

Aus dem Lehrstuhl
für Unfallchirurgie
Prof. Dr. Dr. Volker Alt
der Fakultät für Medizin
der Universität Regensburg

Subtrochantäre Femurfrakturen:
Eine retrospektive Analyse der Einflussfaktoren
auf verzögerte oder ausbleibende Frakturheilung

Inaugural – Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der
Fakultät für Medizin
der Universität Regensburg

vorgelegt von
Franziska Marion Gschrei

2022

Aus dem Lehrstuhl
für Unfallchirurgie
Prof. Dr. Dr. Volker Alt
der Fakultät für Medizin
der Universität Regensburg

Subtrochantäre Femurfrakturen:
Eine retrospektive Analyse der Einflussfaktoren
auf verzögerte oder ausbleibende Frakturheilung

Inaugural – Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der
Fakultät für Medizin
der Universität Regensburg

vorgelegt von
Franziska Marion Gschrei

2022

Dekan:	Prof. Dr. Dirk Hellwig
1. Berichterstatter:	Prof. Dr. Florian Baumann
2. Berichterstatterin:	Prof. Dr. Christina Wendl
Tag der mündlichen Prüfung:	19.05.2022

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	6
1.1	Definition der subtrochantären Region	6
1.2	Epidemiologie subtrochantärer Femurfrakturen	7
1.3	Anatomie und Biomechanik der subtrochantären Region.....	8
1.4	Klassifikation subtrochantärer Femurfrakturen	10
1.5	Versorgungskonzept für subtrochantäre Femurfrakturen	14
1.6	Komplikationen bei subtrochantären Femurfrakturen	17
1.7	Vergleich von subtrochantären und pertrochantären Femurfrakturen	18
1.8	Fragestellung und Zielsetzung	19
2	Material und Methoden.....	20
2.1	Studiendesign	20
2.2	Patientenkollektiv.....	20
2.3	Art der Erhebung und Definition von Zielgrößen.....	21
2.3.1	Patientenbezogene Daten	22
2.3.2	Frakturbezogene Daten	22
2.3.3	Präoperative Röntgenaufnahmen	23
2.3.4	Postoperative Röntgenaufnahmen.....	23
2.3.5	Radiologische Verlaufsaufnahmen	28
2.3.6	Komplikationen.....	29
2.3.7	Ergebnis der Frakturheilung.....	30
2.4	Statistische Methoden	31
3	Ergebnisse	32
3.1	Patientenkollektiv.....	32
3.1.1	Alter zum Operationszeitpunkt	32
3.1.2	Geschlecht	32
3.1.3	Body Mass Index.....	33

3.1.4	ASA Physical Status.....	33
3.1.5	Komorbiditäten.....	34
3.1.6	Medikation	35
3.2	Frakturbezogene Daten	35
3.2.1	Seitenverteilung der Frakturen	35
3.2.2	Unfallhergang.....	36
3.2.3	Zeitraum zwischen Unfallereignis und Primärversorgung.....	37
3.2.4	Frakturversorgung	38
3.2.5	Postoperative Belastung	39
3.2.6	Länge des stationären Aufenthalts	40
3.2.7	Länge des Follow ups.....	41
3.3	Präoperative Röntgenaufnahmen	42
3.3.1	Frakturklassifikationen.....	42
3.3.2	Osteoporosegrad.....	44
3.4	Postoperative Röntgenaufnahmen.....	45
3.4.1	Dislokation der Fragmente	45
3.4.2	CCD-Winkel.....	45
3.4.3	Position der Klinge des PFNA	46
3.4.4	Qualität der Reposition.....	47
3.5	Radiologische Verlaufsaufnahmen	47
3.5.1	Distale Nachsinterung	47
3.5.2	CCD-Winkel.....	50
3.5.3	Dislokation der Fragmente	52
3.6	Komplikationsanalyse	53
3.7	Frakturheilung	57
3.8	Risikofaktoren für verzögerte oder ausbleibende Frakturheilung.....	59
3.8.1	Patientenbezogene Variablen	59
3.8.2	Frakturbezogene Variablen	60

3.8.3	Radiologisch ermittelte Variablen.....	61
3.9	Zusammenhang verschiedener Variablen und der Frakturheilungsdauer	64
3.10	Einzelfallanalysen	65
4	Diskussion.....	76
4.1	Überblick über die Ergebnisse der vorliegenden Studie	76
4.2	Überblick über relevante Vorstudien zur Thematik.....	77
4.3	Diskussion der Methoden.....	79
4.4	Diskussion der Ergebnisse	81
4.4.1	Patientenkollektiv	81
4.4.2	Frakturbezogene Daten	83
4.4.3	Präoperative Röntgenaufnahmen	87
4.4.4	Postoperative Röntgenaufnahmen.....	89
4.4.5	Radiologische Verlaufsaufnahmen	93
4.4.6	Komplikationsanalyse	94
4.4.7	Frakturheilung	97
4.4.8	Risikofaktoren für verzögerte oder ausbleibende Frakturheilung.....	98
4.4.9	Zusammenhang verschiedener Variablen und der Frakturheilungsdauer	104
4.5	Ausblick	105
5	Zusammenfassung.....	107
6	Abbildungsverzeichnis.....	109
7	Tabellenverzeichnis	114
8	Literaturverzeichnis	115
9	Erklärung	
10	Danksagung	

1 Einleitung

Subtrochantäre Femurfrakturen machen nur einen geringen Teil der proximalen Femurfrakturen aus und werden aus diesem Grund in der Literatur häufig zusammen mit pertrochantären Frakturen beschrieben. Dabei unterscheiden sie sich sowohl von weiter proximal lokalisierten Frakturen als auch von Schaftfrakturen in ihrer Anatomie, Biomechanik, Versorgung und ihren Komplikationen (1).

Da subtrochantäre Frakturen aufgrund der exzessiven verformenden Kräfte, die auf diese Region wirken, schwer zu behandeln sind, spielen sie trotz der geringeren Inzidenz eine bedeutende Rolle im chirurgischen Alltag. Auch die hohe Komplikationsrate verdeutlicht die Notwendigkeit, sich mit der Optimierung der Versorgung sowie der Detektion von Risikofaktoren für Komplikationen im Heilungsverlauf und der Reduzierung dieser zu beschäftigen (2,3).

Vorausgegangene Studien erfassen dabei oft nur technische und keine klinischen Risikofaktoren wie Komorbiditäten oder Medikamenteneinnahme (4). Auch pathologische Frakturen werden häufig ausgeschlossen, machen jedoch einen nicht zu vernachlässigenden Teil der subtrochantären Femurfrakturen aus (5).

Ziel dieser Arbeit ist es, anhand der Daten und radiologischen Aufnahmen der von 2007 bis 2017 im Universitätsklinikum Regensburg versorgten Patienten mit subtrochantären Femurfrakturen die Zusammenhänge zwischen verschiedenen Risikofaktoren und dem Auftreten von Komplikationen aufzuzeigen. Zudem soll der in den Röntgenbildern beurteilbare Verlauf der Frakturheilung untersucht werden. Abschließend werden die Ergebnisse mit dem aktuellen Stand der Wissenschaft verglichen, um daraus zukünftige Behandlungsstrategien entwickeln zu können.

1.1 Definition der subtrochantären Region

Die Definition der subtrochantären Region des Femurs und dort lokalisierter Frakturen ist in der Literatur nicht eindeutig.

Die meisten Autoren, darunter auch Seinsheimer et al. (6), deren Klassifikation der subtrochantären Frakturen die gebräuchlichste ist (siehe Kapitel 1.4), legen eine Linie, die sich 5 cm distal des Unterrands des Trochanter minors befindet, als distale Begrenzung der subtrochantären Region fest. Weniger verbreitet, aber beispielsweise von der AO (Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen) (7) angewandt, ist eine 3 cm distal des Unterrands des Trochanter minors lokalisierte Begrenzungslinie (8).

Die proximale Grenze der subtrochantären Region liegt, wie es sich aus ihrer Bezeichnung herleiten lässt, direkt unterhalb (lateinisch „sub“ = unter) der Trochanteren auf Höhe des Unterrands des Trochanter minors. Seinsheimer et al. (6) und Russel et al. (9) zählen auch solche Frakturen zu den subtrochantären Frakturen, deren Frakturlinie sich bis in die Region des Trochanter majors ausdehnt, vorausgesetzt der Hauptteil der Frakturlinie befindet sich in der subtrochantären Region. Somit können auch Frakturen, bei denen der Trochanter minor mitbetroffen ist und als drittes Fragment vorliegt, als subtrochantäre Frakturen definiert werden. Die AO hingegen ordnet diese Frakturen bereits den pertrochantären Frakturen zu (7,10).

In dieser Arbeit gilt die Definition nach Seinsheimer et al. (6): Subtrochantäre Frakturen sind Frakturen, deren Hauptfrakturlinie in der subtrochantären Region liegt. Diese Region erstreckt sich ab dem Unterrand des Trochanter minors 5 cm nach distal. Dies inkludiert auch Frakturen, deren Frakturlinie in die Trochanterregion oder nach weiter distal ausläuft.

1.2 Epidemiologie subtrochantärer Femurfrakturen

Proximale Femurfrakturen sind vor allem bei älteren Menschen sehr häufig auftretende Frakturen. Da der Anteil der über 60-Jährigen in Europa im Rahmen des demografischen Wandels von momentan 24 % bis 2050 auf 34 % steigen wird, ist auch mit einem weiteren Anstieg der Inzidenz proximaler Femurfrakturen zu rechnen (11).

Im Jahr 2016 erhielten 204 von 100.000 Menschen in deutschen Krankenhäusern die Diagnose „Femurfraktur“. Bei 174 dieser 204 Frakturen handelte es sich um proximale Femurfrakturen. Diese wiederum untergliederten sich in 84 Oberschenkelhals-, 76 pertrochantäre und 14 subtrochantäre Frakturen. Die subtrochantären Frakturen machen demnach lediglich 6,9 % aller und 8,1 % der proximalen Femurfrakturen aus (12–15).

Betrachtet man die geschlechterspezifische Verteilung der subtrochantären Frakturen im Jahr 2016, so liegt die jährliche Inzidenz für Frauen bei 19/100.000 und für Männer bei 9/100.000. Dies entspricht einem Verhältnis zwischen Frauen und Männern von etwa 2:1 (12).

Ebenfalls auffällig ist die altersspezifische Verteilung. Die Inzidenz subtrochantärer Femurfrakturen bei über 65-Jährigen lag 2016 bei 62/100.000 und ist damit beinahe 4,5-mal höher als die durchschnittliche Inzidenz. Somit zählen subtrochantäre Frakturen zu den typischen Frakturen des alten Menschen (12).

Jüngere und ältere Patienten unterscheiden sich auch hinsichtlich des Unfallmechanismus. Vor allem bei älteren Patienten treten subtrochantäre Frakturen meist im Rahmen von häuslichen

Stürzen auf. Jüngere Patienten hingegen ziehen sich solche Frakturen eher infolge von Hochenergetraumata wie beispielsweise Verkehrsunfällen, Sportunfällen oder Stürzen aus großen Höhen zu (5,16).

Proximale Oberschenkelfrakturen ziehen hohe Versorgungskosten nach sich. Neben den initialen Ausgaben für die stets erforderliche Krankenhausbehandlung sowie die häufig empfohlene stationäre Anschlussrehabilitation müssen auch die im Verlauf entstehenden Kosten für ambulante Rehabilitation, Krankentransporte, eventuell auftretende Komplikationen und daraus resultierende Revisionen sowie für häusliche Pflege oder Pflegeeinrichtungen einkalkuliert werden. Bereits für das Jahr 2005 wurden für hüftgelenksnahe Femurfrakturen in Deutschland jährliche Ausgaben von 2,77 Milliarden Euro berechnet. Nicht eingerechnet werden dabei die indirekten Krankheitskosten, die beispielsweise durch Arbeitsunfähigkeit entstehen (17).

Neben den finanziellen Konsequenzen für die Gesellschaft haben solche Frakturereignisse auch negative Folgen für die Betroffenen selbst. So resultieren subtrochantäre Frakturen vor allem bei älteren Patienten häufig in einem Verlust der Unabhängigkeit, verminderter Gehfähigkeit, starker Verschlechterung der muskuloskelettalen Funktion und einer insgesamt reduzierten Lebensqualität (18–20).

1.3 Anatomie und Biomechanik der subtrochantären Region

Im Folgenden soll ein kurzer Überblick über anatomische und biomechanische Besonderheiten der subtrochantären Region gegeben werden.

Das proximale Ende des Femurs besteht aus dem Femurkopf (Caput femoris), dem sich anschließenden Schenkelhals (Collum femoris) und dem proximalen Abschnitt des Femurschafts. Am Übergang vom Schenkelhals in den Femurschaft befinden sich zwei knöcherne Vorsprünge, die sogenannten Trochanteren. Der ventrolateral liegende Trochanter major und der dorsomedial befindliche Trochanter minor dienen unter anderem als Apophysen. Ventral werden die beiden Trochanteren durch die Linea intertrochanterica verbunden, dorsal durch die Knochenleiste Crista trochanterica.

Die Achsen des Schenkelhalses und des Femurschafts bilden den sogenannten Centrum-Collum-Diaphysen-Winkel (CCD-Winkel). Dieser beträgt bei gesunden erwachsenen Menschen zwischen 126° und 130° und wird im Alter tendenziell geringer.

Der am weitesten proximal gelegene Abschnitt des Femurs besteht vorwiegend aus spongiösem Knochen. Dieser Knochen besteht aus Zug- und Drucktrabekeln, die gemäß dem Verlauf der

Hauptspannungstrajektorien angeordnet sind. Abhängig vom CCD-Winkel und der damit einhergehenden Veränderung der Zug- und Druckbelastung kann die Trabekelarchitektur variieren. Am Übergang in die subtrochantäre Region wird der spongiöse Knochen durch kortikalen Knochen ersetzt, der sich durch eine limitierte Vaskularisierung auszeichnet. An dieser Stelle ist die Kortikalis noch sehr schmal und der Markraum dementsprechend weit, was eine verminderte Stabilität zur Konsequenz hat. Weiter distal an der Diaphyse nimmt die Dicke der Kortikalis zu und die Weite des Markraums ab.

Da die subtrochantäre Region sowohl extraartikulär als auch extrakapsulär lokalisiert ist, gibt es in diesem Areal keinen Bandapparat.

Die arterielle Blutversorgung wird durch die Arteria circumflexa femoris lateralis und die Arteria circumflexa femoris medialis sichergestellt, welche beide von der Arteria femoralis abzweigen.

Sowohl die versorgenden Arterien als auch die Hauptnerven der unteren Extremität, der Femoralisnerv und der Ischiadicusnerv, sind nicht in unmittelbarer Nähe der subtrochantären Region lokalisiert und werden deswegen nur in seltenen Fällen mitverletzt.

Die subtrochantäre Region ist massiven Belastungen ausgesetzt (21). Bei einem Körpergewicht von 90 Kilogramm beträgt der Kompressionsstress auf den medialen subtrochantären Anteil des Femurs im Stand etwa 85 Kilogramm pro Quadratcentimeter (kg/cm^2). Der laterale Anteil ist einem Zugstress von etwa 55 bis 65 kg/cm^2 ausgesetzt. Im Gehen erhöht sich diese Belastung um den Faktor 1,6, beim Laufen um den Faktor 3,2. Die in dieser Region ansetzenden Muskeln üben zusätzlich einen Zugstress von 5,4 kg/cm^2 auf den Knochen aus (22).

Zu der biomechanisch relevanten Muskulatur gehört unter anderem der Musculus iliopsoas, welcher am Trochanter minor ansetzt und für Flexion und Außenrotation im Hüftgelenk zuständig ist. Die Musculi glutei medius und minimus inserieren am Trochanter major und führen zu einer Abduktion des Femurs. Weiter distal, entlang des mediodorsalen Femurs, setzt die Adduktorengruppe an.

Ebendiese Muskeln sind auch für die typische Fragmentdislokation bei subtrochantären Frakturen verantwortlich. Das proximale Fragment stellt sich abduziert und bei intaktem Trochanter minor flektiert und außenrotiert dar. Das distale Fragment liegt durch den Zug der Adduktoren in Varusstellung vor. Die Kontraktion der ischiokruralen Muskulatur sorgt in manchen Fällen für eine zusätzliche Verkürzung des Femurs (siehe Abbildung 1) (2,3,23).



Abbildung 1: Typische Fragmentstellung bei subtrochantärer Femurfraktur: Proximales Fragment in Abduktion, Flexion und Außenrotation, distales Fragment adduziert und verkürzt.

Aus dieser typischen Deformität der Fragmente resultiert die Klinik der Betroffenen. Sie stellen sich mit einer verkürzten und außenrotierten unteren Extremität vor (24).

1.4 Klassifikation subtrochantärer Femurfrakturen

Die Klassifikation einer Fraktur dient der vergleichbaren Dokumentation ihrer Komplexität und hat Einfluss auf therapeutische Empfehlungen sowie prognostische Aspekte (6). Es gibt zahlreiche Klassifikationen für subtrochantäre Femurfrakturen, die sich hinsichtlich der Grundlage der Einteilung unterscheiden.

Die bekannteste und am häufigsten angewandte ist die Klassifikation nach Seinsheimer (6) aus dem Jahr 1978 (vgl. Abbildung 2). Sie differenziert die folgenden 8 Frakturtypen anhand der Anzahl der Hauptfragmente, deren Breite mindestens 1 cm betragen muss, und der Lage und Form der Frakturlinie:

- Typ I: Fraktur nicht mehr als 2 mm disloziert
- Typ IIa: Zweifragmentfraktur mit querverlaufender Frakturlinie
- Typ IIb: Zweifragmentfraktur mit spiralförmiger Frakturlinie, Trochanter minor am proximalen Fragment

- Typ IIc: Zweifragmentfraktur mit spiralförmiger Frakturlinie, Trochanter minor am distalen Fragment
- Typ IIIa: Dreifragmentfraktur, Trochanter minor als 3. Fragment
- Typ IIIb: Dreifragmentfraktur, Keilfragment als 3. Fragment
- Typ IV: Trümmerbruch mit 4 oder mehr Fragmenten
- Typ V: Subtrochantäre-Intertrochantäre Fraktur, jede subtrochantäre Fraktur mit Extension bis in den Trochanter major

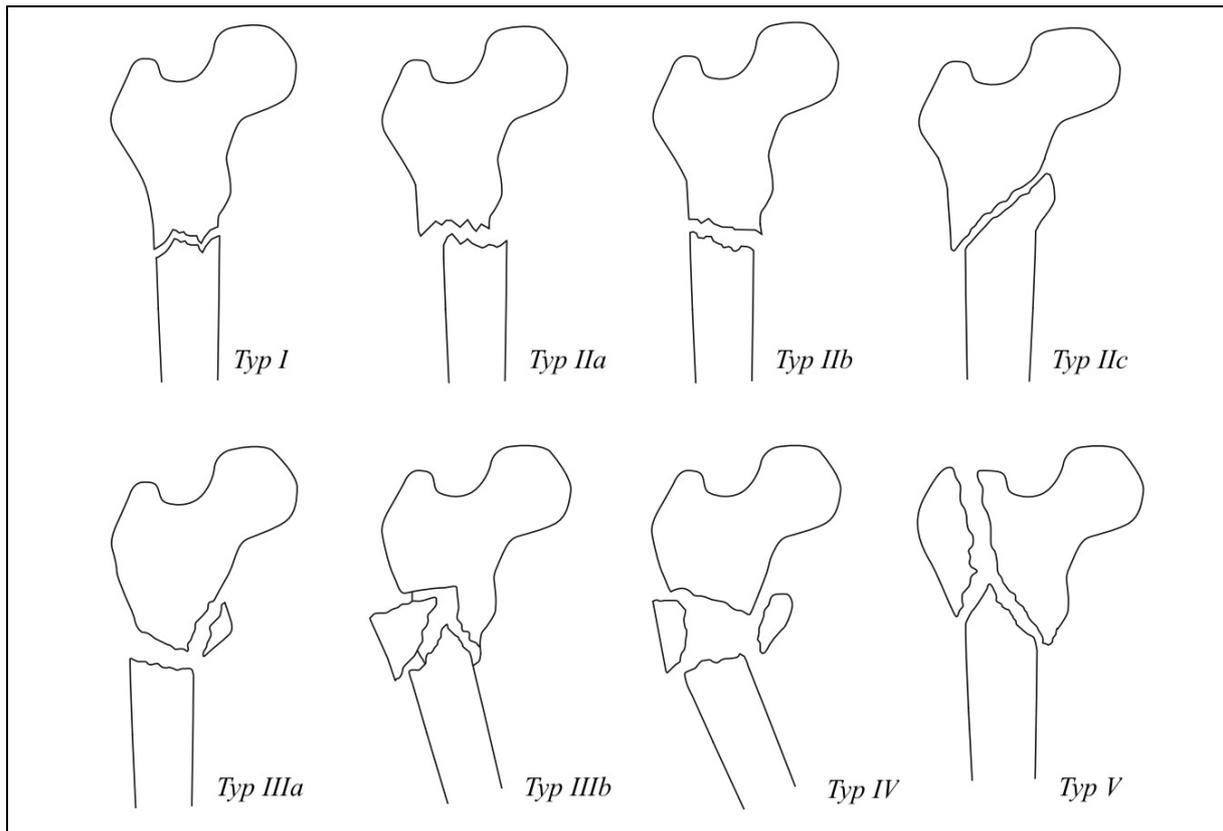
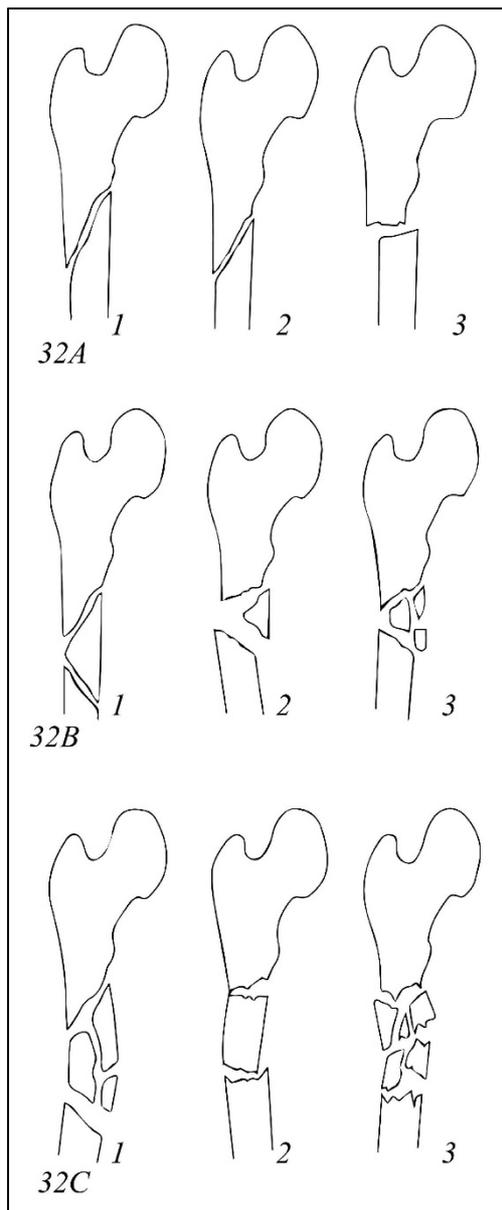


Abbildung 2: Seinsheimer Klassifikation (verändert nach (25)).

Ebenfalls weit verbreitet ist die im Jahr 1990 eingeführte Frakturklassifikation der AO nach Maurice E. Müller (7), mit deren Hilfe sich Frakturen der langen Röhrenknochen einteilen lassen. Subtrochantäre Frakturen werden in dieser Klassifikation aufgrund ihrer Lokalisation am diaphysären Segment des Femurs den Schaftfrakturen zugeordnet und mit den Hauptziffern 3 (Femur) und 2 (Diaphyse) codiert. Demnach ergibt sich die „32“ als Knochen- und Segmentklassifikation. Mithilfe einer die Codierung ergänzenden Kombination aus einem Buchstaben (A-C) und einer Ziffer (1-3) wird der morphologische Charakter der Fraktur beschrieben. Die sich daraus ergebenden 9 Frakturgruppen sind nach steigender Komplexität geordnet (vgl. Abbildung 3):



- A1: Einfache Fraktur, spiralförmig verlaufende Frakturlinie
- A2: Einfache Fraktur, schrägverlaufende Frakturlinie ($\geq 30^\circ$ zu einer auf die Längsachse des Knochens senkrecht stehenden Linie)
- A3: Einfache Fraktur, querverlaufende Frakturlinie ($< 30^\circ$)
- B1: Keilfraktur, spiralförmiger Keil
- B2: Keilfraktur, Biegekeil
- B3: Keilfraktur, fragmentierter Biegekeil
- C1: Komplexe Fraktur, Mehrfragment-Torsionsfraktur
- C2: Komplexe Fraktur, Etagenfraktur mit 1-2 Intermediärfragmenten
- C3: Komplexe Fraktur, Irreguläre Fraktur mit 2-3 Intermediärfragmenten oder Trümmerzone

Abbildung 3: AO-Klassifikation subtrochantärer Femurfrakturen (verändert nach (25)).

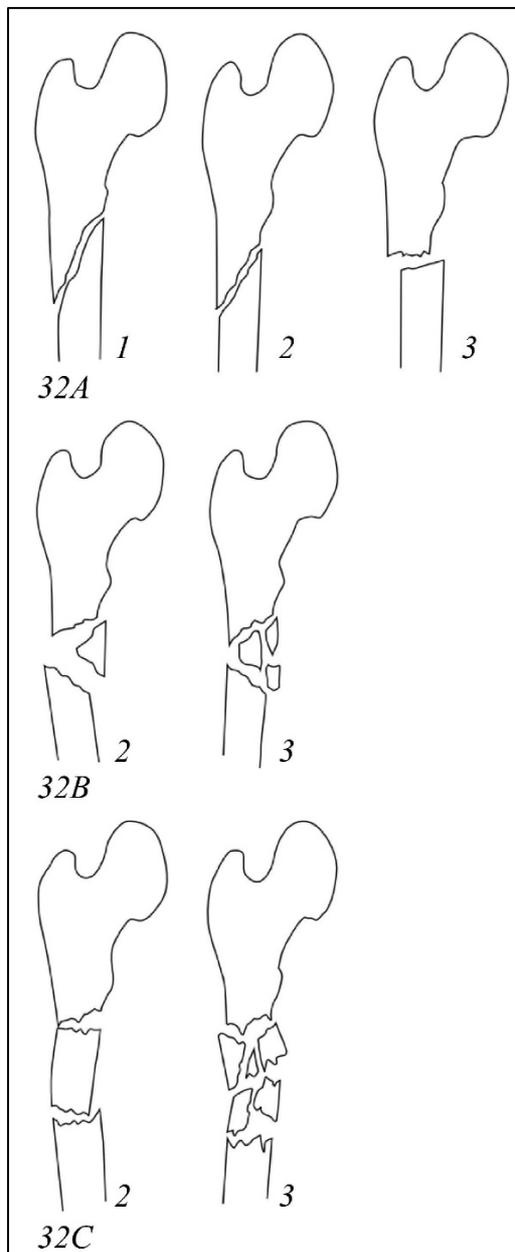
Um die subtrochantären von anderen diaphysären Frakturen zu unterscheiden, wird die AO-Codierung (32-(A-C).(1-3)) noch durch die Kennzeichnung „1“ ergänzt (7).

Zu Beginn des Jahres 2018 veröffentlichte die AO Foundation gemeinsam mit der OTA (Orthopedic Trauma Association) mit dem „Fracture and Dislocation Classification Compendium – 2018“ eine überarbeitete Version des Klassifikationssystems (10). Auch die Richtlinien zur Einteilung subtrochantärer Frakturen wurden in dieser neuen Version angepasst.

Subtrochantäre Frakturen mit weit proximal liegendem Frakturspalt, trochantären Frakturausläufern und ausgerissenem Trochanter minor finden in dieser Klassifikation keine Berücksichtigung und müssen deshalb den Frakturen der trochantären Region und somit der Knochen- und

Segmentkennzeichnung „31A“ zugeordnet werden. Je nach Verlauf und Lokalisation der Frakturlinie sowie nach Anzahl der Fragmente ergeben sich die Codierungen 31A1.3, 31A2.2, 31A2.3, 31A3.1, 31A3.2 und 31A3.3.

Bei Nichtbeteiligung des Trochanter minors und weiter distal verlaufendem Frakturspalt werden Frakturen analog zur ursprünglichen AO Klassifikation als Frakturen des diaphysären Segments kategorisiert und erhalten die Knochen- und Segmentbezeichnung „32“. Ebenfalls kongruent zur ursprünglichen AO Klassifikation ist die anschließend anhand der Frakturmorphologie erfolgende Einteilung in die Gruppen A (einfache Frakturen), B (Keilfrakturen) und C (Multifragmentäre Frakturen). Die weitere Untergliederung weicht von der alten Klassifikation ab und stellt sich wie folgt dar (siehe Abbildung 4):



- A1: spiralförmig verlaufende Frakturlinie
- A2: Einfache Fraktur, schrägverlaufende Frakturlinie ($\geq 30^\circ$ zu einer auf die Längsachse des Knochens senkrecht stehenden Linie)
- A3: Einfache Fraktur, querverlaufende Frakturlinie ($< 30^\circ$)
- B2: Keilfraktur, Keil intakt
- B3: Keilfraktur, Keil fragmentiert
- C2: Multifragmentäre Fraktur, intaktes Intermediärsegment
- C3: Multifragmentäre Fraktur, frakturiertes Segment

Abbildung 4: Frakturklassen 32A-C der 2018 überarbeiteten AO-Klassifikation (verändert nach (25)).

Darüber hinaus entfällt die am Ende der Codierung stehende Kennzeichnung „1“, welche die Lage der Fraktur in der subtrochantären Region beschreibt. Stattdessen werden Frakturen der Gruppe A und B mit dem Zusatz „a“, Frakturen der Gruppe C mit dem Zusatz „i“ versehen, welcher auf die Lokalisation am proximalen Drittel des Femurschafts hinweist (10).

Subtrochantäre Frakturen werden demnach in der überarbeiteten Version der AO Klassifikation nicht als eigene Frakturklasse gewertet, sondern entweder den proximalen, trochantären Femurfrakturen oder den Femurschaftfrakturen zugeordnet und dementsprechend codiert.

Zuletzt ist die Klassifikation nach Russel-Taylor zu nennen, welche im Jahr 1992 veröffentlicht wurde. Ziel der Autoren war die Entwicklung einer Einteilung der Frakturen mit therapeutischer Konsequenz. Dehnt sich der Frakturspalt bis in die Fossa piriformis aus, so wird eine Fraktur als Gruppe 2 kategorisiert. Ist dies nicht der Fall, befindet sich der Frakturspalt also distal der Trochanteren, wird die Fraktur der Gruppe 1 zugeordnet (vgl. Abbildung 5). Darüber hinaus werden die Frakturen je nach Beteiligung des Trochanter minors in die Gruppe A (Trochanter minor intakt) oder Gruppe B (Trochanter minor involviert) eingeteilt. Somit ergeben sich die 4 Frakturklassen 1A, 1B, 2A und 2B (9).

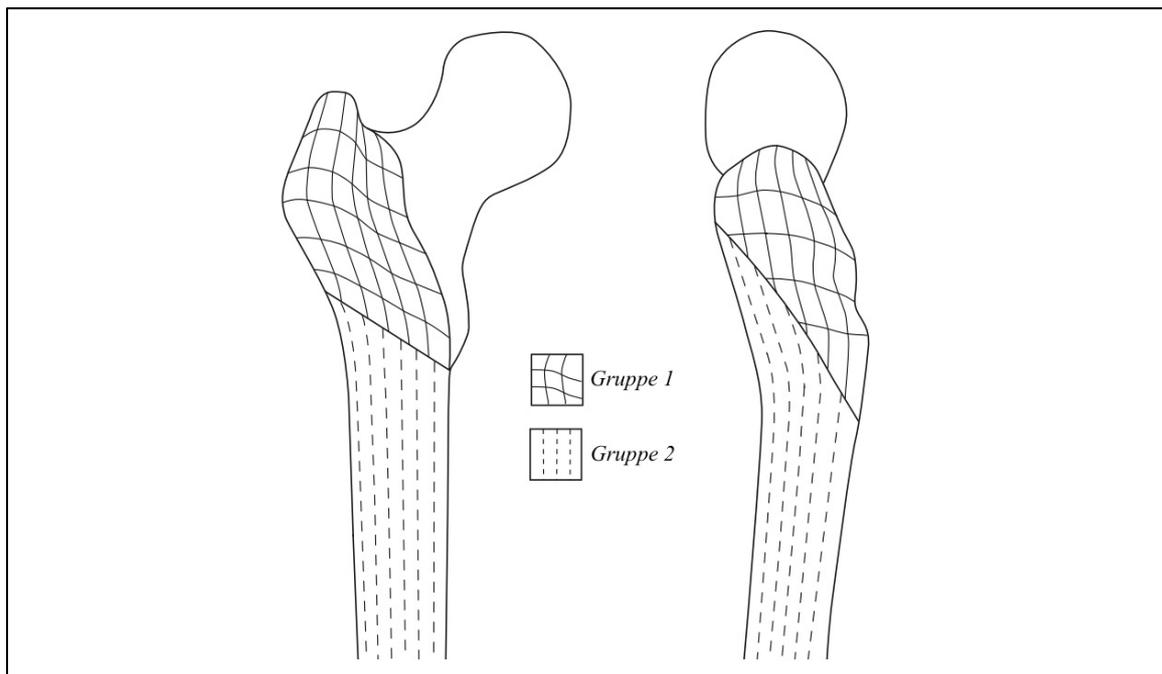


Abbildung 5: Russel-Taylor-Klassifikation (verändert nach (25)).

1.5 Versorgungskonzept für subtrochantäre Femurfrakturen

Subtrochantäre Frakturen sollten operativ versorgt werden, insofern der Patient keine absoluten Kontraindikationen aufweist. Ein konservatives Vorgehen in Form einer Traktionsbehandlung

erhöht sowohl das Risiko für frakturspezifische Komplikationen wie beispielsweise Varisierung der Hüfte, Beinlängenverkürzung oder Rotationsdeformität, als auch für allgemeine, mit Bettlägerigkeit assoziierte Komplikationen wie Druckulzera, Pneumonien und thrombembolische Ereignisse (26).

Dabei sollte die operative Versorgung zeitnah nach dem Unfallereignis durchgeführt werden, um den Blutverlust sowie im Zusammenhang mit der Fraktur auftretende Schmerzen möglichst gering zu halten (18). Bei instabilen polytraumatisierten Patienten sollte die Behandlung in Übereinstimmung mit der S3-Leitlinie Polytrauma/Schwerverletztenbehandlung (27) in einem multidisziplinären Team gemäß des „Damage Control Concepts“ stattfinden, um zunächst die Vitalfunktionen zu sichern und lebensbedrohliche Verletzungen zu versorgen. Anschließend kann die definitive Versorgung der Fraktur erfolgen.

Da kein Klassifikationssystem bewiesenen Nutzen für die Wahl der Behandlung hat, sind die Empfehlungen zur Frakturversorgung für alle Arten subtrochantärer Frakturen in gleichem Maße gültig (8).

Das Implantat muss allen auf diese Region wirkenden Kräften widerstehen, bis die Fraktur verheilt ist (21). Je steifer das gesamte Versorgungskonstrukt ist, desto geringer bewegen sich die Fragmente gegeneinander, was eine wichtige Voraussetzung für die Frakturheilung ist (28).

Im Laufe der Zeit fanden eine Vielzahl von Implantaten Anwendung in der Versorgung subtrochantärer Frakturen. Diese lassen sich in extra- und intramedulläre Implantate unterteilen.

Da extramedulläre Implantate mit einem höheren Risiko für mit der Frakturversorgung assoziierte Komplikationen einhergehen, werden ebendiese nur noch selten, beispielsweise beim Vorliegen eines sehr kurzen proximalen Fragments oder bei Revisionen infolge von Implantatversagen, verspäteter oder ausbleibender Frakturheilung etc., eingesetzt (3,21).

Aufgrund der zahlreichen Vorteile gegenüber anderen Behandlungskonzepten ist die intramedulläre Fixierung die präferierte Art der Versorgung subtrochantärer Frakturen. Sowohl die perioperative als auch die postoperative Komplikationsrate ist deutlich geringer als die der extramedullären Implantate. Mehrere Autoren belegen eine kürzere Operationszeit, weniger Weichteilverletzung und einen geringeren Blutverlust (2,3). Des Weiteren bieten intramedulläre Implantate vor allem bei destrukturierter medialer Säule des Knochens biomechanische Vorteile, da durch ihre zentrale Position im Knochen weniger Spannung auf dem Implantat lastet, die Kräfte sich effizienter auf das ganze Femur verteilen und die Schenkelhalsklinge einen kürzeren Hebelarm hat (2,29). Die daraus resultierende verbesserte Stabilität und Steifigkeit ermöglichen eine sofortige postoperative Belastung sowie eine bessere Mobilität und

höhere Belastungstoleranz im Verlauf der Frakturheilung (2,3,29–31). Langfristig konnten eine um 83 % niedrigere Revisionsrate, 64 % weniger Implantatversagen und 77 % weniger Fälle mit ausbleibender Heilung nachgewiesen werden (32).

Im Jahr 2004 entwickelte die AO/ASIF (Association of the Study of Internal Fixation) den Proximalen Femurnagel Antirotation (PFNA), welcher eine verbesserte Rotations- und Winkelstabilität aufweist (33). Durch einen mediolateralen Winkel von 6° wird ein Eintrittspunkt an der Spitze des Trochanter majors ermöglicht, die flexible Implantatspitze verhindert Spannungen im distalen Bereich und die Klinge erhöht durch Verdichtung der Spongiosa vor allem in osteoporösem Knochen die Stabilität. Der Nagel kann distal sowohl statisch als auch dynamisch verriegelt werden und ist derzeit das Implantat der Wahl zur Versorgung subtrochantärer Femurfrakturen (34).

Es wird die Implantierung eines möglichst langen Nagels empfohlen, um sekundäre Schaftfrakturen am distalen Nagelende durch zu hohe Belastung zu vermeiden (18,35).

Bevor das endgültige Implantat eingesetzt wird, muss die Fraktur reponiert werden. Allein durch das Einbringen des Materials kann keine ausreichende Reposition erzielt werden (18).

Zunächst wird eine geschlossene Reposition durch Traktion und Rotation der Extremität angestrebt, um Weichteilschäden zu vermeiden und die lokale Vaskularisation zu erhalten. Aufgrund der massiven verformenden Kräfte der umliegenden Muskulatur kann durch die geschlossene Reposition jedoch häufig kein zufriedenstellendes Ergebnis erreicht werden. In diesen Fällen ist eine offene Reposition indiziert (2,18).

Um den Weichteilschaden so gering wie möglich zu halten, werden Methoden der „limitierten“ offenen Reposition unter Zuhilfenahme von Repositionszangen, Knochenhalteclipsen, Schanz Pins oder Knochenhaken angewandt (36–38).

Zusätzlich ist das Einbringen von Cerclagedrähten möglich, um eine bessere Reposition zu erzielen und diese auch im Verlauf der Frakturheilung beizubehalten (38). Im Zusammenhang mit einer Cerclageversorgung konnte eine kürzere Frakturheilungsdauer sowie eine geringere Wahrscheinlichkeit für Osteosyntheseversagen belegt werden (16,38). Das Einbringen von Drahtcerclagen ist gleichwohl invasiver und zieht einen größeren Weichteilschaden, eine längere Operationszeit und den Verbrauch von mehr Hardware nach sich (16,36). Hinsichtlich der Belastungstoleranz konnte kein Unterschied nachgewiesen werden (16).

Um den Erfolg der Reposition zu ermitteln, lässt sich zur Kontrolle der Wiederherstellung der Länge der Extremität intraoperativ die Angleichung der Fragmente beurteilen oder die Länge

der Extremität mit der kontralateralen Seite vergleichen. Eine korrekte Einstellung der Rotation lässt sich durch die Palpation der Ausrichtung des Trochanter majors im Verhältnis zu den femoralen Epikondylen überprüfen (18).

1.6 Komplikationen bei subtrochantären Femurfrakturen

Patienten mit subtrochantären Femurfrakturen weisen eine erhöhte postoperative Komplikationsrate auf. Abhängig von der Patientenselektion und dem Versorgungskonzept liegen die Komplikationsraten in vorausgegangenen Studien bei bis zu 35,3 %, wobei sämtliche Komplikationsarten inkludiert werden (3,38–41).

Zunächst sind allgemeine Komplikationen zu nennen, die mit einem stationären Aufenthalt und insbesondere Bettlägerigkeit assoziiert sind. Zu diesen zählen kardiale, pulmologische, thromboembolische und cerebrovasculäre Komplikationen.

Weiterhin gibt es Komplikationen, die generell in Zusammenhang mit operativen Eingriffen stehen, wie Hämatome, Serome, Infektionen und andere Wundheilungsstörungen (39).

Zuletzt treten häufig Komplikationen auf, die sich direkt auf die subtrochantäre Fraktur bzw. das zu ihrer Versorgung eingebrachte Material beziehen. Diesen werden Pseudarthrosenbildung, Fragmentdislokation, Implantatversagen oder Refrakturierung zugeordnet (39).

Die Mortalität innerhalb der ersten 3 Monate nach Versorgung einer subtrochantären Fraktur beläuft sich bei Papagiannopoulos et al. (42) auf 12,9 %. Die 1-Jahres-Mortalität bei Versorgung mit extramedullären Implantaten beträgt zwischen 0,0 % und 26,7 % (3,43), die bei Versorgung mit intramedullären Implantaten bei 5,6 % bis 12,9 % (3,38,44).

Das Auftreten von Komplikationen, insbesondere von Pseudarthrosen und Implantatversagen, macht oftmals einen Revisionseingriff notwendig. Die Reoperationsrate beträgt bis zu 15,2 % für mit intramedullären und bis zu 35,3 % für mit extramedullären Implantaten primärversorgte subtrochantäre Frakturen (5,19,31,45–47).

Aufgrund von Fragmentdislokation, Knochenverlust, Knochentrümmern und beschädigter Implantate stellt sich die erneute Versorgung solcher Frakturen als besonders herausfordernd dar (48). Es muss abgewogen werden, ob weiterhin gelenkerhaltend operiert oder ein Gelenkersatz eingebracht werden soll. Die Entscheidung ist abhängig vom funktionellem Level und der Lebenserwartung des Patienten; bei jungen Patienten sollte jedoch nach Möglichkeit immer der Erhalt des nativen Knochens angestrebt werden (1).

1.7 Vergleich von subtrochantären und pertrochantären Femurfrakturen

Per- und subtrochantäre Femurfrakturen werden häufig gemeinsam in Studien betrachtet, obwohl sich ihre Anatomie und Biomechanik und das daraus resultierende Komplikationsprofil erheblich voneinander unterscheiden (39).

Pertrochantäre Frakturen sind extrakapsuläre Frakturen, deren Frakturlinie durch den Trochanter major und den Trochanter minor läuft. Sie werden nach ihrer Stabilität in stabile und instabile Frakturen eingeteilt (49). Auch subtrochantäre Frakturen zählen zu den extrakapsulären Frakturen, jedoch verläuft ihre Frakturlinie distal der Trochanteren. Somit liegt ein kurzes, aber stabiles proximales Fragment, bestehend aus Femurkopf, Femurhals und meist auch den Trochanteren, vor (18,50).

