

Aus der Unfallchirurgischen Klinik des Krankenhauses Nordwest
der Stiftung Hospital zum heiligen Geist
Akademisches Lehrkrankenhaus der
Johann Wolfgang Goethe Universität in Frankfurt am Main
(Professor Dr. med. Ch. Rangger, vormals Prof. Dr. med. H. Schöttle)

Eine neue Technik der distalen Verriegelung am Oberschenkelmarknagel

Inaugural – Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades der
Doktorwürde der Medizin
am Fachbereich der Universität Hamburg

vorgelegt von
Markus Claudius Heine
aus Frankfurt am Main

Hamburg im Jahr 2007

Angenommen von Medizinischen Fakultät

der Universität Hamburg am:

31. Oktober 2007

Veröffentlicht mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät

der Universität Hamburg.

Dekan :

Prof. Dr. Dr. U. Koch-Gromus

Prüfungsausschuss

Der Vorsitzende:

Prof. Dr. W. Rüther

Gutachter:

Prof. Dr. H. Schöttle

Gutachter:

Prof. Dr. N. Meenen

Gewidmet meiner Mutter
Mathilde Heine, geborene Morath

Inhaltsverzeichnis	Seite
<u>1. Arbeitshypothese und Fragestellung</u>	7
<u>2. Einleitung</u>	8
2.1 Anatomie des Femurs	8
2.2 Klassifikationen	11
2.2.1 AO Klassifikation	11
2.2.2 Klassifikation von Weichteilverletzungen (AO) nach Müller et al.	16
2.2.3 Klassifikation offener Frakturen nach Gustilo und Anderson	18
2.2.4 Klassifikation von Weichteilverletzungen nach Tscherne	19
2.3 Ätiologie, Pathogenese und Inzidenz von Femurfrakturen	20
2.4 Diagnostik	21
2.5 Therapie	21
2.5.1 Konservative Frakturversorgung	21
2.5.2 Operative Frakturversorgung	23
2.5.2.1 Fixateur externe	24
2.5.2.2 Plattenosteosynthesen am Femurschaft	26
2.5.2.3 Historie	29
2.5.2.4 Intramedulläre Nagelsysteme zur Versorgung von Femurfrakturen	31
2.6 Verriegelungstechniken	53
2.6.1 Die Verriegelung in Freihandtechnik	53
2.6.2 Das Laserzielgerät	55
2.6.3 Die Navigation	56
2.6.4 Die intramedulläre Querbohrung	56
2.6.5 Das röntgenfreie AO-Zielgerät (DAD)	57
2.7 Problematik der Verriegelungstechnik	58

Inhaltsverzeichnis	Seite
<u>3. Material und Methode</u>	59
3.1 Studiendesign	59
3.2 Randomisierung	59
3.3 Operationstechnik	60
3.3.1 Das Operationsverfahren des ACE AIM Femur Nagelsystem	60
3.3.2 Modifikationen des Nagelsystems	63
3.3.2.1 Das retrograde Zielgerät nach Prof. Schöttle	63
3.3.2.2 Die Nagelmodifikation	65
3.3.2.3 Der Führungsdraht	66
3.3.2.4 Die Reduzierhülsen	68
3.3.2.5 Der kanülierte 6mm Bohrer	69
3.3.3 Versuchsablauf	70
3.4 Dokumentation	73
<u>4. Ergebnisse</u>	74
4.1 Distale Verriegelungszeit	75
4.2 Röntgendokumentation	76
4.3 Fotodokumentation	78
4.4 Technische Probleme	80
4.5 Schlussfolgerung	81
<u>5. Diskussion</u>	82
5.1 Durchführbarkeit	83
5.2 Operationszeiten und Durchleuchtungszeiten	84
5.3 Zugangsmorbidität	86

Inhaltsverzeichnis	Seite
<u>6. Zusammenfassung</u>	87
<u>7. Literaturverzeichnis</u>	89
<u>8. Danksagung</u>	105
<u>9. Lebenslauf</u>	106
<u>10. Ehrenwörtliche Erklärung</u>	107

1 Arbeitshypothese und Fragestellung

Der Grundgedanke dieser Arbeit leitet sich aus der bestehenden und im Folgenden erläuterten Problematik ab, die im Rahmen von Femur-Marknagelosteosynthesen und insbesondere deren distaler Verriegelung auftreten können.

Es sollten hierbei folgende Fragen geklärt werden:

1. Ist es möglich eine distale Verriegelung am Femurmarknagel ohne Anwendung von Röntgenstrahlen durchzuführen?
2. Kann diese Verriegelung sicher und präzise mittels eines neu entwickelten Zielgerätes durchgeführt werden?
3. Ist die erforderliche Zeit zur Durchführung nach dieser neuen Methode akzeptabel und vergleichbar mit anderen Verfahren?
4. Entstehen durch dieses Verfahren vermeidbare Risiken und Komplikationsmöglichkeiten?

2.1 Die Anatomie des Femurs

Das Femur ist der längste und größte Knochen am menschlichen Skelett. An seinen beiden Enden verbindet er gelenkig den Rumpf mit dem Unterschenkel. Er ist wesentlicher, tragender Bestandteil des aufrechten Ganges beim Menschen. An seinem 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. $126^{\circ} \pm 6$ [101] mit dem Schaft (Corpus femoris) verbunden. Beim Neugeborenen beträgt dieser Schenkelhals-Schaft-Winkel (CCD), etwa $150^{\circ} \pm$. Zwischen dem Hüftkopf und dem Schenkelhals befindet sich beim Heranwachsenden die proximale Wachstumsfuge (Epiphyse), die für das proximale Längenwachstum verantwortlich ist. Der Schenkelhals gehört somit entwicklungsgeschichtlich zum Schaft (Diaphyse) des Femurs. Dies ist insofern von Bedeutung da in der modernen Unfallchirurgie Schenkelhalsfrakturen isoliert von Schaftfrakturen betrachtet und behandelt werden.

Die Grenze zwischen Femurschaft und Oberschenkelhals bilden der große und kleine Rollhügel (Trochanter major, Trochanter minor), die ventralseitig mit einer kleineren Knochenleiste, die Linia intertrochanterica und dorsalseitig mit einer größeren Knochenleiste, der Crista intertrochanterica verbunden sind. Sie dienen als Muskelansatz für die komplexen Bewegungsmuster des Hüftgelenkes. In Bezug zur Raumachse liegt der Trochanter major streng lateral und zieht mit seiner Spitze nach mediodorsal. Zwischen der Spitze des Trochanter majors und dem Oberschenkelhals liegt muldenförmig die Fossa trochanterica. Sowohl die Fossa trochanterica, als auch die Spitze des Trochanter majors haben eine entscheidende Bedeutung für die intramedulläre Frakturversorgung am Oberschenkelknochen [7,9,13,14,15,79,85,86,87,91,92,93,94].

Weiter caudal schließt sich der Schaft (*Corpus ossis femoris*) an. Das *Corpus ossis femoris* ist keine gerade Röhre, sondern ein querovaler, gebogener Röhrenknochen, der an seiner dorsalen Seite eine raue Knochenleiste, die *Linea aspera* aufweist. Die *Linea aspera* formt sich aus dem *Labium mediale* und dem *Labium laterale*, die in der Mitte des Knochens dicht beieinander liegen. Proximal und distal divergieren *Labium mediale* und *laterale*, so dass sich aus der schmalen Knochenleiste eine raue Fläche bildet, die dem Ansatz von Muskulatur dient. Proximal nennt sich diese eingeschlossene Fläche *Tuberositas glutealis*, distal *Facies poplitea*. Am distalen Ende des Schaftes schließen sich zwei Gelenkrollen (*Condylus lateralis* und *medialis*) an, die die Verbindung des Knies zum Unterschenkel herstellen. Die Femurkondylen sind nur auf ihren artikulierenden Flächen mit Gelenkknorpel überzogen. Dorsalseitig zwischen dem größeren lateralen *Condylus* und dem kleineren medialen *Condylus* befindet sich eine knorpelfreie Grube, die *Fossa intercondylaris*. Ventral des distalen Femurs liegt korrespondierend die knorpelüberzogene *Facies patellaris*. Die seitlich der Kondylen gelegenen *Epicondylen* sind in diesem Zusammenhang nur der Vollständigkeit halber erwähnt.

Unter anatomischen und endwicklungsgeschichtlichen Kriterien beinhaltet somit der Begriff *Diaphyse*, der auch synonym mit Schaft verwendet wird das *Collum femoris*, die *Trochanteren* und das *Corpus femoris* [80].

In der täglichen klinischen Praxis hat sich diese Zusammenfassung des Schaft-Begriffes jedoch nicht bewehrt. Vielmehr werden hier die einzelnen Abschnitte der *Diaphyse* getrennt voneinander betrachtet. In der Traumatologie spricht man von Schaftfrakturen, wenn sie sich subtrochanter bis oberhalb der *Condylen* befinden [71]. Im folgenden Text wird daher der Begriff des Femurschaftes in Anlehnung der gängigen klinischen Praxis benutzt.

Betrachtet man die Achsen des Femurs, führt dies zum Kernpunkt dieser Arbeit. Das *Corpus femoris* ist individuell nach ventral konvex gebogen und in sich torquiert [90].

2 Einleitung

An einem Normkollektiv von mehr als 355 Patienten konnte 1997 die Variabilität in Bezug auf Torsion und Länge der unteren Extremität gezeigt werden. So lag die durchschnittliche Innentorsion von 505 Femura bei $24,1^\circ$, wobei eine Streuung von $\pm 17,4^\circ$ gemessen wurde. Im Gegensatz zur breiten Streuung innerhalb der Gruppe, zeigt die Abweichung bezüglich der Torsion bei ein und demselben Individuum keine signifikante Abweichung ($p=0,37$). Die durchschnittliche Länge von 511 Femura lag bei $46,3 \pm 6,4\text{cm}$ ($\pm 2\text{SD}$) [84].

Ein Maß für die Beschreibung der Antekurvation des Femurs ist der anatomische posteriore distale Femurwinkel (aPDFW). Er extrapoliert die dynamische Krümmung in der Sagittalebene auf ein Winkelmaß und reduziert die Komplexität der Krümmung auf eine vergleichbare und verständliche Maßeinheit. Der aPDFW beträgt im Durchschnitt 83° (79° - 87°) [35].

Diese individuellen Krümmungen und Torsionen des Femurschaftes bilden die Grundlage dieser Arbeit.

2.2 Klassifikationen

Die Notwendigkeit für die Entwicklung und Existenz von Klassifikationen bei Frakturen und Weichteilverletzungen, liegt in dem Ziel ein Instrument zu besitzen, das dem Betrachter die Möglichkeit gibt den Schweregrad der Verletzungen und die daraus resultierenden therapeutischen Konsequenzen abzuleiten und ihn in die Lage versetzt neutrale Vergleiche zu erstellen.

Die Klassifikationen der Frakturen und Weichteilverletzungen entwickelten sich im Laufe der Zeit und wurden den Erfordernissen der Medizin immer wieder angepasst.

So existieren alleine für das Femur zahlreiche Klassifikationen. Betrachtet man ausschließlich die Femurdiaphyse und seine umgebenden Weichteile, reduzieren sich die Klassifikationssysteme auf die folgenden Einteilungen:

2.2.1 AO Klassifikation

Unter dem Dach der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthese (AO) entstand nach Müller et al. [60], ein detailliertes, beschreibendes Stufensystem das unter dem Begriff der AO-Klassifikation weltweit Verwendung findet.

Gegenstand dieses Systems ist eine Nummerierung sämtlicher langen Röhrenknochen beziehungsweise Knochengruppen. In einem weiteren Schritt erfolgt für die langen Röhrenknochen eine genauere Festlegung der Frakturlokalisation. Dieser Schritt bezeichnet die Segmente. Entscheidend für die Festlegung des Segmentes ist die Lage des Zentrums der Fraktur. Liegt das Zentrum der Fraktur im proximalen Segment des Röhrenknochens, so erhält diese als segmentale Zuordnung die Ziffer 1, für eine diaphysäre Lage die Segmentziffer 2 und für eine distale Lage die Segmentziffer 3.

Die Malleolen bilden eine Ausnahme als viertes Segment des Knochenpaares distale Tibia und Fibula.

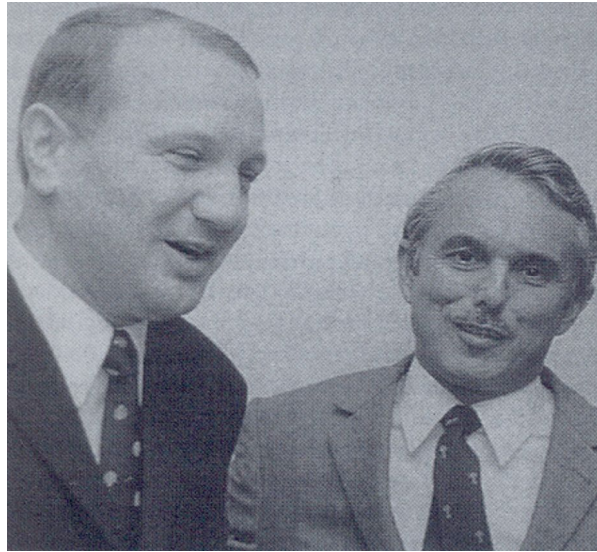


Abb. 1: Harald Tschern (links) und Maurice E. Müller (rechts), aus Schneider (1983), 25 Jahre AO Schweiz

Entsprechend dem zunehmenden Schweregrad der Fraktur, der steigenden Komplexität ihrer Morphologie, sowie dem Schwierigkeitsgrad der Frakturbehandlung und Prognose unterteilt man die Frakturen in der Folge in drei Typen.

Typ A der diaphysären Frakturen beschreibt eine einfache Fraktur und hat die günstigste Prognose. Der Typ B wird durch das Vorhandensein eines Biegungskeils gekennzeichnet. Die schlechteste Prognose weisen die Typ C Frakturen auf, die als irreguläre oder mehrfragmentäre Frakturen bezeichnet werden. Eine genauere Untergliederung der Typen A bis C erfolgt im Anschluss in drei Gruppen und Untergruppen

2 Einleitung

Tab. 1: Typen und Gruppen der AO-Klassifikation

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

Die Untergruppierungen im diaphysären Bereich sind für die primäre Diagnostik und Therapie nur von untergeordneter Bedeutung. Sie vertiefen bei den Typ A und Typ B-Frakturen vielmehr die bereits erfolgte Beschreibung bezüglich der Lokalisation der Frakturen. Die Untergruppierung der Typ C-Frakturen vertieft den beschreibenden Charakter.

2 Einleitung

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

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

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

B1.1	Lokalisation des Drehkeils in der subtrochanteren Zone
B1.2	Lokalisation des Drehkeils in der mittleren Zone
B1.3	Lokalisation des Drehkeils in der distalen Zone
B2.1	Lokalisation des Biegungskeil in der subtrochanteren Zone
B2.2	Lokalisation des Biegungskeil in der mittleren Zone
B2.3	Lokalisation des Biegungskeil in der distalen Zone
B3.1	Lokalisation des fragmentierten Keils in der subtrochanteren Zone
B3.2	Lokalisation des fragmentierten Keils in der mittleren Zone
B3.3	Lokalisation des fragmentierten Keils in der distalen Zone

2 Einleitung

Tab. 4: 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 segmentalem Zwischenfragment
C2.2	mehrfragmentär, etagenförmig mit einem segmentalem Zwischenfragment und zusätzlichem Keilfragment.
C2.3	mehrfragmentär, etagenförmig mit zwei segmentalem Zwischenfragmenten
C3.1	mehrfragmentär, irregulär mit zwei oder drei Zwischenfragmenten
C3.2	mehrfragmentär, irregulär mit geringer Trümmerzone (<5cm)
C3.2	mehrfragmentär, irregulär mit ausgedehnter Trümmerzone (>5cm)

Es ergeben sich somit unter voller Ausschöpfung der Klassifikationsmöglichkeiten alleine für den diaphysären Abschnitt 27 Möglichkeiten für die Beschreibung des Knochens, ohne Berücksichtigung der Weichteilverhältnisse. Damit wird deutlich dass eine Fraktur im Schaftbereich des Femurs unter Berücksichtigung der denkbaren Möglichkeiten eine komplexe Verletzung darstellen kann und entsprechend differenziert einer adäquaten Therapie zugeführt werden muss. Die oben genannten Untergruppen der AO-Klassifikation stellen jedoch für die akute Situation eine untergeordnete Bedeutung dar. Als Instrument für vergleichende Studien und wissenschaftlichen Beobachtungen ist die exakte Beschreibung jedoch unerlässlich und somit auch gängiges Instrument.

Neben der Versorgung des Frakturgeschehens ist es, in Abhängigkeit der Traumaschwere, unerlässlich den Weichteilschaden in das Frakturmanagement mit ein zu beziehen. Dieser Weichteilschaden kann von erheblichem Ausmaß sein und die gesamte Therapie und Prognose mit bestimmen. Müller et al. entwickelten in Ergänzung eine weitere Klassifikation, die die Weichteilsituation berücksichtigt [59]

2.2.2 Klassifikation von Weichteilverletzungen (AO) nach Müller et al.

Ähnlich der Frakturklassifikation beschreibt die Weichteilklassifikation nach Müller et al. den zunehmenden Schweregrad der umgebenden Weichteilverletzung. Es werden grundsätzlich drei Gewebegruppen unterschieden: Haut-, Muskel- und Sehnen- sowie Nerven- und Gefäßverletzungen. Die Verletzungen der Haut sind nochmals in geschlossene (IC) und in offene (IO) Verletzungen unterteilt, wobei sich die Begriffe „offen“ und „geschlossen“ nicht alleinig auf Verletzungen der Haut beziehen. Vielmehr wird hiermit zum Ausdruck gebracht, ob eine Verbindung der frakturierten Knochen zur unsterilen Außenwelt besteht. Es könne so geschlossene Frakturen mit einer nicht unerheblichen offenen Weichteilverletzung einhergehen, wenn die Fraktur noch gedeckt ist.

2 Einleitung

Tab. 5: Hautverletzung mit geschlossener Fraktur

IC 1	Keine Hautverletzung
IC 2	Kontusion ohne Hautverletzung
IC 3	Umschriebenes Décollment
IC 4	Ausgedehntes, geschlossenes Décollment
IC 5	Nekrose aufgrund tiefer Kontusion

Tab. 6: Frakturen mit offenen Hautverletzungen

IO 1	Hautdurchspießung von Innen nach Außen
IO 2	Hautdurchspießung von Außen, Hautläsion < 5 cm mit Kontusionsrändern
IO 3	Hautläsion > 5 cm, umschriebenes Décollment mit Randkontusionen
IO 4	Hautverlust, tiefe Kontusion, Schürfung
IO 5	Ausgedehntes Décollment

Tab. 7: Muskel- und Sehnenverletzungen

MT 1	Keine Verletzung
MT 2	Umschriebene Muskelverletzung (auf eine Muskelgruppe beschränkt)
MT 3	Ausgedehnte Muskelbeteiligung (in 2 oder mehr Muskelgruppen)
MT 4	Ausriss oder Verlust ganzer Muskelgruppen, Sehnendurchtrennungen
MT 5	Logen- oder Crushsyndrom

Tab. 8: Neurovaskuläre Verletzung

NV 1	Keine Verletzung
NV 2	Isolierte Nervenläsion
NV 3	Umschriebene Gefäßverletzung
NV 4	Kombinierte neurovaskuläre Verletzung
NV 5	Subtotal- / Totalamputation

2.2.3 Klassifikation offener Frakturen nach Gustilo und Anderson

Gustilo und Anderson beschrieben in den 70er Jahren auf der Basis einer mehr als 1000 offene Frakturen umfassenden retrospektiven und prospektiven Analyse ein leicht überschaubares System. Alle Frakturen werden in drei Typen eingeteilt; lediglich der Typ III wird in drei weitere Untergruppen eingeteilt [21].

Tab. 9 Klassifikation nach Gustilo und Anderson

Typ I	Fraktur mit sauberer Wunde oder < 1cm mit geringer oder ohne Kontamination (Durchspießung eines Frakturende)
Typ II	Fraktur mit Hautdefekt > 1 cm, ohne oder geringe Kontusion der umgebenden Weichteile.
Typ III	Fraktur mit ausgedehntem Weichteildefekt, Gefäßverletzung, Hochrasanztrauma
Typ III A	Ausreichend Weichteildeckung der Fraktur
Typ III B	Ausgedehnter Weichteildefekt und Kontusion, periostaler Defekt
Typ III C	Alle offenen Frakturen mit interventionspflichtiger Arterienverletzung, unabhängig vom Fraktur-Typ

2 Einleitung

2.2.4 Klassifikation von Weichteilverletzungen nach Tscherne und Oestern

Tscherne et al. unterschieden in ihrer Klassifikation grundsätzlich offene von geschlossenen Frakturen. Die offenen Frakturen werden in die folgenden vier Grade unterteilt [96].

