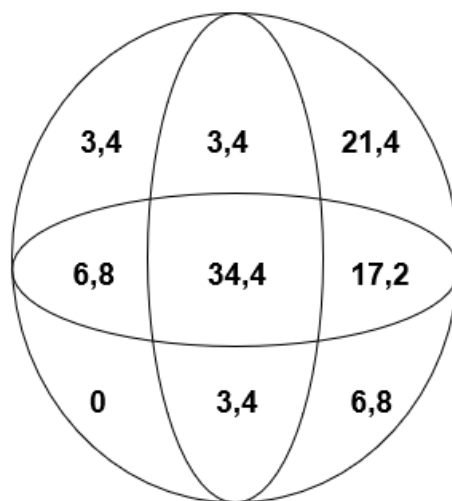
	Value	df	Asymp. Sig. (2-sided)
Pearson Chi-Square	28.505 <sup>a</sup>	3	<b>.000</b>
Likelihood Ratio	30.933	3	.000
Linear-by-Linear Association	26.144	1	.000
N of Valid Cases	237		

*Tabelle 12 Statistische Auswertung der Qualität der Frakturposition sowie Signifikanzüberprüfung im Vergleich zwischen Cut-Out Gruppe und Kontrollgruppe*

In der statistischen Auswertung zeigt sich auch bezüglich der Qualität der Frakturposition ein signifikanter Einfluss ( $p < 0,001$ ) auf das Auftreten eines Cut-Outs.

### 3.8. Positionierung der Schraube im Femurkopf

In der Gruppe der Patienten mit Cut-Out nach DHS wurde bei der Positionierung der Schraube im Femurkopf in 34,4% der Fälle die Centre-Centre-Position in Zone 5 erreicht. Jeweils 3,4% der Fälle liegen in den Zonen 1, 2 und 8. In jeweils 6,8% der Fälle fand sich die Schraube in den Zonen 4 und 9. In 17,2% der Fälle lag die Schraube in Zone 6 und bei 21,4% der Patienten war der Schraubenkopf in Position 3 positioniert. In Zone 7 kam der Schraubenkopf in dieser Gruppe nicht zu liegen.



*Abbildung 16 Prozentuale Verteilung der Schraubenposition bei den DHS Patienten mit Cut-Out*

Betrachtet man die Kontrollgruppe der DHS Patienten, so konnte hier in 69% der Fälle eine Positionierung in Zone 5 erreicht werden. In 6% der Fälle fand sich die Schraube in Zone 2, 2% in Zone 3, 4% in Zone 4, 12% in Zone 6, 5% in Zone 7 und 2% in Zone 8. Die Zonen 1 und 9 kamen in dieser Gruppe nicht vor.

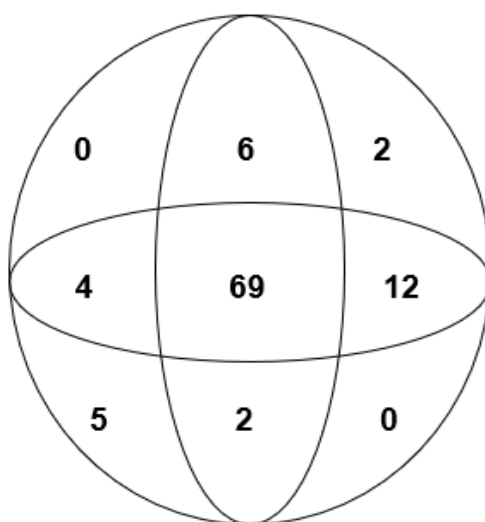


Abbildung 17 Prozentuale Verteilung der Schraubenposition bei DHS Patienten ohne Cut-Out

In der Gruppe der Patienten mit Cut-Out nach PNF wurde die Schraube in 12,5% in Cleveland-Zone 5 positioniert. Ebenso häufig kam die Schraube in den Zonen 3, 6 und 7 zu liegen. In 25% der Fälle war die Position der Schrauben in den Zonen 2 und 4. Die Zonen 1, 8 und 9 kamen in dieser Gruppe nicht vor. Eine als günstig angesehene Schraubenposition wurde in dieser Gruppe also in 25% der Fälle erreicht.

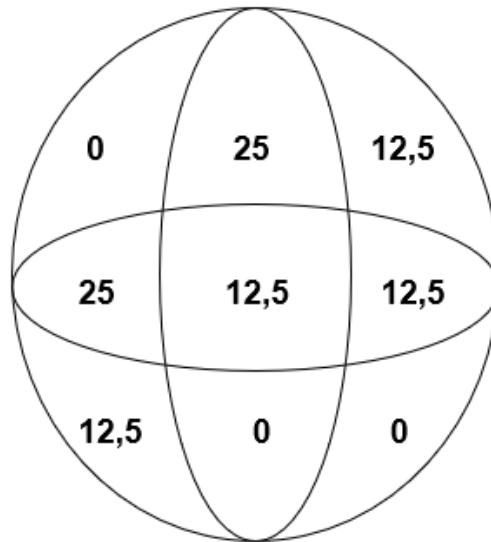


Abbildung 18 Prozentuale Verteilung der Schraubenposition bei PFN Patienten mit Cut-Out

Bei der Kontrollgruppe der Patienten, die mit einem Proximalen Femurnagel versorgt wurden, wurde die zentrale Position im Femurkopf bei 70% der Patienten erreicht. Die weiteren Schraubenpositionen finden sich zu 1% in Zone 1, 5% in Zone 2, 4% in Zone 3, 6% in Zone 4, 4% in Zone 6, 3% in Zone 7, 6% in Zone 8 und 1% in Zone 9. Insgesamt war die Position der Schraube im Femurkopf also in 81% der Fälle in einer der günstigen Cleveland-Zonen.

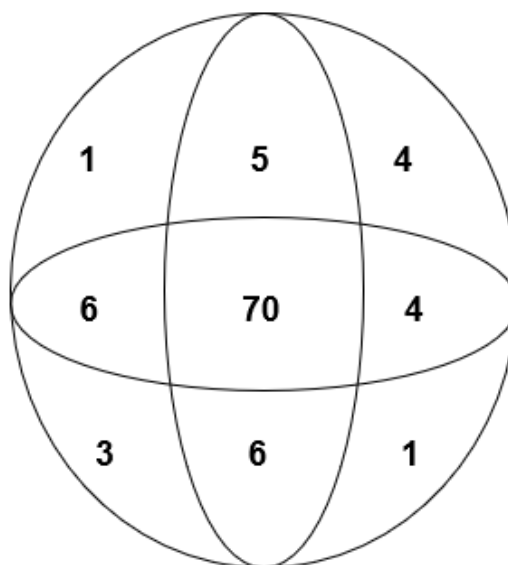


Abbildung 19 Prozentuale Verteilung der Schraubenposition bei PFN Patienten ohne Cut-Out

Aufgrund der geringen Fallzahlen in den einzelnen Cleveland-Zonen war die statistische Auswertung hinsichtlich der Positionierung der Schraube im Femurkopf nur bedingt aussagekräftig, wenn jede Cleveland-Zone einzeln in die Analyse einbezogen wurde.

Hier wurde verglichen zwischen jenen Fällen, in denen eine als günstig erachtete Position im Zentrum des Femurkopfs (entsprechend der Cleveland-Zone 5) erreicht wurde und jenen Fällen, in denen keine optimale Positionierung erreicht werden konnte (entsprechend den Cleveland-Zonen 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9).

Die statistische Analyse ergab einen signifikanten Zusammenhang ( $p < 0,001$ ) zwischen der Positionierung der Schraube im Femurkopf und dem Auftreten eines Cut-Outs. Eine Positionierung in Cleveland-Zone 5 erwies sich als günstig auf den Outcome.

			Gruppe		Total
			Cut-Out	Kontrollgruppe	
Clevelandzone	Zone 5	Count	11	139	150
		% within Clevelandzone	7.3%	92.7%	100.0%
	restliche Zonen	Count	26	61	87
		% within Clevelandzone	29.9%	70.1%	100.0%
		% within Gruppe	29.7%	69.5%	63.3%
		% within Gruppe	70.3%	30.5%	36.7%
Total			37	200	237
			15.6%	84.4%	100.0%
			100.0%	100.0%	100.0%

	Value	df	Asymptotic Significance (2-sided)	Exact Sig. (2-sided)	Exact Sig. (1-sided)
Pearson Chi-Square	21.256 <sup>a</sup>	1	.000		
Fisher's Exact Test				<b>.000</b>	.000
N of Valid Cases	237				

Tabelle 13 Statistische Auswertung der Positionierung der Schraube im Femurkopf sowie Signifikanzüberprüfung

## 4. Diskussion

Das Cutting-Out stellt die mechanische Hauptkomplikation bei der Osteosynthese am proximalen Femur dar (12). In dieser Studie zeigte sich eine Gesamt Cut-out Rate von 3,7% (n = 37) unter 988 Patienten, wobei die Cut-out Rate bei Dynamischer Hüftschraube um den Faktor 2,7 höher lag als bei der Osteosynthese mittels Proximalem Femurnagel (1,9% versus 5,1%).

