

Universitätsklinikum Ulm  
Klinik für Unfall-, Hand-, Plastische- und Wiederherstellungschirurgie  
Ärztlicher Direktor: Univ. Prof. Dr. F. Gebhard

**Der Expert Laterale Femurnagel (LFN),  
ein intramedulläres Nagelsystem zur Versorgung  
von Femurschaftfrakturen und  
Femurschaftfrakturen in Kombination mit  
Frakturen des Femurhalses**

Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Medizin der Medizinischen  
Fakultät der Universität Ulm

vorgelegt von  
Jens Gütler  
geboren in Mutlangen

Ulm, 2013

Amtierender Dekan: Prof. Dr. Thomas Wirth  
1. Berichterstatter: PD Dr. Götz Röderer  
2. Berichterstatter: Prof. Dr. Hendrik Bracht  
Tag der Promotion: 17.01.2014

Meinen Eltern Margot und Peter Gütler  
in Liebe und Dankbarkeit gewidmet

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>Seite</b>
Abkürzungsverzeichnis	III
1. Einleitung.....	1
1.1    Geschichte der Femurmarknagelung .....	1
1.2    Problematik des proximalen Eintrittspunktes .....	2
1.3    Achsen-, Längen- und Rotationsfehlstellung nach antegradem Marknagelung am Femur .....	3
2. Allgemeiner Teil .....	5
2.1    Anatomie des Femur .....	5
2.1.1    Blutversorgung des proximalen Oberschenkels .....	6
2.1.2    Muskulatur und Muskelansätze am proximalen Oberschenkel .....	7
2.2    Klassifikationen .....	10
2.2.1    Klassifikation der Femurfrakturen nach AO .....	10
2.2.2    Klassifikation offener Frakturen nach Gustilo und Anderson .....	17
2.3    Ätiologie, Pathogenese und Inzidenz von Femurfrakturen .....	18
2.4    Diagnostik .....	19
2.5    Therapie .....	20
2.5.1    Konservative Frakturversorgung .....	20
2.5.2    Operative Frakturversorgung .....	20
3. Material und Methoden .....	30
3.1    Das Implantat.....	30
3.2    Das Operationsverfahren des Lateralen Femurnagels (LFN).....	31
3.2.1    Proximale Verriegelung.....	36
3.2.2    Distale Verriegelung.....	41
3.3    Die Indikation .....	44
3.4    Studienablauf .....	45
3.4.1    Patientenkollektiv .....	45
3.4.2    Perioperative Daten .....	45
3.4.3    Daten der Kontrolluntersuchung .....	47
3.4.4    Klinische Untersuchung .....	47
3.4.5    Röntgenuntersuchung.....	48

3.4.6	Ultraschallnavigierte Torsionswinkel- und Längenbestimmung .....	48
3.5	Statistik.....	50
4.	Ergebnisse .....	51
4.1	Perioperative Daten .....	51
4.2	Daten der Kontrolluntersuchung .....	59
4.3	Klinische Untersuchung.....	62
4.4	Röntgendokumentation / Radiologischer Verlauf .....	64
4.5	Dokumentation der ultraschallnavigierten Beinachsvermessung .....	76
5.	Diskussion .....	78
5.1	Perioperative Daten .....	78
5.2	Daten der Kontrolluntersuchung .....	81
5.3	Röntgendokumentation .....	82
5.4	Der laterale Eintrittspunkt – Problematik, Vor- und Nachteile.....	84
5.5	Postoperative Längen-, Achs- und Rotationsfehlstellung nach antegrader Femurmarknagelung .....	89
6.	Zusammenfassung .....	93
7.	Literaturverzeichnis .....	95
8.	Anhang .....	111
9.	Danksagung .....	122
10.	Lebenslauf.....	123

## Abkürzungsverzeichnis

%	Prozent
®	registered trade mark (registrierte Warenmarke)
°	Grad (Winkelmaß)
♀	Symbol für weiblich
♂	Symbol für männlich
A.	Arteria (Arterie)
Abb.	Abbildung
AFN	Antegrad Femoral Nail
AO	Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen
a.-p.	anterior-posterior
BV	Bildverstärker
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
cap.	capitis (den (Gelenk-) Kopf betreffend)
caps.	capsularis (die Kapsel betreffend)
CCD	Centrum-Collum-Diaphyse
CFN	Cannulated Femoral Nail
circ.	circumflexus (Wölbung)
cm	Zentimeter
et al	und andere
fem.	femoris (den Oberschenkelknochen betreffend)
inf.	inferior (unten)
int.	internus (der Innere)
ISS	Injury Severity Score
lat.	lateral (seitlich)
LCP	Locking Compression Plate
LFN	Lateraler Femurnagel
lig.	ligamentum (Band)
LISS	Less Invasive Stabilisation System
M.	Musculus (Muskel)
maj.	major (der Grössere)
med.	medialis (mitten)

mm	Millimeter
MFCA	Medial Femoral Circumflex Artery
min.	minor (der Kleinere)
MIPO	Minimally Invasive Percutaneous Plate Osteosynthesis
MS	Microsoft
N.	Nervus
obt.	obturator (der "Verstopfer")
piri.	piriformis (birnenförmig)
PKW	Personenkraftwagen
prof.	profunda (tief)
quad.	quadratus (quadratisch)
R.	Ramus (Ast)
ROM	Range Of Motion
RFN	Retrograd Femoral Nail
SD	Standard Deviation
SHT	Schädel-Hirn-Trauma
sup.	superior (oberhalb)
TEP	Total-Endo-Prothese
UFN	Unreamed Femoral Nail
VAC-Verband	Vacuum Assisted Closure-Verband
z.B.	zum Beispiel

# 1. Einleitung

## 1.1 Geschichte der Femurmarknagelung

Bis zur Etablierung der Marknagelung war es ein beschwerlicher Weg. Denn wie viele Neuerungen in der Medizin erfreute sich die Marknagelung zu Anfang nur geringer Akzeptanz [84,86,87].

Ende des 19. und Anfang des 20. Jahrhunderts waren die konservativen Behandlungsmethoden vorherrschend. Neben Dieffenbach (1846), Langenbeck (1858), Nicolaysen (1897), Delbet (1906) und Lambotte (1907) waren die Gebrüder Rush durch ihr 1927 entwickeltes intramedulläres Fixationsverfahren maßgeblich an der Entwicklung der Marknagelung beteiligt. Das Prinzip dieses sogenannten Rush-Pins war charakterisiert durch eine Dreipunkteverklebung im Knochen [79,109].

Durch die Verbesserungen im Bereich der Asepsis und die Entdeckung von beständigeren Materialien und Legierungen wurden weitere Meilensteine gelegt. Die 1925 durchgeführte Schenkelhalsnagelung von Smith-Petersen und die darauf aufbauenden Weiterentwicklungen von Johannsen und Jerusalem bildeten die Vorläufer der Marknagelung. Das Erfolg versprechende Prinzip der intramedullären, elastischen Verklebung wurde von ihnen jedoch nicht zufriedenstellend umgesetzt und es kam zur vorzeitigen Auslockerung dieser Implantate. Diese Problematik wurde von dem deutschen Chirurgen Gerhard Küntscher (1900-1972) erkannt. Er entwickelte den anfangs v- und später kleeblattförmigen Hohl Nagel, den sogenannten „Küntscher-Nagel“ und führte am 09.11.1939 die erste Oberschenkelmarknagelung am Menschen durch [86,87].

Schnell wendeten weitere Operateure dieses Verfahren der geschlossenen Frakturversorgung an. Die Entwicklung schritt zügig voran, der Rundnagel nach Küntscher (1964) und die elastische Marknagelung nach Ender und Simon-Weidner bildeten die nächsten Etappen bis hin zu den heute eingesetzten Implantaten.

Über die Jahre konnte sich so die Marknagelung als eine der effektivsten Therapiemethoden etablieren [22,24,26,43,50,74,129]. Folglich werden heute über 50% der Femurschaftfrakturen mittels intramedullärem Marknagel versorgt [129].

Allein aus biomechanischer Sicht gilt die Marknagelung heutzutage als Standardverfahren zur Stabilisierung von Schaftfrakturen, da hierbei die verschiedenen Kräfteinflüsse auf die gesamte Oberschenkelänge verteilt werden [89,137].

## **1.2 Problematik des proximalen Eintrittspunktes**

Die richtige Position des proximalen Eintrittspunktes ist von hoher Wichtigkeit für das operative Ergebnis. Vor allem bei kurzen proximalen Fragmenten führt eine Abweichung des idealen Insertionspunktes zur Gefahr der unzureichenden Reposition sowie zu perioperativen Komplikationen [89].

Der optimale Eintrittspunkt variiert dabei je nach Nagelform. Der in der Vergangenheit bei Femurschaftfrakturen am häufigsten verwendete Insertionspunkt liegt im Bereich der Fossa piriformis. Diese ist einfach zu detektieren und liegt exakt in der Verlängerung des Markkanals, sodass auch gerade Nägel implantiert werden können [9,24,56].

Aufgrund regelmässig auftretender Komplikationen wie iatrogene Frakturen, Schädigungen des M. gluteus medius und dessen Sehne, Gefäßverletzungen mit der Folge einer avaskulären Femurkopfnekrose und persistierender postoperativer Schmerzen wurde nach einer Optimierung dieses Eintrittspunktes gesucht [11,35,112]. Durch Anpassung der Nagelform an die anatomischen Femurkrümmungen konnte für viele Implantate der Eintrittspunkt auf die Spitze des Trochanter major verlegt werden, wodurch sich auch die Indikation der Implantate erweiterte [46]. So können die meisten Implantate je nach proximaler Verriegelungstechnik auch zur Versorgung ipsilateraler Schenkelhalsfrakturen verwendet werden.

Jedoch besteht auch bei dieser Technik eine erhöhte Komplikationsrate. So berichteten Bein et al. in einer Studie, dass 40% der Patienten nach antegrader Marknagelosteosynthese durch diesen Eintrittspunkt über persistierende Trochanterschmerzen klagten. Als Ursache wurde die Verletzung der Abduktorensehnen vermutet [11].

Somit stellt sich weiterhin die Frage, welches der ideale Eintrittspunkt ist. Dieser sollte einfach zu bestimmen sein, weder die Sehnenansätze noch die

Gefäßkonvolute im Bereich des Trochanter major schädigen und bei der Implantation kein erhöhtes Risiko einer iatrogenen Fraktur in sich bergen.

Der Insertionspunkt für den in dieser Arbeit vorgestellten Lateralen Femurnagel befindet sich lateral an der Spitze des Trochanter major. Dieser Bereich ist weitgehend frei von Sehnenansätzen und wichtigen Blutgefäßen [45], wodurch die oben genannten Komplikationen verhindert oder zumindest reduziert werden sollen.

### **1.3 Achs-, Längen- und Rotationsfehlstellung nach antegrader Marknagelung am Femur**

Das Problem der pathologischen Längen- und Torsionsabweichungen nach Marknagelosteosynthese am Femur ist weitläufig bekannt [90].

Allein durch die mangelhafte intraoperative Kontrollmöglichkeit der derotierten Fragmente ist ein Rotationsfehler am Femur schwer zu vermeiden [38,81,116].

Bei jungen Patienten und vor allem bei Kindern ist eine Spontankorrektur des Fehlers möglich, sodass im Folgenden keine Einschränkungen auftreten. Ist jedoch, aufgrund einer postoperativen Torsionsabweichung, der 0°-Durchgang entsprechend der Neutral-Null-Methode nicht mehr möglich, ist mit klinischen Beschwerden zu rechnen [116].

In einer Studie von Jaarsma et al. wurde bei 76 Patienten eine Femurschaftfraktur mittels antegrader Marknagelung therapiert. Bei 28% (21 Patienten) wurde anschliessend computertomographisch ein Rotationsfehler von 15° oder mehr nachgewiesen. Die 12 Patienten mit Außenrotationsfehler hatten hierbei im Vergleich zu den 9 Patienten mit Innenrotationsfehler mehr funktionelle Einschränkungen [67].

Im Vergleich zu den Rotationsabweichungen sind jedoch die Längen- und Achsdeformitäten nach antegrader Marknagelung zu vernachlässigen. In einer Arbeit von Karadimas et al. wurde unter 415 mittels Marknagelung therapierten Femurschaftfrakturen nur in sechs Fällen (1,5%) eine relevante Längendifferenz gemessen [72].

Somit zeigt die hohe Anzahl an Torsionsdeformitäten und die bei diesen Patienten postoperativ bestehenden Einschränkungen und Beschwerden die Wichtigkeit dieser Problematik auf.

In dieser Arbeit wird über die ersten 15 Implantationen des intramedullären Nagelsystems LFN (Lateraler Femurnagel) der Firma Synthes<sup>®</sup> an der Klinik für Unfall-, Hand-, Plastische- und Wiederherstellungschirurgie des Universitätsklinikums Ulm berichtet, sowie die Ergebnisse der ersten Nachuntersuchung dargestellt.

Ziel dieser Arbeit war die klinische Evaluation des Marknagels sowie die Bestimmung der Beintorsion des frakturierten Beines im Seitvergleich.

## 2. Allgemeiner Teil

### 2.1 Anatomie des Femur

Das Femur ist der größte und längste Knochen am menschlichen Skelett. Es macht ca. 25% der Gesamtkörperlänge aus [89]. An seinen beiden Enden verbindet es gelenkig den Rumpf mit dem Unterschenkel. Am proximalen Ende befindet sich der Hüftkopf (Caput femoris), der durch seine halbkugelige Form zusammen mit der Hüftpfanne (Fossa acetabuli) das Hüftgelenk (Articulatio coxae) bildet. Über den Schenkelhals (Collum femoris) ist der Hüftkopf beim Erwachsenen in einem Winkel von ca.  $126^{\circ} \pm 6$  mit dem Schaft (Corpus femoris) verbunden [132]. Die Grenze zwischen Femurschaft und Femurhals bilden der große und kleine Rollhügel (Trochanter major, Trochanter minor), die an der ventralen Seite mit einer kleineren Knochenleiste (Linea intertrochanterica) und dorsalseitig mit einer größeren Knochenleiste (Crista intertrochanterica) verbunden sind, welche als Muskelansatz dienen. In Bezug zur Raumachse liegt der Trochanter major streng lateral und zieht mit seiner Spitze nach mediodorsal. Medial an der Spitze des Trochanter major befindet sich die flache Fossa piriformis, welche der Sehne des gleichnamigen Muskels als Ansatz dient. Weiterhin liegt zwischen der Spitze des Trochanter major und dem Oberschenkelhals muldenförmig die Fossa trochanterica [37, 100].

Sowohl die Fossa trochanterica und die Fossa piriformis als auch die Spitze des Trochanter major haben eine entscheidende Bedeutung für die antegrade intramedulläre Frakturversorgung am Oberschenkelknochen [27, 45, 52].

Nach caudal schließt sich an die beiden Rollhügel der Schaft (Corpus ossis femoris) an. Er ist keine gerade Röhre, sondern ein querovaler, gebogener Röhrenknochen, der an seiner dorsalen Seite eine raue Knochenleiste, die Linea aspera aufweist, welche als Muskelansatz dient. Am distalen Ende des Schaftes schließen sich zwei Gelenkrollen (Condylus lateralis und medialis) an, die als Teile des Kniegelenkes die Verbindung zum Unterschenkel herstellen.

Betrachtet man die Achsen bzw. die Geometrie des Femurs, führt dies zu einem der Hauptpunkte dieser Arbeit. Das Corpus femoris ist individuell nach ventral

konvex gebogen und in sich torquiert [60,120]. Das Ausmaß der ventralen Biegung bzw. der anterioren Angulation variiert von Patient zu Patient [32]. Ein für die intramedulläre Marknagelung wichtiger Punkt ist der medulläre Kanal, welcher in der Schaftmitte einen engen Isthmus aufweist. Dieser vergrößert sich sowohl nach proximal als auch nach distal [60].

An einem Normkollektiv von mehr als 355 Patienten zeigten 1997 Strecker et al. die Variabilität in Bezug auf Torsion und Länge der unteren Extremität. So lag die durchschnittliche Innentorsion von 505 Femura bei  $24,1^\circ$ , wobei eine Streuung von  $\pm 17,4^\circ$  ( $\pm 2SD$ ) gemessen wurde. Im Gegensatz zur breiten Streuung innerhalb der Gruppe zeigt die Abweichung bezüglich der Torsion des rechten und linken Femur bei ein und demselben Individuum keine signifikante Abweichung ( $p = 0,37$ ). Die durchschnittliche Länge von 511 Femura lag bei  $46,3 \pm 6,4$  cm ( $\pm 2SD$ ) [117].

### 2.1.1 Blutversorgung des proximalen Oberschenkels

Die Blutversorgung des proximalen Femurendes erfolgt aus Ästen der A. circumflexa femoris medialis und lateralis (A. circ. fem. med. und lat.), welche beide üblicherweise aus der A. profunda femoris (A. prof. fem.) entspringen. Der Ramus profundus der A. circumflexa femoris medialis übernimmt eine Hauptrolle in der Versorgung. Er liegt in unmittelbarer Nachbarschaft zur Fossa piriformis, wodurch er bei der antegraden Femurmarknagelung gefährdet sein kann.

ventral

*Abb. 1: Gefäßversorgung des proximalen Oberschenkels in der Ansicht von ventral und dorsal. A. circ. fem. lat.: Arteria circumflexa femoris lateralis, A. prof. fem.: Arteria profunda femoris, A. circ. fem. med.: Arteria circumflexa femoris medialis, A. fem.: Arteria femoralis, A. lig. cap. fem.: Arteria ligamentum capitis femoris, R. caps. a. circ. fem. lat.: Ramus capsularis Arteria circumflexa femoris lateralis [64].*

Die A. circumflexa femoris medialis umgreift den Schenkelhals von posterior im Gegensatz zur A. circumflexa femoris lateralis, die ihn von anterior umgreift.

Die beiden Äste bilden in der Fossa trochanterica ein extrakapsulär gelegenes Gefäßkonvolut (Abb. 1) [28,47,61,63,114]. Kommt es nun bei einer medialen oder intermediär gelegenen Schenkelhalsfraktur oder im Rahmen einer Femurnagelinsertion über die Fossa piriformis zur Zerstörung dieses Gefäßnetzes, kann es zur vollständigen Unterbrechung der Durchblutung des Hüftkopfes und somit zur Gefahr einer Hüftkopfnekrose kommen [94,95]. Zusätzlich zu der bereits oben erwähnten Durchblutung für den Schenkelhals bezieht die trochantäre Region ihre Blutzufuhr aus einem ausgeprägten, den Knochen im Bereich der Muskelansätze regelrecht überziehenden Gefäßnetz [28,63]. Kommt es hier zum Knochenbruch, bleiben die Aa. circumflexae meist unversehrt und es besteht für eine Hüftkopfnekrose nur eine geringe Gefahr. Die Fragmente der Trochanterregion werden weiterhin aus dem in der Muskulatur liegenden Gefäßnetz ernährt. Somit kann zur Behandlung entsprechender Frakturen in diesem Bereich so gut wie immer eine Osteosynthese herangezogen werden [64,92].

### **2.1.2 Muskulatur und Muskelansätze am proximalen Oberschenkel**

Am proximalen Oberschenkel kann man grob zwischen Hüftmuskeln und Oberschenkelmuskeln unterscheiden.

Zu den Hüftmuskeln gehört zum einen der M. iliopsoas, der vom 12. Brustwirbelkörper bis 4. Lendenwirbelkörper sowie in der Fossa iliaca entspringt und am Trochanter minor ansetzt. Er beugt die Hüfte.

Der M. gluteus maximus zieht vom knöchernen Beckenrand zur Fascia lata und zum Tractus iliotibialis und ist somit hauptsächlich ein Hüftgelenksstrecker.

Die Hüftgelenksabduktoren Mm. gluteus medius und minimus ziehen von der Darmbeinschaukel zur Außenseite der Spitze des Trochanter major. Oberhalb ihres Sehnenansatzes lateral am Trochanter major befindet sich ein Schleimbeutel (Bursa trochanterica musculi glutei medii), der die Reibung der Abduktorensehnen mindert. Im Bereich dieses Schleimbeutels existieren keine Sehnenansätze an der lateralen Spitze des Trochanter major, wodurch dieses Areal als Insertionsstelle für einen Marknagel prädestiniert ist [45].

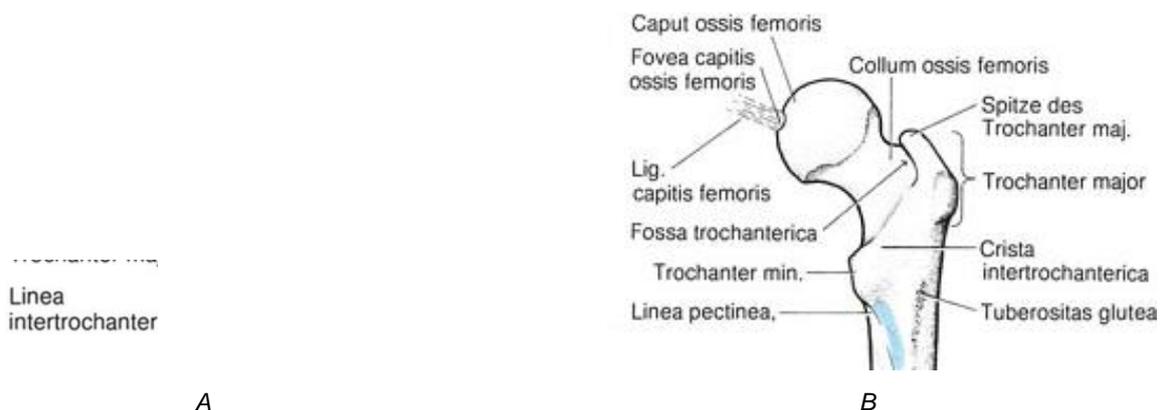


Abb. 2: Rechtes proximales Femur von ventral (A) und dorsal (B). Die Muskelursprünge und -ansätze sind blau markiert. Lig.: Ligamentum, M.: Musculus, min.: minor, maj.: major [111].

Ebenfalls zu den Hüftmuskeln gehört der M. tensor fasciae latae, welcher unter anderem als Innenrotator wirkt und den Tractus iliotibialis spannt, welcher wiederum als Zuggurtung zum nach ventrolateral konvex gebogenen Femur wirkt. Die hauptsächlich für die Außenrotation zuständigen Hüftmuskeln sind der M. piriformis, M. obturatorius internus und externus, die beiden Mm. gemelli und der M. quadratus femoris.

Hier sei speziell der M. piriformis erwähnt, dessen sehniger Ansatz an der Innenseite der Spitze des Trochanter major (Fossa piriformis) bei der antegraden Femurmarknagelung gefährdet sein kann (Abb. 3).

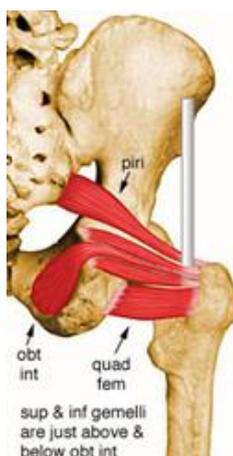


Abb. 3: Gefährdung der Sehne des Musculus piriformis (piri) bei der Marknagelinsertion über die Fossa piriformis. Der Marknagel ist schematisch als senkrechter, grauer Stab dargestellt. Die noch mit abgebildeten Muskeln sind: obt. int.: obturator internus, quad. fem.: quadratus femoris, sup & inf. gemelli: superior & inferior gemelli [45].

Die Hüftgelenksadduktoren bilden die Mm. adductor brevis, longus et magnus, der M. gracilis sowie M. pectineus. Sie entspringen am vorderen Beckenring und setzen am Femurschaft an.

der Linea  
 Hiatus te  
 (adductor

*Abb. 4: Die Adduktorenmuskulatur und die Musculi glutei von dorsal gesehen. Die Muskeln und deren Verlauf sind blau dargestellt. M.: musculus, Lig.: ligamentum [111].*

Die zweite Gruppe bilden die Oberschenkelmuskeln, welche hier der Vollständigkeit halber erwähnt werden. Zu ihnen gehören zum einen die Kniegelenksexpressoren. Diese werden vom M. quadriceps femoris, bestehend aus M. rectus femoris, M. vastus medialis, lateralis und intermedius sowie dem M. sartorius gebildet. Die Kniegelenksflexoren, auch ischiocrurale Muskulatur genannt, ziehen vom Sitzbeinhöcker zu den beiden Unterschenkelknochen. Dazu zählen der M. biceps femoris, M. semitendinosus und M. semimembranosus [128].

## **2.2 Klassifikationen**

Die Notwendigkeit für Klassifikationen der Frakturen und Weichteilverletzungen liegt darin begründet, dem Betrachter zu ermöglichen, den Schweregrad von Verletzungen und die daraus resultierenden therapeutischen Konsequenzen abzuleiten und neutrale Vergleiche zu erstellen. Diese Klassifikationen unterlagen im Laufe der Zeit einer stetigen Entwicklung und Anpassung an die medizinischen Bedürfnisse. Allein für das Femur existieren zahlreiche solcher Klassifikationen. Betrachtet man jedoch ausschließlich das proximale Femur und die Femurdiaphyse mit den umgebenden Weichteilen, reduzieren sich die Klassifikationssysteme auf die im Folgenden genannten.

### **2.2.1 Klassifikation der Femurfrakturen nach AO**

Durch die Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen (AO) entstand nach Müller et al. [98], ein ausführliches, beschreibendes Stufensystem, das unter dem Begriff der AO-Klassifikation international Verwendung findet. Den Kernpunkt dieses Systems bildet die Nummerierung sämtlicher langer Röhrenknochen und Knochengruppen. Im nächsten Schritt erfolgt für die langen Röhrenknochen eine genauere Festlegung der Frakturlokalisation. Hierdurch werden die Segmente bezeichnet. Entscheidend für die Festlegung des Segmentes ist die Lage des Frakturzentrums. Befindet es sich im proximalen Segment des Röhrenknochens, so erhält dies die Segmentziffer 1, für eine diaphysäre Lage die Segmentziffer 2 und für eine distale Lage die Segmentziffer 3. Die Malleolen bilden eine Ausnahme und erhalten als viertes Segment des Knochenpaares distale Tibia und Fibula die Segmentziffer 4.

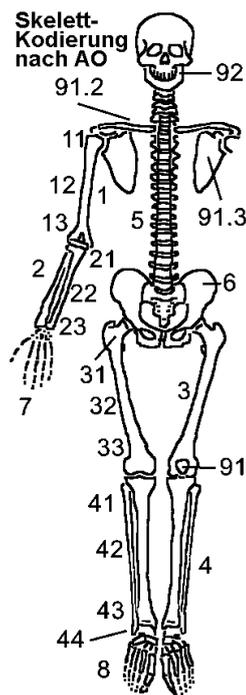


Abb. 5: Skelettkodierung nach AO (Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen) [68].