Tab. 10: Klassifikation nach Tscherne und Oestern

Grad	<u>Geschlossene Frakturen</u>
0	Fehlende oder unbedeutende Weichteilverletzung, indirekter Verletzungsmechanismus
1	Oberflächliche Schürfung oder Kontusion durch Fragmentdruck von innen, einfache bis mittelschwere Frakturform
2	Tiefe kontaminierte Schürfung, sowie Haut- Muskelkontusion durch direkte Krafteinwirkung, drohendes Kompartmentsyndrom mit mittelschweren bis schweren Frakturformen
3	Ausgedehnte Hautkontusion, -quetschung oder Zerstörung der Muskulatur, subcutanes Décollment, manifestes Kompartmentsyndrom, Verletzung eines Hauptgefäßes, schwere Frakturformen

Grad	<u>Offene Frakturen</u>
1	Fraktur mit Durchspießung von Innen nach Außen (meist punktförmig), geringes Weichteiltrauma
2	Ausgedehnte Weichteilverletzung und Gewebekontusion über dem Frakturgebiet
3	Ausgedehnte Weichteilverletzung (Muskel, Gefäße, Nerven) mit freiliegender Fraktur
4	Subtotale Amputation mit vorhandener Weichteilbrücke, vollständige Ischämie

2.3 Ätiologie, Pathogenese und Inzidenz von Femurfrakturen

Frakturen des Femurs finden sich in jeder Altersgruppe. Sie weisen bezüglich ihrer anatomischen Lokalisation unterschiedliche Häufigkeitsgipfel in einzelnen Altersgruppen auf. So treten die proximalen Femurfrakturen, wie die Schenkelhalsfrakturen und pertrochanteren Femurfrakturen, gehäuft im Alter auf [3]. Etwa 60% aller Frakturen bei über 70 jährigen Patienten befinden sich am Schenkelhals oder pertrochantär. Meist treten sie isoliert als Folge eines Bagatell-Traumas auf dem Boden einer Altersosteoporose auf. Die Gesamtinzidenz der proximalen Femurfrakturen in der BRD beträgt etwa 1500 Frakturen / Millionen Einwohner. Sie steigt um das zehnfache ab dem 80sten Lebensjahr [3].

Frakturen des Schaftes findet man hingegen gehäuft in der Altersgruppe zwischen 20 und 30 Jahren. Ursächlich hierfür sind, außer bei pathologischen Frakturen, große direkte und indirekte Gewalteinwirkungen im Sinne von Hochrasanztraumen oder Torsionen. Nur 22% aller Femurfrakturen befinden sich am Schaft und machen in der Summe lediglich 2% aller Frakturen aus. Nur etwa 17% der Femurfrakturen sind offene Frakturen. Ursächlich hierfür ist der große Weichteilmantel des Oberschenkels. Durch ein hohes Maß an Gewalteinwirkung sind Verletzungen des Femurschaftes in etwa 20-30% der Fälle mit einer Polytraumatisierung vergesellschaftet [16]. Es resultiert hieraus meist ein komplexes und aufwendiges Traumamanagement, bei dem die Verletzung des Femurs nur einen Teil der zu behandelten Traumafolgen darstellen.

2 Einleitung

2.4 Diagnostik

Erste Hinweise auf eine Femurschaft- oder schaftnahe Fraktur ergeben sich bei der Bergung des Patienten. Instabilitäten an untypischer Stelle, fühlbare und hörbare Krepitationen sind beweisend [50].

Die Röntgen-Nativdiagnostik ist der Standard im Rahmen der klinischen diagnostischen Schritte [50]. Schnittbilddiagnostik (MRT oder CT) ist für die initiale Entscheidungsfindung bezüglich des operativen Verfahrens selten nötig.

2.5 Therapie

2.5.1 Konservative Frakturversorgung

Gipsverbände oder Kunststoffverbände dienen heute im Allgemeinen der unblutigen externen Fixation. Ebenso stellt die Extensionsbehandlung mittels Tapeverbänden ein unblutiges Verfahren dar, welches das Eigengewicht des Patienten bzw. der Extremität nutzt. Diese Stützverbände können sowohl kurzfristige, als auch als endgültiges Verfahren Anwendung finden. Nicht oder wenig dislozierte Frakturen des Humerus und der Tibia stellen eine gute Indikation für die konservative Frakturversorgung dar [98]. Frakturen der Femurdiaphyse sind jedoch ungeeignet konservativ behandelt zu werden, da hier ein hohes Risiko für eine Mallrotation und Achsfehlstellungen besteht. Diese Problematik ist seit langem bekannt. Mitte des 19. Jahrhunderts veröffentlicht der amerikanische Arzt Frank Hastings Hamilton (1813-1886) Ergebnisse konservativer Frakturbehandlungen von Femurfrakturen.

So sind am New York Hospital in dieser Zeit von 57 Oberschenkelchaftbrüchen 44 mit mehr als 2 cm Beinverkürzung verheilt.

2 Einleitung

Am Hospital of Westminster wurden bei 50 Femurfrakturen 45 Beinverkürzungen (90%) mit einem Längenverlust von 2cm bis 8cm beobachtet. Die 10% ohne Beinlängendifferenz waren Kinder. Eine Verkürzung von 2cm und mehr bedingt ein Hinken. Infolge Schiefstellung des Beckens eine ist chronische Überlastung der Wirbelsäule vorprogrammiert [51].

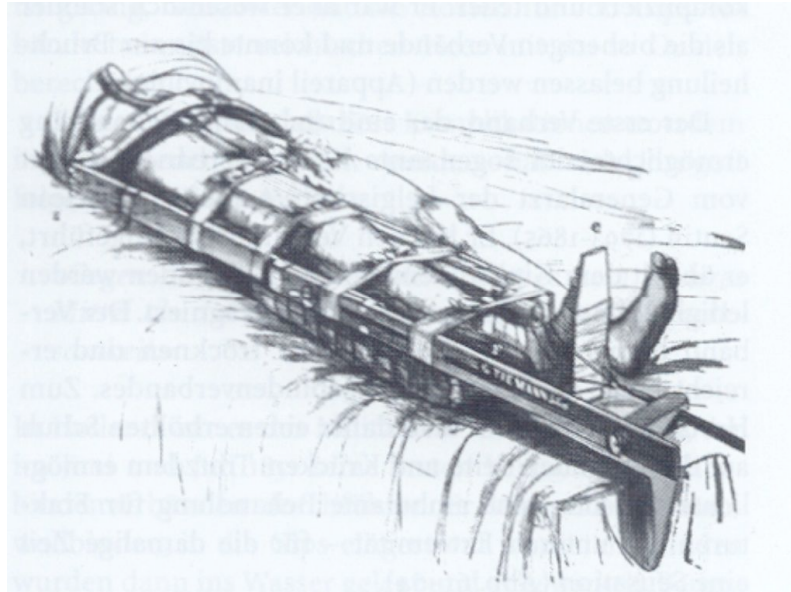


Abb. 2: Oberschenkelschiene aus Hamilton (1884), S. 532, Abb.220 [22]

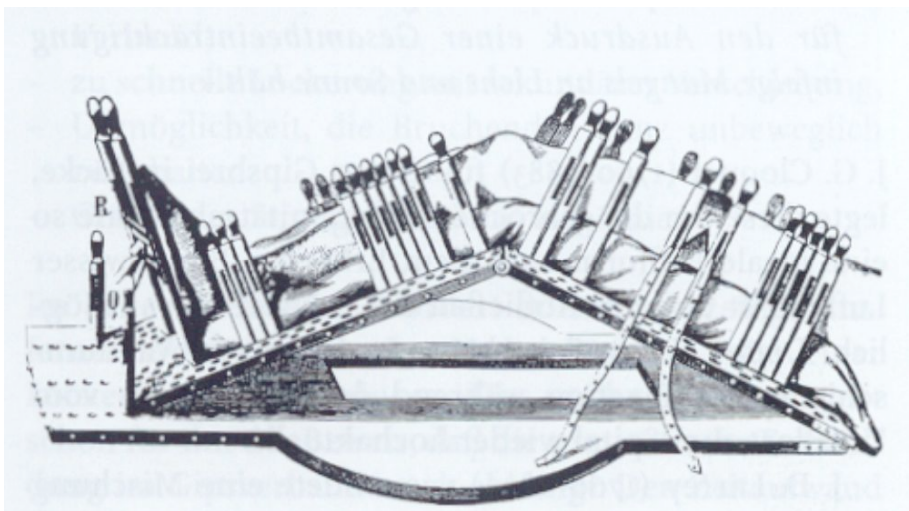


Abb. 3: Oberschenkelschiene. aus Hamilton (1884), S. 518, Abb. 192 [22]

Sofern die technische Ausstattung und die Umstände es zulassen, sollte alle Femurschaftfrakturen einer operativen Versorgung zugeführt werden [71].

2.5.2 Operative Frakturversorgung

In der operativen Frakturversorgung am Femurschaft kommen überwiegend drei unterschiedliche Verfahren zur Anwendung. Die Innere Fixation mittels Schrauben- und/oder Plattenosteosynthese, die äußere operative Fixation, mittels Fixateur externe und die intramedullären Kraftträger. [2, 5, 12, 29, 47, 71]. Die Wahl des definitiven Verfahrens hängt von zahlreichen Begleitumständen ab, die sich nicht nur auf Art und Lokalisation der Fraktur beschränken. So kann ein zu kleiner Markraum oder eine vorhandene Endoprothese ein intramedulläres Verfahren unmöglich machen. Ebenso zu berücksichtigen ist der Zustand der umgebenden Weichteile und der allgemeine Zustand des Patienten. Eine weitere Traumatisierung des Patienten durch lange Operationszeiten und (zusätzlicher) Schädigung der Weichteile ist gegenüber dem erreichbaren OP-Ergebnis abzuwägen. Nicht zuletzt entscheiden der persönliche Erfahrungsschatz des Operateurs und die zur Verfügung stehende technische Ausstattung über den Einsatz des „optimalen Verfahrens“.

2.5.2.1 Fixateur externe

Joseph François Malagaigne (1806-1865) kann als Wegbereiter in der Entwicklung des Fixateur externe bezeichnet werden. Er entwarf in der Mitte des 19. Jahrhunderts eine Metallspange zur Stabilisierung von Patella-Querfrakturen. Diese Spange bestand aus zwei Metallplatten in der Größe von 3 x 2 cm mit jeweils zwei scharfen Haken an ihren Enden. Durch eine Schraubverbindung konnten die Haken aneinander genähert werden, um so Kompression auf die dazwischen liegende Patella auszuüben. Er nannte diese Spange „griffes metalliques“.

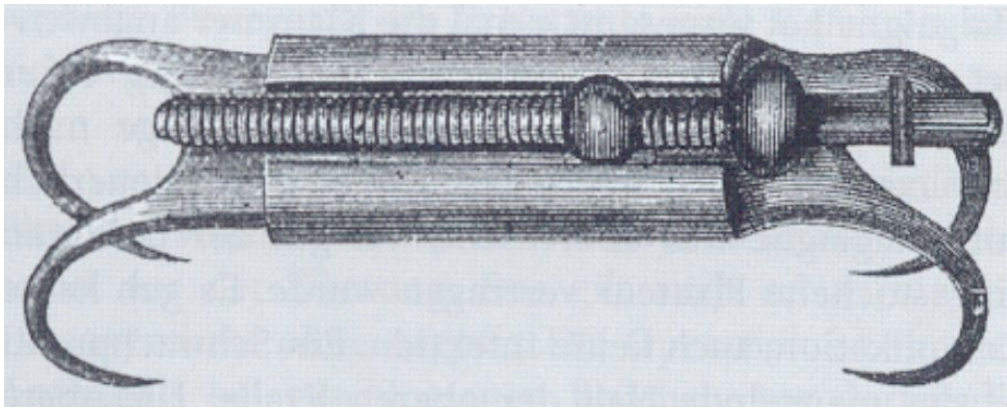


Abb. 4: Griffes metalliques von Malagaigne aus Hamilton (1884), S.610, Abb. 259 [22]

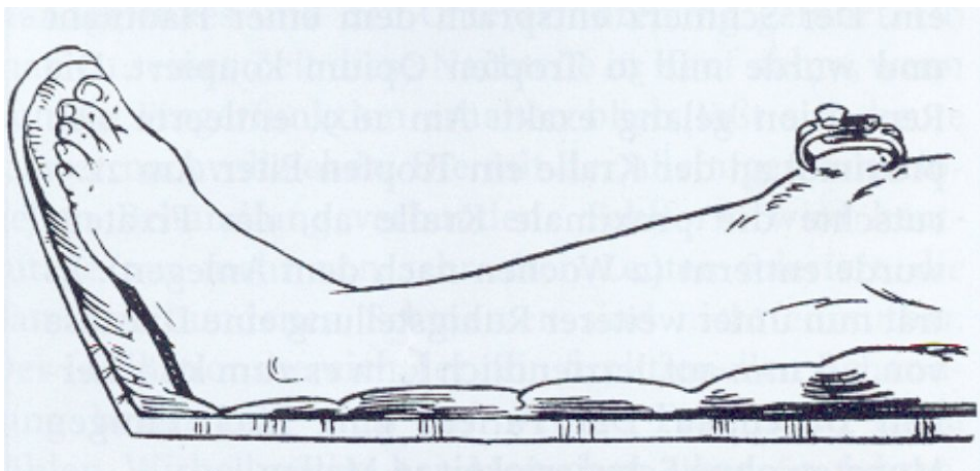


Abb. 5: Griffes metalliques von Malagaigne aus Hamilton (1884), S.611, Abb. 260 [22]

Neun von Malagaigne durchgeführte Anwendungen mit dieser Klammer sind beschrieben [51]. Hiervon waren acht frische Frakturen, welche ohne Diastase zur Ausheilung kamen. Eine mit dieser Methode behandelte Pseudarthrose, führte nicht zur Ausheilung. Betrachtet man nur die Ergebnisse der frischen Frakturen, so kann von einer 100 prozentigen Erfolgsquote gesprochen werden.

C.W. Wutzer (1789-1863), Ordinarius in Bonn entwickelte den ersten Fixateur externe im modernen Sinn. Er verbandete die im Knochen sitzenden Schrauben über ein Metallgestänge miteinander [103].

Trotz beachtlicher Teilerfolge blieben die operativen Verfahren im 19. Jahrhundert eher die Ausnahme. Zurückzuführen ist die generelle Skepsis gegenüber Operationen auf die hohen Komplikationsraten bei offenen Verletzungen und die unzureichende Antisepsis. Die Röntgentechnologie wurde erst Ende des 19. Jahrhundert entdeckt. Erst sie ermöglichte eine suffiziente Evaluation einer erfolgreichen Reposition bei Frakturen.

Mit zunehmender Akzeptanz operativer Verfahren, wurde auch der Fixateur externe weiterentwickelt. Albin Lambotte (1866-1955) entwickelte zu Anfang des 20. Jahrhunderts einen Klammerfixateur, der einem heute gängigen unilateralen Fixateur externe entspricht.

1904 beschrieb A. Codvilla seinen ersten Ringfixateur, der dem von Hey-Groves von 1912 ähnelte.

Ungeachtet westlicher Entwicklungen verfeinerte G.A. Ilizarow in den 1950er Jahren das Prinzip des Ringfixateurs, in dem er die starre Verbindung in eine dynamische änderte. Durch diese Schraubverbindung zwischen den Ringen kann, je nach Indikation Kompression oder Distraction ausgeübt werden.

Entwicklungen der Neuzeit auf Gebiet der Fixateure, sind im Wesentlichen der schweizerischen AO zuzuschreiben. Für die Versorgung offener Frakturen stellt der Fixateur extern bis heute den goldenen Standard dar. Kindliche Frakturen sind ebenfalls eine gute Indikation zur Anlage eines Fixateur externe, wobei die Wachstumsfugen hier immer unberührt bleiben müssen. Speziellen Indikationen sind z.B. Arthrodesen am Sprunggelenk, Infektionen, Kallusdistractionen oder Korrekturosteotomien [51].

Geschlossene Frakturen werden hingegen selten mittels eines Fixateur externe versorgt. Die Indikationen hierbei beschränken sich im Wesentlichen auf die Primärversorgung polytraumatisierter Patienten zur temporären Ruhigstellung. Außer dem proximalen Femur und dem proximalen Humerus können alle langen Röhrenknochen mittels eines Fixateur externe versorgt werden [71].

2.5.2.2 Plattenosteosynthesen am Femurschaft

Entwicklungen auf dem Gebiet der Plattenosteosynthesen reichen bis in die Mitte des 19. Jahrhunderts zurück. C. Hansmann (1852-1917), praktizierte ab 1883 im St. Georg Krankenhaus in Hamburg und entwickelte eine der ersten beschriebenen Plattenosteosynthesen. Auf dem Chirurgenkongress 1886 in Berlin, stellte er 13 Fälle von Frakturversorgungen mittels seiner Platten vor. Seine Platte wurde auf die offen reponierte Fraktur geschraubt. Das Besondere an dieser Platte war, dass sowohl die Schrauben, als auch die Platte selbst nicht vollständig unter dem Hautniveau lag. Die Schrauben waren lang genug um über das Hautniveau heraus zu ragen. Sie konnten so nach Frakturheilung problemlos ohne Operation entfernt werden. Die Platte war an einem Ende um 90° abgewinkelt, wobei das abgewinkelte Ende ebenfalls über dem Hautniveau lag. Sie konnte nach Entfernen der Schrauben an dem überstehenden Ende herausgezogen werden [51].

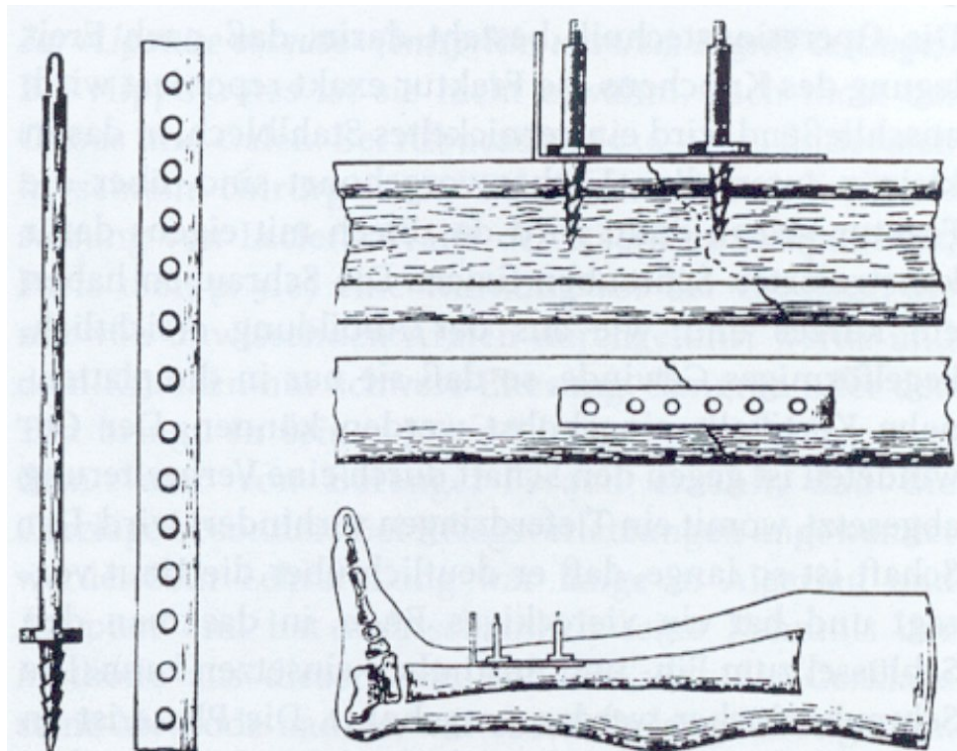


Abb. 6: Die Platte von C. Hansmann. aus Hansmann (1886) [22],

Trotz aller Skepsis der Fachwelt in der Mitte des 19. Jahrhunderts, wurde die Idee der Plattenosteosynthese von wenigen aufgegriffen und weiterentwickelt. Pioniere der Medizin führten zahlreiche Experimente hierzu durch. *Hey Groves* (1872-1944) experimentierte an 81 Katzen und 19 Hunden mit Langen Platten, mit dünnen Blechen, die die Fraktur umhüllten, mit Platten und Schrauben, welche unicortikal fixiert wurden und mit Doppelplatten. Er veröffentlichte seine Ergebnisse 1916 in seinem Buch: „On Modern methods of treating fractures“ [51]

Dem belgischen Chirurgen *Albin Lambotte* (1866-1955) gelang es, die Akzeptanz der Osteosynthesen zu vergrößern. Er war ein Verfechter der Osteosynthese und wendete neben der Plattenosteosynthese alle anderen operativen Fixationsverfahren seiner Zeit an. Dokumentiert sind unter anderem 52 erfolgreiche Plattenosteosynthesen, von denen er 24 nach Frakturheilung wieder entfernte [49].

Plattenosteosynthesen an der Femurdiaphyse finden heute häufig Anwendung bei mehrfachverletzten Kindern in Kombination mit Schädelverletzungen.

Kregor et al. veröffentlichten 1993 einen Artikel über 15 Femurschaftfrakturen bei 12 polytraumatisierten Kindern. Alle Frakturen heilten nach durchschnittlich 8 Wochen ohne Infektion und ohne Drehfehler aus. Der beschriebene wesentliche Vorteil der Platte gegenüber anderen Fixationsverfahren bei mehrfachverletzten Kindern liegt in der sehr guten Stabilität der Frakturversorgung, die die Pflege und Mobilität der Patienten erleichtert. Transmetaphysär eingebrachte Nagelsysteme scheiden auf Grund der offenen Epiphysenfugen aus [37, 67].

Minimalinvasiv eingebrachte Platten stellen eine Weiterentwicklung der Kompressionsplatte dar.

Agus et al. berichteten 2003 über 339 kindliche Femurfrakturen, welche mittels einer minimalinvasiv eingebrachten Platte versorgt wurden. Alle Frakturen heilten bis zur 12. postoperativen Woche aus. Bei keinem der Patienten konnte eine signifikante Beinlängendifferenz oder Rotationsfehler festgestellt werden [1].

2.5.2.3 Historie

Der Weg zur Etablierung der Marknagelung war, wie die Geschichte zeigt, keineswegs unbeschwerlich. Wie viele Neuerungen in der Medizin, war auch diese anfänglich nicht akzeptiert [30, 31, 48, 49, 51, 53, 77, 78, 102].