Die Gesamtkomplikationsrate geht einher mit den Ergebnissen anderer klinischer Studien (12, 44, 46, 61). Insgesamt zeigt sich der Proximale Femurnagel weniger anfällig bezüglich des Auftretens von Komplikationen als die Dynamische Hüftschraube. Dies deckt sich mit den Ergebnissen anderer Untersuchungen und einer Meta-Analyse von Zhang et al. (73), bei der insgesamt 9 Studien diesbezüglich untersucht wurden.

Bezüglich des Cut-Outs als der häufigsten mechanischen Komplikation finden sich in der Literatur ebenfalls Unterschiede zwischen DHS und PFN. Yeganeh et al. (74) fanden in einem Vergleich zwischen DHS und PFN eine geringere Anfälligkeit des Proximalen Femurnagels, sowohl für Komplikationen allgemein als auch spezifisch auf Cut-Out bezogen, im Vergleich zur Dynamischen Hüftschraube. Eine höhere Cut-Out Rate bei der DHS im Vergleich zum PFN findet sich ebenfalls bei einer Meta-Analyse von Li et al. (47), welcher insgesamt zehn Studien zu dieser Thematik analysierte. Auch in dieser Untersuchung konnte ein signifikant geringeres Risiko für das Auftreten eines Cut-Outs bei Verwendung eines PFN im Vergleich zur DHS festgestellt werden.

Zahlreiche Studien (44, 46, 47, 53-71) haben sich damit beschäftigt, welche intraoperativen Faktoren Einfluss auf das Auftreten eines Cut-Outs haben. Hinsichtlich allgemeiner Faktoren wie Patientenalter, Geschlecht oder Frakturklasse konnten weder in älteren Arbeiten noch in aktuellen Studien (75, 76) signifikante Einflüsse auf das Auftreten eines Cut-Outs festgestellt werden. Dies deckt sich mit den Ergebnissen dieser Untersuchung, in der diese Faktoren ebenfalls keinen signifikanten Einfluss auf das Outcome diesbezüglich hatten.



1995 stellten Baumgaertner et al. die Tip-Apex-Distance als Indikator für das mögliche Auftreten eines Cut-Outs vor (53). In ihrer Arbeit mit 198 Fällen bei 193 Patienten lag die durchschnittliche Tip-Apex-Distance bei Patienten, bei denen ein Cut-Out auftrat, bei durchschnittlich 38 mm. In der Kontrollgruppe lag dieser Wert bei 24 mm. In keinem der 120 Fälle, bei denen die Tip-Apex-Distance weniger als 25 mm betrug, kam es zu einem Cut-Out. Folglich wurde eine Tip-Apex-Distance von <25 mm als Vorhersagewert zur Vermeidung eines Cut-Outs angenommen. Dies konnte in späteren Studien, so auch in dieser Untersuchung, nicht bestätigt werden, da es auch hier zum Auftreten von Cut-Outs bei einer TAD von weniger als 25 mm kam. In dieser Arbeit war dies bei 10 Patienten mit Dynamischer Hüftschraube (34,5%) und bei 2 Patienten mit Proximalem Femurnagel (25%) der Fall.

Baumgaertner untersuchte die Bedeutung der TAD in einer späteren Untersuchung, in der er Operationsergebnisse verglich, bevor und nachdem man Operateure über die Bedeutung der TAD instruiert hatte. So konnte er nach dieser Instruktion eine Reduktion der TAD und der Cut-Out Ereignisse nachweisen im Vergleich zur Kontrollgruppe vor jenen Instruktionen (62). Weitere Untersuchungen konnten den Zusammenhang zwischen niedriger TAD und geringer Cut-Out Rate bestätigen. Geller et al. stellten in einer Untersuchung aus dem Jahr 2009 ebenfalls fest, dass versucht werden sollte, eine TAD von unter 25 mm zu erreichen um das Auftreten eines Cut-Outs zu vermeiden (64). Nicht alle Untersuchungen bestätigen jedoch die generelle Empfehlung einer TAD von unter 25 mm. So konnte bei einer Arbeit von Goffin et al. aus dem Jahr 2013, kein Zusammenhang zwischen einer TAD von über 25 mm und des Auftretens eines Cut-Outs hergestellt werden (65). Caruso et al. (76) untersuchten 2022 den „Grenzwert“ von 25 mm, da dieser in ihren Augen zwar als hoch spezifisch, aber wenig sensitiv anzusehen ist. Sie empfahlen eine Tip-Apex-Distance von <34,8 mm als guten Indikator um das Risiko für das Auftreten eines Cut-Outs einschätzen zu können. Andruszkow et al. (46) stellten in einer Untersuchung an insgesamt 235 Patienten, die sowohl Patienten mit Dynamischer Hüftschraube als auch solche mit Proximalem Femurnagel beinhaltete, einen TAD Wert >25 mm als den wichtigsten Faktor für das Auftreten eines Cut-Outs fest. Sie betonten jedoch, dass auch andere Parameter, wie die Schraubenpositionierung im Femurkopf, eine Rolle spielen.

Letztere Sichtweise wird auch durch die Resultate dieser Untersuchung gestützt. Bei beiden Systemen zur Osteosynthese war sowohl die durchschnittliche TAD als auch der Anteil der Fälle, bei denen die Tip-Apex-Distance über 25mm lag, in den Gruppen der Patienten ohne Komplikationen geringer als bei Patienten mit Cut-Out. Die Unterschiede waren hier bei der Gruppe der PFN Patienten ausgeprägter als bei Patienten mit DHS. Nichtsdestoweniger gab es sowohl Fälle, bei denen es trotz einer TAD von unter 25mm zu einem Cut-Out kam, als auch Fälle, bei denen sich trotz einer TAD von über 25mm kein Cut-Out ereignete. Folglich kann auch aus dieser Arbeit nicht die Tip-Apex-Distance als einziger Vorhersagewert für das Auftreten eines Cut-Outs abgeleitet werden. Weitere Parameter müssen also in Betracht gezogen werden.

Cleveland et.al. stellten bereits 1959 eine Unterteilung des Femurkopfs in 9 Zonen vor, konnten jedoch keine bevorzugte Zone für die Positionierung des Osteosynthesematerials im Femurkopf innerhalb dieser Zonen angeben (55). 2019 untersuchten Zhang et al. (57) in einer 295 Patienten umfassenden Studie die Risikofaktoren für Osteosyntheseversagen nach Versorgung peritrochantärer Femurfrakturen mit Proximalem Femurnagel. Dabei konnten sie keinen signifikanten Zusammenhang zwischen der Tip-Apex-Distance und dem Auftreten eines Cut-Outs feststellen. Vielmehr fanden sie heraus, dass eine gute Frakturposition das Risiko eines Cut-Outs erheblich senkt, wohingegen eine posteriore Positionierung der Schraube im Femurkopf zu einem gehäuften Auftreten eines Cut-Outs führt (57). Ähnliche Ergebnisse zeigte eine Untersuchung von Raghumeran et al. (58) ebenfalls aus dem Jahr 2019. Auch sie suchten in ihrer Studie an 370 Patienten, die nach proximaler Femurfraktur mittels PFN versorgt wurden, nach Risikofaktoren für einen Cut-Out. Bei einer gesamten Cut-Out Rate von 5,4% (20 von 370 Fällen) fanden sie ein erhöhtes Risiko für das Auftreten von Cut-Outs bei schlechter Frakturposition und bei inferiorer Positionierung des Osteosynthesematerials im Femurkopf. Einen Zusammenhang zwischen der Tip-Apex-Distance und einem Osteosyntheseversagen konnten sie nicht feststellen (58). Dies deckt sich insoweit mit unseren Ergebnissen, dass auch unsere Resultate dafür sprechen, dass eine gute Qualität der Osteosynthese und eine zentrale Lage der Schraube im Femurkopf entscheidend für die Vermeidung eines Cut-Outs sind, jedoch kann durch unsere Ergebnisse auch eine geringere Tip-Apex-Distance in

Zusammenhang mit einem geringeren Risiko für das Auftreten eines Cut-Outs in Verbindung gebracht werden.

Hsueh et al. (56) untersuchten 2009 die Risikofaktoren für einen Cut-Out nach Osteosynthese mittels DHS bei 937 Patienten. Sie kamen dabei zu dem Schluss, dass die Qualität der Frakturpositionierung und die Positionierung der Schraube im Femurkopf ebenfalls eine wichtige Rolle spielen, um das Risiko eines Cut-Outs zu minimieren. In ihrer Arbeit zeigte sich eine erhöhte Cut-Out Rate bei Patienten mit schlechter Frakturpositionierung sowie Schraubenlage in superioren Bereichen des Femurkopfs. Als bevorzugte Position gaben sie eine sowohl in anterior-posteriorer als auch axialer Ebene zentrale Lage im Femurkopf an.

Zu einer ähnlichen Einschätzung bezüglich der Schraubenlage im Femurkopf kamen Lenich et al. (67) in einer Studie aus dem Jahr 2011. In ihrer experimentellen Versuchsreihe wurde der Frage nachgegangen, inwieweit Rotations- und Torsionskräfte innerhalb des Femurkopfs für einen Cut-Out mitverantwortlich sein können. Aus ihren Ergebnissen kamen sie zu dem Schluss, dass eine zentrale Klingelage in Zone 5 anzustreben ist, da dort das Auftreten und die Auswirkungen dieser Kräfte am geringsten sind.