Im Weiteren werden die Frakturen entsprechend dem zunehmenden Schweregrad der Fraktur, der steigenden Komplexität, sowie dem Schwierigkeitsgrad der Frakturbehandlung und Prognose in drei Typen unterteilt.

Bei den proximalen Femurfrakturen (31; Nummer 3, Segmentziffer 1) werden die Frakturen im Trochanterbereich als Typ A-Frakturen, im Bereich des Schenkelhalses als Typ B-Frakturen und im Femurkopfbereich als Typ C-Frakturen bezeichnet. Eine genauere Untergliederung der Typen A bis C erfolgt im Anschluss sowohl bei den proximalen als auch bei den diaphysären Frakturen in drei Gruppen und Untergruppen.

Tab. 1: Typen und Gruppen der AO-Klassifikation bei proximalen Femurfrakturen

Typen	Gruppen
<b>A-Frakturen</b> (Trochanterbereich)	A1 = pertrochantär einfach A2 = pertrochantär multifragmentär A3 = intertrochantär

<b>B-Frakturen</b> (Schenkelhalsbereich)	B1 = subcapital, leicht disloziert B2 = transcervical B3 = subcapital, disloziert, nicht impaktiert
<b>C-Frakturen</b> (Hüftkopfbereich)	C1 = reine Spaltung des Hüftkopfes C2 = Impression des Hüftkopfes C3 = Kombination von 2 Frakturen

Bei den proximalen Frakturen des Typ A werden durch die weitere Untergruppierung der genauere Frakturverlauf bzw. die Anzahl der Fragmente beschrieben. Bei den Typ B-Frakturen wird die Dislokation spezifiziert und bei den Typ C-Frakturen Bezug zum Frakturausmaß bzw. zu Begleitfrakturen genommen.

Tab. 2: Untergruppen der AO-Klassifikation im proximalen Bereich der A-Frakturen

A1.1	Petrochantär (einfach) entlang der Linea intertrochanterica
A1.2	Petrochantär (einfach) durch den Trochanter major
A1.3	Petrochantär (einfach) distal des Trochanter minor
A2.1	Petrochantär (multifragmentär) mit einem Fragment
A2.2	Petrochantär (multifragmentär) mit mehreren Fragmenten
A2.3	Petrochantär (multifragmentär) >1 cm distal des Trochanter minor
A3.1	Intertrochantär, einfache Schrägfraktur (stabil)
A3.2	Intertrochantär, einfache Querfraktur (stabil)
A3.3	Intertrochantär, mit Absprengung des Trochanter minor (instabil)

Tab. 3: Untergruppen der AO-Klassifikation im proximalen Bereich der B-Frakturen

B1.1	subcapital, leicht disloziert mit Valgusimpaktierung >15°
B1.2	subcapital, leicht disloziert mit Valgusimpaktierung <15°
B1.3	subcapital, leicht disloziert ohne Impaktierung
B2.1	transcervical, lateraler Frakturverlauf
B2.2	transcervical, mediocervicale Adduktionsfraktur
B2.3	transzervical, mediocervicale Abscherfraktur
B3.1	subcapital, nicht impaktiert, geringe subkapitale Dislokation
B3.2	subcapital, nicht impaktiert, transcervicale Dislokation
B3.3	subcapital, nicht impaktiert, starke Dislokation

Tab. 4: Untergruppen der AO-Klassifikation im proximalen Bereich der C-Frakturen

C1.1	reine Spaltung des Hüftkopfes mit ossärem Abriss des Ligamentum capitis femoris ohne Ruptur
C1.2	reine Spaltung des Hüftkopfes mit ossärem Abriss des Ligamentum capitis femoris mit Ruptur
C1.3	reine Spaltung des Hüftkopfes mit großem Kopffragment
C2.1	Impression des Hüftkopfes posterior und cranial
C2.2	Impression des Hüftkopfes anterior und cranial
C2.3	Impression des Hüftkopfes mit Kopffragment
C3.1	Kopffragment und transcervicale Fraktur
C3.2	Kopffragment und subcapitale Fraktur
C3.3	Impressionsfraktur mit Schenkelhalsfraktur

Ähnlich ist das Vorgehen im diaphysären Bereich (32; Nummer 3, Segmentziffer 2). Auch hier werden entsprechend dem zunehmenden Schweregrad der Fraktur, der steigenden Komplexität, sowie dem Schwierigkeitsgrad der Frakturbehandlung und Prognose die Frakturen in drei Typen unterteilt. Typ A der diaphysären Frakturen beschreibt eine einfache Fraktur mit günstiger Prognose. Typ B wird

durch das Vorhandensein eines Biegungskeils gekennzeichnet. Eine schlechte Prognose weisen meist die Typ C-Frakturen auf, die als irreguläre oder mehrfragmentäre Frakturen bezeichnet werden. Eine genauere Untergliederung der Typen A bis C erfolgt im Anschluss ebenfalls in drei Gruppen und Untergruppen.

Tab. 5: Typen und Gruppen der AO-Klassifikation im diaphysären Bereich

Typen	Gruppen
<b>A-Frakturen</b> (einfache Frakturen)	A1 = spiralförmig A2 = schräg (Frakturverlauf in der Längsachse >30°) A3 = quer (Frakturverlauf in der Längsachse <30°)
<b>B-Frakturen</b> (mit Ausbildung eines Keiles)	B1 = Drehkeil B2 = Biegungskeil B3 = fragmentierter Keil
<b>C-Frakturen</b> (komplexe Frakturen)	C1 = mehrfragmentär, spiralförmig C2 = mehrfragmentär, etagenförmig C3 = mehrfragmentär, irregulär

Die Untergruppierungen im diaphysären Bereich haben für die primäre Diagnostik und Therapie nur eine untergeordnete Bedeutung. Bei den Typ A- und Typ B-Frakturen vertiefen sie die bereits erfolgte Beschreibung bezüglich der Lokalisation. Die Untergruppierung der Typ C-Frakturen vertieft den beschreibenden Charakter.

Tab. 6: Untergruppen der AO-Klassifikation im diaphysären Bereich der A-Frakturen

A1.1	Spiralfraktur in der subtrochantären Zone
A1.2	Spiralfraktur in der mittleren Zone
A1.3	Spiralfraktur in der distalen Zone
A2.1	Schrägfraktur in der subtrochantären Zone
A2.2	Schrägfraktur in der mittleren Zone
A3.3	Schrägfraktur in der distalen Zone
A3.1	Querfraktur in der subtrochantären Zone
A3.2	Querfraktur in der mittleren Zone
A3.3	Querfraktur in der distalen Zone

Tab. 7: Untergruppen der AO-Klassifikation im diaphysären Bereich der B-Frakturen

B1.1	Drehkeil in der subtrochantären Zone
B1.2	Drehkeil in der mittleren Zone
B1.3	Drehkeil in der distalen Zone
B2.1	Biegungskeil in der subtrochantären Zone
B2.2	Biegungskeil in der mittleren Zone
B2.3	Biegungskeil in der distalen Zone
B3.1	fragmentierter Keil in der subtrochantären Zone
B3.2	fragmentierter Keil in der mittleren Zone
B3.3	fragmentierter Keil in der distalen Zone

Tab. 8: Untergruppen der AO-Klassifikation im diaphysären Bereich der C-Frakturen

C1.1	spiralförmige Fraktur, mehrfragmentär mit 2 Zwischenfragmenten
C1.2	spiralförmige Fraktur, mehrfragmentär mit 3 Zwischenfragmenten
C1.3	spiralförmige Fraktur, mehrfragmentär mit >3 Zwischenfragmenten
C2.1	mehrfragmentär, etagenförmig mit einem segmentalen Zwischenfragment
C2.2	mehrfragmentär, etagenförmig mit einem segmentalen Zwischenfragment und zusätzlichem Keilfragment.
C2.3	mehrfragmentär, etagenförmig mit zwei segmentalen Zwischenfragmenten
C3.1	mehrfragmentär, irregulär mit zwei oder drei Zwischenfragmenten
C3.2	mehrfragmentär, irregulär mit geringer Trümmerzone (<5cm)
C3.3	mehrfragmentär, irregulär mit ausgedehnter Trümmerzone (>5cm)

Bei Berücksichtigung aller genannten Klassifikationsmöglichkeiten ergeben sich allein für den diaphysären Abschnitt 27 Möglichkeiten zur Beschreibung des Knochens ohne Berücksichtigung der Weichteilverhältnisse. Dies zeigt, dass eine Fraktur des Femurs eine komplexe Verletzung darstellt und somit einer entsprechenden Therapie zugeführt werden muss. Die Untergruppen der AO-Klassifikation sind jedoch in der akuten Situation von sekundärer Bedeutung. Für vergleichende Studien und wissenschaftliche Beobachtungen ist die exakte Beschreibung jedoch unerlässlich und wird in diesem Zusammenhang auch verwendet.

Zusätzlich zur Versorgung der Fraktur ist es, je nach Verletzungsausmaß, unerlässlich, den Weichteilschaden in das Behandlungsschema mit einzubeziehen. Dieser Weichteilschaden kann von großem Ausmaß sein und das gesamte Behandlungsverfahren mitbestimmen.

Das Vorliegen einer offenen Fraktur erfordert eine eigene Einteilung, wofür in der vorliegenden Arbeit die im Folgenden beschriebene Klassifikation nach Gustilo und Anderson zur Anwendung kam.

### 2.2.2 Klassifikation offener Frakturen nach Gustilo und Anderson

In den siebziger Jahren beschrieben Gustilo und Anderson in ihrer retrospektiven und prospektiven Analyse ein System zur Einteilung offener Frakturen.

In diesem werden alle offenen Frakturen einem von drei Typen zugeordnet und im Weiteren der Typ III subklassifiziert [55].

Tab. 9: Klassifikation nach Gustilo und Anderson

Typ I	Fraktur mit sauberer Wunde <1 cm mit minimaler Kontusion (Durchspießung eines Fraktarendes von innen nach außen)
Typ II	Fraktur mit Hautdefekt >1 cm mit geringer bis mäßiger Kontusion der umgebenden Weichteile
Typ III	Fraktur mit ausgedehntem Weichteildefekt unter Einbeziehung von Haut, Muskulatur und neurovaskulären Strukturen (meist Hochrasanztraumata)
III A	noch ausreichende Weichteildeckung der Fraktur (z.B. Schussverletzungen)
III B	ausgedehnter Weichteildefekt mit Deperiostierung und freiliegendem Knochen
III C	alle offenen Frakturen mit interventionspflichtiger Arterienverletzung

### **2.3 Ätiologie, Pathogenese und Inzidenz von Femurfrakturen**

Femurfrakturen finden ihre Prävalenz in jeder Altersgruppe. Je nach anatomischer Lokalisation zeigen sich verschiedene Häufigkeitsgipfel in den einzelnen Gruppen. Proximale Femurfrakturen, zu denen die Schenkelhalsfrakturen und pertrochantären Frakturen zählen, sind meist bei älteren Menschen zu beobachten. So befinden sich ca. 60% aller Frakturen bei den über 70-jährigen Patienten an diesen Stellen. Hier treten sie gehäuft durch ein Bagatell-Trauma auf dem Boden einer Altersosteoporose auf. Für proximale Femurfrakturen beträgt die Gesamtinzidenz ca. 150 Frakturen/100000 Einwohner im Jahr. Diese steigt ab dem achzigsten Lebensjahr um den Faktor zehn [14]. Femurschaftfrakturen hingegen sind meist in der Altersgruppe zwischen 20 und 30 Jahren zu beobachten. Dies ist dadurch begründet, dass außer bei pathologischen Frakturen, große direkte und indirekte Gewalteinwirkungen im Sinne von Hochrasanztraumata oder Torsionen die Frakturursache bilden. Beispielhaft lassen sich Verkehrsunfälle oder Stürze aus großer Höhe nennen. Die Femurschaftfrakturen machen dabei nur 22% aller Femurfrakturen und in der Summe lediglich 2% aller Knochenbrüche aus. Die Gesamtinzidenz der Schafffrakturen beträgt ca. 10 Frakturen/100000 Einwohner im Jahr, wobei nationale Unterschiede berücksichtigt werden müssen. Nur etwa 2 - 5% der Femurfrakturen sind offene Frakturen [89]. Dies ist mit dem großen Weichteilmantel des Oberschenkels zu begründen.

Aufgrund der hohen Gewalteinwirkung sind Verletzungen des Femurschaftes in etwa 20 - 30% der Fälle mit einer Polytraumatisierung des Patienten vergesellschaftet [102].

Daraus resultiert meist ein komplexes und aufwendiges Traumamanagement, bei dem die Verletzung des Femurs nur einen Teil der zu behandelnden Traumafolgen darstellt [12, 13, 57, 58, 89, 129].

## 2.4 Diagnostik

Die ersten Anzeichen für eine proximale oder schaftnahe Femurfraktur können sich schon bei der Bergung des verunfallten Patienten offenbaren. Der Zug des Tractus iliotibialis und das Gewicht des Beines drehen das distale Hauptfragment meist in eine Außenrotationsfehlstellung. Instabilitäten an untypischer Stelle sowie fühl- und hörbare Krepitationen sind beweisend für eine Fraktur. Wegweisend ist auch die Functio laesa in den angrenzenden Gelenken. Wichtig bei der klinischen Primärdiagnostik ist die Kontrolle der peripheren Durchblutung, Motorik und Sensibilität, um Begleitverletzungen der Gefäße und Nerven früh diagnostizieren zu können. Durchspießungswunden weisen auf eine offene Fraktur hin.

Die Röntgen-Nativdiagnostik ist noch immer der Standard im Rahmen der klinischen diagnostischen Schritte. Um eine Mehretagenfraktur ausschließen und schon präoperativ die richtige Implantatwahl treffen zu können, müssen sowohl das Hüft- als auch das Kniegelenk radiologisch mitbeurteilt werden. Bei Polytraumata erweitert sich die radiologische Diagnostik routinemäßig entsprechend den jeweils gültigen Leitlinien. Die Schnittbilddiagnostik mittels Computertomographie ist für die primäre Entscheidungsfindung bezüglich des operativen Verfahrens nicht nötig, wird aber heutzutage vor allem bei polytraumatisierten Patienten oft durchgeführt [3,23,96,128].

## 2.5 Therapie

### 2.5.1 Konservative Frakturversorgung

Kunststoff- oder Gipsverbände finden Anwendung in der unblutigen äußeren Fixation der Frakturen. Außerdem stellt die Extensionsbehandlung eine weitere unblutige Therapieoption dar. Diese Stützverbände können sowohl als temporäres als auch definitives Therapieverfahren angewendet werden. Gering- oder undislozierte Frakturen des Humerus und der Tibia sind für diese konservative Therapiemöglichkeit zugänglich [91,127,134].

Frakturen im Bereich des Femurschaftes sind jedoch für ein konservatives Therapieverfahren ungeeignet, da zum einen ein erhöhtes Risiko für eine Malrotation, Längendifferenz oder Achsfehlstellung besteht und zum anderen eine lange Immobilisierung des Patienten nötig wäre, wodurch Immobilisationsschäden auftreten können [128]. Weiterhin stellt eine Femurfraktur meist eine Notfallsituation dar, welche einer raschen Versorgung zugeführt werden sollte [17,89]. So ergibt sich eine Letalitätsrate für das konservative Vorgehen mit 28 – 50 %, was als völlig inakzeptabel zu bewerten ist [53,113].

Somit sollten, sofern es die technische Ausstattung und Umstände zulassen, alle Femurfrakturen einer operativen Versorgung zugeführt werden [62]. Dies wird dadurch unterstrichen, dass die Klinikletalität seit Entwicklung suffizienter operativer Verfahren auf unter 10% gesenkt werden konnte [85].

### 2.5.2 Operative Frakturversorgung

Bei der operativen Frakturversorgung an der Femurdiaphyse kommen hauptsächlich drei Verfahren zur Anwendung. Die innere Fixation mittels Schrauben- und/oder Plattenosteosynthese, die externe operative Fixation mittels Fixateur externe und die intramedullären Kraftträger [5,16,31,69,80]. Welches Verfahren zur definitiven Anwendung kommt, hängt von einigen Begleitumständen ab, welche sich nicht nur auf Art und Lokalisation der Fraktur beschränken. Zum Beispiel ist beim Vorhandensein einer ipsilateralen Endoprothese oder bei einem zu engen Markraum die Marknagelung oft unmöglich. Weiterhin sind der Allgemeinzustand des Patienten und der Zustand der umgebenden Weichteile zu berücksichtigen. Daher ist eine zusätzliche operationsbedingte Traumatisierung

durch lange Operationszeiten und eine weitere Schädigung der Weichteile gegenüber dem zu erreichenden Operationsergebnis abzuwägen.

Nicht zuletzt entscheiden aber die vorhandenen Ressourcen und der Operateur selbst über das Operationsverfahren [62].

### **2.5.2.1 Fixateur externe**

Für die primäre Versorgung offener Frakturen stellt der Fixateur externe bis heute den Goldstandard dar. Bei geschlossenen Frakturen findet er hingegen selten Anwendung. Kindliche Frakturen und spezielle Indikationen wie Kallusdistraktionen, Arthrodesen am Sprunggelenk, Infektionen oder Korrekturosteotomien können ebenfalls die Indikation für dieses Verfahren darstellen [86]. Die Indikationen im Bereich des Femurschaftes hingegen beschränken sich meist auf die Primärversorgung polytraumatisierter Patienten zur vorübergehenden Ruhigstellung im Sinne der „damage control surgery“ [4,62,89].

### **2.5.2.2 Plattenosteosynthesen am Femurschaft**

Die Plattenosteosynthese am Femurschaft ist heutzutage nur noch speziellen Indikationen vorbehalten. Sie findet vor allem Anwendung bei polytraumatisierten Kindern, bei denen eine transmetaphysär eingebrachte Marknagelosteosynthese aufgrund der offenen Epiphysenfugen ausscheidet. Hier besteht der Vorteil der Platte gegenüber anderen Fixationstechniken wie zum Beispiel dem Fixateur externe in der sehr guten Stabilität der Frakturversorgung, die die Pflege und Mobilität der Patienten erleichtert [78,83].

Eine Weiterentwicklung der konventionell offenen Plattenosteosynthesen, welche meist über einen lateralen Zugang eingebracht werden, stellen minimalinvasive, perkutan eingeschobene Plattensysteme (MIPO) dar. In einer Publikation von Agus et al. wird von 339 kindlichen Femurschaftfrakturen berichtet, welche mittels einer minimalinvasiven Platte versorgt wurden. Hierbei heilten bis zur 12. postoperativen Woche alle Frakturen ohne signifikante Beinlängendifferenz oder einen Rotationsfehler aus [2]. Die Anwendung minimalinvasiver Plattenosteosynthesen beim Erwachsenen ist hauptsächlich periprothetischen

Femurschaftfrakturen, multifragmentären Schaftfrakturen und distalen Femurfrakturen vorbehalten [59]. Offene Frakturen und kompromittierte Weichteile können ebenfalls eine Indikation zur Plattenosteosynthese darstellen [18].

### 2.5.2.3 Intramedulläre Nagelsysteme zur Versorgung von Femurschaftfrakturen und proximalen Femurfrakturen

Da es eine Vielzahl verschiedener Marknagelsysteme zur Versorgung von Femurfrakturen gibt, wird hier nur auf die klinisch relevanten und am häufigsten verwendeten Systeme eingegangen. Im Mittelpunkt stehen dabei die Indikationsbreite und der proximale Eintrittspunkt.

#### Versanail, Femoral Universal Nailing System, DePuy

Die Indikationen für dieses sowohl antegrad als auch retrograd implantierbare Nagelsystem sind Femurschaftfrakturen sowie nicht heilende oder in Fehlstellung verheilte Femurfrakturen im proximalen und mittleren Schaftbereich. Weiterhin können damit pathologische diaphysäre Frakturen im osteoporotischen Knochen versorgt werden. Der ideale Eintrittspunkt für das antegrade Einbringen des Nagels liegt angrenzend an den Trochanter major an der lateralen Begrenzung der Fossa piriformis in Verlängerung der Schaftachse [33].



Abb. 6: Versanail, Femoral Universal Nailing System, DePuy. Links ist der Nagel als antegrade- und als retrograde Version in situ dargestellt. In der Mitte werden die Verriegelungsmöglichkeiten der antegraden- und rechts die Verriegelungsmöglichkeiten der retrograden Version gezeigt [33].

### **Versanail, Femoral Troch Entry Nailing System, DePuy**

Dieser ausschließlich antegrad einzubringende Nagel ist je nach verwendeter Verriegelungstechnik bei Femurschaftfrakturen, Schaftfrakturen in Kombination mit subtrochantären- oder Schenkelhalsfrakturen und ausgedehnten subtrochantären Femurfrakturen indiziert. Weiterhin kann dieses Nagelsystem bei unverheilten oder in Fehlstellung verheilten Femurschaftfrakturen im proximalen oder mittleren Schaftbereich, pathologischen oder osteoporotischen Frakturen im Bereich der Trochanteren oder der Diaphyse und bei pertrochantären Femurfrakturen eingesetzt werden.

Der Eintrittspunkt befindet sich hier auf der Spitze des Trochander major in der Verlängerung der Femurachse (Abb. 8) [34].

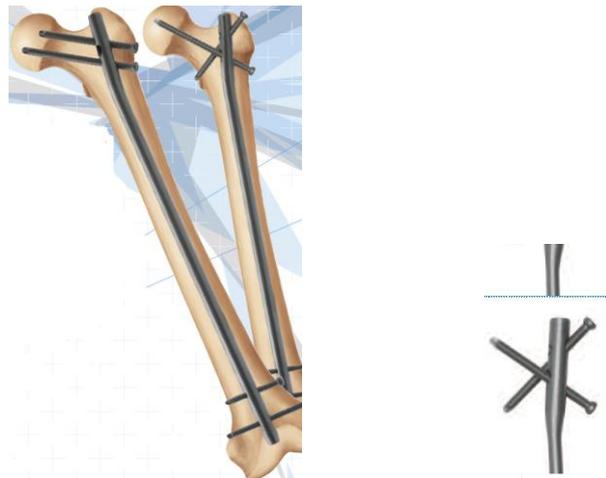


Abb. 7: Versanail, Femoral Troch Entry Nailing System, DePuy. Links ist der Nagel mit verschiedenen proximalen Verriegelungsmöglichkeiten in situ abgebildet. Rechts werden die verschiedenen proximalen Verriegelungsmöglichkeiten dargestellt [34].



Abb. 8: Eintrittspunkt des Versanail, Femoral Troch Entry Nailing System, DePuy. Links in a.-p.-Ansicht ist der Eintrittspunkt mit einem Führungsdraht und rechts in der kranialen Ansicht mit einem Fadenkreuz markiert [34].

### Antegrader/Retrograder Femurnagel (AFN/RFN), Synthes

Indikationen für die Anwendung des AFN/RFN über den antegraden Zugang sind außer 32-A[1-3].1- und 32-B[1-3].1- Frakturen nach AO, sämtliche Femurschaftfrakturen. Kontraindikationen stellen isolierte Schenkelhalsfrakturen, supracondyläre Frakturen, intertrochantäre und pertrochantäre Frakturen dar. Ergänzende Indikationen für den retrograden Zugang bilden supracondyläre Frakturen und Frakturen im distalen Femurschaftsdrittel. Durch die Möglichkeit der Spiralklingenverriegelung ist der AFN/RFN auch bei osteoporotischem Knochen indiziert [121].



Abb. 9: Antegrader / Retrograder Femurnagel in lateraler- (links) und a.-p.- (rechts) Ansicht (AFN/RFN) [121].

Der AFN/RFN ist entsprechend der Physiologie des Femurs vorgeformt und existiert daher für rechts und links. Der Nageleintrittspunkt für die antegrade Insertion sollte optimaler Weise in der Verlängerung des Markraums sitzen und befindet sich am proximalen Femur in der Fossa piriformis (Abb. 10) [121].



Abb. 10: Eintrittspunkt (schwarzer Kreis) des antegraden Femurnagels (AFN) am proximalen Femur von kranial betrachtet [121].

### Femurnagelsystem aus Titan (UFN) und (CFN), Synthes

Als Indikationen für das antegrad einzubringende UFN/CFN - Nagelsystem sind Femurschaftfrakturen, subtrochantäre Frakturen, ipsilaterale Schenkelhals-/Schafffrakturen, drohende pathologische Frakturen und Pseudarthrosen zu nennen.

Kontraindikationen bilden intertrochantäre Frakturen, pertrochantäre Frakturen, isolierte Schenkelhalsfrakturen und supracondyläre Frakturen des Femur.

Dieses Nagelsystem beinhaltet solide (UFN = unreamed femoral nail) und durchbohrte (CFN = canulated femoral nail) Nageltypen. Beide Nägel sind universell für rechts und links einsetzbar. Ein Hülsensystem am proximalen Ende des Nagels ermöglicht vier verschiedene Verriegelungsmöglichkeiten (Abb. 11) [123].

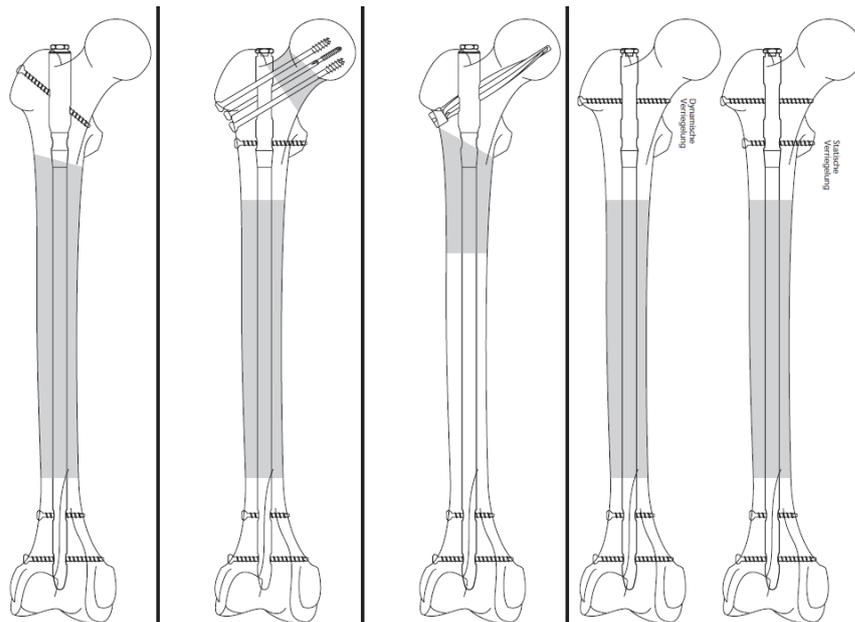


Abb. 11: UFN/CFN mit verschiedenen proximalen Verriegelungsmöglichkeiten. Frakturen in den grau markierten Bereichen stellen die entsprechende Indikation für die Verriegelungsart dar [123].