Ende des 19. und Anfang des 20. Jahrhunderts zählten zunächst die konservativen und die so genannten „blutigen“, also offenen Repositionen von Frakturen der langen Röhrenknochen zu den gängigen Verfahren dieser Zeit [51, 102]. Die intramedulläre Schienung galt zu Beginn des 20. Jahrhunderts noch nicht als etabliertes Verfahren [48, 51, 53, 102]. Als Wegbereiter und Pioniere, die maßgeblich an der Entwicklung dieser Idee mitwirkten sind neben Nicolaysen (1897), Delbet (1906) und Lambotte (1907) die Gebrüder Rush zu nennen, die 1927 ein intramedulläres Fixationsverfahren entwickelten, welches bis heute seine Verwendung unter dem Begriff des Rush-Pin findet. Das Prinzip dieser Fixation beruht auf einer Dreipunkteverklebung im Knochen [38, 72, 101].

Eine der wesentlichen Grundlagen für die Durchführbarkeit von beständigen Osteosyntheseverfahren ist neben den Weiterentwicklungen in der Asepsis vor allem die Entdeckung von korrosionsbeständigen Materialien und Metalllegierungen. Am 18.10. 1912 wurde der Firma Krupp das Patent über die Herstellung von so genanntem korrosionsbeständigen Edelstahl durch das Kaiserliche Patentamt erteilt. Dieser Meilenstein der Technik kam vor allem der Rüstungs- und Maschinenindustrie des noch jungen Jahrhunderts zu Gute. Erst im späteren Verlauf fand es Anwendung in der medizinischen Forschung [23, 48, 63].

Die Schenkelhalsnagelung von Smith-Petersen aus dem Jahre 1925, sowie folgenden Weiterentwicklungen durch Johannsen und Jerusalem werden als Vorläufer der Marknagelung bezeichnet. Jedoch berücksichtigte dieses Verfahren das Prinzip der Nagelung, also eine Verklebung eines festen mit einem starren Körper nur ungenügend [30, 31]. Eine vorzeitige Auslockerung eines solchen Implantates war die Folge dieser mangelnden dauerhaften Verklebung und zwang die Wissenschaft zu weiteren Entwicklungen.

Gerhard Küntscher (1900-1972) sah diese Problematik. Es sollte sein Lebenswerk werden, welches die Osteosynthese revolutionierte [48, 51, 53, 56, 102].

Er griff das Prinzip der Nagelung auf und fügte diesem eine weitere stabilisierende Komponente hinzu. In Zusammenarbeit mit dem renommierten Mechanikermeister Ernst Pohl entwickelten diese an der Kieler Universitätsklinik die Kleeblatt- und V-Profile des Küntschernagels. Diese erzeugen eine querelastische Verklebung im Markraum und reduzieren die Druckfläche im Endost auf eine kleinere Fläche, als ein kreisrundes Rohr. Im November des Jahres 1939 führte Küntscher die erste Marknagelung am Menschen durch. Am 28. März 1940 präsentierte er auf der 64. Tagung der Gesellschaft für Chirurgie die Ergebnisse seiner ersten 12 Oberschenkelnagelungen. Sein Auditorium stand dieser Methode äußerst abweisend gegenüber [51]. Grund hierfür war die Sorge um die Frakturheilung durch eine Schädigung des Markraums. Der Markhöhle und dem Endost wurde zu diesem Zeitpunkt eine entscheidende Bedeutung im Rahmen der Frakturheilung beigemessen. Auch kannte man bereits die Problematik der Fettembolie.

Küntscher konnte 1939 durch eine Reihe von Tierversuchen an Hunden zeigen, dass dem Markraum und dem Endost auch nach Auskratzen desselbigen keine derart große Bedeutung bei der Frakturheilung zukam. Ein weiterer Vorteil bestand in dem geschlossenen Verfahren. Die Infektionsraten bei offenen Operationsmethoden lagen zu Beginn des 20. Jahrhunderts zwischen 3 und 30 %. In rascher zeitlicher Folge führten weitere Operateure dieses Verfahren der geschlossenen Frakturversorgung durch. E. Rehn (1880-1972) führte 1940 in Freiburg seine erste geschlossene Marknagelung durch. Kriegsbedingt blieb die Marknagelung zunächst jedoch auf Deutschland beschränkt. Das News Magazine Time veröffentlichte am 12. März 1945 in seinem Wissenschaftsteil das Röntgenbild eines Kriegsheimkehrers, der mit diesem neuen Verfahren versorgt wurde. [51].

2.5.2.4 Intramedulläre Nagelsysteme zur Versorgung von Femurfrakturen

ACE AIM Titan- Femurnagel, Depuy

Die Indikationen für diesen Nagel sind ausgedehnten Femurschaftfrakturen und Femurschaftfrakturen mit kombinierter Schenkelhalsfraktur. Er kann jedoch auch zur Femurrekonstruktionen nach Tumorresektionen, zur Therapie von Beinlängendifferenzen (beruhend auf unterschiedlichen Femurlängen), zur prophylaktischen Nagelung bei drohenden Frakturen jenseits des mittleren Femur-Drittels und zur Versorgung stabiler Femurfrakturen ohne Notwendigkeit der Verriegelung eingesetzt werden.

Kontraindikationen sind offene Epiphysenfugen, floride Infektionen, ein obliterierter Markkanal, Durchblutungsstörungen und vorausgegangene Infektionen.

Nach fachgerechter Lagerung (regelmäßig auf dem Extensionstisch) erfolgt die Präparation der Nageleintrittsstelle am proximalen Femur in der Verlängerung der Femurlängsachse, dorsal der Fossa piriformis. Die Markraumeröffnung erfolgt mittels eines Pfriems oder über einen Führungsdraht mit einem Stufenbohrer.

Nach der Markraumeröffnung kann ein 96,5 cm langer Führungsdraht zum Auffädeln der Fragmente verwendet werden. Das Aufbohren des Markraums ist optional und sollte bei Durchführung 1,5-2 mm größer als der verwendete Nagel erfolgen.

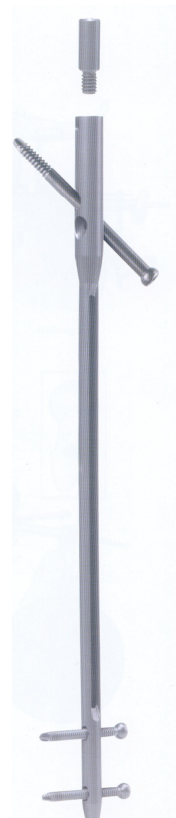


Abb. 7: ACE AIM Titan-Femurnagel [13]

2 Einleitung

Am proximalen Ende des Nagels wird ein Zielgerät montiert, welches gleichzeitig als Einschlaginstrumentarium dient. Zum Vortreiben des Nagels dient ein Schlitzhammer.

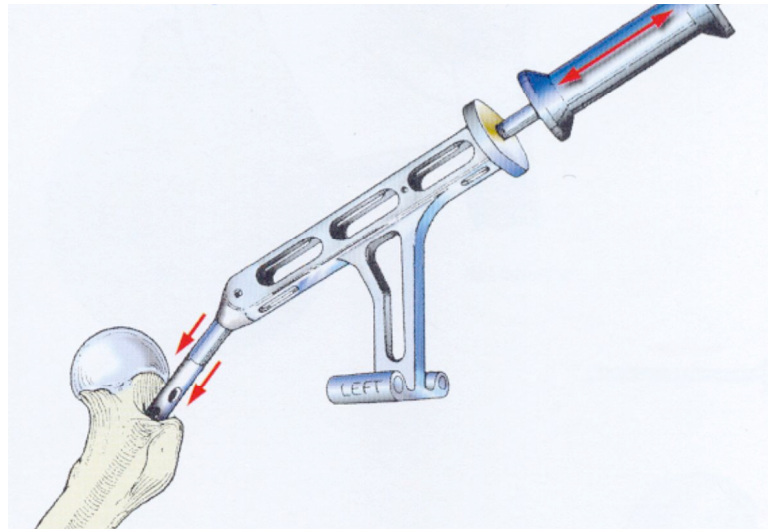


Abb.8: Einschlaginstrumentarium und proximales Zielgerät des ACI AIM Titan-Femurnagels [13]

Zur gleichzeitigen Stabilisierung einer Schenkelhalsfraktur muss auf das proximale Zielgerät ein weiterer Zielbügel montiert werden. Über diesen kann eine Schenkelhalsschraube eingebracht werden.

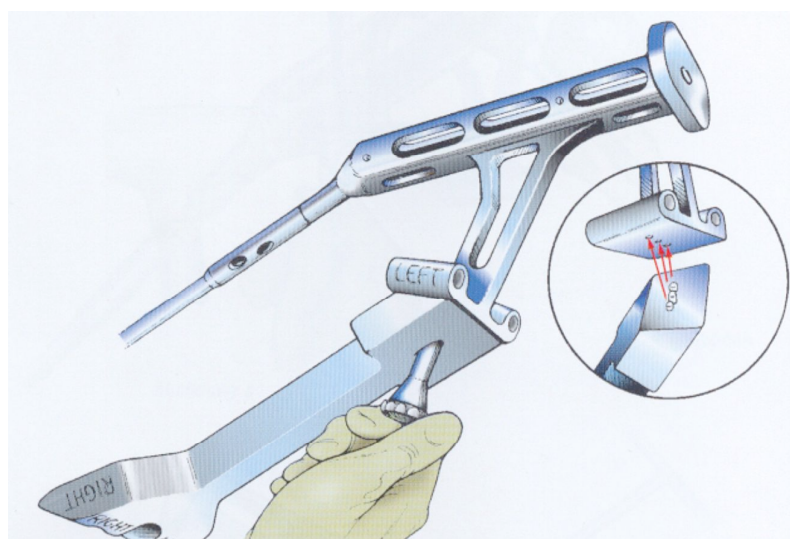


Abb. 9: Zielgerät zur retrograden proximalen Verriegelung [13]

2 Einleitung

Die distale Verriegelung erfolgt mittels der Freihandtechnik unter Zuhilfenahme eines Röntgen-Bildwandlers.

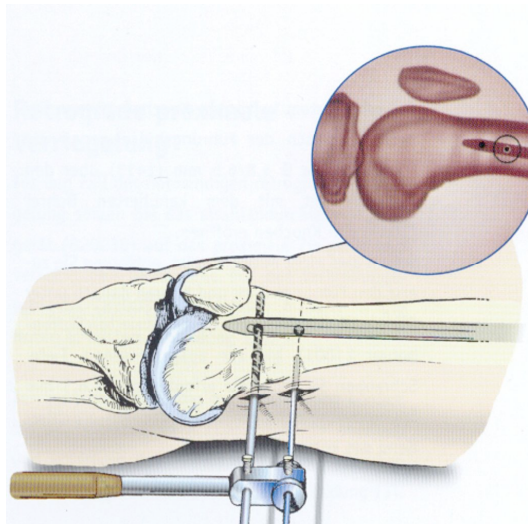


Abb. 10: Distale Verriegelung in Freihandtechnik [13]

ACE AIM Supracondyläres Titannagel System, Depuy

Indikationen sind supracondyläre Femurfrakturen, mit oder ohne Gelenkbeteiligungen, Fehlstellungen und pathologische Frakturen im distalen Femurdrittel, Frakturen proximal von Knie-Endoprothesen oder Femurfrakturen bei vorhandenen Hüftendoprothesen.

Kontraindikationen sind offene Epiphysenfugen, floride Infektionen, ungenügende Knochenqualität und/oder Knochenquantität, vorangegangene septische Arthritiden des Knies, Patienten mit Streckkontraktur des Kniegelenkes und mangelnde postoperative Patientenkooperation.

Der Nagel ist universell für rechts und links einsetzbar. Verfügbar ist der Nagel in zwei Durchmessergrößen (10 mm und 12 mm) und in 4 verschiedenen Längen (15 mm, 20 mm, 25 mm und 30 mm). Sein distales Nagelende ist bei allen Nägeln 4,5 cm lang und 12 mm dick.

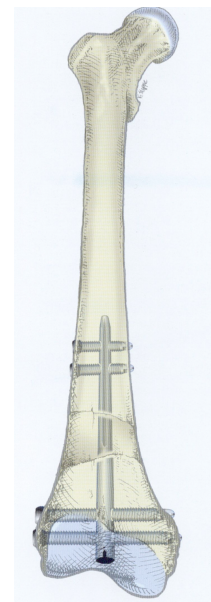
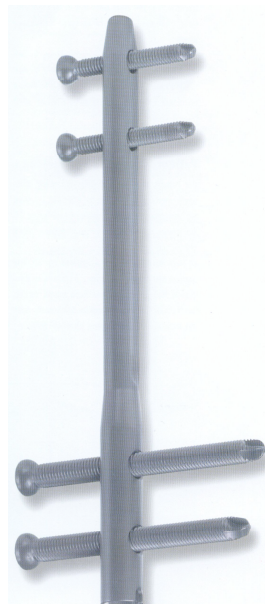


Abb. 11 und 12: ACE AIM Supracondylärer Titannagel [14]

2 Einleitung

Der operative Zugangsweg zum Kniegelenk erfolgt transartikulär durch einen medialen paraligamentären Schnitt. Das Kniegelenk ist dabei zwischen 45° und 60° flektiert. Ein transligamentärer Zugang ist ebenso wie das Aufbohren optional. Die Markraumeröffnung erfolgt mit einem Pfriem oder einen Bohrdraht. Der optimale Eintrittspunkt liegt in der Markraumverlängerung vor dem Ursprung des hinteren Kreuzbandes. Nach Aufbohren mit dem Stufenbohrer kann der Nagel mit dem montierten Zielgerät eingebracht werden. Ausreichende Nageleindringtiefe ist erreicht, wenn der Nagel inklusive Endkappe nicht über das Knochenniveau ins Gelenk hinein ragt. Die distale und proximale Verriegelung kann dann über das montierte Zielgerät erfolgen. Das Aufbringen einer Endkappe soll die Entfernung des Implantates nach Frakturheilung erleichtern.

ACE Retrogrades Trauma (A.R.T.) Titan-Femurnagel System, Depuy

Indikationen sind Femurschaftfrakturen bei übergewichtigen oder polytraumatisierten Patienten, supracondyläre Frakturen mit Gelenkbeteiligung, Femurfrakturen bei Patienten mit knieendoprothetischem Gelenkersatz und bei schlechter proximaler Durchblutung des Schenkelhalses.

Kontraindikationen sind offene Epiphysenfugen, floride Infektionen, vorangegangene septische Arthritiden des Knies, Patienten mit Streckkontraktur des Kniegelenkes und mangelnde postoperative Patientenkooperation.

Der Nagel ist universell für rechts und links einsetzbar. Verfügbar ist der Nagel in vier Durchmessergrößen (9 mm, 10 mm, 11 mm und 12 mm) und in 8 verschiedenen Längen (320 mm bis 440 mm, in jeweils 20 mm Abständen). Sondergrößen existieren zwischen 460 mm und 480 mm Länge. Das distale Nagelende ist bei allen Nägeln 45 mm lang und 12 mm dick.

Der operative Zugangsweg zum Kniegelenk erfolgt transartikulär durch einen transligamentärer Zugang. Das Kniegelenk ist dabei zwischen 45° und 60° flektiert. Ein medialer paraligamentären Schnitt ist optional. Die Markraumeröffnung erfolgt mit einem Bohrdraht. Der optimale Eintrittspunkt liegt in der Markraumverlängerung vor dem Ursprung des hinteren Kreuzbandes.

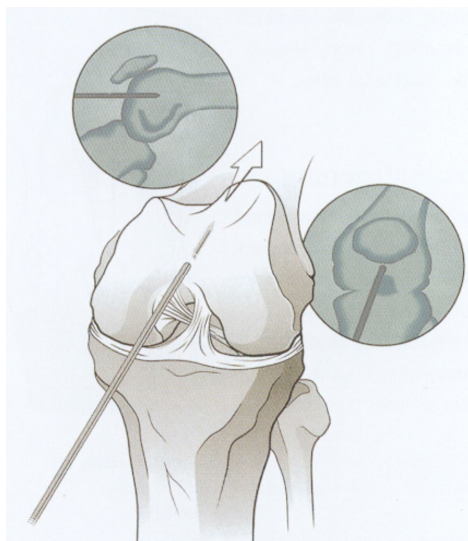


Abb. 13: Nageleintrittspunkt ACE Retrogrades Trauma Titan-Femurnagel System [15]

2 Einleitung

Nach Aufbohren mit dem Stufenbohrer kann der Nagel mit dem montierten Zielgerät eingebracht werden. Ausreichende Nageleindringtiefe ist erreicht, wenn der Nagel bei statischer Verriegelung 5 mm, bei dynamischer Verriegelung 10 mm unterhalb der Kortikalisoberfläche liegt.

Die distale Verriegelung erfolgt über das montierte Zielgerät. Die proximale Verriegelung wird mittels Freihandtechnik durchgeführt [15].

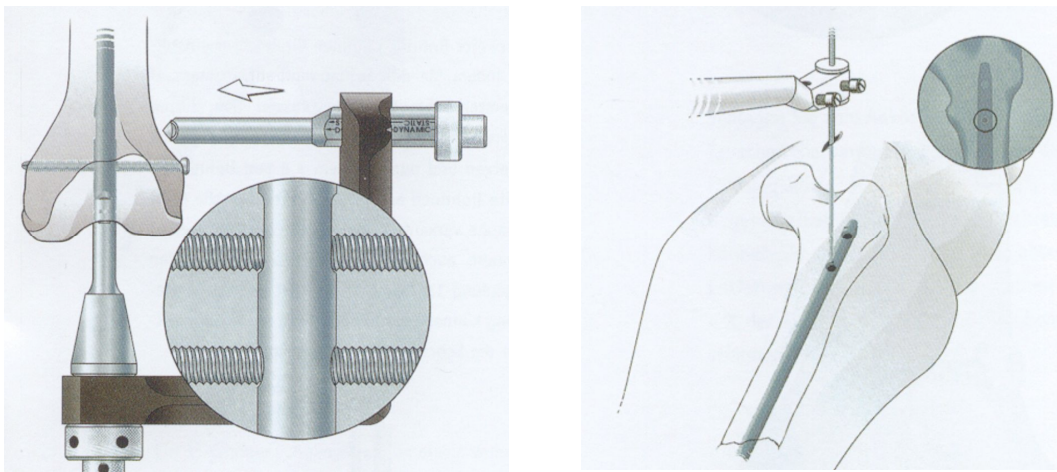


Abb. 14 und 15: Distale und proximale Verriegelung des A.R.T. [15]

Antegrader Femurnagel (AFN), Synthes

Indikationen für die Anwendung des AFN sind Femurschaftfrakturen (AO:32-A, B, C), subtrochantäre Frakturen (AO: 32-A und B(1-3)), sowie oben genannte Frakturen in Kombination mit ipsilateralen Schenkelhalsfrakturen (AO: 31-B)

Kontraindikationen sind isolierte Schenkelhalsfrakturen, supracondyläre Frakturen, intertrochantäre und pertrochantäre Frakturen.

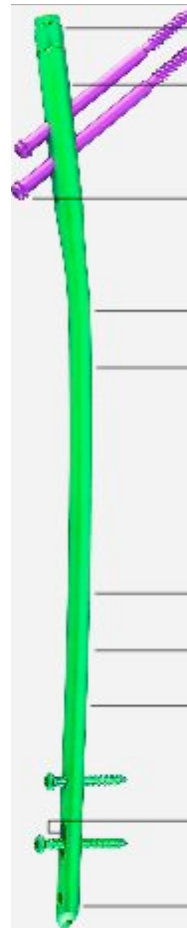
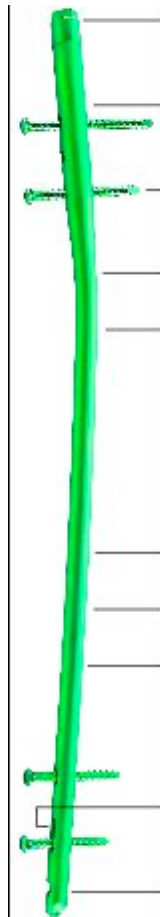


Abb. 16 und 17: Antegrader Femurnagel (AFN) mit Standard- (links) und Rekonstruktionsverriegelung (rechts) [92]

2 Einleitung

Zur Lagerung des Patienten werden sowohl die Rücken- als auch die Seitenlagerung mit oder ohne Extensionstisch empfohlen. Bei schwieriger Reposition sollte ein Distraktor angewendet werden. Die Nagellänge wird intraoperativ mittels einer Messlehre unter Zuhilfenahme des Bildwandlers oder am kontralateralen Femur gemessen. Die Nagellänge sollte vom Trochanter major bis zu den Femurkondylen reichen. Es stehen hierzu in 20 mm Schritten Nägel von 300 mm bis 480 mm Länge zur Verfügung. Die verfügbaren Durchmesser des AFN reichen in 1 mm-Schritten von 9 mm bis 14 mm, wobei die 9 mm Nägel nur bis zur Länge von 400 mm zu Verfügung stehen. Der AFN ist entsprechend der Physiologie des Femurs vorgeformt und existiert daher für rechts und links. Die Bestimmung des Nageldurchmessers erfolgt ebenfalls anhand einer Röntgenschablone.

Der Nageleintrittspunkt sollte optimaler Weise in der gebogenen Verlängerung des Markraums sitzen. Dieser befindet sich auf der Spitze des Trochanter majors oder leicht lateral davon.

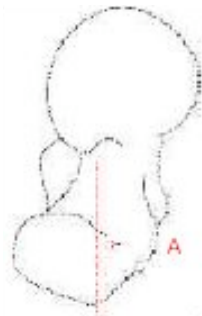


Abb. 18: Eintrittspunkt des Antegraden Femurnagels (AFN) [92]

Die Markraumeröffnung erfolgt über einen Führungsdraht mittels eines Spiralbohrers oder eines Pfriems. Dabei ist der Krümmung des Nagels und des Femurs Rechnung zu tragen. Der mediolaterale Winkel des Implantates beträgt 6° , so dass der Führungsdraht ebenfalls in einem Winkel von 6° zum Schaft eingebracht werden muss.