In einem Modellversuch im Jahre 2016 kamen Celik et al. (63) auch zur Empfehlung einer zentralen Schraubenpositionierung, wobei in dieser Untersuchung die Knochenstruktur einen höheren Stellenwert einnahm. Krischak et al. (66) gingen in ihrer Arbeit der Frage nach, ob es eine biomechanisch optimale Positionierung gibt und kamen ebenfalls zu dem Schluss, dass eine Schraubenlage in den Cleveland-Zonen 5 oder 8 erreicht werden sollte. Zusätzlich betonten sie die Wichtigkeit einer guten und anatomisch korrekten Frakturpositionierung. Ähnliche Schlussfolgerungen ziehen Murena et al. (44) in ihrer Untersuchung von 813 Patienten aus dem Jahre 2018. Bei ihrer Studie zeigte sich ein deutlich erhöhter Anteil an „schlechten“ Frakturpositionierungen bei Patienten mit Cut-Out im Vergleich zur Kontrollgruppe. So fanden sich bei Patienten ohne Komplikationen in 64% der Fälle gute Positionierungsergebnisse, bei Patienten mit Cut-out hingegen nur in 16,6% der Fälle.

Hinsichtlich der Frage, ob eher eine zu anteriore oder zu posteriore Positionierung der Schraube als problematisch zu werten ist, finden sich

unterschiedliche Angaben. So haben Parker et al. (60) in ihren Untersuchungen eine erhöhte Cut-Out Rate bei posterior vom Zentrum des Femurkopfs gelegenen Schrauben beobachtet. Andruszkow et al. (46) beobachteten erhöhte Cut-Out Raten sowohl bei zu weit superior als auch anterior positionierten Schrauben. Güven et al. (59) verglichen die Positionierung der Schrauben hinsichtlich Cut-Out Risiko bei einem Patientenkollektiv, welches sie in zwei Gruppen unterteilten, je nachdem ob eine Tip-Apex-Distance größer oder kleiner 25 mm vorlag. Für beide Gruppen stellten sie fest, dass eine zentrale Positionierung der Schraube sich positiv auf das Risiko eines Cut-Outs auswirkte, gleiches traf aber auch auf eine zentral-inferiore und postero-inferiore Positionierung zu.

Lenich et al. (67) kamen 2011 in einem Vergleich verschiedener Versagensanalysen zu dem Schluss, dass eine TAD von weniger als 20 mm und eine zentrale Schraubenlage in Cleveland Zone 5 angestrebt werden sollen. Außerdem betonten sie die Wichtigkeit einer exakten Reposition, die wenn möglich geschlossen, andernfalls offen zu erfolgen habe. Diese Empfehlungen können durch die Ergebnisse unserer Untersuchung unterstützt werden.

Betrachtet man die Ergebnisse aus dieser Untersuchung, so zeigt sich auch hier die Wichtigkeit der Qualität der Osteosynthese. Sowohl bei der Dynamischen Hüftschraube als auch beim Proximalen Femurnagel zeigte sich bei Patienten mit Cut-Out ein deutlich erhöhter Anteil an „schlechten“ Frakturpositionen im Vergleich zu den Kontrollgruppen. Eine gute Frakturposition spielt also eine tragende Rolle in der osteosynthetischen Versorgung proximaler Femurfrakturen.

Im Hinblick auf die Lage der Schrauben im Femurkopf zeigt sich ebenfalls ein ähnliches Bild für beide Systeme. Eine Position in Cleveland-Zone 5 war bei den Patienten ohne Cut-Out wesentlich häufiger der Fall als bei Patienten, bei denen ein Cut-Out auftrat, wirkte sich also prognostisch günstig aus. Bezüglich der Positionierung in den peripheren Abschnitten kann keine klare Empfehlung ausgesprochen werden. Hinsichtlich des Auftretens des Cut-Outs nach PFN scheint sich eine Schraubenlage anterior und superior ungünstig auszuwirken, jedoch ist dieses Ergebnis aufgrund der geringen Anzahl an Cut-Outs nach PFN mit Vorsicht zu genießen. Aus den Resultaten lässt sich die Schlussfolgerung ziehen, dass eine Centre-Centre Position in Cleveland-Zone 5 anzustreben ist.

Eine weitere Fragestellung war, ob es Unterschiede zwischen den beiden Systemen DHS und PFN gibt, was den Zusammenhang zwischen den untersuchten Faktoren und dem Auftreten eines Cut-Outs betrifft. Im Hinblick auf die Dynamische Hüftschraube ist sich die Studienlage hinsichtlich eines Zusammenhangs zwischen zu großer Tip-Apex-Distance und Osteosyntheseversagen größtenteils einig. Hinsichtlich des Proximalen Femurnagels kommen verschiedene Studien hier noch zu unterschiedlichen Ergebnissen. So kamen Csonka et al. (68) 2019 bei einer Studie zu dem Ergebnis, dass kein signifikanter Unterschied zwischen Patienten ohne Cut-Out und Patienten, bei denen ein Osteosyntheseversagen auftrat, hinsichtlich der Tip-Apex-Distance bestand. Khanna et al. (69) hingegen kamen 2021 in einer Studie, die derselben Frage auf den Grund ging, zu dem Schluss, dass ein Zusammenhang zwischen der Tip-Apex-Distance und dem Auftreten von Osteosyntheseversagen bestand und empfahlen eine TAD von weniger als 25mm um Cut-Outs zu vermeiden. Unsere Ergebnisse unterstützen die Überlegung letzterer Studie, wonach ein geringerer Tip-Apex-Distance auch bei Versorgung mittels Proximalem Femurnagel zu einer verminderten Rate an Cut-Outs führt, jedoch ist die TAD nicht der alleinige Maßstab, sondern die Qualität der Osteosynthese und die Lage der Schraube im Femurkopf spielen eine ebenso erhebliche Rolle, sodass alle Faktoren gleichermaßen berücksichtigt werden müssen.

Vergleicht man allgemein Dynamische Hüftschraube und Proximalen Femurnagel hinsichtlich des Auftretens von Komplikationen, so scheint der PFN weniger anfällig für das Auftreten ebensolcher. So verglichen Memon et al. (70) 2020 beide Systeme hinsichtlich ihrer Anfälligkeit für das Auftreten von Komplikationen und kamen zu dem Ergebnis, dass kein System dem anderen grundsätzlich hinsichtlich der Komplikationsrate überlegen sei, der PFN jedoch weniger anfällig für Cut-Outs sei als die DHS. Ähnliches folgerten Zhang et al. (71) in ihrer Meta-Analyse von 9 Studien, die insgesamt 779 Patienten umfasste. Auch bei ihnen konnte sich kein System als dem anderen überlegen herauskristallisieren, aber der PFN war hinsichtlich von Osteosyntheseversagen weniger anfällig als die DHS.

Auch unsere Ergebnisse lassen den Schluss ziehen, dass durch Verwendung eines Proximalen Femurnagels statt einer Dynamischen Hüftschraube die Rate an Osteosyntheseversagen gesenkt werden kann. Hinsichtlich der untersuchten Faktoren kann jedoch für beide Systeme gleichermaßen die Empfehlung ausgesprochen werden, dass eine Tip-Apex-Distance  $<25\text{mm}$  sowie eine Positionierung des Schraubenmaterials in Cleveland Zone 5 des Femurkopfs angestrebt werden soll, sowie dass eine gute Frakturposition das Risiko eines Cut-Outs erheblich senkt.

## 5. Fallbeispiele

Die untersuchten Parameter und ihr Einfluss auf das mögliche Auftreten eines Cut-Outs sollen im Folgenden anhand von Fallbeispielen aus dem eigenen Patientenkollektiv anschaulich gezeigt werden. Sowohl für die Dynamische Hüftschraube als auch für den Proximalen Femurnagel wird dies jeweils anhand eines Falles ohne Komplikationen und eines Falles mit Cut-Out geschehen.

Die Abbildungen 20 und 21 zeigen den Fall einer Patientin, die im April 2012 mit Dynamischer Hüftschraube versorgt wurde. Bei der zu diesem Zeitpunkt 60-jährigen Patientin lag eine rechtsseitige pertrochantäre Fraktur der Klasse A1 nach AO-Klassifikation vor. In Abbildung 20 sieht man den präoperativen Befund, Abbildung 21 zeigt den Zustand nach osteosynthetischer Versorgung mittels DHS und zusätzlicher Antirotationsschraube. Es zeigt sich eine sehr gute Qualität der Osteosynthese, eine zentrale Position des Osteosynthesematerials in Cleveland-Zone 5 innerhalb des Femurkopfes und eine Tip-Apex-Distance von 22,5 mm. Alle Parameter befinden sich also in den als erstrebenswert erachteten Dimensionen. Bei der Patientin ereigneten sich keinerlei Komplikationen.