Der operative Zugangsweg und die Nagelinserktion sind für den UFN und CFN gleich. So befindet sich der Nageleintrittspunkt in der Verlängerung des Markraumes am proximalen Femur posterior in der Fossa piriformis. Bei Verwendung der Spiralklingenverriegelung sollte die Nageleintrittsstelle leicht nach

anterior verschoben werden, um sicherzustellen, dass die Spiralklinge in der Mitte des Schenkelhalses positioniert ist [123].

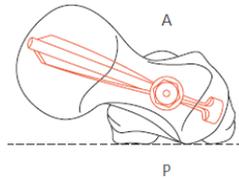


Abb. 12: Der Eintrittspunkt für den UFN/CFN von kranial betrachtet und als roter Kreis markiert. Standard (oben), mit Spiralklinge (mitte und unten). A: anterior, P: posterior [123].

### **T2 Femur Marknagelsystem, Stryker**

Beim T2 Femur Marknagelsystem kann mit einem Nageltyp sowohl eine antegrade als auch eine retrograde Nagelung durchgeführt werden.

Die Indikationen für dieses System stellen offene und geschlossene Femurschaftfrakturen, ipsilaterale Femurschaftfrakturen, Mehretagenfrakturen, supracondyläre Femurfrakturen mit oder ohne Gelenkbeteiligung, Trümmerfrakturen mit oder ohne Knochenverlust, Verfahrenswechsel nach Fixateur externe, periprothetische Frakturen nach Hüft-TEP Implantationen, pathologische und drohende pathologische Frakturen, Rekonstruktionen nach Tumorresektion, ausbleibende oder verzögerte Knochenheilung, Pseudarthrosen und Korrekturosteotomien dar.

Gleichzeitig vorhandene ipsilaterale Schenkelhalsfrakturen können mit diesem System jedoch nicht versorgt werden. Der Nagel ist universell für rechts und links einsetzbar und ist der physiologischen Antekurvatur des Femurs angepasst. Die

Verriegelung kann statisch, dynamisch oder als Kompressionsverriegelung erfolgen [118].



Abb. 13: T2 Femurmarknagelsystem der Firma Stryker in der antegraden (links) und retrograden Version (rechts) mit den entsprechenden Verriegelungsmöglichkeiten [118].

Der Nageleintritt erfolgt bei der antegraden Platzierung über die Fossa piriformis oder über die Trochanter major Spitze [118].

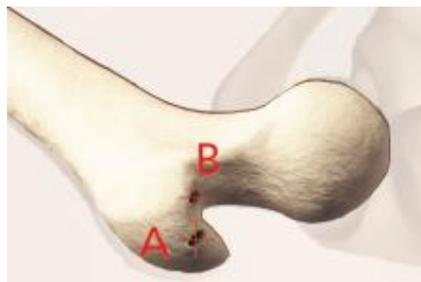


Abb. 14: Schematische Darstellung der zwei möglichen proximalen Nageleintrittspunkte des T2 Femurmarknagelsystem; B: Fossa piriformis, A: Trochanter major Spitze [118].

### T2 Recon Nailing System, Stryker

Der T2 Recon-Nagel ist ein langer kanülierter Femurnagel, der antegrad eingebracht wird und über einen CCD-Winkel von  $125^\circ$  bei  $10^\circ$  Anteversion im proximalen Ende verfügt.

Er ermöglicht eine Versorgung von kombinierten Femurschaftfrakturen und ipsilateralen Schenkelhals- oder intertrochantären Frakturen.

Weiterhin ist dieser Nagel bei offenen oder geschlossenen Femurschaftfrakturen, Pseudarthrosen und Korrekturosteotomien, pathologischen Frakturen oder drohenden pathologischen Frakturen, intertrochantären und subtrochantären Frakturen, sowie ipsilateralen Schaft- und Schenkelhalsfrakturen indiziert.

Die proximale Verriegelung erfolgt entweder mit zwei Schenkelhalsschrauben im Recon-Modus oder im antegraden Modus mittels einer einzelnen Schraube und wird über den montierten Zielbügel durchgeführt.

Durch die  $4^\circ$  Biegung des Nagels, muss der Nageleintritt über die Spitze des Trochanter major erfolgen (Abb. 16) [119].



Abb. 15: T2 Recon – Femurmarknagelsystem der Firma Stryker mit zwei verschiedenen proximalen Verriegelungstechniken [119].

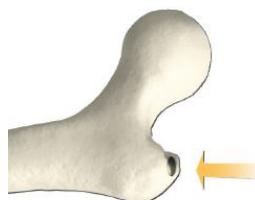


Abb. 16: Eintrittspunkt des T2 Recon – Femurmarknagelsystem an der Spitze des Trochanter major. Links in a.-p.-Ansicht, rechts von kranial betrachtet. Von kranial gesehen erfolgt der Nageleintritt am Übergang vom ventralen zum mittleren Drittel [119].

### **TriGen intramedulläres Nagelsystem, Smith & Nephew**

Das TriGen Nagelsystem stellt eine integrative Plattform zur intramedullären Stabilisierung von Femur- und Tibiafrakturen dar. Für das Femur existieren in der antegraden Einbringtechnik ein kurzer Nagel (Trochanteric Nail) zur Versorgung von pertrochantären Femurfrakturen und ein langer Nagel (FAN = Femoral Antegrade Nail) für die Versorgung von Femurschaftfrakturen inklusive ipsilateraler Schenkelhalsfrakturen. Die Platzierung und Verriegelungstechnik unterscheidet sich nicht von den zuvor genannten Nägeln. Der Eintrittspunkt ist am proximalen Femur in der Fossa piriformis in der Verlängerung der Markraumachse [115].

### **Targon F Verriegelungsnagel, Aesculap**

Targon ist eine Instrumentenplattform der Firma Aesculap / Braun Melsungen zur intramedullären Stabilisierung von Humerus-, Radius-, Femur- und Tibiafrakturen. Der Targon F (Femur) Verriegelungsnagel ist kanüliert, wird antegrad eingebracht und deckt mit seiner Indikationsbreite subtrochantäre bis supracondyläre Femurfrakturen ab. Der Eintrittspunkt sollte wie beim T2 Recon Nagel der Firma Stryker im axialen Strahlengang am Übergang vom mittleren zum anterioren Drittel des Trochantermassivs und im antero-posterioren Strahlengang am mediokraniellen Rand der Trochanter Spitze liegen.

Für den Targon F Universal Verriegelungsnagel ist das Aufbohren obligat. Zur Durchführung einer unaufgebohrten Technik wird ein solider Nagel verwendet (Targon Solid Titan Femur Nail). Er weist in seinem Profil drei Längsnuten auf (Abb. 17), die durch einen Drainageeffekt den intramedullären Druck entlasten sollen. Er ist zur Anwendung bei schwer polytraumatisierten Patienten gedacht [1].



Abb. 17: Profil des Targon Solid Femur Nail [1].

### 3. Material und Methoden

#### 3.1 Das Implantat

Der Laterale Femurnagel (LFN) wird von der Firma Synthes hergestellt und vertrieben. Er ist eine zusätzliche Variante für die bereits von der Firma für andere Röhrenknochen zu beziehenden Nagelsysteme.

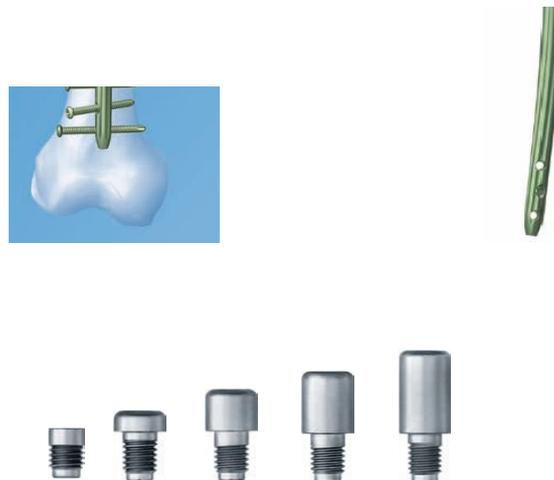


Abb. 18: Nagelsystem des Lateralen Femurnagels; oben links: zwei Darstellungen des Marknagel in situ in der antero-posterioren Ansicht mit verschiedenen proximalen und distalen Verriegelungsmöglichkeiten, oben rechts: Marknagel in der lateralen Ansicht, unten: verschieden grosse proximale Verschlusschrauben [122].

Das System besteht aus dem durchbohrten Marknagel, den zugehörigen proximalen und distalen Verriegelungsschrauben und den durchbohrten proximalen Verschlusschrauben (Abb. 18). Der Nagel besitzt in der

anteroposterioren Ansicht eine mediolaterale Biegung von ca. 10°. Weiterhin ist er in der lateralen Ansicht durch eine anterioposteriore Biegung an die Antekurvatur des natürlichen Femur angepasst. Somit ist der Nagel in zwei Ebenen gekrümmt und beschreibt daher in sich eine Helix.

Darüber hinaus ist die Oberfläche des LFN mit Längsrillen versehen, welche in einer Doppel-Helix-Struktur um den Nagel angebracht sind. Von proximal nach distal entsteht somit eine Rotation der Rillen um 90°. Dies spielt beim Einbringen des Nagels eine Rolle. Aufgrund dieser Nagelstrukturen gibt es einen Nagel für die rechte und einen für die linke Seite, wobei die Windung für die rechte Seite im Uhrzeigersinn und für die linke Seite gegen den Uhrzeigersinn verläuft.

Die proximale Verriegelung kann als Standard-Verriegelung entweder statisch, primär dynamisch oder sekundär dynamisch erfolgen.

Des Weiteren ist eine proximale Verriegelung als Rekonstruktionsverriegelung mit zwei Schenkelhalsschrauben möglich.

Die distale Verriegelung kann mit zwei oder drei Verriegelungsschrauben erfolgen. Der Expert Laterale Femurnagel ist in den Längen 300 – 480 mm (in 20 mm Abstufungen) und in den Durchmessern 9 – 16 mm (in 1 mm Abstufungen) erhältlich.

Die durchbohrten Verschlusschrauben sind mit Verlängerungen von 0 – 20 mm (in 5 mm Abstufungen) erhältlich [122].

### **3.2 Das Operationsverfahren des Lateralen Femurnagels (LFN)**

Wie bei jedem Operationsverfahren ist auch hier die präoperative Planung von hoher Wichtigkeit. Mithilfe der Planungsschablone, einem lateralen und einem anterioposteriorem Röntgenbild des unverletzten Femur, werden zu Beginn der Nageldurchmesser und die Nagellänge abgeschätzt.

Der Patient wird in Rückenlage auf einem röntgenstrahlendurchlässigen Operationstisch gelagert. Anschließend wird die Fraktur unter Bildverstärkerkontrolle manuell durch axialen Zug geschlossen reponiert.

Mithilfe der Messlehre für Expert Femurnägel wird die Nagellänge und der Nageldurchmesser am verletzten Femur bestimmt. Dabei sollte der Durchmesser des femoralen Markraums und die Anatomie des Patienten berücksichtigt werden.

Die Messlehre für die Längenbestimmung wird so positioniert, dass sich ihr proximales Ende auf der Höhe der gewünschten Nageleintrittsstelle befindet. Daraufhin erfolgt die Bestimmung des Eintrittspunktes.

Für den Zugang palpiert man die posteriore Kante des Trochanter major und führt 2-5 cm proximal von dessen Spitze eine 3 cm lange Inzision in einer Linie mit der Zentralachse des Markraums durch (abhängig von der Anatomie des Patienten).

Der Eintrittspunkt hat eine maßgebliche Bedeutung für die gesamte Operation, insbesondere für die optimale Endposition des LFN im Markraum.

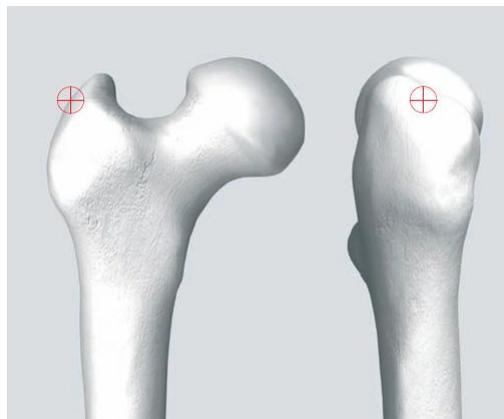


Abb. 19: Eintrittspunkt des LFN (Lateraler Femurnagel) in a.-p.-Ansicht (links) und in lateraler Ansicht rechts. Jeweils mit einem roten Fadenkreuz markiert [122].

In der a.-p.-Ansicht befindet sich der Eintrittspunkt für den Nagel ca.  $10^\circ$  lateral zur Achse des Markraums. Abhängig von der individuellen Anatomie ist er leicht lateral vom Trochanter major positioniert.

In der lateralen Ansicht stellt sich der Eintrittspunkt in einer Linie mit der Achse des Markraums dar (Abb. 19).

Da der effektive mediolaterale Winkel des LFN  $10^\circ$  beträgt, muss der Führungsdraht in der a.-p.-Ansicht lateral zum Trochanter major in einem Winkel von  $10^\circ$  zur vorgesehenen Verlängerung des Markraums eingebracht werden.

Der Führungsdraht wird etwa 15-20 cm in den Markraum eingeführt und die Position mit dem Bildverstärker in a.-p.- und lateraler- Ansicht kontrolliert (Abb. 20).

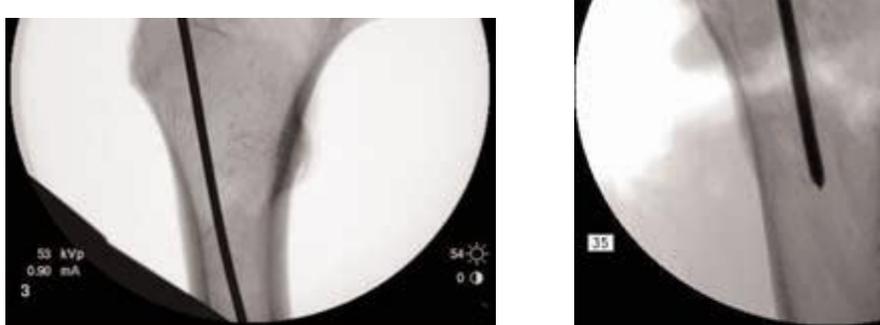


Abb. 20: Lagekontrolle des Führungsdrahts mit dem Bildwandler in a.-p.- (links) und lateraler- (rechts) Ansicht [122].

Da die Position des Führungsdrahts für den Erfolg der nächsten Schritte entscheidend ist, sollte bei suboptimaler Lage der Führungsdraht neu ausgerichtet werden. Der Markraum wird mittels flexiblem, durchbohrtem Spiralbohrer oder alternativ mit dem Pfriem unter BV-Kontrolle eröffnet.



Abb. 21: Das Aufbohren des Femurmarkraumes als Schemazeichnung (links) und im Röntgenbild (rechts) [122].

Optional kann mittels verschiedener Bohrköpfe über den Führungsdraht der Markraum bis nach distal stufenweise aufgebohrt werden. Der erreichte Markraumdurchmesser sollte 0,5 bis 1,5 mm größer als der zu Anfang bestimmte Nageldurchmesser sein.

Nach Montieren der Insertionsinstrumente wird der Zielbügel nach anterior ausgerichtet, um den Nagel in den Markraum einzubringen.

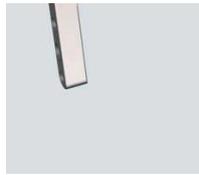


Abb. 22: Schemazeichnung über das montieren der Insertionsinstrumente (von unten nach oben: Lateraler Femurnagel – Zielbügel – Verbindungsschraube - Schraubendreher) [122].

Zur Vermeidung von Frakturfehlstellungen sollte die Passage des Nagels auf der Höhe der Fraktur mithilfe des Bildwandlers in zwei Ebenen kontrolliert werden.

Da der Nagel aufgrund der helixartigen Struktur bei der Insertion um circa 90° gedreht wird, muss beim letzten Drittel der Insertion der Zielbügel von anterior nach lateral gedreht werden (Abb. 23). Dreht der Nagel nicht in die laterale Position, sollte man den Nagel entfernen und erneut einbringen. Der Nagel wird soweit eingebracht, bis sich sein proximales Ende an oder unterhalb der proximalen Femureröffnung befindet.

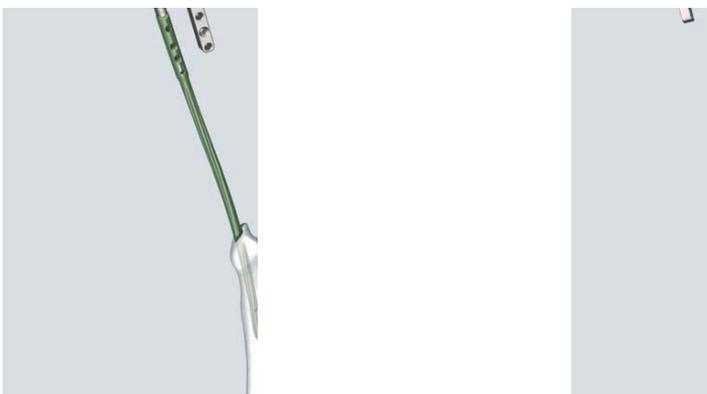


Abb. 23: Einbringen des Nagels in a.-p.-Ansicht. Aufgrund der Rotation um ca. 90° während des Einbringens dreht der Zielbügel von anterior (links) nach lateral (rechts) [122].

Um die Inzidenz von Pseudarthrosen oder in Fehlstellung konsolidierten Frakturen zu verringern, sollten die Frakturspalte durch Kompression geschlossen werden. Hierfür wird der Nagel überweit eingebracht, um das Rückschlagen des Nagels zu berücksichtigen. Die Endposition des Nagels sollte bündig mit der trochantären Kortikalis sein.

Wenn man sich für die Kompression der Frakturspalte entscheidet, muss zuerst distal verriegelt werden (siehe „3.2.2 Distale Verriegelung“) und anschließend mit Führungsstange und Gleithammer der Nagel unter Bildverstärkerkontrolle zurückgeschlagen werden (Abb. 24).



Abb. 24: Schematische Darstellung der Kompression des Frakturspaltes [122].

Bei geplanter primärer oder sekundärer Dynamisierung sollte der Nagel um mehr als 7mm überweit eingebracht werden, was dem maximalen Abstand zwischen den Positionen statisch und dynamisch entspricht.

Ist proximal die Rekonstruktionsverriegelung vorgesehen, muss der Nagel auf eine Tiefe eingebracht werden, die das Zentrieren zweier Rekonstruktionsschrauben im Femurhals erlaubt (siehe proximale Rekonstruktionsverriegelung).

Mithilfe eines Führungsdrahtes, welcher durch den Zielbügel gesteckt wird, kann man die Nagelposition kontrollieren (Abb. 25). Der Abstand zwischen den Markierungen am Zielbügel beträgt 5mm und entspricht den Verlängerungen der Verschlusschrauben.

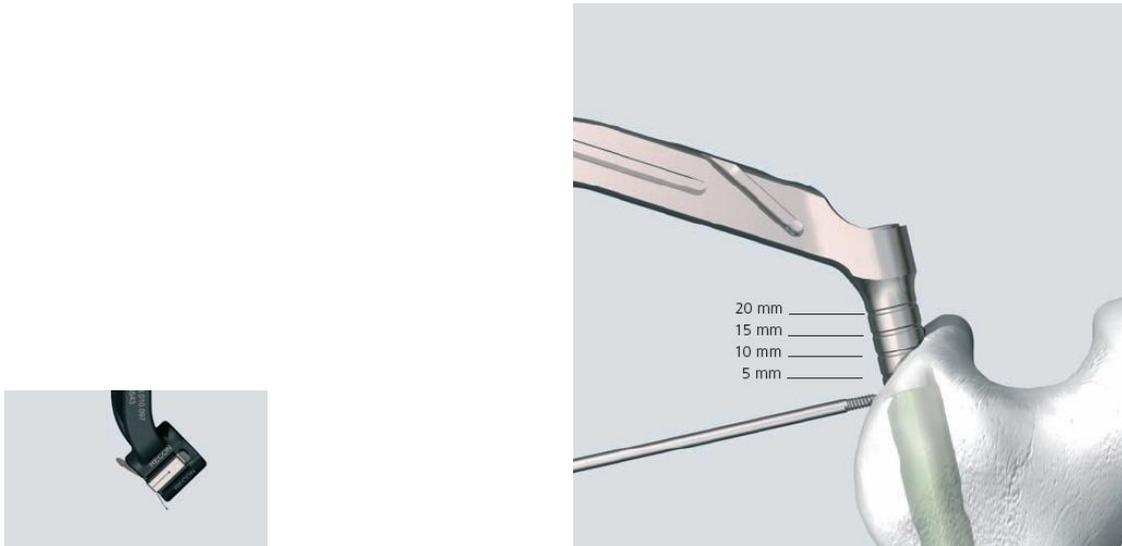


Abb. 25: Kontrolle der proximalen Nagelposition mithilfe eines Führungsdrahtes und den Markierungen am Zielbügel. Links in der Übersicht, rechts als Vergrößerung dargestellt [122].

### 3.2.1 Proximale Verriegelung

#### 3.2.1.1 Proximale Standard-Verriegelung

Am proximalen Ende des Expert LFN gibt es drei Standard-Verriegelungspositionen (Abb. 26). Eine 120° antegrad, eine transversal statische und eine transversal dynamische Position.



Abb. 26: Drei mögliche Standard-Verriegelungspositionen am proximalen Ende des LFN (Lateralen Femurnagel); 1 (120° antegrad), 2 (transversal dynamisch), 3 (transversal statisch) [122].

Für ausreichende proximale statische Verriegelung besetzt man, wie in Abbildung 27 gezeigt, das 120° antegrade Verriegelungsloch (Position 1 in Abb. 26) in Kombination mit der transversalen statischen Verriegelungsposition (Position 3 in Abb. 26).



Abb. 27: Proximale statische Standard-Verriegelung des LFN (Lateraler Femurnagel) [122].

Für unmittelbare primäre Dynamisierung wird nur eine proximale Verriegelungsschraube durch den dynamischen Schlitz (Position 2 in Abb. 26) eingebracht (Abb. 28).



Abb. 28: Proximale Verriegelung des LFN (Lateraler Femurnagel) für primäre Dynamisierung [122].

Ist eine sekundäre Dynamisierung vorgesehen, werden die dynamische und die 120° antegrade Verriegelungsposition jeweils mit einer Schraube besetzt (Abb. 29).



Abb. 29: Proximale Verriegelung des LFN (Lateraler Femurnagel) für sekundäre Dynamisierung [122].

Zur Durchführung der proximalen Verriegelung wird die dreiteilige Trokarkombination (Gewebeschutzhülse, entsprechende Bohrbüchse und Trokar) durch das gewünschte Loch im Zielbügelaufsatz eingebracht.



Abb. 30: Einbringen der Trokarkombination von lateral durch das entsprechende Loch im Zielbügelaufsatz (schwarz) [122].

Anschließend bohrt man mit dem entsprechenden Spiralbohrer durch beide Kortikales bis die Spitze des Spiralbohrers die gegenüberliegende Kortikalis knapp durchstößt und liest am Spiralbohrer an der Rückseite der Bohrbüchse die geeignete Schraubenlänge ab (Abb. 31).



Abb. 31: Bohren des proximalen Verriegelungsloches und Bestimmen der Länge für die Verriegelungsschraube (Bildausschnitt links oben) [122].

Nachdem man eine Verriegelungsschraube der gemessenen Länge mittels Schraubendreher eingebracht hat, muss die Position mit dem Bildwandler überprüft werden. Die Spitze der Verriegelungsschraube sollte nicht weiter als 1 bis 2 mm über die gegenüberliegende Kortikalis hinausreichen. Eine Rille am Schraubendreher zeigt an, dass die Verriegelungsschraube vollständig eingebracht ist.

Für die zweite proximale Standard-Verriegelungsschraube geht man in der gleichen Weise wie oben beschrieben vor.

Bei Verwendung der 120° antegraden Verriegelungsmöglichkeit muss die Trokarkombination durch das entsprechende Loch am Zielbügel eingebracht und ebenfalls wie oben beschrieben vorgegangen werden.

#### **3.2.1.2 Proximale Rekonstruktions-Verriegelung**

Die korrekte Position des Nagels sollte vorab durch Platzieren zweier Führungsdrähte auf dem Zielbügelaufsatz mittels Bildwandler kontrolliert werden.

Die dreiteiligen Trokarkombinationen (Gewebeschutzhülse, entsprechende Bohrbüchse und Tokar) führt man durch die entsprechenden Löcher am Zielbügelaufsatz ein und schiebt diese, nach Durchführung einer Stichinzision, bis zum Knochen vor.

Ohne Krafteinwirkung auf das Instrumentarium werden nun zuerst der kaudale und anschließend der kraniale Führungsdraht bis subchondral in den Femurkopf eingebracht (Abb. 32). Die korrekte Position kontrolliert man mittels Bildwandler in zwei Ebenen. Hierbei ist es wichtig, dass in der a.-p. Ansicht die Führungsdrähte gerade und in der lateralen Ansicht in der Mitte des Femurhalses liegen.



Abb. 32: Führungsdrähte für die Hüftschrauben kaudal und kranial über die Trokare durch den Schenkelhals bis in den Femurkopf einbringen [122].

Am Führungsdraht kann mithilfe des Messstabes direkt die benötigte Schraubenlänge der Schenkelhalsschraube abgelesen werden (Abb. 33). Die abgelesene Länge stellt man an der Klemmhülse des Stufenbohrers ein und bohrt bis zum Anschlag durch den Knochen. Die fixierte Klemmhülse verhindert, dass weiter gebohrt wird.