Abb.19: Korrekte Eintrittsrichtung des Führungsdrahtes beim AFN [92]

Ein Aufbohren des Markraums ist optional. Die Reposition der Fraktur erfolgt mittels Führungsdraht und Nagel. Nach erfolgreicher Platzierung des Implantates erfolgt im Weiteren die proximale Verriegelung. Diese wird sowohl in der Standardverriegelung, als auch in der Rekonstruktionsverriegelung über das proximale Zielgerät unter Bildwandlerkontrolle durchgeführt. Für die distale Verriegelung wird das röntgensdurchlässige Winkelgetriebe MARK II der Firma Synthes oder die Standard-Freihandtechnik mit einem Spiralbohrer empfohlen [92].

Distaler Femurnagel (DFN), Synthes

Die Indikationen für den Distalen Femurnagel sind Frakturen des Typs 33-A1 bis A3, Typ 33-C1 bis C3.1 und Typ 32-A bis C.

Kontraindikationen sind Frakturen des Typs 33-B, 33-C3.2 und 33-C3.3, sowie proximale Femurfrakturen und subtrochantäre Femurfrakturen.



Abb. 20 Schematische Darstellung des Anwendungsgebietes für den DFN [93]

2 Einleitung

Der DFN ist in einer Langen und Kurzen Version verfügbar. Die langen Nägel reichen in 20 mm Schritten von 300 bis 420 mm. Die kurzen Nägel in 40 mm Schritten von 160 bis 240 mm. Alle Nagellängen existieren als solide Nägel mit einem Durchmesser von 9 mm und als durchbohrte Nägel mit einem Durchmesser von 10, 12 und 13 mm. Die langen Nägel verfügen über die Möglichkeit der dynamischen und statischen proximalen Verriegelung. Die kurzen Nägel können nur statisch verriegelt werden. Beide Nageltypen können distal sowohl mittels Schrauben, als auch mittels Spiralklinge verriegelt werden.

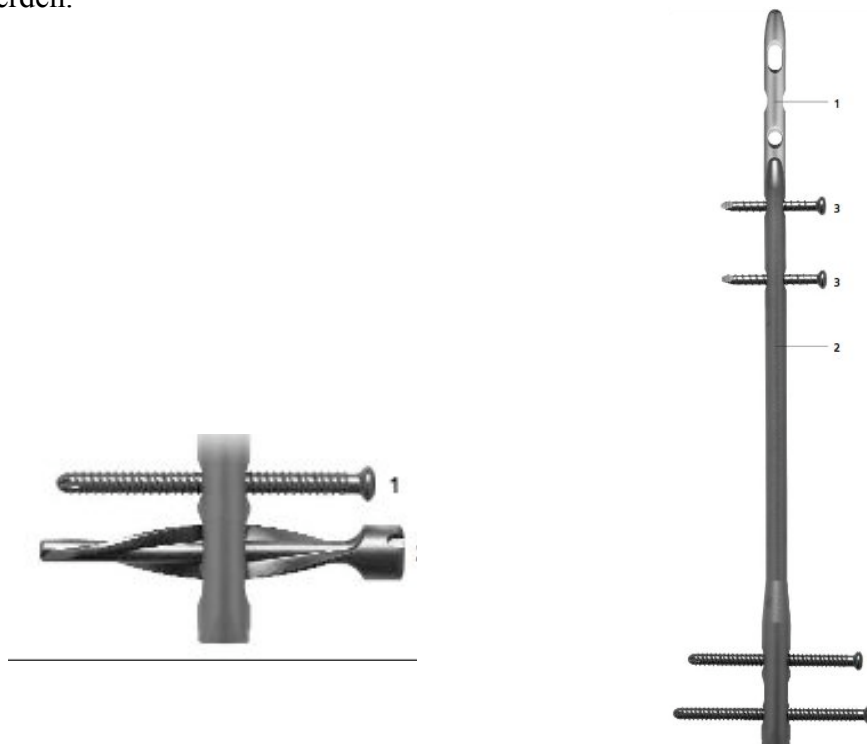


Abb. 21 und 22: DFN mit Spiralklinge und Standardverriegelung [93]

2 Einleitung

Der DFN wird transartikulär über das Kniegelenk eingebracht. Empfohlen wird eine mediale parapatelläre oder eine transligamentäre Schnittführung. Bei Frakturbeteiligung des Kniegelenkes sollte zur besseren Übersicht immer eine parapatelläre Schnittführung erfolgen.

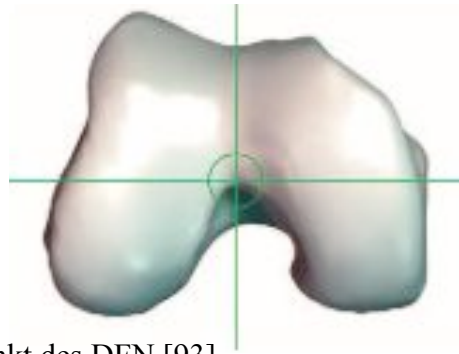


Abb. 23: Nageleintrittspunkt des DFN [93]

Die Nageleintrittsstelle befindet sich in der Verlängerung des Markraums am Kamm der interkondylären Kerbe, anterior und lateral des proximalen Ansatzes des hinteren Kreuzbandes. Unter Berücksichtigung der physiologischen Valgität des Femurs von 7°-9° erfolgt die Markraumeröffnung mittels eines Bohrers über einen Führungsdraht. Das Aufbohren des Markraums ist optional. Mit dem montierten Zielbügel wird das Implantat eingebracht. Das distale Ende des Nagels sollte 2-5 mm subchondral liegen. Für die distale Verriegelung wird ein Aufsatz an dem Zielbügel montiert. Hierüber können dann zwei Schrauben oder eine Spiralklinge und eine Schraube platziert werden. Die proximale Verriegelung der kurzen Nägel erfolgt über ein weiteres Zielinstrumentarium. Für die langen Nägel wird die Freihandtechnik mittels Röntgen durchlässigem Winkelgetriebe oder Spiralbohrer empfohlen [93].



Abb. 24: Zielgerät zur proximalen Verriegelung des DFN [93]

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

Indikationen für den UFN und CFN sind Femurschaftfrakturen, subtrochantäre Frakturen, ipsilaterale Schenkelhals-/Schaftfrakturen, drohende pathologische Frakturen und Pseudarthrosen.

Kontraindikationen sind intertrochantäre Frakturen, pertrochantäre Frakturen, isolierte Schenkelhalsfrakturen und supracondyläre Frakturen des Femurs.

Dieses Nagelsystem beinhaltet solide (UFN = unreamed femoral nail) und durchbohrte (CFN = canulated femoral nail) Nageltypen. Beide Nägel sind universell für rechts und links einsetzbar. Sie bestehen aus einer Titanlegierung (Ti-6Al-7Nb) und sind in 20 mm Abstufungen zwischen 300 mm und 480 mm erhältlich. Der Durchmesser der soliden Femurnägel beträgt in 1 mm Abstufungen 9 mm bis 12 mm, der Durchmesser der durchbohrten Nägel 10 mm bis 15 mm. Ein Hülsensystem am proximalen Ende des Nagels ermöglicht vier verschiedenen Verriegelungsmöglichkeiten.

1. Die Standard-Querverriegelung kann sowohl statisch als auch dynamisch erfolgen.
2. Die 130°-Verriegelung kann bei Femurschaftfrakturen und stabilen subtrochantären Femurfrakturen verwendet werden.
3. Die Spiralklinge kann bei subtrochantären Frakturen mit losgelöstem Trochanter minor verwendet werden. Das Einbringen einer statischen Querverriegelung mit Spiralklinge ist möglich.
4. Für Femurschaftfrakturen mit ipsilaterale Schenkelhalsfrakturen ist die die „Miss-A-Nail“-Verriegelung gedacht.

2 Einleitung

	Solide Femurnägel ø 9mm–12mm und durchbohrte Femurnägel ø 10mm – 12mm	Durchbohrte Femurnägel ø 13mm – 15mm
STANDARDVERriegELUNG	 12mm-Verschlussschrauben 459.012 – 014 Verriegelungshülse unnötig	 15mm-Verschlussschrauben 474.920 – .922  Standardverriegelungshülse 474.900
130°-VERriegELUNG	 15mm-Verschussschrauben 457.210 – .212  130°-Verriegelungshülse 456.013	 15mm-Verschussschrauben 457.210 – .212  130°-Verriegelungshülse 474.913
SPIRALKlingenVERriegELUNG	 15mm-Verschussschrauben 457.010 – .012  Verriegelungshülsen für Spiralklingen 456.010 – .012  Spiralklingen 456.070 – .120	 15mm-Verschussschrauben 457.010 – .012  130°-Verriegelungshülse für Spiralklingen 474.910 – .912  Spiralklingen 456.070 – .120
MISS-A-MAIL	 12mm-Verschussschrauben 459.012 – .014  7,3mm-durchbohrte Schrauben 408.870 – .925  5,0mm-Schaftschrauben 457.070 – .125	Nicht empfohlen

Abb. 25: Tabelle der Implantate zur proximalen Verriegelung des UFN & CFN [94]

2 Einleitung

Der operative Zugangsweg und die Nagelininsertion sind für den UFN und CFN gleich. Für die proximale Verriegelung wird immer ein Zielgerät verwendet. Für die distale Verriegelung wird die Freihandtechnik mit dem röntgendurchlässigen Winkelgetriebe Mark II oder einem 4 mm Spiralbohrer unter Bildwandlerkontrolle empfohlen und ist nur statisch durchführbar [94].

T2™ Femur Marknagelsystem, Stryker

Unter dem Begriff T2™ verbirgt sich eine integrative Instrumentenplattform der Firma Stryker. Durch Kombinationsmöglichkeiten der Nagelsysteme der T2™-Reihe verringert sich die Anzahl des Inventars und somit die Komplexität gegenüber Einzelsystemen.

Tab. 11: T2™-Nagelsysteme

T2™-Nagelsysteme	Indikationen
T2™ Humerus	Humerusschaftfrakturen
T2™ PHN (proximaler Humerus)	Proximale Humerusfrakturen
T2™ Femoral (Femur)	Femurschaftfrakturen in antero- und retrograder Technik
T2™ Recon (Femurschaft)	Femurschaftfrakturen mit gleichzeitiger proximaler Femurfraktur
T2™ Supracondylar	Supracondyläre und/oder percondyläre distale Femurfrakturen
T2™ Knee Arthrodesis	Kniearthrodese
T2™ Tibia	Tibiaschaftfrakturen
T2™ Ankle Arthrodesis	Sprunggelenksarthrodese

2 Einleitung

Beim T2™ Femur Marknagelsystem kann mit einem Nageltypen sowohl eine antegrade als auch eine retrograde Nagelung durchgeführt werden. Die Indikationsbreite vergrößert sich somit im Vergleich zu den zuvor genannten Nagelsystemen erheblich. Die Indikationen für dieses System sind 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, zur Rekonstruktion nach Tumorresektion, ausbleibende oder verzögerte Knochenheilung, Pseudarthrosen und Korrekturosteotomien.

Gleichzeitig vorhandene ipsilaterale Schenkelhalsfrakturen können mit diesem System nicht versorgt werden. Der Nagel ist universell für rechts und links einsetzbar und in 20 mm Schritten in den Längen 140 mm bis 480 mm verfügbar. Er weist einen Durchmesser zwischen 9 mm und 15 mm (in 1mm Schritten) auf und ist der physiologischen Antekurvatur des Femurs angepasst. Die Verriegelung kann statisch, dynamisch oder als Kompressionsverriegelung erfolgen.

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



Abb. 26: Proximale Nageleintrittspunkte des T2™ Femurmarknagelsystem [85]

2 Einleitung

Das Aufbohren des Markraums ist optional. Mit dem montierten Zielbügel erfolgt das Einbringen des Marknagels und die dem Zielbügel nahe liegende Verriegelung. Für die distale Verriegelung wird die Freihandtechnik empfohlen.

Bei der retrograden Nagelung erfolgt der Zugang zum Kniegelenk paraligamentär, um dann in der Fossa intercondylaris den Markraum zu eröffnen. Dies sollte über einen Kirschner-Draht unter Bildwandlerkontrolle erfolgen. Über diesen K-Draht kann dann der Markraum mittels eines Pfriems oder eines Bohrers eröffnet werden. Der Führungsdraht sollte die Frakturstücke auffädeln, um dann den Nagel über die Fraktur/Frakturen schieben zu können. Das Aufbohren ist optional.

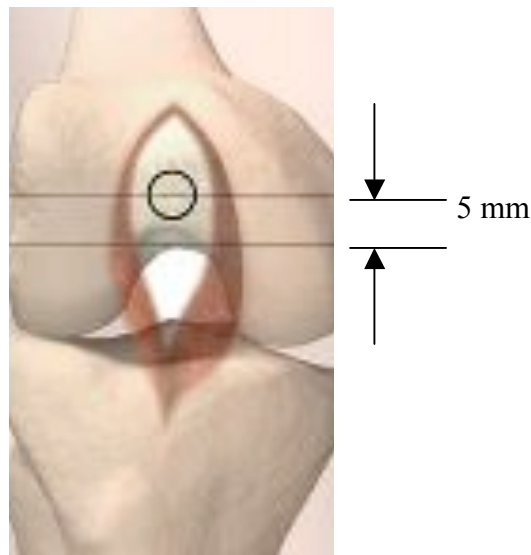


Abb.: 27: Retrograder Zugang zum Femur beim T2TM-Nagel [85]

Die Verriegelung in Eintrittsnähe erfolgt über einen Zielbügel. Für die Verriegelung am Nagelende wird die Freihandtechnik mittels Bildwandler empfohlen.

T2™ Recon Nailing System, Stryker

Der T2™ Recon-Nagel ist ein langer kanülierter Femurnagel, der antegrad eingebracht wird und über einen CCD von 125° bei 10° Anteversion im proximalen Ende verfügt. Er ermöglicht eine Versorgung von kombinierten Femurschaftfrakturen und ipsilateralen Schenkelhals-/ intertrochantärer Frakturen.

Die Indikationen für diesen Nagel sind offene oder geschlossenen Femurschaftfrakturen, Pseudarthrosen und Korrekturosteotomien, pathologische Frakturen oder drohende pathologische Frakturen, intertrochantäre und subtrochantäre Frakturen, sowie ipsilaterale Schaft- und Schenkelhalsfrakturen.

Sein Durchmesser beträgt wahlweise 9 mm, 11 mm, 13 mm oder 15 mm und er ist in 20 mm Schritten in den Längen zwischen 340 mm und 480 mm verfügbar.

Die proximale Verriegelung erfolgt entweder mit zwei Schenkelhalsschrauben im Recon-Modus (CCD 125°, 10 Anteversion) oder im antegraden Modus mittels einer einzelnen Schraube, die im Trochanter minor zum liegen kommen soll (70° geneigten und 7° retrovertiert). Beide Techniken werden über den montierten Zielbügel durchgeführt. Durch die 4° Biegung des Nagels, muss der Nageleintritt über den Trochanter major erfolgen. Die Markraumeröffnung erfolgt mit einem K-Draht geführten Bohrer, der zuvor unter Bildwandlerkontrolle eingebracht wurde. Das Aufbohren ist optional.

Für die distale Verriegelung wird die Freihandtechnik empfohlen [87].

T2™ Supracondyläres Nagelsystem (SCN-T2™), Stryker

Der SCN-T2™-Nagel wird retrograd über das Kniegelenk eingebracht. Seine Indikationsbreite reicht entsprechend der verfügbaren Nagellängen von per- und supracondylärer Femurfrakturen bis hin zu subtrochantären Femurschaftfrakturen.



Abb. 28: Indikationsbreite des SCN-T2™-Nagels [86]

Das System unterscheidet eine kurze Nagelversion (170 mm bis 200 mm) von einer langen Nagelversion (240 mm bis 440 mm). Der operative Zugang erfolgt analog des T2™ Femur Marknagelsystem für den retrograden Zugang. Distal sind zahlreiche Verriegelungsmöglichkeiten vorhanden (Kondylenschrauben, diagonale Verriegelung, Vollgewindeschrauben).



Abb. 29: Distale Verriegelungsmöglichkeiten des SCN-T2™-Nagels [86]

Die proximale Verriegelung der kurzen Nägel wird mit einem Zielgerät durchgeführt, die der langen Nägel in Freihandtechnik [109]

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 pertrochanteren Femurfrakturen und ein langer Nagel (FAN=Femoral Antegrade Nail) für die Versorgung von Femurschaftfrakturen inklusive ipsilateraler Schenkelhalsfrakturen. Lange FAN-Nägel sind im Durchmesser von 8,5 mm, 10 mm, 11,5 mm und 13 mm erhältlich. Die Längen reichen bei den 8,5 mm Nägeln von 260 mm bis 400 mm, bei den übrigen von 300 mm in 20 mm Schritten bis 500 mm. Die Platzierung und Verriegelungstechnik unterscheidet sich nicht von den zuvor genannten Nägeln. Für die proximale Verriegelung wird ein Zielbügel verwendet. Für die distale Verriegelung wird die Freihandtechnik empfohlen.

Für die retrograde Einbringtechnik am Femur werden die so genannten Knee-Nails verwendet. Man unterscheidet hier kurze von langen Nägeln. Die kurzen Nägel haben einen Durchmesser 11,5 mm und 13 mm und sind in drei Längen verfügbar (15, 20 und 25 mm). Sie werden zur Stabilisierung von supra- oder percondylärer Femurfrakturen oder zur Arthrodesen des Kniegelenkes verwendet.

Die langen Knee-Nails im Durchmesser von 10 mm, 11,5 mm und 13 mm sind zur Versorgung von Femurfrakturen abwärts des subtrochantären Femurs gedacht und werden retrograd mit einem Zielbügel und Führungsdraht eingebracht. Für die Verriegelung fern des Zielbügels wird die Freihandtechnik empfohlen [79].

Retrogrades Nagelsystem, Smith & Nephew

Unabhängig des oben genannten TriGen™ Systems bietet die Firma Smith & Nephew ein separates retrogrades Nagelsystem für die Versorgung von distalen Femurschaftfrakturen an. Ein kurzer und langer Nageltyp werden hier ebenfalls angeboten. Platzierung und Verriegelung erfolgen analog des TriGen™ Systems [79].

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 Verriegelungsnagel wird antegrad eingebracht und deckt mit seiner Indikationsbreite subtrochantäre bis supracondyläre Femurfrakturen ab.

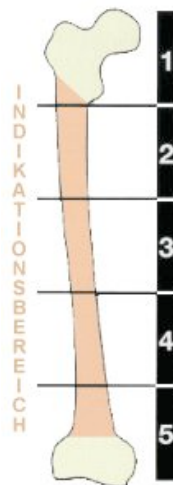


Abb. 30: Indikationsbereich des Targon F [7]

2 Einleitung

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, die durch einen Drainageeffekt den intramedullären Druck entlasten sollen. Er ist zur Anwendung bei schwer polytraumatisierter Patienten gedacht [7].

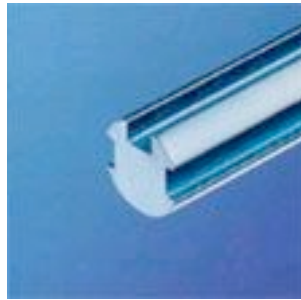


Abb. 31: Profil des Targon Solid Femur Nail [7]

Targon RF Retrograder Femurnagel, Aesculap

Die Indikationen für den Einsatz des Targon RF sind A und C Frakturen des distalen Femurs und des Femurschaftes, Korrekturosteotomien und die Behandlung von Pseudarthrosen. Sein Durchmesser beträgt 10 mm, 11 mm oder 12 mm. Seine Längen 160 mm bis 440 mm. Der Nagel ist mit Nuten versehen und der physiologischen Antekurvation angepasst. Die proximale Verriegelung erfolgt über einen Zielbügel. Ab einer Nagellänge von >300 mm wird jedoch die Freihandtechnik empfohlen [8].

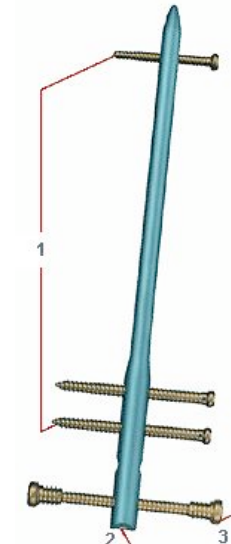


Abb. 32: Targon RF [8]

2 Einleitung

2.6 Verriegelungstechniken

2.6.1 Die Verriegelung in „Freihandtechnik“

Die Freihandtechnik zur Verriegelung distal des Nageleintrittspunktes wird bei den gängigen Nagelsystemen ab einer Nagellänge > 250 mm empfohlen [7,8,13, 14,15,79,85,86,87,91,92,93,94]. Nähere Auskunft hierzu gibt die Tabelle 12.

Tab. 12: Verriegelung distal des Nageleintritts in Abhängigkeit der Nagellänge

Hersteller und Modell	Verwendung eines Zielbügels zur Verriegelung fern des Nageleintritts	Empfohlene Freihandtechnik ab einer Nagellänge
Depuy		
ACE AIM Femur	nicht vorgesehen	> 300 mm
ACE AIM Supracondylär	max. bis 250 mm	nicht vorgesehen
ACE Retrograde Trauma	nicht vorgesehen	> 320 mm
Synthes		
DAD	Anwendung empfohlen	nicht vorgesehen
AFN	nicht vorgesehen	> 300 mm
DFN	max. bis 240 mm	> 300 mm
UFN & CFN	nicht vorgesehen	> 300 mm
Stryker		
T2 Femur	nicht vorgesehen	> 140 mm
T2 Recon	nicht vorgesehen	> 340 mm
T2 Supracondylär	max. bis 200 mm	> 260 mm
Smith & Nephew		
TriGen FAN-Nail	nicht vorgesehen	> 260 mm
TriGen Knee-Nail	max. bis 250 mm	> 260 mm
Aesculap		
Targon	nicht vorgesehen	> 300 mm

Bei der Freihandtechnik werden unter zu Hilfenahme eines mobilen Röntgengerätes/Bildwandlers die distalen Löcher des Verriegelungsnagels lokalisiert. Mittels eines röntgen-durchlässigen Winkelgetriebes, einem K-Draht oder einem Bohrer erfolgt unter Durchleuchtung das zentrale Platzieren des Bohrers/K-Drahtes. Nach der zentralen und orthograden Ausrichtung kann das Verriegelungsloch gebohrt werden [36].