Während sich die Knochenarchitektur der subtrochantären Region durch beginnenden kortikalen Knochen mit weitem Markraum und schlechter Vaskularisierung auszeichnet, besteht die pertrochantäre Region aus gut vaskularisiertem, spongiösem Knochen, weshalb stabile Frakturen in der Regel gut verheilen. Die Entstehung von Pseudarthrosen und Hüftkopfnekrosen ist selten (51).

Handelt es sich jedoch um osteoporösen Knochen, so kann sich das zur Frakturversorgung in den Schenkelhals eingebrachte Implantat schlecht verankern. Dies hat häufig ein Ausschneiden der Klinge aus dem Femurkopf nach kranial zur Folge, da das Versorgungskonstrukt der Belastung nicht mehr standhalten kann und aufgrund der medial der Trochanteren verlaufenden Tragachse des Körpers in Varusstellung abkippt (52).

Auch instabile Frakturen, die sich durch einen zertrümmerten posterolateralen oder posteromedialen Kortex auszeichnen, ziehen häufig einen komplizierten Heilungsverlauf nach sich, da die Fragmente aufgrund der Trümmerzone nicht ausreichend komprimiert werden und keine kortikale Kontinuität hergestellt werden kann. Durch die Instabilität und die Belastung durch das Körpergewicht kommt es auch in diesen Fällen zu einem Varusabkippen und einem konsekutiven Ausschneiden der Klinge aus dem Femurkopf (49).

Insgesamt werden Raten von 2,3 % bis 13,0 % für das Ausschneiden der Klinge berichtet (50,53–56).

Um dieser Komplikation vorzubeugen, ist die Position der Schraube oder Klinge im Femurkopf von großer Bedeutung. Eine Tip-Apex-Distanz von unter 25 mm sowie eine zentrale Lage im Femurkopf werden empfohlen, wobei sich viele Autoren in der genauen Definition der optimalen Position uneinig sind (50,52,53,55,57).

Pertrochantäre und subtrochantäre Femurfrakturen unterscheiden sich demnach in ihrer Biomechanik, den auftretenden Komplikationen und somit auch den die Frakturheilung beeinflussenden Risikofaktoren und sollten in wissenschaftlichen Studien jeweils isoliert untersucht werden.

1.8 Fragestellung und Zielsetzung

Ziel dieser Studie ist die Untersuchung des Einflusses verschiedener Risikofaktoren auf den Erfolg sowie die Dauer der Frakturheilung einer subtrochantären Femurfraktur.

Folgende Hypothesen sollen dabei getestet werden:

- Hypothese 1: Ein zu kurzer PFNA ist ein Risikofaktor für verzögerte bzw. ausbleibende Frakturheilung.
- Hypothese 2: Eine qualitativ schlechte Reposition ist ein Risikofaktor für verzögerte bzw. ausbleibende Frakturheilung.
- Hypothese 3: Eine postoperative varische Abweichung des CCD-Winkels ist ein Risikofaktor für verzögerte bzw. ausbleibende Frakturheilung.
- Hypothese 4: Die sekundäre Dislokation stellt sich nicht wie bei pertrochantären Frakturen als Verkürzung des Schenkelhalses, sondern als Beinverkürzung auf Schaftniveau dar.

Darüber hinaus soll das Ausmaß und die Lokalisation der sekundären Fragmentdislokation im postoperativen Verlauf sowie der Einfluss weiterer Variablen wie zum Beispiel des BMI, ASA Status, der Komorbiditäten, der Medikation und der postoperativen Belastung auf die Frakturheilung untersucht werden.

2 Material und Methoden

2.1 Studiendesign

Bei der durchgeführten Studie handelt es sich um eine retrospektive, monozentrische, nicht interventionelle klinische Studie.

2.2 Patientenkollektiv

Am Universitätsklinikum Regensburg wurden im Zeitraum vom 01.01.2007 bis 31.12.2017 146 Patienten aufgrund einer subtrochantären Femurfraktur operativ versorgt. Von diesen 146 Patienten erlitten 3 Patienten jeweils 2 subtrochantäre Femurfrakturen. 130 der 146 Patienten wurden im Universitätsklinikum operativ primärversorgt, die restlichen 16 wurden in einer anderen Klinik primärversorgt und stellten sich aufgrund verschiedener Komplikationen zur Revision im Universitätsklinikum Regensburg vor.

In die Studie eingeschlossen wurden alle Patienten mit einer traumatischen oder pathologischen subtrochantären Femurfraktur, welche im oben genannten Zeitraum gelenkerhaltend operativ primärversorgt oder revidiert wurden. Patienten mit einer periprothetischen subtrochantären Femurfraktur oder solche, die primär nicht gelenkerhaltend, beispielsweise mit einer Hüfttotalendoprothese, versorgt wurden, wurden von der Studie ausgeschlossen. Auch das Fehlen postoperativer radiologischer Nachkontrollen, welche die Frakturheilung über einen Zeitraum von mindestens drei Monaten dokumentieren, führte zum Ausschluss aus der Studie.

Von den 130 Patienten, die am Universitätsklinikum primärversorgt wurden, hatten 2 periprothetische subtrochantäre Frakturen. Weitere 2 Patienten wurden nicht gelenkerhaltend versorgt. Von 46 Patienten lagen keine ausreichenden radiologischen Verlaufskontrollen vor; von einem fehlte die radiologische Dokumentation gänzlich. 9 Patienten verstarben innerhalb von 3 Monaten postoperativ, davon 7 während des stationären Aufenthalts. Von diesen 7 Patienten verstarben 3 an den Folgen ihres Polytraumas, einer an einem Kreislaufstillstand, einer an respiratorischer Insuffizienz, einer an Multiorganversagen und einer an einer Sepsis, die jedoch nicht im Zusammenhang mit der Frakturversorgung stand. Diese Patienten wurden somit ausgeschlossen.

Von den 16 Patienten, die am Universitätsklinikum revidiert wurden, wurden 9 aufgrund fehlender radiologischer Aufnahmen von der Primärversorgung und 2 aufgrund unzureichender radiologischer Nachkontrollen ausgeschlossen.

Insgesamt wurden 75 Patienten mit 76 Frakturen in die Studie eingeschlossen, davon 70 Patienten mit 71 Frakturen, die am Universitätsklinikum primärversorgt wurden, und 5 Patienten mit 5 Frakturen, die dort revidiert wurden (vgl. Abbildung 6).

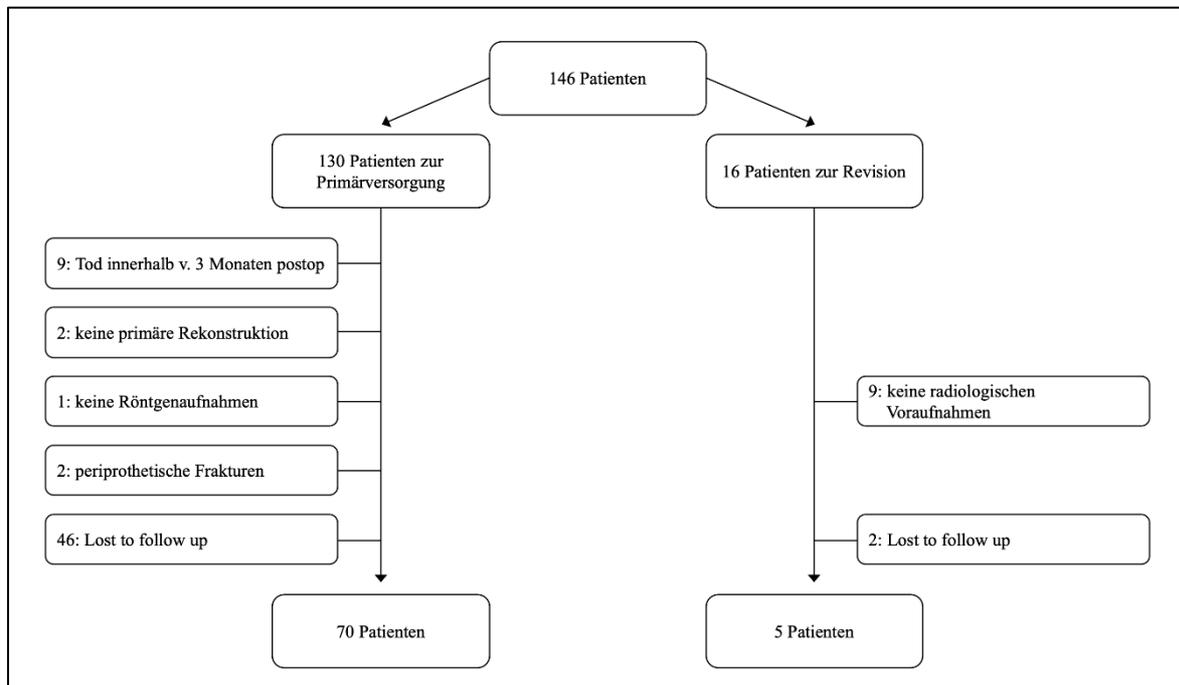


Abbildung 6: Flowchart zur Studienpopulation.

2.3 Art der Erhebung und Definition von Zielgrößen

Das gesamte Patientenkollektiv wurde anhand der in der SAP Patientenmanagement-Software (SAP SE, Walldorf, Deutschland) vorliegenden Akten sowie der im Archiv des Universitätsklinikums Regensburg zur Verfügung stehenden konventionellen Röntgenbilder ausgewertet.

Die Röntgenaufnahmen umfassten den präoperativen Zustand sowie den postoperativen Verlauf. Dafür wurden sowohl direkt postoperativ aufgenommene Röntgenbilder als auch solche, die im Abstand von 6 Wochen, 3 Monaten und 6 Monaten nach der Operation aufgenommen worden sind, herangezogen. Im Fall einer verzögerten oder ausbleibenden Frakturheilung wurden auch Röntgenaufnahmen, die zu einem späteren Zeitpunkt angefertigt wurden, berücksichtigt.

Außerdem wurden von den Patienten, die erst zur Revision ins Universitätsklinikum Regensburg kamen, die im Krankenhaus der Primärversorgung aufgenommenen Röntgenbilder angefordert. Auch von Patienten, die am Universitätsklinikum primärversorgt wurden, wurden in Einzelfällen auswärtig angefertigte Röntgenaufnahmen angefordert, um den genauen zeitlichen Verlauf der Frakturheilung zu erfassen.

Die ausgewerteten Röntgenbilder umfassten Aufnahmen der verletzten Hüfte in zwei Ebenen (anterior-posterior und Hüfte nach Lauenstein), Beckenübersichtsaufnahmen, Aufnahmen des distalen Femurs und in einigen Fällen auch computertomographische Aufnahmen.

Zur Ausmessung der postoperativ und im Verlauf der Frakturheilung aufgenommenen Röntgenbilder wurde die Prothesenplanungssoftware mediCAD Version 5 (mediCAD Hectec GmbH, Altdorf, Deutschland) herangezogen. Die Röntgenbilder wurden anhand der bekannten Maße des implantierten Materials skaliert. Hierfür wurden nur Maße verwendet, welche auch bei Rotation des Femurs in der Röntgenaufnahme nicht verzerrt abgebildet werden, wie beispielsweise der Durchmesser des PFNA.

2.3.1 Patientenbezogene Daten

Aus den Patientenakten wurden das Alter zum Operationszeitpunkt, Geschlecht, Größe und Gewicht der Patienten ermittelt. Aus den letzten beiden Angaben wurde mit der Formel

$$\frac{\text{Körpergewicht in kg}}{(\text{Körpergröße in m})^2}$$

der jeweilige Body Mass Index (BMI) berechnet.

Anhand der Narkoseprotokolle konnten Informationen über den ASA (American Society of Anesthesiologists) physical status erhoben werden, welcher Auskunft über den körperlichen Zustand eines Patienten gibt (58). Darüber hinaus wurden Daten über Komorbiditäten erhoben, die einen potenziellen Einfluss auf die Frakturheilung haben. Dazu gehören Neoplasien, Diabetes mellitus, pAVK (periphere arterielle Verschlusskrankheit), Osteoporose, Nikotin- und Alkoholabusus. Auch wurde die Medikation der Patienten auf die Frakturheilung oder die Knochenqualität beeinflussende Therapien untersucht. Zu solchen zählen Gerinnungshemmer, Medikamente zur Osteoporosebehandlung und eine aktuelle oder bereits abgeschlossene Radio-, Chemo- oder Steroidtherapie. Ferner wurde erfasst, welche Maßnahme zur postoperativen Thrombembolie-Prophylaxe ergriffen wurde.

2.3.2 Frakturbezogene Daten

Weiterhin wurden frakturspezifische Daten aus den Patientenakten erhoben. Diesen zuzuordnen sind die Seite der Verletzung, Vorliegen einer kontralateralen Verletzung, Unfallhergang (Sturz/Hochenergietrauma/pathologische Fraktur), Zeitraum zwischen Unfall und primärer Operation, Art der Reposition (offen/geschlossen), Art und Maße des verwendeten Implantats,

postoperative Belastung der betroffenen Extremität, Länge des stationären Aufenthalts und die Dauer der Follow up Periode.

2.3.3 Präoperative Röntgenaufnahmen

Anhand der präoperativen Röntgenaufnahmen wurden die subtrochantären Frakturen genauer klassifiziert. Dabei fanden die in Kapitel 1.4 beschriebenen Klassifikationen nach Seinsheimer, Russel-Taylor und die ursprüngliche sowie die im „Fracture and Dislocation Compendium 2018“ überarbeitete Klassifikation der AO Anwendung.

Die Ausprägung einer Osteoporose zum Frakturzeitpunkt wurde am kontralateralen proximalen Femur mithilfe des Singh-Index festgestellt. Dieser teilt die Knochenqualität anhand der im Röntgenbild erkennbaren relativen Zahl und Dichte der Trabekel in Grad 1 bis 6 ein. Je niedriger der Grad, desto ausgeprägter ist die Osteoporose, wobei Grad 4 die Grenze zwischen physiologischer Knochendichte und beginnender Osteoporose darstellt (59).

2.3.4 Postoperative Röntgenaufnahmen

Auf den direkt postoperativ aufgenommenen Röntgenbildern wurde zunächst die Dislokation der Fragmente ermittelt. Hierfür wurde auf der AP Aufnahme die Verschiebung der Bruchstücke nach medial und lateral, auf der lateralen Aufnahme die Verschiebung nach ventral und dorsal vermessen (siehe Abbildung 7). Auch das Vorliegen eines dislozierten Trochanter minors wurde dokumentiert, da in einem solchen Fall die Dislokation nach medial und ventral häufig nicht messbar ist.

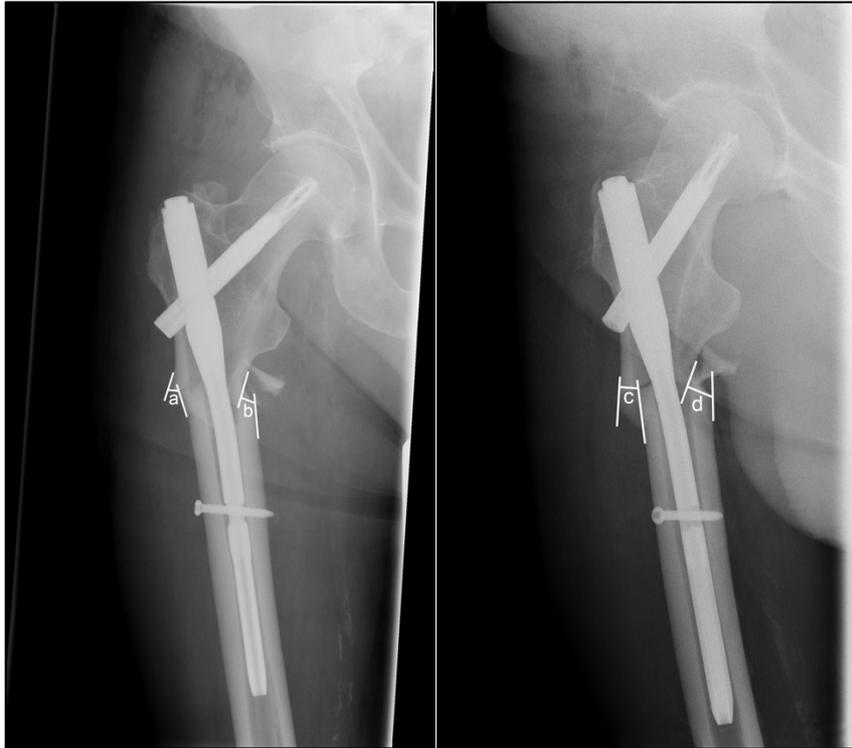


Abbildung 7: Methodische Darstellung der Messung der Dislokation der Fragmente nach lateral (a), medial (b), dorsal (c) und ventral (d) auf dem anterior-posterioren (linkes Bild) und dem lateralen (rechtes Bild) Röntgenbild des proximalen Femurs.

Anschließend wurde beidseitig der CCD-Winkel nach der Methode von M.E. Müller (60) bestimmt. Hierfür wird folgendermaßen vorgegangen (vgl. Abbildung 8 und Abbildung 9): Der Hüftkopfmittelpunkt wird bestimmt, indem ein Kreis an die Kontur des Hüftkopfs, insbesondere an das laterale Ende der Epiphyse sowie die mediale Ecke des Schenkelhalses, angelegt wird. Ein weiterer Kreis mit dem selben Mittelpunkt wird so konstruiert, dass er den lateralen Punkt der stärksten Taillierung des Schenkelhalses schneidet. Die Schnittpunkte des zweiten Kreises werden mit den Konturen des Schenkelhalses verbunden. Eine Gerade, die auf diese Verbindungslinie senkrecht steht und durch den Hüftkopfmittelpunkt geht, stellt die Schenkelhalsachse dar. Die Femurschaftachse ist eine Gerade, die sich mittig zwischen den Schaftkonturen des Femurs befindet. Der sich zwischen der Schenkelhalsachse und der Femurschaftachse ergebende Winkel bildet den CCD-Winkel ab.

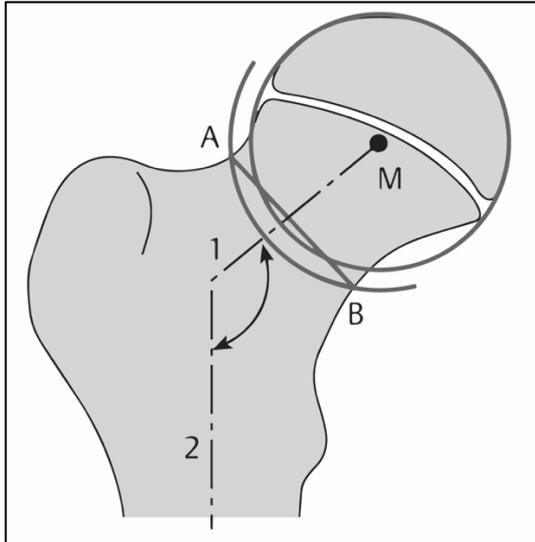


Abbildung 8: Schematische Darstellung der Messung des CCD-Winkels nach der Methode von M.E. Müller (60). M = Hüftkopfmittelpunkt, A = lateraler Punkt der stärksten Taillierung, B = Punkt am medialen Schenkelhals (durch 2. Kreis), 1 = Schenkelhalsachse, 2 = Femurschaftachse (verändert nach (61)).



Abbildung 9: Methodische Darstellung der Messung des CCD-Winkels (α) nach M.E. Müller (60) auf dem anterior-posterioren Röntgenbild des proximalen Femurs.

Nachfolgend wurde die Differenz des CCD-Winkels des verletzten Femurs zu dem der Gegenseite errechnet.

Bei allen Frakturen, die mit einem PFNA versorgt wurden, konnte zudem die Lage der Schenkelhalsklinge im Femurkopf genauer definiert werden. Zunächst wurde die Tip-Apex-Distanz (TAD) nach Baumgaertner (52) ermittelt. Dies ist die Summe des Abstands der Klingenspitze (Tip) zur Spitze des Femurkopfs (Apex) in Millimetern, der auf dem a.-p. und dem lateralen Röntgenbild gemessen und anhand des bekannten und gemessenen Durchmessers der Klinge skaliert wurde (vgl. Abbildung 10). Die Spitze des Femurkopfs ist definiert als der Punkt, an dem die Schenkelhalsachse die radiologisch sichtbare Kontur des Femurkopfs schneidet.

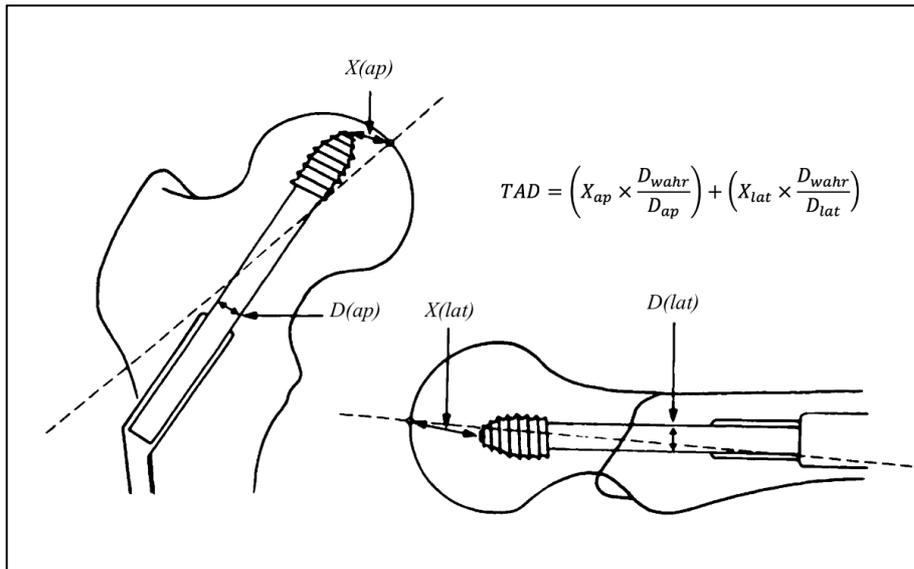


Abbildung 10: Schematische Darstellung der Messung der Tip-Apex-Distanz (TAD) nach Baumgaertner (52) (verändert nach (52)).

Anschließend wurde die Position der Klingenspitze anhand der Methode von Cleveland et al. (57) sowie der modifizierten Version dieser Methode nach Caruso et al. (53) beschrieben. Für die Methode von Cleveland et al. (57) wird der Femurkopf auf dem a.-p. Röntgenbild in eine superiore, mittlere und inferiore und auf dem lateralen Röntgenbild in eine anteriore, mittlere und posteriore Zone eingeteilt. So entstehen insgesamt 9 Zonen, anhand derer die Position der Klingenspitze festgestellt werden kann. Caruso et al. (53) fassen diese 9 Zonen in eine zentrale und zwei periphere Zonen zusammen (siehe Abbildung 11).

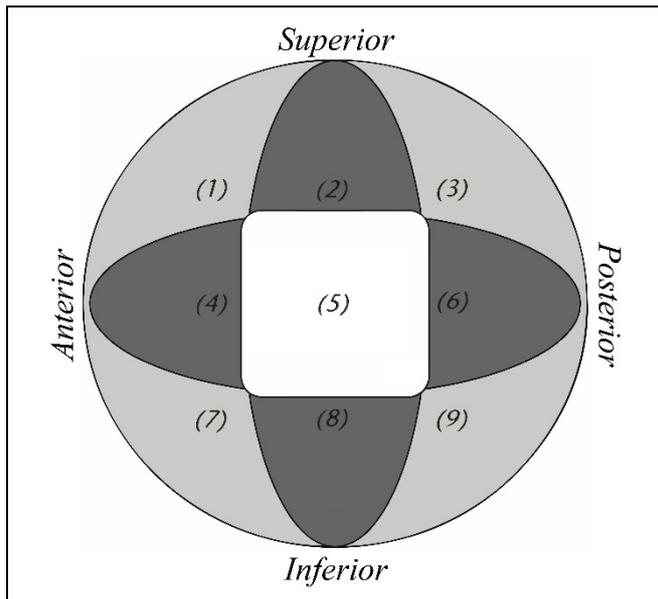


Abbildung 11: Die neun Zonen des Femurkopfs nach der Cleveland Methode (57) sowie die zentrale (weiß) und die peripheren Zonen 1 (dunkelgrau) und 2 (hellgrau) der modifizierten Cleveland Methode (53) zur Einteilung der Position der Klinge (verändert nach (53)).

Zur Beurteilung der distalen Nachsinterung im Heilungsverlauf wurde der Abstand von der unteren Begrenzung des distalen Verriegelungslochs zum unteren Rand des Verriegelungsbolzens, der in selbiges eingebracht wurde, gemessen (vgl. Abbildung 12). War dies beispielsweise aufgrund fehlender distaler Verriegelung oder eines anderen zur Versorgung eingesetzten Implantats nicht möglich, wurde die distale Nachsinterung mithilfe der folgenden alternativen Methode ermittelt: Es wurde ein Lot vom am weitesten distal gelegenen Punkt des Implantats auf einer an beiden Femurkondylen anlagernden Linie gefällt. Anschließend wurde die Länge der Strecke vom distalen Implantatende bis zum Schnittpunkt des Lots mit der den Kondylen anlagernden Linie ausgemessen.

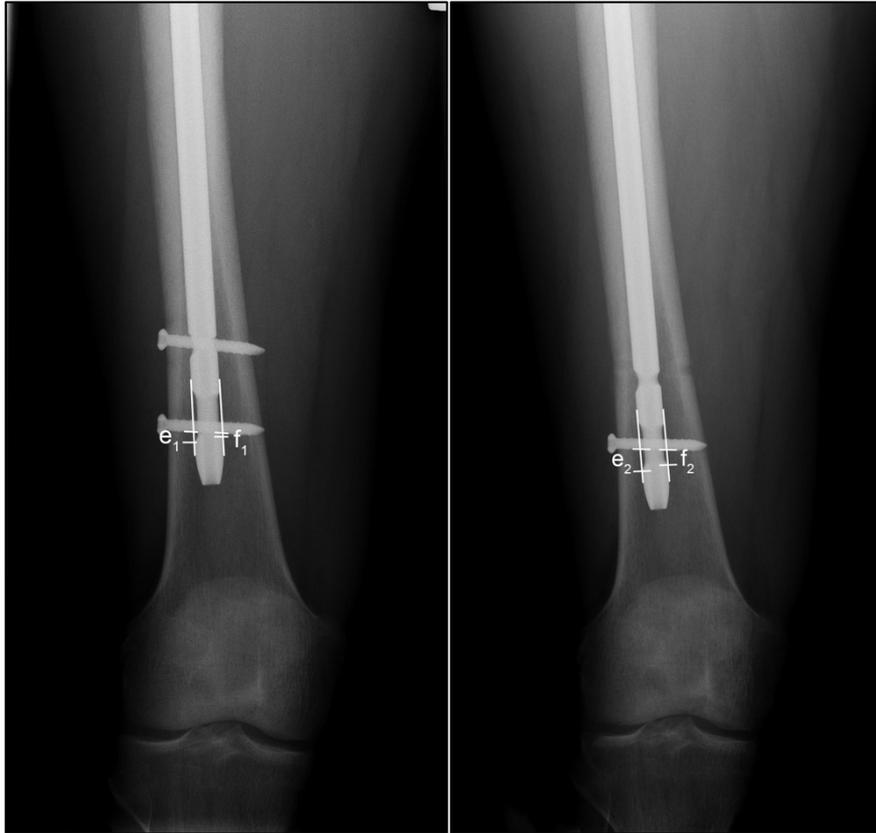


Abbildung 12: Methodische Darstellung der Messung des Abstands (e , f) von der unteren Begrenzung des distalen Verriegelungslochs zum unteren Rand des Verriegelungsbolzens zur Ermittlung der distalen Nachsinterung auf den anterior-posterioren Röntgenbildern des distalen Femurs direkt (linkes Bild) und drei Monate (rechtes Bild) postoperativ.

Ferner wurden der Einsatz von Cerclagen und deren Anzahl dokumentiert.

Mithilfe der von Baumgaertner et al. (52) entwickelten Methode wurde die Qualität der Reposition der Fraktur bewertet. Das erste ausschlaggebende Kriterium ist ein CCD-Winkel von 120° bis 135° und eine laterale Winkelbildung von weniger als 20° . Das zweite Kriterium ist eine Frakturdislokation von nicht mehr als 4 mm in beiden Aufnahmeebenen. Um die Qualität der Reposition als gut zu beurteilen, muss die Reposition beiden Kriterien entsprechen. Als akzeptabel wird die Qualität der Reposition eingeschätzt, wenn eines der beiden Kriterien zutrifft, als schlecht, wenn kein Kriterium erfüllt wird.

2.3.5 Radiologische Verlaufsaufnahmen

Zur Beurteilung des Verhaltens der Fraktur im Heilungsverlauf wurden die Aufnahmen aus den radiologischen Nachkontrollen ausgewertet.

Wie auch auf den unmittelbar postoperativ aufgenommenen Röntgenbildern wurde die Dislokation der Fragmente nach medial, lateral, ventral und dorsal vermessen, um eine im Heilungsverlauf aufgetretene Verschiebung der Fragmente zu identifizieren.

Darauffolgend wurde der CCD-Winkel des verletzten Femurs vermessen und mit dem postoperativ ermittelten Wert verglichen.

Ferner wurden die Aufnahmen auf distale Nachsinterung, die sich als Beinverkürzung im Schaftbereich zeigt, untersucht. Das Ausmaß der distalen Nachsinterung konnte anhand der Dynamik der distalen Verriegelung bestimmt werden. Zu diesem Zweck wurde erneut der Abstand von der unteren Begrenzung des distalen Verriegelungslochs zum unteren Rand des Verriegelungsbolzens gemessen und mit dem aus der postoperativen Aufnahme protokolliertem Abstand verglichen. Konnte diese Methode, beispielsweise nach Dynamisierung durch Entfernung des distalen Bolzens, nicht angewendet werden, wurde auch hier die unter 2.3.4 erläuterte alternative Methode zur Messung der distalen Nachsinterung herangezogen.

2.3.6 Komplikationen

Aus den Patientenakten wurden überdies Daten über Art und Zeitpunkt von aufgetretenen Komplikationen erhoben. Unterschieden wurden dabei allgemeine von speziellen Komplikationen.

Allgemeine Komplikationen wurden in kardiale (z.B. Myokardinfarkt), pulmonale (z.B. Pneumonie), thrombembolische (z.B. tiefe Beinvenenthrombose) und cerebrovasculäre (z.B. Apoplex) Komplikationen unterteilt. Hierbei wurde das Auftreten einer allgemeinen Komplikation während des stationären Aufenthalts für relevant befunden, da eine Korrelation mit der Fraktur respektive der Operation und dem damit verbundenen Krankenhausaufenthalt vermutet werden kann.

Zu den speziellen Komplikationen zählen Wundheilungsstörungen, Implantatversagen, Rotationsfehlstellungen, Cutout der Klinge, erneute Frakturierung, Beinlängenverkürzung und Pseudarthrosenbildung. Das Vorliegen einer speziellen Komplikation wurde unabhängig vom Zeitpunkt ihres Auftretens im postoperativen Verlauf in die Auswertung mit aufgenommen.

Kam es im Verlauf der Frakturheilung zu einem unzureichenden Behandlungserfolg oder einer anderen der soeben genannten Komplikationen, waren häufig Revisionseingriffe erforderlich. Dabei wurde zwischen zwei verschiedenen Revisionstypen unterschieden. Der erste Typ umfasst operative Eingriffe, die zur Versorgung von Wundheilungsstörungen im ehemaligen Operationsgebiet durchgeführt wurden. Zum zweiten Revisionstyp zählen solche Eingriffe, die unmittelbar die Fraktur bzw. die Osteosynthese betreffen, wie zum Beispiel Reosteosynthesen oder Pseudarthrosenanfrischungen.

Weiterhin wurde dokumentiert, ob zur Beschleunigung der Frakturheilung eine Dynamisierung der Osteosynthese durch Entfernung der distalen Verriegelungsschraube zum Einsatz kam.

In die Auswertungen mit aufgenommen wurden die Zeit zwischen der primären und der Revisionsoperation, der Grund für die Revision, die Anzahl der Revisionseingriffe, die Art der operativen Versorgung und die hierfür verwendeten Implantate. Die direkt postoperativ und im weiteren Heilungsverlauf aufgenommenen Röntgenbilder wurden mit denselben Methoden wie die nach der Primärversorgung entstandenen Aufnahmen vermessen und ausgewertet (siehe Kapitel 2.3.4 und 2.3.5).

2.3.7 Ergebnis der Frakturheilung

Der Grad der Frakturheilung wurde auf den im Verlauf aufgenommenen Röntgenbildern anhand des RUSH-Scores (Radiographic Union Scale for Hip) beurteilt (62).

Der RUSH-Score wurde entwickelt, um die Differenzen zwischen Radiologen und orthopädischen Chirurgen bzw. Unfallchirurgen hinsichtlich ihrer Bewertung der Frakturheilung zu verringern und somit eine vergleichbare Beurteilungsgrundlage zu schaffen.

Der Grad der Frakturheilung wird dabei anhand einer aus 4 Komponenten bestehenden Checkliste beurteilt. Die erste Komponente ist die kortikale Überbrückung der Fraktur. Diese ist definiert als Konsolidierung und Bildung von neuem Knochen zwischen den bzw. um die Frakturrenden. Dabei soll jedem der 4 im Röntgenbild sichtbaren Teile der Kortikalis (medial, lateral, ventral, dorsal) ein Wert von 1 (keine kortikale Überbrückung) bis 3 (vollständige kortikale Überbrückung) zugeteilt werden. Somit sind für die erste Komponente zwischen 4 und 12 Punkte zu erreichen.

Die zweite Komponente ist die Sichtbarkeit der Frakturlinie in der Kortikalis. Auch hier soll jeder der 4 Teile der Kortikalis einzeln betrachtet und jeweils ein Wert zwischen 1 (Frakturlinie vollständig sichtbar) und 3 (Frakturlinie nicht mehr nachweisbar) festgelegt werden.

Die dritte Komponente stellt die trabekuläre Konsolidierung dar, definiert als Nachweis neuer Knochenbildung entlang der Frakturlinie in der trabekulären Region des Knochens. Dieser wird ebenfalls ein Wert von 1 (keine Konsolidierung) bis 3 (vollständige Konsolidierung) zugeordnet.

Die letzte Komponente ist die Sichtbarkeit der Frakturlinie im trabekulären Bereich. Je nach Ausprägung dieser wird ein Wert zwischen 1 (vollständig sichtbar) und 3 (nicht mehr nachweisbar) vergeben. Insgesamt kann demnach ein Punktwert zwischen 10 (keine Anzeichen für Heilung) und 30 (perfekte Heilung) erreicht werden. Ab einem Punktwert von 22 ist von einer Frakturheilung auszugehen.

Hatte eine Fraktur auf dem 6 Monate postoperativ aufgenommenen Röntgenbild noch keinen RUSH-Score von 22 erreicht, wurde diese als Pseudarthrose klassifiziert.

2.4 Statistische Methoden

Die statistischen Auswertungen und Grafiken wurden mit dem Statistikprogramm IBM SPSS Statistics Version 25 (IBM Corp., Armonk, New York) erstellt. Neben den deskriptiven Standardtests wie der Berechnung des Mittelwerts und der Standardabweichung fanden folgende statistische Testverfahren in der vorliegenden Studie Anwendung:

Unterschiede zwischen den Gruppen wurden mithilfe von *t*-Tests für unabhängige Stichproben, *t*-Tests für verbundene Stichproben, Chi-Quadrat-Tests, Mann-Whitney-U-Tests, Kruskal-Wallis-Tests, Einfaktorielle Varianzanalysen, ANOVA mit Messwiederholung, Friedman-Tests und Bonferroni-korrigierten Post-hoc Tests analysiert.

Zur Auswertung von Zusammenhängen kamen einfache Regressionen sowie multiple lineare Regressionen zum Einsatz.

Das Signifikanzniveau lag bei allen Tests bei $p < .05$.

3 Ergebnisse

3.1 Patientenkollektiv

3.1.1 Alter zum Operationszeitpunkt

Das Alter der insgesamt 75 Patienten zum Operationszeitpunkt lag zwischen 13 und 89 Jahren (vgl. Abbildung 13). Das Durchschnittsalter betrug 57,21 (*SD* 19,48) Jahre.

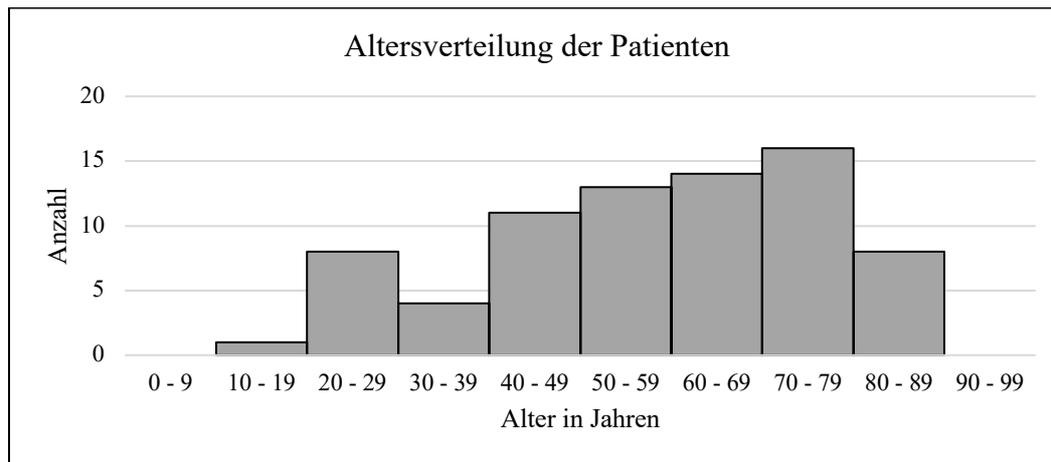


Abbildung 13: Altersverteilung der Patienten zum Operationszeitpunkt.

Das Durchschnittsalter der weiblichen Patienten lag bei 67,03 (*SD* 15,29) Jahren, das der männlichen Patienten bei 51,15 (*SD* 19,44) Jahren.

3.1.2 Geschlecht

Von den 75 Patienten waren 29 Patienten weiblich und 46 Patienten männlich. Dies entsprach einem Geschlechterverhältnis von 38,7 % zu 61,3 % (siehe Abbildung 14). Einer der männlichen Patienten hatte beidseits eine subtrochantäre Femurfraktur.

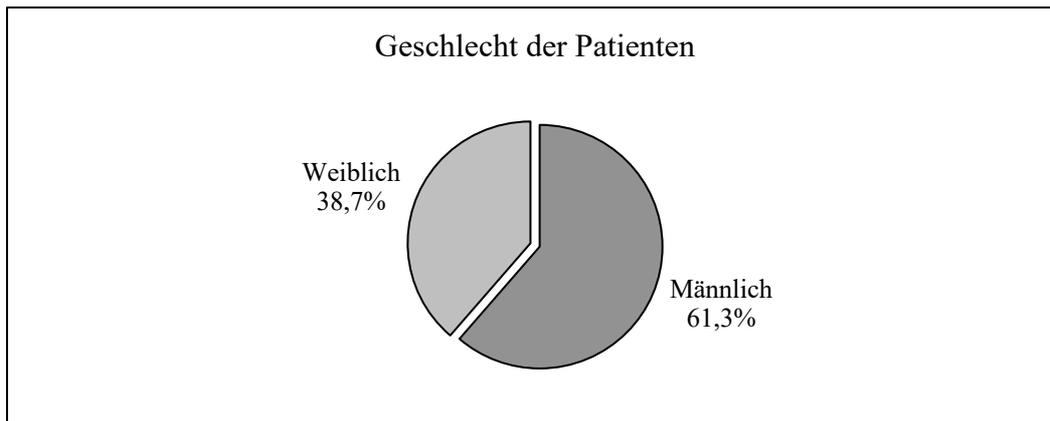


Abbildung 14: Geschlechterverhältnis der Patienten.

3.1.3 Body Mass Index

Der Body Mass Index zum Zeitpunkt der Operation konnte bei 70 Patienten ermittelt werden und betrug durchschnittlich $28,14 \text{ kg/m}^2$ (SD 6,44).

Gemäß der Definition der WHO (World Health Organization) (63) galten 25 Patienten (35,7 %) mit einem BMI zwischen $18,5$ und $24,9 \text{ kg/m}^2$ als normalgewichtig. Weitere 28 Patienten (40,0 %) waren mit einem BMI zwischen $25,0$ und $29,9 \text{ kg/m}^2$ als präadipös einzustufen. Der Ernährungszustand von 10 Patienten (14,3 %) konnte einer Adipositas Grad I (BMI $30,0 - 34,9 \text{ kg/m}^2$), der von 5 Patienten (7,1 %) einer Adipositas Grad II (BMI $35,0 - 39,9 \text{ kg/m}^2$) und der von 2 Patienten (2,9 %) einer Adipositas Grad III (BMI $> 40,0 \text{ kg/m}^2$) zugeordnet werden (vgl. Abbildung 15).

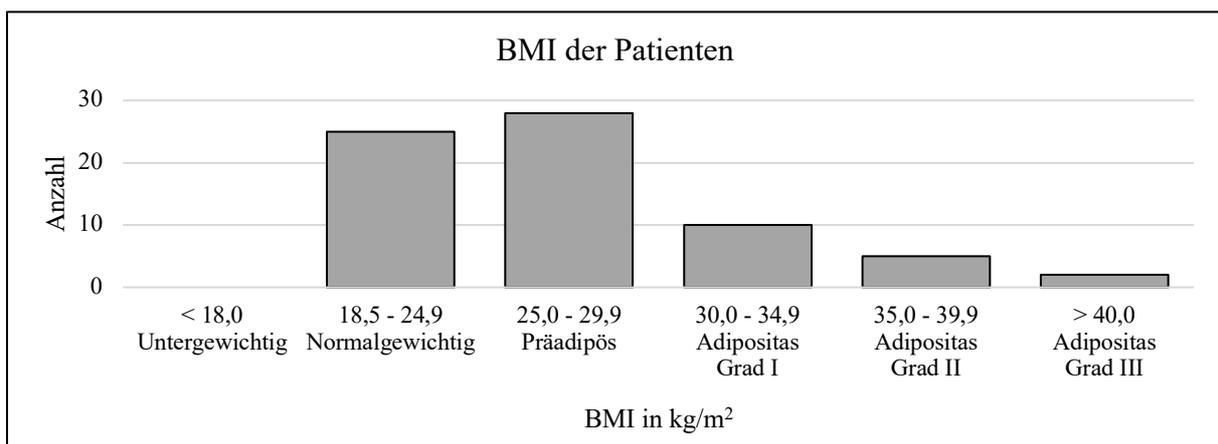


Abbildung 15: Einteilung der Werte des BMI der Patienten zum Operationszeitpunkt in die von der WHO (63) definierten BMI-Klassen.

3.1.4 ASA Physical Status

Der ASA Physical Status zum Zeitpunkt der Operation konnte für jeden der 75 Patienten ermittelt werden (siehe Abbildung 16). Dabei entsprach der Gesundheitszustand von 7 Patienten

(9,3 %) der Klasse 1, von 23 Patienten (30,7 %) der Klasse 2, von 37 Patienten (49,3 %) der Klasse 3 und von 8 Patienten (10,7 %) der Klasse 4 des ASA Physical Status. Es gab keinen Patienten, der einem ASA Physical Status von 5 zugeordnet wurde.