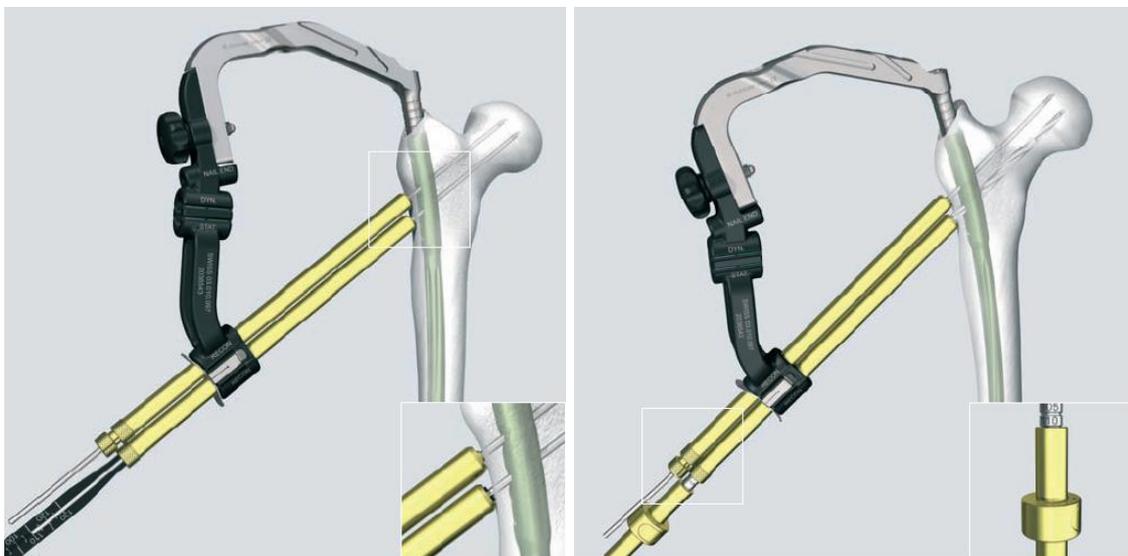


Abb. 33: Länge für die kaudale Hüftschraube bestimmen (links). Zu beachten ist, dass die Trokare der lateralen Kortikalis anliegen (Bildausschnitt). Die eingestellte Länge Bohren (rechts). Die Klemmhülse verhindert, dass weiter gebohrt wird (Bildausschnitt) [122].

Anschließend werden mit dem Schraubendreher die geeigneten Hüftschrauben durch die Gewebeschutzhülse in den Femurkopf eingebracht (Abb. 34).

Die korrekte Position der Verriegelungsschrauben sollte unter Bildverstärkerkontrolle in beiden Ebenen überprüft werden.

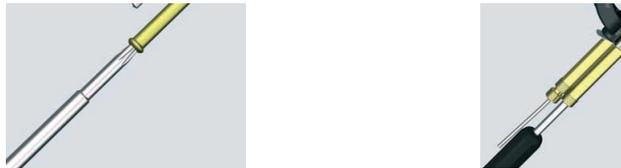


Abb. 34: Einbringen der entsprechenden Hüftschraube mit dem Schraubendreher durch den Trokar (links) bis zur definitiven Position (rechts) [122].

### 3.2.2 Distale Verriegelung

Vor der endgültigen Verriegelung des Nagels müssen die Reposition, die korrekte Ausrichtung der Fragmente, die Achsverhältnisse und die Beinlänge überprüft werden.

Es ist darauf zu achten, dass nur die geeigneten Verriegelungsschrauben und Spiralbohrer für den ausgewählten Nageldurchmesser verwendet werden.

Der C-Arm des Bildwandlers wird auf das Loch im Nagel ausgerichtet, bis auf der Bildschirmmitte ein perfekter Kreis zu sehen ist (Abb. 35).

Anschließend platziert man ein Skalpellblatt auf der Haut über der Mitte des Lochs, um den Inzisionspunkt zu markieren und eine Stichinzision vorzunehmen (Abb. 36).

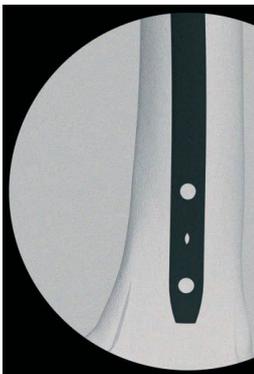


Abb. 35: Bildwandler-Bild ausrichten [122].



Abb. 36: Inzisionspunkt mit einem Skalpellblatt bestimmen [122].

Mit dem röntgenstrahlendurchlässigen Winkelgetriebe und unter BV-Kontrolle führt man die Spitze des geeigneten Spiralbohrers durch die Inzision gegen den Knochen und neigt ihn so, dass er über dem Verriegelungsloch zentriert ist (Abb. 37). Der Spiralbohrer sollte den Kreis des Verriegelungslochs fast vollständig ausfüllen. Ist diese Voraussetzung gegeben, muss man durch beide Kortikales bohren bis die Spitze des Spiralbohrers die mediale, gegenüberliegende Kortikalis durchdringt.



Abb. 37: Den Bohrer schräg über dem Loch positionieren (links), in den Strahlengang ausrichten und die Löcher für die distalen Verriegelungsschrauben bohren (rechts) [122].

Mit dem Tiefenmessgerät oder dem Messstab für Verriegelungsschrauben ermittelt man nun die Länge für die Verriegelungsschraube (Abb. 38).

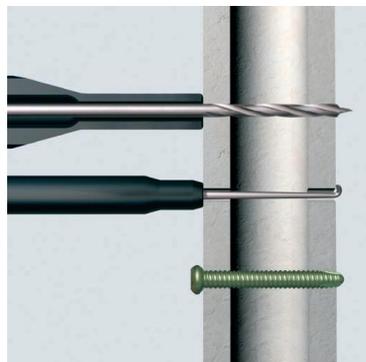


Abb. 38: Die entsprechende Länge der Verriegelungsschraube entweder mit dem Messstab für Verriegelungsschrauben (oben) oder mit dem Tiefenmessgerät (mitte) bestimmen und die Schraube (unten) entsprechender Länge mit dem Schraubendreher einbringen [122].

Im nächsten Schritt wird die Verriegelungsschraube der richtigen Länge mit dem Schraubendreher eingebracht und die Lage unter Bildverstärkerkontrolle überprüft. Die Schraubenspitze sollte ca. 2 mm aus der Gegenkortikalis hervortreten. Für das Einbringen der zweiten und dritten distalen Verriegelungsschraube geht man in gleicher Weise vor.

Abschließend wird noch die proximale Verschlusschraube eingebracht (Abb. 39). Hierfür platziert man den Führungsdraht im proximalen Nagelende und dreht hierüber die durchbohrte Verschlusschraube mit der entsprechenden Länge mittels Schraubendreher ein. Diese erfüllt zwei Funktionen. Zum einen verhindert sie das Einwachsen von Knochen in den Nagel und zum anderen verlängert sie die Nagelhöhe, falls der Nagel zu weit eingebracht wurde.



*Abb. 39: Einbringen der proximalen Verschlusschraube in das proximale Nagelende mit dem Schraubendreher über einen Führungsdraht [122].*

### 3.3 Die Indikation

Aufgrund seiner verschiedenen Verriegelungsmöglichkeiten, hat der Laterale Femurnagel (LFN) eine große Indikationsbreite.

Mit proximaler Standardverriegelung ist er bei sämtlichen Frakturen im Femurschaft (32–A/B/C nach AO-Klassifikation) indiziert (Abb. 40), wie zum Beispiel bei Mehretagenfrakturen, Trümmerfrakturen mit oder ohne Knochenverlust, Verfahrenswechsel nach Fixateur externe, pathologische oder drohende pathologische Frakturen, bei Rekonstruktionseingriffen nach Tumorresektion, bei ausbleibender oder verzögerter Knochenheilung, Pseudarthrosen und Korrekturosteotomien.

Bei Verwendung der proximalen Standardverriegelung sind jedoch subtrochantäre Frakturen (32–A [1-3].1 und 32–B [1-3].1 nach AO) ausgenommen [122].



Abb. 40: Indikationen des LFN (Lateraler Femurnagel) mit proximaler Standardverriegelung sind Frakturen im blau markierten Bereich (siehe Text) [122].

Mit proximaler Rekonstruktionsverriegelung ist der LFN für Frakturen im Femurschaft in Kombination mit ipsilateralen Femurhalsfrakturen indiziert (Abb. 41). Dies sind, wie oben genannt, 32–A/B/C Frakturen kombiniert mit 31–B Frakturen nach AO. Des Weiteren sind Frakturen im subtrochantären Bereich (32–

A [1-3].1 und 32-B [1-3].1 nach AO) Indikationen für die Anwendung des Nagels mit Rekonstruktionsverriegelung [122].



Abb. 41: Indikationen des LFN (Lateraler Femurnagel) mit proximaler Rekonstruktionsverriegelung sind Frakturen im blau markierten Bereich (siehe Text) [122].

## 3.4 Studienablauf

### 3.4.1 Patientenkollektiv

In diese prospektiv angelegte, klinisch deskriptive Studie wurden alle Patienten eingeschlossen, welche in der Klinik für Unfall-, Hand-, Plastische- und Wiederherstellungschirurgie am Universitätsklinikum Ulm zwischen dem 26.08.2005 und dem 06.03.2007 (circa 20 Monate) mit dem Expert Lateralen Femurnagel (LFN) versorgt wurden. Die Indikation zur Implantation des LFN wurde anhand der Fraktur vom Operateur gestellt.

### 3.4.2 Perioperative Daten

Die perioperativen Daten wurden mit einem standardisierten Fragebogen der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen (AO) („Accident and Primary treatment“, siehe Anhang) erhoben.

Der erste, patientenbezogene Teil des Fragebogens eruierte das Alter und das Geschlecht des Patienten, die Frakturursache und die Frakturseite. Des Weiteren wurde darin erfasst, ob zusätzliche Frakturen vorlagen, es sich um ein Polytrauma handelte, eine pathologische Fraktur vorlag und ob es eine geschlossene oder offene Fraktur war.

Dieser Teil wurde noch während des stationären Aufenthaltes mithilfe des Anamnesebogens, des Aufnahmeprotokolls und sofern es der Allgemeinzustand des Patienten erlaubte im persönlichen Patientengespräch eruiert.

Der zweite Teil des Fragebogens beschäftigte sich mit der Frakturklassifikation und mit implantats- und operationsspezifischen Fragestellungen. So wurde darin unter anderem der Operateur, die Repositionsmethode, die Dauer der Operation, die Implantatabmessungen und die Verriegelungsart des Nagels eruiert. Außerdem wurden in diesem Teil Fragen an den Operateur bezüglich technischer und intraoperativer Probleme gestellt. Des Weiteren wurden in diesem Teil das Implantat und dessen Umgang vom Operateur bewertet.

Daher wurde dieser Teil nicht nur mithilfe des Operationsberichtes und des OP-Protokolls erhoben sondern auch dem entsprechenden Operateur zur Vervollständigung ausgehändigt.

Sollten bei einem Patienten im Laufe des Beobachtungszeitraumes nachteilige Ereignisse bzw. Komplikationen bezüglich des Implantats und dem Umgang damit aufgetreten sein, wie zum Beispiel eine iatrogene Fraktur, ein Implantat- oder Schraubenbruch, stand ein weiterer standardisierter Fragebogen der AO („Adverse Event“, siehe Anhang) zur Verfügung, welcher, sofern erforderlich, vom entsprechenden Operateur ausgefüllt wurde. Darin wurden Daten zu einem möglichen Implantatfehler, zu potentiellen Wundheilungsstörungen und zum weiteren Prozedere erhoben. Weiterhin wurden in diesem Bogen Fragen nach einem kausalen Zusammenhang zwischen Ereignis/Komplikation und Implantat, sowie die Auswirkungen des Ereignisses/der Komplikation auf die Studie beantwortet.

### **3.4.3 Daten der Kontrolluntersuchung**

Im Rahmen einer klinischen Kontrolluntersuchung wurden die Patienten 10-16 Wochen postoperativ klinisch untersucht und anhand eines weiteren standardisierten Fragebogens der AO („Follow-up 10-16 weeks“, siehe Anhang) befragt. Außerdem erfolgte eine Röntgenaufnahme des betroffenen Oberschenkels inklusive Hüft- und Kniegelenk in zwei Ebenen sowie eine sonografisch-navigierte Bestimmung der Beingeometrie.

Im ersten Teil des Follow-up-Fragebogens wurden patientenbezogene Daten erhoben, wie die bisher erreichte Belastung und Beweglichkeit des operierten Beines, die Gehfähigkeit des Patienten und sofern vorhanden die Schmerzart im Operationsgebiet.

Dieser Teil wurde im Rahmen der Kontrolluntersuchung und im persönlichen Gespräch mit dem Patienten eruiert.

Der nächste Teil des Erhebungsbogens erfasste die Ergebnisse der radiologischen Kontrolle. Darin wurden Fragen zum Heilungsverlauf, zum aktuellen Repositions- und Konsolidierungszustand der Fraktur und zum Implantatzustand beantwortet.

Die Datengewinnung erfolgte anhand der am Kontrolltermin angefertigten Röntgenbilder. Außerdem wurden zur Verlaufskontrolle und zum Vergleich die prä-, peri- und postoperativen Röntgenaufnahmen herangezogen. Die in diesem Abschnitt ebenfalls enthaltene Frage nach postoperativen Deformitäten konnte anhand der sonografisch-navigierten Beingeometrie-Messung (s.u.) beantwortet werden.

### **3.4.4 Klinische Untersuchung**

Hierfür wurde bei den Patienten mithilfe eines Winkelmessers an beiden Beinen die Beweglichkeit im Hüft- und Kniegelenk nach der Neutral-Null-Methode bestimmt. Des Weiteren diente das Maßband als Hilfsmittel zur Bestimmung der Gesamtbeinlänge von der Spina iliaca anterior superior bis zum Malleolus lateralis. Außerdem erfasste man den Beinumfang 20 cm und 10 cm proximal des inneren Kniegelenkspaltes, auf Höhe der Kniescheibenmitte, 15 cm distal des

inneren Kniegelenkspaltes, am kleinsten Umfang des Unterschenkels, auf Höhe der Malleolengabel, am Rist über dem Kahnbein sowie auf Höhe des Vorfußballens.

Die Messwerte wurden in das standardisierte „Messblatt für untere Gliedmaßen (nach der Neutral - Null - Methode)“ (siehe Anhang) eingetragen.

### **3.4.5 Röntgenuntersuchung**

Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung 10-16 Wochen postoperativ erfolgten am betroffenen Bein konventionelle Röntgenaufnahmen des Oberschenkels in zwei Ebenen (a.-p. und axial) mit Einschluss der beiden angrenzenden Gelenke, Hüft- und Kniegelenk.

Ziel dieser Aufnahmen war es, im Vergleich zu den perioperativen / postoperativen Voraufnahmen, die Frakturheilung, den Repositionszustand und den Implantatzustand zu beurteilen. Hierbei handelte es sich um radiologische Nachkontrollen im Rahmen der klinischen Routine, eine studienspezifische radiologische Exposition war nicht erforderlich.

### **3.4.6 Ultraschallnavigierte Torsionswinkel- und Längenbestimmung**

Um die Frage nach einer postoperativen Deformität bzw. Fehlstellung beantworten zu können, wurde am Termin der Kontrolluntersuchung eine sonografische Torsionswinkel-, Beinachs- und Beinlängenbestimmung der unteren Extremität beidseits durchgeführt.

Keppler et al. führten 1995 diese Methode ein [76,77]. Sie ist aufgrund der hohen Messgenauigkeit und Reproduzierbarkeit, der fehlenden Projektionsfehler und der fehlenden Strahlenbelastung besonders für eine Bestimmung der Beingeometrie im Rahmen klinischer Nachuntersuchungen geeignet. Durch dieses Messverfahren ist eine exakte und schmerzfreie Bestimmung der Beingeometrie ohne Bewegungsartefakte möglich. Die Messung basiert auf einer dreidimensionalen (3-D-) Erfassung definierter knöcherner Konturen. Der Patient wird hierbei in Rückenlage auf einer Untersuchungsfläche in Neutralstellung der unteren Extremität gelagert (Abb. 42). Mittels eines gewöhnlichen Sonografiegerätes, welches mit einem 3-D-Ultraschallortungssystem (Zebris

Medical GmbH, Isny) verbunden wird, werden nach vorgegebenem Schema folgende Konturen sonografisch aufgesucht:

- das Hüftkopfbzentrum beidseits
- die hüftkopfnaher Erhebung des Trochanter major
- die Mitte der Femurkondylen und des Tibiaplateaus
- die Eminentia intercondylaris
- die Sprunggelenkmitte
- der Sprunggelenkspalt

Von diesen Konturen werden Positionskordinaten des Ultraschallkopfes in eine Datenbank auf einem herkömmlichen PC eingespeist. Hieraus errechnet eine spezielle Software die Ober- und Unterschenkellänge, die Beinlänge sowie die Torsionswinkel von Ober- und Unterschenkel in der Projektionsebene [76,77].



*Abb. 42: Patientenlagerung und Anordnung des Messsystems. Der mobile Teil des Ultraschallortungssystems ist am Schallkopf des Ultraschallgerätes (in der Hand des Untersuchers) und der andere Teil (Referenz) mittels Band am Unterschenkel des Patienten befestigt [77].*

Im Konsens mit den meisten veröffentlichten Arbeiten definierten wir Abweichungen der Femurtorsion zur gesunden Gegenseite von bis zu  $10^\circ$  als physiologisch, von  $11^\circ$ - $15^\circ$  als mögliche und  $>15^\circ$  als sichere Fehlstellung. Eine Diskrepanz des Varus-Valgus-Winkels am Kniegelenk (Normwert  $172$ - $173^\circ$ ) von

$>5^\circ$  wurde ebenso wie ein Beinlängenunterschied  $>15$  mm als pathologisch eingestuft. Innenrotationsabweichungen und Verkürzungen wurden mit einem negativen Vorzeichen (-) gekennzeichnet. Außenrotationsabweichungen und Verlängerungen erhielten ein positives (+) bzw. kein Vorzeichen [19,20,90].

### **3.5 Statistik**

Aufgrund der geringen Fallzahl wurde eine deskriptive Statistik durchgeführt. Alle Berechnungen wurden mit MS Excel Version 2007 (Microsoft, Redmond, USA) durchgeführt.

## 4. Ergebnisse

### 4.1 Perioperative Daten

Insgesamt konnten in diese Studie initial 16 Patienten eingeschlossen werden, darunter 12 Männer und 4 Frauen. Eine Patientin wurde von der Studie ausgeschlossen, da sie in den USA lebt und nicht für die Nachuntersuchung zur Verfügung stand. Somit wird in dieser Arbeit von 15 Patienten (12 Männer und 3 Frauen) berichtet. Das mittlere Alter betrug  $35 \pm 19$  (16; 79) Jahre. Die Frauen waren zum Unfallzeitpunkt im Durchschnitt 52,6 Jahre und die Männer 30,4 Jahre alt.

Tab. 10: Übersicht der 15 in der Klinik für Unfall-, Hand-, Plastische- und Wiederherstellungschirurgie am Universitätsklinikum Ulm zwischen dem 26.08.2005 und dem 06.03.2007 mit dem Expert Lateralen Femurnagel (LFN) versorgten Fälle

Fall-Nr.	Patientenalter (in Jahren) / Geschlecht (♂=männlich, ♀= weiblich)	Zeitdauer von der Frakturereinstellung bis zur LFN-Implantation (in Tagen)	Hospitalisationsdauer (in Tagen)	Belastungsvorgabe des operierten Beines bei Entlassung aus der Klinik (in Kg)	Verbleib nach Entlassung aus der Klinik
1	79 / ♂	1	9	20	häusliches Umfeld
2	19 / ♂	2	30	0	stationäre Psychiatrie
3	19 / ♂	4	16	20	häusliches Umfeld
4	19 / ♂	0	4	20	häusliches Umfeld
5	37 / ♀	0	16	20	Rehaklinik
6	16 / ♂	0	8	20	häusliches Umfeld
7	22 / ♂	elektive Umstellungsosteotomie zur Torsionskorrektur, somit geplante „Fraktur“	7	20	häusliches Umfeld
8	51 / ♀	7	21	20	Rehaklinik

9	16 / ♂	0	10	20	häusliches Umfeld
10	27 / ♂	0	27	20	Rehaklinik
11	30 / ♂	7	31	20	stationäre Psychiatrie
12	70 / ♀	LC-Plattenbruch ohne erinnerliches Trauma. Somit kein eindeutiges Frakturdatum	12	20	Rehaklinik
13	35 / ♂	5	49	0	Rehaklinik
14	40 / ♂	4	34	20	Rehaklinik
15	43 / ♂	18	12	20	häusliches Umfeld

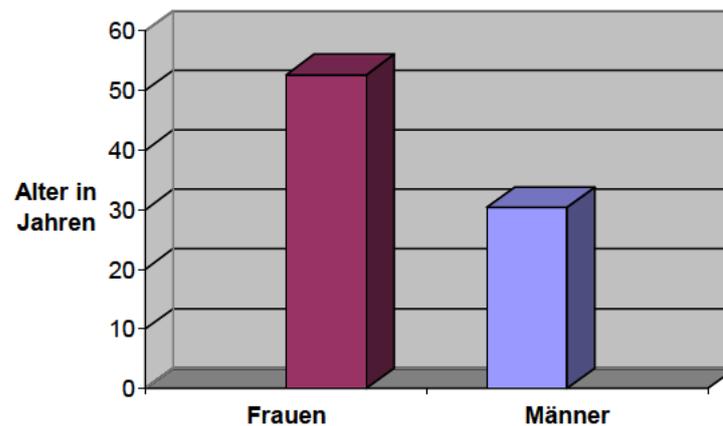


Abb. 43: Durchschnittsalter der 15 Patienten, die in der Klinik für Unfall-, Hand-, Plastische- und Wiederherstellungschirurgie am Universitätsklinikum Ulm zwischen dem 26.08.2005 und dem 06.03.2007 mit dem Expert Lateralen Femurnagel (LFN) versorgt wurden nach Geschlecht aufgeführt. Die weiblichen Patienten (violetter Balken) waren zum Unfallzeitpunkt im Durchschnitt 52,6 Jahre und die männlichen Patienten (blauer Balken) im Durchschnitt 30,4 Jahre alt.

Zwölf (80%) der 15 Patienten erlitten ein Hochrasanztrauma wie Verkehrsunfälle oder Stürze aus großer Höhe. Einem Patienten wurde der Nagel im Rahmen einer Umstellungsosteotomie implantiert und eine Patientin erhielt den Nagel im Rahmen eines Verfahrenswechsels bei Insuffizienz bzw. Bruch ihrer vorhandenen Femur-Plattenosteosynthese (Abb. 44). Somit handelte es sich stets um akute und nicht um pathologische Frakturen.

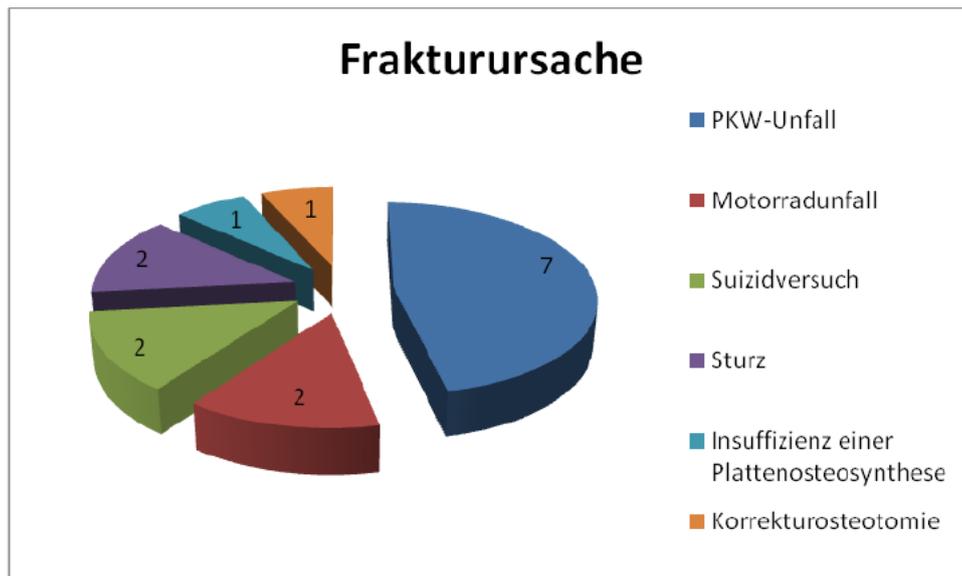


Abb. 44: Frakturursache der 15 Patienten, die in der Klinik für Unfall-, Hand-, Plastische- und Wiederherstellungschirurgie am Universitätsklinikum Ulm zwischen dem 26.08.2005 und dem 06.03.2007 mit dem Expert Lateralen Femurnagel (LFN) versorgt wurden.

Sieben Patienten wurden aufgrund ihrer Begleitverletzungen mittels ISS (Injury Severity Score) als Polytrauma (ISS  $\geq$  15) eingestuft (Abb. 45). Neun Patienten hatten zusätzlich zur Oberschenkelfraktur noch weitere Frakturen.

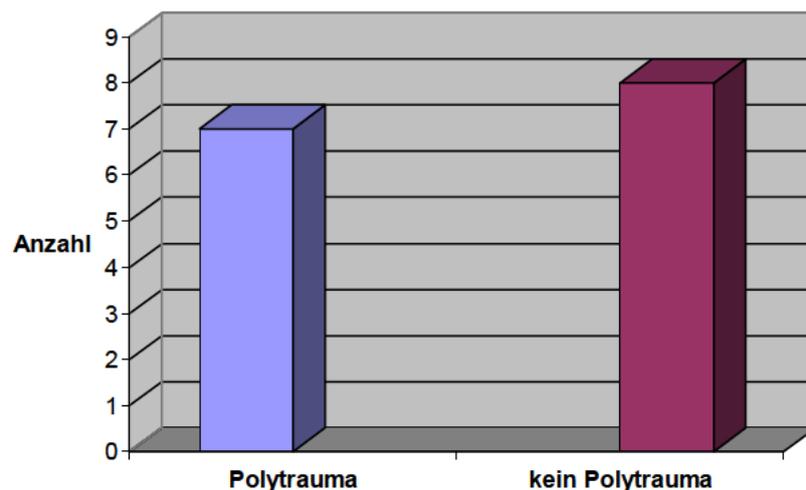


Abb. 45: Anzahl der Polytraumata unter den 15 Patienten, die in der Klinik für Unfall-, Hand-, Plastische- und Wiederherstellungschirurgie am Universitätsklinikum Ulm zwischen dem 26.08.2005 und dem 06.03.2007 mit dem Expert Lateralen Femurnagel (LFN) versorgt wurden.