Friedl und MacMillian benutzten einen K-Draht zum Auffinden der distalen Löcher, wobei Friedl zur Minderung der Strahlenbelastung an der Hand des Operators eine Kocher-Klemme als Distanzhalter empfiehlt und MacMillian eine strahlendurchlässige Kunststoffhalterung für den K-Draht verwendet [17, 54].

Hudson beschreibt ein Zielgerät, welches mittels Durchleuchtung einen Tunnelblick durch ein Hülsensystem zum Zielen verwendet. Der wesentliche Unterschied zur Entwicklung von Friedl bzw. MacMillian lag hier in einem Distanzgewinn der Hand des Operators zur Strahlenquelle. Eine wesentliche Reduktion der Durchleuchtungszeit wird mit diesem System nur marginal erreicht. In der Zeit von 1987 bis 1998 hat sich die durchschnittliche Durchleuchtungszeit bei der Freihandtechnik nur unwesentlich verkürzt. Sie liegt weiterhin bei etwa vier bis fünf Minuten [61, 75].

Rao verwendet zum Zielen einen zweiten Nagel, den er, seitlich in den Strahlengang gehalten, deckungsgleich mit dem implantierten Nagel bringt. Das zuerst angebrachte distale Bohrloch dient dann zusammen mit dem belassenen Bohrer als Drehpunkt für den zweiten Nagel zum Auffinden der nächsten Bohrungsstelle. Hierbei kann lediglich die Distanz der beiden distalen Löcher zueinander genutzt werden [66].

Pennig entwickelte ein Zielgerät zur Freihandtechnik das ebenfalls einen Tunnelblick im Strahlengang verwendet. Zwei Metallringe übereinander in einem festen strahlendurchlässigen Kunststoffverbund müssen mittels Bildwandler in Deckung gebracht werden. Ein zentral angebrachtes Loch im Zielgerät ermöglicht das Einbringen eines K-Drahtes oder Bohrers. Stehen die zwei Metallringe des Zielgerätes exakt übereinander im Strahlengang, und stellt sich das Loch des Nagels kreisrund innerhalb der zwei Metallringe dar, so ist eine orthograde Ausrichtung erfolgt [65].

2 Einleitung

Reynders kombinierte die Technik von Rao und Pennig in einem eigens entwickelten Zielgerät [68].

Soyka entwickelte ein Zielgerät für die Tibia, welches proximal über ein Bügelsystem montiert wird und nutzt zum Zielen das gleiche o.g. Prinzip. Es gestattet dem Nagel lediglich ein Abweichen in der Sagitalebene [81].

Mahaisavariya verwendet nach gleichem Prinzip Bestandteile des AO-Fixateur externe zum Zielen nach dem Tunnelprinzip [55].

Das Winkelgetriebe Mark II der Firma Synthes vereinigt eine Reihe der zuvor genannten Ideen und ermöglicht eine schnelle und präzise Bohrung, da der Bohrer am Zielgerät montiert ist. Die Bohrung kann so mit zwei Händen durchgeführt werden, was die Präzision beim Bohren erhöht.

2.6.2 Das Laserzielgerät

Stedtfeld et al. entwickelten ein Laserzielgerät welches an einem Bildwandler montiert, ein Fadenkreuz auf der Beinoberfläche erzeugt. In Kombination mit einem eigens dafür entwickelten Instrumentarium nutzt dieses System nach erfolgreicher Platzierung des Fadenkreuzes mittels des Bildwandlers das Laserlicht für das weitere Procedere der Verriegelung. Der vergleichsweise hohe technische Aufwand brachte eine Reduktion der Strahlenbelastung in signifikanter Weise [17, 82].

2.6.3 Die Navigation

Die Entwicklung moderner Rechnergenerationen und Computeranwendungen lassen in der Medizin immer neue Möglichkeiten der Diagnostik und Therapie entstehen. Immer schneller durchführbare mathematische Prozesse erlauben die Anwendung komplexer Rechenoperationen, die die Grundlage aufwendiger graphischer Darstellungen und ihrer Anwendungen sind [11]. Neben der reinen Bildgebung erfolgt zunehmend die Nutzung der Rechenkapazitäten zur Durchführung von Robotik und Real-Time Navigation in der invasiven Medizin [6, 11, 19].

Die distal navigierte Verriegelung erfordert zunächst eine Bildgebung mittels eines mobilen Bildwandlers. Feste Referenzpunkte in situ werden über eine 3-D Kamera mittels LED-Dioden aufgenommen. Die variablen Positionen der stereotaktischen Instrumente im Raum werden ebenfalls über LED-Dioden von der 3-D Kamera registriert. Der Computer ermittelt dann durch eine entsprechende Anwendungssoftware die ideale Position für die Instrumente, in diesem Fall eine Bohrmaschine, in Echtzeit ohne weitere Durchleuchtung [11, 19, 26, 27, 33, 76, 89, 90, 97].

2.6.4 Die intramedulläre Querbohrung

Techniken zum Anbringen einer Bohrung aus dem Nagelinneren mittels flexibler Wellen wurden zwar beschrieben und versucht, jedoch konnte eine Praxisreife bisher nicht erreicht werden, da technische Schwierigkeiten diese verhinderten. Vor allem die Enge des Markraums waren hierbei limitierende Faktoren [95].

2.6.5 Das röntgenfreie AO-Zielgerät (DAD)

Ein entscheidender Fortschritt in der Weiterentwicklung der Zielgeräte wurde mit dem röntgenfreien AO-Zielgerät vollzogen. Mit dem DAD (Distal Aiming Device) wird erstmalig weitestgehend eine Durchleuchtung und somit auch Strahlenbelastung beim Zielvorgang vermieden. Über das proximal befestigte Zielgerät wird die exakte Länge und Biegung des antegrad eingebrachten Nagels festgestellt. In Höhe der distalen Verriegelung wird über ein ventrales 6 mm Loch im Femur der direkte Kontakt vom DAD zum distalen Ende des Nagels hergestellt und somit die Position des Nagels in der Sagittalebene ermittelt. Nach Ausrichten des DAD kann die Verriegelung röntgenfrei erfolgen [38, 39, 40, 42, 43, 45]. Die Anwendung des DAD reduziert neben der benötigten Operationszeit auch die Durchleuchtungszeit signifikant [64].

2.7 Problematik der Verriegelungstechnik

Die Vorteile der Verriegelungsmarknagelung sind heute unbestritten. Die Indikationen wurden in den letzten zehn Jahren zunehmend erweitert. Zu denken ist hier vor allem an die Versorgung distaler und supracondylärer Femurfrakturen, die mit einem retrograd platzierten Verriegelungsnagel versorgt werden können.

Gerade die so genannten „kurzen“ Nagelsysteme für das proximale und distale Femur sind durch ein aufsetzbares Zielinstrumentarium einfach in der Handhabung und werfen in der Regel keine Probleme bei der Verriegelung auf. Die distale Verriegelung, oder vielmehr die am Nagelende liegende Verriegelung der „kurzen“ Nagelsysteme gelingt ebenfalls problemlos über den vorhandenen Zielbügel. Dies resultiert aus der fehlenden Verformung des Nagels beim Platzieren im Markraum.

Längere Nagelsysteme, die überwiegend der Versorgung diaphysärer Frakturen im Femur und in der Tibia dienen, weisen die problemlose distale Verriegelung nicht mehr auf. Die physiologische Variantenvielfalt, vor allem in Bezug auf die Antekurvatur, macht es unmöglich ein stabiles Implantat für alle möglichen Femurformen in einer absoluten Passgenauigkeit bereitzustellen [104]. Es resultiert daher beim Einbringen eines langen Nagels vor allem am Femur, nahezu immer eine Verbiegung des Nagels. Diese Verbiegungen können, wie in einer experimentellen Studie an der Tibia gezeigt wurde, in der Frontalebene bis zu 14,3 mm, in der Sagittalebene bis zu 19,2 mm betragen. Erschwerend kommt bei geschlitzten Nägeln noch die Möglichkeit der Torsion zum Tragen. Eine exakte Platzierung der distalen Verriegelungsbolzen über ein starres, proximal aufgesetztes Zielgerät ist somit nicht mehr sicher durchführbar [41, 44, 46].

Denkbare Folgen einer versuchten distalen Verriegelung über ein starres Zielgerät wären Fehlbohrungen, Metallabrieb am Nagel, Beschädigung des Nagels und der Verriegelungsbolzen bis hin zum Bruch der verwendeten Bohrer. Fehlerhafte Gewinde der Verriegelungsbolzen wiederum könnten zum vorzeitigen Auslockern und/oder fehlerhaften Verankerung in der Kortikalis führen.

3.1 Studiendesign

Das von Prof. Schöttle entwickelte neue mechanische Zielgerät wurde den oben genannten Kriterien zur Durchführbarkeit unterworfen. Dabei stand zunächst die vollständig röntgenfreie Verriegelung im Vordergrund. Der experimentelle Teil erfolgte im Jahre 2000/2001 in der pathologischen Abteilung des Nordwestkrankenhauses in Frankfurt am Main. Die Untersuchungen wurden an zehn humanen Femura in fünf skelettgesunden, post mortem Ganzkörperpräparaten durchgeführt. Das durchschnittliche Sterbealter betrug 79,8 Jahre $\pm$ 6,5 Jahre (Standardabweichung) und die Altersverteilung 71 bis 89 Jahre.

Eine Knochendichtemessung wurde im Vorfeld nicht durchgeführt.

In allen Fällen wurde eine Osteotomie zur Sicherung der erfolgreichen Verriegelung durchgeführt, da kein Röntgen-Bildverstärker zur Verfügung stand.

Alle Eingriffe wurden von einem vollkommen unerfahrenen Operateur unter Anleitung eines erfahrenen Unfallchirurgen auf einem Sektionstisch der pathologischen Abteilung durchgeführt. Zur Lagerung und Assistenz stand ein Sektionsassistent zu Verfügung.

Neben einem Knochen-Grundsieb wurde das unten genannte Nagelsystem der Firma Depuy, eine Akkubohr- und Schraubmaschine, sowie das eigens entwickelte Zielsystem verwendet.

3.2 Randomisierung

Die 5 Präparate wurden nach dem Zufallsprinzip ausgewählt. Die Verriegelungsnagelung wurde jeweils an beiden Seiten durchgeführt, wobei zuerst die rechte und anschließend die linke Seite versorgt wurde. In keinem der Fälle musste auf Grund einer einliegenden Endoprothese die Versorgung ausgesetzt werden.

3.3 Operationstechnik

3.3.1 Das Operationsverfahren des ACE AIM Femur Nagelsystem

Verwendet wurden handelsübliche Femurmarknägel der Firma DePuy aus dem ACE AIM®-Femurnagelsystem.

Es kamen vier Nägel mit der Länge 360 mm, vier Nägel mit der Länge 380 mm und zwei Nägel mit der Länge 400 mm zum Einsatz. Alle Nägel hatten einen Durchmesser von 9 mm und waren der physiologischen Krümmung des Femurs angepasst.

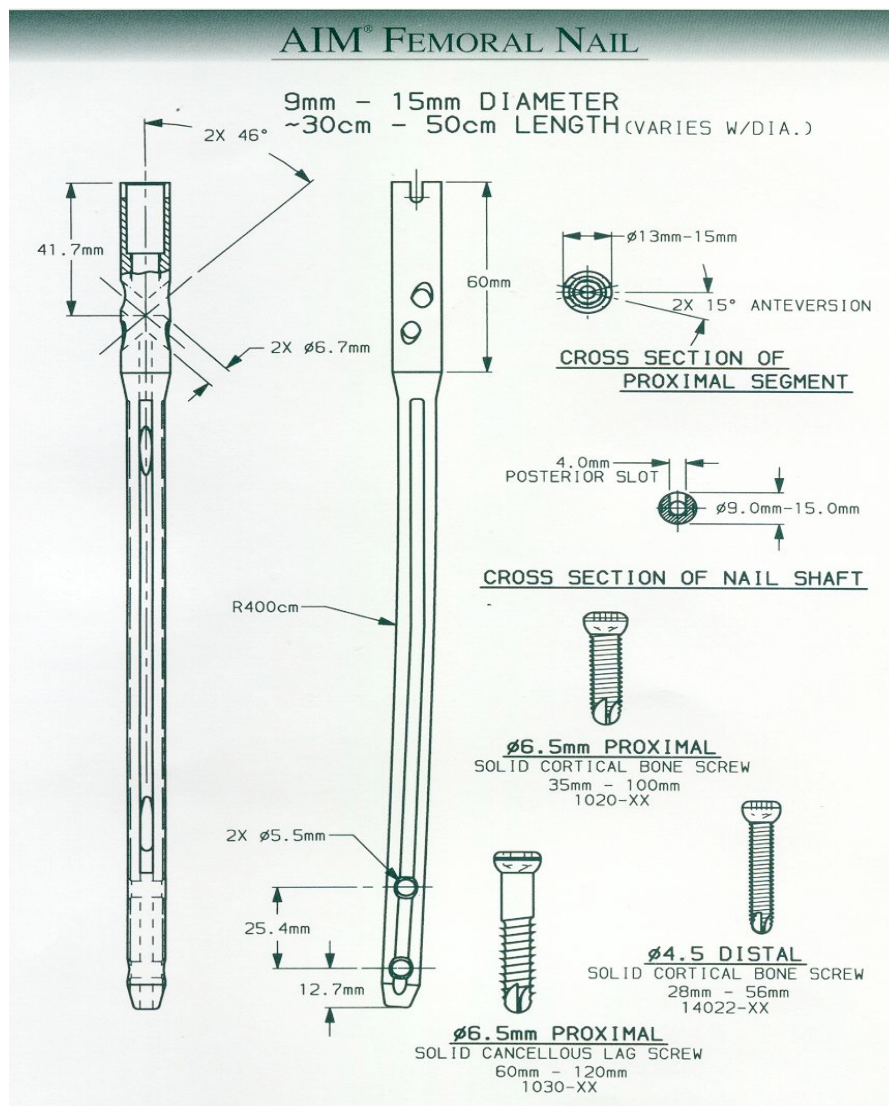


Abb. 33: DePuy, Materialblatt des ACE AIM-Femur Nagelsystems [13]

3 Material und Methode

Der operative Zugang zum Femur erfolgte nach Weichteilpräparation. Der Nageleintrittspunkt lag dorsal der Fossa piriformis in der Verlängerung der Femurlängsachse. Anschließend erfolgte die Markraumeröffnung mit einem Pfriem oder einem Stufenbohrer über einen Führungsdraht.

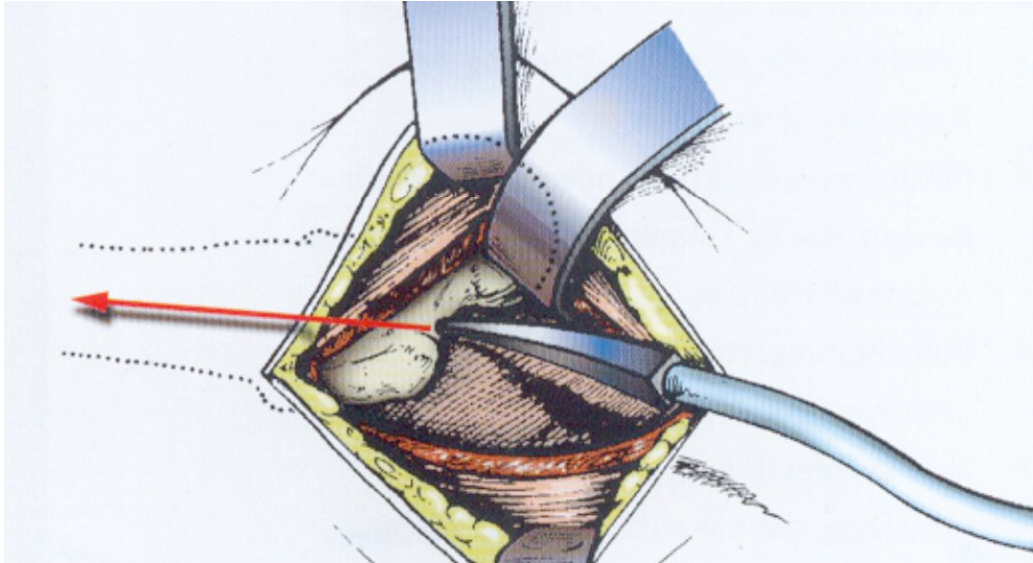


Abb. 34: Zugang zum proximalen Femur nach Weichteilpräparation [13]

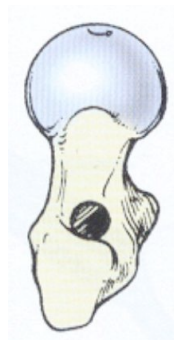


Abb. 35: Nageleintrittspunkt am proximalen Femur [13]

Für eine Frakturposition stand ein Führungsdraht zum Auffädeln der Fragmente zur Verfügung. Über den liegenden Führungsdraht konnte aufgebohrt.

3 Material und Methode

Nagel, Zielbügel und Schlitzhammer zur proximalen Verriegelung bilden eine Einheit und werden vor der Nagelinsertion montiert. Mit Hammerschlägen wurde der Nagel über den einliegenden Führungsdraht geschoben. Das Nagelende sollte etwa 5 mm proximal überstehen.

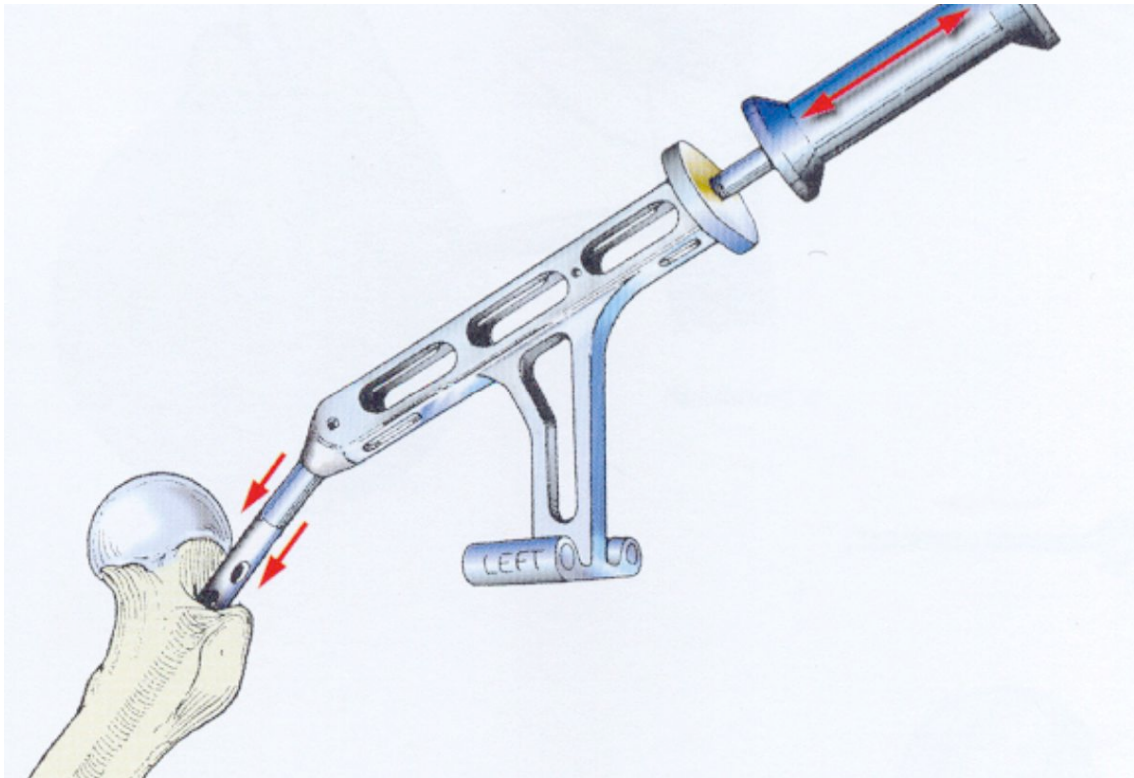


Abb. 36: Montierte Einheit aus Nagel, proximalem Zielbügel und Schlitzhammer
[13]

3.3.2 Modifikationen des Nagelsystems

3.3.2.1 Das Retrograde Zielgerät (nach Prof. Schöttle)

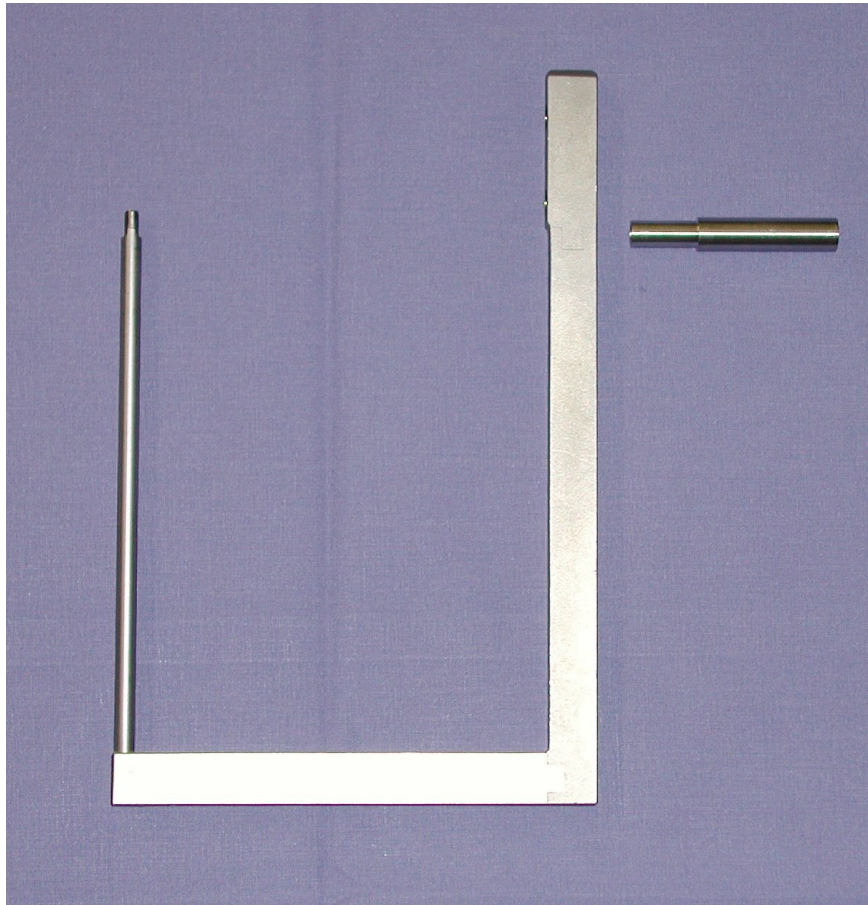


Abb. 37: Zielgerät nach Prof. Schöttle mit Hülse

Das Zielgerät besteht aus einem Rohranteil (links im Bild), der das Verbindungsstück zum Marknagel darstellt und aus dem kantigen Zielbügel (unten und rechts im Bild). Beide Anteile des Zielgerätes sind fest verbunden und stellen eine Einheit dar. Eine Demontage der beiden Anteile ist nicht vorgesehen. Der runde Stabanteil, welcher intramedullär liegt, ist 160 mm lang. Die Breite des Zielbügels beträgt 140 mm und die Länge des Zielbügels 220 mm.