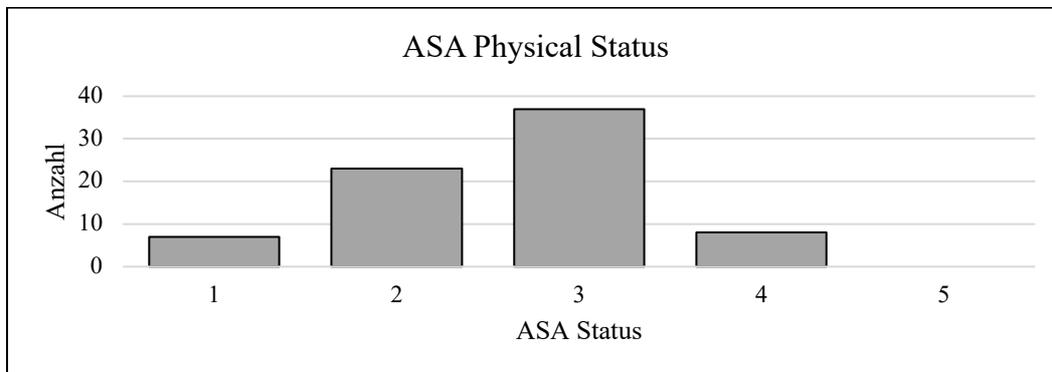


Abbildung 16: Häufigkeiten der verschiedenen Stufen des ASA Physical Status der Patienten zum Operationszeitpunkt.

3.1.5 Komorbiditäten

Von 75 Patienten hatten 40 Patienten (53,3 %) keine die Frakturheilung beeinflussende Komorbidität. 35 Patienten (46,7 %) hatten eine oder mehrere relevante Komorbiditäten.

Ein Diabetes mellitus lag bei 18 Patienten (24,0 %), eine periphere arterielle Verschlusskrankheit bei 3 Patienten (4,0 %) vor. 12 Patienten (16,0 %) konsumierten regelmäßig Tabakwaren und bei 6 Patienten (8,0 %) war ein Alkoholabusus bekannt. 7 Patienten (9,3 %) hatten eine bereits zum Aufnahmezeitpunkt diagnostizierte Osteoporose und bei 12 Patienten (16,0 %) bestand in der Vergangenheit oder zum Verletzungszeitpunkt eine maligne Tumorerkrankung (vgl. Abbildung 17).

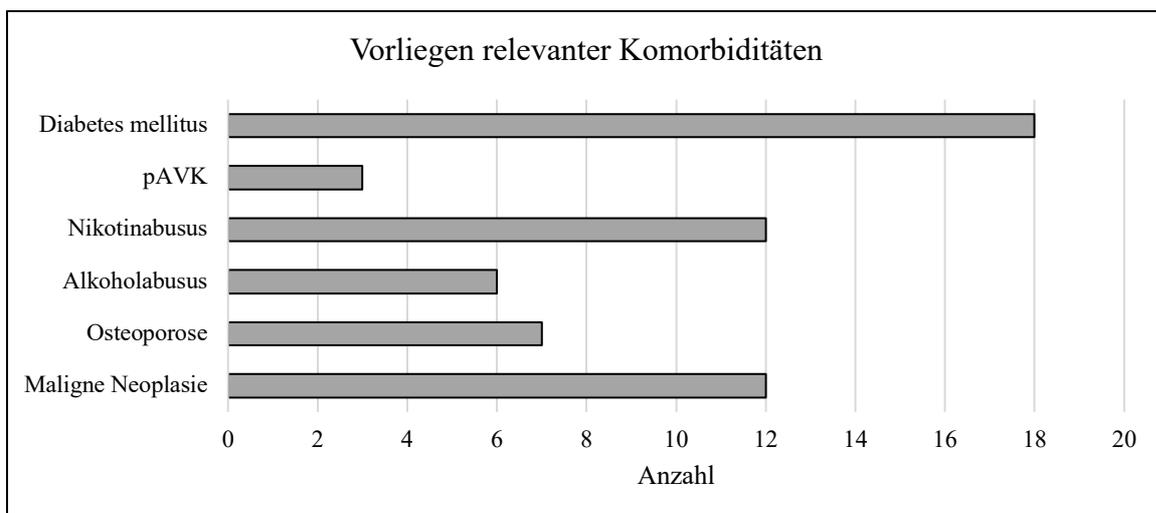


Abbildung 17: Anzahl der Patienten mit einer potenziell die Frakturheilung beeinflussenden Komorbidität.

Von den insgesamt 35 Patienten, bei denen relevante Komorbiditäten bekannt waren, hatten 21 Patienten (28,0 %) eine, 8 Patienten (10,7 %) 2, 3 Patienten (4,0 %) 3 und 3 Patienten (4,0 %) 4 von den in 2.3.1 genannten, die Frakturheilung beeinflussende Komorbiditäten.

3.1.6 Medikation

47 Patienten (62,7 %) nahmen keine medikamentöse Therapie zu sich, die sich auf den Verlauf der Frakturheilung auswirken könnte. 28 Patienten (37,3 %) erhielten eine oder mehrere solcher Therapien.

Eine zum Operationszeitpunkt laufende oder bereits abgeschlossene Radio-, Chemo- oder Steroidtherapie war bei 5 (6,7 %), 6 (8,0 %) bzw. 6 (8,0 %) Patienten bekannt. 18 Patienten (24,0 %) wurden dauerhaft antikoaguliert und 5 Patienten (6,7 %) wurden aufgrund ihrer Osteoporose medikamentös therapiert (vgl. Abbildung 18).

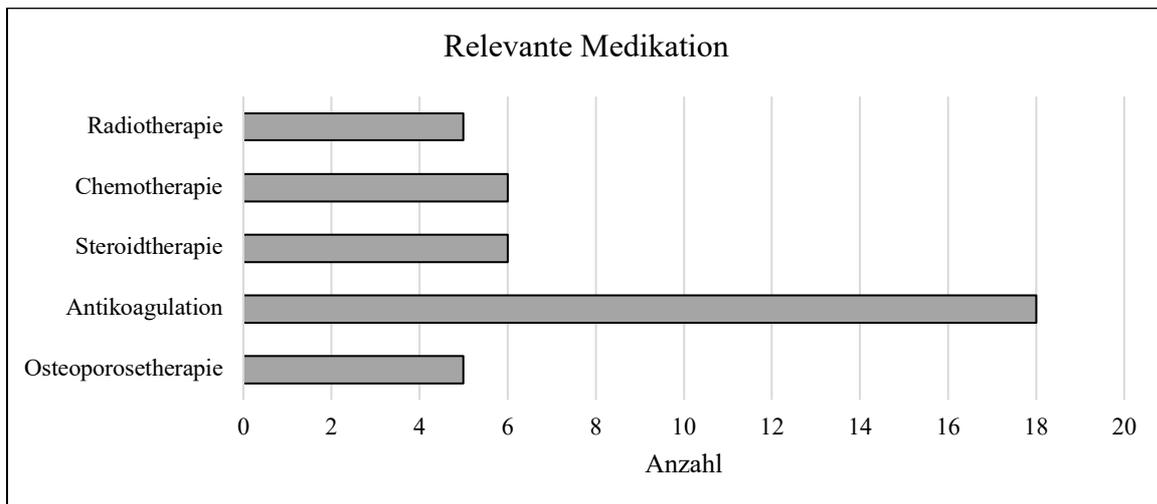


Abbildung 18: Anzahl der Patienten, die mit einer potenziell die Frakturheilung beeinflussenden Medikation therapiert wurden.

Dabei wurden 20 Patienten (26,7 %) mit einer, 5 Patienten (6,7 %) mit 2, 2 Patienten (2,7 %) mit 3 und 1 Patient (1,3 %) mit 4 der soeben genannten Medikamentengruppen behandelt.

3.2 Frakturbezogene Daten

3.2.1 Seitenverteilung der Frakturen

Die 75 in die Studie aufgenommenen Patienten hatten insgesamt 76 subtrochantäre Femurfrakturen. Davon waren 33 Frakturen am linken Femur und 43 Frakturen am rechten Femur lokalisiert. Das Seitenverhältnis betrug demnach 43,4 % zu 56,6 % (siehe Abbildung 19).

9 Patienten (12,0 %) zogen sich im Rahmen ihres Unfalls auch an der kontralateralen Extremität eine Fraktur zu, wobei es sich nur bei einem der 9 Patienten um eine zweite subtrochantäre Femurfraktur handelte.

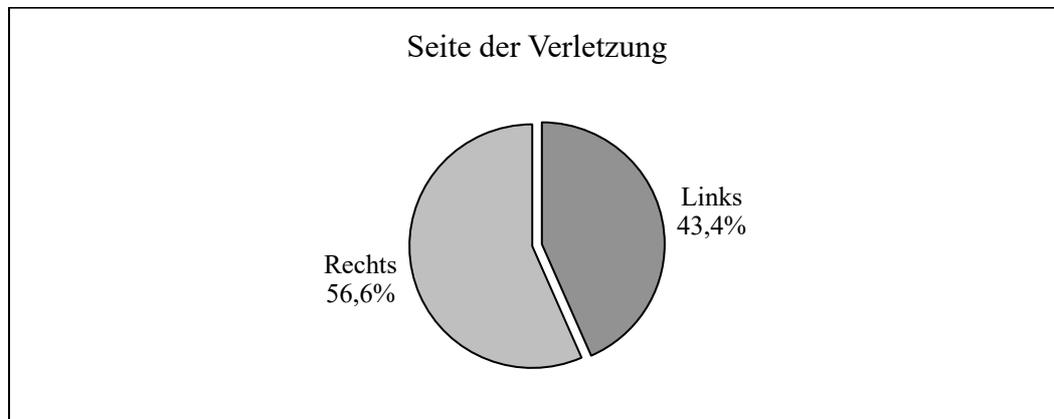


Abbildung 19: Seitenverhältnis der frakturierten Femora.

3.2.2 Unfallhergang

Der Unfallhergang konnte bei 75 der 76 subtrochantären Femurfrakturen ermittelt werden, bei einer Fraktur blieb der Unfallhergang unbekannt.

In 26 Fällen (34,2 %) entstand die Verletzung durch ein Sturzereignis im häuslichen Umfeld. 36 Frakturen (47,4 %) ereigneten sich im Rahmen eines Hochenergietraumas, wie beispielsweise einem Verkehrsunfall. Bei 13 Frakturen (17,1 %) handelte es sich um pathologische Frakturen, die aufgrund einer erkrankungsbedingt verminderten Belastbarkeit des Knochens ohne adäquates Trauma auftraten (vgl. Abbildung 20).

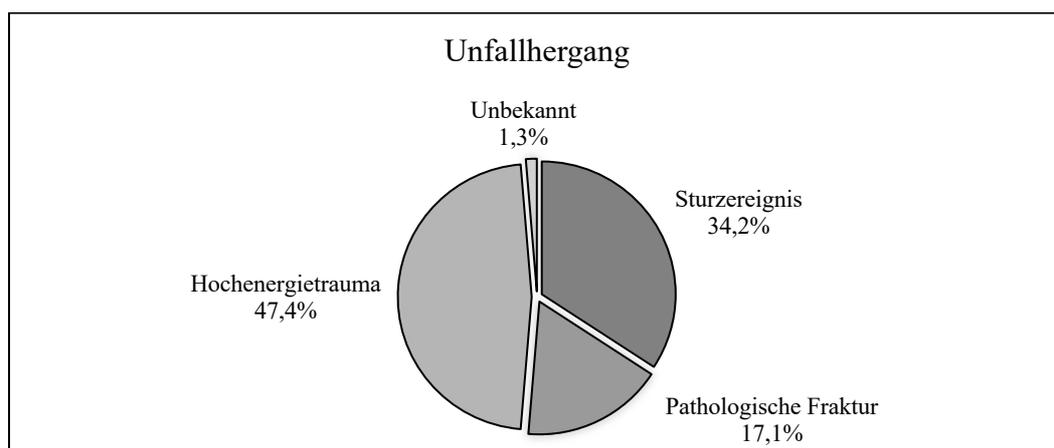


Abbildung 20: Häufigkeiten der Unfallhergänge.

Vergleicht man die männlichen mit den weiblichen Patienten, fällt eine Inhomogenität bezüglich des Unfallmechanismus auf (vgl. Abbildung 21).

Von den 46 männlichen Patienten zogen sich 11 (23,9 %) die Fraktur durch ein Sturzereignis zu, 28 (60,9 %) durch ein Hochenergietrauma und 7 Frakturen (15,2 %) waren pathologischer Genese. Der Unfallhergang einer Fraktur eines männlichen Patienten war unbekannt. Von den 29 weiblichen Patienten verletzten sich 15 (51,7 %) bei einem Sturzereignis, 8 (27,6 %) bei einem Hochenergietrauma und 6 (20,7 %) erlitten eine pathologische Fraktur. Ein Chi-Quadrat-Test ergab einen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen Geschlecht und Unfallhergang ($\chi^2(2) = 8.38, p = .015, V = 0.33$).

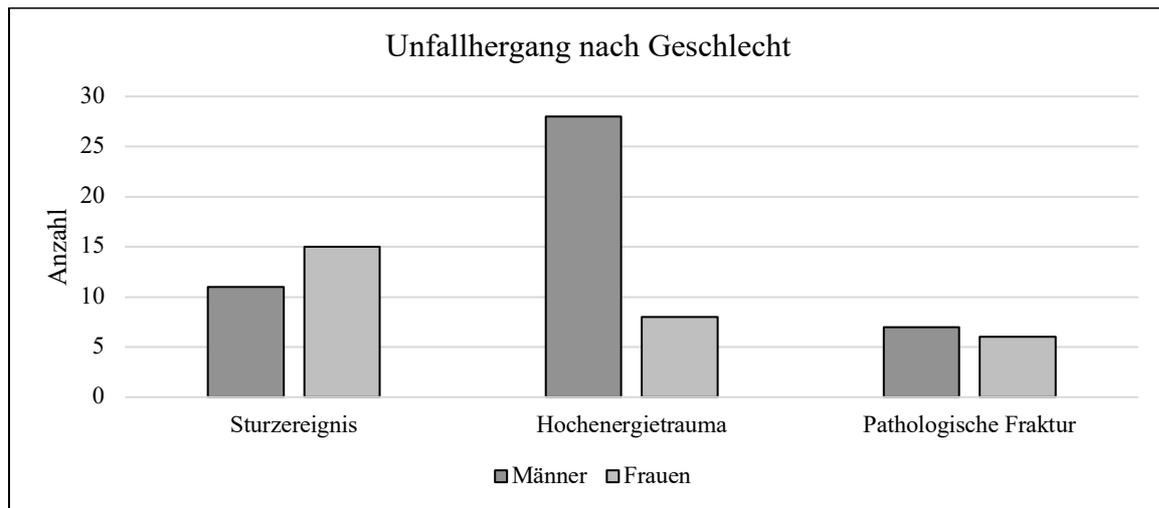


Abbildung 21: Häufigkeiten der Unfallhergänge nach Geschlecht.

Betrachtet man die Altersverteilung bei den verschiedenen Unfallmechanismen, so werden auch dort Unterschiede deutlich. Das Durchschnittsalter der im Rahmen eines Sturzes verletzten Patienten betrug 67,65 (*SD* 13,79) Jahre. Die bei einem Hochenergietrauma verletzten Patienten waren im Mittel 48,81 (*SD* 17,32) Jahre und die Patienten mit pathologischen Frakturen 59,15 (*SD* 25,41) Jahre alt.

3.2.3 Zeitraum zwischen Unfallereignis und Primärversorgung

Für 69 der insgesamt 71 im Universitätsklinikum Regensburg (UKR) primärversorgten Frakturen wurde die Zeit zwischen dem Unfall und der primären Operation errechnet. Bei 2 der im UKR primärversorgten Patienten war der Unfallzeitpunkt nicht bekannt, sodass eine Berechnung nicht möglich war. Auch für die 5 Patienten, die andernorts primärversorgt wurden, konnte der Zeitraum zwischen dem Unfall und der primären Operation nicht ermittelt werden.

Durchschnittlich vergingen 1,19 (*SD* 4,13) Tage bis zur primären Operation. 48 Patienten (69,6 %) wurden am Unfalltag operiert, 11 Patienten (15,9 %) einen Tag danach, 7 Patienten (10,2 %) 2 bis 5 Tage und 2 Patienten (2,9 %) 6 bis 10 Tage nach dem Unfallereignis. Der längste Zeitraum zwischen Unfall und Operation betrug 32 Tage. Hierbei handelte es sich um

eine 77-jährige Patientin mit pathologischer Fraktur, welche sich mit unspezifischen Schmerzen in der Hüfte ohne Traumaereignis zunächst bei einem niedergelassenen Orthopäden vorstellte. Erst in der daraufhin durchgeführten MRT-Aufnahme konnte die Fraktur diagnostiziert werden.

3.2.4 Frakturversorgung

30 (42,3 %) der Frakturen, die am Universitätsklinikum Regensburg primärversorgt wurden, wurden geschlossen, 41 Frakturen (57,7 %) offen reponiert (siehe Abbildung 22).

Die Art der Reposition der extern primärversorgten Frakturen konnte retrospektiv nicht nachvollzogen werden.

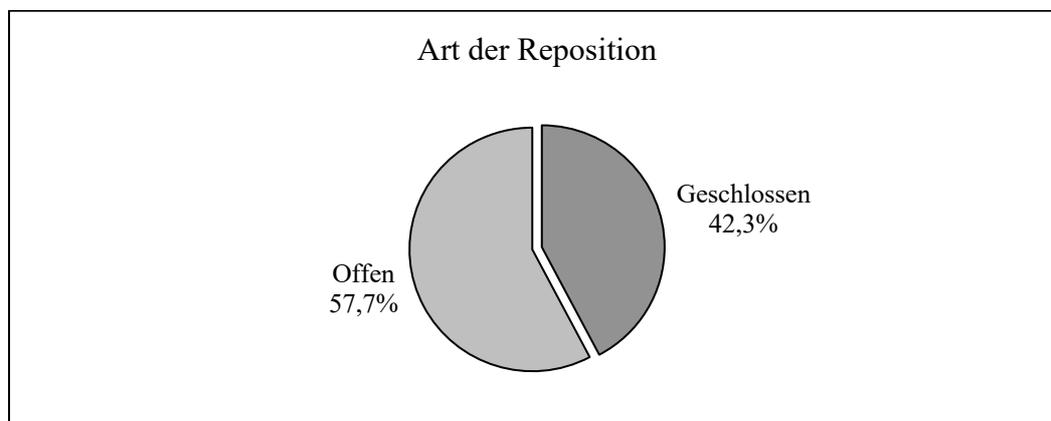


Abbildung 22: Verteilung der Art der Reposition der Frakturen.

Bei 4 (5,3 %) der insgesamt 76 subtrochantären Femurfrakturen wurden extramedulläre Verfahren zur Frakturversorgung angewendet. Dabei handelte es sich bei einem Patienten um eine dynamische Hüftschraube, bei zwei Patienten um eine verriegelbare Kompressionsplatte (LCP = „Locking Compression Plate“) und bei einem um eine Non Contact Bridging (NCB) winkelstabile Platte.

Intramedulläre Implantate kamen bei 72 (94,7 %) der 76 Frakturen zum Einsatz. 3 dieser Frakturen wurden mit einem Gamma-Nagel, weitere 3 mit einem Antegraden Femurnagel (AFN) und 66 Frakturen mit einem Proximalen Femurnagel Antiration (PFNA) versorgt (vgl. Abbildung 23). Somit wurde bei 86,8 % aller in dieser Studie untersuchten subtrochantären Frakturen ein PFNA als Osteosyntheseverfahren gewählt. Von diesen 66 PFNA Implantaten konnten 19 Implantate (28,8 %) mit einer Länge von bis zu 240 mm als kurz und 46 (69,7 %) Implantate mit einer Länge von über 240 mm als lang klassifiziert werden. Die genaue Länge eines PFNA war unbekannt.

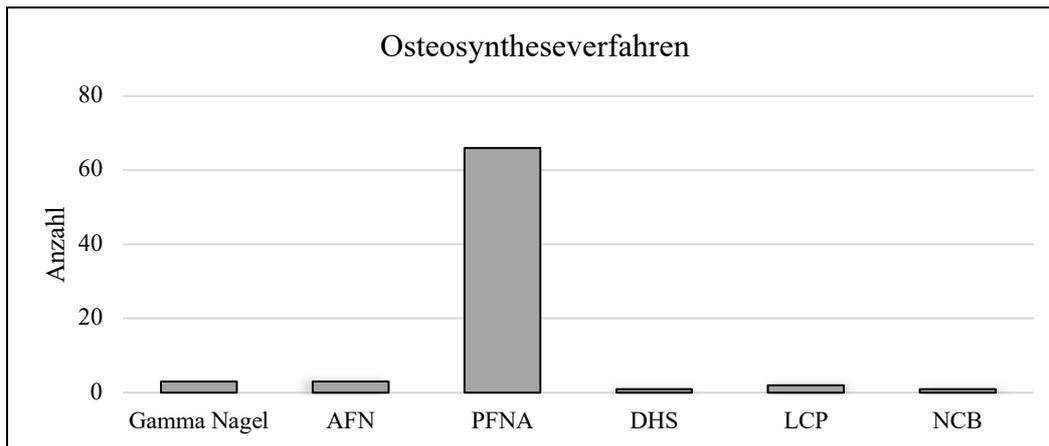


Abbildung 23: Häufigkeit der verschiedenen Osteosyntheseverfahren: AFN = Antegrader Femurnagel, PFNA = Proximaler Femurnagel Antirotation, DHS = Dynamische Hüftschraube, LCP = Locking Compression Plate, NCB = Non Contact Bridging winkelstabile Platte.

Zusätzlich wurden 34 Frakturen (44,7 %) mit Cerclagen versorgt. Dabei erhielten 19 Frakturen (25,0 %) insgesamt eine Cerclage, 10 Frakturen (13,2 %) 2 Cerclagen, 3 Frakturen (3,9 %) 3 Cerclagen und 2 Frakturen (2,6 %) jeweils 4 Cerclagen. Bei den restlichen 42 Frakturen (55,3 %) wurden keine Cerclagen eingebracht. Beispielhafte Röntgenbilder verschieden versorgter subtrochantärer Femurfrakturen sind in Abbildung 24 dargestellt.

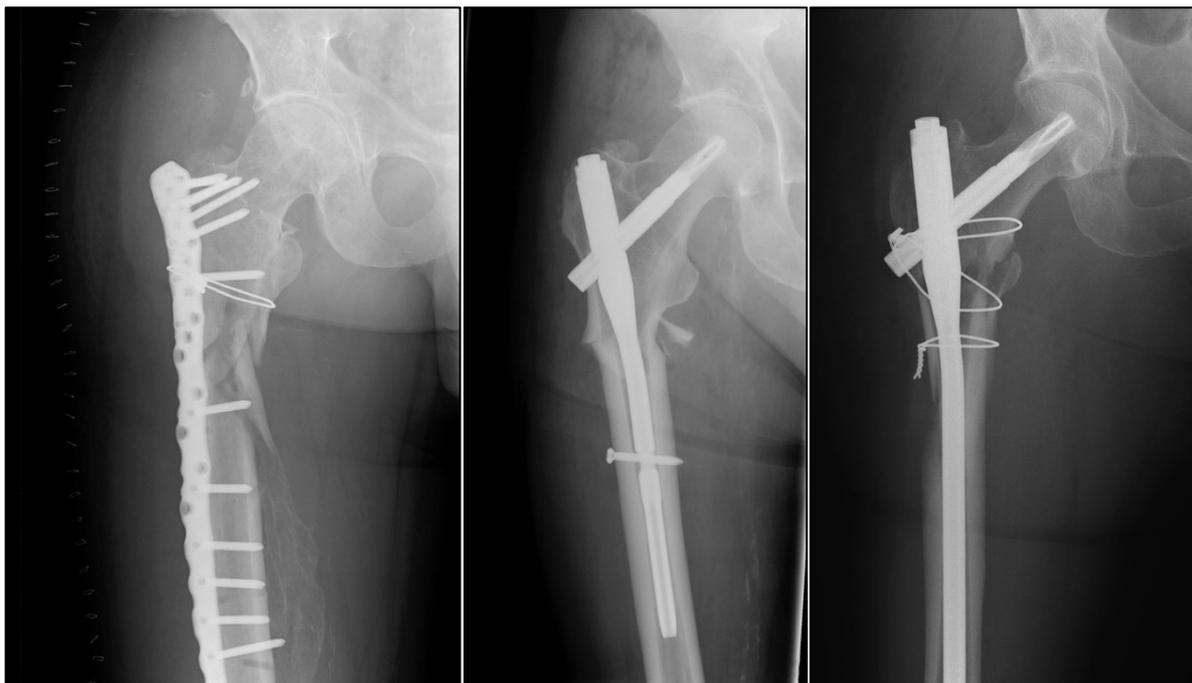


Abbildung 24: Anterior-posteriore Röntgenaufnahmen mit einer NCB Platte (links), einem PFNA (Mitte) und einem PFNA und drei Drahtcerclagen (rechts) versorgter subtrochantärer Femurfrakturen.

3.2.5 Postoperative Belastung

Von 70 der 71 subtrochantären Frakturen, die am Universitätsklinikum Regensburg primärversorgt wurden, wurde das Gewicht, mit dem die betroffene Extremität postoperativ belastet

wurde, erfasst. Bei einer Patientin war die Art der postoperativen Belastung nicht bekannt und auch bei den 5 auswärts primärversorgten Patienten konnte der Ablauf der Wiederbelastung nach dem primären Eingriff retrospektiv nicht nachvollzogen werden.

2 Patienten (2,6 %) belasteten die betroffene Extremität postoperativ nicht. Eine Teilbelastung von 15 Kilogramm fand bei 40 (52,6 %) der 70 Frakturen statt. Auch der Patient, welcher sich beidseitig subtrochantäre Frakturen zugezogen hatte, belastete beide Frakturen mit einer Teilbelastung von 15 Kilogramm. 21 Patienten (27,6 %) belasteten das operierte Bein mit einer Teilbelastung von 20 Kilogramm. Die restlichen 7 Patienten (9,2 %) konnten die betroffene Extremität postoperativ voll belasten (vgl. Abbildung 25).

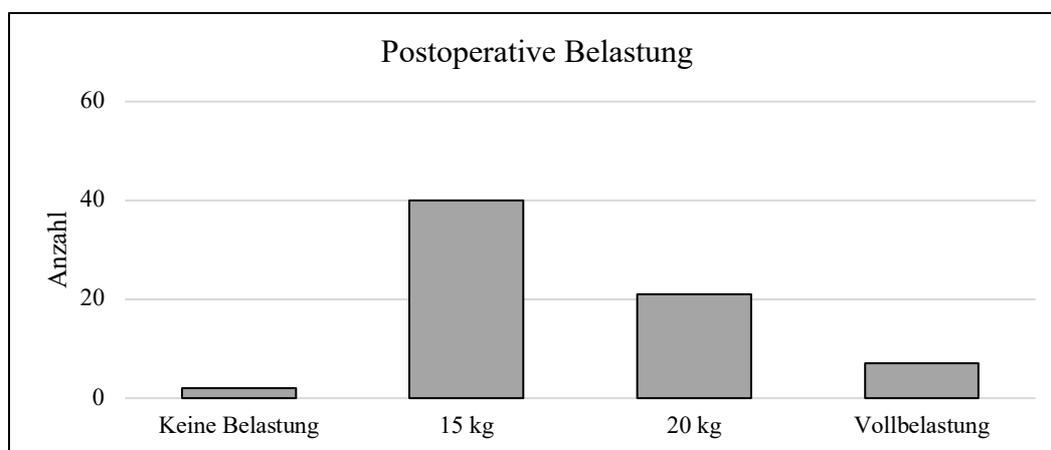


Abbildung 25: Häufigkeit der postoperativen Belastung der betroffenen Extremität.

3.2.6 Länge des stationären Aufenthalts

Die Länge des stationären Aufenthalts konnte für alle Patienten erfasst werden.

Die 70 Patienten mit 71 subtrochantären Femurfrakturen, die zur Primärversorgung am Universitätsklinikum Regensburg aufgenommen wurden, wurden nach durchschnittlich 16,6 (*SD* 9,5) Tagen entlassen. Die kürzeste Aufenthaltsdauer betrug 4 Tage, die längste 65 Tage. 17 Patienten (24,3 %) wurden nach 4 bis 10 Tagen entlassen, 38 Patienten (54,3 %) nach 11 bis 20 Tagen, 10 Patienten (14,3 %) nach 21 bis 30 Tagen, 4 Patienten (5,7 %) nach 31 bis 40 Tagen und ein Patient blieb 65 Tage in stationärer Behandlung (vgl. Abbildung 26). Bei letzterem handelte es sich um eine 68-jährige Frau, welche während ihres stationären Aufenthalts auch von der plastischen Chirurgie aufgrund eines seit 2 Jahren bestehenden Ulcus cruris am kontralateralen Unterschenkel behandelt wurde, wodurch sich die Entlassung verzögerte.

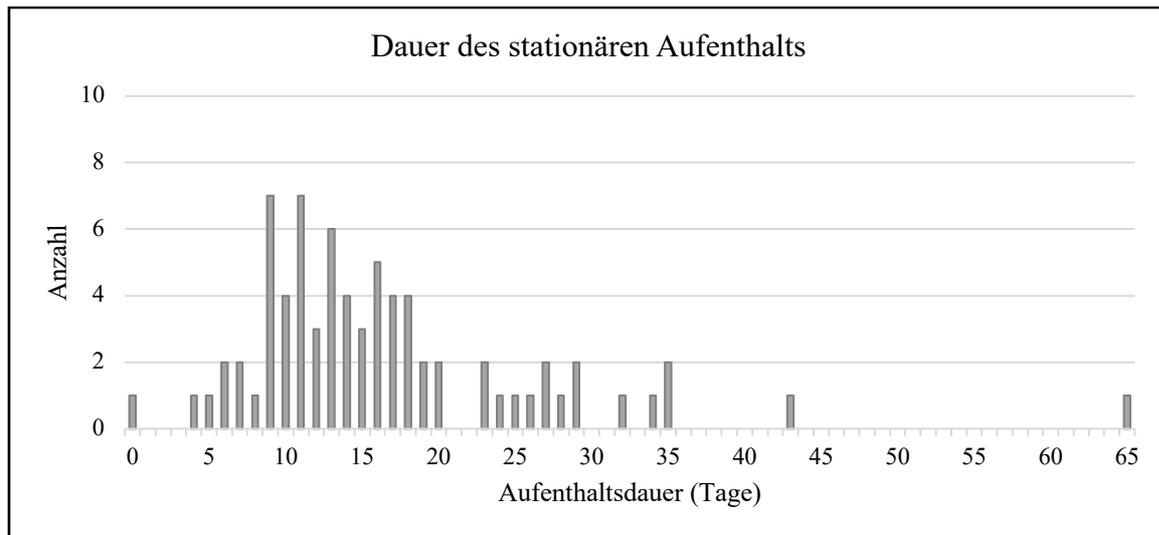


Abbildung 26: Dauer des stationären Aufenthalts der Patienten bei Primärversorgung ihrer subtrochantären Femurfraktur in Tagen.

Die 5 Patienten, die erst zur Revision an das Universitätsklinikum Regensburg kamen, hatten im Rahmen ihres Revisionseingriffs eine mittlere Aufenthaltsdauer von 16,4 (SD 16,2) Tagen. Ein Patient wurde ambulant behandelt, ein Patient war 9 Tage in stationärer Behandlung, 2 Patienten 10 bis 20 Tage und ein Patient 43 Tage.

3.2.7 Länge des Follow ups

Die Länge des Follow ups wurde für die im Universitätsklinikum Regensburg primärversorgten und die erst zur Revision dort aufgenommenen Patienten getrennt ausgewertet. Während für Erstere der Zeitraum zwischen der Aufnahme zur Primärversorgung und der letzten radiologischen Nachkontrolle berechnet wurde, wurde bei den auswärtig primärversorgten Patienten der Zeitraum zwischen der Aufnahme zur Revision am Universitätsklinikum Regensburg und der letzten radiologischen Nachkontrolle für die Berechnung herangezogen.

Die Dauer des Follow ups der im Universitätsklinikum Regensburg primärversorgten Patienten belief sich durchschnittlich auf 595 (SD 460) Tage. Die kürzeste Nachbeobachtungsdauer betrug 96 Tage, die längste 2473 Tage (= 6,76 Jahre).

Ab der Aufnahme zur Revisionsoperation wurden die auswärtig primärversorgten Patienten im Mittel 442 (SD 218) Tage beobachtet. Hier betrug die kürzeste Nachbeobachtungsdauer 187 Tage, die längste 716 Tage.

3.3 Präoperative Röntgenaufnahmen

Anhand der präoperativ aufgenommenen Röntgenbilder wurden die Frakturen mithilfe verschiedener Klassifikationssysteme klassifiziert und der Osteoporosegrad der Patienten bestimmt.

3.3.1 Frakturklassifikationen

Jede der 76 Frakturen konnte jeweils einer Kategorie der 4 verschiedenen Klassifikationssysteme (siehe Kapitel 1.4) zugeordnet werden.

Zunächst wurden die Frakturen nach Maßgabe der Seinsheimer Klassifikation in 8 Gruppen eingeteilt (vgl. Tabelle 1). Weniger als 2 mm disloziert und somit dem Typ I entsprechend waren 4 Frakturen (5,3 %). Die 18 (23,8 %) zweiteiligen Frakturen des Typs II wurden anhand des Verlaufs der Frakturlinie in 3 Unterkategorien eingeteilt. In 2 Unterkategorien wurden die 21 (27,6 %) dreiteiligen Frakturen des Typs III unterteilt. 4 oder mehr Fragmente lagen bei 14 Frakturen (18,4 %) vor, welche dementsprechend als Typ IV kategorisiert wurden. Dem Typ V waren aufgrund ihrer Frakturausläufer in die intertrochantäre Region 19 Frakturen (25,0 %) zuzuordnen.

Tabelle 1: Einteilung der Frakturen anhand der Seinsheimer-Klassifikation.

Frakturtyp	Anzahl (n)	Anteil (%)
I	4	5.3
IIa	5	6.6
IIb	11	14.5
IIc	2	2.6
IIIa	19	25.0
IIIb	2	2.6
IV	14	18.4
V	19	25.0

Anschließend wurden die 76 Frakturen nach der Russel-Taylor-Methode klassifiziert (vgl. Tabelle 2). Dem Typ IA, der sich durch einen intakten Trochanter major sowie einen intakten Trochanter minor auszeichnet, entsprachen 31 Frakturen (40,8 %). 28 Frakturen (36,8 %) wurden, ebenfalls ohne Beteiligung des Trochanter majors, jedoch mit frakturiertem Trochanter minor, als Typ IB klassifiziert. Erstreckt sich die Fraktur bei intaktem Trochanter minor bis in die Region des Trochanter majors, spricht man von einer Typ IIA Fraktur, welche in einem Fall (1,3 %) vorlag. Die restlichen 16 Frakturen (21,1 %) wurden dem Typ IIC zugeordnet, für den

Frakturausläufer bis in die Trochanterregion sowie ein frakturierter Trochanter minor kennzeichnend sind.

Tabelle 2: Einteilung der Frakturen anhand der Russel-Taylor-Klassifikation.

Frakturtyp	Anzahl (n)	Anteil (%)
IA	31	40.8
IB	28	36.8
IIA	1	1.3
IIB	16	21.1

Daraufhin erfolgte die Einteilung der Frakturen anhand der ursprünglichen AO Klassifikation (siehe Tabelle 3). In der Gruppe der „einfachen“ Frakturen (Typ 32-A) wurden je nach Verlauf der Frakturlinie die 22 Frakturen (28,9 %) als Untergruppe 1, 2 oder 3 klassifiziert. Die Keilfrakturen wurden anhand der Morphologie des Keils in Typ 32-B1.1, 32-B2.1 und 32-B3.1 untergliedert, welchen insgesamt 33 Frakturen (43,3 %) zugeordnet werden konnten. Auch die 21 (27,6 %) komplexen Frakturen wurden in die 3 Frakturtypen 32-C1.1, 32-C2.1 und 32-C3.1 eingeteilt.

Tabelle 3: Einteilung der Frakturen anhand der AO-Klassifikation.

Frakturtyp	Anzahl (n)	Anteil (%)
32-A1.1	8	10.5
32-A2.1	7	9.2
32-A3.1	7	9.2
32-B1.1	22	28.9
32-B2.1	2	2.6
32-B3.1	9	11.8
32-C1.1	9	11.8
32-C2.1	0	0.0
32-C3.1	12	15.8

Zuletzt wurden die Frakturen nach der im „Fracture and Dislocation Compendium 2018“ überarbeiteten Klassifikation der AO kategorisiert. Hierfür wurden die Frakturen in solche, die in die Trochanterregion auslaufen, und solche, die sich ausschließlich am oberen Drittel des diaphysären Segments befinden, unterteilt.

Die Frakturen mit Ausläufern in die Trochanterregion wurden nach dem Verlauf der Frakturlinie und der Anzahl der Fragmente folgenden Frakturtypen zugeordnet: Typ 31A1.3, welcher in einem Fall (1,3 %), Typ 31A2.2 in 2 Fällen (2,6 %), Typ 31A2.3 in 7 Fällen (9,2 %), Typ

31A3.1 in 4 Fällen (5,3 %), Typ 31A3.2 in einem Fall (1,3 %) und Typ 31A3.3, welcher in 24 Fällen (31,6 %) vorlag.

Die Frakturen des oberen diaphysären Drittels wurden analog zur ursprünglichen AO Klassifikation in 3 Gruppen (A = einfache Frakturen, B = Keilfrakturen und C = komplexe Frakturen) mit von der ursprünglichen Klassifikation abweichenden Untergruppen eingeteilt. Hierbei wurden 17 Frakturen (22,4 %) als Typ A und 9 Frakturen (11,8 %) als Typ B kategorisiert. Weiterhin wurden 11 Frakturen (14,4 %) dem Typ 32C zugeordnet. Die genaue Einteilung in die Unterkategorien der Klassifikation ist der Tabelle 4 zu entnehmen.

Tabelle 4: Einteilung der Frakturen anhand der 2018 überarbeiteten AO-Klassifikation.

Frakturtyp	Anzahl (n)	Anteil (%)
31A1.3	1	1.3
31A2.2	2	2.6
31A2.3	7	9.2
31A3.1	4	5.3
31A3.2	1	1.3
31A3.3	24	31.6
32A1(a)	6	7.9
32A2(a)	5	6.6
32A3(a)	6	7.9
32B2(a)	3	3.9
32B3(a)	6	7.9
32C2(i)	2	2.6
32C3(i)	9	11.8

3.3.2 Osteoporosegrad

Der Osteoporosegrad eines jeden Patienten wurde mithilfe des Singh Index (siehe Kapitel 2.3.3) am kontralateralen Femur ermittelt. Auf 20 (26,3 %) der präoperativ aufgenommenen Röntgenbilder wurde ein Wert von 6, was den bestmöglichen Wert darstellt, gemessen. 31 Patienten (40,8 %) hatten einen Wert von 5, 18 Patienten (23,7 %) einen Wert von 4. Ein Wert von 3 und somit eine manifeste Osteoporose konnte bei 7 Patienten (9,2 %) festgestellt werden. Ein geringerer Wert als 3 lag bei keinem Patienten vor.

3.4 Postoperative Röntgenaufnahmen

Auf den postoperativ aufgenommenen Röntgenbildern wurde die Dislokation der Fragmente nach medial, lateral, ventral und dorsal ausgemessen und das Vorliegen eines dislozierten Trochanter minors überprüft. Darüber hinaus wurde der CCD-Winkel am verletzten sowie am kontralateralen Femur ausgemessen und die Position der Klinge bei Versorgung der Fraktur mit einem PFNA bestimmt. Schließlich wurde die Qualität der Reposition beurteilt.

3.4.1 Dislokation der Fragmente

Durchschnittlich lag eine Dislokation nach medial von 4,63 (*SD* 4,51) mm, nach lateral von 5,99 (*SD* 5,45) mm, nach ventral von 6,24 (*SD* 5,64) mm und nach dorsal von 6,57 (*SD* 7,10) mm vor (siehe Tabelle 5). Da bei einzelnen Patienten keine lateralen postoperativen Aufnahmen vorhanden waren oder das Osteosynthesematerial die zu messenden Fragmentstellen überdeckte, konnte die Dislokation nicht bei allen Frakturen in alle Richtungen vermessen werden.

Tabelle 5: Dislokation der Fragmente in verschiedene Richtungen in mm.

Richtung der Dislokation	Anzahl (<i>n</i>)	Min	Max	<i>M</i>	<i>SD</i>
Medial	73	0	17	4.63	4.51
Lateral	73	0	21	5.99	5.45
Ventral	67	0	20	6.24	5.64
Dorsal	68	0	26	6.57	7.10

Der Trochanter minor war bei 43 Frakturen (56,6 %) disloziert und bei 33 Frakturen (43,4 %) intakt.

3.4.2 CCD-Winkel

Des Weiteren wurde auf der postoperativen Röntgenaufnahme der CCD-Winkel sowohl am verletzten als auch am kontralateralen unverletzten Femur ermittelt. Im Durchschnitt betrug der CCD-Winkel am kontralateralen Femur 129,97° (*SD* 6,05). Das Minimum lag bei 109,3°, das Maximum bei 143,2°. Der CCD-Winkel am verletzten Femur betrug im Mittel 125,08° (*SD* 7,00) mit einem Minimum von 104,2° und einem Maximum von 136,7° (siehe Abbildung 27).

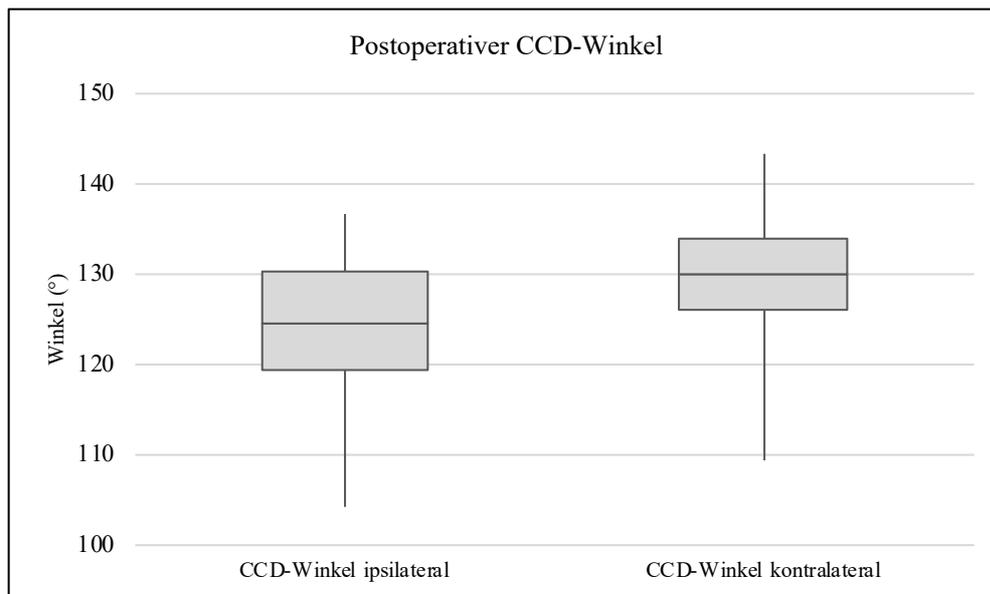


Abbildung 27: Postoperativer CCD-Winkel am verletzten und kontralateralen Femur.