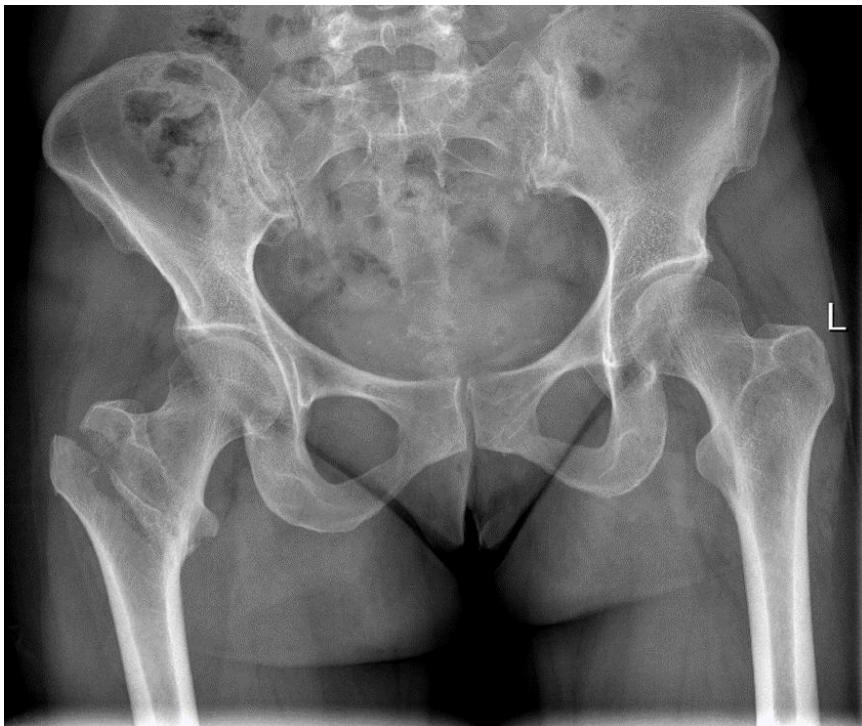
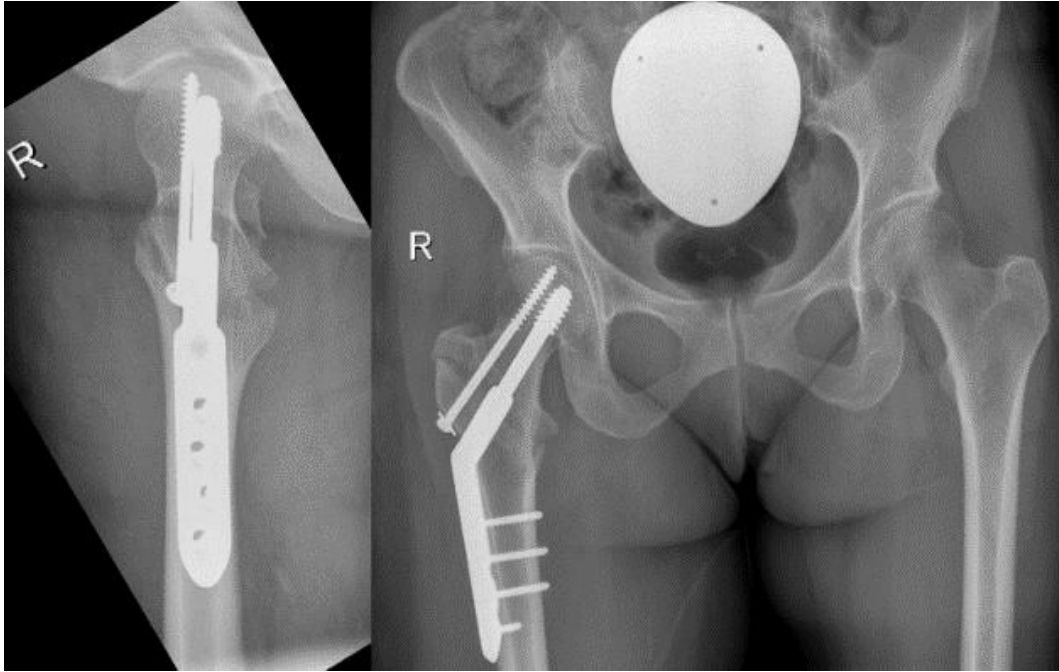


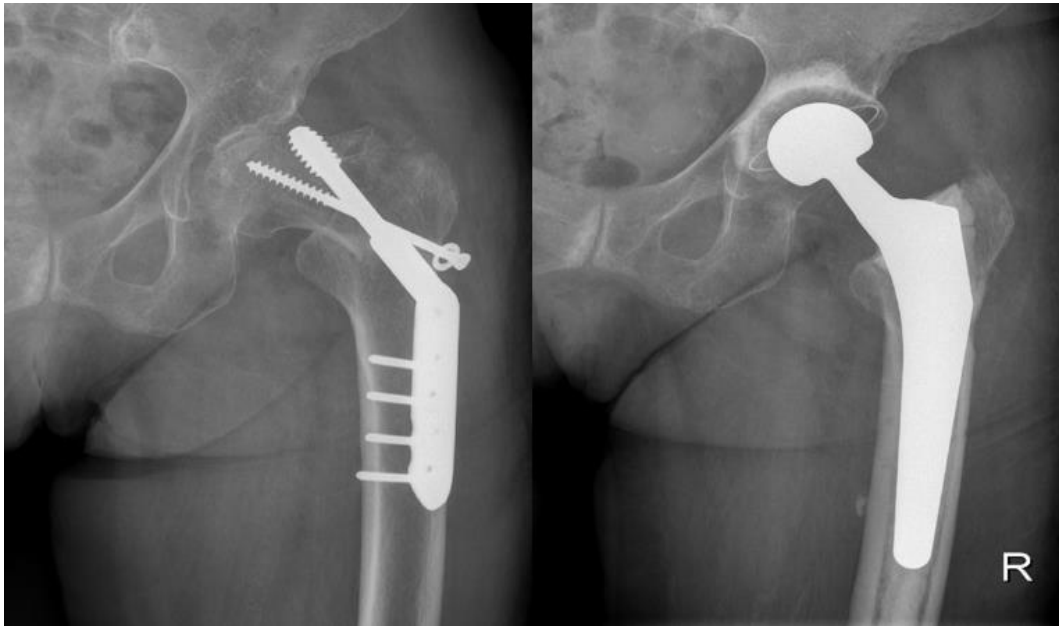
Abbildung 20 Präoperatives Röntgenbild mit der pertrochanteren Femurfraktur der Klasse A1 nach AO-Klassifikation vor Versorgung mit Dynamischer Hüftschraube



*Abbildung 21 Postoperative Röntgenaufnahmen in antero-posteriorer und axialer Ansicht nach Versorgung mit Dynamischer Hüftschraube*

Vergleichend zeigt Abbildung 22 das Outcome bei einer Patientin, die im August 2011 ebenfalls mittels Dynamischer Hüftschraube und Antirotationsschraube versorgt wurde. Auch bei dieser Patientin lag eine pertrochantäre Fraktur Klasse A1 nach AO-Klassifikation vor. Bei der Untersuchung der Einflussfaktoren zeigte sich zwar mit einer Tip-Apex-Distance nach Baumgaertner von 18,7 mm ein guter Wert. Jedoch war das Osteosynthesematerial in Cleveland-Zone 3, also in einer superioren und posterioren Lage positioniert und die Qualität der Frakturpositionierung musste anhand der Kriterien nach Lenich als „schlecht“ bewertet werden. Dies hatte zur Folge, dass sich bereits kurz nach operativer Versorgung ein Cut-Out ereignete und die Patientin 12 Tage nach dem Ersteingriff mittels Hüftendoprothese versorgt werden musste.





*Abbildung 22 Zustand nach Cut-Out nach Versorgung mit dynamischer Hüftschraube und anschließend notwendiger Versorgung mit Hüftendoprothese*

In den Abbildungen 23 und 24 sieht man den Fall einer zu diesem Zeitpunkt 74-jährigen Patientin. Bei der Patientin lag eine pertrochantäre Fraktur der Klasse A2 nach AO-Klassifikation mit Abriss des Trochanter minor vor. Die Versorgung erfolgte im April 2012 mittels Proximalem Femurnagels. In Abbildung 23 sieht man die präoperative Ausgangslage, Abbildung 24 zeigt den Zustand nach osteosynthetischer Versorgung. Betrachtet man die in dieser Arbeit untersuchten Faktoren, so zeigt sich eine Tip-Apex-Distance von 19,8mm. Das Osteosynthesematerial kommt innerhalb des Femurkopfs in Center-Center-Position zu liegen, entsprechend Cleveland-Zone 5. Die Qualität der Frakturreposition konnte nach den zugrunde liegenden Kriterien mit sehr gut bewertet werden. Alle Parameter befinden sich also in den als wünschenswert erachteten Bereichen. Bis zum letzten Follow-Up drei Jahre nach Frakturversorgung zeigten sich keinerlei Probleme oder Komplikationen bei der Patientin.