3 Material und Methode

Die verwendete Dicke des Bügels beträgt 15 mm, bzw. 10 mm.

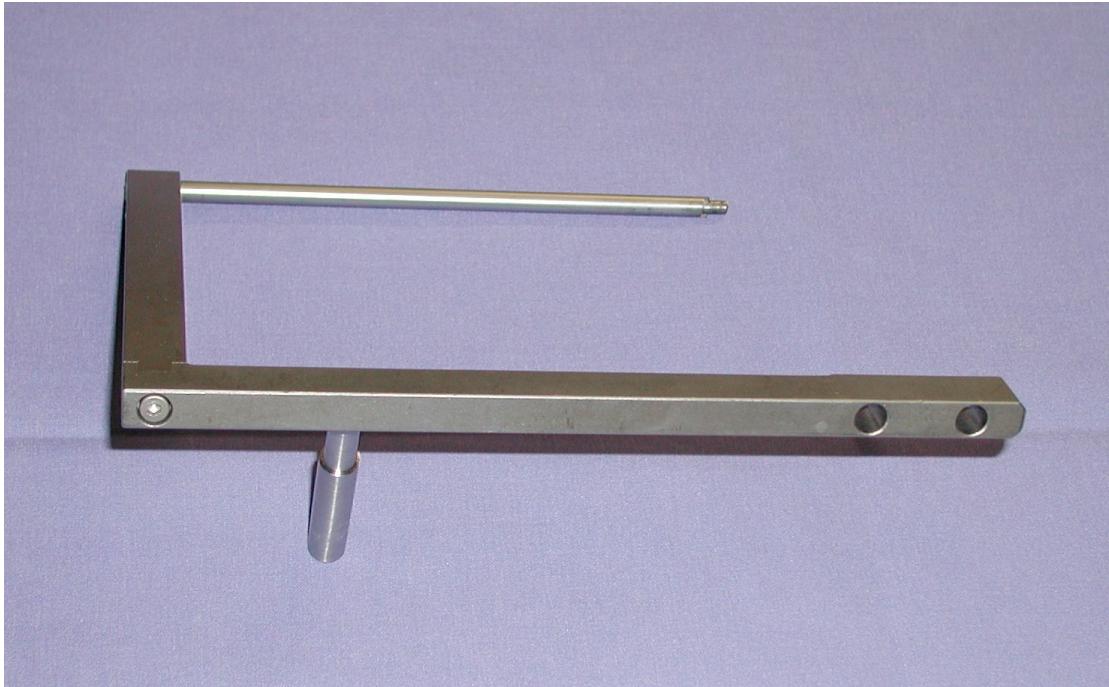


Abb. 38: Zielgerät nach Prof. Schöttle mit Hülse in der Seitenansicht

Seitlich des Zielbügels sind zwei Bohrlöcher angebracht, die zur Aufnahme einer Reduzierhülse dienen. Die beiden Bohrlöcher kommen bei exakter Platzierung des Zielgerätes am Marknagel orthograd mit den distalen Verriegelungslöchern des ACE AIM Titannagels der Firma Depuy zur Deckung.

3.3.2.2 Die Nagelmodifikation

Um das Retrograde Zielgerät mit dem distalen Ende eines handelsüblichen Nagels zu konektieren, wurden die Nägel der Versuchsreihe mit einer Nut versehen. Durch diese Nut kann eine exakte Positionierung des retrograden Zielgerätes erfolgen. Bei korrekter Platzierung entsteht somit ein rotationsstabiler Sitz des Zielgerätes auf dem Nagel.

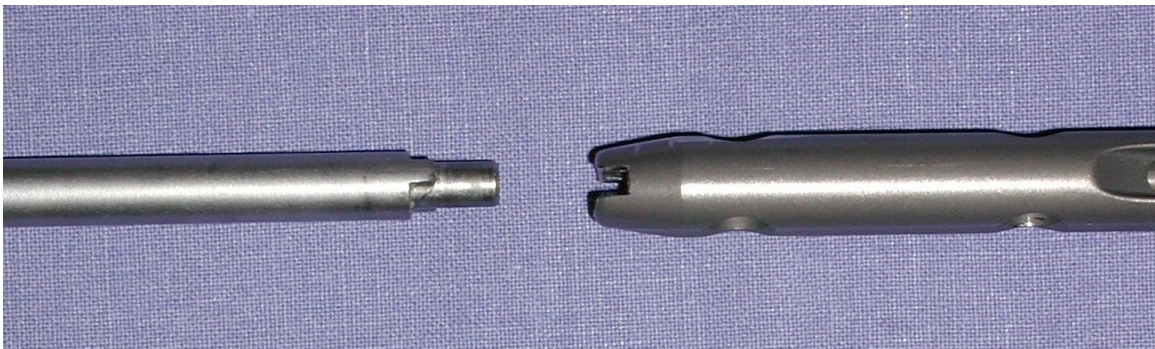


Abb. 39: Ansatz des Retrograden Zielgerätes (links) und modifiziertes distales Nagelende mit Nut (rechts)

3.3.2.3 Der Führungsdraht

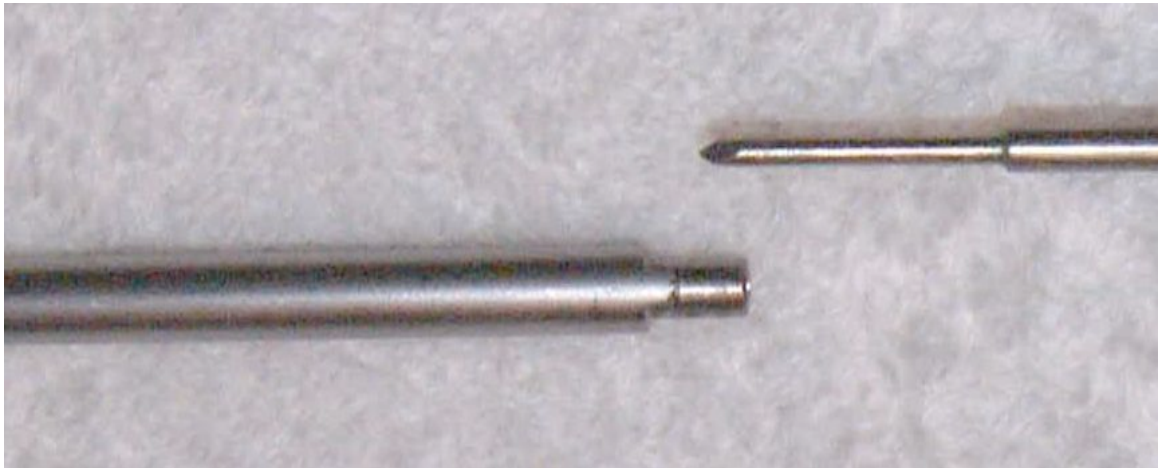


Abb. 40: Ansatz des Retrograden Zielgerätes (links) und distales Ende des Führungsdrahtes (rechts)

Das distale Ende des Femurnagels kommt nach Implantation intramedullär im distalen Femur zum liegen. Um das Zielgerät mit dem Nagel zu verbinden, bedarf es einer Führung. Wir haben daher einen spitzen Führungsdraht entwickelt, der eine Gesamtlänge von 950 mm hat. Der Durchmesser des Drahtes (3,1 mm) entspricht in etwa dem Innendurchmesser des distalen Nagelendes (4 mm). An einem Ende des Führungsdrahtes haben wir den Durchmesser auf einer Länge von 50 mm auf 2 mm reduziert. Dieser 2 mm dicke Abschnitt des Führungsdrahtes passt exakt in das Ansatzstück (Rohr) des Zielgerätes.

3 Material und Methode



Abb. 41: Einheit Nagel, Führungsdraht und Zielgerät

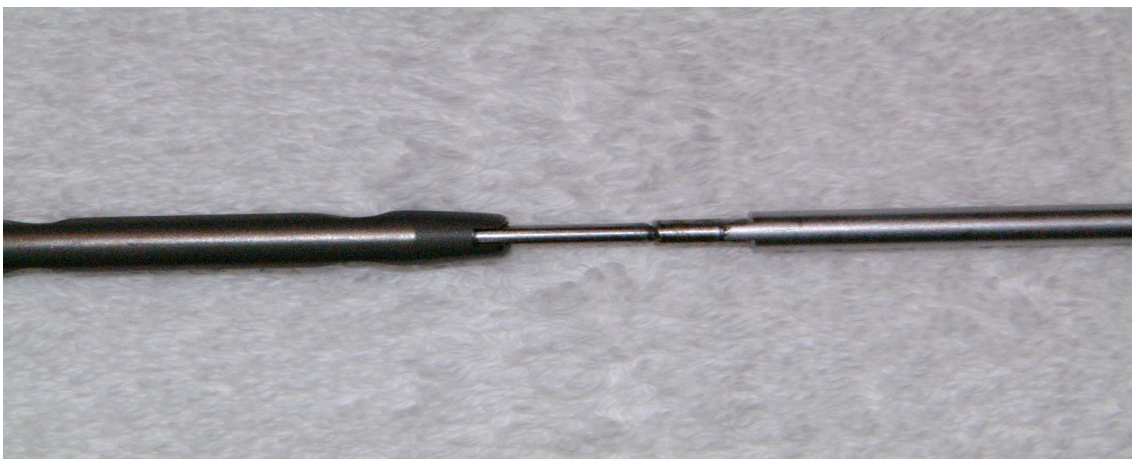


Abb. 42: Komplette auf das Zielgerät aufgeschobener Führungsdraht

In den Abbildungen 41 und 42 wird schematisch das Auffädeln des Führungsdrahtes auf das Zielgerät dargestellt.

3.3.2.4 Die Reduzierhülsen

Reduzierhülse zur Führung des 3,8 mm Bohrers

Zur distalen Verriegelung der ACE AIM Titan-Femurmarknägel werden bei den 9, 10, 11 und 12 mm dicken Nägeln 4,5 mm Kortikalisschrauben verwendet. Hierfür muss mit einem 3,8 mm Bohrer aufgebohrt werden. Für die 13, 14 und 15 mm dicken Nägel erfolgt die distale Verriegelung mittels 6,5 mm Kortikalisschrauben. Hierzu muss mit einem 5,3 mm Bohrer gebohrt werden [13].

Zur exakten Führung der 3,8 mm und 5,3 mm Bohrer wurde eine aufsteckbare Bohrhülse hergestellt. Diese Hülsen sind 60 mm lang und gewährleisten ein exakt orthogrades Bohren der distalen Verriegelungslöcher. Sie werden passgenau auf das Zielgerät aufgesteckt.



Abb. 43: Aufsteckbare Bohrhülse

3 Material und Methode

3.3.2.5 Der kanülierte 6 mm Bohrer

Um das Retrograde Zielgeräte in den Markraum des Femurs einzuführen, bedarf es der retrograden Aufbohrung mit einem kanülierten 6mm Bohrer. Der kanülierte Bohrer wird, wie das Zielgerät über den Führungsdraht in den Markraum geleitet.

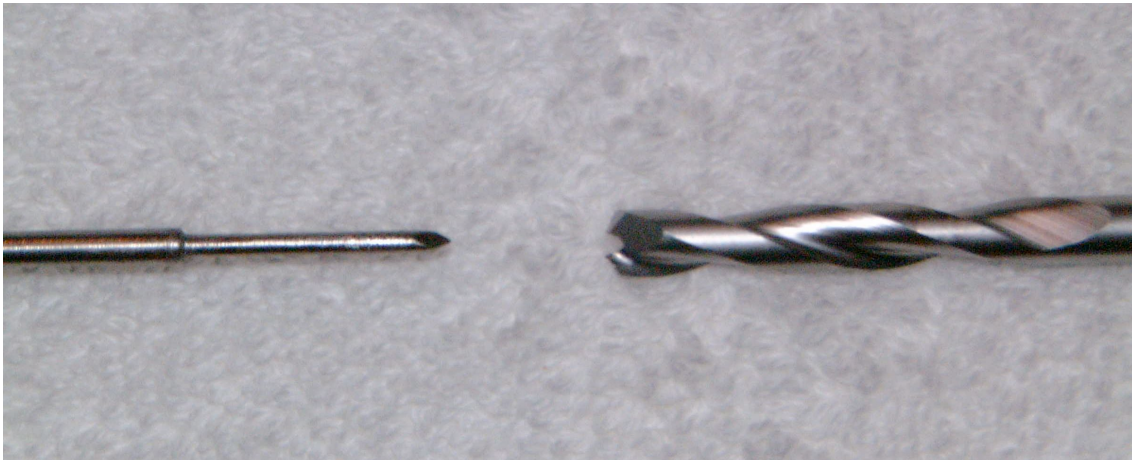


Abb. 44: 2 mm dickes Ende des Führungsdrahtes (Links) und kanülierter 6 mm Bohrer (rechts)

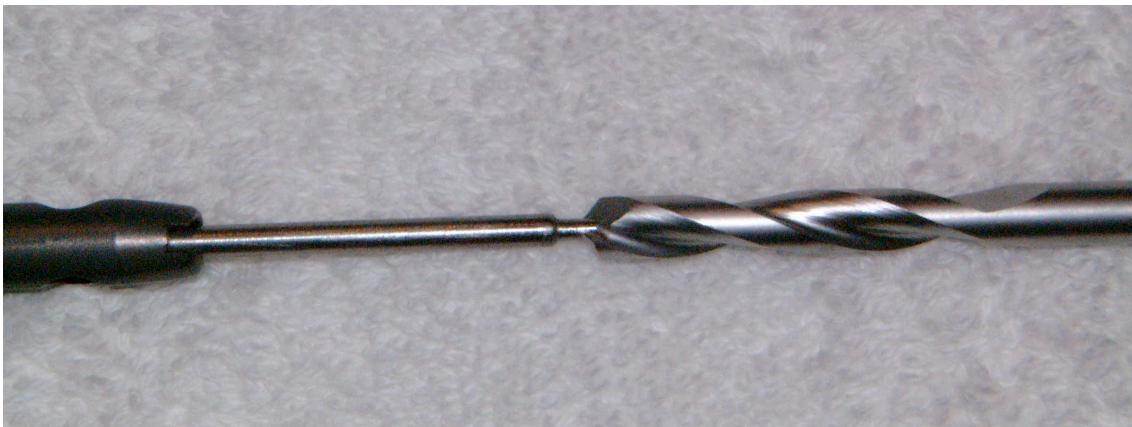


Abb. 45: Schematische Darstellung des Nagel-Draht-Bohrer-Verbundes

3.3.3 Versuchsablauf

In Rückenlage erfolgte zunächst die Implantation des Nagels gemäß der OP-Anleitung des Herstellers. Die proximale Verriegelung wurde nach stattgehabter distaler Verriegelung durchgeführt.

Das retrograde Zielgerät macht es erforderlich, dass die proximale Verriegelung erst nach stattgehabter distaler Verriegelung erfolgen kann, da der Führungsdraht bei liegender proximaler Verriegelung nicht mehr vorgeschoben werden kann.

Der Führungsdraht wird mit seinem auf 2 mm verjüngtem Ende von proximal durch den Nagel hindurch bis zum distalen Ende des Femurs vorgeschoben. Anschließend erfolgt das Einspannen des proximalen Endes in ein Bohrfutter. Der Führungsdraht kann nun aufgrund seiner scharfen Spitze problemlos nach distal vorangetrieben werden. Hat der Führungsdraht das distale Ende des Femurs verlassen, so wird durch eine Flexion des Kniegelenkes von 40° bis 50° eine Verletzung der retropatellaren Gleitfläche oder des Tibiaplateaus vermieden. Der Führungsdraht verlässt dann transartikulär das Kniegelenk.

Sobald der Führungsdrahtes das Hautniveau erreicht hat, wird über eine Stichinzision der Zugang zum Kniegelenk erreicht. Am 2 mm dicken Ende des Führungsdrahtes wird der kanülierte 6 mm Bohrer angebracht. Es erfolgt nun das retrograde Aufbohren, bis zum Erreichen des Nagels. Das Zurückführen des Hohlbohrers erfolgt unter stetigem Vorschub des Führungsdrahtes, um sicher eine Via falsa zu vermeiden.

Nach erfolgter retrograder Aufbohrung wird der Bohrer unter Vorschub des Drahtes entfernt.

Das Retrograde Zielgerät kann nun mit dem 2 mm dicken Ende des Führungsdrahtes verbunden werden. Unter sanftem Druck lässt sich das Zielgerät auf den Nagel schieben. Unter Führung des Drahtes findet das Zielgerät den Anschluss an den Nagel.

Nach Arretierung der Zapfen des retrograden Zielgerätes im Nagel ist dieses rotationsstabil platziert. Man erkennt dies zweifelsfrei, wenn beim Drehen des Zielgerätes an einer Zwangsrotation des proximalen Instrumentariums.

3 Material und Methode

Der Führungsdraht muss nun für die Verriegelung entfernt werden. Die Bohrlöcher für die distale Verriegelung können dann problemlos und sicher nach Ausrichten des Nagels in der gewünschten Position, angebracht werden.

Die proximale Verriegelung erfolgt im Anschluss nach Einstellung der Rotations- und Längskomponente über das vorhandene proximale Zielgerät.



Abb.: 46: Darstellung des Zielgerätes in Situ mit Reduzierhülse und 3,8 mm Bohrer, sowie freigelegte distale Verriegelungszone



Abb.: 47: Darstellung des Zielgerätes in situ mit Reduzierhülse und 3,8 mm Bohrer, sowie freigelegte distale Verriegelungszone

3 Material und Methode

3.3.4 Dokumentation

Folgende Parameter wurden in ein standardisiertes Protokoll aufgenommen:

- Operationsablauf und erfolgreiche vollständig röntgenfreie Verriegelung
- Gesamtdauer der distalen Verriegelungszeit:
Gemessen wurde die Zeit, die notwendig ist um die distale Verriegelung mit dem Zielgerät nach Prof. Schöttle durchzuführen.
- Verletzung von relevanten Kniebinnenstrukturen
(Knorpel in der Belastungszone, Kreuzbänder)
- Technische Probleme, Komplikationen, Fehlbohrungen

Im Rahmen der postoperativen Kontrolle wurden alle distalen Verriegelungsbolzen freigelegt und eine Fotodokumentation durchgeführt.

4 Ergebnisse

Das Zielgerät ließ sich nach Anfertigung der retrograden Bohrung in allen Fällen gut und sicher platzieren. In keinem der zehn Fälle wurde ein Durchleuchtungsgerät zur Durchführung der Verriegelung benötigt.

In neun von zehn Fällen ließ sich die von uns angewandte Verriegelungstechnik, wie zuvor gefordert problemlos, röntgenfrei, präzise, zeitgerecht und sicher durchführen.

Tab. 13: Darstellung der Messwerte

Fall	Seite	Nagellänge	Dauer der Verriegelung in Sekunden	Erfolgreiche Verriegelung	Verletzung von Binnenstrukturen	Tech. Probleme
1	Rechts	360 mm	336	Ja	Nein	Nein
2	Links	360 mm	265	Ja	Nein	Nein
3	Rechts	360 mm	760	Nein	Ja	Via falsa
4	Links	360 mm	237	Ja	Nein	Nein
5	Rechts	380 mm	226	Ja	Nein	Nein
6	Links	380 mm	255	Ja	Nein	Nein
7	Rechts	380 mm	447	Ja	Nein	Nein
8	Links	380 mm	291	Ja	Nein	Nein
9	Rechts	400 mm	246	Ja	Nein	Nein
10	Links	400 mm	342	Ja	Nein	Nein
Mittelwert		340,5		Sekunden		
Standardabweichung		153,5		Sekunden		
Minimum		226		Sekunden		
Maximum		760		Sekunden		

4 Ergebnisse

4.1 Distale Verriegelungszeit

Der Zeitbedarf für die distale Verriegelung lag im Mittel bei 340 Sekunden (Mittelwert). Die Standardabweichung lag bei 153,48 Sekunden, wobei die kürzeste Zeit bei 226 Sekunden und die längste Zeit bei 760 Sekunden lag.