Der CCD-Winkel am verletzten Femur war postoperativ durchschnittlich $124,78^\circ$ (95 %-CI[2.97, 6.59], SD 7,87) geringer als der Winkel am kontralateralen Femur. Dieser Unterschied war statistisch signifikant ($t(74) = -5.26, p < .001$).

3.4.3 Position der Klinge des PFNA

Die Position der Klinge im Femurkopf wurde für die mit einem PFNA versorgten Frakturen anhand der Tip-Apex-Distanz (52) und der Cleveland-Methode (57) bestimmt.

Die Tip-Apex-Distanz lag im Mittel bei 26,41 (SD 11,66) mm. Das Minimum betrug 8,88 mm, das Maximum 65,86 mm.

In der AP Aufnahme befand sich die Klingenspitze bei 27 Frakturen (40,9 %) im mittleren und bei 39 Frakturen (59,1 %) im superioren Drittel des Femurkopfs. Im lateralen Röntgenbild lag die Klingenspitze bei 21 Frakturen (31,8 %) im anterioren, bei 35 Frakturen (53,0 %) im mittleren und bei 2 Frakturen (3,0 %) im posterioren Drittel. Somit ergaben sich die in Abbildung 28 aufgelisteten Häufigkeiten der Klingenspositionen in den 9 von Cleveland et al. (57) definierten Bereichen des Femurkopfs.

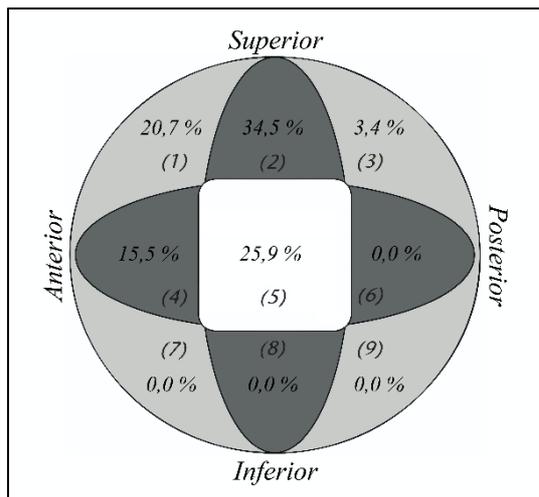


Abbildung 28: Häufigkeiten der Position der Klingenspitze im Femurkopf nach der Cleveland-Methode (57) (verändert nach (53)).

Überträgt man diese Ergebnisse in die von Caruso et al. (53) modifizierte Cleveland-Einteilung, so befinden sich die Klingenspitzen von 15 Frakturen (22,7 %) in der zentralen Zone, die von 29 Frakturen (43,9 %) in der peripheren Zone 1 und die von 14 Frakturen (21,2 %) in der peripheren Zone 2.

Da in 8 Fällen (12,1 %) kein laterales postoperatives Röntgenbild vorlag, konnte die Klingensposition nicht für alle mit einem PFNA versorgten Frakturen bestimmt werden.

3.4.4 Qualität der Reposition

Zuletzt wurde die Qualität der Fraktur-reposition nach der Methode von Baumgaertner et al. (52) beurteilt. Die Qualität der Reposition von 18 Frakturen (23,7 %) wurde als gut, von 38 Frakturen (50,0 %) als akzeptabel und von 20 Frakturen (26,3 %) als schlecht bewertet.

3.5 Radiologische Verlaufsaufnahmen

Die direkt (t = 01), 6 Wochen (t = 02), 3 Monate (t = 03) und 6 Monate (t = 04) nach der Operation sowie im weiteren Verlauf aufgenommenen Röntgenbilder wurden auf im Heilungsverlauf auftretende Veränderungen verschiedener Parameter, die im folgenden Abschnitt dargestellt werden, untersucht.

3.5.1 Distale Nachsinterung

Auf den Röntgenbildern, welche direkt, 6 Wochen, 3 Monate und 6 Monate postoperativ aufgenommen wurden, sowie auf dem aktuellsten vorliegenden Bild wurde jeweils die distale Nachsinterung der Fraktur ausgemessen.

Ein Friedman-Test zeigte, dass sich diese Werte im Heilungsverlauf signifikant unterscheiden ($\chi^2(4) = 33.55, p < .001, n = 16$). Mithilfe eines Bonferroni-korrigierten post-hoc-Tests konnte dieser Unterschied spezifiziert werden. So unterschied sich die durchschnittliche distale Nachsinterung, welche auf der jeweils aktuellsten Aufnahme ermittelt und somit als höchster und endgültiger Wert angenommen wurde, signifikant von der direkt postoperativ gemessenen ($z = -3.298, p = .010$, Effektstärke nach Cohen (64): $r = 0.83$) und von der 6 Wochen nach der Operation gemessenen distalen Nachsinterung ($z = -2.851, p = .044$, Effektstärke nach Cohen (64): $r = 0.71$). Eine Vergrößerung des Werts der distalen Nachsinterung im Heilungsverlauf konnte festgestellt werden (vgl. Tabelle 6 und Abbildung 29).

Tabelle 6: Nachsinterung nach distal in mm zu verschiedenen Zeitpunkten im Frakturheilungsverlauf.

Zeitpunkt (t)	Anzahl (n)	M	SD
Postoperativ (01)	16	0.00	0.00
6 Wochen postop. (02)	16	0.25	0.45
3 Monate postop. (03)	16	1.88	2.53
6 Monate postop. (04)	16	3.69	7.69
Gesamt	16	4.81	9.20

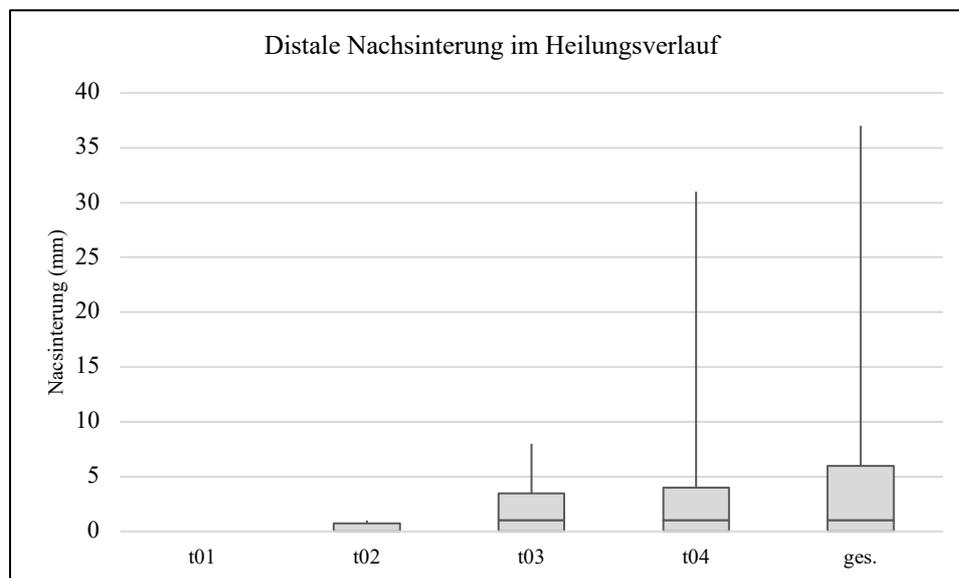


Abbildung 29: Distale Nachsinterung in mm im Verlauf der Frakturheilung (Werte aus den Ergebnissen des Friedman-Tests; ges. = gesamte Nachsinterung).

In den Friedman-Test und die anschließend durchgeführten post-hoc-Tests konnten nur die Frakturen inkludiert werden, für die zu allen Messzeitpunkten Röntgenaufnahmen vorlagen. Dies war nur bei 16 Frakturen (21,1 %) der Fall.

Um eine größere Anzahl an Frakturen vergleichen zu können und somit Ergebnisse mit höherer Aussagekraft zu erhalten, wurden zusätzlich die Mittelwerte der distalen Nachsinterung zu jeweils zwei Messzeitpunkten mithilfe eines gepaarten *t*-Tests verglichen (siehe Tabelle 7). Somit konnten alle Frakturen eingeschlossen werden, von welchen Röntgenbilder zu den jeweiligen zwei Messzeitpunkten vorhanden waren.

Tabelle 7: Vergleich der distalen Nachsinterung in mm zwischen je zwei verschiedenen Zeitpunkten T1 und T2.

T1	T2	Anzahl (n)	M T1	SD T1	M T2	SD T2	M Diff.	SD Diff.	Sign. (p)
t (01)	t (02)	55	0.00	0.00	0.78	1.87	0.78	1.87	.003
t (01)	t (03)	39	0.00	0.00	1.51	3.03	1.51	3.03	.003
t (01)	t (04)	36	0.00	0.00	2.31	5.31	2.31	5.31	.013
t (01)	ges.	68	0.00	0.00	2.43	5.24	2.43	5.24	.000
t (02)	t (03)	30	0.77	2.36	1.87	3.36	1.10	1.95	.004
t (02)	t (04)	26	0.31	0.55	3.00	6.12	2.69	6.09	.033
t (02)	ges.	55	0.78	1.87	2.82	5.73	2.09	5.50	.007
t (03)	t (04)	23	1.44	2.23	2.70	6.55	1.26	4.78	.219
t (03)	ges.	39	1.51	3.03	2.92	6.56	1.41	4.89	.079
t (04)	ges.	36	2.31	5.31	3.03	6.62	0.72	2.20	.057

T1 = 1. zu vergleichender Zeitpunkt; T2 = 2. zu vergleichender Zeitpunkt; Diff. = Differenz; t(01) = postoperativ; t(02) = 6 Wochen postop.; t(03) = 3 Monate postop.; t(04) = 6 Monate postop.; ges. = distale Nachsinterung insgesamt.

Der Mittelwert der direkt postoperativ gemessenen distalen Nachsinterung unterschied sich signifikant von dem 6 Wochen postoperativ ($t(54) = 3.10, p = .003$), 3 Monate postoperativ ($t(38) = 3.12, p = .003$), 6 Monate postoperativ ($t(35) = 2.60, p = .013$) und dem gesamt gemessenen Mittelwert ($t(67) = 3.82, p < .001$). Auch zwischen dem Mittelwert der distalen Nachsinterung, welcher 6 Wochen nach der Operation erfasst wurde, und den im weiteren Verlauf gemessenen Mittelwerten lagen jeweils signifikante Unterschiede vor ($t(29) = 3.08, p = .004$; $t(25) = 2.25, p = .033$; $t(54) = 2.82, p = .007$). Wie beim Friedman-Test konnte auch hier eine Zunahme des Werts für die distale Nachsinterung im Heilungsverlauf festgestellt werden. In der Abbildung 30 wird ein beispielhafter Verlauf der distalen Nachsinterung über 9 Monate dargestellt.



Abbildung 30: Radiologische Aufnahmen der distalen Nachsinterung bei einem Patienten mit subtrochantärer Femurfraktur direkt postoperativ sowie 3, 6 und 9 Monate (von links nach rechts) nach der Primärversorgung.

Beim Vergleich des Mittelwerts der insgesamt gemessenen distalen Nachsinterung der verheilten Frakturen ($n = 30$, $M = 0,97$ mm, $SD 1,71$) mit dem der verzögert beziehungsweise nicht verheilten Frakturen ($n = 38$, $M = 3,58$ mm, $SD 6,66$) anhand eines Welch-Tests konnte ebenfalls ein statistisch signifikanter ($t(43.06) = 2.32$, $p = .025$) Unterschied von durchschnittlich 2,61 mm (95%-CI[0.34, 4.88], $SD 1,13$) ermittelt werden. Verzögert beziehungsweise nicht verheilte Frakturen weisen demnach im Heilungsverlauf einen größeren Wert für die Nachsinterung nach distal auf.

3.5.2 CCD-Winkel

Der CCD-Winkel des verletzten Femurs wurde auf dem direkt postoperativ ($t=01$) sowie auf den 6 Wochen ($t=02$), 3 Monate ($t=03$) und 6 Monate ($t=04$) nach der Operation aufgenommenen Röntgenbildern ausgemessen.

Eine ANOVA mit Messwiederholung zeigte einen signifikanten Unterschied ($F(3, 54) = 20.04$, $p < .001$) zwischen den CCD-Winkeln zu verschiedenen Messzeitpunkten (siehe Tabelle 8).

Tabelle 8: CCD-Winkel (in °) am verletzten Femur zu verschiedenen Zeitpunkten im Frakturheilungsverlauf.

Zeitpunkt (t)	Anzahl (n)	M	SD
Postoperativ (01)	19	125.54	7.15
6 Wochen postop. (02)	19	121.01	6.29
3 Monate postop. (03)	19	120.54	6.67
6 Monate postop. (04)	19	119.46	7.59

Durch Bonferroni-korrigierte post-hoc-Tests konnte bestimmt werden, dass sich der CCD-Winkel direkt postoperativ von den CCD-Winkeln zu den Zeitpunkten $t = 02$, 03 und 04 signifikant

unterschieden (jeweils $p < .001$). Die CCD-Winkel zu den Zeitpunkten $t = 02$, $t = 03$ und $t = 04$ unterschieden sich untereinander nicht signifikant. Insgesamt verkleinerte sich der CCD-Winkel am verletzten Femur im Heilungsverlauf (vgl. Abbildung 31).

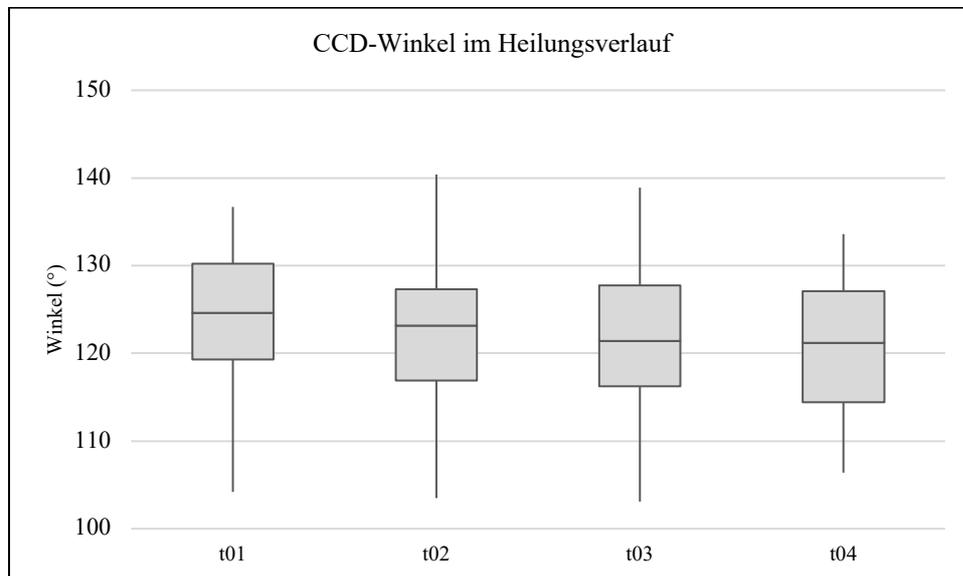


Abbildung 31: CCD-Winkel am verletzten Femur im Verlauf der Frakturheilung.

Da bei einer ANOVA mit Messwiederholung nur solche Frakturen eingeschlossen werden, für die der CCD-Winkel zu allen Messzeitpunkten bestimmt werden konnte, wurden auch hier, entsprechend der Vorgehensweise bei der distalen Nachsinterung, zusätzlich die Mittelwerte der CCD-Winkel von jeweils zwei Messzeitpunkten mithilfe eines gepaarten t -Tests verglichen.

Analog zum Ergebnis der ANOVA mit Messwiederholung war der Unterschied zwischen dem postoperativ gemessenen CCD-Winkel und den CCD-Winkeln zu den Zeitpunkten $t = 02$ ($t(57) = -6.73, p < .001$), $t = 03$ ($t(44) = -7.28, p < .001$) und $t = 04$ ($t(39) = -8.90, p < .001$) statistisch signifikant. Ebenfalls signifikant ($t(28) = -2.06, p = .048$) war der Unterschied zwischen dem CCD-Winkel, welcher 6 Wochen, und dem Winkel, welcher 6 Monate nach der Operation gemessen wurde (siehe Tabelle 9).

Tabelle 9: Vergleich des CCD-Winkels (in °) des verletzten Femurs zwischen je zwei verschiedenen Zeitpunkten T1 und T2.

T1	T2	Anzahl (n)	M T1	SD T1	M T2	SD T2	M Diff.	SD Diff.	Sign. (p)
t (01)	t (02)	58	125.73	6.91	122.47	7.07	3.26	3.69	.000
t (01)	t (03)	45	125.38	7.05	121.08	7.82	4.31	3.97	.000
t (01)	t (04)	40	125.92	6.60	120.56	7.47	5.36	3.81	.000
t (02)	t (03)	35	122.11	7.26	121.88	7.45	0.23	2.86	.631
t (02)	t (04)	29	122.55	6.57	121.08	7.43	1.48	3.85	.048
t (03)	t (04)	27	120.13	7.23	119.23	7.75	0.90	2.39	.062

T1 = 1. zu vergleichender Zeitpunkt; T2 = 2. zu vergleichender Zeitpunkt; Diff. = Differenz; t(01) = postoperativ; t(02) = 6 Wochen postop.; t(03) = 3 Monate postop.; t(04) = 6 Monate postop..

Über den gesamten Heilungsverlauf verringert sich der CCD-Winkel um durchschnittlich $4,52^\circ$ (SD $4,20$, Min $-3,70^\circ$, Max $17,80^\circ$). Es gab keinen statistisch signifikanten Unterschied hinsichtlich der Veränderung des CCD-Winkels im Heilungsverlauf zwischen der Gruppe der verheilten und der Gruppe der verzögert bzw. nicht verheilten Frakturen ($p = .858$). Ein Beispiel für die Veränderung des CCD-Winkels im Heilungsverlauf ist der Abbildung 32 zu entnehmen.



Abbildung 32: Radiologische Aufnahmen der Veränderung des CCD-Winkels im Verlauf der Frakturheilung zu den Zeitpunkten direkt postoperativ sowie 6 Wochen und 12 Monate (von links nach rechts) nach der Primärversorgung.

3.5.3 Dislokation der Fragmente

Zuletzt wurden die radiologischen Verlaufsaufnahmen auf eine Veränderung der Dislokation der Fragmente im Heilungsverlauf in die Richtungen medial, lateral, ventral und dorsal untersucht. Dabei konnte kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Messungen zu den verschiedenen Zeitpunkten nachgewiesen werden.

3.6 Komplikationsanalyse

Weiterhin sollen die im Verlauf der Frakturheilung aufgetretenen Komplikationen analysiert werden. Diese werden in allgemeine Komplikationen und spezielle, im Zusammenhang mit der Verletzung und ihrer Versorgung stehende Komplikationen unterteilt.

Um repräsentative Werte für die relativen Häufigkeiten einzelner Komplikationen zu erhalten, werden zunächst nur die Frakturen analysiert, die am Universitätsklinikum Regensburg primärversorgt worden sind. Auf die Frakturen, die in einer externen Klinik primärversorgt worden sind, soll am Ende dieses Kapitels eingegangen werden.

Während des stationären Aufenthalts, welcher im Zuge der Primärversorgung der Fraktur erfolgte, traten bei 6 Patienten (8,0 %) eine und bei einem Patienten (1,3 %) 2 allgemeine Komplikationen auf. Dabei handelte es sich in 4 Fällen (5,3 %) um eine kardiale Komplikation wie beispielsweise eine Tachyarrhythmia absoluta, in weiteren 3 Fällen (4,0 %) um eine pulmonale Komplikation wie zum Beispiel eine Pneumonie und in einem Fall (1,3 %) um ein thromboembolisches Ereignis. Cerebrovasculäre Komplikationen traten bei keinem der Patienten auf.

Innerhalb der ersten 2 Monate nach Primärversorgung der Fraktur traten bei 7 Patienten (9,9 %) interventionsbedürftige Komplikationen der Weichteile auf. 4 (5,6 %) dieser 7 Patienten erhielten aufgrund eines Kompartmentsyndroms der betroffenen Extremität eine entlastende Gewebe- und Faszienpaltung. Bei 2 Patienten (2,8 %) wurden anlässlich eines Abszesses im Operationsgebiet ein Wunddebridement und eine anschließende Vakuumtherapie durchgeführt und bei einem Patienten wurde ein Hämatom operativ ausgeräumt.

Zur Beschleunigung der Frakturheilung erhielten 10 Patienten eine Dynamisierung der Osteosynthese. Dabei wird die distale Verriegelungsschraube bei intramedullärer Marknagelung entfernt, um eventuelle Frakturspalten zu schließen und Kompression auf die Frakturflächen zu erzeugen. Von diesen 10 Frakturen heilte eine zeitgerecht innerhalb von 6 Monaten nach der Primärversorgung, insgesamt heilten 4 dieser Frakturen ohne weiteren Eingriff.

Spezielle, im Zusammenhang mit der Verletzung und ihrer Versorgung stehende Komplikationen, die eine Revisionsoperation erforderlich machen, traten bei 15 Frakturen (21,1 %) auf. Zur Bildung einer Pseudarthrose kam es in 5 Fällen (7,0 %); dies stellte somit die häufigste Komplikation dar. In 4 Fällen (5,6 %) dislozierte die Fraktur im Rahmen eines Implantatversagens (siehe Abbildung 33), bei 2 Frakturen (2,8 %) lagen sekundäre Rotationsfehlstellungen vor.

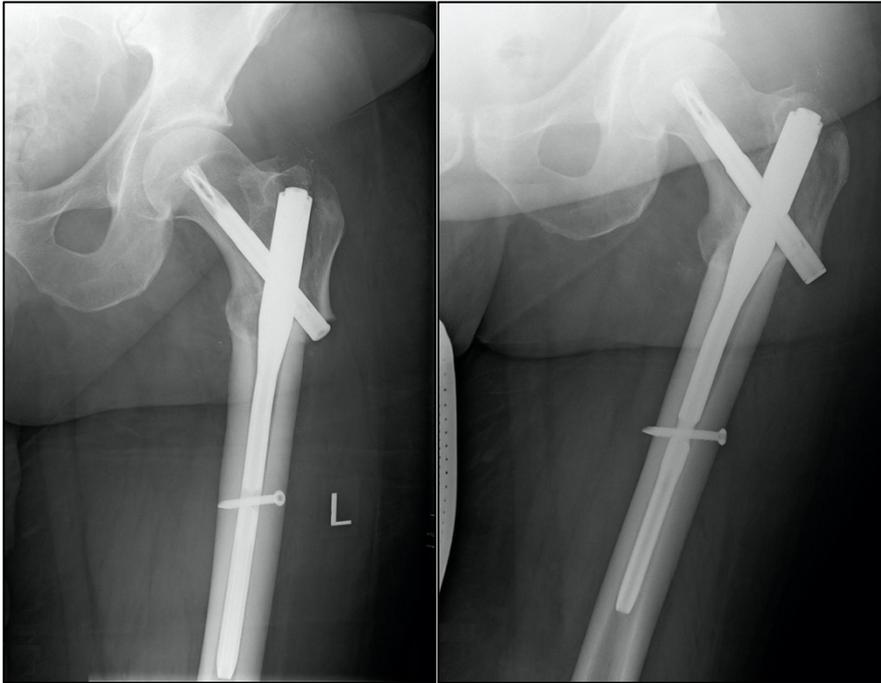


Abbildung 33: Vergleich eines direkt postoperativ (links) und im Heilungsverlauf (rechts) aufgenommenen anterior-posterioren Röntgenbilds: Varisches Abkippen der Fraktur bei Implantatversagen.

Jeweils eine Fraktur (1,4 %) musste aufgrund einer tiefen Infektion, einer periimplantären Fraktur (siehe Abbildung 34) und einem Ausschneiden der Klinge aus dem Femurkopf revidiert werden. Das Ausschneiden der Klinge fand jedoch nicht wie bei pertrochantären Frakturen üblich nach kranial, sondern in das Hüftgelenk statt (siehe Abbildung 35). Der Grund für die Revision einer weiteren Fraktur war nicht bekannt, da diese an einer externen Klinik revidiert wurde.



Abbildung 34: Anterior-posteriore Röntgenbild einer periimplantären Fraktur.

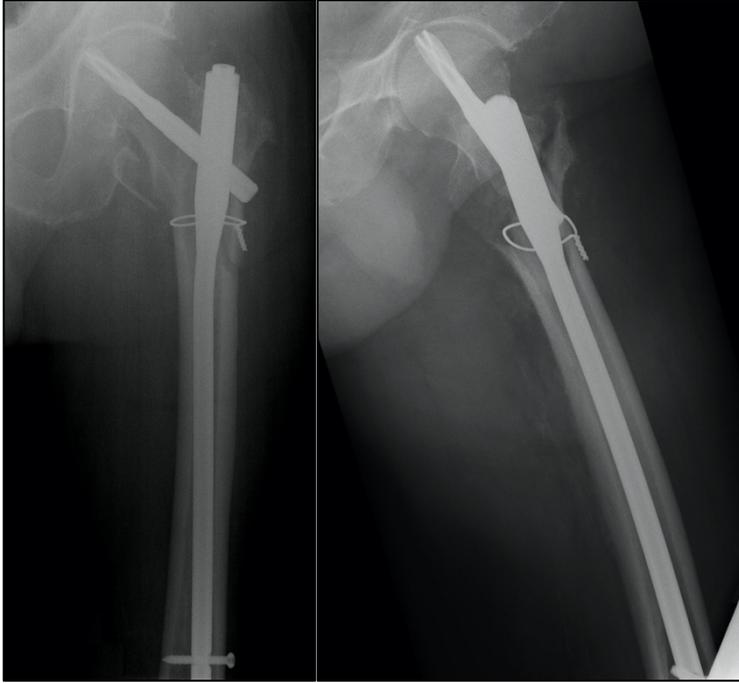


Abbildung 35: Anterior-posteriores (links) und laterales (rechts) Röntgenbild einer aus dem Femurkopf in das Hüftgelenk ausgeschnittenen Klinge des PFNA.

Eine exakte Aufschlüsselung der aufgetretenen Komplikationen sowie der anschließend angewandten Revisionsverfahren ist der Tabelle 10 zu entnehmen.

Tabelle 10: Auflistung der ersten aufgetretenen Komplikation, des ersten durchgeführten Revisionsverfahrens sowie der Anzahl der Revisionen der einzelnen am Universitätsklinikum Regensburg primärversorgten Patienten.

Patient Nr.	Komplikation	Revisionsverfahren	Anzahl der Revisionen
01	Pseudarthrose	Reosteosynthese (extramedullär), demineralisierte Knochenmatrix	4
09	Fraktur- & Implantatdislokation	Reosteosynthese (extramedullär)	2
12	Tiefe Infektion	Hüft-Totalendoprothese	1
34	Pseudarthrose	Reosteosynthese (extramedullär), autologe Spongiosaplastik	1
38	Klingendislokation ins Hüftgelenk	Neuimplantation der Klinge	5
54	Pseudarthrose	Reosteosynthese (intramedullär), autologe Spongiosaplastik	1
59	Unbekannt (extern)	Reosteosynthese (extramedullär)	Unbekannt
63	Rotationsfehlstellung	Derotation, Reposition der distalen Verriegelung	1
65	Pseudarthrose	Reosteosynthese (intramedullär)	1
82	Fraktur- & Implantatdislokation	Reosteosynthese (extramedullär)	3
84	Rotationsfehlstellung	Derotation, Reposition der distalen Verriegelung	1
98	Fraktur- & Implantatdislokation	Reosteosynthese (intramedullär)	2
102	Pseudarthrose	Reosteosynthese (extramedullär), demineralisierte Knochenmatrix	1
145	Fraktur- & Implantatdislokation	Reosteosynthese (extramedullär)	3
154	Periimplantäre Fraktur	Reosteosynthese (intramedullär)	1

6 dieser 15 Frakturen mussten aufgrund von verschiedenen Komplikationen wie Pseudarthrosen, Implantatbrüchen oder erneuter Frakturierung mehrmals revidiert werden. Die höchste Anzahl an Revisionen lag bei einem Patienten bei 4 gelenkerhaltenden Revisionen, anschließend wurde dieser mit einer Hüft-Totalendoprothese versorgt. Die Heilungsverläufe einzelner Patienten sollen im Kapitel 3.10 (Einzelfallanalysen) genauer dargestellt werden.

Insgesamt 5 Patienten, die in die vorliegende Studie inkludiert wurden, wurden an externen Kliniken primärversorgt und kamen erst aufgrund von Komplikationen zur Revisionsoperation an die Universitätsklinik Regensburg. Die Fraktur eines dieser Patienten wurde lediglich dynamisiert, um die Frakturheilung zu beschleunigen. Die Fraktur heilte innerhalb von 6 Monaten

nach der Primärversorgung und somit zeitgerecht. Eine genaue Dokumentation der durchgeführten Revisionsoperationen der anderen 4 Patienten sowie der Gründe für diese ist der folgenden Tabelle (Tabelle 11) zu entnehmen.

Tabelle 11: Auflistung der ersten aufgetretenen Komplikation, des ersten durchgeführten Revisionsverfahrens sowie der Anzahl der Revisionen der einzelnen extern primärversorgten Patienten.

Patient Nr.	Komplikation	Revisionsverfahren	Anzahl der Revisionen
15	Pseudarthrose	Reosteosynthese (intramedullär), autologe Spongiosaplastik	2
49	Fraktur- & Implantatdislokation	Neuimplantation der Klinge, Zementaugmenta-tion	3
89	Implantatbruch	Reosteosynthese (intramedullär)	2
112	keine	Dynamisierung durch Entfernung der distalen Verriegelungsschraube	0
153	Periimplantäre Fraktur	Reosteosynthese (extramedullär)	1

3.7 Frakturheilung

Eine Fraktur wurde als verheilt gewertet, sobald auf einer radiologischen Verlaufsaufnahme ein RUSH-Score von mindestens 22 ermittelt wurde.

Von den 71 Frakturen, die an der Universitätsklinik Regensburg primärversorgt wurden, konnte bei 45 Frakturen (59,2 %) eine Frakturheilung ohne Revisionseingriff (abgesehen von Dynamisierungen) dokumentiert werden. 30 Frakturen (42,3 %) verheilten innerhalb der ersten 6 Monate nach der Primärversorgung und somit zeitgerecht. Nach 9 Monaten waren 31 Frakturen (43,7 %), nach 12 Monaten 36 Frakturen (50,7 %) verheilt. 9 weitere Frakturen heilten erst über ein Jahr nach der Operation.

Der mittlere RUSH-Score zum Zeitpunkt von 6 Monaten nach Primärversorgung lag bei 21,47 (*SD* 4,82, *Min* 10, *Max* 30). In der Gruppe der verheilten Frakturen betrug er 25,40 (*SD* 2,65) und war damit signifikant größer als der mittlere RUSH-Score der zu diesem Zeitpunkt nicht verheilten Frakturen ($M = 17,41$, $SD = 2,71$, $t(57) = 11.46$, $p < .001$).

Bei 27 Frakturen (38,0 %) konnte keine Heilung nach der Primärversorgung dokumentiert werden. 15 dieser Frakturen (21,1 %) mussten revidiert werden. Von diesen 15 Frakturen heilten 6 nach einer Revision und jeweils eine Fraktur nach 2, 3 und 4 Revisionsoperationen. Ein Patient starb 2 Monate nach der Revisionsoperation an einem Sepsisgeschehen bei infiziertem Mark-nagel. Bei 3 Patienten wurde ein Gelenkersatz in Form einer Hüft-Totalendoprothese implan-tiert, wobei nur 2 dieser 3 Patienten davor bereits gelenkerhaltend revidiert wurden. Bei 2 Patienten war eine tiefe Infektion die Indikation für den Gelenkersatz, bei einem Patienten ein

erneutes Osteosyntheseversagen bei schlechter Knochenqualität. 2 Patienten gingen der Nachbeobachtung nach ihrem Revisionseingriff verloren, sodass keine Aussage über die weitere Frakturheilung getroffen werden kann.

Von den 12 Frakturen, bei denen weder eine Frakturheilung noch eine Revisionsoperation dokumentiert waren, waren 9 Frakturen zum Zeitpunkt 6 Monate nach der Primärversorgung noch nicht verheilt und können somit als Pseudarthrose klassifiziert werden. Die anderen 3 Frakturen gingen nach der Mindestbeobachtungszeit von 3 Monaten verloren, sodass für diese Frakturen keine Aussage über die weitere Frakturheilung getroffen werden kann.

Eine Übersicht des Heilungsverlaufs der am UKR primärversorgten Frakturen kann der Abbildung 36 entnommen werden.

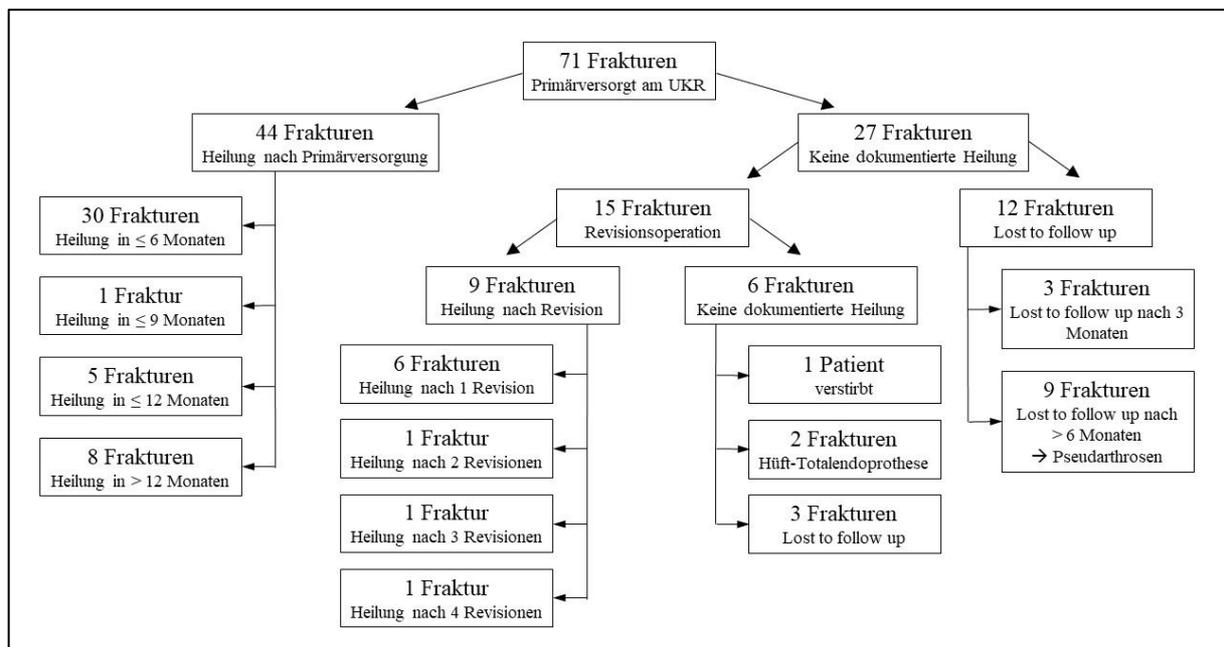


Abbildung 36: Flowchart zum Verlauf der Frakturheilung der am Universitätsklinikum Regensburg primärversorgten subtrochantären Femurfrakturen.

Die Heilungsdauer ist die Zeit zwischen dem Datum der primärversorgenden Operation und dem Datum der Röntgenaufnahme, auf der ein RUSH-Score von mindestens 22 ermittelt wurde. Sie wurde nur bei Frakturen, die ohne großen Revisionseingriff verheilt sind, berechnet. Weiterhin gab es 4 Patienten, die erst mehr als 2 Jahre nach der primärversorgenden Operation zur radiologischen Kontrolle ins UKR gekommen sind. Dadurch ergaben sich sehr lange Heilungsdauern, wobei davon auszugehen ist, dass die Frakturheilung bereits viel früher erfolgte. Aufgrund dieser extremen Werte und der hohen Wahrscheinlichkeit, dass diese nicht die wahre

Heilungsdauer wiedergeben, wurden die 4 Patienten von der Berechnung der mittleren Heilungsdauer und der Testung von Einflüssen auf die Heilungsdauer (s. Kapitel 3.9) ausgeschlossen.

Durchschnittlich verheilten die Frakturen nach 181,83 (*SD* 132,18) Tagen (entspricht 25,98 Wochen bzw. 5,98 Monaten). Die kürzeste Heilungsdauer beträgt 41 Tage, die längste 608 Tage.

Ergänzend wurde der Anteil der verheilten Frakturen sowie die mittlere Heilungsdauer unter Ausschluss der pathologischen Frakturen und unter Ausschluss der mit einem extramedullären Implantat versorgten Frakturen ermittelt. Bei Exklusion der pathologischen Frakturen heilen 62,9 % der Frakturen in durchschnittlich 179,26 (*SD* 117,79) Tagen. Betrachtet man nur die mit einem intramedullären Implantat versorgten Frakturen, so liegt die Rate der verheilten Frakturen bei 59,7 %. Die mittlere Heilungsdauer dieser Gruppe liegt bei 187,72 (*SD* 132,90) Tagen.

Von den 5 Patienten, die erst zur Revision ans UKR kamen, erhielt ein Patient lediglich eine Dynamisierung des PFNA. Die Fraktur dieses Patienten heilte bereits 3 Monate nach der primärversorgenden Operation. Die anderen 4 Patienten erhielten aufgrund verschiedener Komplikationen große Revisionsoperationen. Eine Fraktur heilte innerhalb von 6 Monaten nach dieser Revisionsoperation, 2 Frakturen heilten erst nach einer zweiten Revisionsoperation und bei einer Fraktur waren 3 Revisionsoperationen indiziert, bis es zur Frakturheilung kam.

3.8 Risikofaktoren für verzögerte oder ausbleibende Frakturheilung

Die Frakturen, welche innerhalb der ersten 6 Monate nach der primärversorgenden Operation verheilten, wurden mit solchen verglichen, deren Frakturheilung verzögert erfolgte oder ausblieb. Es wurde untersucht, ob Unterschiede hinsichtlich verschiedener Variablen zwischen den beiden Gruppen vorlagen.

3.8.1 Patientenbezogene Variablen

Zunächst wurden die beiden Gruppen auf Unterschiede in den das Patientenkollektiv beschreibenden Variablen getestet. Von diesen Variablen lag unter anderem ein Unterschied zwischen den Gruppen hinsichtlich des Alters der Patienten zum Unfallzeitpunkt vor. Die Patienten, deren Fraktur verheilte, waren durchschnittlich 52,06 Jahre (*SD* 19,05) alt, die Patienten mit verzögerter bzw. ausbleibender Frakturheilung 60,76 Jahre (*SD* 19,18). Dieser Unterschied war jedoch nicht statistisch signifikant ($t(74) = -1.95, p = .055$).

Das Geschlecht ($\chi^2(1) = 0.16, p = .690$) sowie der Body Mass Index ($t(69) = -1.39, p = .169$) der Patienten unterschied sich nicht statistisch signifikant. Ebenso konnte kein signifikanter Unterschied zwischen dem ASA Status der Patienten der beiden Gruppen festgestellt werden (Mann-Whitney-*U*-Test: $z = -0.836, p = .403$).

Bei 77,8 % der Frakturen von Patienten, welche an Diabetes mellitus erkrankt waren, konnte eine verzögerte bzw. ausbleibende Frakturheilung beobachtet werden. Bei den Patienten ohne Diabetes mellitus heilten in 59,2 % der Fälle ihre Frakturen nicht. Ebenso verhielt es sich bei den Frakturen von medikamentös antikoagulierten Patienten. 77,8 % der Frakturen dieser Patienten verheilten verzögert oder nicht, während 53,4 % der Frakturen der Patienten ohne Antikoagulation verzögert oder nicht verheilten. Diese beiden ermittelten Unterschiede waren jedoch ebenfalls nicht statistisch signifikant (jeweils $\chi^2(1) = 3.37, p = .067$). Des Weiteren konnte kein Zusammenhang zwischen dem Vorliegen einer einzelnen Komorbidität oder einer die Frakturheilung potenziell beeinflussenden Medikation und einer verzögerten oder ausbleibenden Frakturheilung nachgewiesen werden. Auch die Anzahl an Komorbiditäten oder medikamentösen Therapien unterschied sich nicht zwischen den beiden Gruppen.

3.8.2 Frakturbezogene Variablen

Anschließend wurden die beiden Gruppen auf Unterschiede in den frakturbezogenen Variablen geprüft.

Es lag kein statistisch signifikanter Unterschied in der Wartezeit bis zur primärversorgenden Operation ($t(67) = -0.98, p = .329$) vor. Auch die postoperative Belastung der betroffenen Extremität unterschied sich nicht signifikant zwischen den beiden Gruppen (Mann-Whitney-*U*-Test: $z = -0.874, p = .382$).

Keine aussagekräftigen Ergebnisse konnten bei der Untersuchung von Unterschieden zwischen den beiden Gruppen in Bezug auf die alte und neue AO-Frakturklassifikation und die Seinsheimer Frakturklassifikation erzielt werden. Diese Klassifikationen haben so viele Kategorien, dass die Anzahl der Frakturen je Kategorie zu gering war, um statistisch signifikante Aussagen zu treffen. Für die Russel-Taylor-Klassifikation, welche nur 4 Kategorien umfasst, konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den Kategorien bezüglich erfolgreicher oder nicht erfolgreicher Frakturheilung nachgewiesen werden ($\chi^2(3) = 1.33, p = .721$).

Da nur bei 5,3 % der Frakturen extramedulläre Osteosyntheseverfahren zum Einsatz kamen, war auch diese Anzahl zu gering, um statistisch signifikante Aussagen bezüglich der Auswirkung des Osteosyntheseverfahrens auf die Frakturheilung zu treffen.

Bei Versorgung mit einem PFNA unterschied sich weder die genaue Länge eines solchen in mm ($t(50.885) = -1.66, p = .102$), noch die Häufigkeit der kurzen (Länge ≤ 240 mm) bzw. der langen (Länge > 240 mm) Nägel signifikant zwischen den beiden Gruppen ($\chi^2(1) = 2.96, p = .085$). Weiterhin konnte kein statistisch signifikanter Unterschied in der Art der Reposition ($\chi^2(1) = 0.03, p = .875$), der Versorgung mit oder ohne Cerclagen ($\chi^2(1) = 0.77, p = .380$) sowie der Anzahl der Cerclagen (Mann-Whitney-U-Test: $z = -1.102, p = .271$) zwischen den verheilten und den verzögert bzw. nicht verheilten Frakturen festgestellt werden.

3.8.3 Radiologisch ermittelte Variablen

Weiterhin wurden die beiden Gruppen auf Unterschiede hinsichtlich der Variablen, welche durch Vermessung der radiologischen Aufnahmen erhoben wurden, getestet.

Die beiden Gruppen unterschieden sich nicht signifikant in ihrem Osteoporosegrad, welcher mithilfe des Singh Index am kontralateralen Femur ermittelt wurde (Mann-Whitney-U-Test: $z = -0.006, p = .996$).