Abbildung 23 Präoperatives Röntgenbild der pertrochanteren Femurfraktur Klasse A2 nach AO-Klassifikation vor Versorgung mit Proximalem Femurnagel

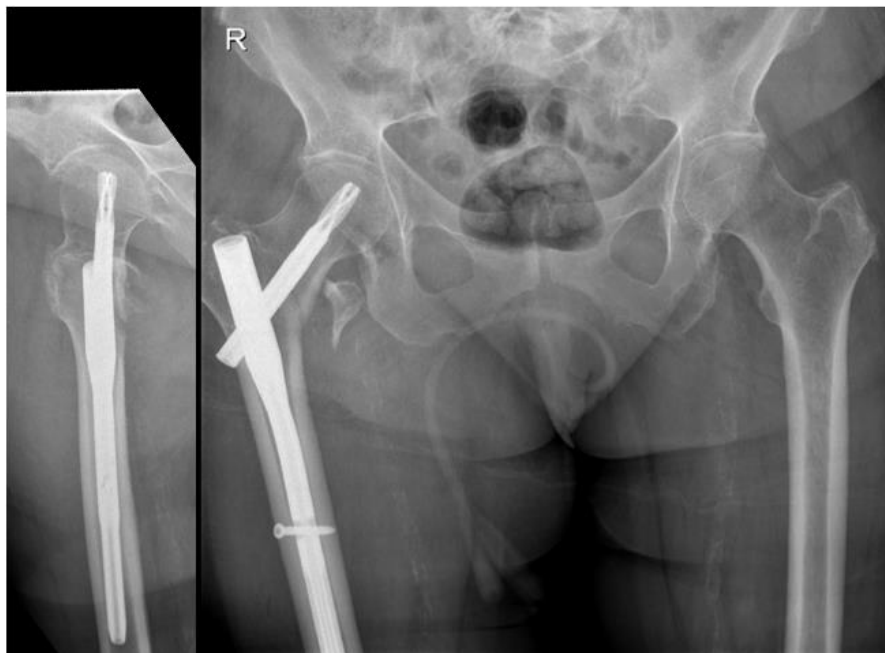


Abbildung 24 Postoperative Röntgenaufnahmen in antero-posteriorer und axialer Ansicht nach Versorgung mit Proximalem Femurnagel

Zuletzt sei der Fall einer Patientin gezeigt, die im Juli 2012 mit Proximalem Femurnagel versorgt wurde. Bei der zum Frakturereignis 82-jährigen Patientin lag ebenfalls eine pertrochantäre Femurfraktur Klasse A2 nach AO-Klassifikation mit Abriss des Trochanter Minor vor, zu sehen in Abbildung 25.

Betrachtet man die von uns untersuchten Parameter anhand der postoperativen Röntgenbilder (Abbildung 26), so erkennt man eine erhöhte Tip-Apex-Distance nach Baumgaertner von 33,8 mm, deutlich oberhalb der als günstig erachteten Werte von  $\leq 25$  mm. Ferner zeigt sich die Lage des Osteosynthesematerials lateral des Zentrums des Femurkopfs, was ebenso als ungünstig zu erachten ist. Die Qualität der Frakturreposition konnte mit „befriedigend“ bewertet werden.

Bei einer postoperativen Kontrolle vier Monate nach Frakturversorgung (Abbildung 27) zeigt sich bereits eine Wanderung der Schraube innerhalb des Femurkopfs. Diese Tendenz setzte sich im Verlauf fort, sodass nach einer weiteren Kontrollaufnahme sechs Monate postoperativ (Abbildung 28) ein Cut-Out diagnostiziert werden musste. Dies hatte zur Folge, dass die Patientin letztendlich mit einer Hüft-Total-Endoprothese versorgt werden musste.



*Abbildung 25 Präoperatives Röntgenbild der pertrochanteren Femurfraktur Klasse A2 nach AO-Klassifikation vor Versorgung mit Proximalem Femurnagel*

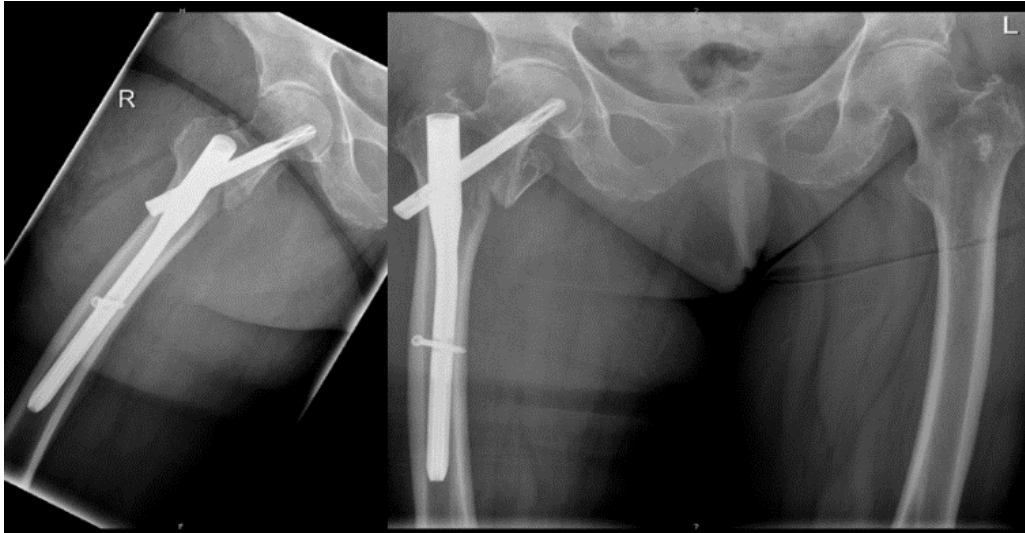


Abbildung 26 Postoperative Röntgenaufnahmen in antero-posteriorer und axialer Ansicht nach Versorgung mit Proximalem Femurnagel

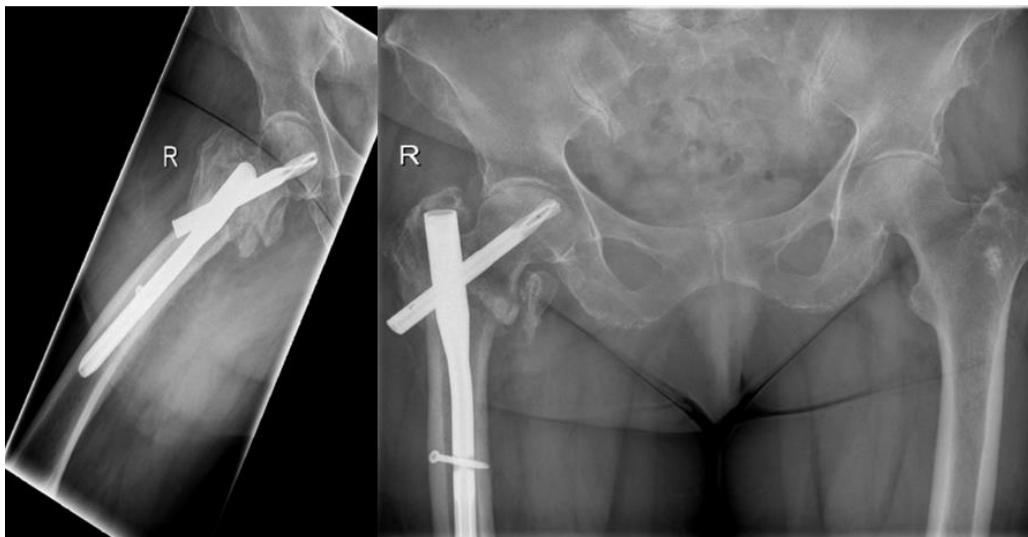


Abbildung 27 Röntgenkontrollaufnahmen in antero-posteriorer und axialer Ansicht vier Monate nach Versorgung mit Proximalem Femurnagel

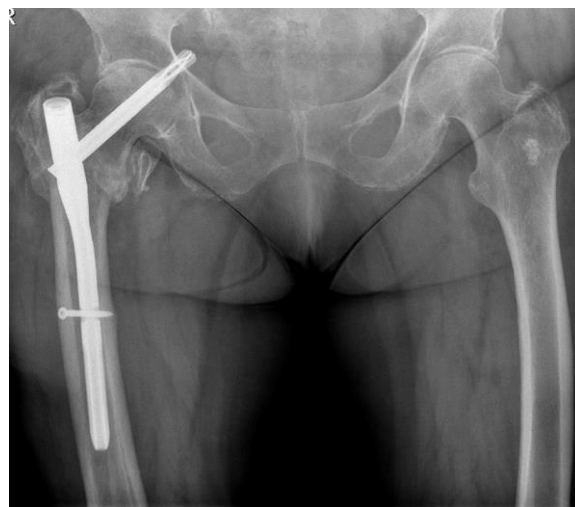


Abbildung 28 Zustand nach Cut-Out 6 Monate nach Versorgung mit Proximalem Femurnagel

## 6. Zusammenfassung

Die pertrochantäre Femurfraktur ist eine der häufigsten Frakturformen in Deutschland und wird in ihrer Inzidenz aufgrund der demografischen Entwicklung weiterhin zunehmen. Goldstandard in der Therapie ist die osteosynthetische Versorgung mittels Dynamischer Hüftschraube oder Proximalem Femurnagel, wobei ein Cut-Out der Schenkelhalsschraube die häufigste mechanische Komplikation darstellt.