Ein Patient hatte eine erstgradig offene und ein weiterer Patient eine zweitgradig offene Fraktur (Abb. 46).

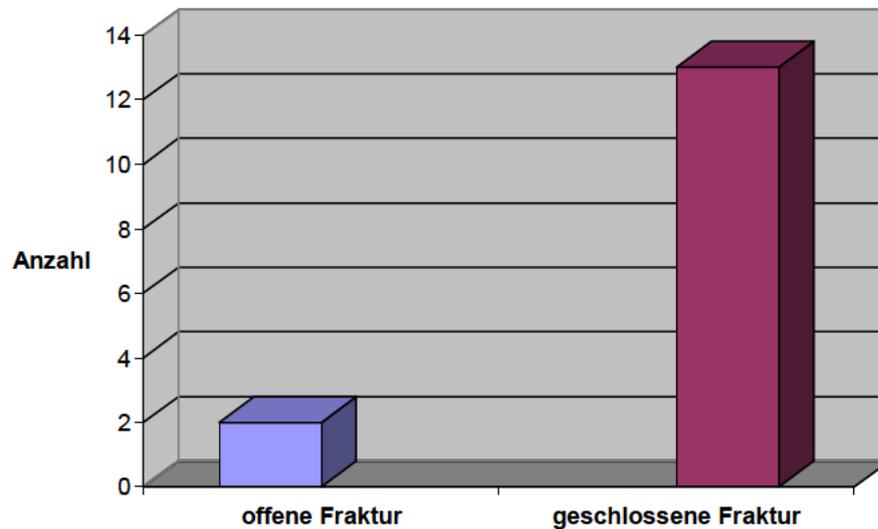


Abb. 46: Anzahl der offenen und geschlossenen Frakturen der 15 Patienten, die in der Klinik für Unfall-, Hand-, Plastische- und Wiederherstellungschirurgie am Universitätsklinikum Ulm zwischen dem 26.08.2005 und dem 06.03.2007 mit dem Expert Lateralen Femurnagel (LFN) versorgt wurden.

Bei neun Patienten war der linke und bei sechs Patienten der rechte Oberschenkel betroffen (Abb. 47).

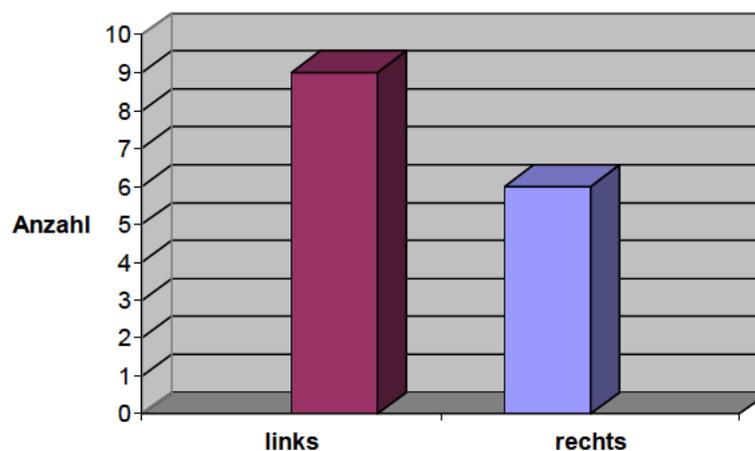


Abb. 47: Seitenverteilung der Femurfrakturen der 15 Patienten, die in der Klinik für Unfall-, Hand-, Plastische- und Wiederherstellungschirurgie am Universitätsklinikum Ulm zwischen dem 26.08.2005 und dem 06.03.2007 mit dem Expert Lateralen Femurnagel (LFN) versorgt wurden.

Die Verteilung der einzelnen Frakturtypen war sehr variabel. Jedoch traten die 32-A3 Frakturen und die 32-B2 Frakturen (nach AO) mit je vier Mal am häufigsten auf (Abb. 48). Zu erwähnen ist, dass sich ein Patient (Fallnummer 5) am selben Oberschenkel sowohl eine Femurschaftfraktur (32-B2 nach AO) als auch eine proximale Femurfraktur (31-B1 nach AO) zuzog. Weiterhin wurde bei einem Patienten (Fallnummer 1) keine AO-Klassifikation vorgenommen, da es sich um eine Fraktur der seit Jahren bestehenden Kniegelenksarthrodese handelte.

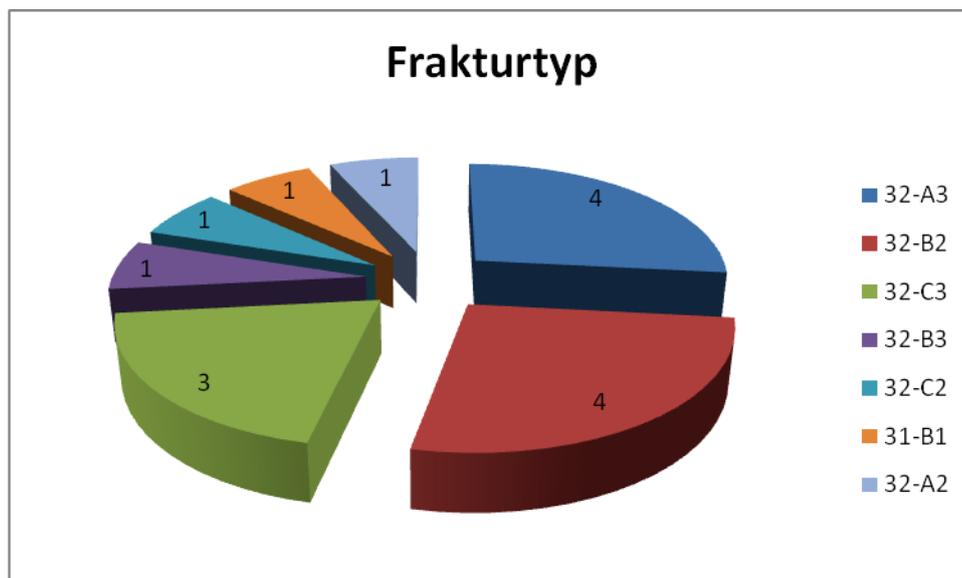


Abb. 48: Anzahl der einzelnen Frakturtypen (nach AO (Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen)) der 15 Patienten, die in der Klinik für Unfall-, Hand-, Plastische- und Wiederherstellungschirurgie am Universitätsklinikum Ulm zwischen dem 26.08.2005 und dem 06.03.2007 mit dem Expert Lateralen Femurnagel (LFN) versorgt wurden.

Bei nur einem Patienten musste die Fraktur offen reponiert werden, in allen weiteren Fällen gelang die geschlossene Reposition auf dem Extensionstisch.

Die LFN-Implantation wurde von vier verschiedenen Operateuren durchgeführt. Operateur-1 implantierte den LFN achtmal, Operateur-2 viermal, Operateur-3 zweimal und Operateur-4 einmal.

Die Durchschnittliche Operationszeit betrug 111 Minuten. In einigen Fällen wurde jedoch durch dasselbe oder ein zusätzliches Operationsteam nacheinander bzw. parallel ein weiterer Eingriff am selben Patienten durchgeführt, wodurch die

Operationszeit deutlich beeinflusst wurde (Tab. 11). Eine separate Zeiterfassung der einzelnen Operationen wurde nicht durchgeführt.

Tab. 11: Die Operationszeit beeinflussenden Zusatzoperationen bei sieben der 15 Patienten, die in der Klinik für Unfall-, Hand-, Plastische- und Wiederherstellungschirurgie am Universitätsklinikum Ulm zwischen dem 26.08.2005 und dem 06.03.2007 mit dem Expert Lateralen Femurnagel (LFN) versorgt wurden.

Fallnummer	Zusatzoperationen
Fall 2	Entfernung des Fixateur externe, Wunddebridement mit VAC-Wechsel bei offener Femurfraktur
Fall 3	Entfernung des Fixateur externe und Plattenosteosynthese einer offenen Unterarmfraktur links
Fall 6	Chirurgisches Wunddebridement und Versorgung einer Skalpierungsverletzung
Fall 8	Plattenosteosynthese einer Radiusfraktur rechts, Platten- und Drahtosteosynthese einer Olekranontrümmerfraktur links
Fall 10	Wunddebridement und Anlage eines Fixateur externe bei offener Unterschenkelfraktur links
Fall 12	Marknagelosteosynthese einer Humerusschaftfraktur rechts
Fall 13	Plattenosteosynthese einer Unterarmtrümmerfraktur rechts

In Abhängigkeit der Femuranatomie des Patienten und der Indikation wurden Implantate der Längen 240 mm bis 480 mm und des Durchmessers 9 mm bis 12 mm verwendet (Abb. 49 + 50).

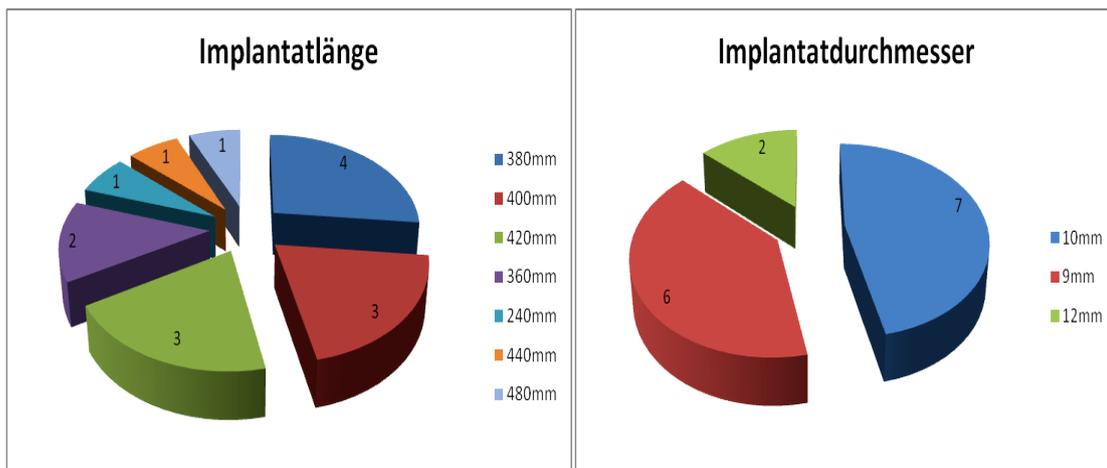


Abb. 49 (links) und 50 (rechts): Verwendete Implantatlängen und Implantatdurchmesser der 15 Patienten, die in der Klinik für Unfall-, Hand-, Plastische- und Wiederherstellungschirurgie am Universitätsklinikum Ulm zwischen dem 26.08.2005 und dem 06.03.2007 mit dem Expert Lateralen Femurnagel (LFN) versorgt wurden.

Zur distalen Nagelverriegelung wurde in 10 Fällen (67%) das obere und untere Verriegelungsloch mittels Verriegelungsbolzen besetzt, in drei Fällen (20%) sowohl das obere, untere als auch das mittlere und in zwei Fällen (13%) das obere und das mittlere.

Die proximale Verriegelung gestaltete sich sehr variabel. So wurde in 5 Fällen einzig das dynamische Verriegelungsloch bzw. der Verriegelungsschlitz besetzt, in vier Fällen der Rekonstruktions-Modus mit zwei Schenkelhalsschrauben gewählt, in zwei Fällen das 120° antegrade in Kombination mit dem statischen Verriegelungsloch, in weiteren zwei Fällen das dynamische Verriegelungsloch in Kombination mit der proximalen Schenkelhalsschraube, in einem Fall einzig das statische und in einem weiteren einzig das 120° antegrade Verriegelungsloch.

Bei 12 (80%) der 15 operierten Patienten wurde das proximale Nagelende mittels einer Endkappe in verschiedener Länge verschlossen.

Weiterhin wurde im perioperativen Fragebogen, wie oben genannt, beim Operateur nach technischen und intraoperativen Problemen gefragt. In Tabelle 12 werden die Häufigkeiten der einzelnen Probleme dargestellt.

Tab. 12: Häufigkeiten der technischen / intraoperativen Probleme bei den 15 Patienten, die in der Klinik für Unfall-, Hand-, Plastische- und Wiederherstellungschirurgie am Universitätsklinikum Ulm zwischen dem 26.08.2005 und dem 06.03.2007 mit dem Expert Lateralen Femurnagel (LFN) versorgt wurden.

Häufigkeit	technische / intraoperative Probleme
1 x	sehr enger Markraum
1 x	erschwertes Einbringen der proximalen Rekonstruktionsschrauben
1 x	erneutes Verbinden des Zielbügels mit dem Nagel nicht möglich
1 x	Zielbügel löst sich während der Nagelinsertion mittels Hammerschlägen
3 x	erschwertes Handling mit dem Eintrittspunkt-Zielgerät

Abschließend sollten die Operateure eine Bewertung über bestimmte Punkte bezüglich des LFN abgeben. Diese sind in Tabelle 13 dargestellt. Zu erwähnen ist, dass einmalig, im Sinne einer Enthaltung, vom Operateur keine Bewertung abgegeben wurde.

Tab. 13: Bewertungen des Nagelsystems durch die Operateure der 15 Patienten, die in der Klinik für Unfall-, Hand-, Plastische- und Wiederherstellungschirurgie am Universitätsklinikum Ulm zwischen dem 26.08.2005 und dem 06.03.2007 mit dem Expert Lateralen Femurnagel (LFN) versorgt wurden.

Zu bewertender Punkt	Bewertung
Bestimmung des Nageleintrittspunktes	5x ausgezeichnet (36%) 9x gut (64%)
Einbringen des Nagels	3x ausgezeichnet (21,5%) 8x gut (57%) 3x ausreichend (21,5%)
Proximale Verriegelung	8x ausgezeichnet (57%) 5x gut (36%) 1x ausreichend (7%)
Distale Verriegelung	8x ausgezeichnet (57%) 6x gut (43%)

Einbringen der Endkappe	3x ausgezeichnet (21,5%) 7x gut (50%) 1x ausreichend (7%) 1x mangelhaft (7%) 2x wurde keine Endkappe eingebracht (14,5%)
Einfluss der Nagelinsertion auf die Reposition	8x keinen Einfluss (57%) 6x besser als zuvor (43%)

Im Rahmen der perioperativen Datenerhebung konnten keine nachteiligen Ereignisse (Adverse Events) bzw. Komplikationen bezüglich des Implantats beobachtet werden.

## 4.2 Daten der Kontrolluntersuchung

Im Durchschnitt fand die Kontrolluntersuchung  $4,4 \pm 1,1$  (2,7; 6,2) Monate nach der Implantation des LFN am Universitätsklinikum Ulm statt.

Zu diesem Zeitpunkt konnten 12 Patienten vollbelasten und benötigten zum sicheren Gehen keine Hilfsmittel wie einen Rollator oder Stöcke. Ein Patient (Fallnummer 14) musste aufgrund seiner kontralateralen subtotalen Unterschenkelamputation zwei Unterarmgehstöcke zur Stabilisierung benutzen, konnte jedoch das operierte Bein voll belasten. Zwei Patienten hatten noch eine Teilbelastung von etwa dem halben Körpergewicht einzuhalten. Bei einem der beiden Patienten (Fallnummer 10) war dies durch eine, beim selben Trauma zugezogene ipsilaterale, offene Tibiaschaftfraktur begründet. Bei der anderen Patientin (Fallnummer 12) wurde die Teilbelastung aufgrund der noch unvollständigen Frakturkonsolidierung bei osteoporotischem Knochen aufrechterhalten.

Sieben der 15 Patienten gaben an, zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung wieder über eine normale Gehfähigkeit zu verfügen. Vier Patienten konnten mindestens eine Stunde gehen und für drei Patienten waren Spaziergänge von mehr als 15 Minuten Dauer gut möglich. Nur einem Patienten (Fallnummer 11) war es aufgrund der noch nicht ausbehandelten Begleitverletzungen nicht möglich, länger als 15 Minuten zu gehen (Abb. 51).

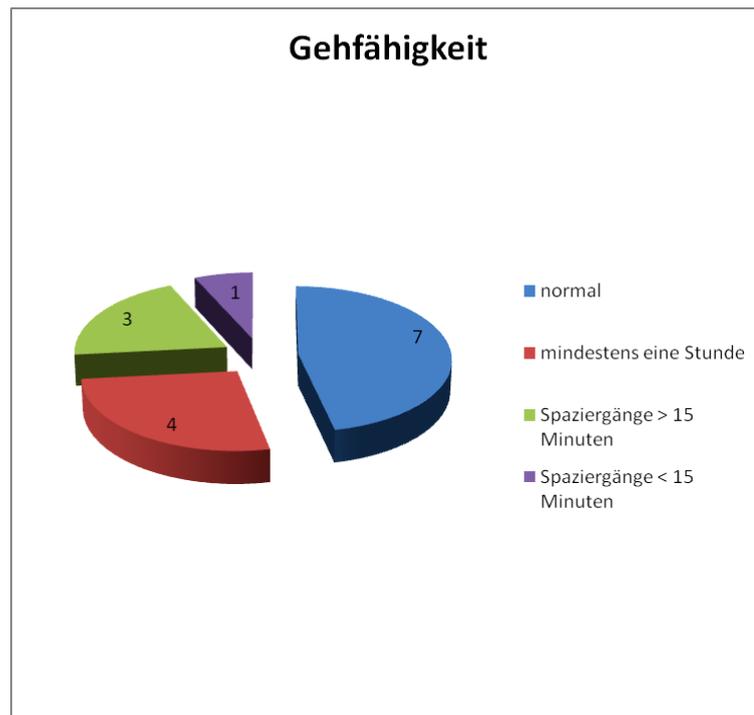


Abb. 51: Gehfähigkeit zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung der 15 Patienten, die in der Klinik für Unfall-, Hand-, Plastische- und Wiederherstellungschirurgie am Universitätsklinikum Ulm zwischen dem 26.08.2005 und dem 06.03.2007 mit dem Expert Lateralen Femurnagel (LFN) versorgt wurden.

Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung hatten acht Patienten keine Schmerzen mehr im Bereich des operierten Oberschenkels. Bei drei Patienten bestanden noch leichte Belastungsschmerzen im Bereich der Fraktur und vier Patienten gaben Bewegungsschmerzen im Bereich der proximalen Nagelinsertion bzw. der ipsilateralen Glutealmuskulatur an.

Bei der Kontrolluntersuchung konnten mittels Röntgenaufnahmen 14 Frakturen als ausreichend konsolidiert klassifiziert werden. Bei einem Patienten (Fallnummer 4) musste aufgrund einer verzögerten Knochenheilung, klinischen Beschwerden und leichter, bestehender Dislokation des proximalen Femurfragmentes die Indikation zur Revision gestellt werden. Hier wurde im Folgenden elektiv der LFN entfernt und durch eine NCB-Platte (Non-Contact-Bridging-Platte) ersetzt.

Die Frage nach einer Beindeformität in diesem Abschnitt wurde mittels ultraschallnavigierter Beinachsvermessung beantwortet. Hier konnte im Rahmen der Nachuntersuchung bei 10 Patienten keine relevante Deformität der betroffenen Extremität außerhalb des Referenzbereiches nachgewiesen werden.

Bei fünf Patienten wurde eine Deformität gemessen (Tab. 14). Bei einem Patienten (Fallnummer 1) bestand aufgrund seiner vorbestehenden ipsilateralen Kniegelenksarthrodese eine präoperative Beinverkürzung von 29 mm.

Weiterhin ist bei einem Patienten (Fallnummer 10) aufgrund einer ipsilateralen offenen Unterschenkelfraktur die Gesamtbeindeformität nicht nur durch die Femurfraktur verursacht. Darüber hinaus darf bei einem Patienten (Fallnummer 13) aufgrund einer, beim selben Trauma zugezogenen, kontralateralen distalen Oberschenkelschaftfraktur dieser nicht als „gesunder“ Referenzoberschenkel gewertet werden.

Tab. 14: Ganzbeindeformitäten der betroffenen Extremität im Vergleich zur Gegenseite zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung der 15 Patienten, die in der Klinik für Unfall-, Hand-, Plastische- und Wiederherstellungschirurgie am Universitätsklinikum Ulm zwischen dem 26.08.2005 und dem 06.03.2007 mit dem Expert Lateralen Femurnagel (LFN) versorgt wurden; negatives Vorzeichen bedeutet Innenrotationsabweichung oder Verkürzung, positives bzw. kein Vorzeichen bedeutet Außenrotationsabweichung oder Verlängerung. Die leeren Felder bedeuten, dass keine Pathologie festgestellt wurde.

	<b>Ganzbein - Malrotation</b>	<b>Ganzbein - Verkürzung/Verlängerung</b>
Fallnummer 1		-29 mm
Fallnummer 2	-38°	-40 mm
Fallnummer 9		-20 mm
Fallnummer 10	-20°	
Fallnummer 13		+19 mm

Bis zur Kontrolluntersuchung konnten keine nachteiligen Ereignisse (Adverse Events) bzw. Komplikationen bezüglich des Implantats beobachtet werden. Somit kam es im Beobachtungszeitraum zu keinem Adverse Event.

### 4.3 Klinische Untersuchung

Der durchschnittliche Bewegungsumfang (ROM) im Hüftgelenk des operierten Oberschenkels war zum Zeitpunkt der Nachkontrolle, allenfalls geringfügig gegenüber der Gegenseite eingeschränkt (Tab. 15).

Tab. 15: Durchschnittlicher Bewegungsumfang am operierten und am kontralateralen Hüftgelenk nach der „Neutral-Null-Methode“ in Winkelgrad bei den 15 Patienten, die in der Klinik für Unfall-, Hand-, Plastische- und Wiederherstellungschirurgie am Universitätsklinikum Ulm zwischen dem 26.08.2005 und dem 06.03.2007 mit dem Expert Lateralen Femurnagel (LFN) versorgt wurden.

	<b>operierte Seite (LFN)</b>	<b>Gegenseite</b>
Extension / Flexion	0 / 0 / 120	0 / 0 / 125
Abduktion / Adduktion	45 / 0 / 25	45 / 0 / 30
Außenrotation / Innenrotation	35 / 0 / 35	35 / 0 / 35

An den Kniegelenken konnte bezüglich des durchschnittlichen Bewegungsumfanges kein Unterschied zur Gegenseite festgestellt werden. So war der durchschnittliche ROM zum Nachuntersuchungszeitraum mit Extension / Flexion 0° / 0° / 120° seitengleich.

Der ebenfalls im Rahmen der klinischen Untersuchung gemessene Beinumfang 20 cm oberhalb des inneren Kniegelenkspaltes war in fünf Fällen (33%) geringer als an der Gegenseite (Maximum: Fallnummer 1 mit -5 cm). In zwei Fällen (13%) konnte im Seitenvergleich derselbe Umfang gemessen werden und in acht Fällen (53%) wurde ein größerer Umfang gemessen (Maximum: Fallnummer 3,8,14 mit jeweils +3 cm).

Ähnliche Differenzen konnten 10 cm oberhalb des inneren Kniegelenkspaltes gezeigt werden. Hier waren bei ebenfalls fünf Patienten geringere Werte zu beobachten (Maximum: Fallnummer 1 mit -6 cm). Bei zwei Patienten war kein Umfangsunterschied zu messen und bei acht Patienten wurde im Seitenvergleich ein größerer Umfang gemessen (Maximum: Fallnummer 2, 14, 15 mit jeweils +3 cm).

Die Werte der klinisch mittels Maßband gemessenen Beinlänge von der Spina iliaca anterior superior bis zum Malleolus lateralis sind in Tabelle 16 dargestellt. Hier konnte bei sieben Patienten eine Verkürzung (Maximum: Fallnummer 1,2,5 mit jeweils -3 cm) gemessen werden. Bei zwei Patienten konnte eine ausgeglichene Beinlänge und bei fünf Patienten eine Beinverlängerung gemessen werden (Maximum: Fallnummer 12 mit +4 cm). In einem Fall (Fallnummer 14) konnte aufgrund einer kontralateralen subtotalen Unterschenkelamputation keine Vergleichsbeinlänge bestimmt werden.

Tab. 16: klinisch mittels Maßband gemessene Beinlänge an der operierten Seite (LFN (Lateraler Femurnagel)-Seite) und der Gegenseite, sowie die Differenz im Bezug auf die Gegenseite (in cm) bei den 15 Patienten, die in der Klinik für Unfall-, Hand-, Plastische- und Wiederherstellungschirurgie am Universitätsklinikum Ulm zwischen dem 26.08.2005 und dem 06.03.2007 mit dem Expert Lateralen Femurnagel (LFN) versorgt wurden.

<b>Fallnummer</b>	<b>LFN-Seite</b>	<b>Gegenseite</b>	<b>Differenz</b>
1	91	94	-3
2	96	99	-3
3	104	103	1
4	98	97	1
5	87	90	-3
6	90	91	-1
7	99	99	0
8	84	85	-1
9	89	90	-1
10	99	100	-1
11	95	95	0
12	85	81	4
13	96	95	1
14	91	Unterschenkel-Amputation	
15	94	92	2

#### 4.4 Röntgendokumentation / Radiologischer Verlauf

Bei keinem der 15 Patienten konnte zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung radiologisch ein Implantatdefekt bzw. Implantat- oder Schraubenbruch nachgewiesen werden. Es kam in keinem Fall zu einer Implantatwanderung.

Hier werden nun exemplarisch einige ausgewählte Fälle dargestellt.

Fallnummer 3:

In der präoperativen Röntgenaufnahme ist die Fraktur (32-C2 nach AO) noch mittels Fixateur externe primärstabilisiert. Es existiert nur die anterior-posteriore Ebene.



Abb. 52a



Abb. 52b

Abb. 52: Röntgenaufnahmen des Patienten aus Fallnummer drei, welcher in der Klinik für Unfall-, Hand-, Plastische- und Wiederherstellungschirurgie am Universitätsklinikum Ulm zwischen dem 26.08.2005 und dem 06.03.2007 mit dem Expert Lateralen Femurnagel (LFN) versorgt wurde.

- (a): Präoperative a.-p. Röntgenaufnahme. Hier ist die Fraktur noch mittels Fixateur externe primärstabilisiert.  
 (b): Postoperative a.-p. und laterale Röntgenaufnahme nach Implantation des Lateralen Femurnagels.



Abb. 53: a.-p. und laterale Röntgenaufnahme 18 Wochen postoperativ des Patienten aus Fallnummer drei, welcher in der Klinik für Unfall-, Hand-, Plastische- und Wiederherstellungschirurgie am Universitätsklinikum

Ulm zwischen dem 26.08.2005 und dem 06.03.2007 mit dem Expert Lateralen Femurnagel (LFN) versorgt wurde. Bei regelrechten Stellungsverhältnissen ist eine deutliche Kallusbildung zu sehen. Kein Implantatbruch und keine Schraubendislokation.