Der durchschnittliche CCD-Winkel am betroffenen Femur auf dem postoperativ aufgenommenen Röntgenbild war in der Gruppe der verzögert bzw. nicht verheilten Frakturen signifikant geringer als der in der Gruppe der verheilten Frakturen ($t(73) = 2.51, p = .014$) (vgl. Abbildung 37). Der CCD-Winkel betrug bei den verzögert bzw. nicht verheilten Frakturen im Mittel $123,44^\circ$ ($SD 6,87$), bei den verheilten Frakturen $127,42^\circ$ ($SD 6,61$). Die mittlere Differenz lag bei $3,96^\circ$ ($95\%-CI[0.81, 7.14], SD 1,59$).

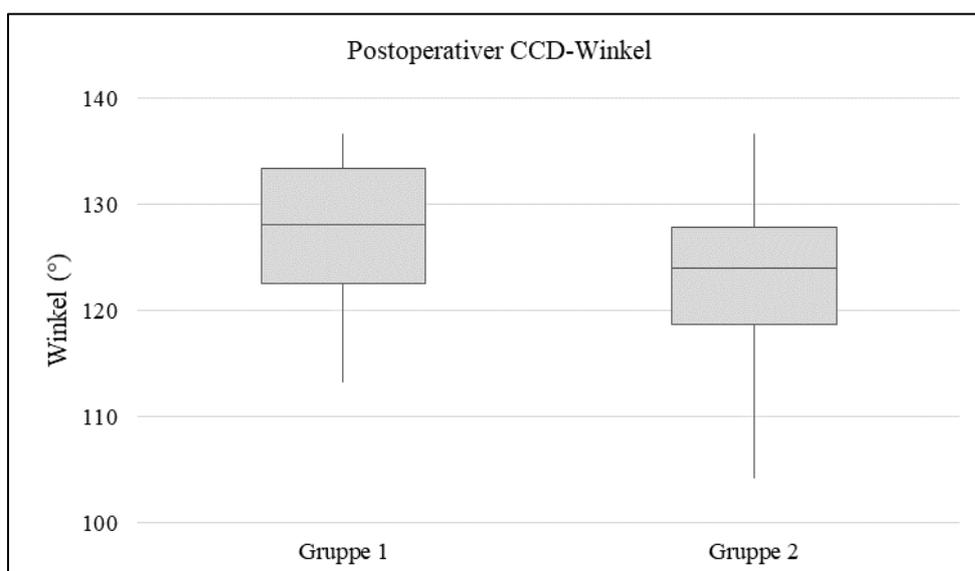


Abbildung 37: Postoperativer CCD-Winkel des verletzten Femurs in der Gruppe der verheilten (Gruppe 1) und der Gruppe der verzögert bzw. nicht verheilten Frakturen (Gruppe 2).

Ebenfalls statistisch signifikant war der Unterschied des CCD-Winkels am kontralateralen und somit unverletzten Femur ($t(74) = 2.14, p = .035$). Dieser lag in der Gruppe der verheilten Frakturen durchschnittlich bei $131,72^\circ$ ($SD\ 6,17$) und war im Mittel $2,96^\circ$ (95%-CI[0.21, 5.70], $SD\ 1,38$) größer als der durchschnittliche kontralaterale CCD-Winkel der verzögert oder nicht verheilten Frakturen ($M = 128,76^\circ, SD\ 5,73$) (vgl. Abbildung 38).

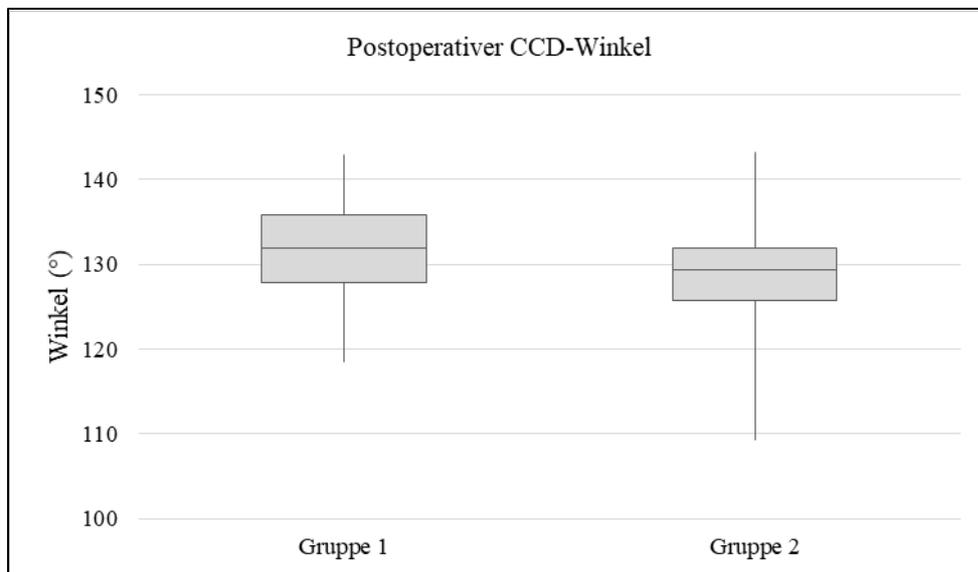


Abbildung 38: Postoperativer CCD-Winkel des kontralateralen, unverletzten Femurs in der Gruppe der verheilten (Gruppe 1) und der Gruppe der verzögert bzw. nicht verheilten Frakturen (Gruppe 2).

Kein statistisch signifikanter Unterschied konnte zwischen der Gruppe der verheilten und der verzögert bzw. nicht verheilten Frakturen für die Tip-Apex-Distanz ($t(60) = -1.16, p = .252$) und die Position der Klinge nach der ursprünglichen sowie der modifizierten Cleveland-Methode ($\chi^2(4) = 3.58, p = .466; \chi^2(2) = 2.85, p = .241$) nachgewiesen werden. Auch das Vorliegen eines dislozierten Trochanter minors wirkte sich nicht auf die Gruppenzugehörigkeit aus ($\chi^2(1) = 1.34, p = .247$).

Die Dislokation der Fragmente nach medial, lateral, ventral und dorsal, welche auf den postoperativ entstandenen Röntgenaufnahmen gemessen wurde, unterschied sich zwischen den beiden Gruppen. Jedoch waren die Unterschiede in keine der angegebenen Richtungen statistisch signifikant (siehe Tabelle 12).

Tabelle 12: Vergleich der Gruppe der verheilten Frakturen (Gruppe 1) und der Gruppe der verzögert bzw. nicht verheilten Frakturen (Gruppe 2) hinsichtlich der Dislokation der Fragmente nach medial, lateral, ventral und dorsal.

Dislokation	Gruppe 1			Gruppe 2			Sign. (p)
	n	M	SD	n	M	SD	
Medial	31	3.71	4.38	42	5.31	4.53	.135
Lateral	31	5.68	6.62	42	6.21	4.48	.698
Ventral	26	4.65	5.60	41	7.24	5.49	.066
Dorsal	27	4.67	6.20	41	7.83	7.44	.072

Anhand eines Mann-Whitney-U-Tests konnte nachgewiesen werden, dass die Qualität der Reposition nach Baumgaertner bei den verzögert bzw. nicht verheilten Frakturen statistisch signifikant schlechter war als bei den verheilten Frakturen ($z = -2.555$, $p = .007$, Effektstärke nach Cohen (64): $r = .29$) (vgl. Abbildung 39).

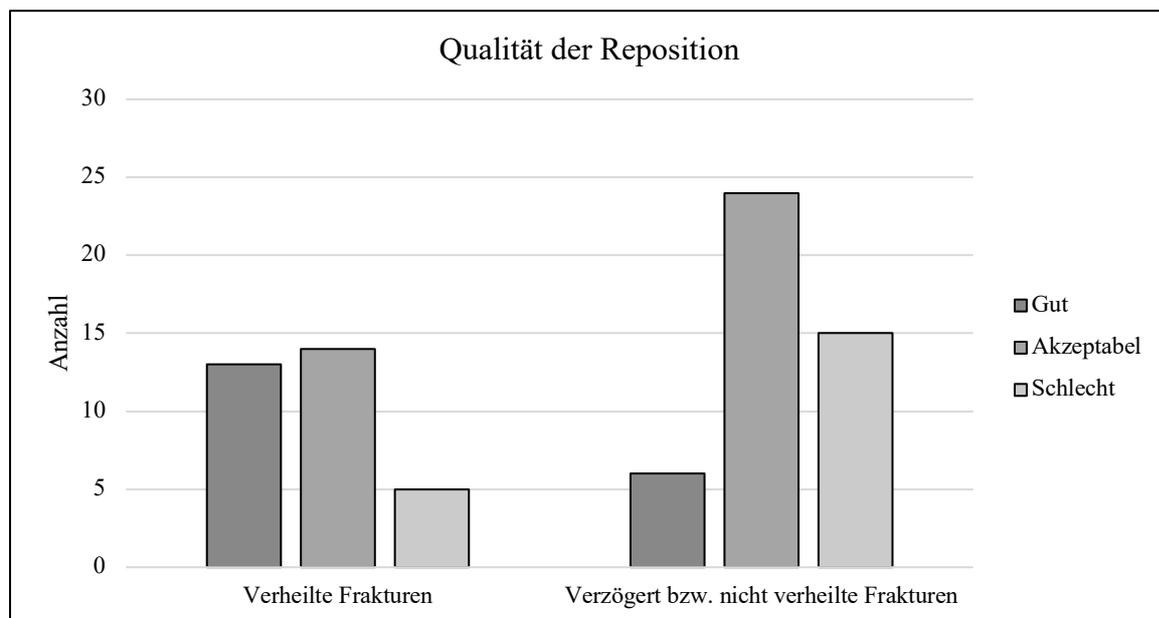


Abbildung 39: Auf den postoperativen Röntgenaufnahmen ermittelte Qualität der Reposition nach Baumgaertner (52) bei verheilten und verzögert bzw. nicht verheilten Frakturen.

Zuletzt wurden alle Variablen auch unter Ausschluss pathologischer Frakturen und ein weiteres Mal unter Ausschluss der mit einem extramedullären Osteosyntheseverfahren versorgten Frakturen getestet, um Verzerrungen der Ergebnisse durch Inklusion ebendieser Untergruppen auszuschließen.

Unter Ausschluss der pathologischen Frakturen war der Unterschied des CCD-Winkels am kontralateralen, unverletzten Femur zwischen der Gruppe der verheilten ($n = 26$, $M = 131,21^\circ$, $SD 5,91$) und der Gruppe der verzögerten bzw. ausbleibenden Frakturheilung ($n = 36$, $M = 128,74^\circ$, $SD 6,0$) nicht statistisch signifikant ($t(60) = 1.61$, $p = .113$).

Darüber hinaus gab es zwar einen Unterschied zwischen den beiden Gruppen hinsichtlich der Qualität der Reposition (siehe Abbildung 40), dieser war unter Ausschluss der pathologischen Frakturen jedoch ebenfalls nicht mehr statistisch signifikant (Mann-Whitney-U-Test: $z = -1.758, p = .079$).

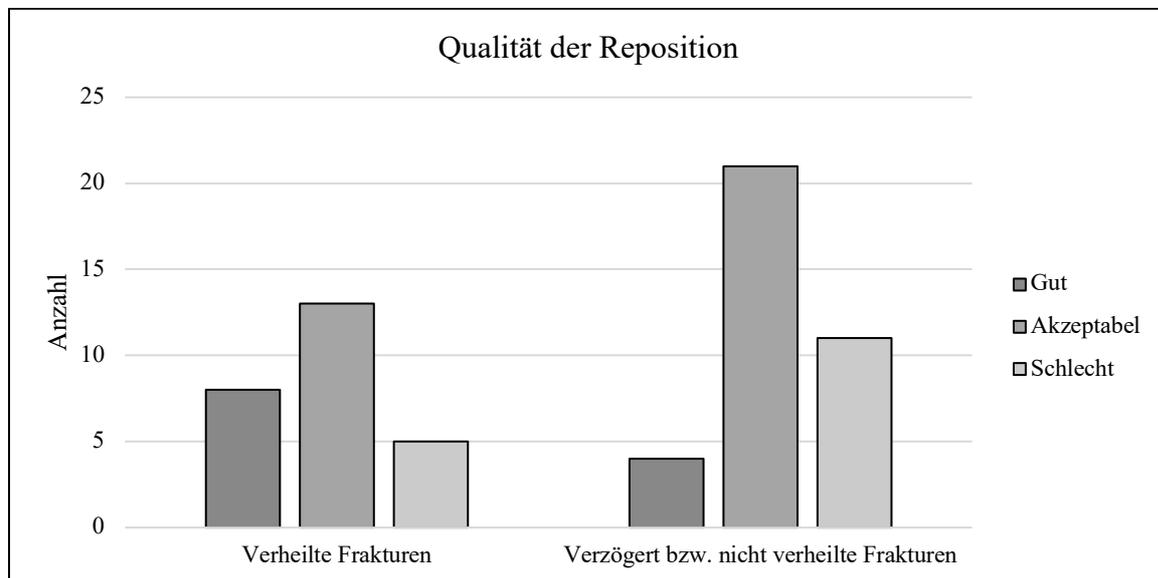


Abbildung 40: Auf den postoperativen Röntgenaufnahmen ermittelte Qualität der Reposition nach Baumgaertner (52) bei verheilten und verzögert bzw. nicht verheilten Frakturen unter Ausschluss der pathologischen Frakturen.

Bei der Testung der restlichen Variablen unter Ausschluss der pathologischen Frakturen sowie bei der Testung aller Variablen unter Ausschluss der mit einer extramedullären Osteosynthese versorgten Frakturen kam es zu keiner Veränderung der Signifikanz der bereits beschriebenen Ergebnisse.

3.9 Zusammenhang verschiedener Variablen und der Frakturheilungsdauer

Zuletzt wurde untersucht, welche der erhobenen Variablen die Dauer der Frakturheilung beeinflussen. In diese Berechnung wurden solche Patienten eingeschlossen, deren Frakturen unmittelbar nach der Primärversorgung oder nach Durchführung einer Dynamisierung, in Form von Entfernung des distalen Bolzens bei intramedullärer Versorgung, verheilt sind. Analog zur Vorgehensweise bei der Berechnung der Frakturheilungsdauer (s. Kapitel 3.7) wurden 4 Patienten aus diesen Tests ausgeschlossen, da die radiologischen Verlaufsaufnahmen dieser Patienten erst mehr als 2 Jahre nach der Operation entstanden sind und somit mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht die wahre Frakturheilungsdauer anzeigen.

Durch eine einfache Regression konnte nachgewiesen werden, dass der postoperative CCD-Winkel am verletzten Femur einen signifikanten Einfluss auf die Dauer der Frakturheilung hat

($F(1, 39) = 5.23, p = .028, r = 0.37$). Je kleiner der CCD-Winkel postoperativ war, desto länger war die Frakturheilungsdauer. Dies entspricht nach Cohen (64) einem mittleren Effekt.

Ein Kruskal-Wallis-Test weist nach, dass die Qualität der Reposition einen signifikanten Einfluss auf die Frakturheilungsdauer hat ($H(2) = 10.407, p = .011$). Anschließend durchgeführte Post-hoc-Tests (Dunn-Bonferroni-Tests) zeigen, dass sich die Frakturheilungsdauer in den Gruppen der guten und der akzeptablen ($z = -2.620, p = .026, r = 0.44$) sowie der guten und der schlechten Qualität der Reposition ($z = -2.547, p = .033, r = 0.60$) signifikant unterscheidet, so dass daraus gefolgert werden kann, dass lediglich eine gute Qualität der Reposition die Dauer der Frakturheilung verkürzt (vgl. Abbildung 41).

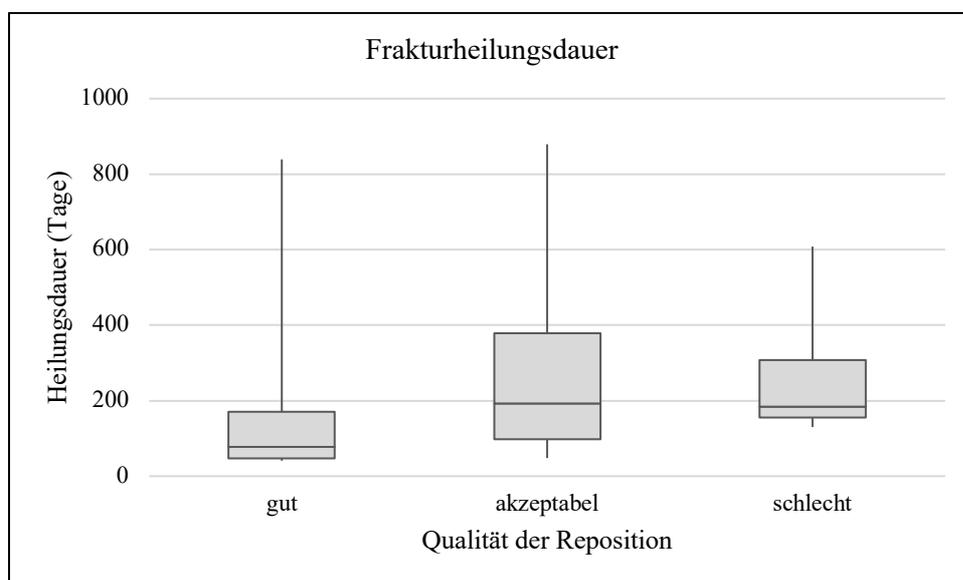


Abbildung 41: Dauer der Frakturheilung in Tagen in Abhängigkeit von der Qualität der Reposition der Fraktur.

Bei der Testung der anderen erhobenen Variablen, wie beispielsweise dem Alter oder dem gesundheitlichen Zustand der Patienten, der Frakturklassifikation sowie der Position der Klinge, konnte kein Einfluss auf die Dauer der Frakturheilung nachgewiesen werden.

3.10 Einzelfallanalysen

Im folgenden Kapitel sollen zur Veranschaulichung komplizierter Heilungsverläufe bei subtrochantären Femurfrakturen 2 Einzelfälle skizziert werden. Hierfür wurden besonders aussagekräftige Fälle aus dem Patientenkollektiv ausgewählt.

Der erste Patient ist männlich und zog sich im Alter von 80 Jahren im Rahmen eines Verkehrsunfalls eine subtrochantäre Femurfraktur links sowie eine offene Fraktur des distalen Unterschenkels links zu. Beide Frakturen wurden noch am Unfalltag operiert. Die subtrochantäre

Fraktur wurde geschlossen reponiert und mit einem PFNA (Länge 240 mm, Durchmesser 10 mm) versorgt (siehe Abbildung 42). Im Anschluss an den 13-tägigen stationären Aufenthalt wurde eine Teilbelastung von 15 kg für 6 Wochen empfohlen.



Abbildung 42: Fallanalyse 1, Röntgenaufnahmen der subtrochantären Femurfraktur: Anterior-posterior präoperativ (links), anterior-posterior direkt postoperativ (Mitte) und lateral direkt postoperativ (rechts).

3 Monate postoperativ stellte sich der Patient zur klinischen und radiologischen Verlaufskontrolle vor. Bei einem RUSH-Score von 12 und freier Beweglichkeit der unteren Extremität wurde eine schmerzadaptierte Belastungssteigerung empfohlen. Sowohl bei der Verlaufskontrolle 6 Monate postoperativ als auch 8 Monate postoperativ konnte bei zunehmenden Bewegungs- und Belastungsschmerzen keine knöcherne Konsolidierung der Fraktur festgestellt werden, sodass eine Pseudarthrose diagnostiziert und die Indikation zur Revision gestellt wurde (siehe Abbildung 43).



Abbildung 43: Fallanalyse 1, Röntgenaufnahmen der subtrochantären Femurfraktur: Anterior-posterior 8 Monate postoperativ (links) und lateral 8 Monate postoperativ (rechts).

In der Revisionsoperation wurde die Pseudarthrose offen reseziert. Anschließend wurde die Fraktur durch eine autologe Spongiosaplastik mit Material aus dem Femurschaft sowie Knochenersatzmaterial gefüllt und unter Kompression mit einem dickeren PFNA (Länge 240 mm, Durchmesser 12 mm) und statischer distaler Verriegelung versorgt (siehe Abbildung 44).



Abbildung 44: Fallanalyse 1, Röntgenaufnahmen der subtrochantären Femurfraktur nach der Revisionsoperation: Anterior-posterior direkt postoperativ (links) und lateral direkt postoperativ (rechts).

Erneut wurde im Anschluss an den 12-tägigen stationären Aufenthalt eine Teilbelastung von 15 kg für 6 Wochen empfohlen. Unter regelmäßiger klinischer und radiologischer Kontrolle konnte bei Beschwerdefreiheit eine Belastungssteigerung durchgeführt und 6 Monate nach der Revisionsoperation bei einem RUSH-Score von 25 die Frakturheilung festgestellt werden (siehe Abbildung 45).



Abbildung 45: Fallanalyse 1, Röntgenaufnahmen der subtrochantären Femurfraktur nach der Revisionsoperation: Anterior-posterior 6 Monate postoperativ (links) und lateral 6 Monate postoperativ (rechts).

Der zweite Fall ist eine 49-jährige weibliche Patientin mit vorbekannter Osteoporose und Diabetes mellitus Typ II, die bei einem häuslichen Sturz auf die linke Hüfte eine subtrochantäre Fraktur am linken Femur erlitt. Die Fraktur wurde am Unfalltag minimalinvasiv mit Hilfe einer Zange reponiert und mit einem PFNA (Länge 340 mm, Durchmesser 10 mm) mit statischer distaler Verriegelung versorgt (siehe Abbildung 46). Nach einem stationären Aufenthalt von 8 Tagen wurde die Patientin mit einer empfohlenen Teilbelastung von 15 kg über 6 Wochen in eine stationäre Anschlussbehandlung entlassen.



Abbildung 46: Fallanalyse 2, Röntgenaufnahmen der subtrochantären Femurfraktur: Anterior-posterior präoperativ (links), anterior-posterior 6 Wochen postoperativ (Mitte) und lateral 6 Wochen postoperativ (rechts).

6 Monate nach der Primärversorgung wurde bei unzureichender Durchbauung des Frakturspalts (RUSH Score 17) eine operative Dynamisierung durchgeführt. Dennoch kam es im weiteren Verlauf nicht zur Frakturheilung, sodass 11 Monate nach der Primärversorgung eine Pseudarthrose diagnostiziert und die Indikation zur Reosteosynthese gestellt wurde. Nach der Entfernung des Implantats wurde die Pseudarthrose offen reseziert und mit einer winkelstabilen 9-Loch 95°-Kondylenplatte versorgt. Zusätzlich wurde aus dem Beckenkamm der Patientin entnommene Spongiosa sowie Knochenersatzmaterial angelagert (siehe Abbildung 47). Nach einem 10-tägigen stationären Aufenthalt wurde die Patientin erneut unter einer Teilbelastung von 15 kg in die stationäre Anschlussbehandlung entlassen.

2 Monate nach der Revisionsoperation verspürte die Patientin ein „plötzliches Knacksen“ in der linken Hüfte und stellte sich in der interdisziplinären Notaufnahme vor. Aufgrund eines radiologisch diagnostizierten Plattenbruchs wurde die Indikation zur zweiten Revisionsoperation gestellt (siehe Abbildung 47).



Abbildung 47: Fallanalyse 2, Röntgenaufnahmen der subtrochantären Femurfraktur nach der 1. Revisionsoperation: Anterior-posterior 6 Wochen postoperativ (links), lateral 6 Wochen postoperativ (Mitte) und anterior-posterior 2 Monate postoperativ (rechts).

In der noch am selben Tag stattfindenden Operation wurde das Implantat entfernt, nekrotisches Gewebe debridiert und die Fraktur angefrischt. Es wurde erneut eine winkelstabile 9-Loch 95°-Kondylenplatte eingesetzt, demineralisierte Human-Knochenmatrix angelagert und zusätzlich ein Gentamycin-Schwamm in den Markraum eingebracht. Die Patientin wurde nach 11 Tagen aus der stationären Behandlung entlassen und wurde angewiesen, die betroffene Extremität mit 15 kg teilzubelasten.

6 Wochen postoperativ stellte sich die Patientin zur ambulanten Verlaufskontrolle vor; radiologisch konnte zu diesem Zeitpunkt eine beginnende Kallusbildung (RUSH Score 16) festgestellt werden (siehe Abbildung 48).

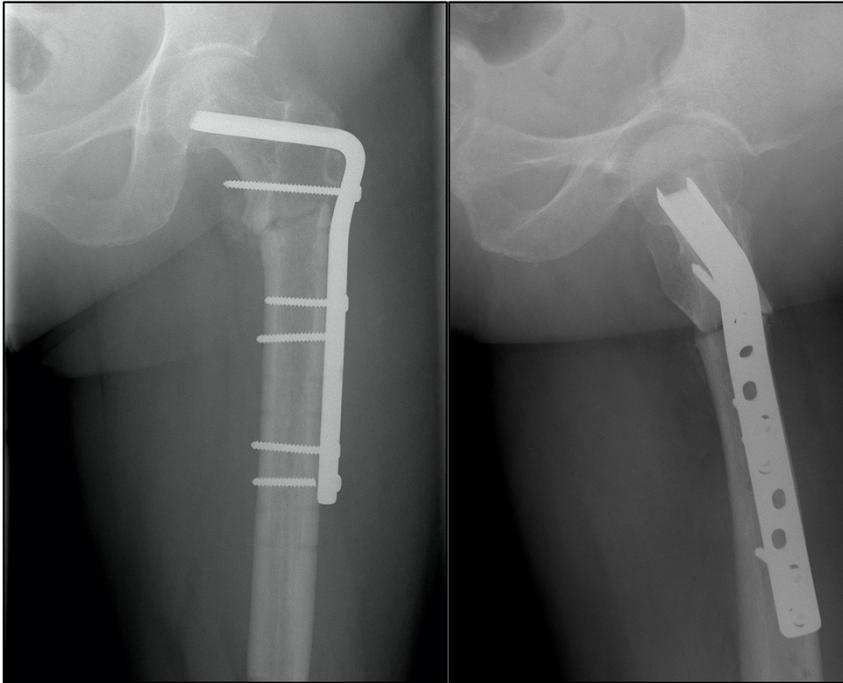


Abbildung 48: Fallanalyse 2, Röntgenaufnahmen der subtrochantären Femurfraktur nach der 2. Revisionsoperation: Anterior-posterior 6 Wochen postoperativ (links) und lateral 6 Wochen postoperativ (rechts).

3 Monate nach der zweiten Revision verspürte die Patientin erneut ein „Knacksen“ in der linken Hüfte. In den Röntgenaufnahmen stellte sich eine Refrakturierung bei Implantatversagen und Ausriss der Schrauben dar, sodass die Indikation zur dritten Revisionsoperation gestellt wurde (siehe Abbildung 49).

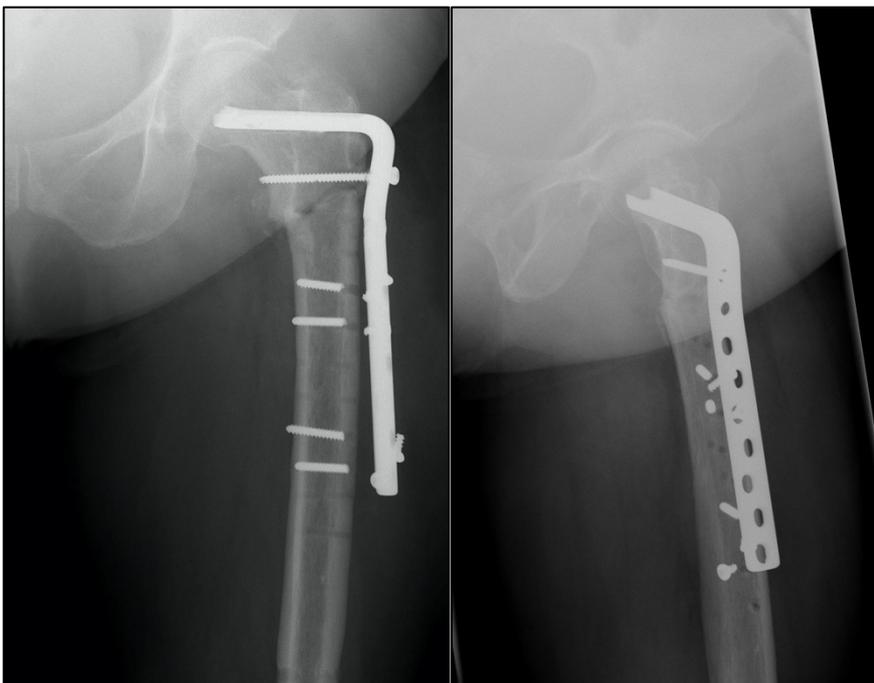


Abbildung 49: Fallanalyse 2, Röntgenaufnahmen der subtrochantären Femurfraktur nach der 2. Revisionsoperation: Anterior-posterior 3 Monate postoperativ (links) und lateral 3 Monate postoperativ (rechts).

Das Implantat wurde entfernt und die Fraktur angefrischt. Anschließend wurde eine winkelstabile 12-Loch 95°-Kondylenplatte mit einer längeren Klinge eingebracht, welche zur Kompression des pseudarthrotischen Bereichs gespannt wurde, und knochenmorphogenetisches Protein (BMP) zur Anregung des Knochenwachstums im Frakturbereich angelagert (siehe Abbildung 50). Nach einem 12-tägigen stationären Aufenthalt wurde die Patientin mit der Empfehlung zur Teilbelastung der betroffenen Extremität von 15 kg entlassen.

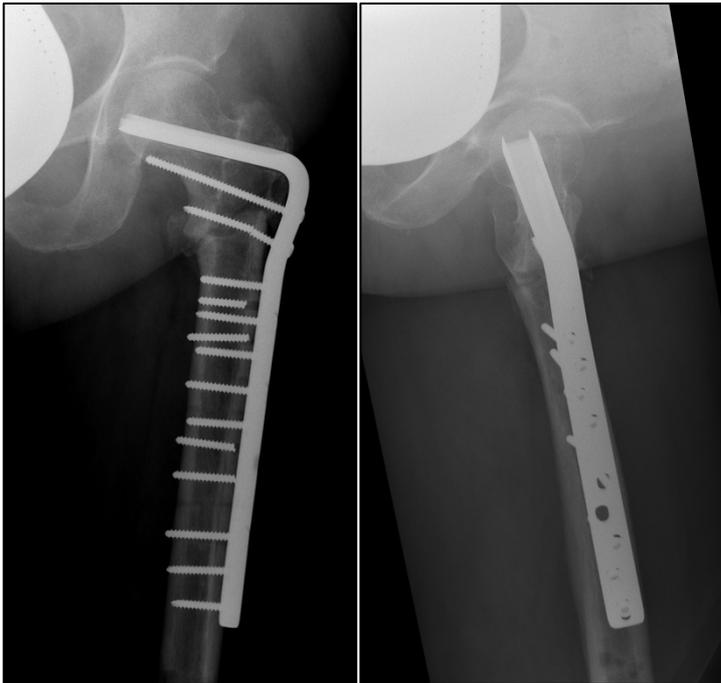


Abbildung 50: Fallanalyse 2, Röntgenaufnahmen der subtrochantären Femurfraktur nach der 3. Revisionsoperation: Anterior-posterior 6 Wochen postoperativ (links) und lateral 6 Wochen postoperativ (rechts).

In der ambulanten Verlaufskontrolle, die 2 Monate postoperativ stattfand, stellte sich die Fraktur zunehmend konsolidiert dar. Einen Monat später stellte sich die Patientin mit verstärkten Schmerzen in der linken Hüfte vor, ein Trauma war nicht erinnerlich. In der radiologischen Kontrolle zeigte sich ein weiteres Mal ein Implantatbruch, weshalb die Indikation zur vierten Revisionsoperation gestellt wurde (siehe Abbildung 51).

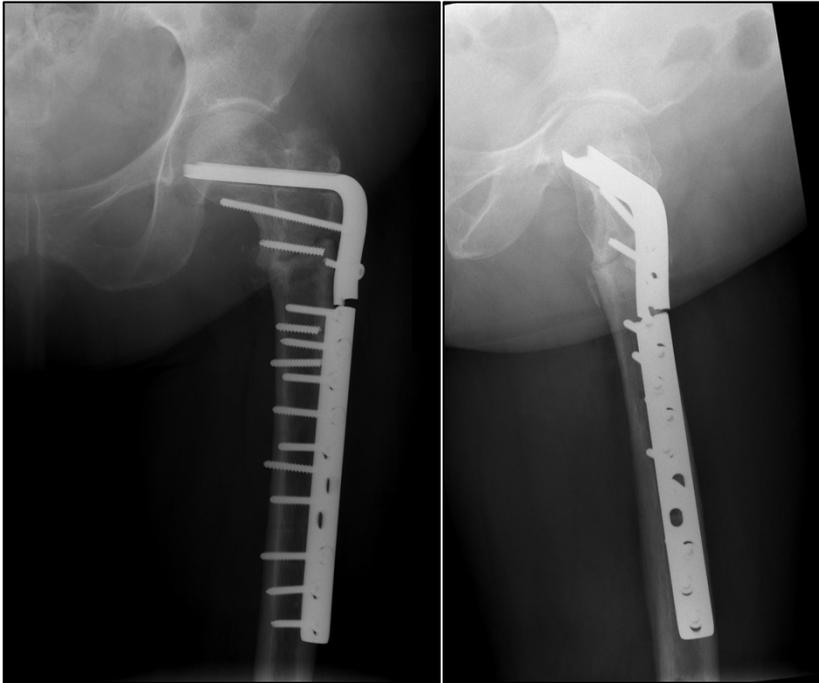


Abbildung 51: Fallanalyse 2, Röntgenaufnahmen der subtrochantären Femurfraktur nach der 3. Revisionsoperation: Anterior-posterior 2 Monate postoperativ (links) und lateral 2 Monate postoperativ (rechts).

Wiederholt wurde das Implantat entfernt und der Bereich der Pseudarthrose angefrischt. Unter Kompression des pseudarthrotischen Bereichs wurde eine winkelstabile 9-Loch 95°-Kondylenplatte eingebracht, die durch eine an der ersten Platte fixierten DCP-Platte (Dynamic Compression Plate) verstärkt wurde. Zusätzlich wurde eine um 90 Grad versetzte LCP-Platte (Locking Compression Plate) an der dorsalen Seite des Femurs eingesetzt (siehe Abbildung 52). Die Patientin blieb 13 Tage in stationärer Behandlung, eine Teilbelastung von 20 kg wurde empfohlen.

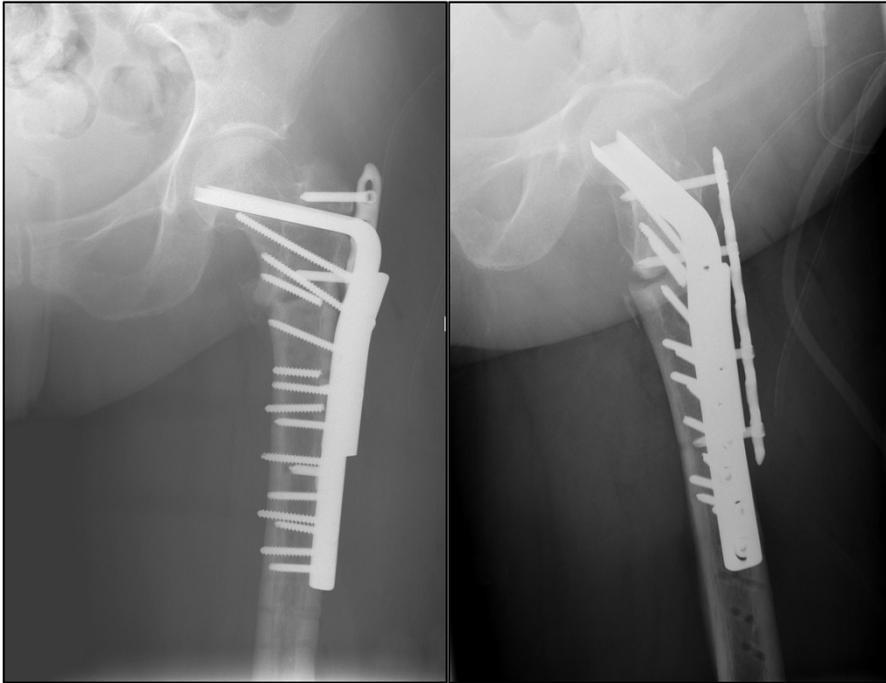


Abbildung 52: Fallanalyse 2, Röntgenaufnahmen der subtrochantären Femurfraktur nach der 4. Revisionsoperation: Anterior-posterior direkt postoperativ (links) und lateral direkt postoperativ (rechts).

In den ambulanten Verlaufskontrollen 2, 3 und 4 Monate postoperativ gab die Patientin Schmerzen und eine eingeschränkte Beweglichkeit an. Bei zunehmenden Schmerzen, weiterhin bestehender Bewegungseinschränkung und einem neu aufgetretenen Bruch der winkelstabilen Platte wurde 12 Monate nach der vierten Revisionsoperation die Indikation zum Gelenkersatz in Form einer Hüft-Totalendoprothese gestellt (siehe Abbildung 53).

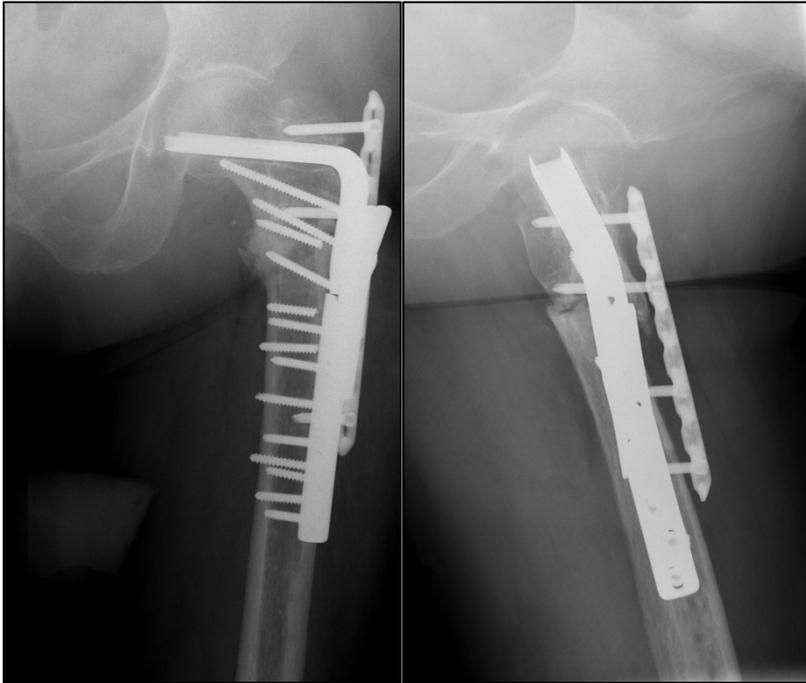


Abbildung 53: Fallanalyse 2, Röntgenaufnahmen der subtrochantären Femurfraktur nach der 4. Revisionsoperation: Anterior-posterior 12 Monate postoperativ (links) und lateral 12 Monate postoperativ (rechts).

4 Diskussion

Im Folgenden sollen eine Übersicht über die zentralen Ergebnisse dieser Studie gegeben und relevante Vorstudien zur Thematik vorgestellt werden, um anschließend die Ergebnisse dieser Studie in den aktuellen Stand der Literatur einzuordnen und zu diskutieren.

4.1 Überblick über die Ergebnisse der vorliegenden Studie

In der vorliegenden Studie wurde der Heilungsverlauf von subtrochantären Femurfrakturen und der Einfluss verschiedener Risikofaktoren auf die Frakturheilung sowie auf das Auftreten von Komplikationen untersucht.

Die erste Hypothese, ein zu kurzer PFNA sei ein Risikofaktor für verzögerte bzw. ausbleibende Frakturheilung, wurde in dieser Studie widerlegt. Der Länge des PFNA konnte weder ein Einfluss auf die Frakturheilungsdauer noch auf die Zugehörigkeit zur Gruppe der verheilten oder der verzögert bzw. nicht verheilten Frakturen nachgewiesen werden.

Die zweite Hypothese, eine qualitativ schlechte Reposition sei ein Risikofaktor für verzögerte bzw. ausbleibende Frakturheilung, konnte bestätigt werden. Die Qualität der Reposition der Frakturen, welche nach der Methode von Baumgaertner (52) bewertet wurde, war in der Gruppe der Frakturen mit verzögerter oder ausbleibender Frakturheilung signifikant schlechter ($p = .011$). Darüber hinaus konnte ein statistisch signifikanter Zusammenhang ($p = .034$) zwischen einer guten Repositionsqualität und einer kürzeren Frakturheilungsdauer gezeigt werden.

Ebenfalls bestätigt werden konnte die dritte Hypothese, ein varischer CCD-Winkel sei ein Risikofaktor für verzögerte bzw. ausbleibende Frakturheilung. Der postoperative CCD-Winkel des verletzten Femurs war in der Gruppe der Frakturen mit verzögerter bzw. ausbleibender Heilung signifikant geringer ($p = .014$) als der Winkel in der Gruppe der verheilten Frakturen. Des Weiteren zog ein varischer CCD-Winkel eine längere Frakturheilungsdauer mit sich.

Verifiziert werden konnte auch die vierte Hypothese, die sekundäre Dislokation stelle sich nicht wie bei pertrochantären Frakturen als Verkürzung des Schenkelhalses, sondern als Beinverkürzung auf Schaftniveau dar. Die Beinverkürzung auf Schaftniveau wurde in Form der distalen Nachsinterung gemessen, welche im Verlauf der Frakturheilung signifikant zunahm ($p < .001$). Darüber hinaus manifestierte sich in der Gruppe der verzögert bzw. nicht verheilten Frakturen, verglichen mit der Gruppe der verheilten Frakturen, eine signifikant größere ($p = .025$) distale Nachsinterung.

Ferner wurde das Ausmaß und die Lokalisation der sekundären Fragmentdislokation untersucht. Es konnte keine statistisch signifikante Veränderung der Dislokation nach ventral, dorsal, medial oder lateral im Heilungsverlauf belegt werden. Der CCD-Winkel am verletzten Femur hingegen verkleinerte sich innerhalb der ersten 6 Monate nach der Operation signifikant ($p < .001$), sodass von einer sekundären Dislokation in Form eines varischen Abkippens des Femurchafts ausgegangen werden kann.

Den weiteren erhobenen Variablen, wie dem BMI, ASA Status, den Komorbiditäten, der Medikation und der postoperative Belastung konnte weder ein Einfluss auf die Dauer der Frakturheilung noch auf die Zugehörigkeit zur Gruppe der verheilten oder der verzögert bzw. nicht verheilten Frakturen nachgewiesen werden.

4.2 Überblick über relevante Vorstudien zur Thematik

Um die durch die vorliegende Studie erlangten Ergebnisse in den Kontext des aktuellen Wissensstandes einzuordnen, sollen nachfolgend der Aufbau und die Ergebnisse von drei relevanten Vorstudien zur Thematik vorgestellt werden.

Kashigar et al. (50) untersuchten in ihrer retrospektiven Studie 62 inter-, 13 subtrochantäre und 2 Frakturen mit inter- und subtrochantärer Komponente, die in einem Zeitraum zwischen Februar 2003 und April 2013 mit einem intramedullären Nagel versorgt wurden. Pathologische Frakturen wurden von der Studie ausgeschlossen. Es wurde geprüft, ob verschiedene Faktoren wie demographische Variablen, die TAD und CalTAD (53), die Position der Klinge, der CCD-Winkel sowie die Qualität der Reposition nach Baumgaertner (52), einen Einfluss auf das Auftreten eines Ausschneidens der Klinge aus dem Femurkopf haben.