In dieser Arbeit wurde untersucht, welche intraoperativen Frakturen das Entstehen eines Cut-Outs begünstigen und ob es hierzu Unterschiede zwischen DHS und PFN gibt. Untersucht wurden die Tip-Apex-Distance, die Qualität der Frakturpositionierung und die Positionierung der Schraube innerhalb des Femurkopfes.

Die Tip-Apex-Distance war in den Fällen ohne Komplikationen geringer als in den Fällen, bei denen ein Cut-Out auftrat. Bei der DHS betrug die durchschnittliche TAD bei komplikationslosen Fällen 22,4 mm, bei Fällen mit Cut-Out 26,9 mm. Beim PFN betrug der Durchschnittswert 20,4 mm bei Fällen ohne Cut-Out und 27,9 mm, wenn ein Cut-Out auftrat. Sowohl bei DHS als auch bei PFN konnte in den Gruppen ohne Cut-Out häufiger eine gute Qualität der Frakturpositionierung festgestellt werden als in den Fällen mit Cut-Out. Bezüglich der Lage der Schraube im Femurkopf lag in den Fällen ohne Komplikation die Schraube häufiger zentral im Femurkopf in Cleveland-Zone 5 (DHS 69%; PFN 70%) als in den Fällen mit Cut-Out (DHS 34,4%; PFN 12,5%). Bezogen auf das gesamte Patientenkollektiv war die Cut-Out Rate bei PFN geringer (1,9%) als bei DHS (5,1%).

Daraus lassen sich folgenden Schlüsse ziehen:

- Der PFN ist weniger anfällig für ein Cut-Out als die DHS. Die untersuchten intraoperativen Faktoren beeinflussen den Outcome für beide Systeme jedoch gleichermaßen.

- Es sollte weiterhin eine Tip-Apex-Distance von  $<25\text{mm}$  angestrebt werden.
- Die Schraube sollte möglichst innerhalb des Femurkopfes in zentraler Lage in Cleveland-Zone 5 positioniert werden.
- Durch eine gute Qualität der Frakturpositionierung sinkt das Risiko eines Cut-Outs.

## 7. Literaturverzeichnis

- 1: Rupp M, Walter N, Pfeifer C et al. The incidence of fractures among the adult population of Germany—an analysis from 2009 through 2019. Dtsch Arztebl Int 118: 665–9 (2021)
- 2: Institut für angewandte Qualitätsförderung und Forschung im Gesundheitswesen: Bundesauswertung 2014, Abschnitt 17/1 Hüftgelenknahe Femurfraktur.  
[https://www.sqg.de/downloads/Bundesauswertungen/2014/bu\\_Gesamt\\_17N1-HUEFT-FRAK\\_2014.pdf](https://www.sqg.de/downloads/Bundesauswertungen/2014/bu_Gesamt_17N1-HUEFT-FRAK_2014.pdf) (abgerufen am 10.03.2022)
- 3: Institut für Qualitätssicherung und Transparenz im Gesundheitswesen: Bundesauswertung 2020 über die Hüftgelenknahe Femurfraktur mit osteosynthetischer Versorgung. <https://iqtig.org/qs-verfahren/hueftfrak-osteo/> (abgerufen am 10.03.2022)
- 4: Jaeschke-Melli S, Hedke J, Meiners J et al. Standards in der Versorgung proximaler Femurfrakturen. Trauma und Berufskrankheit 15: 119–128 (2013)
- 5: Statistisches Bundesamt, Pressestelle, Gustav-Stresemann-Ring 11, 65189 Wiesbaden: Pressemitteilung Nr. 404/18 vom 18. Oktober 2018
- 6: Statistisches Bundesamt, Pressestelle, Gustav-Stresemann-Ring 11, 65189 Wiesbaden: Pressemitteilung Nr. 242/19 vom 27. Juni 2019
- 7: Statistisches Bundesamt, Pressestelle, Gustav-Stresemann-Ring 11, 65189 Wiesbaden: Pressemitteilung Nr. 459/21 vom 30. September 2021
- 8: Müller F, Galler M, Kottmann, T. Analyse von 2000 operativ versorgten proximalen Femurfrakturen. Unfallchirurg 121: 550–559 (2018)
- 9: Weigel B, Nerlich M. Praxisbuch Unfallchirurgie, 2. Auflage, Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag (2011)
- 10: Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie. Leitlinie zur pertrochantären Femurfraktur (2015)

[https://www.iakh.de/files/iakh/public/richtlinien/012002I\\_S2e\\_Petrochantaere\\_Oberschenkelfraktur\\_2015-07.pdf](https://www.iakh.de/files/iakh/public/richtlinien/012002I_S2e_Petrochantaere_Oberschenkelfraktur_2015-07.pdf) (abgerufen am 10.03.2022)

11: Klopfer T, Hemmann P, Ziegler P et al. Proximale Femurfraktur und Insuffizienzfrakturen im Alter. Trauma Berufskrankh 19, 27–36 (2017)

12: Füchtmeier B, Gebhard F, Lenich A et al. Komplikationen bei pertrochantären Frakturen. Unfallchirurg 114, 479–484 (2011)

13: Flückiger, A. Prophylaxe und Therapie der Osteoporose. Pharma-Kritik 22: 41-4 (2001)

14: Akademie der Unfallchirurgie GmbH: Internetauftritt zu Alterstraumazentren der DGU. <https://www.alterstraumazentrum-dgu.de> (abgerufen am 10.03.2022)

15: Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie: Aktuelle Richtlinien für Alterstraumazentren

<https://www.dgu-online.de/news-detailansicht/alterstraumazentrum-dguR-gut-geruestet-fuer-die-neue-g-ba-richtlinie-zur-hueftfraktur.html> (abgerufen am 10.03.2022)

16: Akademie der Unfallchirurgie GmbH: Voraussetzungen zur Zertifizierung zum Alterstraumazentrum. [https://www.alterstraumazentrum-dgu.de/fileadmin/user\\_upload/AltersTraumaZentrumDGU\\_Kriterienkatalog\\_V1.3\\_01.07.2020.pdf](https://www.alterstraumazentrum-dgu.de/fileadmin/user_upload/AltersTraumaZentrumDGU_Kriterienkatalog_V1.3_01.07.2020.pdf) (abgerufen am 10.03.2022)

17: Stöckle U, Lucke M, Haas N. Zertifizierte medizinische Fortbildung: Der Oberschenkelhalsbruch. Deutsches Ärzteblatt 102(49), A 3425-3434 (2005)

18: Weyler E, Gandjour A. Sozioökonomische Bedeutung von Hüftfrakturen in Deutschland [Socioeconomic burden of hip fractures in Germany]. Gesundheitswesen 69(11):601-6 (2007)

19: Deutscher Kongress für Orthopädie und Unfallchirurgie (DKOU 2015): Die Behandlungskosten der akut-stationären Versorgung von Patienten mit proximaler Femurfraktur: eine detaillierte Analyse der Kosten an einer deutschen Universitätsklinik. German Medical Science GMS Publishing House Düsseldorf. DocWI39-1442 (WI39-1442) (2015)



- 20: Pientka, L, Friedrich, C. Die Kosten hüftgelenksnaher Frakturen in Deutschland: Eine prospektive Untersuchung. Z Gerontol Geriat 32, 326–332 (1999)
- 21: Veronese N, Maggi S. Epidemiology and social costs of hip fracture. Injury 49(8):1458-1460 (2018)
- 22: Aumüller G, Aust G, Doll A et al. Duale Reihe Anatomie. Stuttgart: Georg Thieme Verlag (2010)
- 23: Schünke M, Schulte E, Schumacher U: Prometheus Lernatlas der Anatomie. Stuttgart: Georg Thieme Verlag (2005)
- 24: Fröber R. Funktionelle Anatomie des Femurs, OP-JOURNAL 18(2): 86-90 (2002)
- 25: Pauwels F. Atlas zur Biomechanik der gesunden und kranken Hüfte. Berlin-Heidelberg-New York-Tokyo: Springer-Verlag (1973)
- 26: Bergmann G, Rohlmann A, Graichen F et al. In vivo-Messung der Hüftgelenksbelastung. 1. Teil: Krankengymnastik. Z Orthop 127: 672–679 (1989)
- 27: Institute of Diagnostic Radiology der Universität Erlangen, Krankenhausstrasse 12, 91054 Erlangen. [http://www.idr.med.uni-erlangen.de/orthorad/rta/becken\\_rta](http://www.idr.med.uni-erlangen.de/orthorad/rta/becken_rta) (abgerufen am 10.03.2022)
- 28: Haas N, Krettek C. Tscherne Unfallchirurgie: Hüfte und Oberschenkel. Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag (2011)
- 29: Raschke M, Everding J. SOP proximale Femurfraktur, Orthopädie und Unfallchirurgie up2date 14(02): 120-126 (2019)
- 30: Meinberg E, Agel J, Roberts C et al. Fracture and Dislocation Classification Compendium-2018. J Orthop Trauma 32/1, 1-S170 (2018)
- 31: Garden R: Low angle fixation in fractures of the femoral neck. J. Bone Joint Surg. 43, 647-663 (1961)