Fallnummer 4:

Auch hier existiert für die präoperative Planung nur die a.-p.-Projektion der Femurfraktur (32-B2 nach AO).



Abb. 54a



Abb. 54b

Abb. 54: Röntgenaufnahmen des Patienten aus Fallnummer vier, welcher in der Klinik für Unfall-, Hand-, Plastische- und Wiederherstellungschirurgie am Universitätsklinikum Ulm zwischen dem 26.08.2005 und dem 06.03.2007 mit dem Expert Lateralen Femurnagel (LFN) versorgt wurde.

(a): Präoperative a.-p. Röntgenaufnahme der Fraktur (32-B2 nach AO (Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen)) mit deutlicher Fehlstellung des distalen Fragmentes nach lateral und proximal.

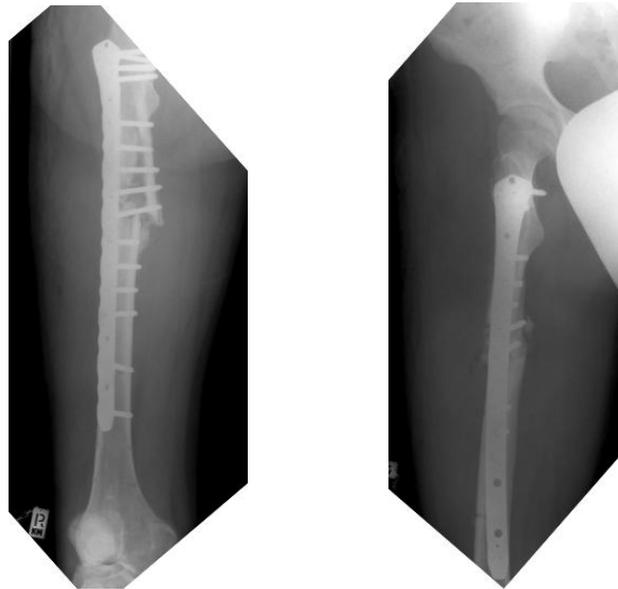
(b): Postoperative a.-p. und laterale Röntgenaufnahme nach Implantation des Lateralen Femurnagels. Es zeigt sich noch eine Dehiszenz der proximalen Fragmente bei nicht ausreichend reponierter Fraktur.



Abb. 55: a.-p. und laterale Röntgenaufnahme 10 Wochen postoperativ des Patienten aus Fallnummer vier, welcher in der Klinik für Unfall-, Hand-, Plastische- und Wiederherstellungschirurgie am Universitätsklinikum Ulm zwischen dem 26.08.2005 und dem 06.03.2007 mit dem Expert Lateralen Femurnagel (LFN) versorgt wurde. Es zeigt sich noch eine persistierende Dehiszenz der Fragmente.

Bei der Nachkontrolle ist noch keine ausreichende Kallusbildung zu sehen. Somit wurde aufgrund des verzögerten Heilungsverlaufes und persistierender, belastungsabhängiger Schmerzen im Bereich der Fraktur die Indikation zum Verfahrenswechsel gestellt.

Im Verlauf wurde daraufhin elektiv der LFN entfernt und die Fraktur durch eine NCB-Platte (Non-Contact-Bridging-Platte) versorgt.



*Abb. 56: a.-p. und laterale Röntgenaufnahme nach Verfahrenswechsel des Patienten aus Fallnummer vier, welcher in der Klinik für Unfall-, Hand-, Plastische- und Wiederherstellungschirurgie am Universitätsklinikum Ulm zwischen dem 26.08.2005 und dem 06.03.2007 mit dem Expert Lateralen Femurnagel (LFN) versorgt wurde. Der Laterale Femurnagel wurde entfernt und die Fraktur mittels Non-Contact-Bridging-Platte versorgt.*

#### Fallnummer 5:

Die Primärdiagnostik wurde bei diesem Patienten klinisch und mittels Trauma-Computertomografie durchgeführt. Auf konventionelle Bilder wurde präoperativ daher verzichtet.

Durch die proximale Rekonstruktionsverriegelung konnte mit dem LFN sowohl die Femurschaftfraktur (32-B2 nach AO) als auch die ipsilaterale Femurhalsfraktur (31-B1 nach AO) versorgt werden.



Abb. 57: Zwei a.-p. und eine laterale postoperative Röntgenaufnahme nach Implantation des Lateralen Femurnagels des Patienten aus Fallnummer fünf, welcher in der Klinik für Unfall-, Hand-, Plastische- und Wiederherstellungschirurgie am Universitätsklinikum Ulm zwischen dem 26.08.2005 und dem 06.03.2007 mit dem Expert Lateralen Femurnagel (LFN) versorgt wurde.



Abb. 58: a.-p. und laterale Röntgenaufnahme 10 Wochen postoperativ des Patienten aus Fallnummer fünf, welcher in der Klinik für Unfall-, Hand-, Plastische- und Wiederherstellungschirurgie am Universitätsklinikum Ulm zwischen dem 26.08.2005 und dem 06.03.2007 mit dem Expert Lateralen Femurnagel (LFN) versorgt wurde. Bei intaktem Implantat und regelrechten Stellungsverhältnissen zeigt die laterale Schenkelhalsfraktur eine gute Konsolidierung. Im Bereich der Femurschaftfraktur ist eine zufriedenstellende Kallusbildung zu sehen.

Fallnummer 7:

Aufgrund einer relativen posttraumatischen Außenrotationsfehlstellung des rechten Femur von  $25^\circ$ , welche präoperativ mittels ultraschallnavigierter Torsionswinkel- und Längenbestimmung gemessen wurde, wurde in diesem Fall die Indikation zur Umstellungsosteotomie gestellt.



Abb. 59a



Abb. 59b

Abb. 59: Röntgenaufnahmen des Patienten aus Fallnummer sieben, welcher in der Klinik für Unfall-, Hand-, Plastische- und Wiederherstellungschirurgie am Universitätsklinikum Ulm zwischen dem 26.08.2005 und dem 06.03.2007 mit dem Expert Lateralen Femurnagel (LFN) versorgt wurde.

(a): Präoperative a.-p. und laterale Röntgenaufnahme vor Osteotomie.

(b): Postoperative a.-p. und laterale Röntgenaufnahmen nach Torsions-Korrekturosteotomie und Implantation des Lateralen Femurnagels.



Abb. 60: a.-p. und laterale Röntgenaufnahme 16 Wochen postoperativ des Patienten aus Fallnummer sieben, welcher in der Klinik für Unfall-, Hand-, Plastische- und Wiederherstellungschirurgie am Universitätsklinikum Ulm zwischen dem 26.08.2005 und dem 06.03.2007 mit dem Expert Lateralen Femurnagel (LFN) versorgt

wurde. Bei regelrechten Stellungsverhältnissen ist kein Implantatversagen zu sehen. Die Osteotomie ist noch nicht durchbaut, jedoch ist vor allem dorsomedial eine zufriedenstellende Kallusbildung zu erkennen.

Fallnummer 14:

Auch hier ist in der präoperativen Röntgenaufnahme die Fraktur (32-A2 nach AO) noch mittels Fixateur externe primärstabilisiert. Es existiert nur die anterior-posteriore Ebene.



Abb. 61a



Abb. 61b

Abb. 61: Röntgenaufnahmen des Patienten aus Fallnummer 14, welcher in der Klinik für Unfall-, Hand-, Plastische- und Wiederherstellungschirurgie am Universitätsklinikum Ulm zwischen dem 26.08.2005 und dem 06.03.2007 mit dem Expert Lateralen Femurnagel (LFN) versorgt wurde.

(a): Präoperative a.-p. Röntgenaufnahme der Fraktur (32-A2 nach AO (Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen)) mit temporärem Fixateur externe.

(b): Postoperative a.-p. und laterale Röntgenaufnahme nach Implantation des Lateralen Femurnagels.



Abb. 62: a.-p. und laterale Röntgenaufnahme 20 Wochen postoperativ des Patienten aus Fallnummer 14, welcher in der Klinik für Unfall-, Hand-, Plastische- und Wiederherstellungschirurgie am Universitätsklinikum Ulm zwischen dem 26.08.2005 und dem 06.03.2007 mit dem Expert Lateralen Femurnagel (LFN) versorgt wurde. Bei regelrechten Stellungsverhältnissen und intaktem Implantat ist eine zufriedenstellende Kallusbildung zu sehen.

Fallnummer 1:



Abb. 63a



Abb. 63b

Abb. 63: Röntgenaufnahmen des Patienten aus Fallnummer eins, welcher in der Klinik für Unfall-, Hand-, Plastische- und Wiederherstellungschirurgie am Universitätsklinikum Ulm zwischen dem 26.08.2005 und dem 06.03.2007 mit dem Expert Lateralen Femurnagel (LFN) versorgt wurde.

(a): Präoperative a.-p. und laterale Röntgenaufnahme der frakturierten Kniegelenksarthrodese.

(b): a.-p. und laterale Röntgenaufnahme postoperativ nach Implantation des Lateralen Femurnagels, hier zeigt sich postoperativ eine achsgerechte Stellung.



*Abb. 64: a.-p. und laterale Röntgenaufnahme 20 Wochen postoperativ des Patienten aus Fallnummer eins, welcher in der Klinik für Unfall-, Hand-, Plastische- und Wiederherstellungschirurgie am Universitätsklinikum Ulm zwischen dem 26.08.2005 und dem 06.03.2007 mit dem Expert Lateralen Femurnagel (LFN) versorgt wurde. Es zeigen sich nach wie vor achsgerechte Stellungsverhältnisse ohne Implantatversagen und eine zufriedenstellende Kallusbildung.*

## **4.5 Dokumentation der ultraschallnavigierten Beinachsvermessung**

Bei sechs Patienten (40%) konnte im Rahmen der Nachuntersuchung mittels ultraschallnavigierter Beinlängen-, Achs- und Rotationsbestimmung eine relevante pathologische Deformität des operierten Femur festgestellt werden.

Im Fall 1 konnte im Vergleich zur gesunden Gegenseite eine Oberschenkelverkürzung von 19 mm nachgewiesen werden, wobei der Referenzpunkt zur Oberschenkelängenbestimmung im Bereich des Kniegelenkes aufgrund der bestehenden ipsilateralen Kniegelenksarthrodese nicht eindeutig zu bestimmen war.

In Fall 2 zeigte sich bei der Nachkontrolle sowohl eine Innenrotationsabweichung des Femur von 21° als auch eine pathologische Oberschenkelverkürzung von 41 mm.

Im Fall 6 bestand eine Innenrotationsabweichung des operierten Femur von 20° und im Fall 8 konnte eine Außenrotationsabweichung von 18° gemessen werden.

Bei dem Patienten in Fall 9 wurde eine relevante Verkürzung des Femur von 16 mm gemessen und im Fall 10 zeigte sich eine Innenrotationsabweichung des operierten Femur von 26°.

Beim Patienten in Fall 3 wurde am operierten Bein im Seitenvergleich eine Valgusabweichung von 3° gemessen, was als physiologische Differenz interpretiert wurde.

Beim Patienten in Fall 14 wurde eine Varusabweichung des operierten Beines gemessen (Mechanische Beinachse: 170°). Hier konnte jedoch, aufgrund einer suptotalen Unterschenkelamputation der Gegenseite, kein Seitenvergleich durchgeführt werden.

Tab. 17 (siehe Seite 77): Oberschenkelängen- und Rotationsabweichungen des betroffenen Femur im Vergleich zur Gegenseite der 15 Patienten, die in der Klinik für Unfall-, Hand-, Plastische- und Wiederherstellungschirurgie am Universitätsklinikum Ulm zwischen dem 26.08.2005 und dem 06.03.2007 mit dem Expert Lateralen Femurnagel (LFN) versorgt wurden; negatives Vorzeichen bedeutet Innenrotationsabweichung oder Verkürzung, positives bzw. kein Vorzeichen bedeutet Außenrotationsabweichung oder Verlängerung.

	Differenz der Oberschenkel­länge in mm (Abweichung zur Gegenseite)	Differenz der Oberschenkel­torsion in Winkelgrad (°) (Abweichung zur Gegenseite)	Mechanische Beinachse	Beurteilung / Bemerkung
Fall 1	-19	12	Genu varum beidseits	Oberschenkelverkürzung links, eingeschränkte Beurteilbarkeit bei Kniegelenksarthrodese links
Fall 2	-41	-21	Ausgeglichene Beinachse	relative Innentorsionsabweichung (-21°) und Verkürzung (-41 mm) linker Oberschenkel
Fall 3	-3	-2	Genu valgum links (LFN links)	mit 3° Achsunterschied Genu valgum links, sonst Normalbefund
Fall 4	0	9	Ausgeglichene Beinachse	Norma befund
Fall 5	-9	-5	Ausgeglichene Beinachse	grenzwertiger Normalbefund
Fall 6	-8	-20	Ausgeglichene Beinachse	Innentorsionsabweichung des Oberschenkels von -20°
Fall 7	10	3	Ausgeglichene Beinachse	Norma befund
Fall 8	3	18	Ausgeglichene Beinachse	Außertorsionsabweichung des Oberschenkels von 18°, sonst Norma befund
Fall 9	-16	2	Ausgeglichene Beinachse	Oberschenkelverkürzung von -16 mm, sonst Norma befund
Fall 10	-8	-26	Ausgeglichene Beinachse	pathologische Innentorsionsabweichung des Oberschenkel von -26°
Fall 11	8	7	Ausgeglichene Beinachse	Norma befund
Fall 12	0	11	Genu varum beidseits	Genu varum beiseits, sonst Norma befund
Fall 13	11	12	Genu varum beidseits	Genua vara, sonst grenzwertiger Norma befund
Fall 14	-8	9	Genu varum links (LFN links)	Genu varum links, Norma befund des Oberschenkels, kontralaterale subtotale Unterschenkelamputation
Fall 15	0	0	Ausgeglichene Beinachse	Norma befund

Die Patienten mit relevanter Deformität wurden im Verlauf zur Besprechung des weiteren Prozedere in die entsprechende Sprechstunde aufgebeten.

## 5. Diskussion

### 5.1 Perioperative Daten

Das Verhältnis von Männern zu Frauen lag in unserer Arbeit bei 4 : 1 (12 Männer, 3 Frauen) und konnte durch Zahlen der Literatur nicht bestätigt werden, denn laut Lögters et al. sind trotz der nationalen Unterschiede und der unterschiedlichen Frakturursachen, Männer und Frauen etwa gleich häufig von einer Femurschaftfraktur betroffen [89]. Der Unterschied zu unserem Kollektiv ist die geringe Fallzahl der hier vorliegenden Untersuchung und die regionale Gegebenheit als Traumazentrum mit einem Schwerpunkt bei der Versorgung polytraumatisierter Patienten im Rahmen von Hochrasanztraumata.

Das Durchschnittsalter der Männer ist zum Zeitpunkt des Frakturgeschehens deutlich jünger als das der Frauen. So berichten Weiss et al. in ihrer Studie über 6409 Femurschaftfrakturen von einem Durchschnittsalter der Männer von 27 Jahren und der Frauen von 79 Jahren [129]. In unserer Studienpopulation war zum Zeitpunkt des Traumas das Durchschnittsalter der Frauen 52,6 Jahre und das der Männer 30,4 Jahre.

Diese Altersverteilungen haben einen Zusammenhang mit der Frakturursache.

In 80% der Fälle (12 Patienten) war in unserer Arbeit ein Hochrasanztrauma, wie ein Verkehrsunfall oder ein Sturz aus großer Höhe die Ursache der Femurfraktur.

Dieser hohe Prozentsatz lässt sich durch die Literatur nur bei jungen männlichen Patienten bestätigen. So war in der Arbeit von Arneson et al. in 58% ein schweres Trauma Ursache der Femurfraktur. Vor allem die diaphysären Frakturen bei jungen männlichen Patienten waren hier durch Hochrasanztraumata verursacht [10].

Bei den häufig älteren Patienten, welche sich die Femurfraktur durch ein inadäquates Trauma, wie ein Sturz auf der Ebene zuzogen, ist meist eine generalisierte oder lokalisierte Osteopenie ursächlich anzuführen [10,57].

Aufgrund der meist großen Gewalteinwirkung sind Femurfrakturen in ca. 25% der Fälle mit einer Polytraumatisierung assoziiert [102]. Anders betrachtet haben laut einer Datenerhebung von Weninger et al. 50% der polytraumatisierten Patienten

eine Femurfraktur. Jedoch wurden hier nur Polytraumata eingeschlossen, welche mittels Helikopter abtransportiert wurden [130].

In unserem Kollektiv wurden etwa die Hälfte der Patienten (7 Patienten, 47%) mittels ISS als Polytrauma eingestuft, was ebenfalls durch den hohen Anteil an Hochrasanztraumata (9x Verkehrsunfall, 2x Suizidversuch) erklärt werden kann.

Die Anzahl an offenen Femurfrakturen schwankt in der Literatur sehr stark. Es finden sich Angaben zwischen 2% und 30% [89]. Weiss et al. berichten in ihrer retrospektiven Studie von 2% offenen Femurschaftfrakturen. Eine genauere Einteilung wurde jedoch nicht vorgenommen [129]. In dem 144 Patienten umfassenden Kollektiv von Benirschke et al. hatten 34 Patienten (24%) eine offene Femurschaftfraktur. Die Klassifikation nach Gustilo und Anderson erbrachte hier fünf IIIA- und neun IIIB- Frakturen. Die restlichen 20 Frakturen waren Grad I- und II [15]. Maier et al. berichten in ihrer Arbeit von 30% offenen Femurfrakturen im distalen Schaftdrittel [90].

In unserem Patientenkollektiv hatten zwei Patienten (13%) eine offene Femurschaftfraktur. Ein Patient hatte eine erstgradig und ein weiterer Patient eine zweitgradig offene Fraktur nach Gustilo und Anderson. Da es sich bei Maier, bei Benirschke und in unserer Arbeit im Vergleich zu Weiss (6409 Patienten) um relativ kleine Patientenzahlen handelte, ist der Arbeit von Weiss im Bezug auf die Häufigkeit von offenen Femurfrakturen mehr Gewichtung einzuräumen.

Da in der aktuellen Literatur keine Angaben über die Seitenverteilung von Femurfrakturen gemacht wird, kann der höhere Anteil der linken Seite (60%) im Vergleich zur rechten Seite (40%) in unserer Arbeit nicht für allgemein gültig erklärt werden.

Die Verteilung der einzelnen Frakturtypen des Femurschaftes war bei unseren Patienten sehr variabel. Nur ein Patient (7%) hatte zusätzlich zu seiner Femurschaftfraktur eine ipsilaterale proximale Femurfraktur. Dies deckt sich mit den Ergebnissen der Literatur, denn Tornetti et al. sprechen in Ihrer Studie von einer Inzidenz von 1 - 9% für begleitende ipsilaterale, proximale Femurfrakturen [124]. Dies bestätigt sich auch in der Arbeit von Yang et al., in der ca. 9% der Femurschaftfrakturen eine ipsilaterale Femurhalsfraktur aufwiesen [136].

Die Operationszeit wird in vielen Veröffentlichungen über die Marknagelung erwähnt und diskutiert. Aufgrund der oben genannten Parallel- bzw. Anschlussoperationen in unserer Arbeit ist jedoch ein Vergleich diesbezüglich nicht möglich.

Im Gegensatz zu vielen vergleichbaren Studien traten in der vorliegenden Arbeit erfreulicherweise bei keinem Fall intraoperative Komplikationen oder Adverse Events bezüglich des Implantats auf. Fadero et al. schildern bei drei (15,8%) von 19 Patienten intraoperativ eine iatrogene subtrochantäre Femurfraktur [41].

In der Arbeit von Müller et al. kam es bei zehn (8,8%) von 114 Patienten zu einer intraoperativen Fragmentdislokation des proximalen Fragmentes [97].

Die bei uns erwähnten technischen bzw. intraoperativen Probleme sind keine Komplikationen im eigentlichen Sinne, durch die potentiell negative Einflüsse bzw. bleibende Schäden für den Patienten resultierten.

So muss das Problem des engen femoralen Markkanals präoperativ erkannt und entsprechend verhindert werden.

Weiterhin sind die jeweils einmal aufgetretenen Probleme „Erschwertes Einbringen der proximalen Rekonstruktionsschrauben“, „Erneutes Verbinden des Zielbügels mit dem Nagel nicht möglich“ und „Zielbügel löst sich während der Nagelinsertion mittels Hammerschlägen“ eher ein Problem im Umgang mit einem neuen Produkt, welches einem gewissen Übungseffekt unterliegt und keinen Marknagel-System-spezifischen Effekt abbildet.

Darüber hinaus ist das dreimal (20%) aufgetretene Problem „Erschwertes Handling mit dem Eintrittspunkt-Zielgerät“ eher als Problem des Instrumentariums zu werten und bedingt durch die Unerfahrenheit mit dem neuen System und demnach keine Komplikation im eigentlichen Sinne.

Anhand der Bewertung der Operateure bezüglich des „Bestimmen des Nageleintrittspunktes“ (fünfmal „ausgezeichnet“ und neunmal „gut“) zeigt sich, dass das Nagelsystem das Auffinden des Eintrittspunktes nicht erschwert.

## 5.2 Daten der Kontrolluntersuchung

Prolongierte Schmerzen im Bereich des proximalen Oberschenkels und vor allem im Bereich der Nagelinsertion stellen bei der antegraden Marknagelung ein häufiges Problem dar [40].

Acht Patienten (53%) unseres Kollektivs hatten zum Zeitpunkt der Nachkontrolle keine Schmerzen am entsprechenden Bein. Drei (20%) unserer Patienten gaben unter Belastung wie Spaziergehen oder Treppensteigen noch leichte Schmerzen im Bereich der Fraktur bzw. an der Oberschenkelmitte an und vier Patienten (27%) berichteten über Schmerzen sowohl bei aktiver als auch passiver Hüftgelenksmobilisation im Bereich des Trochanter major, bzw. der ipsilateralen Glutealmuskulatur.

Die genaue Ursache der häufig vorkommenden Schmerzen im Bereich des Trochanter major wird in der Literatur bisher ohne eindeutigen Auslöser kontrovers diskutiert.

Trotz des kürzeren Nachuntersuchungszeitraumes bei uns sind die Zahlen mit der Studie von Dodenhoff et al. als vergleichbar zu werten. In dessen Arbeit wurden 80 Patienten nach antegrader Femurmarknagelung nachuntersucht. Nach durchschnittlich 21 Monaten hatten noch 33 Patienten (41%) persistierende, einschränkende Schmerzen. Ein Drittel der Patienten gab als Schmerzort den Bereich des Trochanter major an. In der radiologischen Kontrolle konnte bei 64% der Patienten mit Schmerzsymptomatik eine heterotope Ossifikation im Bereich der Nagelinsertionsstelle festgestellt werden, welche bei diesen Patienten als Schmerzursache vermutet wurde [35].

Auf annähernd dieselben Ergebnisse kamen Bain et al. Hier klagten 40% der Patienten zum Zeitpunkt der Nachkontrolle über Trochanter Schmerzen und 10% über Oberschenkelschmerzen. Als Schmerzursache wird von Bain die iatrogene, intraoperative Verletzung der Abduktorensehnen vermutet [11].

Somit ist eher von einem Zusammenspiel verschiedener Faktoren als Schmerzauslöser auszugehen. Zu beachten ist dabei jedoch, dass auch aufgrund des individuellen, subjektiven Schmerzempfindens des einzelnen Patienten ein Vergleich schwierig ist.

Trotz oft multipler Begleitverletzungen und der relativ hohen Anzahl an Polytraumata in unserer Arbeit konnten 13 Patienten (87%) zum Zeitpunkt der Nachkontrolle vollbelasten. Weiterhin verfügten 7 Patienten (47%) über eine normale Gefähigkeit und vier Patienten (27%) konnten mindestens eine Stunde gehen.

Daraus lässt sich die Annahme ableiten, dass dieser hohe Anteil an selbständiger Mobilität zum einen durch die überwiegend jungen, motivierten und zuvor körperlich gesunden Patienten und zum anderen durch die frühe physiotherapeutische Mobilisierung zu begründen ist.

Ebenfalls eine frühe Vollbelastung wurde in einer Arbeit von Brumback et al. erreicht. Hier war bei 26 von 28 Patienten sechs Wochen nach intramedullärer Marknagelung einer Femurschaftfraktur die Vollbelastung möglich [21].

### **5.3 Röntgendokumentation**

In unserem Patientenkollektiv war zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung bei 14 Patienten (93%) eine ausreichende Kallusbildung mit zeitgerechter Durchbauung der Fraktur zu erkennen. Somit wurden diese Frakturen radiologisch als stabil klassifiziert. Weiterhin konnte, wie oben schon genannt, im Untersuchungszeitraum kein Implantatdefekt festgestellt werden.

Ähnliche Ergebnisse erzielte Randelli et al. in seiner Arbeit an 27 Femurschaftfrakturen mit kombinierten ipsilateralen Femurhalsfrakturen, welche mittels Marknagel versorgt wurden. Hier waren nach durchschnittlich 4,8 Monaten 100% der untersuchten Femurschaftfrakturen ausgeheilt. Jedoch kam es bei einer ipsilateralen Schenkelhalsfraktur zu einer avaskulären Femurkopfnekrose und eine Weitere verheilte in Varusdeformität [104].

In einer Arbeit von Tsai et al., in der ebenfalls die Kombination von Femurschaft- und Femurhalsfrakturen untersucht wurde, heilten nach durchschnittlich 35 Wochen nur 78,1% der Schaftfrakturen aus [125].

Bei Randelli und Tsai ist jedoch davon auszugehen, dass die ipsilateral vorhandene Femurhalsfraktur einen Einfluss auf den Heilungsverlauf hatte.

Bei der einzigen Kombinationsfraktur in unserer Arbeit konnte kein verzögerter Heilungsverlauf beobachtet werden.

Der Vergleich der Zahlen unserer Fälle mit denen der Literatur zeigt ähnliche Ergebnisse bezüglich des Ausbleibens von Implantat- und Schraubenbrüchen.

So wurde in einer Studie von Kulkarni et al. bei 30 Patienten, welche aufgrund einer Femurschaftfraktur mit einem antegraden Marknagel versorgt wurden, kein Materialfehler beobachtet. Der Nageltyp wurde nicht genannt [82]. In einer Arbeit von Giannoudis et al., in welcher bei 51 Patienten der UFN (Unreamed Femoral Nail) implantiert wurde, beobachtete man nur einmalig (2%) einen Bruch des distalen Verriegelungsbolzens [49].