Die 77 Frakturen verteilten sich auf 73 Patienten, davon 15 Männer und 62 Frauen mit einem durchschnittlichen Alter von 77,6 Jahren. Bei 13,0 % der Frakturen trat im Verlauf der Frakturheilung ein Ausschneiden der Klinge aus dem Femurkopf auf, subtrochantäre Frakturen waren davon jedoch nicht betroffen. Dennoch konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den inter- und subtrochantären Frakturen festgestellt werden. Einen signifikanten Einfluss auf das Klingenausschneiden konnte einer höheren TAD, einer höheren CalTAD, einer varischen Abweichung des ipsilateralen CCD-Winkels im Vergleich zum kontralateralen Femur und einer superioren Platzierung der Klingenspitze im Femurkopf in der AP Röntgenaufnahme nachgewiesen werden (50). Die Qualität der Reposition nach Baumgaertner (52) hingegen hatte keinen signifikanten Einfluss.

Obwohl kein signifikanter Unterschied zwischen inter- und subtrochantären Frakturen aufgezeigt werden konnte, wurde diskutiert, dass sich subtrochantäre Frakturen im Gegensatz zu intertrochantären Frakturen biomechanisch eher wie Schaftfrakturen als wie Hüftfrakturen verhalten.

In einer retrospektiven Studie von Suckel et al. (39) wurden 335 Patienten mit proximalen extraartikulären Femurfrakturen, die mit einer intramedullären Osteosynthese versorgt wurden, in die folgenden 3 Gruppen unterteilt: 67 Frakturen waren einfache trochantäre Femurfrakturen, 204 Frakturen intertrochantäre Trümmerfrakturen und 64 Frakturen subtrochantäre Frakturen. 82 der Patienten waren männlich und 253 weiblich, im Mittel waren sie 83 Jahre alt. In der Gruppe der subtrochantären Frakturen befanden sich 19 männliche und 45 weibliche Patienten mit einem durchschnittlichen Alter von 81 Jahren.

Ziel der Studie war die Exploration von Unterschieden zwischen den Gruppen in der Häufigkeit von materialbezogenen Komplikationen, iatrogenen Komplikationen, Wundheilungsstörungen sowie dem Überleben nach der Operation (39).

Insgesamt traten 64 materialbezogene Komplikationen auf, von denen 60 zu einer Revision führten, und 30 Frakturversorgungen zogen Wundheilungsstörungen mit sich. Das Ausschneiden der Klinge aus dem Femurkopf konnte nur in der Gruppe der intertrochantären Trümmerfrakturen beobachtet werden (39).

Suckel et al. (39) stellten fest, dass sich subtrochantäre Femurfrakturen in ihrem Komplikationsprofil von den anderen Gruppen unterscheiden, da sie über ein stabiles proximales Hauptfragment aus Femurkopf, Schenkelhals und Trochanter major verfügen. Darüber hinaus handelt es sich in der subtrochantären Region um eine kortikale Knochenstruktur, während der intertrochantäre Bereich hauptsächlich aus Spongiosa besteht. Aus diesem Grund kommt es am subtrochantären Femur nur selten zu osteoporosebedingten Frakturen. In der Gruppe der subtrochantären Frakturen traten in 6,1 % eine Pseudarthrosenbildung, in 3,1 % intraoperative Schaftfrakturen und in 7,8 % Wundheilungsstörungen in Form von Hämatomen und Infektionen auf. Die gesamte Komplikationsrate betrug 17,0 %.

Eine Studie von Hoskins et al. (5) untersuchte retrospektiv 135 subtrochantäre Femurfrakturen, die zwischen Juli 2007 und Januar 2014 mit einem intramedullären Nagel versorgt wurden. Von der Studie ausgeschlossen wurden pathologische sowie segmentale Frakturen. Die Patienten wurden je nach ihrer Versorgung mit oder ohne Cerclagedrähte in zwei Gruppen unterteilt und miteinander verglichen. Das Auftreten von großen Komplikationen wie das Versagen der Fragmentfixierung, ausbleibende Heilung oder Implantatversagen wurde als Endpunkt definiert.

Darüber hinaus wurde die Frakturreposition in Form von der Dislokation und der Winkelbildung der Fragmente auf dem anterior-posterioren und dem lateralen Röntgenbild gemessen und nach einer modifizierten Form der Qualität der Reposition nach Baumgaertner (52) beurteilt. Auch der Einfluss der Tip-Apex-Distanz sowie des Nageltyps und der Nagellänge auf das Auftreten einer großen Komplikation wurden geprüft.

39,0 % der Patienten waren männlich und 61,0 % weiblich, im Mittel waren sie 68 Jahre alt. 14,8 % der 135 Patienten wurden mit einem Cerclagedraht versorgt. Bei keinem dieser Patienten trat im Verlauf eine große Komplikation auf, während bei 15,2 % der offen reponierten Frakturen ohne Cerclagedraht und bei 8,8 % der geschlossen reponierten Frakturen das Auftreten einer solchen zu verzeichnen war (5).

Beim Vergleich der Gruppe, bei welcher eine große Komplikation auftrat, und der Gruppe ohne große Komplikationen fiel ein signifikant höherer Grad an Fragmentdislokation und -distraction auf. Jedoch gab es keinen Unterschied in der Winkelbildung, der modifizierten Qualität der Reposition, der Tip-Apex-Distanz, dem Nageltyp und der Nagellänge sowie dem Einsatz von Verriegelungsbolzen (5).

Hoskins et al. (5) folgerten daraus, dass die anatomische Reposition einer subtrochantären Femurfraktur der Schlüssel zum Erfolg sei. Cerclagedrähte unterstützen die Heilung, da ein Einsatz solcher die postoperative Dislokation der Fragmente verringert. Ist bei der Versorgung einer subtrochantären Femurfraktur keine qualitativ gute geschlossene Reposition zu erreichen, sollte offen reponiert werden und, insofern das Bruchbild der Fraktur dies zulässt, Cerclagedrähte eingebracht werden.

4.3 Diskussion der Methoden

Zunächst sollen die in der vorliegenden Studie eingesetzten Methoden diskutiert werden.

Das retrospektive Design der Studie bringt einige Limitationen mit sich. Da die für die Studie relevanten Daten aus bereits bestehenden Aufzeichnungen erhoben worden sind, können Fehler durch eine unzureichende und nicht standardisierte Dokumentation nicht ausgeschlossen werden. Auch eventuelle Confounder können aufgrund unzureichender oder ausbleibender Dokumentation nicht untersucht und validiert werden. Weitere Verzerrungen sind möglich, da die Patienten von unterschiedlichen Behandlern aufgenommen, untersucht, operiert und weiterbehandelt worden sind. Es liegt kein standardisiertes Behandlungsprotokoll vor, durch welches die Vergleichbarkeit der Behandlungsverläufe garantiert werden kann.

Eine weitere Folge des retrospektiven Designs ist die mangelnde Kontrollierbarkeit der in der Nachbeobachtung verloren gegangenen Patienten. Mögliche Gründe für eine ausbleibende Wiedervorstellung der Patienten können entweder ein komplikationsloser und den Patienten zufriedenstellender Heilungsverlauf oder aber die Vorstellung in einer anderen Klinik aufgrund von aufgetretenen Komplikationen sein, sodass die in dieser Studie erhobene Komplikationsrate in beide Richtungen verzerrt sein könnte.

Die Studienpopulation bestand trotz des Studienzeitraums von 10 Jahren aus einem, aufgrund der relativ geringen Inzidenz subtrochantärer Femurfrakturen, kleinen Patientenkollektiv. Um signifikantere Aussagen über das Verhalten der Frakturen mit verzögerter oder ausbleibender Frakturheilung treffen zu können, wurden auch solche Patienten in die Studie eingeschlossen, die erst zur Revision ans Universitätsklinikum Regensburg gekommen sind. Somit bildet das Studienkollektiv nicht das durchschnittliche Patientenkollektiv mit subtrochantären Femurfrakturen ab, da der Anteil der komplikationsreichen Verläufe höher ist. Dies wurde in der Berechnung der Komplikationsraten (siehe Kapitel 3.6) jedoch berücksichtigt. Auch bereits vorliegende Studien über subtrochantäre Femurfrakturen sind durch geringe Patientenzahlen gekennzeichnet. Kashigar et al. (50) untersuchten 15 subtrochantäre Frakturen, Suckel et al. (39) 64 Frakturen und Hoskins et al. (5) hatten mit 135 Frakturen ein verhältnismäßig großes Patientenkollektiv.

Überdies ist zu beachten, dass das Patientenkollektiv früherer Studien (4,31,50,53,54,56) häufig aus wenigen Patienten mit subtrochantären und zahlreichen Patienten mit peritrochantären Frakturen besteht, sodass die Ergebnisse dieser Studien, insofern sie nicht für beide Frakturtypen getrennt ausgewertet wurden, nicht repräsentativ für die isolierte Betrachtung subtrochantärer Frakturen sind.

Des Weiteren unterscheidet sich die vorliegende Studienpopulation von der in vergleichbaren Studien durch die Inklusion von Patienten mit pathologischen Frakturen. Da subtrochantäre Frakturen nicht selten in Zusammenhang mit krankhaft vorbeschädigtem Knochen auftreten, ist eine Untersuchung des Heilungsverhaltens und der Komplikationen pathologischer Frakturen sinnvoll. In den Studien von Kashigar et al. (50), Suckel et al. (39) und Hoskins et al. (5) stellte das Vorliegen einer pathologischen Fraktur ein Ausschlusskriterium dar. Um das Verhalten pathologischer Frakturen in einen direkten Vergleich mit nicht-pathologischen Frakturen zu setzen, war die Anzahl pathologischer Frakturen in der vorliegenden Studie zu gering. Jedoch wurden alle statistischen Tests unter Ausschluss der pathologischen Frakturen wiederholt, um die nur durch die pathologischen Frakturen bedingten Ergebnisse zu identifizieren.

Während in vergleichbaren Studien (5,50) ausschließlich die postoperativen radiologischen Aufnahmen zur Messung der Dislokation, des CCD-Winkels und weiterer Parameter herangezogen wurden, wurden in dieser Studie auch die im Heilungsverlauf aufgenommenen Röntgenbilder vermessen. Dies hatte den Zweck, im Verlauf auftretende Dislokationen und Veränderungen der Fragmente zu detektieren und stellt ein Differenzierungsmerkmal zu früheren Studien dar. Darüber hinaus hebt sich diese Studie auch durch die Quantifizierung der distalen Nachsinterung auf den Verlaufsaufnahmen von anderen Studien ab.

Die Anwendung des RUSH Scores ermöglichte eine objektivierbare und reproduzierbare Beurteilung der Frakturheilung.

Aufgrund des retrospektiven Designs der Studie konnte der subjektive klinische Outcome der Patienten nicht evaluiert werden. Da es kein standardisiertes Schema gibt, nach welchem die Patienten bei den Kontrollterminen im Heilungsverlauf auf Schmerzen, Belastbarkeit und Beweglichkeit untersucht werden, war es nicht möglich, die klinischen Daten zu vergleichen oder statistisch auszuwerten. Eine erneute Kontaktaufnahme mit den Patienten erschien nicht sinnvoll, da die Frakturen bis zu 10 Jahre vor Erhebung der Daten aufgetreten waren und viele der Patienten bereits ein relativ hohes Alter erreicht hatten, weshalb nur eine sehr geringe Rücklaufquote zu erwarten war.

4.4 Diskussion der Ergebnisse

Anschließend sollen die Ergebnisse dieser Studie mit der aktuellen Literatur verglichen und diskutiert werden.

4.4.1 Patientenkollektiv

Das Durchschnittsalter der Patienten in dieser Studie liegt bei 57,21 (*SD* 19,48) Jahren und ist damit geringer als das Durchschnittsalter der Patienten in vergleichbaren Studien (5,39,50). Dies mag zum einen an der Inklusion pathologischer Frakturen liegen, welche mit einem Anteil von 17,1 % und einem mittleren Alter von 59,15 Jahren einen nicht unerheblichen Teil des Patientenkollektivs ausmachen. Zum anderen ist der Anteil der Frakturen, die als Folge eines Hochenergietraumas auftraten, mit 47,4 % höher als in anderen Studien. Hoskins et al. (5) berichten beispielsweise über 34,0 % durch ein Hochenergietrauma entstandene subtrochantäre Femurfrakturen. Da Hochenergietraumata häufig jüngere Patienten betreffen, was am durchschnittlichen Alter von 48,81 Jahren zu erkennen ist, fällt das Alter dieser Patienten in der vorliegenden Studie mehr ins Gewicht.

Auch der prozentuale Anteil der Geschlechter am Patientenkollektiv unterscheidet sich von anderen Studien. Während Suckel et al. (39) über 70,3 % und Hoskins et al. (5) über 61,0 % weibliche Patienten berichten, liegt in dieser Studie ein Anteil von 38,7 % weiblichen Patienten vor. Diese Differenz könnte ebenfalls durch die höhere Anzahl der durch Hochenergietraumata entstandenen Frakturen erklärt werden, da wesentlich mehr Männer, beispielsweise im Rahmen von Verkehrsunfällen, eine solche Fraktur erleiden.

Der Body Mass Index der Patienten wird nur in sehr wenigen Studien erhoben. Hsueh et al. (65) errechnen einen durchschnittlichen BMI von 25 (*SD* 2,6) kg/m², Starr et al. (66) einen BMI von 26 kg/m² in der Gruppe der mit einem Femoral Recon Nail versorgten und 29 kg/m² in der Gruppe der mit einem langen Gamma Nagel versorgten Patienten. Mit einem Wert von 28,14 (*SD* 6,44) kg/m² liegt der mittlere BMI der Patienten aus der vorliegenden Studie am oberen Rand des in den zitierten Studien ermittelten Wertebereichs. Bemerkenswert ist, dass der durchschnittliche BMI sowohl für Männer als auch für Frauen der Kategorie Präadipositas zuzuordnen ist (63), was die allgemeine Gewichtsentwicklung der Bevölkerung widerspiegelt (67). Dass in der vorliegenden Studie 23,4 % der Patienten adipös und 0,0 % der Patienten untergewichtig sind, könnte aber auch darauf schließen lassen, dass Übergewicht mit einem erhöhten Risiko für das Auftreten subtrochantärer Frakturen einhergeht.

Der durchschnittliche ASA Status der Patienten kongruiert mit den Ergebnissen vergleichbarer Studien. So berichten Codesido et al. (38) von einem ASA Status von I bis II bei 32,1 % und einem Status von III bis IV bei 67,9 % ihrer Patienten, während der Anteil der Patienten mit einem ASA Status von III bis IV in der vorliegenden Studie bei 60,0 % liegt. Der Gesundheitszustand von 49,3 % der Patienten dieser Studie entsprach einem ASA Status von III, in der Studie von Mereddy et al. (33) lag dieser Anteil bei 45,0 %, in der Studie von Ekström et al. (20) bei 51,0 %.

In der Literatur beschränkt sich die Erhebung der zum Zeitpunkt des Unfalls vorliegenden Komorbiditäten meist auf den ASA Status. Dieser dient als präoperative Einschätzung der körperlichen Verfassung der Patienten, lässt aber keine Rückschlüsse auf das Vorliegen einer eventuell die Frakturheilung beeinflussende Erkrankung zu. Riehl et al. (23) dokumentieren in ihrer Studie, dass 49,0 % ihrer Patienten eine oder mehrere Komorbiditäten haben, definieren jedoch nicht, um welche Art von Komorbiditäten es sich handelt.

Somit ist ein Vergleich der in der vorliegenden Studie erhobenen Daten über die Frakturheilung beeinflussende Erkrankungen mit den Daten anderer Studien nicht möglich. Darüber hinaus ist

anzunehmen, dass die Dokumentation der Vorerkrankungen, insofern kein akuter Behandlungsbedarf bestand und die Patienten nicht aufgrund dieser Vorerkrankungen bereits am Universitätsklinikum Regensburg behandelt worden sind, in manchen Fällen unvollständig ist. Bei gleichzeitig relativ geringer Prävalenz der erhobenen Komorbiditäten, wie beispielsweise einem Anteil von 4,0 % an einer pAVK erkrankten Patienten, ist es kaum möglich, die Ergebnisse zu diskutieren und statistisch signifikante Aussagen zu treffen.

Ähnlich verhält es sich mit den Daten zur Medikation, welche potenziell die Frakturheilung beeinflusst. Auch diese wird in der Literatur nur selten dokumentiert. Lediglich Caruso et al. (53) untersuchen in ihrer Studie den Einfluss einer medikamentösen Osteoporosetherapie, mit welcher 15,4 % der Patienten behandelt werden, auf das Ausschneiden der Klinge aus dem Femurkopf. In der vorliegenden Studie werden nur 6,7 % der Patienten aufgrund ihrer Osteoporose medikamentös therapiert. Dieser Unterschied kann dadurch erklärt werden, dass in der Studie von Caruso et al. (53) Patienten, die jünger als 70 Jahre alt sind, ausgeschlossen werden. Die Diskussion der anderen für die Frakturheilung relevanten Medikationen kann aufgrund mangelnder Vergleichsdaten nicht durchgeführt werden. Auch an dieser Stelle ist eine unvollständige Dokumentation der Medikation der in dieser Studie inkludierten Patienten nicht auszuschließen.

Aufgrund des kleinen Patientenkollektivs und des vergleichsweise geringen Anteils an Patienten, bei denen eine bestimmte, die Frakturheilung beeinflussende Vorerkrankung oder Medikation vorliegt, können diese Daten nur in geringem Umfang für eine aussagekräftige statistische Auswertung genutzt werden.

4.4.2 Frakturbezogene Daten

Die Seitenverteilung der subtrochantären Femurfrakturen ist mit einem Verhältnis von 56,6 % rechtsseitigen und 43,3 % linksseitigen Frakturen in etwa ausgeglichen. Zu dem gleichen Ergebnis kommen auch Kashigar et al. (50) mit einem Verhältnis von 48,0 % rechtsseitigen und 52,0 % linksseitigen Frakturen. In der vorliegenden Studie sind 12,0 % der Patienten auch von einer Verletzung an der kontralateralen Extremität betroffen. Codesido et al. (38) berichten von 1,1 % Patienten mit kontralateraler Verletzung, beziehen sich dabei aber nur auf subtrochantäre Femurfrakturen, während in der vorliegenden Studie auch andere Frakturen eingeschlossen werden. Eine Verletzung an der kontralateralen Extremität tritt vor allem im Rahmen von hochenergetischen Traumata auf und wirkt sich potenziell auf die Möglichkeit der postoperativen Belastung und somit indirekt auf die Frakturheilung aus.

Wie bereits im Kapitel 4.3 erwähnt, werden in der Literatur subtrochantäre Frakturen pathologischer Genese fast immer aus den Studien ausgeschlossen. Cho et al. (68) konzentrieren sich in ihrer Studie als einzige auf Bisphosphonat-assoziierte Frakturen, vergleichen diese jedoch nicht mit Frakturen, die traumatisch entstanden sind, und exkludieren auch solche Frakturen, die zwar pathologischer Genese, jedoch nicht Bisphosphonat-assoziiert sind. Somit bildet auch die Studie von Cho et al. (68) nicht das gesamte Kollektiv der Patienten mit subtrochantären Femurfrakturen ab, was in der vorliegenden Studie angestrebt wird.

In dieser Studie sind 34,2 % der Frakturen durch Stürze im häuslichen Umfeld, 47,7 % durch Hochenergietraumata und 17,1 % im Rahmen pathologischer Prozesse entstanden. Ohne letztere beträgt das Verhältnis von Niedrig- zu Hochenergietraumata 41,9 % zu 58,1 %. Riehl et al. (23), die pathologische Frakturen aus ihrer Studie ausschließen, berichten von 63,0 % Hoch- und 31,4 % Niedrigenergietraumata. Sie dokumentieren jedoch auch 5,7 % Frakturen, die durch Schussverletzungen entstanden sind. Diese Art von Unfallmechanismus konnte in europäischen Studien bisher nicht beobachtet werden. Hoskins et al. (5) berichten, dass 66,0 % der Frakturen ihrer Studie im Rahmen eines Niedrigenergietraumas entstanden sind, pathologische Frakturen werden ebenfalls ausgeschlossen. Der höhere Anteil an Niedrigenergietraumata als Verletzungsursache kann zum einen darin begründet liegen, dass das Durchschnittsalter der Patienten von Hoskin et al. (5) mit 68,0 Jahren etwa 10 Jahre höher ist als das der Patienten in der vorliegenden Studie und ältere Patienten sich mit höherer Wahrscheinlichkeit im Rahmen eines häuslichen Sturzes subtrochantäre Femurfrakturen zuziehen. Zum anderen liegt der Anteil männlicher Patienten bei Hoskins et al. bei 39,0 % und ist damit wesentlich geringer als in der vorliegenden Studie. Da Männer diese Frakturen eher durch ein Hochenergietrauma bekommen, ist mit dem größeren Anteil männlicher Patienten auch der Anteil durch Hochenergietraumata erlittener Frakturen in der vorliegenden Studie erhöht.

Mit 1,0 Tagen (*Min 0, Max 3*) bzw. 1,1 (*Min 0, Max 4*) Tagen in den Studien von Riehl et al. (23) und Ekström et al. (20) ist der durchschnittliche Zeitraum zwischen dem Unfallereignis und der Primärversorgung der subtrochantären Femurfrakturen etwas kürzer als in der vorliegenden Studie (1,2 Tage). Die verlängerte durchschnittliche Zeit bis zur Operation basiert auf der Inklusion pathologischer Frakturen in die Studie, da diese nicht direkt auf ein Unfallgeschehen zurückzuführen sind und deswegen häufig eine etwas längere Zeit bis zur Diagnosestellung und Versorgung vergeht.

Mit 42,3 % werden etwas mehr als die Hälfte der Frakturen geschlossen reponiert. Hoskins et al. (5) berichten von 51,1 % und somit einem etwas höheren Anteil geschlossen reponierter

Frakturen. Dies könnte durch den Ausschluss segmentaler Frakturen, welche schwieriger und damit eher offen zu reponieren sind, bedingt sein. In der Studie von Codesido et al. (38) beträgt der Anteil geschlossen reponierter Frakturen sogar 66,6 %. Hier liegt der erhöhte Anteil wahrscheinlich im Ausschluss von Patienten mit Hochenergietraumata begründet, da diese aufgrund der hohen Krafteinwirkung häufig stärker disloziert sind und eine geschlossene Frakturposition nicht immer erfolgreich ist.

In ihrer Metaanalyse stellen Liu et al. (32) die Vorteile der Versorgung subtrochantärer Femurfrakturen mit einem intramedullären Implantat dar. Diese liegen in einer niedrigeren Revisionsrate, einer geringeren Wahrscheinlichkeit für Implantatversagen sowie einer niedrigeren Rate an ausbleibender Frakturheilung. Das mag der Grund dafür sein, dass Kashigar et al. (50), Hoskins et al. (5), und Riehl et al. (23) ausschließlich über mit intramedullären Verfahren versorgten Frakturen berichten. In der vorliegenden Studie wird ein Großteil der Frakturen (94,7 %) ebenfalls mit intramedullären Verfahren therapiert. Extramedulläre Verfahren kommen vor allem bei pathologischen Frakturen zum Einsatz, die durch eine veränderte Knochenarchitektur und somit durch andere Voraussetzungen zur Versorgung gekennzeichnet sind. In den soeben genannten Vergleichsstudien werden pathologische Frakturen exkludiert. Ein Vergleich der verschiedenen Implantate stellt kein Ziel dieser Arbeit dar.

Während einige Autoren der Ansicht sind, dass bei subtrochantären Frakturen ausschließlich lange intramedulläre Nägel zum Einsatz kommen sollten (35,69,70), sprechen sich Ekström et al. (20) dafür aus, bei hohen subtrochantären Frakturen auch kurze Nägel anzuwenden. Der in der vorliegenden Studie ermittelte Anteil mit langen Nägeln versorgter Frakturen von 69,7 % bewegt sich zwischen den von Ekström et al. (20) angegebenen 57,5 % und den von Hoskins et al. (5) berichteten 83,7 %.

Bei 44,7 % der Frakturen wurden Cerclagen zur zusätzlichen Stabilisierung der Osteosynthese eingebracht. In der Studie von Codesido et al. (38) werden 33,0 % der Frakturen mit ein oder mehreren Cerclagen versorgt. Der etwas geringere Anteil könnte darin begründet liegen, dass nur Niedrigenergietraumata in die Studie eingeschlossen werden und damit von geringerer Dislokation und weniger komplizierten und in Folge einfacher zu reponierenden Frakturen ausgegangen werden kann. Hoskins et al. (5) kommen unter Ausschluss segmentaler und Bisphosphonat-assoziiertes Frakturen sogar auf eine noch geringere Rate von 14,8 % mit Cerclagen versorgter Frakturen.

Während sich in der vorliegenden Studie die Art der postoperativen Belastung nach den individuellen Möglichkeiten der Patienten richtet und somit sehr unterschiedlich ist, wird in anderen Studien häufig ein allgemeines postoperatives Belastungsschema angewandt. In der Studie von Batra et al. (71) wird baldmöglichst nach der Operation eine Teilbelastung der betroffenen Extremität angestrebt, wobei das genaue Gewicht der Belastung nicht beschrieben wird. Erst bei klinischen und radiologischen Zeichen der Frakturheilung darf die Fraktur voll belastet werden. Bei radiologisch nachgewiesener guter Reposition und Fixierung belasten 69,3 % der Patienten in der Studie von Caruso et al. (53) die betroffene Extremität bereits postoperativ voll, Bojan et al. (56) berichten sogar von einer postoperativen Vollbelastung bei allen Patienten. Auch in der biomechanischen Studie von Brumback et al. (72) konnte nachgewiesen werden, dass eine postoperative Vollbelastung bei einem stabilen Osteosynthesekonstrukt sicher ist und den Patienten eine frühere Teilnahme an physikalischen Therapien sowie einen verkürzten Krankenhausaufenthalt ermöglicht. Zu beachten ist jedoch, dass es sich in der letztgenannten Studie um Trümmerfrakturen des femoralen Schafts handelt, welche anderen muskulären Kräften und Belastungen ausgesetzt sind als Frakturen in der subtrochantären Region.

Da die Patienten in der vorliegenden Studie zum Teil schon ein hohes Alter aufweisen, ist davon auszugehen, dass einige bereits vor ihrem Frakturereignis Gangunsicherheiten hatten, beziehungsweise eingeschränkt oder nicht mehr mobil waren. Eine gezielte Belastung mit einem bestimmten Gewicht ist somit im klinischen Alltag nur schwer umzusetzen, ebenso ist die Unterscheidung zwischen einer Teilbelastung von 15 und von 20 Kilogramm in der Realität aufgrund der mangelnden Möglichkeit der Kontrolle eher unbedeutend. Eine postoperative Vollbelastung bei Patienten mit pathologischen Frakturen, die beispielsweise von der Studie von Batra et al. (71) ausgeschlossen werden, ist aufgrund der Instabilität des Knochens ebenfalls eher nicht indiziert. Aus diesen Gründen ist eine individuelle Herangehensweise an die postoperative Belastung der betroffenen Extremität sinnvoll.

Ähnlich der Studie von Shukla et al. (41) beträgt die durchschnittliche Dauer des stationären Aufenthalts in der vorliegenden Studie 16,56 Tage. Einige Studien geben kürzere durchschnittliche Aufenthaltszeiten an, so bleiben die Patienten von Codesido et al. (38) im Mittel 11,97 Tage und die von Ekström et al. (44) 12 Tage im primärversorgenden Krankenhaus. Dabei unterscheiden sich die Patientenkollektive beider Studien von der vorliegenden durch den Ausschluss von Patienten mit Hochenergetraumata sowie mit pathologischen Frakturen. Vor allem solche Patienten haben jedoch aufgrund ihrer Begleitverletzungen und -erkrankungen oftmals längere stationäre Aufenthalte.

4.4.3 Präoperative Röntgenaufnahmen

Die Klassifikation von Frakturen sollte neben der Ermöglichung einer präzisen Kommunikation dem Zweck dienen, dem Operateur die Wahl der geeigneten Versorgungsmethode zu erleichtern sowie Prognosen über den Outcome abzugeben. Darüber hinaus sollte eine Frakturklassifikation eine hohe interpersonelle und intrapersonelle Reliabilität haben (73).

Loizou et al. (8) ermitteln in ihrer Literaturübersicht 15 verschiedene Klassifikationssysteme für subtrochantäre Femurfrakturen, welche die Frakturen nach Merkmalen wie der Anzahl der Fragmente, den Eigenschaften der Frakturlinie und dem Grad der Dislokation in 2 bis 15 Untergruppen unterteilen. Die Definition des subtrochantären Femurabschnitts unterscheidet sich jedoch zwischen den verschiedenen Klassifikationssystemen. Während die Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen (AO) (7) die distale Grenze bereits 3 cm distal des Trochanter minors lokalisiert, sprechen Russel et al. (9) bis zum Isthmus des Femurs von der subtrochantären Region. In anderen Klassifikationen werden die Grenzen der subtrochantären Region jedoch nicht genau definiert. Ebenfalls nicht eindeutig festgelegt ist der Umgang mit pertrochantären Frakturausläufern. Diese werden in 10 der 15 Klassifikationen inkludiert, in den anderen 5 Klassifikationen finden sie keine Beachtung (8).

In der vorliegenden Studie wurden die Frakturen anhand der alten und der neuen AO-Klassifikation, der Seinsheimer-Klassifikation und der Russel-Taylor-Klassifikation kategorisiert (siehe Kapitel 1.4), da diese am weitesten verbreitet und die Ergebnisse somit am ehesten in den aktuellen Stand der Literatur einzuordnen sind.

In der ursprünglichen AO Klassifikation werden alle subtrochantären Frakturen den diaphysären Femurfrakturen zugeordnet, die subtrochantäre Lokalisation wird dabei durch eine Subgruppenbezeichnung festgehalten. In der im Jahr 2018 überarbeiteten Version der AO Klassifikation finden subtrochantäre Frakturen keine gesonderte Erwähnung, je nach Lokalisation werden sie als diaphysäre Fraktur oder bei pertrochantären Ausläufern als per- oder intertrochantäre Fraktur klassifiziert. Vor allem die neuere, aber auch die ursprüngliche AO Klassifikation wird somit den anatomischen und biomechanischen Besonderheiten dieser Region nicht gerecht, Frakturen mit pertrochantären Ausläufern können zudem nicht eindeutig klassifiziert werden (8). Durch die Unterteilung in die vielen verschiedenen Untergruppen je nach Fragmentierung und Verlauf der Frakturlinie haben die einzelnen Gruppencodierungen zwar einen hohen deskriptiven Wert, führen jedoch auch zu einer hohen Intra- und Interobserver-Variabilität (25,74). Aufgrund des vergleichsweise kleinen Patientenkollektivs der vorliegenden Studie

kann den verschiedenen Kategorien der AO Klassifikation teilweise eine nur sehr geringe Anzahl an Frakturen zugeordnet werden. Diese geringen Gruppengrößen machen eine statistische Auswertung, vor allem in Hinblick auf Zusammenhänge zwischen Klassifikation und dem Auftreten von Komplikationen, unmöglich. Auch die Vergleichbarkeit mit anderen Studien ist bei einstelligen Frakturzahlen je Untergruppe nicht gegeben.

Ähnlich verhält es sich bei der Seinsheimer Klassifikation. Diese behandelt ausschließlich subtrochantäre Frakturen, inkludiert auch solche mit pertrochantären Ausläufern und wird damit den regionalen Besonderheiten gerecht, besteht jedoch ebenfalls aus vielen Kategorien (8). Auch bei dieser Klassifikation ist die Anzahl der Frakturen je Kategorie in der vorliegenden Studie zum Teil einstellig, was Probleme bei der statistischen Auswertung und beim Vergleich mit anderen Studien zur Folge hat. Darüber hinaus ist die Einteilung in die Untergruppen abhängig von geringen Unterschieden, beispielsweise im Verlauf der Frakturlinie, die in manchen Fällen auf den konventionellen Röntgenbildern nur schlecht oder nicht einsehbar sind. Aus diesen Gründen weist die Seinsheimer Klassifikation wie auch die AO Klassifikation einen hohen deskriptiven Wert, aber auch eine hohe Intra- und Interobserver-Variabilität auf (25,75). Trotz dieses Nachteils wird sie am häufigsten angewandt (8).

Die Russel-Taylor-Klassifikation hat anders als die bisher genannten Klassifikationen lediglich 4 Untergruppen und ist deswegen besser reproduzierbar, hat dafür aber einen weniger beschreibenden Charakter als die anderen Klassifikationssysteme (25). Subtrochantäre Frakturen mit pertrochantären Ausläufern finden in der Russel-Taylor-Klassifikation ebenfalls Beachtung (8). Der Tabelle 13 sind die Häufigkeiten der einzelnen Frakturklassen in der vorliegenden sowie in drei vergleichbaren Studien zu entnehmen. Lediglich die Häufigkeiten aus der Studie von Tomás et al. (70) unterscheiden sich deutlich von den anderen, was in dem sehr kleinen Patientenkollektiv begründet liegen könnte.

Tabelle 13: Klassifikation der subtrochantären Frakturen nach Russel-Taylor in der vorliegenden und drei vergleichbaren Studien.

Studie	Anzahl (N)	Typ IA (%)	Typ IB (%)	Typ IIA (%)	Typ IIB (%)
Vorliegende Studie	76	40.8	36.8	1.3	21.1
Hoskins et al. (5)	135	47.4	31.1	8.9	12.6
Robinson et al. (76)	302	50.7	22.5	6.0	20.9
Tomás et al. (70)	12	25.0	41.7	8.3	25.0

Keines der Klassifikationssysteme, die in der vorliegenden Studie Verwendung finden, hat therapeutische oder prognostische Konsequenzen. Bei meist geringer Reproduzierbarkeit und hoher Intra- und Interobserver-Variabilität beschränkt sich der Nutzen der Klassifikation subtrochantärer Femurfrakturen auf eine Beschreibung der Morphologie und die präzise Kommunikation mit medizinischem Fachpersonal (8,19,25).

Der mittlere Singh Index der Patienten aus der vorliegenden Studie lag bei 4,84 (*SD* 0,93), 9,2 % der Patienten hatten eine radiologisch festgestellte Osteoporose. Kashigar et al. (50) ermitteln in ihrer Studie einen durchschnittlichen Singh Index von 4,2. Der geringere Wert liegt vermutlich am höheren Durchschnittsalter der Patienten von 77,6 Jahren und einem mit 81,0 % wesentlich höheren Anteil an weiblichen Patienten. Bei einem Durchschnittsalter von 81,1 Jahren in der Kontrollgruppe beziehungsweise 83,6 Jahren in der Gruppe mit Cutout der Klinge sowie einem Anteil von 78,8 % bzw. 81,3 % weiblichen Patienten in der Studie von Lobo-Escolar et al. (4) liegt der mittlere Singh Index sogar bei 3,3 bzw. 3,0, was für den vermuteten Zusammenhang zwischen Alter, Geschlecht und Höhe des Singh Index spricht. Die Lebenszeitprävalenz für Osteoporose in Deutschland liegt für Frauen bei 17,6 %, für Männer bei 5,2 % und insgesamt bei 11,9 % (77). Da die Studienpopulation auch einige jüngere Patienten beinhaltet, liegt der Anteil der Patienten mit einem Singh Index von unter 4 bei 9,2 % und damit etwas unter der Lebenszeitprävalenz für Osteoporose.

4.4.4 Postoperative Röntgenaufnahmen

Die auf den postoperativen Röntgenbildern festgestellte Dislokation der Fragmente beträgt in der vorliegenden Studie je nach Richtung der Dislokation zwischen 4,6 mm und 6,6 mm. Passend dazu berichten Mingo-Robinet et al. (36) von einer durchschnittlichen Dislokation von 6,2 mm, wobei in ihrer Studie nur subtrochantäre Frakturen, die minimalinvasiv unter Zuhilfenahme einer Klemme reponiert wurden, untersucht worden sind. Etwas höher ist die mittlere Fragmentdislokation mit 8,0 mm in der Studie von Hoskins et al. (5). Dies mag an dem höheren Anteil geschlossen, und somit nicht exakt anatomisch, reponierter Frakturen liegen. Wesentlich

geringere Dislokationen der Fragmente werden hingegen in der Studie von Lobo-Escolar et al. (4) gemessen. Sie berichten von einer durchschnittlichen Dislokation von 3,1 mm in der Gruppe der Frakturen, bei denen die Implantatklinge aus dem Hüftkopf ausgetreten ist, und 1,8 mm in der Kontrollgruppe, in der keine Komplikationen aufgetreten sind. Die Studie inkludiert jedoch extrakapsuläre Hüftfrakturen der AO-Klassifikationsgruppen 31A1, 31A2 und 31A3 (7), zu welchen vor allem pertrochantäre und intertrochantäre Frakturen, aber nur bestimmte subtrochantäre Frakturen, die sich in die intertrochantäre Region ausdehnen, zählen. Somit handelt es sich hauptsächlich um Frakturen, die einer anderen anatomischen Region angehören und anderen Kräften und Belastungen ausgesetzt sind, was sich auf die Reposition und damit auch auf die postoperative Dislokation auswirkt.

Das Vorliegen eines dislozierten Trochanter minors wurde in der einschlägigen Fachliteratur nicht explizit untersucht. Jedoch lassen sich die Zahlen anhand der Russel-Taylor-Klassifikation annähernd herleiten, da sich die Klassen IB und IIB durch einen nicht intakten Trochanter minor auszeichnen. In der vorliegenden Studie beträgt der Anteil der Frakturen mit disloziertem Trochanter minor 56,6 % und der Anteil der Frakturen, die den Klassen IB und IIB der Russel-Taylor-Klassifikation zugeordnet werden können, 57,9 %. Der geringe Unterschied entsteht dadurch, dass nicht alle nicht intakten Trochanteren auch disloziert sind. In den Studien von Hoskins et al. (5) und Robinson et al. (76) ist der Anteil der IB- und IIB-Frakturen und somit der Frakturen mit nicht intaktem Trochanter minor mit 43,7 % bzw. 43,3 % etwas geringer. Dies könnte in dem etwas abweichenden Patientenkollektiv begründet liegen, da Hoskins et al. (5) segmentale Frakturen aus ihrer Studie exkludieren und Robinson et al. (76) ausschließlich Frakturen, die im Rahmen eines Niedrigenergietraumas entstanden sind, einschließen. Durch die geringere Krafteinwirkung entstehen weniger Fragmente, welche auch weniger dislozieren. Der postoperativ gemessene CCD-Winkel am verletzten Femur ist mit 125,08° in dieser Studie etwas geringer als in den Studien von Cho et al. (68) mit 127,6° und Mingo-Robinet et al. (36) mit 128,4°. Eine mögliche Erklärung für die Diskrepanz der Werte könnte die Anwendung minimalinvasiver Methoden zur Frakturposition und damit eine genauere Wiederherstellung des ursprünglichen CCD-Winkels in den beiden Studien sein.

In der vorliegenden Studie konnte nachgewiesen werden, dass der CCD-Winkel am fragmentierten Femur postoperativ um durchschnittlich 4,78° geringer ist als der der Gegenseite. Auch Kashigar et al. (50) dokumentieren eine postoperative Varusabweichung des betroffenen Femurs von durchschnittlich 6,40°. Hoskins et al. (5) und Riehl et al. (23) analysieren den Anteil der Patienten, bei denen der CCD-Winkel des verletzten Femurs um mehr als 10° von dem

des kontralateralen Femurs abweicht. Dieser beträgt 24,4 % bzw. 20,0 % und ist somit mit den in der vorliegenden Studie erhobenen 25,3 % vergleichbar.

Die typische Fragmentstellung bei einer subtrochantären Fraktur, die sich durch ein flektiertes, abduziertes und außenrotiertes proximales Fragment auszeichnet, begünstigt vor allem bei nicht anatomischer Reposition eine postoperative Varusabweichung. Diese Abweichung wird durch den Zug der Adduktoren am distalen und der glutealen Muskulatur am proximalen Fragment weiter verstärkt.

In zahlreichen Studien wird der ermittelte durchschnittliche postoperative CCD-Winkel des verletzten Femurs nicht explizit erwähnt, sondern wird in die Bewertung der Qualität der Reposition nach Baumgaertner (52) mit einbezogen und kann somit nicht mit den Ergebnissen der vorliegenden Studie verglichen werden.

Es muss bei der Beurteilung des CCD-Winkels berücksichtigt werden, dass die Messung dieses Winkels nicht genormt ist und sich dadurch Ungenauigkeiten und, zwar geringe, aber nicht zu vernachlässigende Messunterschiede ergeben können (78). Darüber hinaus gilt es zu beachten, dass die Messung des CCD-Winkels auf dem zweidimensionalen Röntgenbild trotz standardisierter Untersuchungsbedingungen durch Rotation des Femurs verzerrt sein könnte. Beträgt die Rotation des Femurhalses nicht mehr als 35° gegenüber der horizontalen Ebene des Röntgenisches, so beschränkt sich die Verzerrung des CCD-Winkels auf höchstens 5°. Dabei ist der gemessene Winkel immer größer als der reale CCD-Winkel, eine gemessene signifikante Varusabweichung ist somit auch in der Realität signifikant (79).

Die Position der Klinge im Femurkopf der mit einem PFNA versorgten Frakturen wird in der vorliegenden Studie sowohl mithilfe der Cleveland Klassifikation (57) als auch mit der Tip-Apex-Distanz (52) beschrieben. In der einschlägigen Literatur gibt es keine weitere Studie, die sich ausschließlich mit subtrochantären Frakturen beschäftigt und die Cleveland Klassifikation zur Einteilung der Klingenposition nutzt. Kashigar et al. (50) und Caruso et al. (53) betrachten in ihren Studien subtrochantäre und intertrochantäre bzw. trochantäre Frakturen gemeinsam und berichten von den Ergebnissen der vorliegenden Studie abweichende Werte zur Position der Klinge. Bei Kashigar et al. (50) befindet sich die Klingenspitze auf der anterior-posterioren Röntgenaufnahme in 94,0 % der Fälle zentral, 6,0 % in der superioren und 0,0 % in der inferioren Zone. Auf der lateralen Aufnahme liegen 94,0 % der Klingenspitzen zentral, 4,0 % anterior und 1,0 % posterior. In der Studie von Caruso et al. (53) verhält sich die Position der Klinge folgendermaßen: Auf der anterior-posterioren Aufnahme 60,5 % zentral, 32,4 % inferior, auf der lateralen Aufnahme 65,5 % zentral, 20,4 % anterior, 14,1 % posterior. Auch diese beiden

Studien unterscheiden sich somit deutlich voneinander. Ein Vergleich dieser Werte mit den Werten aus der vorliegenden Studie erscheint aufgrund der nicht einheitlichen Auswahl der Frakturen nicht sinnvoll.

Auch ein Vergleich der Klingenposition im Femurkopf, die mithilfe der Tip-Apex-Distanz ermittelt wurde, ist nur eingeschränkt durchführbar. Zum einen, da auch hier verschiedene Arten von Frakturen innerhalb einzelner Studien untersucht, zum anderen, da unterschiedliche Implantate und somit auch unterschiedliche Klingen im Femurkopf eingesetzt werden. Baumgaertner et al. (52) kommen mit einer mittleren TAD von 25 mm dem Ergebnis der vorliegenden Studie am nächsten, untersuchen aber nur pertrochantäre Frakturen, die mit einer dynamischen Hüftschraube versorgt wurden. Kim et al. (35) berichten in ihrer Studie, die mit einem PFNA versorgte subtrochantäre Frakturen analysiert und damit ein der vorliegenden Studie sehr ähnliches Design aufweist, eine durchschnittliche TAD von 23 mm. Im Gegensatz dazu dokumentieren Kashigar et al. (50) mit 17,8 mm und Hoskins et al. (5) mit 19 mm bei Versorgung mit einer Cerclage bzw. 18 mm ohne einer solchen etwas geringere Werte für die TAD. Ob die Position der Klingenspitze im Femurkopf bei subtrochantären Frakturen klinische Bedeutung hat, soll in den folgenden Kapiteln (s. Kapitel 4.4.6 und 4.4.8) diskutiert werden.