- 32: Ruchholtz S, Wirtz D. Orthopädie und Unfallchirurgie Essentials. Stuttgart: Georg Thieme Verlag (2012)
- 33: Nikkel L, Fox E, Black K et al. Impact of comorbidities on hospitalization costs following hip fracture. J Bone Joint Surg Am. 4;94(1): 9-17 (2012)
- 34: Wulbrand C, Müller F, Füchtmeier B. Surgery for hip fractures under NOAC within 24 hours. Dtsch Arztebl Int 118: 462–3 (2021)
- 35: Reiser M, Baur-Melnyk A, Glaser C. Pareto-Reihe Radiologie Bewegungsapparat, 1. Auflage. Stuttgart: Georg Thieme Verlag (2007)
- 36: Bartonicek J, Rammelt S. The history of internal fixation of proximal femur fractures Ernst Pohl-the genius behind. International orthopaedics. 38. 10.1007/s00264-014-2320-3. (2014)
- 37: Smith-Petersen M, Cave E, Vangorder G et al. Intracapsular Fractures of the Neck of the Femur: Treatment by Internal Fixation. Arch Surg. 23(5):715–759 (1931)
- 38: Kempf I, Taglang G. The Gamma Nail - Historical Background. Osteosynthesis and Trauma Care. 13. 2-6. 10.1055/s-2005-836302. (2005)
- 39: Depuy-Synthes; Laitermatten 5A, 79224 Umkirch: DHS Operationsanleitung (2019)  
[http://synthes.vo.llnwd.net/o16/LLNWMB8/INT%20Mobile/Synthes%20International/Product%20Support%20Material/legacy\\_Synthes\\_PDF/DSEM-TRM-1114-0221-4a\\_LR.pdf](http://synthes.vo.llnwd.net/o16/LLNWMB8/INT%20Mobile/Synthes%20International/Product%20Support%20Material/legacy_Synthes_PDF/DSEM-TRM-1114-0221-4a_LR.pdf) (abgerufen am 10.03.2022)
- 40: Stern R, Lübbecke A, Suva D et al. Prospective randomised study comparing screw versus helical blade in the treatment of low-energy trochanteric fractures. International orthopaedics. 35. 1855-61. (2011)
- 41: Depuy-Synthes; Laitermatten 5A, 79224 Umkirch: PFN Operationsanleitung (2019)  
<http://synthes.vo.llnwd.net/o16/Mobile/Synthes%20International/KYO/Trauma/PDFs/016.000.398.pdf> (abgerufen am 10.03.2022)

- 42: Pfeufer D, Neuerburg C, Mehaffey S. Augmentation bei proximalen Femurfrakturen. OP-JOURNAL. 33. 37-42. 10.1055/s-0042-123099 (2017)
- 43: Tell-Klinik AG, Gotthardstrasse 62, CH-6438 Ibach  
<https://www.tellklinik.ch/leistungen/huftgelenk/frakturen-des-huftgelenkes/>  
(abgerufen am 10.03.2022)
- 44: Murena L, Moretti A, Meo F et al. Predictors of cut-out after cephalomedullary nail fixation of pertrochanteric fractures: a retrospective study of 813 patients. Arch Orthop Trauma Surg. 138(3):351-359 (2018)
- 45: Hohendorff B, Meyer P, Menezes D et al. Behandlungsergebnisse und Komplikationen nach PFN-Osteosynthese. Unfallchirurg 108:938–953 (2005)
- 46: Andruszkow H, Frink M, Frömke C et al. Tip apex distance, hip screw placement, and neck shaft angle as potential risk factors for cut-out failure of hip screws after surgical treatment of intertrochanteric fractures. International Orthopaedics (SICOT) 36, 2347–2354 (2012)
- 47: Li S, Chang S, Niu W et al. Comparison of tip apex distance and cut-out complications between helical blades and lag screws in intertrochanteric fractures among the elderly: a meta-analysis. J Orthop Sci 20(6):1062–1069 (2015)
- 48: Müller F, Galler M, Kottmann T: Analyse von 2000 operativ versorgten proximalen Femurfrakturen. Unfallchirurg 121, 550–559 (2018)
- 49: Müller F, Galler M, Zellner M et al. Comparative analysis of non-simultaneous bilateral fractures of the proximal femur. Eur J Trauma Emerg Surg. 45(6):1053-1057 (2019)
- 50: Müller F, Galler M, Zellner M et al. Peri-implant femoral fractures: The risk is more than three times higher within PFN compared with DHS. Injury. 47(10):2189-2194 (2016)
- 51: Müller F, Galler M, Zellner M et al. The fate of proximal femoral fractures in the 10th decade of life: an analysis of 117 consecutive patients. Injury. 46(10):1983-7 (2015)

- 52: Müller F, Galler M, Roll C et al. Infection Versus Hematoma Following Surgical Treatment of Proximal Femoral Fractures in Geriatric Patients. *Geriatr Orthop Surg Rehabil.* (2018)
- 53: Baumgaertner M, Curtin S, Lindskog D et al. The value of the tip-apex distance in predicting failure of fixation of peritrochanteric fractures of the hip. *J Bone Joint Surg Am.* 77(7):1058–64. (1995)
- 54: Lenich A, Mayr E, Rüter A et al. First results with the Trochanter Fixation Nail (TFN): a report of 120 cases. *Arch Orthop Trauma Surg* 126: 706-712 (2006)
- 55: Cleveland M, Bosworth D, Thompson F et al. A ten-year analysis of intertrochanteric fractures of the femur. *J Bone Joint Surg Am* 41-A, 1399-408 (1959)
- 56: Hsueh K, Fang C, Chen C et al. Risk factors in cutout of sliding hip screw in intertrochanteric fractures: an evaluation of 937 patients. *Int Orthop*, 34(8): 1273–76 (2010)
- 57: Zhang W, Antony Xavier RP, Decruz J et al. Risk factors for mechanical failure of intertrochanteric fractures after fixation with proximal femoral nail antirotation (PFNA II): a study in a Southeast Asian population. *Arch Orthop Trauma Surg* 141(4):569-575 (2021)
- 58: Raghuraman R, Kam JW, Chua DTC et al. Predictors of failure following fixation of intertrochanteric fractures with proximal femoral nail antirotation. *Singapore Med J.*;60(9):463-467 (2019)
- 59: Güven M, Yavuz U, Kadioğlu B et al. Importance of screw position in intertrochanteric femoral fractures treated by dynamic hip screw. *Orthop Traumatol Surg Res*;96(1):21-7 (2010)
- 60: Parker MJ. Cutting-out of the dynamic hip screw related to its position. *J Bone Joint Surg Br*;74(4):625 (1992)
- 61: Adams C, Robinson C, Court-Brown C et al. Prospective randomized controlled trial of an intramedullary nail versus dynamic screw and plate for intertrochanteric fractures of the femur. *J Orthop Trauma* 15(6):394–400 (2001)

- 62: Baumgaertner MR, Solberg BD. Awareness of tip-apex distance reduces failure of fixation of trochanteric fractures of the hip. *J Bone Joint Surg Br*;79(6):969-71 (1997)
- 63: Celik T, Mutlu I, Ozkan A et al. Comparison of the Lag Screw Placements for the Treatment of Stable and Unstable Intertrochanteric Femoral Fractures regarding Trabecular Bone Failure. *J Med Eng*; 2016:5470798 (2016)
- 64: Geller J, Saifi C, Morrison T et al. Tip-apex distance of intramedullary devices as a predictor of cut-out failure in the treatment of peritrochanteric elderly hip fractures. *Int Orthop*. 34(5):719-22 (2010)
- 65: Goffin JM, Pankaj P, Simpson AH. The importance of lag screw position for the stabilization of trochanteric fractures with a sliding hip screw: a subject-specific finite element study. *J Orthop Res*; 31(4):596-600 (2013)
- 66: Krischak G, Dürselen L, Röderer G: Versorgung peritrochantärer Femurfrakturen. *Unfallchirurg* 114, 485–490 (2011)
- 67: Lenich A, Bachmeier S, Prantl L et al: Is the rotation of the femoral head a potential initiation for cutting out? A theoretical and experimental approach. *BMC Musculoskelet Disord* 12, 79 (2011)
- 68: Csonka Á, Ecseri T, Dózsai D et al: A combfejcsavar helyzetének prognosztikai jelentősége a csípőtáji törések esetén [The prognostic value of the hip screw position in intertrochanteric fractures]. *Orv Hetil*;160(9):338-342 (2019)
- 69: Khanna V, Tiwari M: Significance of Tip Apex Distance in Intertrochanteric Fracture femur managed with Proximal femoral nailing. *Orthop Traumatol Surg Res*;107(6):103009 (2021)
- 70: Memon K, Siddiqui A, Khan Z et al. Dynamic Hip Screw Fixation Vs. Proximal Femur Nail For Unstable Per-Trochanteric Fractures: A Comparative Analysis Of Outcomes And Complications. *J Ayub Med Coll Abbottabad*; 33(1):34-38 (2021)
- 71: Zhang Y, Rao F, Pi W et al. [Proximal femoral nails antirotation and dynamic hip screws for fixation of unstable intertrochanteric fractures of femur: A meta-analysis]. *Beijing Da Xue Xue Bao Yi Xue Ban*; 51(3):493-500 (2019)