Ver mehrt (8,1% der Fälle) kam es bei Im et al. im Untersuchungszeitraum zum Bruch des distalen Verriegelungsbolzens, wodurch es bei diesen Patienten zu einer verzögerten Frakturheilung mit teils Revisionsbedürftigkeit kam. Verwendet wurde hier ein nicht näher bezeichneter Titan-Marknagel [65]. In einer großen Studie von Wolinsky et al. wurden 551 Schafffrakturen mittels Marknagel versorgt. Es kamen hier verschiedene Marknagelsysteme zur Anwendung. In einem Fall (0,2%) kam es zu einem Nagelbruch und in 13 Fällen (2,4%) zum Bruch eines Verriegelungsbolzens [133].

Bei den vergleichenden Arbeiten aus der Literatur handelt es sich meist um größere Kollektive bzw. längere Nachuntersuchungszeiträume, sodass ein Vergleich nur eingeschränkt möglich ist. Die LFN-Studie wurde als Multicenter-Studie durchgeführt. Da in dieser Arbeit nur die Zahlen der Patienten der Universitätsklinik Ulm genannt werden, sollte zum Literaturvergleich das Gesamtergebnis der Multicenter-Studie herangezogen werden.

#### **5.4 Der laterale Eintrittspunkt – Problematik, Vor- und Nachteile**

Die Frage nach dem idealen Eintrittspunkt bei der antegraden Femurmarknagelung wird in der Literatur kontrovers diskutiert.

Am meisten erforscht, verbreitet und von vielen Chirurgen empfohlen ist aufgrund ihrer anatomischen Position zur Markhöhle die so genannte Fossa piriformis [8,24,30,46,56,60,71,88].

Doch auch wenn die Fossa piriformis in vielen Studien als Standardeintrittspunkt beschrieben wird, herrscht über ihre genaue Lokalisation in der Literatur Unklarheit. Es existiert zwar eine anatomische Überschneidung der Fossa piriformis mit der Fossa trochanterica, jedoch wird in den meisten Veröffentlichungen die Fossa trochanterica als Fossa piriformis bezeichnet. In einer Studie von Papadakis et al. wird auf diese Problematik eingegangen. Hiernach ist die Fossa piriformis eine kleine extrakapsulär gelegene Fläche an der Spitze des Trochanter major und ca. 2 cm von der dorsalen Kante des Trochanter major entfernt [48]. An ihr setzt die Sehne des M. piriformis an. Die Fossa trochanterica hingegen ist eine extraartikuläre tiefe Mulde an der mediodorsalen Seite des Trochanter major. An ihr setzt die Sehne des M. obturator externus an. Diese Mulde ist einfach zu palpieren, entspricht in etwa dem gewünschten und empfohlenen Eintrittspunkt und wird daher fälschlicherweise von vielen Operateuren als Fossa piriformis bezeichnet [22,100].

Um die Angaben in den beschriebenen Arbeiten nicht zu ändern, wird in unserer Arbeit, auch wenn die Fossa trochanterica gemeint ist, der Begriff Fossa piriformis beibehalten.

Trotz der guten anatomischen Position der Fossa piriformis in der Verlängerung des Femur-Markkanals wird über häufige neurovaskuläre Komplikationen beim Verwenden dieses Insertionspunktes berichtet [88].

Weiterhin sind einige Fälle von postoperativer Abduktions- und Außenrotationsschwäche sowie persistierenden Schmerzen beschrieben [9,11,45,94].

Darüber hinaus ist laut einer Studie von Grechenig et al. an Leichenpräparaten aufgrund der anatomischen Variationen im Bereich des Trochanter major nur in 63% eine problemlose Marknagelinsertion über die Fossa piriformis möglich. Bei 37% war durch einen Trochanter-Überhang der Eintrittspunkt zur Hälfte oder vollständig ossär verdeckt [52].

Einige vergleichende Arbeiten propagieren daher den Trochanter major bzw. dessen Spitze, anstatt der Fossa piriformis, als geeigneteren Insertionspunkt [7,9,36,94,106,108].

So ist laut Moein et al. das Verletzungsrisiko von Ästen der MFCA (Medial femoral circumflex artery), des Nervus gluteus superior, der Glutealmuskulatur und verschiedener Außenrotatoren beim Verwenden der Trochanter Spitze als Insertionspunkt verringert. Darüber hinaus konnte er in seiner Arbeit an 10 Leichenpräparaten zeigen, dass die Gefahr einer Verletzung der Hüftgelenkscapsel und damit einer Gelenkeröffnung mit eventuellen Folgeschäden minimiert ist [9,94]. Weiterhin konnte er in einer Arbeit zeigen, dass die Aussenrotations- und Abduktionskraft bei Patienten verbessert ist, bei welchen der Nagel über die Trochanter Spitze anstatt über die Fossa piriformis implantiert wurde [7].

Dora et al. verglichen in ihrer Arbeit an 16 Leichenpräparaten drei verschiedene Eintrittspunkte im Bezug auf umliegende Weichteilverletzungen im Bereich der Marknagelinsertion miteinander. Insertionspunkt A war im Bereich der Spitze des Trochanter major. Punkt B war an der medialen Basis des Trochanter major etwas anterior zur Schenkelhalsachse. Punkt C war ebenfalls an der medialen Basis des Trochanter major, jedoch posterior zur Schenkelhalsachse und entsprach somit in etwa der Fossa piriformis. Laut seinen Ergebnissen ist trotz der guten anatomischen Lage der Fossa piriformis zum Markkanal mit einer erhöhten Rate an Weichteilverletzungen bei diesem Insertionspunkt zu rechnen. So wurden beim Verwenden dieses Eintrittspunktes nicht nur die Sehnen der Außenrotatoren, sondern auch Äste der, den Femurkopf versorgenden MFCA (Medial femoral circumflex artery), verletzt [36].

In einer weiteren Arbeit verglichen Ricci et al. die beiden aktuell am häufigsten verwendeten Eintrittspunkte Fossa piriformis (n=53) und Trochanter major (n=38) miteinander. Es wurden jeweils für den Eintrittspunkt spezifische Marknägel verwendet. Im Bezug auf Frakturheilung, postoperative Deformitäten, funktionelles Outcome und Komplikationen konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den Eintrittspunkten gefunden werden. Jedoch war die Operationsdauer 30% und die Röntgen-Durchleuchtungsdauer 73% bei adipösen Patienten in der Trochanter-Gruppe kürzer als in der Fossa piriformis-Gruppe. Somit stellt vor allem bei korpulenten Patienten der Trochanter major eine gute Alternative zur Fossa piriformis als Eintrittspunkt dar [108,126].

Diese Vorteile spielen vor allem bei der Verwendung spezieller, für den entsprechenden Eintrittspunkt geformter, Marknägel eine Rolle, wie Ricci et al. schon in einer zusätzlichen Studie an 57 Patienten zeigen konnte [106,107].

Weiterhin ist zu beachten, dass der Operateur die Fähigkeit haben muss, den entsprechenden Eintrittspunkt sicher zu detektieren [29].

In weiteren Studien wurde nach einer komplikationsärmeren Position für den Eintrittspunkt im Trochanterbereich gesucht.

So konnte Gardner et al. in einer Arbeit mittels computernavigierter Vermessungen an der Außenseite des Trochanter major einen anatomischen Bereich detektieren, welcher keine oder kaum Sehneninsertionen aufweist. Dieser sogenannte „bald spot“, der von der Bursa des M. gluteus medius bedeckt ist, befindet sich lateral am Trochanter major, 11 mm distal von der Trochanterspitze und 5 mm anterior zur Mittellinie. Dieser Bereich ist ellipsenförmig, hat eine Fläche von ca. 354 mm<sup>2</sup> und einen Durchmesser von ca. 21 mm. Somit ist er, laut Gardner, groß genug und gut geeignet, um einen Marknagel zu implantieren. Hierdurch könnten die Weichteilschäden wie Sehnenverletzungen der Glutealmuskulatur und die damit einhergehenden Trochanterschmerzen und weitere Komplikationen vermieden werden [45].

Es wurden neue Implantate entwickelt, welche über einen lateralen Eintrittspunkt in diesem „sicheren“ Bereich implantiert werden können.

Jedoch musste bei diesen, aufgrund des steileren Insertionswinkels zum Femurmarkkanal, ein höheres Risiko für intraoperative, iatrogene Frakturen am proximalen Femur mitberücksichtigt werden [99].

Schon in der Studie von Gausepohl et al. über die Beziehung zwischen der Anatomie des Markkanals und dem Eintrittspunkt eines antegraden Femurnagels wurde auf die Problematik des Frakturrisikos hingedeutet [46]. Somit erklärt sich, dass sich die neuen Marknägel zusätzlich zu deren Eintrittspunkt in Form und Oberfläche von den bisherigen Implantaten unterscheiden müssen.

Weder in unserer Arbeit noch in einer Studie von Linke et al. an Leichenpräparaten konnten iatrogene Frakturen beobachtet werden. In der Arbeit von Linke wurde achtmal ein CFN (cannulated femoral nail) über die Fossa piriformis, achtmal ein AFN (antegrad femoral nail) über die Spitze des Trochanter major und achtmal ein Prototyp des LFN (Lateraler Femurnagel) lateral von der Trochanterspitze implantiert und die Druckbelastungen und Spannungen an verschiedenen Positionen der Femurkortikalis gemessen. Es konnte gezeigt werden, dass sich bei Verwendung eines entsprechenden Implantats mit dem dazugehörigen Eintrittspunkt ähnliche Druckverhältnisse ohne signifikanten Unterschied und somit ein ähnliches Frakturrisiko ergeben [88].

Daher stellt der Eintrittspunkt, über den auch der Nagel in der hier vorliegenden Arbeit implantiert wurde, eine Weiterentwicklung für die antegrade Frakturversorgung am Femur dar.

Das Design des lateralen Femurnagels (LFN) wurde mithilfe von anatomischen Studien an die Femuranatomie angepasst. Die sanften Biegungen wurden in Anlehnung an den femoralen Markkanal gestaltet und es wurde bewusst auf scharfe Winkel verzichtet, welche ein Implantations- und Explantationshindernis darstellen könnten.

Weiterhin wählte man eine helixförmige Struktur, um den Nagel problemlos über den lateralen Eintrittspunkt an der Außenseite des Trochanter major einbringen zu können.

Diese Helix-Form wurde in einer anatomischen und radiologischen Studie von Fernandez Dell'Oca et al. untersucht. Sie macht es möglich, den LFN mittels einer

schraubenartigen Rotation um  $90^\circ$  von anterior nach lateral während der Nagelinsertion so einzubringen, dass er sich hierdurch den natürlichen Markraumbiegungen anpasst. Mit konventionellen geraden oder bogenförmigen Nägeln wäre dies über den lateralen Eintrittspunkt nicht oder nur mit einem größeren Frakturrisiko möglich. Weiterhin ist durch das schraubenförmige Einbringen ein Aufbohren der proximalen Kortikalis nur knapp über den Nageldurchmesser nötig [42].

Der laterale Insertionspunkt ist auch durch den effektiven mediolateralen Winkel des LFN von  $10^\circ$  gut zu realisieren. Dies bedeutet, dass der Nagel vor allem im proximalen Anteil eine Biegung nach lateral von  $10^\circ$  zur vorgesehenen Verlängerung des Markraumes hat [122].

Somit wurde der LFN ideal für „seinen“ Eintrittspunkt angepasst und die Komplikationen, womit die anderen Insertionspunkte behaftet sind, sollten damit reduziert werden können.

Dieser Eintrittspunkt ist auch bei korpulenten Patienten relativ einfach zu identifizieren und verlangt kein Spalten des M. gluteus medius und dessen Sehne, was laut Moin et al. für die persistierenden postoperativen Schmerzen verantwortlich gemacht wird [8].

Weiterhin ist durch diesen Eintrittspunkt das Blutgefäßkonvolut der A. circumflexa femoris medialis et lateralis weniger gefährdet und somit das Risiko einer avaskulären Femurkopfnekrose verringert. Ebenso ist die Gefahr der Verletzung des Nervus gluteus superior verringert, dessen Schädigung zu einer Insuffizienz bzw. Schwächung des M. gluteus medius, M. gluteus minimus und M. tensor fasciae latae führen würde. Als weiterer Vorteil des LFN-Eintrittspunktes ist zu nennen, dass das Risiko der Hüftgelenkeröffnung und damit einer eventuellen septischen Arthritis minimiert wurde [18,93,95,105].

Somit wird deutlich, dass das Zusammenspiel zwischen Femuranatomie und dem Nageldesign eine entscheidende Bedeutung für die Auswahl des Eintrittspunktes hat und daher ein Hauptkriterium für die erfolgreiche antegrade Marknagelung am Femur darstellt [46,60].

Jedoch ist zu beachten, dass dieses Zusammenspiel vom Operateur erkannt und der Eintrittspunkt exakt bestimmt wird um die Vorteile umsetzen zu können [103]

Neuere Arbeiten wie die von Anastopoulos et al. machen weiterhin darauf aufmerksam, dass unter anderem das Vorhandensein einer Varus- oder Valgushüfte einen großen Einfluss auf die Auswahl des Eintrittspunktes bei der antegraden Femurmarknagelung hat und bei der Operationsplanung berücksichtigt werden muss [6].

## **5.5 Postoperative Längen-, Achs- und Rotationsfehlstellung nach antegrader Femurmarknagelung**

Das Auftreten und die Ausprägung von Rotations-, Längen- und Achsabweichungen variiert in der Literatur erheblich (zwischen 17 und 34%). Vor allem Torsionsabweichungen sind die häufigste Komplikation nach Oberschenkelfrakturen, welche mit einem Marknagel versorgt wurden [39,54,70,90,117].

In unserer Arbeit wurde bei sechs Patienten (40%) eine relevante Deformität festgestellt. Diese hohe Zahl kommt daher zustande, dass sowohl die Rotations- als auch die Längenfehler mit eingeschlossen sind. Betrachtet man alleine die Rotationsfehler mit insgesamt vier Patienten (27%), entspricht dies den Zahlen der Literatur. Aufgrund der gemischten Verteilung der Frakturtypen bei unseren sechs Patienten (2x 32-A3, 1x 32-B2, 1x 32-C3, 1x 32-C2 nach AO und 1x keine AO-Klassifikation) ist der Frakturtyp in unserem Kollektiv nicht als Ursache zu werten. Der Anteil von 20% der Patienten mit postoperativer Beinverkürzung aus unserer Arbeit deckt sich mit den Zahlen von Maier et al. Hier wurde ebenfalls bei 20% der Patienten eine Oberschenkelgängendifferenz von > 15 mm gemessen. Bei 15% seiner Patienten konnte er einen relevanten Rotationsfehler feststellen. Weiterhin konnte Maier bei 20% eine Abweichung des femurotibialen Winkels > 5° messen, wohingegen bei uns keine pathologische, femurotibiale Fehlstellung außerhalb der Grenzbereiche gemessen werden konnte. Die Zahlen von Maier sind sehr gut mit unseren Ergebnissen vergleichbar, da Maier ebenfalls die ultraschallnavigierte Beinachsvermessung als Messmethode verwendete [90].

Einen deutlich größeren Anteil an Beinverkürzungen wurde in der Arbeit von Karapinar et al. beobachtet. Hier hatten 43% der Patienten eine relevante Beinverkürzung. Jedoch wurde im Gegensatz zu unserer und zu der Arbeit von Maier et al. schon eine Längendifferenz von  $> 10$  mm als pathologisch gewertet. In einer Studie von Jaarsma et al. wurden 76 Patienten nachuntersucht, welche mit einem antegraden Femurnagel aufgrund einer Femurschaftfraktur versorgt wurden. Es wurde eine computertomographische Rotationsmessung durchgeführt. Bei 21 Patienten (28%) konnte ein Rotationsfehler  $\geq 15^\circ$  festgestellt werden, was in etwa unserem Ergebnis entspricht. Bei Jaarsma hatten die Patienten mit Außenrotationsfehler ( $n=12$ ; 16%) mehr Einschränkungen im Bezug auf Mobilität, Alltagsaktivitäten und Sport als jene mit Innenrotationsfehler ( $n=9$ ; 12%) [66,67,116].

Da in unserem Kollektiv einzig eine Patientin eine Außenrotationsabweichung zur gesunden Gegenseite von  $18^\circ$  hatte, ist bezüglich der Einschränkungen keine Aussage zu machen.

Karaman et al. gingen in ihrer Arbeit ebenfalls auf die Einschränkungen in den Alltagsaktivitäten ein. Hier hatten 41,7% der Patienten nach antegrader Femurmarknagelung einen computertomographisch nachgewiesenen Rotationsfehler grösser  $10^\circ$ . Dieser machte sich bei diesen Patienten vor allem durch signifikante Einschränkungen beim Treppensteigen bemerkbar [73].

Das schwer zu vermeidende Problem der Rotationsfehlstellung nach intramedullärer Marknagelosteosynthese am Femur hat mehrere Ursachen. So ist außer bei elektiven geplanten Umstellungsosteotomien nie die vor dem Trauma bestehende Beingeometrie bekannt. Intraoperativ ist daher nur durch den Vergleich mit der meist gesunden Gegenseite ein Abschätzen der Beinachse möglich.

Darin ist auch die Schwierigkeit der hier beschriebenen Studien zu sehen. Zur Beschreibung der Achsabweichung wurde in allen Arbeiten die Beingeometrie postoperativ gemessen ohne prä- oder intraoperative Vergleichswerte zu haben. Aufgrund fehlender Vorbefunde ist somit lediglich ein Vergleich mit der

vermeintlich gesunden Gegenseite möglich. Sollte daher schon vor dem Trauma eine Seitendifferenz der Achs- oder Längenverhältnisse bestanden haben, ist das Ergebnis der postoperativen Messungen, trotz exakter Reposition, pathologisch [90].

Laut Yang et al. sollte daher zur Vermeidung einer Malrotation eine prä- bzw. intraoperative, vergleichende klinische Kontrolle der bestehenden femoralen Anteversion des Gegenbeines herangezogen werden [135].

Hierbei ist jedoch zu beachten, dass die klinische Vermessung ein ungenaues Verfahren ist. Dies stellt ein Problem dar, da aktuell kein weiteres, schnell durchzuführendes Verfahren existiert womit man intraoperativ eine Achskontrolle genau durchführen kann.

Die einfachste Methode, die klinische Rotationsbestimmung, bietet zwar in ihrer Verfügbarkeit, den Kosten und der Geschwindigkeit klare Vorteile, ist jedoch sehr ungenau. Im Vergleich mit computertomographischen Rotationsbestimmungen werden Abweichungen von  $\pm 20^\circ$  beschrieben, was außerhalb des tolerierbaren, physiologischen Bereiches von  $\pm 15^\circ$  liegt [67].

Laut Pfeifer et al. kann jedoch die klinische Analyse der Beingeometrie einen wichtigen Beitrag für die Kenntnis der Relativwerte im rechts-links-Seitenvergleich liefern. Diese sind für die Symmetrie des Körpers oft wichtiger, als die Absolutwerte der jeweiligen Längen- und Winkelmaße [101].

Eine neue Arbeit von Gardner et al. zeigt, dass die distale Freihandverriegelung, wie sie auch in unserer Arbeit gewählt wurde, einen nicht zu unterschätzenden Teil an einer postoperativen Malrotation beiträgt. Dabei wurde vor und nach der distalen Freihandverriegelung die Anteversion des Femur gemessen. Im Mittel kam es durch die Freihand-Technik zu einer Derotation von  $5,8^\circ$  ( $4-7^\circ$ ) [44].

Es bedarf neuerer Messmethoden, welche intraoperativ eine Achs-, Längen- und Rotationskontrolle des frakturierten Femur ermöglichen, um die Gefahr einer postoperativen Deformität zu verhindern [75].

Verschiedene Verfahren wie die navigierte computertomographische Vermessung oder die ultraschallnavigierte Bestimmung der Beingeometrie sind in Erprobung und werden vereinzelt in Studien eingesetzt [25,26,51,131]. Jedoch bedarf es weiterer Studien mit größeren Patientenzahlen um diesen Methoden zum Durchbruch zu verhelfen [131].

Bis zu deren Etablierung ist somit nach wie vor die intraoperative klinische Kontrolle der Beingeometrie durch den erfahrenen Operateur der wichtigste Bestandteil zur Verhinderung einer operationsbedingten Achs- und Rotationsdeviation [110].

## 6. Zusammenfassung

Die operative Versorgung von Femurschaftfrakturen und kombinierten Femurschaft- / Femurhalsfrakturen ist heutzutage eine Domäne der antegraden Marknagelung. In über der Hälfte der Fälle werden derartige Frakturen mittels Marknagel versorgt.

Es existiert eine Vielzahl von unterschiedlichen Implantaten, welche sich meist nur geringfügig unterscheiden und es drängen eine Vielzahl neuer, leicht modifizierter Marknägel auf den Markt.

Ziel dieser Arbeit ist es, die Behandlungsergebnisse eines solchen neuen antegraden Marknagels an der Klinik für Unfall-, Hand-, Plastische- und Wiederherstellungschirurgie des Universitätsklinikums Ulm darzustellen. Weiterhin soll der angepasste proximale Eintrittspunkt sowie das häufige Problem der postoperativen Achsdeformitäten nach antegrader Marknagelung diskutiert werden.

Hierfür erfolgte bei den Patienten zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung zusätzlich zur klinischen Kontrolle eine konventionelle Röntgenaufnahme des entsprechenden Femur in zwei Ebenen und eine ultraschallnavigierte Beinachsvermessung beider Beine.

Im Durchschnitt fand bei den 15 eingeschlossenen Patienten (12 Männer, 3 Frauen) das Follow-up 4,4 Monate nach Implantation des Nagels statt. Zu diesem Zeitpunkt waren 14 Frakturen ausreichend konsolidiert bzw. zeigten radiologisch einen stabilisierenden Kallus. In einem Fall bestand eine verzögerte Heilung, sodass im Verlauf, auch aufgrund klinischer Beschwerden, ein Verfahrenswechsel durchgeführt werden musste.

Die ultraschallnavigierte Beinachsvermessung konnte bei 40% der Patienten eine relevante Femurdeformität nachweisen. In 13% der Fälle handelte es sich um eine Verkürzung des operierten Oberschenkels, in ebenfalls 13% bestand eine Innentorsionsabweichung, in 7% eine Außentorsionsabweichung und bei einem Patienten (7%) konnte sowohl eine Beinverkürzung als auch eine Innentorsionsabweichung gemessen werden.

Im Vergleich mit der Literatur sind diese Zahlen nur eingeschränkt repräsentativ.

Zwar deckt sich die Zahl der relativ aufgetretenen Torsionsabweichungen mit denen der Literatur, jedoch ist ein Vergleich unserer Ergebnisse aufgrund der geringen Patientenzahl nur eingeschränkt möglich.

Darüber hinaus ist durch weitere Forschungen die Entwicklung einer validen Methode nötig, welche eine schnelle, kostengünstige und im Optimalfall strahlenfreie Bestimmung der Beingeometrie intraoperativ möglich macht. Hierdurch könnte das nach wie vor bestehende Risiko einer Maltorsion bei der antegraden Marknagelung minimiert werden.

Ähnliches gilt für den lateralen Eintrittspunkt, über welchen der LFN (Lateraler Femurnagel) implantiert wird. Um die positiven Merkmale dieses Insertionspunktes wie das einfache anatomische Auffinden, das Reduzieren von neurovaskulären intraoperativen Komplikationen und das Verringern von persistierenden postoperativen Schmerzen gegen das Risiko einer intraoperativen, iatrogenen proximalen Femurfraktur abwägen zu können, sind weitere Studien an einem größeren Patientenkollektiv nötig.