Die Qualität der Reposition der Frakturen nach Baumgaertner (52), in deren Bewertung sowohl eine Winkelbildung in der frontalen und der sagittalen Ebene als auch eine Dislokation der Fragmente mit einfließt, wird in zahlreichen Studien analysiert. Hoskins et al. (5) beschreiben eine gute Reposition bei 23,7 % der Frakturen und kommen damit zum gleichen Ergebnis wie die vorliegende Studie. Eine Unterscheidung der restlichen Frakturen in akzeptable und schlechte Reposition wird in der Studie von Hoskins et al. (5) jedoch nicht vorgenommen. Bei Kashigar et al. (50) ist der Anteil der Repositionen guter Qualität mit 32,0 % etwas höher als in der vorliegenden Studie. Ebenfalls erhöht ist mit 44,0 % jedoch auch die Rate der schlecht reponierten Frakturen in deren Studie. Da Kashigar et al. (50) trotz ihrer sehr unterschiedlichen Biomechanik sowohl subtrochantäre als auch intertrochantäre Frakturen untersuchen, ist ein Vergleich dieser Variable nicht sinnvoll. Miedel et al. (19) dagegen, die ausschließlich subtrochantäre Frakturen untersuchen, beschreiben eine gute Qualität der Reposition in 50,0 % und eine akzeptable Qualität in den anderen 50,0 % der Fälle. Dieses abweichende Ergebnis liegt darin begründet, dass die Kriterien zur Beurteilung der Qualität in der Studie von Miedel et al. (19) verändert wurden, sodass auf der anterior-posterioren Röntgenaufnahme nur eine Valgisierung von mehr als 10° als schlecht kategorisiert wurde. Jede Abweichung in eine Varusstellung, welche postoperativ wesentlich häufiger als eine Valgisierung auftritt, findet somit in der Bewertung keine Beachtung.

4.4.5 Radiologische Verlaufsaufnahmen

Die Ausmessung und Erhebung von Daten aus den im Verlauf der Frakturheilung entstandenen Röntgenbildern stellt eine Besonderheit der vorliegenden Studie dar. Abgesehen von der Studie von Kim et al. (35) beschränken sich die meisten Studien aus der Fachliteratur darauf, auf den Verlaufsaufnahmen den Grad der Frakturheilung zu beurteilen. Dabei ist nicht auszuschließen, dass das Verhalten der Fraktur im Heilungsverlauf Auswirkungen auf die Entstehung einer Pseudarthrose oder anderer Komplikationen hat.

Kim et al. (35) beschreiben in ihrer Studie eine durchschnittliche Beinlängenverkürzung von 3,0 mm und stützen damit das Ergebnis der vorliegenden Studie, die eine mittlere Verkürzung in Form der distalen Nachsinterung von 4,8 mm feststellen konnte. Bei der Bewertung der Beinlängenverkürzung sollte berücksichtigt werden, dass eine Verkürzung um weniger als 10 mm klinisch nicht relevant ist (36). Somit kann nachgewiesen werden, dass sich die sekundäre Dislokation im Kontrast zu petrochantären Frakturen nicht als Verkürzung des Schenkelhalses, sondern als Beinlängenverkürzung darstellt. Subtrochantäre Frakturen unterscheiden sich demnach stark in ihrer Biomechanik von anderen proximalen Femurfrakturen.

Zusätzlich zu der durch die Operation entstandenen Varisierung des CCD-Winkels verringert sich dieser über den gesamten Heilungsverlauf um durchschnittlich $4,52^\circ$. Dies wird durch eine ungenügende Stabilisierung der medialen Femursäule sowie die auf die subtrochantäre Region wirkenden Kräfte der Muskulatur bedingt. Der signifikante Unterschied zwischen den CCD-Winkeln auf den 6 Wochen und 3 Monate postoperativ entstandenen Röntgenbildern weist darauf hin, dass sich der Winkel nicht nur zu Beginn sondern auch bei fortschreitender Frakturheilung und Kallusbildung noch verändert. Auch Kim et al. (35) haben übereinstimmend mit der vorliegenden Studie eine mittlere Verringerung des CCD-Winkels von $4,5^\circ$ im Verlauf der Frakturheilung gemessen.

Eine sekundäre Dislokation nach medial, lateral, ventral oder dorsal im Heilungsverlauf kann nicht nachgewiesen werden. Somit beschränken sich die im Verlauf auftretenden Veränderungen auf die Beinlängenverkürzung und die Varisierung des proximalen Femurs.

Um exakte Aussagen über das Verhalten der Frakturen im Heilungsverlauf treffen zu können, werden von allen in die Studie eingeschlossenen Patienten Röntgenbilder zu allen definierten Untersuchungszeitpunkten benötigt. Dies ist in der vorliegenden Studie nur bei 16 von 76 Frakturen der Fall, sodass ein Friedmann-Test zur Detektion von Unterschieden in den zentralen Tendenzen abhängiger Stichproben zwar durchgeführt wurde, die Ergebnisse jedoch nicht re-

präsentativ für das ganze Studienkollektiv sind. Um die Ergebnisse so weit wie möglich verallgemeinern zu können, wurden deswegen die Werte der einzelnen Untersuchungszeitpunkte jeweils mithilfe eines *t*-Tests geprüft. Da die *t*-Tests dieselbe statistisch signifikante Tendenz wie der Friedman-Test aufweisen, werden die Ergebnisse als bestätigt betrachtet.

4.4.6 Komplikationsanalyse

Für die Analyse von Komplikationen ist die Unterscheidung in allgemeine und spezielle Komplikationen sinnvoll (39). Zu den allgemeinen Komplikationen nach operativer Versorgung zählen kardiale Komplikationen wie Myokardinfarkte, Herzinsuffizienz oder Herzrhythmusstörungen und pulmonale Komplikationen wie Lungenödeme, Atelektasen, Pneumonien, Hypoventilation oder Aspiration (80,81). Auch das Risiko für eine tiefe Beinvenenthrombose und weitere thrombembolische Ereignisse ist aufgrund der Immobilisation erhöht, weshalb eine medikamentöse und mechanische Prophylaxe von Nöten ist (18). Ebenfalls den allgemeinen Komplikationen zuzuordnen sind cerebrovasculäre Ereignisse (39). In der vorliegenden Studie treten bei insgesamt 9,3 % der Patienten allgemeine Komplikationen auf. Ekström et al. (20) berichten von einer postoperativen allgemeinen Komplikationsrate von 18,0 % und somit doppelt so vielen allgemeinen Komplikationen wie in der vorliegenden Studie, wobei diese nicht exakt aufgeschlüsselt werden. Die hohe Komplikationsrate mag darin begründet sein, dass nur ältere Patienten in die Studie von Ekström et al. (20) eingeschlossen werden. Dennoch ist zu beachten, dass auch in der vorliegenden Studie ein hohes Durchschnittsalter besteht und die Patienten aufgrund ihrer Vorerkrankungen und eingeschränkter Mobilisation ein erhöhtes Risiko für das Auftreten von allgemeinen Komplikationen aufweisen.

Weiterhin kann es nach operativer Frakturversorgung auch zu Weichteilkomplikationen kommen. In ihrer Metaanalyse berichten Kuzyk et al. (3) von 0,0 % bis 8,3 % Wundinfektionen, welche durch konservative Wundversorgung, systemische Antibiotikagabe und, bei schwerem Verlauf, zusätzlich durch chirurgisches Debridement therapiert werden. Suckel et al. (39) geben eine Infektionsrate von 3,1 %, Ekström et al. (20) von 9,0 % an. Damit liegt die in der vorliegenden Studie ermittelte Rate von 2,8 % eher im niedrigeren Bereich. Auch die Anzahl an behandlungsbedürftigen Hämatomen ist mit 1,4 % in der vorliegenden Studie etwas geringer als in der Studie von Suckel et al. (39).

Als kleiner Revisionseingriff gilt das Entfernen des distalen Bolzens, um nachträglich eine dynamische distale Verriegelung einzurichten (45). Vor allem bei verzögerter Frakturheilung kann die aus dem Eingriff resultierende Kompression der Fragmente im Bereich des Frakturspalts der entscheidende Impuls zur endgültigen Frakturheilung sein. In der vorliegenden Studie

erhalten 14,1 % der Patienten eine Dynamisierung, welche in knapp der Hälfte der Fälle zur Frakturheilung führt. Kumar et al. (69) berichten eine Dynamisierungsrate von 4,0 % mit anschließender Heilung aller Frakturen. In der Studie von Afsari et al. (37) hingegen findet trotz der Dynamisierung, die bei 2,2 % der Frakturen durchgeführt wird, keine Frakturheilung statt. In den meisten Studien wird jedoch nicht angegeben, ob eine Dynamisierung im Heilungsverlauf angewandt wird, sodass unklar bleibt, ob die Dynamisierungsrate in der vorliegenden Studie außergewöhnlich hoch ist.

Als spezielle Komplikationen werden solche bezeichnet, die in direktem Zusammenhang mit der Fraktur, der Frakturversorgung und dem verwendeten Implantat stehen. Zu diesen zählen beispielsweise Probleme in der Frakturheilung, wie eine verzögerte oder eine ausbleibende Heilung und daraus resultierende Pseudarthrosenbildung. In der vorliegenden Studie wird bei 7,0 % der Frakturen eine Pseudarthrosenbildung beobachtet. Die in der Literatur berichtete Rate an Pseudarthrosen liegt bei intramedullärer Versorgung zwischen 0,0 % und 5,6 % und ist damit unwesentlich geringer (3,23,38,39,41,46), während die Rate bei extramedullärer Versorgung bis zu 14,5 % beträgt (3,46).

Auch eine Refrakturierung, beispielsweise auf Höhe der distalen Verriegelung, ist als spezielle Komplikation zu nennen (16). Die in der vorliegenden Studie ermittelte Refrakturierungsrate von 1,4 % deckt sich mit den von Codesido et al. (38) und Suckel et al. (39) berichteten 1,1 % bzw. 3,1 %. Ein Implantatversagen und eine damit einhergehende Frakturdislokation hingegen ist eine wiederholt vorkommende Komplikation und wird mit einer Häufigkeit von 0,0 % bis 11,1% für intramedulläre und 0,0 % bis 35,3 % für extramedulläre Implantate beziffert (3,35,39,43,46,82,83). Mit 5,6 % liegt der Anteil der Frakturen, bei denen ein Implantatversagen auftritt, in der vorliegenden Studie im Mittelfeld der in der Literatur angegebenen Werte.

In der vorliegenden Studie schneidet in einem Fall (1,4 %) die Klinge des Implantats aus dem Hüftkopf aus. Dabei handelt es sich jedoch um ein Ausschneiden in den Gelenkspalt und nicht, wie bei pertrochantären Frakturen üblich, nach kranial. Ein sogenannter Cutout nach kranial tritt bei subtrochantären Frakturen nur sehr selten auf und zählt nicht zu den typischen Komplikationen. Kashigar et al. (50) berichten in ihrer Arbeit von einer Cutout-Rate von 13,0 %, weisen aber darauf hin, dass das nicht bei den subtrochantären Frakturen der Fall war. Dies liegt in der unterschiedlichen Biomechanik der verschiedenen Regionen des Femurs begründet, da unterschiedliche Kräfte auf die Fraktur und das Implantat wirken. Zudem liegt bei einer subtrochantären Femurfraktur der Frakturspalt meist nicht oder nur teilweise in dem Teil des Femurs,

in dem die Klinge verläuft, während sich bei pertrochantären Frakturen der Frakturspalt auf ebendiesen Teil konzentriert und zu mehr Instabilität führt.

Das Auftreten von Komplikationen, insbesondere von Pseudarthrosen und Implantatversagen, macht oftmals einen Revisionseingriff notwendig. Aufgrund von Fragmentdislokation, Knochenverlust, Knochentrümmern und beschädigter Implantate stellt sich die erneute Versorgung solcher Frakturen als besonders herausfordernd dar (48). Es muss abgewogen werden, ob weiterhin gelenkerhaltend operiert oder ein Gelenkersatz eingebracht werden soll. Die Entscheidung ist abhängig vom funktionellem Level und der Lebenserwartung des Patienten, bei jüngeren Patienten sollte jedoch nach Möglichkeit immer der Erhalt des nativen Knochens angestrebt werden (1). In der einschlägigen Literatur beträgt die Reoperationsrate bis zu 16,0 % für mit intramedullären und bis zu 35,3 % für mit extramedullären Implantaten primärversorgte subtrochantäre Frakturen (5,19,20,31,45–47,76). Mit 21,1 % ist der Anteil der Frakturen, bei denen eine Revisionsoperation wie eine Reosteosynthese, Pseudarthrosenanfrischung oder Umstellungsosteotomie durchgeführt werden musste, in der vorliegenden Studie höher als in vergleichbaren Studien. Dies kann teilweise durch das hohe Durchschnittsalter der Patienten und des damit einhergehenden schlechten Knochenstoffwechsels sowie der schon physiologisch eingeschränkten Belastbarkeit erklärt werden. Weiterhin bringt die Inklusion pathologischer und mit extramedullären Implantaten versorgter Frakturen in die Studie eine höhere Revisionsrate mit sich, wobei diese beiden Gruppen nur einen sehr geringen Anteil des Patientenkollektivs ausmachen. Es muss berücksichtigt werden, dass zum einen einstellige Komplikationsraten bei so kleinen Patientenkollektiven, wie sie bei der Untersuchung subtrochantärer Frakturen häufig sind, nicht zwingend repräsentative Werte darstellen. Zum anderen wird in zahlreichen Studien nicht genau definiert, welche Komplikationen und Eingriffe in die Komplikations- bzw. Revisionsrate miteinbezogen werden, sodass eine Vergleichbarkeit nicht immer gewährleistet werden kann.

Dennoch liegt in dieser Studie eine außergewöhnlich hohe Komplikations- und Revisionsrate vor, was die Dringlichkeit der Detektion von Risikofaktoren sowie die Elimination dieser verdeutlicht.

Darüber hinaus bleibt festzuhalten, dass subtrochantäre Femurfrakturen ein anderes Komplikationsprofil als weiter proximal lokalisierte Femurfrakturen aufweisen, da ein stabiles proximales Fragment, bestehend aus Femurkopf, -hals und dem Trochanter major, vorliegt. Dies zeigt sich beispielsweise in der sehr geringen Inzidenz des Ausschneidens der Klinge aus dem Femurkopf und dagegen häufiger auftretenden Pseudarthrosen und Schaftfrakturen (39).

4.4.7 Frakturheilung

Um eine möglichst objektive Bewertung der Frakturheilung zu erreichen, wird in der vorliegenden Studie der RUSH-Score als Bewertungsmaßstab herangezogen. Dieser Score hat den Vorteil einer hohen Übereinstimmung zwischen Radiologen und Unfallchirurgen bzw. orthopädischen Chirurgen sowie eine hohe Reproduzierbarkeit (62). Die meisten Studien der einschlägigen Literatur nutzen die klinische Erfahrung der Operateure und Radiologen, um den Grad der Frakturheilung auf Röntgenbildern zu beurteilen (26,36,69). Diese Art der Messung erschwert aufgrund ihrer Subjektivität einen direkten Vergleich der Ergebnisse.

Aufgrund des retrospektiven Charakters der vorliegenden Studie wurden die radiologischen Verlaufsaufnahmen der Frakturen den in der Studienplanung festgelegten Messzeitpunkten zugeordnet. So ist es möglich, dass ein Röntgenbild, was beispielsweise 5,5 oder 6,5 Monate postoperativ aufgenommen worden ist, dem Messzeitpunkt $t_{04} = 6$ Monate postoperativ zugeteilt wurde.

Der Anteil der ohne Revisionseingriff verheilten Frakturen ist mit 61,8 % in der vorliegenden Studie wesentlich geringer als in vergleichbaren Studien, in denen Heilungsraten von 68,0 % bis 100,0 % dokumentiert werden (23,26,36,68,69,82). Dabei verheilen innerhalb der ersten 6 Monate postoperativ und somit zeitgerecht und nicht verzögert sogar nur 42,3 % der Frakturen. Die Inklusion pathologischer Frakturen und das relativ hohe Durchschnittsalter der Patienten in der vorliegenden Studie sind zwar mögliche Gründe für eine geringere Heilungsrate, erklären aber nicht das hier aufgetretene Ausmaß des Unterschieds. In der vorliegenden Studie ist mit 16,9 % ein relativ hoher Loss-to-follow-up zu verzeichnen. Auch wenn die meisten dieser Patienten erst nach mehr als 6 Monaten postoperativ der Nachbeobachtung verloren gegangen und die Frakturen deshalb als Pseudarthrosen zu werten sind, ist nicht auszuschließen, dass in diesen Fällen eine verzögerte Frakturheilung stattgefunden hat. Somit könnte zumindest ein Teil dieser Frakturen zu den ohne Revisionseingriff verheilten Frakturen gezählt werden.

Dieses Ergebnis wirft die Frage auf, ob eine hohe Rate an verzögert verheilten Frakturen klinische Relevanz hat. Dass nach 12 Monaten 50,7 % und insgesamt 62,0 % der Frakturen ohne Revisionseingriff verheilen, deutet an, dass verzögerte Frakturheilung ein bei subtrochantären Femurfrakturen häufig auftretendes Phänomen darstellt und klinisch weniger bedeutend ist als bei anderen Frakturen.

Die in der vorliegenden Arbeit festgestellte mittlere Heilungsdauer von 25,98 Wochen deckt sich mit den Ergebnissen mehrerer Studien (35,41,45). Cho et al. (68) hingegen berichten eine

durchschnittliche Heilungszeit von 10,7 Monaten, untersuchen in ihrer Studie jedoch nur atypische, Bisphosphonat-assoziierte subtrochantäre Frakturen. Die die Einnahme von Bisphosphonaten bedingende Osteoporose liegt als Begründung für eine verzögerte Frakturheilung nahe. Passend dazu konnte in der vorliegenden Studie nachgewiesen werden, dass sich die mittlere Heilungsdauer unter Ausschluss von pathologischen Frakturen verkürzt. Kumar et al. (69) und Celebi et al. (84) geben mit 17,08 bzw. 15,10 Wochen eine wesentlich kürzere Heilungsdauer an. In beiden Studien ist das durchschnittliche Alter der betroffenen Patienten deutlich geringer als in der vorliegenden Studie, weshalb von einer besseren Knochensubstanz und Vaskularisation im Bereich der Fraktur und somit einer schnelleren Frakturheilung ausgegangen werden kann.

Bei der Beurteilung der Heilungsdauer ist zu beachten, dass die radiologischen Verlaufsbilder in bestimmten Zeitabständen aufgenommen werden und deswegen nicht den exakten Zeitpunkt der Frakturheilung wiedergeben können. Der wahre Zeitpunkt der Frakturheilung kann demnach schon Tage oder Wochen vor der Aufnahme des Röntgenbildes erreicht worden sein.

In der vorliegenden Studie wird die Heilung einer Fraktur ausschließlich anhand des Röntgenbildes festgestellt. In der Realität korreliert das auf dem Röntgenbild zu erkennende Ergebnis der Frakturheilung jedoch nicht immer mit dem subjektiven, vom Patienten empfundenen Outcome. Die Frakturheilung sollte vorzugsweise sowohl durch radiologische, als auch durch klinische Kriterien definiert werden, sodass auch Faktoren wie die Belastbarkeit der Extremität und Schmerzen Beachtung finden (70,85). Aufgrund des retrospektiven Designs der vorliegenden Studie war eine Erhebung des subjektiven Outcomes der Frakturversorgung nicht möglich.

4.4.8 Risikofaktoren für verzögerte oder ausbleibende Frakturheilung

In der vorliegenden Studie konnte kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen der Gruppe der verheilten und der nicht oder verzögert verheilten Frakturen hinsichtlich patientenbezogener Variablen wie des Alters, des Geschlechts oder des gesundheitlichen Zustands nachgewiesen werden.

Baumgaertner et al. (52) belegen in ihrer Studie, dass das Alter der Patienten, bei denen Komplikationen auftraten, signifikant höher ist als das der Patienten mit komplikationslosen Verläufen. Dies steht im Gegensatz zu den Ergebnissen der Studien von Lobo-Escolar et al. (4) und Geller et al. (54) sowie der vorliegenden Studie. Während die meisten Autoren zu dem Schluss kommen, dass das Geschlecht des Patienten keinen signifikanten Einfluss auf das Auftreten von

Komplikationen hat (4,52,54), sehen Caruso et al. (53) das weibliche Geschlecht als Risikofaktor und begründen dies durch die erhöhte Inzidenz von Osteoporose bei weiblichen Patienten. Sowohl in dieser als auch in der Studie von Baumgaertner et al. (52) wird jedoch vor allem ein Ausschneiden der Klinge aus dem Femurkopf als Komplikation untersucht, was bei subtrochantären Frakturen nur äußerst selten auftritt (s. Kapitel 4.4.6). Somit sind diese Risikofaktoren nicht auf das Auftreten von Komplikationen bei subtrochantären Frakturen übertragbar.

Dass der ASA Status (58) ebenfalls keinen Risikofaktor darstellt zeigt sich auch in weiteren Studien (52,65). Nur Lobo-Escolar et al. (4) weisen einen Zusammenhang zwischen einem niedrigeren ASA-Status, also gesünderen Patienten, und dem Ausschneiden der Klinge aus dem Femurkopf nach und halten eine höhere und frühere Belastung des Beins bei diesen Patienten für eine mögliche Ursache. Auch hier gilt es jedoch zu beachten, dass das Ausschneiden der Klinge keiner typischen Komplikation bei subtrochantären Femurfrakturen entspricht.

Die Untersuchungen von Riehl et al. (23) belegen, analog zur vorliegenden Studie, dass es bei subtrochantären Frakturen keinen Zusammenhang zwischen den Komorbiditäten der Patienten und einer verzögerten oder ausbleibenden Heilung gibt.

Auch die frakturbezogenen Variablen unterscheiden sich in der vorliegenden Studie nicht signifikant zwischen den beiden Gruppen, was im Folgenden diskutiert werden soll.

So stellen auch bei Caruso et al. (53) weder die Wartezeit bis zur primärversorgenden Operation noch der postoperative Belastungsaufbau Risikofaktoren für eine verzögerte oder ausbleibende Heilung dar. Die Unterscheidung einer Teilbelastung von 15 kg und einer Teilbelastung von 20 kg, wie sie in der vorliegenden Studie vorgenommen wurde, macht in der Praxis keinen Sinn, da im Alltag die Belastung vom Patienten weder genau gesteuert noch überprüft werden kann. Vor allem für ältere Patienten ist eine Teilbelastung nur schwer oder nicht umsetzbar, während bei jüngeren Patienten, die sich die subtrochantäre Fraktur häufig im Rahmen eines Hochenergetraumas zuziehen, die Art der Belastung auch von den Begleitverletzungen abhängt (45).

Zu den frakturbezogenen Variablen zählen unter anderem auch Frakturklassifikationen. In der vorliegenden Studie kann kein Zusammenhang zwischen bestimmten Frakturklassen und einer verzögerten bzw. ausbleibenden Heilung hergestellt werden. Dies liegt vor allem darin begründet, dass eine statistische Testung des Einflusses einer Frakturklassifikation auf den Heilungsverlauf bei so vielen Untergruppen wie bei der Seinsheimer- oder der AO-Klassifikation und gleichzeitig kleinem Patientenkollektiv nicht aussagekräftig ist. Zu dieser Einschätzung kommen auch Loizou et al. (8). Seinsheimer et al. (6) schätzen kürzere Spiralfrakturen als stabiler ein und dokumentieren die höchsten Komplikationsraten bei Frakturen des Typs IIIA nach der

Seinsheimer Klassifikation. Für Frakturen des Typs IV nach Seinsheimer weisen Shukla et al. (41) eine verlängerte Heilungszeit nach. Dem widersprechen Caruso et al. (53) und Miedel et al. (19), die, analog zur vorliegenden Studie, keinen Zusammenhang von Frakturklassifikation und Auftreten von Komplikationen bzw. Revisionsbedarf sehen.

Zu den frakturbezogenen Variablen zählt auch die Art der Versorgung der Fraktur. Da der Großteil der Patienten in der vorliegenden Studie mit einem PFNA versorgt wurde, wird der Einfluss der Wahl des Implantats auf die Frakturheilung nicht untersucht, weshalb diese Thematik hier auch nicht diskutiert werden soll.

Es gibt keinen Unterschied in der Länge des PFNA zwischen der Gruppe der verheilten und der verzögert bzw. nicht verheilten Frakturen. Auch Hoskins et al. (5) weisen keinen Zusammenhang von der Länge des intramedullären Nagels und dem Auftreten von Komplikationen nach. Kim et al. (35) hingegen vertreten in ihrer Arbeit die Ansicht, dass lange intramedulläre Nägel zu bevorzugen seien, da sie zu weniger Belastung des Implantats selbst sowie des Femurschafts führen. In dieser Studie findet jedoch kein direkter Vergleich von mit kurzen und langen Nägel versorgten Frakturen statt, sondern es werden lediglich die Ergebnisse der mit langen Nägeln versorgten Frakturen berichtet. Somit kann nicht belegt werden, ob kurze Nägel zu schlechteren Ergebnissen geführt hätten.

Auch ob die Reposition der Fragmente geschlossen oder offen durchgeführt wird, unterscheidet sich nicht in der Gruppe der verheilten und der verzögert bzw. nicht verheilten Frakturen. Zu dem gleichen Ergebnis kommen auch Riehl et al. (23). Codesido et al. (38) berichten eine kürzere Operationszeit bei geschlossener Reposition und einen kürzeren stationären Aufenthalt bei offener Reposition mit Einsatz von Cerclagen, können aber ebenfalls keine Auswirkung der Repositionsart auf das Auftreten von Komplikationen feststellen.

Ferner unterscheiden sich die Gruppen der verheilten und der verzögert bzw. nicht verheilten Frakturen in der vorliegenden Studie nicht hinsichtlich des Einsatzes und der Anzahl von Cerclagen. Müller et al. (16) belegen in ihrer biomechanischen Untersuchung, dass es keinen Unterschied hinsichtlich der Belastungstoleranz gibt, wenn Frakturen mit oder ohne Cerclage versorgt sind. Es kann jedoch eine signifikante Verringerung der Häufigkeit von Osteosyntheseversagen in Form eines Varusabkippens nachgewiesen werden. Hoskins et al. (5) berichten von einem signifikant seltenerem Auftreten von großen Komplikationen bei mit Cerclagen versorgten Frakturen. Sie führen dieses Ergebnis darauf zurück, dass die Frakturen nach Einbringen der Cerclage weniger Dislokation, geringere Winkelbildung und eine bessere Qualität der Reposition aufweisen. Auch Codesido et al. (38) zufolge kann durch den Einsatz von Cerclagen

eine bessere Reposition der Fragmente erreicht werden. Letztlich bringt eine Versorgung mit Cerclagen aber auch eine höhere Invasivität des Eingriffs und damit einen größeren Weichteilschaden mit sich, sodass dieser Nachteil gegen den Vorteil der besseren Reposition individuell abgewogen werden muss (16).

Zuletzt sollen auch die in der vorliegenden Studie beschriebenen Unterschiede der beiden Gruppen hinsichtlich der radiologisch ermittelten Variablen diskutiert werden.

Analog zur Studie von Kashigar et al. (50) unterscheidet sich der anhand des Singh Index eingeteilte Osteoporosegrad in der vorliegenden Studie nicht signifikant zwischen den verheilten und den verzögert bzw. nicht verheilten Frakturen. Lobo-Escolar et al. (4) hingegen zeigen einen direkten Zusammenhang zwischen dem Schweregrad der Osteoporose und dem Auftreten von Komplikationen auf. Dabei ist jedoch zu beachten, dass in dieser Studie alle extrakapsulären proximalen Femurfrakturen und somit vor allem Frakturen aus anderen Regionen als der subtrochantären eingeschlossen werden. Da sich die subtrochantäre Region sowohl anatomisch als auch biomechanisch von den anderen proximalen Regionen des Femurs unterscheidet, kann eine Übertragung dieses Ergebnisses auf Frakturen der subtrochantären Region in Frage gestellt werden.

In der vorliegenden Studie ist der postoperative CCD-Winkel in der Gruppe der verzögert oder nicht verheilten Frakturen signifikant kleiner als der Winkel der verheilten Frakturen. Demzufolge stellt ein variabler CCD-Winkel einen Risikofaktor für verzögerte oder ausbleibende Heilung dar. Bei Vorliegen einer subtrochantären Fraktur erhöht ein niedriger CCD-Winkel die mechanische Belastung dieser Region, insbesondere der medialen Säule, wodurch eine weitere Varisierung und in Folge auch ein Osteosyntheseversagen oder eine Pseudarthrosenbildung begünstigt wird (35). Auch Shukla et al. (41) ermitteln eine höhere Komplikationsrate bei Frakturen, die in Varusstellung reponiert sind. Zu einem ähnlichen Ergebnis kommen Cho et al. (68), die einen CCD-Winkel unter $125,6^\circ$ als Risikofaktor für Komplikationen feststellen.

Auch in der Studie von Kashigar et al. (50) findet sich ein signifikanter Unterschied des CCD-Winkels, jedoch gilt dieser als Risikofaktor für das Herausschneiden der Klinge aus dem Femurkopf, was in der Studie nur bei intertrochantären und nicht bei subtrochantären Frakturen auftritt. Das Herausschneiden der Klinge aus dem Femurkopf untersuchen auch Lobo-Escolar et al. (4) und kommen zu dem Ergebnis, dass es keinen Zusammenhang mit dem CCD-Winkel gibt. Da das keine typische Komplikation bei subtrochantären Frakturen ist, ist dieses Ergebnis nicht mit dem der vorliegenden Studie zu vergleichen.

Passend zu dem Resultat der vorliegenden Studie kommen zahlreiche Autoren zu der Übereinkunft, dass bei subtrochantären Femurfrakturen der ursprüngliche CCD-Winkel, der anhand des kontralateralen Femurs ermittelt werden kann, durch eine möglichst anatomische Reposition der Fraktur wiederhergestellt und insbesondere eine Varusfehlstellung vermieden werden soll (18,21,36,86,87).

In der vorliegenden Studie gibt es weder bei der Berechnung der Tip-Apex Distanz noch bei der Anwendung der Cleveland-Methode signifikante Unterschiede in der Position der Klinge im Femurkopf zwischen der Gruppe der verheilten und der Gruppe der verzögert bzw. nicht verheilten Frakturen. Diese Meinung wird gestützt von Hoskins et al. (5), die in ihrer Arbeit ebenfalls keinen Zusammenhang zwischen der TAD und dem Auftreten von Komplikationen nachweisen können, und Miedel et al. (19), die belegen, dass es keinen Zusammenhang zwischen der Position der Klinge im Femurkopf und der Notwendigkeit einer Revisionsoperation gibt.

Kashigar et al. (50) weisen in ihrer Studie einen signifikanten Unterschied in der TAD zwischen den Frakturen mit und ohne Herausschneiden der Klinge im Heilungsverlauf nach. Da diese Komplikation bei keiner subtrochantären Fraktur auftritt, kommen die Autoren zu dem Schluss, dass sich subtrochantäre Frakturen biomechanisch eher wie Schaft- als Hüftfrakturen verhalten und die Position der Klinge im Femurkopf aus diesem Grund weniger bedeutend für die Frakturheilung ist. Dies bestätigen Suckel et al. (39) durch den Beleg, dass die Schraubenposition nur bei intertrochantären Frakturen von Bedeutung ist.

Während die TAD bisher als wichtiger Vorhersageparameter für das Auftreten von Komplikationen bei proximalen Femurfrakturen betrachtet wurde (4,52,55,88), stützt die vorliegende Studie die Annahme, dass dies aufgrund der anatomischen und biomechanischen Unterschiede nicht für Frakturen der subtrochantären Region gilt.

In der vorliegenden Studie konnte kein signifikanter Unterschied in der Dislokation der Fragmente nach medial, lateral, ventral oder dorsal zwischen der Gruppe der verheilten und der Gruppe der verzögert oder nicht verheilten Frakturen nachgewiesen werden. Dies steht im Gegensatz zu den Ergebnissen von Hoskins et al. (5), die die kortikale Dislokation als Risikofaktor für große Komplikationen deklarieren. Als große Komplikation gilt in dieser Studie jedoch nur eine operative Revision aufgrund von Osteosyntheseversagen, Pseudarthrose oder Implantatversagen, während in der vorliegenden Studie auch Frakturen, die zwar verzögert, aber ohne Revisionseingriff heilen, zu der Vergleichsgruppe gehören. Dies könnte eine mögliche Begründung für die unterschiedlichen Ergebnisse darstellen. Abgesehen von der Studie von Hoskins

et al. (5) wird die Dislokation der Fragmente in der einschlägigen Literatur nicht als einzelner Risikofaktor für verzögerte oder ausbleibende Heilung getestet. Allerdings stellt die Dislokation ein Bewertungskriterium der Qualität der Reposition dar und nimmt somit indirekt Einfluss auf die Frakturheilung (s. Kapitel 3.8.3), was im übernächsten Abschnitt diskutiert werden soll.

Auch die Auswirkung eines dislozierten Trochanter minors wurde in der einschlägigen Literatur nicht untersucht. Einige Autoren (8,18,89) weisen auf eine höhere Komplikationsrate durch fehlende Abstützung bei einer verletzten medialen Femursäule hin, da dies ein Varusabkippen begünstigt. An dieser Stelle ist jedoch anzumerken, dass eine verletzte mediale Säule nicht immer mit einem dislozierten Trochanter minor gleichzusetzen ist.

Die Dislokation der Fragmente und der CCD-Winkel am verletzten Femur werden in der Qualität der Reposition nach Baumgaertner (52) zusammengefasst. In der vorliegenden Studie wird nachgewiesen, dass die Frakturen mit verzögerter oder ausbleibender Heilung eine signifikant schlechtere Qualität der Reposition aufweisen. Dies korreliert mit der Studie von Miedel et al. (19), die einen signifikanten Einfluss der Qualität der Reposition auf die Notwendigkeit einer Revisionsoperation belegen. Auch Cho et al. (68) berichten einen Zusammenhang von schlechter Reposition und ausbleibendem Erfolg in der Frakturheilung. Dem gegenüber steht das Ergebnis von Hoskins et al. (5), die in ihrer Untersuchung zeigen, dass der Unterschied in der Qualität der Reposition von Frakturen, die revidiert werden müssen, im Vergleich zu verheilten Frakturen nicht signifikant ist. Für die Bewertung der Qualität der Reposition ziehen die Autoren jedoch keine absoluten Werte für den CCD-Winkel heran, sondern wählen eine Winkelbildung der Fraktur von mehr als 10° als Bewertungskriterium. Dennoch vertreten Hoskins et al. (5) die Ansicht, dass eine anatomische Reposition der Fraktur von großer Wichtigkeit für die Heilung ist. In der Studie von Kashigar et al. (50) wird nachgewiesen, dass die Qualität der Reposition keinen Einfluss auf das Ausschneiden der Klinge aus dem Femurkopf hat. Da diese Komplikation nur bei intertrochantären und nicht bei subtrochantären Frakturen auftritt, steht dieses Ergebnis nicht im Widerspruch zu dem der vorliegenden Studie.

Bei einem Vergleich der Qualität der Reposition ist zu beachten, dass einige Autoren von den von Baumgaertner (52) definierten Kriterien zur Bewertung abweichen. So sind ursprünglich 4 mm der Grenzwert für die Dislokation der Fragmente, während Codesido et al. (38) 5 mm und Massoud et al. (90) 2 mm als Grenzwert festgelegt haben. Damit würden die verschiedenen Autoren die Qualität der Reposition einer Fraktur unterschiedlich bewerten, was die Vergleichbarkeit der Ergebnisse einschränkt.

Obwohl es sich bei subtrochantären Femurfrakturen nicht um intraartikuläre Frakturen handelt und sie am Femurschaft lokalisiert sind, ist eine exakte und möglichst anatomische Reposition der Fragmente indiziert, da somit das Auftreten von Komplikationen verringert werden kann. Diese Meinung vertreten auch Mingo-Robinet et al. (36), Lundy et al. (18) und zahlreiche weitere Autoren (21,23,26,89). Codesido et al. (38) zeigen darüber hinaus auf, dass eine anatomische Reposition nicht nur für die orthopädische Funktion, sondern auch für die Lebensqualität und die Selbstständigkeit der Patienten von großer Bedeutung ist.

Da das proximale Fragment einer subtrochantären Femurfraktur häufig in typischer Stellung disloziert ist, führt eine geschlossene Reposition in den meisten Fällen nur zu unbefriedigenden Repositionsergebnissen. So wird eine Varusmalformation begünstigt, die einen wichtigen Risikofaktor für das Auftreten von Komplikationen darstellt (37,38). Aus diesem Grund empfehlen auch Lundy et al. (18) und Hoskins et al. (5) offen zu reponieren, wenn eine anatomische Reposition geschlossen nicht möglich ist. Hoskins et al. (5) schlagen überdies den Einsatz von Cerclagen vor, um eine anatomische Stellung der Fragmente zu erreichen, während Mingo-Robinet et al. (36) eine minimalinvasive Reposition mithilfe einer Zange als mindestens gleichwertige Methode beurteilen. Auch Yoon et al. (2) und Afsari et al. (37) sind der Meinung, dass eine zangengestützte Reposition bei vergleichsweise kleiner Inzision die besten Ergebnisse bringt. Festzuhalten bleibt, dass eine anatomische Reposition der Fragmente bei der Versorgung subtrochantärer Frakturen anzustreben ist.

4.4.9 Zusammenhang verschiedener Variablen und der Frakturheilungsdauer

Der Einfluss verschiedener Variablen auf die Frakturheilungsdauer wird in der einschlägigen Literatur nur vereinzelt untersucht.

In der vorliegenden Studie wird nachgewiesen, dass die Frakturheilungsdauer zunimmt, je kleiner der postoperative CCD-Winkel am verletzten Femur ist. In der Literatur konnte keine Studie gefunden werden, die ebendiesen Zusammenhang untersucht. Lediglich Rieh et al. (23) berichten, dass die Heilungszeit verringert wird, wenn die Flächen der Fragmente in allen Ebenen weniger als 10° Abweichung aufweisen. Dies spricht zwar unter anderem für eine anatomische Wiederherstellung des CCD-Winkels, berücksichtigt aber nicht den Unterschied zwischen einer varischen oder valgischen Abweichung des CCD-Winkels und gewichtet eine auf dem lateralen Röntgenbild sichtbare Winkelbildung ebenso wie eine Veränderung des CCD-Winkels. Somit deutet diese Studie zwar ein ähnliches Ergebnis wie das der vorliegenden Studie an, ist aber nicht direkt vergleichbar.

Weiterhin konnte in der vorliegenden Studie belegt werden, dass Frakturen mit einer guten Qualität der Reposition signifikant schneller verheilen als solche mit einer akzeptablen oder schlechten Qualität der Reposition. Codesido et al. (38) weisen eine kürzere Heilungsdauer in der Gruppe der mit Cerclagen versorgten Frakturen nach. Da sich diese Gruppe vor allem durch eine bessere Qualität der Reposition auszeichnet, ist zu vermuten, dass diese ursächlich für die verkürzte Heilungszeit ist. Im Umkehrschluss berichten Cho et al. (68) von einem Zusammenhang zwischen einer schlechten Qualität der Reposition und einer verzögerten Frakturheilung. Bei der Betrachtung dieser Ergebnisse müssen dieselben methodischen Kritikpunkte an der Festlegung des Heilungsdatums berücksichtigt werden, die bereits im Kapitel „Frakturheilung“ (s. Kapitel 4.4.7) analysiert wurden.

4.5 Ausblick

Zunächst ist festzuhalten, dass subtrochantäre Femurfrakturen trotz ihrer eher geringen Inzidenz als eigene Frakturklasse betrachtet werden sollten. Sie unterscheiden sich aufgrund von anatomischen und biomechanischen Besonderheiten stark von weiter proximal lokalisierten Femurfrakturen oder Femurschaftfrakturen. Dies wirkt sich sowohl auf ihre Behandlung als auch auf ihr Heilungsverhalten sowie das Auftreten von Komplikationen aus. Vor allem in zukünftigen Studien ist eine isolierte Untersuchung subtrochantärer Femurfrakturen erstrebenswert.

In der vorliegenden Studie wurden verschiedene Risikofaktoren, die die Frakturheilung negativ beeinflussen, ermittelt. Dabei gilt es zu unterscheiden, welche dieser Risikofaktoren patientenbezogen, und somit im Fall einer akut aufgetretenen Fraktur nicht zu beeinflussen, und welche behandlungsbezogen sind. Letztere sind von Seiten der Behandler beeinflussbar und sollten reduziert oder eliminiert werden, um den Outcome der Versorgung subtrochantärer Femurfrakturen zu verbessern.

Zu diesen beeinflussbaren Risikofaktoren zählt ein varischer postoperativer CCD-Winkel, der durch die typische Stellung der Fragmente begünstigt wird, sowie eine schlechte Qualität der Reposition. Beide Faktoren haben einen negativen Einfluss auf die Frakturheilung und die Heilungsdauer. Daraus ergibt sich die Konsequenz, dass subtrochantäre Femurfrakturen durch die operative Versorgung möglichst anatomisch reponiert und bevorzugt in Valgusstellung fixiert werden sollten.

Die Limitation dieser Studie liegt vor allem in ihrem retrospektiven Charakter. Da subtrochantäre Femurfrakturen im Vergleich zu anderen proximalen Femurfrakturen eine relativ niedrige

Inzidenz aufweisen, ist das Patientenkollektiv trotz des langen Beobachtungszeitraums klein. Zusätzlich kommt es zu wiederholtem Ausschluss von Frakturen aufgrund zu geringer Nachbeobachtungszeit. Durch dieses kleine Patientenkollektiv kommt es häufig zu so geringen Gruppengrößen, wie beispielsweise bei der Klassifikation der Frakturen, dass eine statistische Testung nicht durchführbar oder nicht aussagekräftig ist. Auch einstellige Prozentwerte, wie zum Beispiel in der Komplikationsanalyse, sind nicht zwingend repräsentativ für die Gesamtheit der subtrochantären Frakturen, da sie durch Einzelfälle stark verzerrt werden können.

Eine weitere Einschränkung stellen die fehlenden Daten zum subjektiven Outcome der Frakturbehandlung dar. Durch das retrospektive Design der Studie konnte kein objektivierbarer Fragebogen oder ein ähnliches Instrumentarium zur Erhebung des subjektiven Outcomes genutzt werden, sodass sich die Untersuchung auf die radiologischen Ergebnisse beschränkt. Überdies können Ausmessungen anhand von Röntgenbildern zu Ungenauigkeiten führen, die durch eine CT-basierte Untersuchung zu vermeiden wären. Eine solche wäre jedoch für die Patienten aufgrund der nicht indizierten Strahlenbelastung nicht zumutbar.