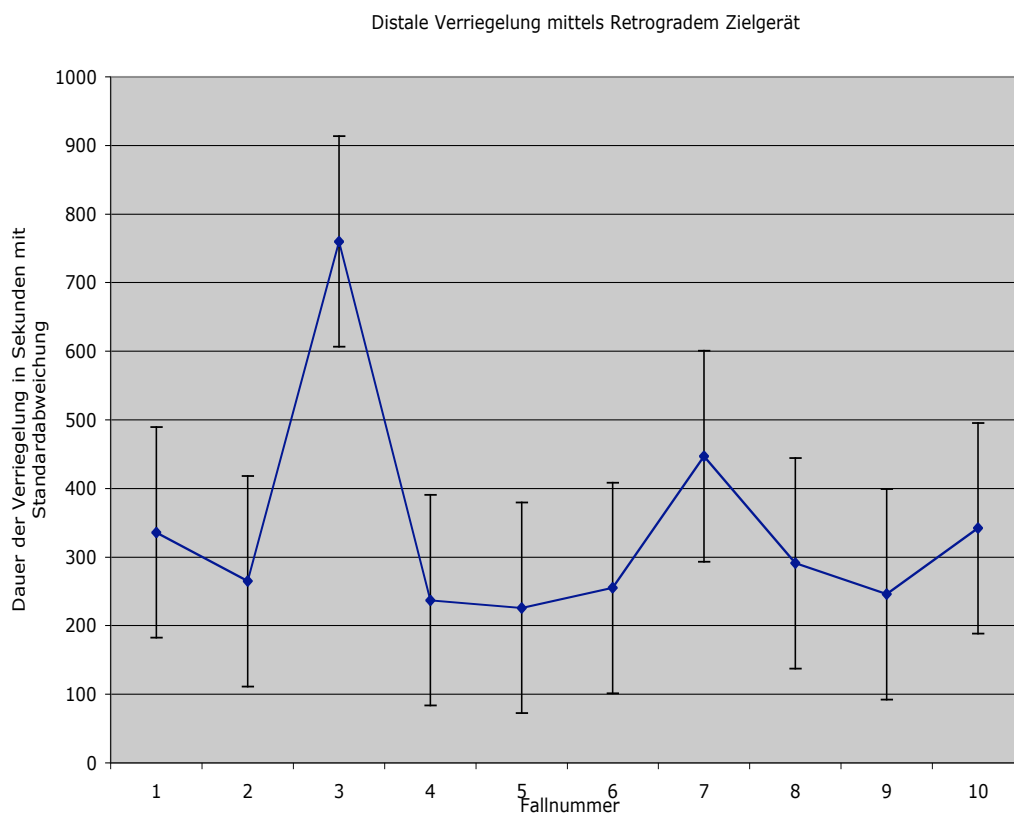


Abb. 48: Operationszeit für die distale Verriegelung mit Darstellung der Standardabweichung

4.2 Röntgendokumentation

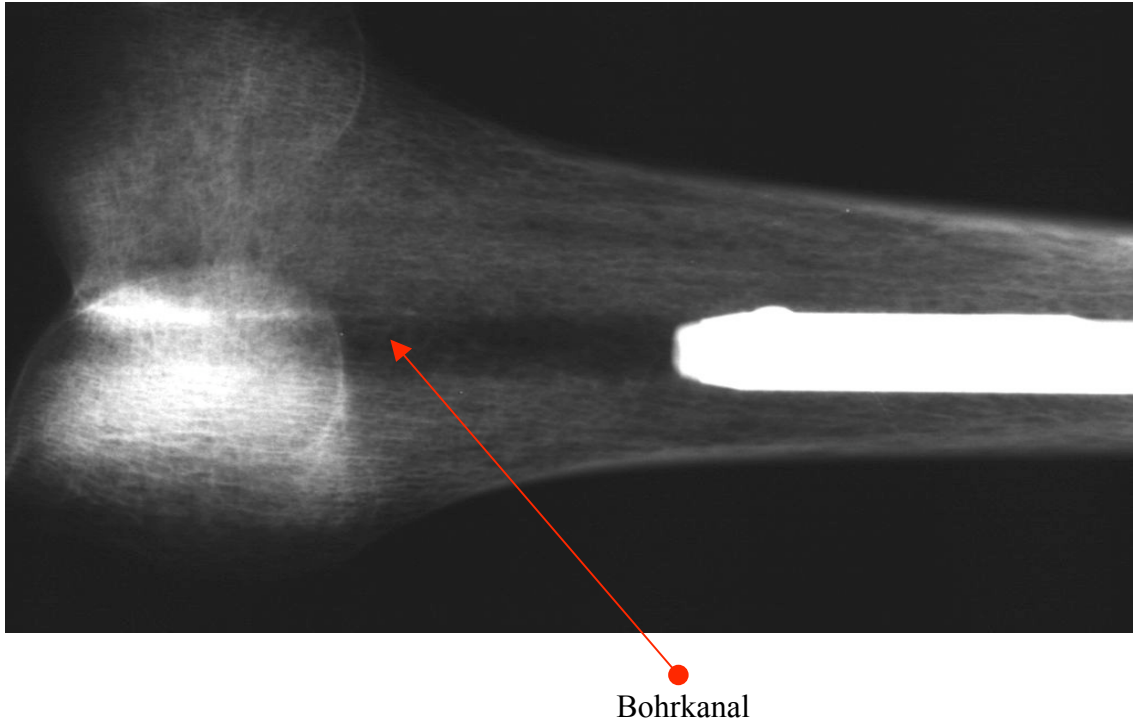


Abb. 49: Darstellung der distalen Verriegelungszone mit deutlich sichtbarem Bohrkanal zur Platzierung des Zielgerätes, Fallnummer Nr. 7

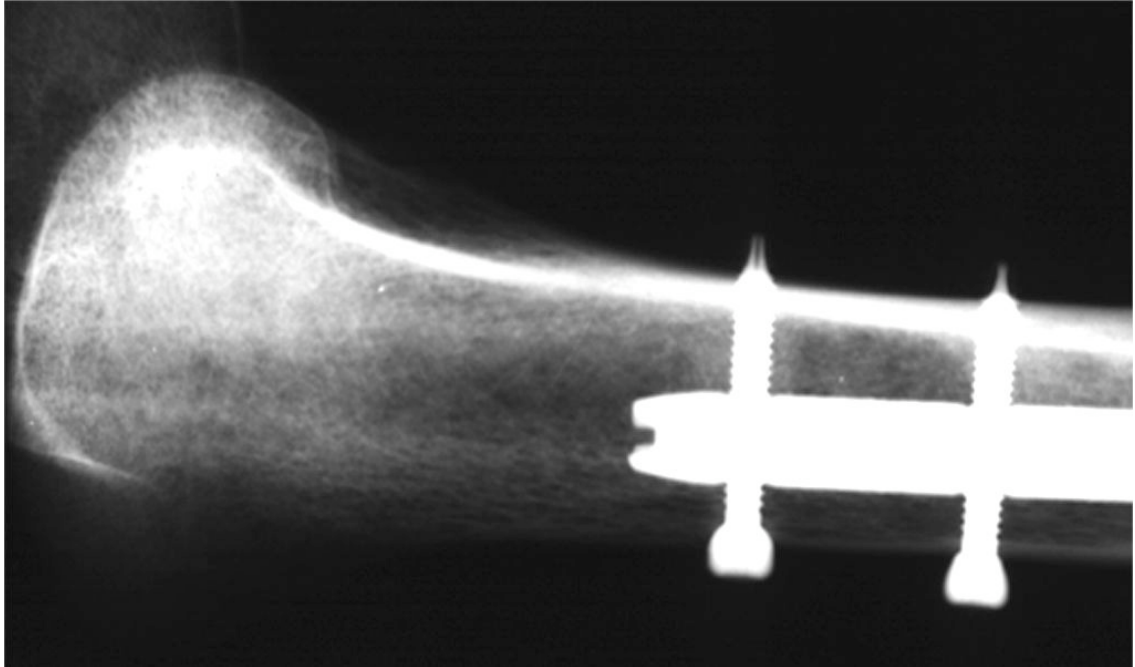


Abb. 50: Darstellung der distalen Verriegelungszone in der seitlichen Ansicht,
Fallnummer Nr. 7

4.3 Fotodokumentation



Abb. 51: Freigelegte distale Verriegelungszone nach erfolgreicher distaler Verriegelung mit sichtbarem Bohrkanal, Fallnummer Nr. 8

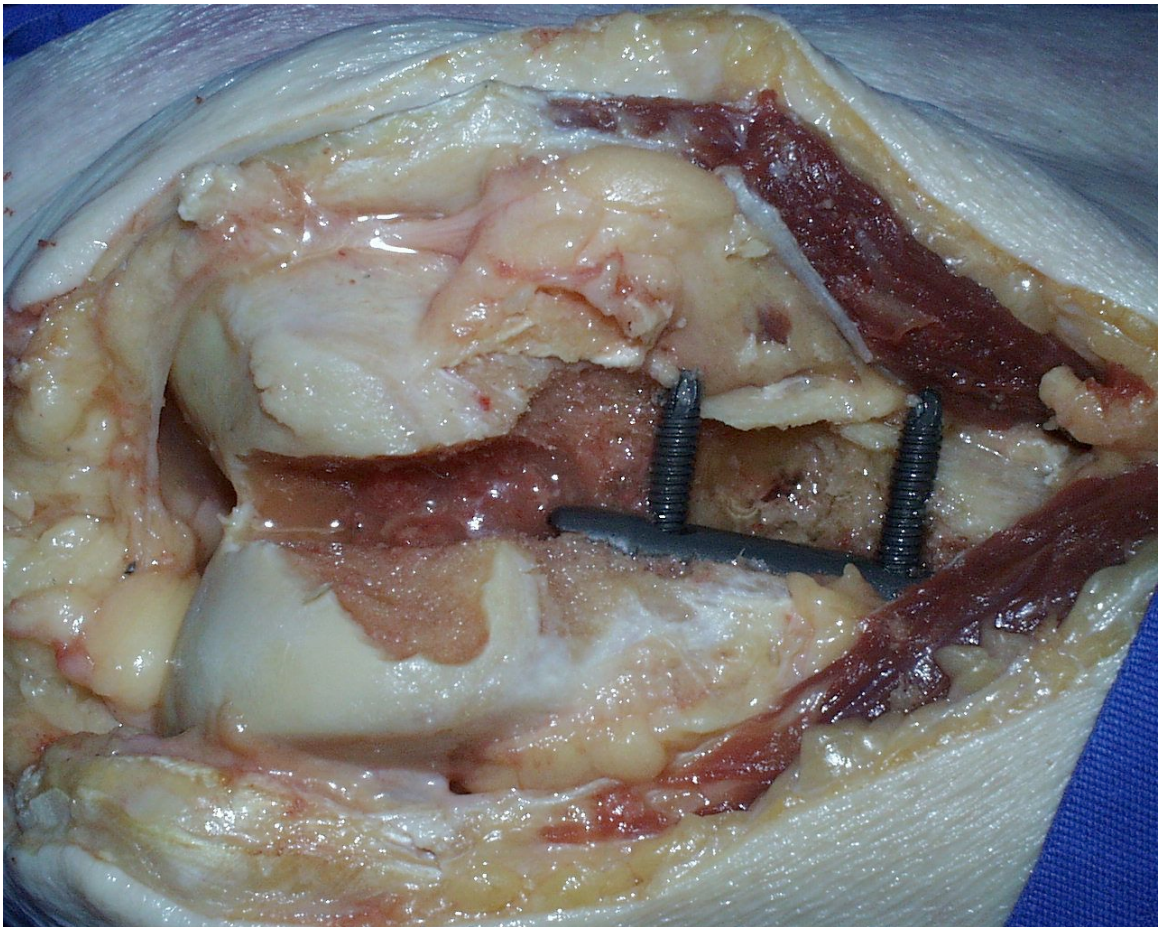


Abb. 52: Freigelegte distale Verriegelungszone nach erfolgreicher distaler Verriegelung mit sichtbarem Bohrkanal, Fallnummer Nr.8

4 Ergebnisse

4.4 Technische Probleme

Im Versuch Nummer 3 konnte die Verriegelung zunächst nicht durchgeführt werden, da ein verbogener Führungsdraht den Markraum im distalen Femur unkontrolliert verließ. Der Austrittspunkt des Führungsdrahtes lag hierbei an atypischer lateraler Stelle. Dies war möglich, da durch den Schlitz im Nagel eine exakte intramedulläre Führung nicht gewährleistet war. Nach Austausch des verbogenen Führungsdrahtes ließ sich auch diese Verriegelung durchführen.

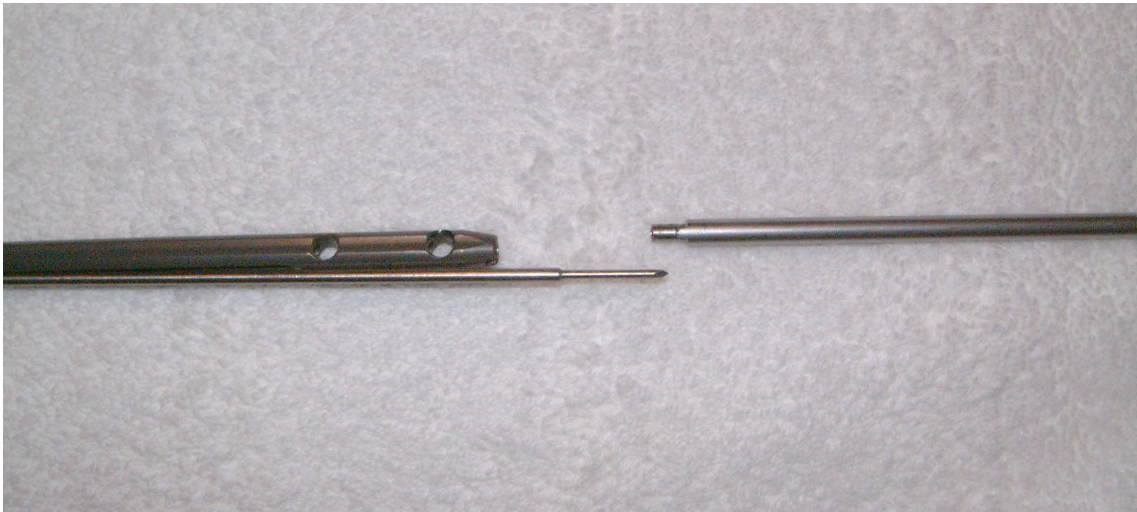


Abb. 53: Schematische Darstellung der Via falsa

Die Trefferrate der Verriegelungen in dieser Studie mit dem Zielgerät lag trotz der Probleme im dritten Versuch bei 100 %.

4 Ergebnisse

4.5 Schlussfolgerung

Das verwendete Zielgerät bietet folgende Vorteile gegenüber einer röntgengestützten Verriegelung:

- Vollständiger Verzicht auf einen Röntgenbildverstärker
- Reduktion der Gesamtdurchleuchtungszeit
- Kein erhöhter Zeitbedarf für die distale Verriegelung
- 100 % Trefferrate bei der Anwendung des Zielgerätes

Die Verwendung starrer Zielbügel am proximalen Ende von Femurmarknägeln führen nicht zum gewünschten Erfolg, da sie die insertionsbedingte Nagelverformung nicht berücksichtigen [4, 39, 40, 41, 44, 46, 70, 81].

Auch andere technische Entwicklungen unter Verwendung der Lasertechnik, Navigation oder Magnetfeld gestützter Ortung der distalen Verriegelungslöcher finden keine Anwendung in den Operationsempfehlungen großer Nagel-Hersteller [7, 8, 13, 14, 15, 79, 85, 86, 87, 91, 92, 93, 94].

Hierzu zählt auch die intramedulläre Querbohrung, die nicht in den Operationsempfehlungen verzeichnet ist [7, 8, 13, 14, 15, 79, 85, 86, 91, 92, 93, 94, 95]. Die Durchführung der Marknagelung von langen Röhrenknochen stellt heute sowohl in der antegraden als auch retrograden Technik ein gängiges operatives Verfahren dar. Unter Beachtung der Kontraindikationen zählt die Marknagelung zu den Standardtechniken in der Frakturversorgung langer Röhrenknochen. Die Indikationsgruppen reichen weit über die diaphysären Frakturen hinaus [10, 20, 25, 38, 45, 71, 74, 100, 101].

Im Rahmen dieser Arbeit galt es zunächst zu klären ob eine Verriegelungsmethode in dem von uns beschriebenen Verfahren grundsätzlich durchführbar ist. Zielpunkt war hier im Wesentlichen die erfolgreiche distale Verriegelung des anterograd eingebrachten Marknagels unter vollständigem Verzicht der Röntgentechnik.

Weiterhin beinhaltet die Aufgaben- und Fragestellung dieser Arbeit einen prospektiven, randomisierten Vergleich für die distale Verriegelung des aufgebohrten modifizieren Femurnagels der Firma Depuy. Dazu wurden die von uns benötigten Verriegelungszeiten mit den Angaben der Literatur verglichen.

Ebenfalls betrachtet wurde die Zugangsmorbidität durch Eröffnung des Kniegelenkes.

5.1 Durchführbarkeit

Von den zehn durchgeführten Operationen konnten alle Zehn erfolgreich über das neue Zielgerät distal verriegelt werden. In keinem der Fälle war die Benutzung eines Röntgenbildwandlers notwendig.

Krettek entwickelte 1998 ein Zielgerät zur distalen Verriegelung eines anterograd eingebrachten Femurmarknagels. Er konnte hiermit die Gesamt-Durchleuchtungszeit bei der antegraden Marknagelung signifikant durch die Anwendung seines Zielgerätes verringern. Krettek berücksichtigt mit seinem Zielgerät (DAD) die insertionsbedingte Nagelverformung und führt nach erfolgreicher Nagelplatzierung eine Kalibrierung des proximal montierten Zielgerätes für die distale Verriegelung durch. Er benötigt hierzu jedoch eine zusätzliche ventrale Bohrung im distalen Femur. Über dieses Bohrloch kann die Lageänderung des Nagels bestimmt werden und entsprechend der Zielbügel (DAD) neu positioniert werden. Die Funktionsfähigkeit dieses Zielgerätes wurde in mehreren Studien bewiesen [39, 40, 42, 43].

Friemert et al. beschreiben in ihrer Arbeit aus dem Jahre 2002 ein retrogrades Femurmarknagelsystem mit durchleuchtungsfreier proximaler Verriegelung. In dieser prospektiven Studie wurden im Zeitraum März 1999 bis Januar 2002 58 Femurfrakturen mit dieser neuen Methode versorgt. Das beschriebene Operationsprinzip entspricht unserer Technik aus dem Jahre 2000/2001, welches im Rendezvous-Verfahren neben dem vorhandenen Zielbügel am Nageleintrittspunkt einen weiteren Zielbügel am Nagelende platziert. In 58 Fällen konnte die Verriegelung mit dem neuen Verfahren erfolgreich durchgeführt werden [18].

5.2 Operationszeiten und Durchleuchtungszeiten

Krettek et al. beschreiben mit ihrem Zielgerät (DAD) ein Verfahren, das für die reine distale Verriegelung ohne Röntgenstrahlung auskommt. Es findet sich in der Literatur kein weiteres System, dass ohne Bildwandler die distale Verriegelung durchführen kann. Die Studie verglich an 20 humanen Ganzkörperpräparaten Operationsdauer, Dauer der Durchleuchtungszeiten und Präzision der Schraubenplatzierung mit dem durchleuchtungsfreiem mechanischen Zielgerät (DAD) und einer Freihandtechnik (strahlentransparentes Winkelgetriebe). Die Studie wurde im rechts-links Vergleich von einem lediglich in der Freihandtechnik erfahrenen Operateur durchgeführt. Die Gesamt-Operationszeit in der Zielgerät-Gruppe betrug im Durchschnitt 19,1 Minuten, wobei für die distale Verriegelung 6,6 Minuten benötigt wurden. Die Gesamt-Operationszeit in der Freihand-Gruppe betrug 20,9 Minuten, wobei 4,8 Minuten für die distale Verriegelung benötigt wurden. Die Durchleuchtungszeiten für die distale Verriegelung in der Zielgerät-Gruppe betrug null Sekunden und in der Freihand-Gruppe 37 Sekunden im Durchschnitt [42].

Kempf et al. beobachteten 452 Verriegelungsnagelungen bei Femurschaftfrakturen. Die hierfür benötigte Gesamt-Durchleuchtungsdauer betrug durchschnittlich 3,7 Minuten, wobei für die reine distale Verriegelung 1,1 Minuten in Anspruch genommen wurden [34].

Coetzee et al. geben in ihrer Arbeit über die Strahlenbelastung von Chirurgen für die Gesamt-Durchleuchtungszeit bei 15 Verriegelungsnagelungen am Femur 14,8 Minuten an. Die distale Verriegelung in der Freihandtechnik im benötigt im Durchschnitt 4,6 Minuten [9].

Levin et al. benötigten bei der Verriegelung von 25 Femurmarknägeln im Durchschnitt 12,6 Minuten an Gesamt-Durchleuchtungszeit. 5,1 Minuten entfallen auf die distale Verriegelung [52].

Sanders et al. benötigten bei 5 Verriegelungsnagelungen am Femur in der Freihandtechnik für die Gesamtdurchleuchtungszeit im Durchschnitt 6,3 Minuten [73]. Sugarman et al. benötigten bei 10 Verriegelungsnagelungen durchschnittlich 12,1 Minuten insgesamt und 6,9 Minuten Durchleuchtungszeit für die distale Verriegelung in der Freihandtechnik [88].

Das in dieser Arbeit beschriebenen Verfahren konnte auf die Benutzung von Röntgenstrahlung für die reine Durchführung der distalen Verriegelung vollständig verzichtet. Für die ordnungsgemäße Dokumentation nach erfolgter Verriegelung müsste jedoch eine Röntgenbilddokumentation erfolgen. Diese Durchleuchtungszeiten blieben in dieser Arbeit unberücksichtigt, da sie keinen Einfluss auf das Verfahren haben.