## 7. Literaturverzeichnis

- (1) Aesculap, Orthopaedics: Targon F/T Operationstechnik, Aesculap Germany (2008)
- (2) Agus H, Kalenderer O, Eryanilmaz G, Omeroglu H: Biological internal fixation of comminuted femur shaft fractures by bridge plating in children. *J Pediatr Orthop* 23: 184-189 (2003)
- (3) Alho A: Concurrent ipsilateral fractures of the hip and shaft of the femur. A systematic review of 722 cases. *Ann Chir Gynaecol* 86: 326-336 (1997)
- (4) Ali E, Ali F: Management of fractures of the midshaft of the femur in adults. *West Indian Med J* 35: 55-57 (1986)
- (5) Anastopoulos G, Asimakopoulos A, Exarchou E, Pantazopoulos T: Closed interlocked nailing in comminuted and segmental femoral shaft fractures. *J Trauma* 35: 772-775 (1993)
- (6) Anastopoulos G, Chissas D, Dourountakis J, Ntagiopoulos PG, Magnisalis E, Asimakopoulos A, Xenakis TA: Computer-assisted three-dimensional correlation between the femoral neck-shaft angle and the optimal entry point for antegrade nailing. *Injury* 41: 300-305 (2010)
- (7) Ansari Moein C, Duis HJ, Oey L, de Kort G, van der Meulen W, Vermeulen K, van der Werken C: Functional outcome after antegrade femoral nailing: a comparison of trochanteric fossa versus tip of greater trochanter entry point. *J Orthop Trauma* 25: 196-201 (2011)
- (8) Ansari Moein CM, Verhofstad MH, Bleys RL, van der Werken C: Soft tissue anatomy around the hip and its implications for choice of entry point in antegrade femoral nailing. *Clin Anat* 21: 568-574 (2008)

- (9) Ansari Moein CM, Verhofstad MH, Bleys RL, van der Werken C: Soft tissue injury related to choice of entry point in antegrade femoral nailing: piriform fossa or greater trochanter tip. *Injury* 36: 1337-1342 (2005)
- (10) Arneson TJ, Melton LJ, 3rd, Lewallen DG, O'Fallon WM: Epidemiology of diaphyseal and distal femoral fractures in Rochester, Minnesota, 1965-1984. *Clin Orthop Relat Res* 188-194 (1988)
- (11) Bain GI, Zacest AC, Paterson DC, Middleton J, Pohl AP: Abduction strength following intramedullary nailing of the femur. *J Orthop Trauma* 11: 93-97 (1997)
- (12) Baron JA, Karagas M, Barrett J, Kniffin W, Malenka D, Mayor M, Keller RB: Basic epidemiology of fractures of the upper and lower limb among Americans over 65 years of age. *Epidemiology* 7: 612-618 (1996)
- (13) Beck A, Ruter A: Therapy concept in femoral neck fractures. 1. *Chirurg* 71: 240-248 (2000)
- (14) Beck A, Ruter A: Therapy concepts in femoral neck fractures. 2. *Chirurg* 71: 347-354 (2000)
- (15) Benirschke SK, Melder I, Henley MB, Routt ML, Smith DG, Chapman JR, Swiontkowski MF: Closed interlocking nailing of femoral shaft fractures: assessment of technical complications and functional outcomes by comparison of a prospective database with retrospective review. *J Orthop Trauma* 7: 118-122 (1993)
- (16) Bhandari M, Guyatt GH, Tong D, Adili A, Shaughnessy SG: Reamed versus nonreamed intramedullary nailing of lower extremity long bone fractures: a systematic overview and meta-analysis. *J Orthop Trauma* 14: 2-9 (2000)

- (17) Bone LB, Johnson KD, Weigelt J, Scheinberg R: Early versus delayed stabilization of femoral fractures. A prospective randomized study. *J Bone Joint Surg Am* 71: 336-340 (1989)
- (18) Bostman O, Varjonen L, Vainionpaa S, Majola A, Rokkanen P: Incidence of local complications after intramedullary nailing and after plate fixation of femoral shaft fractures. *J Trauma* 29: 639-645 (1989)
- (19) Braten M, Terjesen T, Rossvoll I: Femoral anteversion in normal adults. Ultrasound measurements in 50 men and 50 women. *Acta Orthop Scand* 63: 29-32 (1992)
- (20) Brouwer KJ, Molenaar JC, van Linge B: Rotational deformities after femoral shaft fractures in childhood. A retrospective study 27-32 years after the accident. *Acta Orthop Scand* 52: 81-89 (1981)
- (21) Brumback RJ, Toal TR, Jr., 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* 81: 1538-1544 (1999)
- (22) Charopoulos I, Giannoudis PV: Ideal entry point in antegrade femoral nailing: controversies and innovations. *Injury* 40: 791-794 (2009)
- (23) Chaturvedi S, Sahu SC: Ipsilateral concomitant fractures of the femoral neck and shaft. *Injury* 24: 243-246 (1993)
- (24) Christie J, Court-Brown C, Kinninmonth AW, Howie CR: Intramedullary locking nails in the management of femoral shaft fractures. *J Bone Joint Surg Br* 70: 206-210 (1988)
- (25) Citak M, Gardner MJ, Krettek C, Hufner T, Kendoff D: Navigated femoral anteversion measurements: a new intraoperative technique. *Injury* 39: 467-471 (2008)

- (26) Citak M, Kendoff D, Gardner MJ, Oszwald M, Krettek C, Hufner T: Femoral nail osteosynthesis. Mechanical factors influencing the femoral antetorsion. *Unfallchirurg* 111: 240-246 (2008)
- (27) Coetzee JC, van der Merwe EJ: Exposure of surgeons-in-training to radiation during intramedullary fixation of femoral shaft fractures. *S Afr Med J* 81: 312-314 (1992)
- (28) Crock HV: An atlas of the arterial supply of the head and neck of the femur in man. *Clin Orthop Relat Res* 17-27 (1980)
- (29) Crookshank MC, Edwards MR, Sellan M, Whyne CM, Schemitsch EH: Can Fluoroscopy-based Computer Navigation Improve Entry Point Selection for Intramedullary Nailing of Femur Fractures?: *Clin Orthop Relat Res* (2013)
- (30) Danckwardt-Lilliestrom G, Sjogren S: Postoperative restoration of muscle strength after intramedullary nailing of fractures of the femoral shaft. *Acta Orthop Scand* 47: 101-107 (1976)
- (31) Debrauwer S, Hendrix K, Verdonk R: Anterograde femoral nailing with a reamed interlocking titanium alloy nail. *Acta Orthop Belg* 66: 484-489 (2000)
- (32) Decker S, Suero EM, Hawi N, Muller CW, Krettek C, Citak M: The physiological range of femoral antetorsion. *Skeletal Radiol* (2013)
- (33) DePuy, Orthopaedics: Surgical Technique - Femoral Universal Nailing System, De Puy USA (2006)
- (34) DePuy, Orthopaedics: Surgical Technique – Femoral Troch Entry Nailing System, De Puy USA (2006)
- (35) Dodenhoff RM, Dainton JN, Hutchins PM: Proximal thigh pain after femoral nailing. Causes and treatment. *J Bone Joint Surg Br* 79: 738-741 (1997)

- (36) Dora C, Leunig M, Beck M, Rothenfluh D, Ganz R: Entry point soft tissue damage in antegrade femoral nailing: a cadaver study. *J Orthop Trauma* 15: 488-493 (2001)
- (37) Drenckhahn D, Eckstein F: Untere Extremität. In: Benninghoff A, Drenckhahn D *Anatomie*, Bd 1, 16. Aufl, Urban & Fischer, München, S. 351-352 (2002)
- (38) Dugdale TW, Degnan GG, Turen CH: The use of computed tomographic scan to assess femoral malrotation after intramedullary nailing. A case report. *Clin Orthop Relat Res* 258-263 (1992)
- (39) Ehrenstein T, Rikli DA, Peine R, Gutberlet M, Mittlmeier T, Banzer D, Maurer J, Felix R: A new ultrasound-based method for the assessment of torsional differences following closed intramedullary nailing of femoral fractures. *Skeletal Radiol* 28: 336-341 (1999)
- (40) el Moumni M, Voogd EH, ten Duis HJ, Wendt KW: Long-term functional outcome following intramedullary nailing of femoral shaft fractures. *Injury* 43: 1154-1158 (2012)
- (41) Fadero PE, Alabi S, Adebule GT, Odunubi OO, Yinusa W, Eyesan SU, Obianyor OD: Locked intramedullary nailing for the treatment of femoral shaft fractures: experience and result in 19 cases. *Niger J Med* 17: 168-172 (2008)
- (42) Fernandez Dell'Oca AA: The principle of helical implants. Unusual ideas worth considering. *Injury* 33: 1-27 (2002)
- (43) Fowler J, Macintyre N, Rehman S, Gaughan JP, Leslie S: The importance of surgical sequence in the treatment of lower extremity injuries with concomitant vascular injury: A meta-analysis. *Injury* 40: 72-76 (2009)

- (44) Gardner MJ, Citak M, Kendoff D, Krettek C, Hufner T: Femoral fracture malrotation caused by freehand versus navigated distal interlocking. *Injury* 39: 176-180 (2008)
- (45) Gardner MJ, Robertson WJ, Boraiah S, Barker JU, Lorich DG: Anatomy of the greater trochanteric 'bald spot': a potential portal for abductor sparing femoral nailing?: *Clin Orthop Relat Res* 466: 2196-2200 (2008)
- (46) Gausepohl T, Pennig D, Koebke J, Harnoss S: Antegrade femoral nailing: an anatomical determination of the correct entry point. *Injury* 33: 701-705 (2002)
- (47) Gautier E, Ganz K, Krugel N, Gill T, Ganz R: Anatomy of the medial femoral circumflex artery and its surgical implications. *J Bone Joint Surg Br* 82: 679-683 (2000)
- (48) Georgiadis GM, Olexa TA, Ebraheim NA: Entry sites for antegrade femoral nailing. *Clin Orthop Relat Res* 281-287 (1996)
- (49) Giannoudis PV, Furlong AJ, Macdonald DA, Smith RM: Reamed against unreamed nailing of the femoral diaphysis: a retrospective study of healing time. *Injury* 28: 15-18 (1997)
- (50) Giannoudis PV, Harwood PJ, Court-Brown C, Pape HC: Severe and multiple trauma in older patients; incidence and mortality. *Injury* 40: 362-367 (2009)
- (51) Gosling T, Oszwald M, Kendoff D, Citak M, Krettek C, Hufner T: Computer-assisted antetorsion control prevents malrotation in femoral nailing: an experimental study and preliminary clinical case series. *Arch Orthop Trauma Surg* 129: 1521-1526 (2009)
- (52) Grechenig W, Pichler W, Clement H, Tesch NP, Grechenig S: Anatomy of the greater femoral trochanter: clinical importance for intramedullary

- femoral nailing. Anatomic study of 100 cadaver specimens. *Acta Orthop* 77: 899-901 (2006)
- (53) Gruss M, Traut R: Management of unstable pertrochanteric and per- to subtrochanteric femoral fractures with the dynamic hip screw. *Aktuelle Traumatol* 22: 144-148 (1992)
- (54) Grutzner P, Hochstein P, Simon R, Wentzensen A: Determination of torsion angle after shaft fractures of the lower extremity--clinical relevance and measurement techniques. *Chirurg* 70: 276-284 (1999)
- (55) Gustilo RB, Anderson JT: Prevention of infection in the treatment of one thousand and twenty-five open fractures of long bones: retrospective and prospective analyses. *J Bone Joint Surg Am* 58: 453-458 (1976)
- (56) Harper MC, Carson WL: Curvature of the femur and the proximal entry point for an intramedullary rod. *Clin Orthop Relat Res* 155-161 (1987)
- (57) Hedlund R, Lindgren U: Epidemiology of diaphyseal femoral fracture. *Acta Orthop Scand* 57: 423-427 (1986)
- (58) Heine M: Eine neue Technik der distalen Verriegelung am Oberschenkelmarknagel. Med Dissertation, Universität Hamburg (2007)
- (59) Hernanz Gonzalez Y, Diaz Martin A, Jara Sanchez F, Resines Erasun C: Early results with the new internal fixator systems LCP and LISS: a prospective study. *Acta Orthop Belg* 73: 60-69 (2007)
- (60) Hierholzer C, Woltmann A, Bühren V: Therapy of femur shaft fractures. *Z Orthop Unfall* 147: 91-115 (2009)
- (61) Hipp E: Blood vessels of the hip joint. *Verh Dtsch Ges Rheumatol* 4: 341-344 (1976)

- (62) Höntzsch D: Femur: shaft (incl. subtrochanteric). In: Rüedi TP, Murphy WM AO Principles of Fracture Management, Thieme, Stuttgart New-York, S. 461-471 (2000)
- (63) Howe WW, Jr., Lacey T, Schwartz RP: A study of the gross anatomy of the arteries supplying the proximal portion of the femur and the acetabulum. J Bone Joint Surg Am 32: 856-866 (1950)
- (64) Huber-Wagner S: Spannungsoptische Untersuchung verschiedener Stabilisierungsverfahren (Dynamische Hüftschraube,  $\gamma$ -Nagel, Proximales Femur Nagel) bei pertrochantären Femurfrakturen. Med. Dissertation, Ludwig-Maximilians-Universität München (2002)
- (65) Im GI, Shin SR: Treatment of femoral shaft fractures with a titanium intramedullary nail. Clin Orthop Relat Res 223-229 (2002)
- (66) Jaarsma RL, Ongkiehong BF, Gruneberg C, Verdonschot N, Duysens J, van Kampen A: Compensation for rotational malalignment after intramedullary nailing for femoral shaft fractures. An analysis by plantar pressure measurements during gait. Injury 35: 1270-1278 (2004)
- (67) Jaarsma RL, Pakvis DF, Verdonschot N, Biert J, van Kampen A: Rotational malalignment after intramedullary nailing of femoral fractures. J Orthop Trauma 18: 403-409 (2004)
- (68) Jend H: TraumaRad – Handheld! <http://www.mevis-research.de/~hhj/TraumaRad/TraumaRadHiRes.htm> (25.04.2006)
- (69) Jenkins NH, Mintowt-Czyz WJ, Graham GP, Jones DG: New problems in old bones: closed nailing of the shaft of the femur. Injury 18: 274-277 (1987)
- (70) Jiang X, Li X, Wang M, Gu X, Zhang B, Sun L, Zhang L, Liu Y, Liu D, Rong G: Measurement of fracture malrotation after interlocking intramedullary nailing of femoral shaft fracture. Zhonghua Wai Ke Za Zhi 40: 55-58 (2002)

- (71) Johnson KD, Tencer AF, Sherman MC: Biomechanical factors affecting fracture stability and femoral bursting in closed intramedullary nailing of femoral shaft fractures, with illustrative case presentations. *J Orthop Trauma* 1: 1-11 (1987)
- (72) Karadimas EJ, Papadimitriou G, Theodoratos G, Papanikolaou A, Maris J: The effectiveness of the antegrade reamed technique: the experience and complications from 415 traumatic femoral shaft fractures. *Strategies Trauma Limb Reconstr* 4 (3): 113-121 (2009)
- (73) Karaman O, Ayhan E, Kesmezacar H, Seker A, Unlu MC, Aydingoz O: Rotational malalignment after closed intramedullary nailing of femoral shaft fractures and its influence on daily life. *Eur J Orthop Surg Traumatol* (2013)
- (74) Kempf I, Grosse A, Beck G: Closed locked intramedullary nailing. Its application to comminuted fractures of the femur. *J Bone Joint Surg Am* 67: 709-720 (1985)
- (75) Kent ME, Arora A, Owen PJ, Khanduja V: Assessment and correction of femoral malrotation following intramedullary nailing of the femur. *Acta Orthop Belg* 76: 580-584 (2010)
- (76) Keppler P, Strecker W, Kinzl L: Analysis of leg geometry--standard techniques and normal values. *Chirurg* 69: 1141-1152 (1998)
- (77) Keppler P, Strecker W, Kinzl L, Simmnacher M, Claes L: Sonographic imaging of leg geometry. *Orthopade* 28: 1015-1022 (1999)
- (78) Kregor PJ, Song KM, Routt ML, Jr., Sangeorzan BJ, Liddell RM, Hansen ST, Jr.: Plate fixation of femoral shaft fractures in multiply injured children. *J Bone Joint Surg Am* 75: 1774-1780 (1993)
- (79) Krettek C: Principles of intramedullary fracture stabilization. 1. *Unfallchirurg* 104: 639-651 (2001)

- (80) Krettek C, Schandelmaier P, Tscherne H: Distal femoral fractures. Transarticular reconstruction, percutaneous plate osteosynthesis and retrograde nailing. *Unfallchirurg* 99: 2-10 (1996)
- (81) Krettek C, Schulte-Eistrup S, Schandelmaier P, Rudolf J, Tscherne H: Osteosynthesis of femur shaft fractures with the unreamed AO-femur nail. Surgical technique and initial clinical results standard lock fixation. *Unfallchirurg* 97: 549-567 (1994)
- (82) Kulkarni SG, Varshneya A, Kulkarni GS, Kulkarni MG, Kulkarni VS, Kulkarni RM: Antegrade interlocking nailing for distal femoral fractures. *J Orthop Surg (Hong Kong)* 20: 48-54 (2012)
- (83) Kuner EH, Schlickewei W, Grossmann U: Plate osteosynthesis in femoral shaft fractures. *Z Unfallchir Versicherungsmed Berufskr* 82: 243-251 (1989)
- (84) Kuntscher G: Progress in the field of intramedullary nailing. *Langenbecks Arch Klin Chir Ver Dtsch Z Chir* 264: 547-551 (1950)
- (85) Kwasny O, Fuchs M: The dynamic hip screw for the management of per- and subtrochanteric femoral fractures. *Unfallchirurg* 94: 430-435 (1991)
- (86) Lentz W: The history of intramedullary nailing. A brief look backwards. *Chirurg* 61: 474-480 (1990)
- (87) Lindholm RV: Kuntscher bone nailing -- forecast and actuality. *Ann Chir Gynaecol* 69: 85-91 (1980)
- (88) Linke B, Moein CA, Bosl O, Verhofstad MH, van der Werken C, Schwieger K, Ito K: Lateral insertion points in antegrade femoral nailing and their influence on femoral bone strains. *J Orthop Trauma* 22: 716-722 (2008)
- (89) Logters T, Windolf J, Flohe S: Fractures of the shaft of the femur. *Unfallchirurg* 112: 635-650 (2009)

- (90) Maier DG, Reisig R, Keppler P, Kinzl L, Gebhard F: Post-traumatic torsional differences and functional tests following antegrade or retrograde intramedullary nailing of the distal femoral diaphysis. *Unfallchirurg* 108: 109-117 (2005)
- (91) Meggitt BF, Juett DA, Smith JD: Cast-bracing for fractures of the femoral shaft. A biomechanical and clinical study. *J Bone Joint Surg Br* 63-B: 12-23 (1981)
- (92) Meyer C: Die extraossären Knochenarterien der langen Röhrenknochen und des Talus. Med Dissertation, Universität Köln (1994)
- (93) Miller SD, Burkart B, Damson E, Shrive N, Bray RC: The effect of the entry hole for an intramedullary nail on the strength of the proximal femur. *J Bone Joint Surg Br* 75: 202-206 (1993)
- (94) Moein CM, Verhofstad MH, Bleys RL, van der Werken C: Soft tissue anatomy around the hip and its implications for choice of entry point in antegrade femoral nailing. *Clin Anat* 21: 568-574 (2008)
- (95) Moein CM, Verhofstad MH, Bleys RL, van der Werken C: Soft tissue injury related to choice of entry point in antegrade femoral nailing: piriform fossa or greater trochanter tip. *Injury* 36: 1337-1342 (2005)
- (96) Muller EJ, Siebenrock K, Ekkernkamp A, Ganz R, Muhr G: Ipsilateral fractures of the pelvis and the femur--floating hip? A retrospective analysis of 42 cases. *Arch Orthop Trauma Surg* 119: 179-182 (1999)
- (97) Muller M, Seitz A, Besch L, Hilgert RE, Seekamp A: Proximal femur fractures: results and complications after osteosynthesis with PFN and TGN. *Unfallchirurg* 111: 71-77 (2008)

- (98) Muller ME, Nazarian S: Classification of fractures of the femur and its use in the A.O. index (author's transl). *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 67: 297-309 (1981)
- (99) Ostrum RF, Marcantonio A, Marburger R: A critical analysis of the eccentric starting point for trochanteric intramedullary femoral nailing. *J Orthop Trauma* 19: 681-686 (2005)
- (100) Papadakis SA, Shepherd L, Babourda EC, Papadakis S: Piriform and trochanteric fossae. A drawing mismatch or a terminology error? A review. *Surg Radiol Anat* 27: 223-226 (2005)
- (101) Pfeifer T, Mahlo R, Franzreb M, Heiss U, Lutz P, Wohrle A, Wikstrom M: Computed tomography in the determination of leg geometry. *In Vivo* 9: 257-261 (1995)
- (102) Pfister U: Frakturen des Oberschenkels. In: Durst J. *Traumatologie Praxis: Standards in Diagnostik und Therapie für alle Fachgebiete*, Schattauer, Stuttgart, New York, S. 503 – 526 (1997)
- (103) Prasarn ML, Cattaneo MD, Achor T, Ahn J, Klinger CE, Helfet DL, Lorich DG: The effect of entry point on malalignment and iatrogenic fracture with the Synthes lateral entry femoral nail. *J Orthop Trauma* 24: 224-229 (2010)
- (104) Randelli P, Landi S, Fanton F, Hoover GK, Morandi M: Treatment of ipsilateral femoral neck and shaft fractures with the Russell-Taylor reconstructive nail. *Orthopedics* 22: 673-676 (1999)
- (105) Reynolds RA, Legakis JE, Thomas R, Slongo TF, Hunter JB, Clavert JM: Intramedullary nails for pediatric diaphyseal femur fractures in older, heavier children: early results. *J Child Orthop* 6: 181-188 (2012)

- (106) Ricci WM, Devinney S, Haidukewych G, Herscovici D, Sanders R: Trochanteric nail insertion for the treatment of femoral shaft fractures. *J Orthop Trauma* 19: 511-517 (2005)
- (107) Ricci WM, Gallagher B, Haidukewych GJ: Intramedullary nailing of femoral shaft fractures: current concepts. *J Am Acad Orthop Surg* 17: 296-305 (2009)
- (108) Ricci WM, Schwappach J, Tucker M, Coupe K, Brandt A, Sanders R, Leighton R: Trochanteric versus piriformis entry portal for the treatment of femoral shaft fractures. *J Orthop Trauma* 20: 663-667 (2006)
- (109) Rush LV: Atlas of Rush pin technics. *Miss Doct* 31: 1-13 (1953)
- (110) Salem KH, Maier D, Keppler P, Kinzl L, Gebhard F: Limb malalignment and functional outcome after antegrade versus retrograde intramedullary nailing in distal femoral fractures. *J Trauma* 61: 375-381 (2006)
- (111) Schiebler T, Schmidt W: Extremitäten. In: Schiebler T, Schmidt W *Anatomie: Zytologie, Histologie, Entwicklungsgeschichte, makroskopische und mikroskopische Anatomie des Menschen*, 5. Auflage, Springer Berlin, Heidelberg, New York, S. 332-360 (1991)
- (112) Schuh A, Zeiler G: Rupture of the gluteus medius tendon. *Zentralbl Chir* 128: 139-132 (2003)
- (113) Schumpelick W, Jantzen PM: Results of therapy of leg fractures with steel wire loops. *Bruns Beitr Klin Chir* 187: 129-148 (1953)
- (114) Sheehan D: Some observations on the course and distribution of the circumflex arteries in man. *Anat Anz* 75: 129-145 (1932)
- (115) Smith&Nephew: TriGen FAN Nail Operative Technique, Smith & Nephew USA (2010)

- (116) Strecker W, Hoellen I, Keppler P, Suger G, Kinzl L: Correcting torsion after intramedullary nailing osteosynthesis of the lower extremity. *Unfallchirurg* 100: 29-38 (1997)
- (117) Strecker W, Keppler P, Gebhard F, Kinzl L: Length and torsion of the lower limb. *J Bone Joint Surg Br* 79: 1019-1023 (1997)
- (118) Stryker: Femoral Nailing System Operative Technique, Stryker Germany (2010)
- (119) Stryker: Recon Nailing System Operative Technique, Stryker Germany (2009)
- (120) Suhm N, Jacob AL, Nolte LP, Regazzoni P, Messmer P: Surgical navigation based on fluoroscopy--clinical application for computer-assisted distal locking of intramedullary implants. *Comput Aided Surg* 5: 391-400 (2000)
- (121) Synthes: Expert Retrograder /Antegrader Femurnagel Operationstechnik, Synthes Schweiz (2009)
- (122) Synthes: LFN Expert Lateraler Femurnagel Operationstechnik, Synthes Schweiz (2007)
- (123) Synthes: UFN Solider Femurnagel CFN Durchbohrter Femurnagel Operationstechnik, Synthes Schweiz (2006)
- (124) Tornetta P, 3rd, Kain MS, Creevy WR: Diagnosis of femoral neck fractures in patients with a femoral shaft fracture. Improvement with a standard protocol. *J Bone Joint Surg Am* 89: 39-43 (2007)
- (125) Tsai MC, Wu CC, Hsiao CW, Huang JW, Kao HK, Hsu YT: Reconstruction intramedullary nailing for ipsilateral femoral neck and shaft fractures: main factors determining prognosis. *Chang Gung Med J* 32: 563-573 (2009)

- (126) Tucker MC, Schwappach JR, Leighton RK, Coupe K, Ricci WM: Results of femoral intramedullary nailing in patients who are obese versus those who are not obese: a prospective multicenter comparison study. *J Orthop Trauma* 21: 523-529 (2007)
- (127) Wallny T, Sagebiel C, Westerman K, Wagner UA, Reimer M: Comparative results of bracing and interlocking nailing in the treatment of humeral shaft fractures. *Int Orthop* 21: 374-379 (1997)
- (128) Weigel B, Nerlich M: Hüfte und Oberschenkel. In: Weigel B, Nerlich M *Praxisbuch Unfallchirurgie*, Bd 1, Springer, Berlin Heidelberg New York, S. 554-574 (2005)
- (129) Weiss RJ, Montgomery SM, Al Dabbagh Z, Jansson KA: National data of 6409 Swedish inpatients with femoral shaft fractures: stable incidence between 1998 and 2004. *Injury* 40: 304-308 (2009)
- (130) Weninger P, Trimmel H, Nau T, Aldrian S, König F, Vecsei V: Polytrauma and air rescue. A retrospective analysis of trauma care in eastern Austria exemplified by an urban trauma center. *Unfallchirurg* 108: 559-566 (2005)
- (131) Wilharm A, Gruhn M, Müller M, Gras F, Marintschev I, Hofmann GO, Muckley T: Navigation-assisted nailing of femoral shaft fractures--experimental and clinical results. *Z Orthop Unfall* 146: 754-759 (2008)
- (132) Wirth CJ: Operative Orthopädie. In: Wirth CJ *Praxis der Orthopädie*, Bd 2, 3. Aufl, Thieme Stuttgart, S. 668 (2001)
- (133) Wolinsky PR, McCarty E, Shyr Y, Johnson K: Reamed intramedullary nailing of the femur: 551 cases. *J Trauma* 46: 392-399 (1999)
- (134) Wülker N. Femurschaftfrakturen. In: Wülker N *Taschenbuch Orthopädie und Unfallchirurgie*, 1. Aufl, Thieme Stuttgart New York, S. 57 (2005)

- (135) Yang KH, Han DY, Jahng JS, Shin DE, Park JH: Prevention of malrotation deformity in femoral shaft fracture. *J Orthop Trauma* 12: 558-562 (1998)
- (136) Yang KH, Han DY, Park HW, Kang HJ, Park JH: Fracture of the ipsilateral neck of the femur in shaft nailing. The role of CT in diagnosis. *J Bone Joint Surg Br* 80: 673-678 (1998)
- (137) Zwipp H, Rammelt S: Vom Streckverband zur Osteosynthese. In: Probst J, Siebert H, Zwipp H 60-Jahre Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie nach Wiedergründung, 1. Auflage, Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie e.V. Berlin, S. 77-100 (2010)

## **8. Anhang**

1. Fragebogen: Accident and Primary treatment (4 Seiten)





D:

U

2. Fragebogen: Follow-up 10-16 weeks (3 Seiten)

5

1





### 3. Fragebogen: Adverse Event (3 Seiten)





#### 4. Messblatt: Untere Extremität (1 Seite)

## 9. Danksagung

An erster Stelle möchte ich ganz herzlich Herrn Univ. Prof. Dr. F. Gebhard für die Bereitstellung des Promotionsthemas danken.

Ein besonderer Dank gilt meinem Betreuer Herrn Dr. med. M. Kraus, für die sehr freundliche und geduldige Betreuung während der Durchführung und Anfertigung der Dissertation.

Ganz besonders möchte ich mich bei meinen Eltern bedanken, die mir das Studium ermöglichten und mir stets uneingeschränkt zur Seite standen und mir verlässlichen Rückhalt gaben.

## 10. Lebenslauf

Lebenslauf aus Gründen des Datenschutzes entfernt.

Lebenslauf aus Gründen des Datenschutzes entfernt.