Um die Erkenntnisse der vorliegenden Studie zu verifizieren und Verzerrungen, die durch das retrospektive Design sowie das kleine Patientenkollektiv entstehen, zu vermeiden, wäre eine multizentrische, prospektive Studie mit der gleichen Zielsetzung wünschenswert.

5 Zusammenfassung

Subtrochantäre Femurfrakturen treten vor allem in höherem Alter nach häuslichem Sturz oder bei jüngeren Patienten im Rahmen eines Hochenergietraumas auf. Im Zuge des demografischen Wandels wird die Inzidenz solcher Femurfrakturen in den nächsten Jahren zunehmen.

Die Versorgung subtrochantärer Femurfrakturen ist aufgrund der massiven Kräfte, die auf diese Region wirken, sehr anspruchsvoll und zieht eine hohe Komplikationsrate nach sich. Insbesondere Pseudarthrosenbildung und Implantatversagen sind als typische Komplikationen subtrochantärer Femurfrakturen zu nennen. Proportional zur Inzidenz wird auch die Anzahl komplikationsreicher Verläufe und die daraus resultierende Notwendigkeit für Revisionseingriffe weiterhin steigen.

Um die Komplikationsrate in Zukunft zu verringern, war das Ziel der vorliegenden Studie, die sekundäre Dislokation subtrochantärer Femurfrakturen im Heilungsverlauf zu untersuchen, Risikofaktoren für eine verzögerte oder ausbleibende Frakturheilung zu ermitteln und Methoden zur Elimination oder Reduzierung dieser zu entwickeln.

Im Rahmen dieser retrospektiven Studie wurden 76 subtrochantäre Femurfrakturen von 75 Patienten, die im Zeitraum von 2007 bis 2017 im Universitätsklinikum Regensburg versorgt wurden, untersucht. Die Datenerhebung erfolgte anhand der Patientendaten sowie der präoperativ, postoperativ und im Heilungsverlauf aufgenommenen Röntgenbilder.

Die Frakturklassifikation und der Singh-Index wurden auf den präoperativen Röntgenbildern bestimmt. Auf den postoperativen Röntgenbildern wurden die Dislokation der Fragmente nach medial, lateral, ventral und dorsal, der CCD-Winkel, die Position der Klinge im Femurkopf und die Nachsinterung nach distal gemessen sowie die Qualität der Reposition beurteilt. Die Dislokation der Fragmente, der CCD-Winkel und die Nachsinterung nach distal wurden auch auf den radiologischen Verlaufsaufnahmen ermittelt und mit den postoperativen Werten verglichen. Mithilfe des RUSH-Scores wurde der Grad der Frakturheilung bewertet.

Anschließend wurden die Frakturen in zwei Gruppen eingeteilt (innerhalb von 6 Monaten verheilt versus verzögert/nicht verheilt) und auf Unterschiede hinsichtlich der erhobenen Variablen geprüft. Weiterhin wurden die verschiedenen Variablen auf ihren Zusammenhang mit der Frakturheilungsdauer untersucht.

Von 76 subtrochantären Femurfrakturen verheilten 30 Frakturen (42,3 %) innerhalb von 6 Monaten nach der Primärversorgung, insgesamt verheilten 45 Frakturen (59,2 %) ohne Revisionseingriff bei einer mittleren Heilungsdauer von 181,83 Tagen.

Die sekundäre Dislokation stellte sich als signifikantes varisches Abkippen des CCD-Winkels um durchschnittlich $4,52^\circ$ dar ($p < .001$). Darüber hinaus konnte eine signifikante distale Nachsinterung in Form einer Beinlängenverkürzung um durchschnittlich 4,81 mm festgestellt werden ($p < .001$).

Der postoperative CCD-Winkel am verletzten Femur war in der Gruppe der verheilten Frakturen signifikant größer als in der Gruppe der verzögert/nicht verheilten Frakturen ($127,42^\circ$ vs. $123,44^\circ$, $p = .014$). Weiterhin unterschied sich die Gruppe der verheilten Frakturen von der anderen Gruppe durch eine signifikant bessere Qualität der Reposition ($p = .011$). Sowohl der CCD-Winkel als auch die Qualität der Reposition hatten auch einen signifikanten Einfluss auf die Dauer der Frakturheilung ($p = .028$ und $p = .034$).

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass die anatomische Reposition und die Vermeidung eines varischen CCD-Winkels und somit eine gute Qualität der Reposition der Schlüssel zum Erfolg in der Versorgung subtrochantärer Femurfrakturen sind.

6 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Typische Fragmentstellung bei subtrochantärer Femurfraktur: Proximales Fragment in Abduktion, Flexion und Außenrotation, distales Fragment adduziert und verkürzt.....	10
Abbildung 2: Seinsheimer Klassifikation (verändert nach (25)).	11
Abbildung 3: AO-Klassifikation subtrochantärer Femurfrakturen (verändert nach (25)).	12
Abbildung 4: Frakturklassen 32A-C der 2018 überarbeiteten AO-Klassifikation (verändert nach (25)).	13
Abbildung 5: Russel-Taylor-Klassifikation (verändert nach (25)).	14
Abbildung 6: Flowchart zur Studienpopulation.....	21
Abbildung 7: Methodische Darstellung der Messung der Dislokation der Fragmente nach lateral (a), medial (b), dorsal (c) und ventral (d) auf dem anterior- posterioren (linkes Bild) und dem lateralen (rechtes Bild) Röntgenbild des proximalen Femurs.....	24
Abbildung 8: Schematische Darstellung der Messung des CCD-Winkels nach der Methode von M.E. Müller (60). M = Hüftkopfmittelpunkt, A = lateraler Punkt der stärksten Taillierung, B = Punkt am medialen Schenkelhals (durch 2. Kreis), 1 = Schenkelhalsachse, 2 = Femurschaftachse (verändert nach (61)).	25
Abbildung 9: Methodische Darstellung der Messung des CCD-Winkels (α) nach M.E. Müller (60) auf dem anterior-posterioren Röntgenbild des proximalen Femurs.	25
Abbildung 10: Schematische Darstellung der Messung der Tip-Apex-Distanz (TAD) nach Baumgaertner (52) (verändert nach (52)).	26
Abbildung 11: Die neun Zonen des Femurkopfs nach der Cleveland Methode (57) sowie die zentrale (weiß) und die peripheren Zonen 1 (dunkelgrau) und 2 (hellgrau) der modifizierten Cleveland Methode (53) zur Einteilung der Position der Klinge (verändert nach (53)).	27
Abbildung 12: Methodische Darstellung der Messung des Abstands (e, f) von der unteren Begrenzung des distalen Verriegelungslochs zum unteren Rand des Verriegelungsbolzens zur Ermittlung der distalen Nachsinterung auf	

den anterior-posterioren Röntgenbildern des distalen Femurs direkt (linkes Bild) und drei Monate (rechtes Bild) postoperativ.	28
Abbildung 13: Altersverteilung der Patienten zum Operationszeitpunkt.	32
Abbildung 14: Geschlechterverhältnis der Patienten.	33
Abbildung 15: Einteilung der Werte des BMI der Patienten zum Operationszeitpunkt in die von der WHO (63) definierten BMI-Klassen.	33
Abbildung 16: Häufigkeiten der verschiedenen Stufen des ASA Physical Status der Patienten zum Operationszeitpunkt.	34
Abbildung 17: Anzahl der Patienten mit einer potenziell die Frakturheilung beeinflussenden Komorbidität.	34
Abbildung 18: Anzahl der Patienten, die mit einer potenziell die Frakturheilung beeinflussenden Medikation therapiert wurden.	35
Abbildung 19: Seitenverhältnis der frakturierten Femora.	36
Abbildung 20: Häufigkeiten der Unfallhergänge.	36
Abbildung 21: Häufigkeiten der Unfallhergänge nach Geschlecht.	37
Abbildung 22: Verteilung der Art der Reposition der Frakturen.	38
Abbildung 23: Häufigkeit der verschiedenen Osteosyntheseverfahren: AFN = Antegrader Femurnagel, PFNA = Proximaler Femurnagel Antirotation, DHS = Dynamische Hüftschraube, LCP = Locking Compression Plate, NCB = Non Contact Bridging winkelstabile Platte.	39
Abbildung 24: Anterior-posteriore Röntgenaufnahmen mit einer NCB Platte (links), einem PFNA (Mitte) und einem PFNA und drei Drahtcerclagen (rechts) versorgter subtrochantärer Femurfrakturen.	39
Abbildung 25: Häufigkeit der postoperativen Belastung der betroffenen Extremität.	40
Abbildung 26: Dauer des stationären Aufenthalts der Patienten bei Primärversorgung ihrer subtrochantären Femurfraktur in Tagen.	41
Abbildung 27: Postoperativer CCD-Winkel am verletzten und kontralateralen Femur.	46
Abbildung 28: Häufigkeiten der Position der Klingenspitze im Femurkopf nach der Cleveland-Methode (57) (verändert nach (53)).	47

Abbildung 29: Distale Nachsinterung in mm im Verlauf der Frakturheilung (Werte aus den Ergebnissen des Friedman-Tests; ges. = gesamte Nachsinterung).	48
Abbildung 30: Radiologische Aufnahmen der distalen Nachsinterung bei einem Patienten mit subtrochantärer Femurfraktur direkt postoperativ sowie 3, 6 und 9 Monate (von links nach rechts) nach der Primärversorgung.	50
Abbildung 31: CCD-Winkel am verletzten Femur im Verlauf der Frakturheilung.	51
Abbildung 32: Radiologische Aufnahmen der Veränderung des CCD-Winkels im Verlauf der Frakturheilung zu den Zeitpunkten direkt postoperativ sowie 6 Wochen und 12 Monate (von links nach rechts) nach der Primärversorgung.	52
Abbildung 33: Vergleich eines direkt postoperativ (links) und im Heilungsverlauf (rechts) aufgenommenen anterior-posterioren Röntgenbilds: Varisches Abkippen der Fraktur bei Implantatversagen.	54
Abbildung 34: Anterior-posteriore Röntgenbild einer periimplantären Fraktur.	54
Abbildung 35: Anterior-posteriore (links) und laterales (rechts) Röntgenbild einer aus dem Femurkopf in das Hüftgelenk ausgeschnittenen Klinge des PFNA.	55
Abbildung 36: Flowchart zum Verlauf der Frakturheilung der am Universitätsklinikum Regensburg primärversorgten subtrochantären Femurfrakturen.	58
Abbildung 37: Postoperativer CCD-Winkel des verletzten Femurs in der Gruppe der verheilten (Gruppe 1) und der Gruppe der verzögert bzw. nicht verheilten Frakturen (Gruppe 2).	61
Abbildung 38: Postoperativer CCD-Winkel des kontralateralen, unverletzten Femurs in der Gruppe der verheilten (Gruppe 1) und der Gruppe der verzögert bzw. nicht verheilten Frakturen (Gruppe 2).	62
Abbildung 39: Auf den postoperativen Röntgenaufnahmen ermittelte Qualität der Reposition nach Baumgaertner (52) bei verheilten und verzögert bzw. nicht verheilten Frakturen.	63
Abbildung 40: Auf den postoperativen Röntgenaufnahmen ermittelte Qualität der Reposition nach Baumgaertner (52) bei verheilten und verzögert bzw. nicht verheilten Frakturen unter Ausschluss der pathologischen Frakturen.	64
Abbildung 41: Dauer der Frakturheilung in Tagen in Abhängigkeit von der Qualität der Reposition der Fraktur.	65

Abbildung 42: Fallanalyse 1, Röntgenaufnahmen der subtrochantären Femurfraktur: Anterior-posterior präoperativ (links), anterior-posterior direkt postoperativ (Mitte) und lateral direkt postoperativ (rechts).....	66
Abbildung 43: Fallanalyse 1, Röntgenaufnahmen der subtrochantären Femurfraktur: Anterior-posterior 8 Monate postoperativ (links) und lateral 8 Monate postoperativ (rechts).....	67
Abbildung 44: Fallanalyse 1, Röntgenaufnahmen der subtrochantären Femurfraktur nach der Revisionsoperation: Anterior-posterior direkt postoperativ (links) und lateral direkt postoperativ (rechts).....	67
Abbildung 45: Fallanalyse 1, Röntgenaufnahmen der subtrochantären Femurfraktur nach der Revisionsoperation: Anterior-posterior 6 Monate postoperativ (links) und lateral 6 Monate postoperativ (rechts).....	68
Abbildung 46: Fallanalyse 2, Röntgenaufnahmen der subtrochantären Femurfraktur: Anterior-posterior präoperativ (links), anterior-posterior 6 Wochen postoperativ (Mitte) und lateral 6 Wochen postoperativ (rechts).....	69
Abbildung 47: Fallanalyse 2, Röntgenaufnahmen der subtrochantären Femurfraktur nach der 1. Revisionsoperation: Anterior-posterior 6 Wochen postoperativ (links), lateral 6 Wochen postoperativ (Mitte) und anterior- posterior 2 Monate postoperativ (rechts).....	70
Abbildung 48: Fallanalyse 2, Röntgenaufnahmen der subtrochantären Femurfraktur nach der 2. Revisionsoperation: Anterior-posterior 6 Wochen postoperativ (links) und lateral 6 Wochen postoperativ (rechts).....	71
Abbildung 49: Fallanalyse 2, Röntgenaufnahmen der subtrochantären Femurfraktur nach der 2. Revisionsoperation: Anterior-posterior 3 Monate postoperativ (links) und lateral 3 Monate postoperativ (rechts).....	71
Abbildung 50: Fallanalyse 2, Röntgenaufnahmen der subtrochantären Femurfraktur nach der 3. Revisionsoperation: Anterior-posterior 6 Wochen postoperativ (links) und lateral 6 Wochen postoperativ (rechts).....	72
Abbildung 51: Fallanalyse 2, Röntgenaufnahmen der subtrochantären Femurfraktur nach der 3. Revisionsoperation: Anterior-posterior 2 Monate postoperativ (links) und lateral 2 Monate postoperativ (rechts).....	73
Abbildung 52: Fallanalyse 2, Röntgenaufnahmen der subtrochantären Femurfraktur nach der 4. Revisionsoperation: Anterior-posterior direkt postoperativ (links) und lateral direkt postoperativ (rechts).....	74

Abbildung 53: Fallanalyse 2, Röntgenaufnahmen der subtrochantären Femurfraktur
nach der 4. Revisionsoperation: Anterior-posterior 12 Monate
postoperativ (links) und lateral 12 Monate postoperativ (rechts)..... 75

7 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Einteilung der Frakturen anhand der Seinsheimer-Klassifikation.....	42
Tabelle 2:	Einteilung der Frakturen anhand der Russel-Taylor-Klassifikation.....	43
Tabelle 3:	Einteilung der Frakturen anhand der AO-Klassifikation.....	43
Tabelle 4:	Einteilung der Frakturen anhand der 2018 überarbeiteten AO-Klassifikation.....	44
Tabelle 5:	Dislokation der Fragmente in verschiedene Richtungen in mm.....	45
Tabelle 6:	Nachsinterung nach distal in mm zu verschiedenen Zeitpunkten im Frakturheilungsverlauf.....	48
Tabelle 7:	Vergleich der distalen Nachsinterung in mm zwischen je zwei verschiedenen Zeitpunkten T1 und T2.	49
Tabelle 8:	CCD-Winkel (in °) am verletzten Femur zu verschiedenen Zeitpunkten im Frakturheilungsverlauf.	50
Tabelle 9:	Vergleich des CCD-Winkels (in °) des verletzten Femurs zwischen je zwei verschiedenen Zeitpunkten T1 und T2.....	52
Tabelle 10:	Auflistung der ersten aufgetretenen Komplikation, des ersten durchgeführten Revisionsverfahrens sowie der Anzahl der Revisionen der einzelnen am Universitätsklinikum Regensburg primärversorgten Patienten.	56
Tabelle 11:	Auflistung der ersten aufgetretenen Komplikation, des ersten durchgeführten Revisionsverfahrens sowie der Anzahl der Revisionen der einzelnen extern primärversorgten Patienten.	57
Tabelle 12:	Vergleich der Gruppe der verheilten Frakturen (Gruppe 1) und der Gruppe der verzögert bzw. nicht verheilten Frakturen (Gruppe 2) hinsichtlich der Dislokation der Fragmente nach medial, lateral, ventral und dorsal.....	63
Tabelle 13:	Klassifikation der subtrochantären Frakturen nach Russel-Taylor in der vorliegenden und drei vergleichbaren Studien.	89

8 Literaturverzeichnis

1. Dziadosz D. Considerations with failed intertrochanteric and subtrochanteric femur fractures: how to treat, revise, and replace. *J Orthop Trauma* 2015;29 Suppl 4:S17-21. doi: 10.1097/BOT.0000000000000289.
2. Yoon RS, Donegan DJ, Liporace FA. Reducing subtrochanteric femur fractures: tips and tricks, do's and don'ts. *J Orthop Trauma* 2015;29 Suppl 4:S28-33. doi: 10.1097/BOT.0000000000000287.
3. Kuzyk PRT, Bhandari M, McKee MD, Russell TA, Schemitsch EH. Intramedullary versus extramedullary fixation for subtrochanteric femur fractures. *J Orthop Trauma* 2009;23(6):465–70. doi: 10.1097/BOT.0b013e3181acfdfd.
4. Lobo-Escolar A, Joven E, Iglesias D, Herrera A. Predictive factors for cutting-out in femoral intramedullary nailing. *Injury* 2010;41(12):1312–6. doi: 10.1016/j.injury.2010.08.009.
5. Hoskins W, Bingham R, Joseph S, Liew D, Love D, Bucknill A, et al. Subtrochanteric fracture: the effect of cerclage wire on fracture reduction and outcome. *Injury* 2015;46(10):1992–5. doi: 10.1016/j.injury.2015.07.001.
6. Seinsheimer F. Subtrochanteric fractures of the femur. *J Bone Joint Surg Am* 1978;60(3):300–6. PubMed PMID: 649632.
7. Müller ME, Nazarian S, Koch P, Schatzker J. *The Comprehensive Classification of Fractures of Long Bones*. Berlin, Heidelberg: Springer; 1990.
8. Loizou CL, McNamara I, Ahmed K, Pryor GA, Parker MJ. Classification of subtrochanteric femoral fractures. *Injury* 2010;41(7):739–45. doi: 10.1016/j.injury.2010.02.018.
9. Russell TA, Taylor JC. Subtrochanteric fractures of the femur. In: Browner BD, editor. *Skeletal trauma: Fractures, dislocations, ligamentous injuries*. Philadelphia: W.B. Saunders; 1992. p. 1485–524.

10. Kellam JF, Meinberg EG, Agel J, Karam MD, Roberts CS. Introduction: Fracture and Dislocation Classification Compendium-2018: International Comprehensive Classification of Fractures and Dislocations Committee. J Orthop Trauma 2018;32 Suppl 1:S1-S10. doi: 10.1097/BOT.0000000000001063.
11. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. World Population Prospects: The 2015 Revision, Key Findings and Advance Tables [Internet] [cited 2018 Oct 15]. Available from: https://esa.un.org/unpd/wpp/publications/files/key_findings_wpp_2015.pdf.
12. Statistisches Bundesamt. Gesundheitsberichterstattung des Bundes: Diagnosedaten der Krankenhäuser S72.2 Subtrochantäre Fraktur [Internet]; 2018 [cited 20.10.18]. Available from: http://www.gbe-bund.de/oowa921-install/servlet/oowa/aw92/WS0100/_XWD_FORMPROC?TARGET=&PAGE=_XWD_102&OPINDEX=2&HANDLER=_XWD_CUBE.SETPGS&DATACUBE=_XWD_130&D.001=1000001&D.946=17948&D.011=44302.
13. Statistisches Bundesamt. Gesundheitsberichterstattung des Bundes: Diagnosedaten der Krankenhäuser S72.0 Schenkelhalsfraktur [Internet]; 2018 [cited 16.10.18]. Available from: http://www.gbe-bund.de/oowa921-install/servlet/oowa/aw92/WS0100/_XWD_FORMPROC?TARGET=&PAGE=_XWD_216&OPINDEX=4&HANDLER=_XWD_CUBE.SETPGS&DATACUBE=_XWD_244&D.001=1000001&D.946=17946&D.011=44302.
14. Statistisches Bundesamt. Gesundheitsberichterstattung des Bundes: Diagnosedaten der Krankenhäuser S72.1 Pertrochantäre Fraktur [Internet]; 2018 [cited 20.10.18]. Available from: http://www.gbe-bund.de/oowa921-install/servlet/oowa/aw92/WS0100/_XWD_FORMPROC?TARGET=&PAGE=_XWD_102&OPINDEX=1&HANDLER=_XWD_CUBE.SETPGS&DATACUBE=_XWD_130&D.001=1000001&D.946=17947&D.011=44302.
15. Statistisches Bundesamt. Gesundheitsberichterstattung des Bundes: Diagnosedaten der Krankenhäuser S72 Fraktur des Femurs [Internet]; 2018 [cited 22.10.18]. Available from: http://www.gbe-bund.de/oowa921-install/servlet/oowa/aw92/WS0100/_XWD_FORM-

PROC?TARGET=&PAGE=_XWD_296&OPINDEX=1&HANDLER=_XWD_CUBE.SETPGS&DATACUBE=_XWD_324&D.001=1000001&D.946=13699&D.011=44302.

16. Müller T, Topp T, Kühne CA, Gebhart G, Ruchholtz S, Zettl R. The benefit of wire cerclage stabilisation of the medial hinge in intramedullary nailing for the treatment of subtrochanteric femoral fractures: a biomechanical study. *Int Orthop* 2011;35(8):1237–43. doi: 10.1007/s00264-010-1204-4.
17. Weyler E-J, Gandjour A. Sozioökonomische Bedeutung von Hüftfrakturen in Deutschland. *Gesundheitswesen* 2007;69(11):601–6. doi: 10.1055/s-2007-992778.
18. Lundy DW. Subtrochanteric femoral fractures. *J Am Acad Orthop Surg* 2007;15(11):663–71. PubMed PMID: 17989417.
19. Miedel R, Törnkvist H, Ponzer S, Söderqvist A, Tidermark J. Musculoskeletal function and quality of life in elderly patients after a subtrochanteric femoral fracture treated with a cephalomedullary nail. *J Orthop Trauma* 2011;25(4):208–13. doi: 10.1097/BOT.0b013e3181eaaf52.
20. Ekström W, Németh G, Samnegård E, Dalen N, Tidermark J. Quality of life after a subtrochanteric fracture: a prospective cohort study on 87 elderly patients. *Injury* 2009;40(4):371–6. doi: 10.1016/j.injury.2008.09.010.
21. Panteli M, Mauffrey C, Giannoudis PV. Subtrochanteric fractures: Issues and challenges. *Injury* 2017;48(10):2023–6. doi: 10.1016/j.injury.2017.09.001.
22. Koch JC. The laws of bone architecture. *Am. J. Anat.* 1917;21(2):177–298. doi: 10.1002/aja.1000210202.
23. Riehl JT, Koval KJ, Langford JR, Munro MW, Kupiszewski SJ, Haidukewych GJ. Intramedullary nailing of subtrochanteric fractures: does malreduction matter? *Bulletin of the Hospital for Joint Disease* 2014;72(2):159–63. PubMed PMID: 25150344.
24. Kyle RF, Cabanela ME, Russell TA, Swiontkowski MF, Winkquist RA, Zuckerman JD, et al. Fractures of the proximal part of the femur. *Instr Course Lect* 1995;44:227–53. PubMed PMID: 7797861.

25. Guyver PM, McCarthy MJH, Jain NPM, Poulter RJ, McAllen CJP, Keenan J. Is there any purpose in classifying subtrochanteric fractures? The reproducibility of four classification systems. *Eur J Orthop Surg Traumatol* 2014;24(4):513–8. doi: 10.1007/s00590-011-0780-3.
26. Zhou Z-B, Chen S, Gao Y-S, Sun Y-Q, Zhang C-Q, Jiang Y. Subtrochanteric femur fracture treated by intramedullary fixation. *Chinese Journal of Traumatology* 2015;18(6):336–41. doi: 10.1016/j.cjtee.2015.11.011.
27. Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie et al. S3-Leitlinie Polytrauma/Schwererletzten-Behandlung [Internet]; 2016 [cited 2020 Jun 10]. Available from: https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/012-019l_S3_Polytrauma_Schwererletzten-Behandlung_2017-08.pdf.
28. Kraemer WJ, Hearn TC, Powell JN, Mahomed N. Fixation of segmental subtrochanteric fractures. A biomechanical study. *Clin Orthop Relat Res* 1996(332):71–9. PubMed PMID: 8913147.
29. Forward DP, Doro CJ, O’Toole RV, Kim H, Floyd JCP, Sciadini MF, et al. A biomechanical comparison of a locking plate, a nail, and a 95° angled blade plate for fixation of subtrochanteric femoral fractures. *J Orthop Trauma* 2012;26(6):334–40. doi: 10.1097/BOT.0b013e3182254ea3.
30. Tencer AF, Johnson KD, Johnston DW, Gill K. A biomechanical comparison of various methods of stabilization of subtrochanteric fractures of the femur. *J Orthop Res* 1984;2(3):297–305. doi: 10.1002/jor.1100020312.
31. Matre K, Havelin LI, Gjertsen J-E, Vinje T, Espehaug B, Fevang JM. Sliding hip screw versus IM nail in reverse oblique trochanteric and subtrochanteric fractures. A study of 2716 patients in the Norwegian Hip Fracture Register. *Injury* 2013;44(6):735–42. doi: 10.1016/j.injury.2012.12.010.
32. Liu P, Wu X, Shi H, Liu R, Shu H, Gong J, et al. Intramedullary versus extramedullary fixation in the management of subtrochanteric femur fractures: a meta-analysis. *Clin Interv Aging* 2015;10:803–11. doi: 10.2147/CIA.S82119.

33. Mereddy P, Kamath S, Ramakrishnan M, Malik H, Donnachie N. The AO/ASIF proximal femoral nail antirotation (PFNA): a new design for the treatment of unstable proximal femoral fractures. *Injury* 2009;40(4):428–32. doi: 10.1016/j.injury.2008.10.014.
34. Synthes GmbH. PFNA. Proximaler Femurnagel Antirotation: Operationstechnik [Internet]; 2011 [cited 2020 Jun 10]. Available from: <http://synthes.vo.llnwd.net/o16/Mobile/Synthes%20International/KYO/Trauma/PDFs/016.000.398.pdf>.
35. Kim K-K, Won Y, Smith DH, Lee G-S, Lee HY. Clinical Results of Complex Subtrochanteric Femoral Fractures with Long Cephalomedullary Hip Nail. *Hip Pelvis* 2017;29(2):113–9. doi: 10.5371/hp.2017.29.2.113.
36. Mingo-Robinet J, Torres-Torres M, Moreno-Barrero M, Alonso JA, García-González S. Minimally invasive clamp-assisted reduction and cephalomedullary nailing without cerclage cables for subtrochanteric femur fractures in the elderly: Surgical technique and results. *Injury* 2015;46(6):1036–41. doi: 10.1016/j.injury.2015.01.019.
37. Afsari A, Liporace F, Lindvall E, Infante A, Sagi HC, Haidukewych GJ. Clamp-assisted reduction of high subtrochanteric fractures of the femur. *J Bone Joint Surg Am* 2009;91(8):1913–8. doi: 10.2106/JBJS.H.01563.
38. Codesido P, Mejía A, Riego J, Ojeda-Thies C. Subtrochanteric fractures in elderly people treated with intramedullary fixation: quality of life and complications following open reduction and cerclage wiring versus closed reduction. *Arch Orthop Trauma Surg* 2017;137(8):1077–85. doi: 10.1007/s00402-017-2722-y.
39. Suckel AA, Dietz K, Wuelker N, Helwig P. Evaluation of complications of three different types of proximal extra-articular femur fractures: differences in complications, age, sex and surviving rates. *Int Orthop* 2007;31(5):689–95. doi: 10.1007/s00264-006-0250-4.
40. Saarenpää I, Heikkinen T, Jalovaara P. Treatment of subtrochanteric fractures. A comparison of the Gamma nail and the dynamic hip screw: short-term outcome in 58 patients. *Int Orthop* 2007;31(1):65–70. doi: 10.1007/s00264-006-0088-9.
41. Shukla S, Johnston P, Ahmad MA, Wynn-Jones H, Patel AD, Walton NP. Outcome of traumatic subtrochanteric femoral fractures fixed using cephalo-medullary nails. *Injury* 2007;38(11):1286–93. doi: 10.1016/j.injury.2007.05.013.

42. Papagiannopoulos G, Stewart HD, Lunn PG. Treatment of subtrochanteric fractures of the femur: a study of intramedullary compression nailing. *Injury* 1989;20(2):106–10. doi: 10.1016/0020-1383(89)90153-8.
43. Nungu KS, Olerud C, Rehnberg L. Treatment of subtrochanteric fractures with the AO dynamic condylar screw. *Injury* 1993;24(2):90–2. doi: 10.1016/0020-1383(93)90195-C.
44. Ekström W, Karlsson-Thur C, Larsson S, Ragnarsson B, Alberts K-A. Functional outcome in treatment of unstable trochanteric and subtrochanteric fractures with the proximal femoral nail and the Medoff sliding plate. *J Orthop Trauma* 2007;21(1):18–25. doi: 10.1097/BOT.0b013e31802b41cf.
45. van Doorn R, Stapert JW. The long gamma nail in the treatment of 329 subtrochanteric fractures with major extension into the femoral shaft. *Eur J Surg* 2000;166(3):240–6. doi: 10.1080/110241500750009357.
46. Sadowski C, Lübbecke A, Saudan M, Riand N, Stern R, Hoffmeyer P. Treatment of reverse oblique and transverse intertrochanteric fractures with use of an intramedullary nail or a 95 degrees screw-plate: a prospective, randomized study. *J Bone Joint Surg Am* 2002;84-A(3):372–81. PubMed PMID: 11886906.
47. Paulsson J, Stig JC, Olsson O. Comparison and analysis of reoperations in two different treatment protocols for trochanteric hip fractures - postoperative technical complications with dynamic hip screw, intramedullary nail and Medoff sliding plate. *BMC Musculoskelet Disord* 2017;18(1):364. doi: 10.1186/s12891-017-1723-x.
48. Haidukewych GJ, Berry DJ. Nonunion of fractures of the subtrochanteric region of the femur. *Clin Orthop Relat Res* 2004(419):185–8. PubMed PMID: 15021152.
49. Socci AR, Casemyr NE, Leslie MP, Baumgaertner MR. Implant options for the treatment of intertrochanteric fractures of the hip: rationale, evidence, and recommendations. *Bone Joint J* 2017;99-B(1):128–33. doi: 10.1302/0301-620X.99B1.BJJ-2016-0134.R1.
50. Kashigar A, Vincent A, Gunton MJ, Backstein D, Safir O, Kuzyk PRT. Predictors of failure for cephalomedullary nailing of proximal femoral fractures. *Bone Joint J* 2014;96-B(8):1029–34. doi: 10.1302/0301-620X.96B8.33644.

51. Sheehan SE, Shyu JY, Weaver MJ, Sodickson AD, Khurana B. Proximal Femoral Fractures: What the Orthopedic Surgeon Wants to Know. *Radiographics* 2015;35(5):1563–84. doi: 10.1148/rg.2015140301.
52. Baumgaertner MR, Curtin SL, Lindskog DM, Keggi JM. The value of the tip-apex distance in predicting failure of fixation of peritrochanteric fractures of the hip. *J Bone Joint Surg Am* 1995;77(7):1058–64. PubMed PMID: 7608228.
53. Caruso G, Bonomo M, Valpiani G, Salvatori G, Gildone A, Lorusso V, et al. A six-year retrospective analysis of cut-out risk predictors in cephalomedullary nailing for peritrochanteric fractures: Can the tip-apex distance (TAD) still be considered the best parameter? *Bone Joint Res* 2017;6(8):481–8. doi: 10.1302/2046-3758.68.BJR-2016-0299.R1.
54. Geller JA, Saifi C, Morrison TA, Macaulay W. Tip-apex distance of intramedullary devices as a predictor of cut-out failure in the treatment of peritrochanteric elderly hip fractures. *Int Orthop* 2010;34(5):719–22. doi: 10.1007/s00264-009-0837-7.
55. Andruszkow H, Frink M, Frömke C, Matityahu A, Zeckey C, Mommsen P, 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. *Int Orthop* 2012;36(11):2347–54. doi: 10.1007/s00264-012-1636-0.
56. Bojan AJ, Beimel C, Taglang G, Collin D, Ekholm C, Jönsson A. Critical factors in cut-out complication after Gamma Nail treatment of proximal femoral fractures. *BMC Musculoskelet Disord* 2013;14:1. doi: 10.1186/1471-2474-14-1.
57. Cleveland M, Bosworth DM, Thompson FR, Wilson HJ, Ishizuka T. A ten-year analysis of intertrochanteric fractures of the femur. *J Bone Joint Surg Am* 1959;41-A:1399–408. PubMed PMID: 13849408.
58. American Association of Anesthesiologists. ASA Physical Status Classification System [Internet]; 2014 [cited 26.11.18]. Available from: <https://www.asahq.org/~media/sites/asahq/files/public/resources/standards-guidelines/asa-physical-status-classification-system.pdf>.
59. Singh M, Nagrath AR, Maini PS. Changes in trabecular pattern of the upper end of the femur as an index of osteoporosis. *J Bone Joint Surg Am* 1970;52(3):457–67. PubMed PMID: 5425640.

60. Müller ME. Die hüftnahen Femurosteotomien unter Berücksichtigung der Form, Funktion und Beanspruchung des Hüftgelenkes. 2nd ed. Stuttgart: Thieme; 1971.
61. Waldt S, Eiber M, Wörtler K. Messverfahren und Klassifikationen in der muskuloskelettalen Radiologie. Stuttgart: Thieme; 2011.
62. Chiavaras MM, Bains S, Choudur H, Parasu N, Jacobson J, Ayeni O, et al. The Radiographic Union Score for Hip (RUSH): the use of a checklist to evaluate hip fracture healing improves agreement between radiologists and orthopedic surgeons. *Skeletal Radiol* 2013;42(8):1079–88. doi: 10.1007/s00256-013-1605-8.
63. World Health Organization. Body mass index - BMI [Internet]; 2018 [cited 2018 Aug 22]. Available from: <http://www.euro.who.int/en/health-topics/disease-prevention/nutrition/a-healthy-lifestyle/body-mass-index-bmi>.
64. Cohen J. Statistical power analysis for the behavioral sciences. 2nd ed. Hillsdale, N.J.: L. Erlbaum Associates; 1988.
65. Hsueh K-K, Fang C-K, Chen C-M, Su Y-P, Wu H-F, Chiu F-Y. Risk factors in cutout of sliding hip screw in intertrochanteric fractures: an evaluation of 937 patients. *Int Orthop* 2010;34(8):1273–6. doi: 10.1007/s00264-009-0866-2.
66. Starr AJ, Hay MT, Reinert CM, Borer DS, Christensen KC. Cephalomedullary nails in the treatment of high-energy proximal femur fractures in young patients: a prospective, randomized comparison of trochanteric versus piriformis fossa entry portal. *J Orthop Trauma* 2006;20(4):240–6. PubMed PMID: 16721238.
67. Deutsche Gesellschaft für Ernährung e.V. So dick war Deutschland noch nie: Ergebnisse des 13. DGE-Ernährungsberichts zur Übergewichtsentwicklung [Internet]; 2017 [cited 2020 May 28]. Available from: <https://www.dge.de/uploads/media/DGE-Pressemeldung-aktuell-03-2017-Ergebnisse-13EB.pdf>.
68. Cho J-W, Oh C-W, Leung F, Park K-C, Wong MK, Kwek E, et al. Healing of Atypical Subtrochanteric Femur Fractures After Cephalomedullary Nailing: Which Factors Predict Union? *J Orthop Trauma* 2017;31(3):138–45. doi: 10.1097/BOT.0000000000000743.

69. Kumar M, Akshat V, Kanwariya A, Gandhi M. A Prospective Study to Evaluate the Management of Sub-trochanteric Femur Fractures with Long Proximal Femoral Nail. *Malays Orthop J* 2017;11(3):36–41. doi: 10.5704/MOJ.1711.014.
70. Tomás J, Teixidor J, Batalla L, Pacha D, Cortina J. Subtrochanteric fractures: treatment with cerclage wire and long intramedullary nail. *J Orthop Trauma* 2013;27(7):e157-60. doi: 10.1097/BOT.0b013e31826fc03f.
71. Batra A, Singh H, Challa S, Rao M. Our experience of management of sub trochanteric fractures of femur by proximal femoral nail. *Int J Res Med Sci* 2015:2164–8. doi: 10.18203/2320-6012.ijrms20150594.
72. Brumback RJ, Toal TR, Murphy-Zane MS, Novak VP, Belkoff SM. Immediate weight-bearing after treatment of a comminuted fracture of the femoral shaft with a statically locked intramedullary nail. *J Bone Joint Surg Am* 1999;81(11):1538–44. PubMed PMID: 10565645.
73. Burstein AH. Fracture classification systems: do they work and are they useful? *J Bone Joint Surg Am* 1993;75(12):1743–4. PubMed PMID: 8258542.
74. İmerci A, Aydogan NH, Tosun K. Evaluation of inter- and intra-observer reliability of current classification systems for subtrochanteric femoral fractures. *Eur J Orthop Surg Traumatol* 2018;28(3):499–502. doi: 10.1007/s00590-017-2065-y.
75. Gehrchen PM, Nielsen J, Olesen B, Andresen BK. Seinsheimer's classification of subtrochanteric fractures: Poor reproducibility of 4 observers' evaluation of 50 cases. *Acta Orthopaedica Scandinavica* 1997;68(6):524–6. doi: 10.3109/17453679708999019.
76. Robinson CM, Houshian S, Khan LAK. Trochanteric-entry long cephalomedullary nailing of subtrochanteric fractures caused by low-energy trauma. *J Bone Joint Surg Am* 2005;87(10):2217–26. doi: 10.2106/JBJS.D.02898.
77. Robert-Koch-Institut. Beiträge zur Gesundheitsberichterstattung des Bundes: Daten und Fakten: Ergebnisse der Studie "Gesundheit in Deutschland aktuell 2009" [Internet]; 2011 [cited 2020 Jun 10]. Available from: http://www.gbe-bund.de/gbe10/owards.prc_show_pdf?p_id=13126&p_sprache=d&p_uid=&p_aid=&p_lfd_nr=1.

78. Boese CK, Dargel J, Oppermann J, Eysel P, Scheyerer MJ, Bredow J, et al. The femoral neck-shaft angle on plain radiographs: a systematic review. *Skeletal Radiol* 2016;45(1):19–28. doi: 10.1007/s00256-015-2236-z.
79. Marmor M, Nystuen C, Ehemer N, McClellan RT, Matityahu A. Accuracy of in situ neck-shaft angle and shortening measurements of the anatomically reduced, varus malreduced and shortened proximal femur: can we believe what we see on the postoperative films? *Injury* 2012;43(6):846–9. doi: 10.1016/j.injury.2011.10.010.
80. Baumert J-H, Buhre W. Der kardiale Risikopatient in der Anästhesie. *Der Anaesthesist* 2001;50(9):649–60. doi: 10.1007/s001010100198.
81. Hofer S, Plachky J, Fantl R, Schmidt J, Bardenheuer HJ, Weigand MA. Postoperative pulmonale Komplikationen: Prophylaxe nach nichtkardiochirurgischen Eingriffen. *Der Anaesthesist* 2006;55(4):473–84. doi: 10.1007/s00101-006-1008-5.
82. Haidukewych GJ, Israel TA, Berry DJ. Reverse obliquity fractures of the intertrochanteric region of the femur. *J Bone Joint Surg Am* 2001;83-A(5):643–50. PubMed PMID: 11379732.
83. Miedel R, Ponzer S, Törnkvist H, Söderqvist A, Tidermark J. The standard Gamma nail or the Medoff sliding plate for unstable trochanteric and subtrochanteric fractures. *J Bone Joint Surg Br* 2005;87-B(1):68–75. doi: 10.1302/0301-620X.87B1.15295.
84. Celebi L, Can M, Muratli HH, Yagmurlu MF, Yuksel HY, Bicimoğlu A. Indirect reduction and biological internal fixation of comminuted subtrochanteric fractures of the femur. *Injury* 2006;37(8):740–50. doi: 10.1016/j.injury.2005.12.022.
85. Bhandari M, Fong K, Sprague S, Williams D, Petrisor B. Variability in the definition and perceived causes of delayed unions and nonunions: a cross-sectional, multinational survey of orthopaedic surgeons. *J Bone Joint Surg Am* 2012;94(15):e1091-6. doi: 10.2106/JBJS.K.01344.
86. Giannoudis PV, Ahmad MA, Mineo GV, Tosounidis TI, Calori GM, Kanakaris NK. Subtrochanteric fracture non-unions with implant failure managed with the “Diamond” concept. *Injury* 2013;44:S76-S81. doi: 10.1016/S0020-1383(13)70017-2.

87. Wang W-y, Yang T-f, Fang Y, Lei M-m, Wang G-l, Liu L. Treatment of subtrochanteric femoral fracture with long proximal femoral nail antirotation. *Chin J Traumatol* 2010;13(1):37–41. PubMed PMID: 20109366.
88. Kane P, Vopat B, Heard W, Thakur N, Paller D, Koruprolu S, et al. Is tip apex distance as important as we think? A biomechanical study examining optimal lag screw placement. *Clin Orthop Relat Res* 2014;472(8):2492–8. doi: 10.1007/s11999-014-3594-x.
89. Li F, Sang W, Wang Q, Huang J, Lu H. Subtrochanteric fracture treatment: a retrospective study of 46 patients. *Med Princ Pract* 2011;20(6):519–24. doi: 10.1159/000329787.
90. Massoud EIE. Fixation of subtrochanteric fractures: Does a technical optimization of the dynamic hip screw application improve the results? *Strategies Trauma Limb Reconstr* 2009;4(2):65–71. doi: 10.1007/s11751-009-0058-z.

9 Erklärung

Diese Dissertation wurde von Herrn Prof. Dr. Florian Baumann angeregt und in ihrer Ausarbeitung überwacht.

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird in dieser Dissertation die Sprachform des generischen Maskulinums angewandt. Es wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die ausschließliche Verwendung der männlichen Form geschlechtsunabhängig verstanden werden soll. Dies soll keinesfalls eine Geschlechterdiskriminierung oder eine Verletzung des Gleichheitsgrundsatzes zum Ausdruck bringen.

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.

10 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich meinen besonderen Dank nachstehenden Personen aussprechen:

Mein Dank gilt vor allem meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. Florian Baumann für die Anregung und Betreuung dieser Arbeit, für die freundliche Hilfe, die fachlichen Ratschläge, die wertvolle Kritik und das wohlwollende Vertrauen, das er mir entgegengebracht hat.

Ich danke Frau Prof. Dr. Christina Wendl vielmals für die wissenschaftliche Betreuung als Zweitgutachterin.

Des Weiteren möchte ich mich bei Frau Dipl.-Psych. Karolina Müller vom Zentrum für klinische Studien am Universitätsklinikum Regensburg für ihre geduldige Unterstützung und die aufmunternden Worte bei der statistischen Auswertung der vorliegenden Daten bedanken.

Mein besonderer Dank gilt meinen Eltern, ohne deren ausdauernde emotionale und finanzielle Unterstützung die Fertigstellung dieser Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

Zuletzt danke ich meinem Freund Rüdiger, der mir stets zur Seite steht und immer ein offenes Ohr für mich hat.