- 72: Galler M, Zellner M, Roll C et al. A prospective study with ten years follow-up of two-hundred patients with proximal femoral fracture. *Injury*. 49(4):841-845 (2018)
- 73: Zhang Y, Rao F, Pi W et al. Proximal femoral nails antirotation and dynamic hip screws for fixation of unstable intertrochanteric fractures of femur: A meta-analysis. *Beijing Da Xue Xue Bao Yi Xue Ban*. 18;51(3):493-500 (2019)
- 74: Yeganeh A, Taghavi R, Moghtadaei M. Comparing the Intramedullary Nailing Method Versus Dynamic Hip Screw in Treatment of Unstable Intertrochanteric Fractures. *Med Arch*. 70(1):53-6 (2016)
- 75: Morvan A, Boddaert J, Cohen-Bittan J et al. Risk factors for cut-out after internal fixation of trochanteric fractures in elderly subjects. *Orthop Traumatol Surg Res*. 104(8):1183-1187 (2018)
- 76: Caruso G, Corradi N, Caldaria A et al. New tip-apex distance and calcar-referenced tip-apex distance cut-offs may be the best predictors for cut-out risk after intramedullary fixation of proximal femur fractures. *Sci Rep*. 10;12(1):357 (2022)

## 8. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Proximaler Teil des rechten Oberschenkels (23).....	9
Abbildung 2 Darstellung des Trajektorienverlaufs am proximalen Femur, rechts daneben von oben nach unten die Schnittbilder an den links im Bild markierten Stellen Q1, Q2 und Q3 (50).....	10
Abbildung 3 Beckenübersichtsaufnahme a.p. ohne pathologischen Befund an den Femora (27).....	11
Abbildung 4 Frakturen des proximalen Femurs (9) .....	12
Abbildung 5 Fraktureinteilung der AO nach Müller (AOTA Classification Compendium (30)) .....	13
Abbildung 6 Klassifikation der Schenkelhalsfrakturen nach Garden (32) .....	14
Abbildung 7 Frakturklassifikation nach Pauwels (aus Haas N, Josten C.: Verletzung des Hüftgelenks und des proximalen Femurs) .....	14
Abbildung 8 Aufnahme des rechten Hüftgelenks a.p. bei pertrochantärer Femurfraktur mit Absprengung des Trochanter minor (AO 31.A2) (35).....	16
Abbildung 9 Dynamische Hüftschraube im Röntgenbild (40) .....	20
Abbildung 10 Dynamische Hüftschraube in schematischer Darstellung (39) ...	20
Abbildung 11 Proximaler Femurnagel (PFN A) in schematischer Darstellung und im Röntgenbild (43).....	22
Abbildung 12 Röntgenbild einer Patientin mit pertrochantärer Femurfraktur nach Versorgung mit zementaugmentiertem PFN (42) .....	23
Abbildung 13 Berechnung der TAD nach Baumgaertner (53) .....	28
Abbildung 14 Qualität der Frakturposition nach Lenich et.al. (54).....	29
Abbildung 15 Einteilung des Femurkopfes in die 9 Cleveland Zonen.....	30
Abbildung 16 Prozentuale Verteilung der Schraubenposition bei den DHS Patienten mit Cut-Out.....	42
Abbildung 17 Prozentuale Verteilung der Schraubenposition bei DHS Patienten ohne Cut-Out.....	43
Abbildung 18 Prozentuale Verteilung der Schraubenposition bei PFN Patienten mit Cut-Out.....	44
Abbildung 19 Prozentuale Verteilung der Schraubenposition bei PFN Patienten ohne Cut-Out.....	44

Abbildung 20 Präoperatives Röntgenbild mit der pertrochanteren Femurfraktur der Klasse A1 nach AO-Klassifikation vor Versorgung mit Dynamischer Hüftschraube .....	53
Abbildung 21 Postoperative Röntgenaufnahmen in antero-posteriorer und axialer Ansicht nach Versorgung mit Dynamischer Hüftschraube .....	54
Abbildung 22 Zustand nach Cut-Out nach Versorgung mit dynamischer Hüftschraube und anschließend notwendiger Versorgung mit Hüftendoprothese .....	55
Abbildung 23 Präoperatives Röntgenbild der pertrochanteren Femurfraktur Klasse A2 nach AO-Klassifikation vor Versorgung mit Proximalem Femurnagel .....	56
Abbildung 24 Postoperative Röntgenaufnahmen in antero-posteriorer und axialer Ansicht nach Versorgung mit Proximalem Femurnagel.....	56
Abbildung 25 Präoperatives Röntgenbild der pertrochanteren Femurfraktur Klasse A2 nach AO-Klassifikation vor Versorgung mit Proximalem Femurnagel .....	57
Abbildung 26 Postoperative Röntgenaufnahmen in antero-posteriorer und axialer Ansicht nach Versorgung mit Proximalem Femurnagel.....	58
Abbildung 27 Röntgenkontrollaufnahmen in antero-posteriorer und axialer Ansicht vier Monate nach Versorgung mit Proximalem Femurnagel .....	58
Abbildung 28 Zustand nach Cut-Out 6 Monate nach Versorgung mit Proximalem Femurnagel .....	58



## 9. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Überprüfung der metrischen Variablen auf Normalverteilung .....	32
Tabelle 2 Statistische Auswertung des Patientenalters.....	33
Tabelle 3 Signifikanzüberprüfung des Patientenalters .....	33
Tabelle 4 Statistische Auswertung des Patientengeschlechts sowie Signifikanzüberprüfung.....	35
Tabelle 5 Statistische Auswertung der betroffenen Seite sowie Signifikanzüberprüfung.....	35
Tabelle 6 Statistische Auswertung der AO-Klassifikation sowie Signifikanzüberprüfung.....	37
Tabelle 7 Verteilung der Frakturformen nach AO-Klassifikation auf die untersuchten Gruppen.....	37
Tabelle 8 Statistische Auswertung der Therapieauswahl (DHS versus PFN) und Signifikanzüberprüfung.....	38
Tabelle 9 Durchschnittliche TAD der 4 Gruppen in mm mit Range aller gemessenen Werte .....	39
Tabelle 10 Statistische Auswertung der Tip-Apex-Distance sowie Signifikanzüberprüfung.....	40
Tabelle 11 Prozentuale Verteilung der Qualität der Frakturposition innerhalb der vier Gruppen .....	41
Tabelle 12 Statistische Auswertung der Qualität der Frakturposition sowie Signifikanzüberprüfung im Vergleich zwischen Cut-Out Gruppe und Kontrollgruppe .....	42
Tabelle 13 Statistische Auswertung der Positionierung der Schraube im Femurkopf sowie Signifikanzüberprüfung .....	45

## **10. Lebenslauf**

### **Personalien**

Andreas Maximilian Bäuml

Geboren am 14.05.1992 in Wörth an der Donau

Ledig

### **Schulischer Werdegang**

1998-2002 Grundschule Thalmassing

2002-2011 Gymnasium Neutraubling

### **Studium**

2011-2018 Studium der Zahnmedizin an der Universität Regensburg

### **Beruflicher Werdegang**

08/2018- 07/2020 Vorbereitungsassistent in der Gemeinschaftspraxis

Prof. Dr. Stimmelmayer & Dr. Stangl in Cham

08/2020- 07/2021 Angestellter Zahnarzt in der Gemeinschaftspraxis

Prof. Dr. Stimmelmayer & Dr. Stangl in Cham

seit 08/2021 Weiterbildungsassistent für Oralchirurgie in der

Gemeinschaftspraxis Prof. Dr. Stimmelmayer & Dr. Stangl in

Cham

## **11. Danksagung**

Besonders danken möchte ich Herrn Prof. Dr. med. B. Füchtmeier für die Überlassung des Themas sowie die Unterstützung bei der Erstellung dieser Dissertation.

Des Weiteren bedanke ich mich bei Herrn Prof. Dr. med. F. Müller für die Unterstützung bei der statistischen Auswertung sowie die Hilfe bei der Anfertigung dieser Arbeit.

Zu guter Letzt gilt mein Dank meinen Eltern, Gabriele und Thomas, die mich auf dem Weg durch das Studium stets begleitet und auch beim Verfassen dieser Dissertation stets unterstützt haben.

## **12. Eidesstattliche Versicherung**

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus anderen Quellen direkt oder indirekt übernommenen Daten und Konzepte sind unter Angabe der Quelle gekennzeichnet. Insbesondere habe ich nicht die entgeltliche Hilfe von Vermittlungs- bzw. Beratungsdiensten (Promotionsberater oder andere Personen) in Anspruch genommen. Niemand hat von mir unmittelbar oder mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeit erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen. Die Arbeit wurde bisher weder im In- noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Regensburg, den