Die benötigte Operationszeit für die sichere und erfolgreiche distale Verriegelung in dieser Studie betrug im Durchschnitt $340,5 \pm 153,5$ Sekunden. Das entspricht $5,7 \pm 2,6$ Minuten und ist vergleichbar mit den Verriegelungszeiten in den oben genannten Arbeiten [9, 34, 42, 52, 73, 88].

Krettek et al. [42] trennten in ihrer Arbeit die Operationszeit von der Durchleuchtungszeit für die distale Verriegelung. Es entfällt hier lediglich 3 % der benötigten Zeit für die distale Verriegelung in der Freihand-Gruppe auf die reine Durchleuchtungszeit. Dies erweckt den Anschein, dass dies eine zu vernachlässigende Größe wäre. Unberücksichtigt bliebe jedoch bei dieser Betrachtungsweise, dass durch zufallsbedingte Strahlenschäden ein nicht abzuschätzendes Risiko ausgeht.

5.3 Zugangsmorbidität

In dieser Studie wurde die Platzierung des retrograden Zielgerätes über eine transligamentäre Arthrotomie durchgeführt. Es erfolgte eine Längsspaltung des Ligamentum Patellae in Höhe der Austrittsstelle des spitzen Führungsdrahtes. Nach Aufsetzen des kanülierten Bohrers erfolgte die geführte retrograde Aufbohrung des distalen Markraums. Zweifelsohne entsteht hierbei Bohrmehl, welches in Kniegelenk gelangt. Weiterhin besteht die Möglichkeit, dass es zu Einblutungen in das Kniegelenk aus dem distalen Markraum kommen kann. Funktionseinschränkungen des Kniegelenkes sind in der Folge denkbar. Die primäre retrograde Platzierung von Marknägeln bei Femurfrakturen stellt heute jedoch ein gängiges operatives Verfahren dar [18, 20, 62, 69, 99].

Papadokostakis et al. zeigten in einer Metaanalyse von 24 Artikeln zum Thema der retrograden Marknagelung am Femur bei 914 Patienten mit 963 Frakturen des distalen Femurs und des Femurschaftes eine Gesamt-Mortalität von 5,3 %. Infektionen traten mit 1,1% auf, wobei 0,18 % eine Infektion des Kniegelenkes zeigten. Weiterhin verursacht die Versorgung von Femurfrakturen mittels retrograder Technik im hohen Maße Kniegelenksbeschwerden (24,5 %), so dass eine strenge Indikationsstellung gefordert wurde [62].

Signifikante Komplikationen durch Verwendung eines transartikulären Zugang, welche aus dem Umstand der Kniegelenkseröffnung resultieren, wie z.B. Infektionen oder iatrogene Verletzungen von Binnenstrukturen sind in der Literatur beschrieben [20, 24, 28, 57, 58, 83, 99].

Es gilt hier abzuwägen, in welchem Verhältnis die Reduktion der Strahlenbelastung durch das retrograde Zielgerät zur zusätzlichen Morbidität aus der Traumatisierung des Kniegelenkes steht.

Mit Beginn der Verriegelung langer Femurmarknägel besteht auch das Interesse an einer sicheren Platzierung der Verriegelungsbolzen.

Am Nageleintrittspunkt montierte Zielbügel eignen sich hervorragend zur Platzierung der Bolzen in Höhe des Zielgerätes. Aufwendige Studien, vor allem aus der Gruppe um Krettek, zeigten bereits früh, dass mit zunehmender Nagellänge eine Verformung und Torsion, vor allem geschlitzter Nägel, eintritt. Diese insertionsbedingten Nagelverformungen machen es nahezu unmöglich eine sichere distale Verriegelung über ein starres Zielgerät, welches am Nageleintrittspunkt montiert wird, zu ermöglichen.

Das DAD (Distal Aiming Device) berücksichtigte erstmals eben diese Nagelverformungen und verzichtet vollständig auf die Durchleuchtung zur distalen Verriegelung.

In Anlehnung der aufkommenden Entwicklungen im Bereich retrograden Marknagelungen entwickelte Prof. Schöttle ein Zielgerät, welches im „Rendezvous-Verfahren“ eine ebenso sichere Verriegelung ermöglicht, wie sie bei der proximalen Verriegelung durchführbar ist.

Die grundsätzliche Durchführbarkeit der röntgenfreien Verriegelung mit dem retrograden Zielgerät konnte zweifelsfrei an den 10 humanen Ganzkörperpräparaten demonstriert werden.

Eine präzise und sichere Verriegelung gelang in 9 von 10 Fällen, wobei ein geschlitztes Nagelsystem, wie es in dieser Studie verwendet wurde, eine nicht zu vernachlässigende Fehlerquelle birgt. Die beschriebene Via falsa im Fall Nummer drei führte zu einer Schädigung des Knorpels in der Femurkondyle.

Die erforderliche Zeit für distale Verriegelung mittels des retrograden Zielgerätes, ist akzeptabel und vergleichbar mit Angaben aus der Literatur [9, 34, 42, 52, 73, 88]. Sie betrug $340,5 \pm 153,5$ Sekunden (Mittelwert $\pm$ Standardabweichung), was im Durchschnitt $5,7 \pm 2,6$ Minuten entspricht. Auf die Verwendung eines Bildwandlers konnte vollständig verzichtet werden.

Die zusätzliche Morbidität, die über die Eröffnung des Kniegelenkes entsteht, ist der limitierende Faktor dieses Verfahrens. Sofern die Indikation es nicht vorgibt das Kniegelenk zwingend zu eröffnen, steht der Gewinn an Strahlenreduktion gegenüber den denkbaren schweren Funktionsdefiziten des Kniegelenkes.

- [1] Agus H, Kalenderer O, Eryanilmaz G, et al.
Biological internal fixation of comminuted femur shaft fractures by bridge plating in children.
J Pediatr Orthop. 2003;23:184-189.

- [2] Anastopoulos G, Asimakopoulos A, Exarchou E, Pantazopoulos T (1993)
Closed interlocking nailing in comminuted and segmental femoral shaft fractures.
J Trauma. 35(5):772-775

- [3] Beck A., Rüter A (2000)
Therapiekonzepte bei Schenkelhalsfrakturen Teil 1+2.
Chirurg 71:240-248 und 347-354.

- [4] Berentey G (1983)
Neues Zielgerät für die distale Verriegelungsnagelung
Hefte zur Unfallheilkunde 165:200-262

- [5] Bhandari M, Guyatt G H, Tong D, Adili A., Shaughnessy S G (2000)
Reamed versus nonreamed intramedullary nailing of lower extremity long bone fractures: a systematic overview and meta-analysis.
J Orthop Trauma. 14(1):2-9

- [6] Börner M, Bauer A, Lahmer A (1997)
Computerunterstützter Robotereinsatz in der Hüftendoprothetik.
Unfallchirurg 100:640-645

- [7] B Braun, Aesculap
Targon – Verriegelungsnagel-System für Femur und Tibia
Tuttlingen

- [8] B Braun, Aesculap
Targon RF– Retrograder Femurnagel, OP-Anleitung
Tuttlingen

- [9] Coetzze J C, van der Merwe E J (1992)
Exposure of surgeons-in-training to radiation during intramedullary fixation of femoral shaft fractures.
S Afr Med J. 81:312-314

- [10] Cotta H, Wentzensen A, Holz F, Krämer K-L, Pfeil J (1996)
Standardverfahren in der operativen Orthopädie und Unfallchirurgie.
Thieme Verlag, Stuttgart, New York

- [11] Dahlen C, Zwipp H (2001)
Computer-assistierte OP-Planung. 3-D Software für den PC.
Unfallchirurg 104(6):465-479

- [12] Debrauwer S, Hendrix K, Verdonk R (2000)
Anterograde femoral nailing with a reamed interlocking titanium alloy nail.
Acta Orthop Belg. 66(5):484-489

- [13] DePuy (1999)
Operationsanleitung ACE AIM Titan-Femurnagel
Sulzbach

- [14] DePuy (2003)
Operationsanleitung ACE AIM Supracondyläres Titannagelsystem
Sulzbach

- [15] DePuy (2003)
Operationsanleitung ACE Retrogrades Traum (A.R.T.) Titan-Femurnagel System
Sulzbach
- [16] Durst J (1997)
Traumatologische Praxis: Standards in Diagnostik und Therapie für alle
Fachgebiete.
Schattauer Verlag, Stuttgart, New York
- [17] Friedl W (1991)
Eine einfache, schnelle und kostengünstige distale Verriegelungsmethode bei
Ober- und Unterschenkelmarknagelungen.
Chirurg 62(5):423-425
- [18] Friemert B, Claes L, Gerngross H (2002)
Intramedulläre Femurosteosynthese im "Rendezvous-Verfahren". Eine neue
Philosophie der retrograden Marknagelung.
Chirurg 73(6):592-594
- [19] Gebhard F, Kinzl L, Arand M (2000)
Computerassitierte Chirurgie.
Unfallchirurg 103(8):612-617
- [20] Grass R, Biewener K, Herzmann K, Zwipp H (2000)
OP-Technik und Erfahrungsbericht über den distalen AO-Femurnagel (DFN).
OP-Journal 16(2):170-175
- [21] Gustilo R B, Anderson J T (1976)
Prevention of infection in the treatment of one thousand and twenty-five open
fractures of long bones: retrospective and prospective analysis.
J Bone Joint Surg Am. 58(4):453-458

- [22] Hamilton Fr H (1884)
Traité Pratique des Fractures et des Luxations. Traduit sur la sixième édition par
G.Poinsot.
Baillière, Paris
- [23] Hauptmeyer Friedrich (1919)
Künstliche Ersatzteile für das Innere des menschlichen oder tierischen Körpers,
insbesondere Ersatzkauwerkzeuge (einschließlich ihrer Befestigungsteile)
Patentschrift des Deutschen Reichspatentamtes, Nr.: 356631, Klasse 30B, Gruppe
14
- [24] Herscovici D Jr, Whiteman K W (1996)
Retrograde nailing of the femur using an intercondylar approach.
Clin Orthop Relat Res. 332:98-104
- [25] Höntzsch D, Weller S, Weise K (2000)
Die Marknagelung des Femurs: eine Standortbestimmung.
OP-Journal 16(2):164-168
- [26] Hofstetter R, Slomczykowski M, Krettek C, Koppen G, Sati M, Nolte L P (2000)
Computer-assisted fluoroscopy-based reduction of femoral fractures and
antetorsion correction.
Comput Aided Surg. 5(5):311-325
- [27] Hofstetter R, Slomczykowski M, Sati M, Nolte L P (1999)
Fluoroscopy as an imaging means for computer-assisted surgical navigation.
Comput Aided Surg. 4(2):65-76

- [28] Janzing H M, Stockman B, Van Damme G, Rommens P, Broos P L (1998)
The retrograde intramedullary supracondylar nail: an alternative in the treatment of distal femoral fractures in the elderly?
Arch Orthop Trauma Surg. 118(1-2):92-95
- [29] Jenkins N H, Mintowt-Czyz W J, Graham G P , Jones D G (1987)
New problems in old bones: closed nailing of the shaft of the femur.
Injury 18(4):274-277
- [30] Jerusalem M (1932)
Zur operativen Behandlung der Schenkelhalsbrüche.
Chirurg 4:773 ff
- [31] Johansson S (1934)
Zur operativen Behandlung von Schenkelhalsbrüchen.
Thieme, Leipzig
- [32] Joskowicz L, Milgrom C, Simkin A, Tockus L, Yaniv Z (1998)
FRACAS: a system for computer-aided image-guided long bone fractures surgery.
Comput Aided Surg. 3(6):271-288
- [33] Kahler D M (2001)
Virtual fluoroscopy: a tool for decreasing radiation exposure during femoral intramedullary nailing.
Stud Health Technol Inform. 81:225-228
- [34] Kempf I, Grosse A, Beck G (1985)
Closed locked intramedullary nailing. Its application to comminuted fractures of the femur.
J Bone Joint Surg Am. 67(5):709-720

- [35] Keppler P, Strecker W, Kinzl L (1998)
Analyse der Beingeometrie – Standardtechniken und Normwerte
Chirurg 69(11):1141-1152
- [36] Knudsen C J, Grobler G P, Close R E (1991)
Inserting the screws in a locked femoral nail.
J Bone and Joint Surg Br. 73(4):660-661
- [37] Kregor P J, Song K M, Routt MIC Jr et al. (1993)
Plate fixation of femoral shaft fractures in multiply injured children.
J Bone Joint Surg Am. 75(12):1774-1780.
- [38] Krettek, C (2001)
Prinzipien der intramedullären Knochenbruchstabilisierung.
Unfallchirurg 104(7):639-653
- [39] Krettek C, Könemann B, Miclau T, Kölbl R, Machreich T, Tscherne H (1999)
A mechanical distal aiming device for distal locking in femoral nails.
Clin Orthop Relat Res. 364:267-275
- [40] Krettek C, Könemann B, Farouk O, Miclau T, Kromm A, Tscherne H (1998)
Experimental study of distal interlocking of a solid nail: Radiation-Independent
Distal Aiming Device (DAD) versus Freehand Technique (FHT)
J Orthop Trauma 12(6):373-378
- [41] Krettek C, Mannß J, Miclau T, Schandelmaier P, Linnemann I, Tscherne H (1998)
Deformation of femoral nails with intramedullary insertion.
J Orthop Res. 16(5):572-575

- [42] Krettek C, Könemann B, Kölbli R, Machreich T, Kromm A, Tscherne H (1998)
Vergleich von durchleuchtungsfreiem Zielsystem und Freihandtechnik für die
distale Verriegelung von ungeschlitzten Femurnägeln.
Unfallchirurg 101(11):822-829
- [43] Krettek C, Könemann B, Miclau T, Kölbli R, Machreich T, Kromm A, Tscherne H
(1998)
A new mechanical aiming device for the placement of distal interlocking screws in
femoral nails.
Arch Orthop Trauma Surg. 117(3):147-152
- [44] Krettek C, Mannß J, Könemann B, Miclau T, Schandelmaier P, Tscherne H (1997)
The defomation of small diameter solid tibial nails with unreamed intramedullary
insertion.
J Biomechanis 30(4):391-394
- [45] Krettek C, Schandelmaier P, Tscherne H (1997)
Neue Entwicklungen bei der Stabilisierung dia- und metaphysärer Frakturen der
langen Röhrenknochen.
Orthopäde 26(5):408-421
- [46] Krettek C, Könemann B, Mannß J, Schandelmaier P, Schmidt U, Tscherne H
(1996)
Analyse implantationbedingter Nagelverformung und röntgenmorphometrische
Untersuchungen als Grundlage für ein Zielgerät zur distalen Verriegelung ohne
Röntgenbildverstärker.
Unfallchirurg 99(9):671-678

- [47] Krettek C, Schadelmaier P, Tscherne H (1996)
Distale Femurfrakturen. Transartikuläre Rekonstruktion, perkutane
Plattenosteosynthese und retrograde Nagelung.
Unfallchirurg 99(1):2-10
- [48] Küntscher Gerhard (1950)
Die Marknagelung.
Verlag Dr. W Saenger, Berlin
- [49] Lambotte Albin (1907)
A traitment des fractures.
Masson, Paris
- [50] Leitlinien (AWMF) der Unfallchirurgie (2006)
<http://www.uni-duesseldorf.de/awmf/>
- [51] Lentz W (1990)
Die Geschichte der Marknagelung.
Chirurg 61(6):474-480
- [52] Levin P E, Schoen R W, Browner B D (1987)
Radiation exposure to the surgeon during closed interlocking intramedullary
nailing.
J Bone Joint Surg Am 69(5):761-766
- [53] Lindholm, Ralf (1982)
The bone nailing surgeon G. Küntscher and the Finns. A historical review of
wartime collaboration and its consequences 1942-1981.
Acta Univ., B10, Hist 5, Oulu

- [54] MacMillan M, Gross R H (1988)
A simplified technique of distal femoral screw insertion for the Grosse-Kempf interlocking nail.
Clin Orthop Relat Res. 226:252-259
- [55] Mahaisavariya B, Laupattarakasem W, Kosuwon W (1992)
An aiming device for distal locking in closed locked femoral nailing.
Injury 23(2):143-144
- [56] Matz R, Lentz W, Arens W, Beck H (1983)
Die Marknagelung und andere Intramedulläre Osteosynthesen.
Schattauer Verlag, Stuttgart
- [57] Moed B R, Watson J T, Cramer K E, Karges D E, Teefey J S (1998)
Unreamed retrograde intramedullary nailing of fractures of the femoral shaft.
J Orthop Trauma 12(5):334-342
- [58] Moed B R, Watson J T (1995)
Retrograde intramedullary nailing, without reaming, of fractures of the femoral shaft in multiply injured patients.
J Bone Joint Surg Am. 77(10):1520-1527
- [59] Müller M E, Allgöwer M, Schneider R, Willenegger H (1992)
Manual der Osteosynthese. AO-Technik
Springer, Berlin Heidelberg New York, S. 151-157
- [60] Müller M E, Nazarian S (1981)
Classification of fractures of the femur and its use in the A.O.
Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot. 67(3):297-309

- [61] Müller L P, Suffner J, Wenda K, Mohr W, Rommens P M (1998)
Radiation exposure to the hands and the thyroid of the surgeons during
intramedullary nailing.
Injury 29(6):461-468
- [62] Papadokostakis G, Papakostidis C, Dimitriou R, Giannoudis P V (2005)
The role and efficacy of retrograding nailing for the treatment of diaphyseal and
distal femoral fractures: a systematic review of the literature.
Injury 36(7):813-322
- [63] Pasel Clemens (1912)
Herstellung von Gegenständen (Schußwaffenläufe, Turbinenschaufeln usw.) die
hohe Widerstandskraft gegen Korrosion erfordern, nebst thermischen
Behandlungsverfahren
Patentschrift des Deutschen Kaiserlichen Patentamtes, Nr.: 304126, Klasse 18 B,
Gruppe 20
- [64] Pardiwala D, Prabhu V, Dudhniwala G, Katre R (2001)
The AO-distal locking aiming device. An evaluation of efficacy and learning
curve.
Injury 32(9):713-718
- [65] Pennig D, Brug E (1989)
Das Einbringen der distalen Bolzen bei der Verriegelungsnagelung mit einem
neuen Freihand-Zielgerät.
Unfallchirurg 92(7):331-334
- [66] Rao J P, Allegra M P, Benevenia J, Dauhajre T A (1989)
Distal screw targeting of interlocking nails.
Clin Orthop Relat Res. 238:245-248

- [67] Reeves R B, Ballard R I, Hughes J L (1990)
Internal fixation versus traction and casting of adolescent femoral shaft fractures.
J Pediatr Orthop. 10(5):592-595.
- [68] Reynders P., Schonken P., Hoogmartens M. (1990)
Interlocking nail: a practical aiming device for distal screw insertion.
Acta Orthopaedica Belgica 56:605-608
- [69] Ricci W M, Bellabarba C, Evanoff B, Herscovici D, DiPasquale T, Sanders R
(2001)
Retrograde versus antegrade nailing of femoral shaft fractures.
J Orthop Trauma 15(3):161-169
- [70] Ritter G, Comte P, Schürich A (1986)
Zur Entwicklung einer neuartigen Zielvorrichtung für die Einbringung der distalen
Schrauben beim Verriegelungsnagel.
Hefte der Unfallheilkunde 181: 121-125
- [71] Rüedi T P, Murphy W M (2000)
AO Principles of Fracture Management.
Thieme, Stuttgart, New York
- [72] Rush L V, Gelbke H (1957)
Atlas der intramedullären Frakturfixation nach Rush.
Barth, München
- [73] Sanders R, Koval K J, DiPasquale T, Schmelling G, Stenzler S, Ross E (1993)
Exposure of the orthopedic surgeon to radiation.
J Bone Joint Surg Am. 75(3):326-330

- [74] Schweikert, Heinrich (1990)
Entwicklung, Technik und Indikation zur Marknagelung.
Medizinische Dissertation, Universität Mainz
- [75] Skjeldal S, Backe S (1987)
Interlocking medullary nails: radiation dosis in distal targeting.
Arch. Orthop. Trauma Surg. 106:179-181
- [76] Slomczykowski M, Hofstetter R, Sati M, Krettek C, Koppen G, Nolte L P (2001)
Novel computer-assisted fluoroscopy system for intraoperativ guidance: feasibility study for distal locking of femoral nails.
J Orthop Trauma 15(2):122-131
- [77] Smith-Petersen, Marius N. (1931)
Intracapsular fractures of the neck of the femur.
Arch. Surg. 23:714-749
- [78] Smith-Petersen, Marius N. (1937)
Treatment of fractures of the neck of the femur by internal fixation.
Surg. Gynec. Obstet. 64:287 ff
- [79] Smith & Nephew
TriGen™ IM Nail System, surgical technique
- [80] Sobotta, Johannes (1993)
Atlas der Anatomie des Menschen / Sobotta (Hrsg. von R. Putz und R. Pabst),
München; Wien; Baltimore: Urban und Schwarzenberg (Bd. 2 20. neubearbeitete Auflage)

- [81] Soyka P, Bussard C (1990)
Zur Verriegelungsmarknagelung. Ein stabiles Zielgerät für die distale Verbolzung.
Helv Chir Acta. 57:117-120
- [82] Stedtfeld H-W, Jurowich B, Bäumer F, Ertel R (1990)
Laser-Zielvorrichtung für die distale Verriegelung des Marknagels.
Chirurg 61(6):469-472
- [83] Stiletto R J, Baacke M (2001)
Die minimalinvasive Technik der Femurnagelung mit dem RD-System.
Vorstellung einer neuen Technik der Implantation retrograder Femurnagel.
Unfallchirurg 104(8):727-732
- [84] Strecker W, Keppler P, Gebhard F, Kinzl L (1997)
Length and torsion of the lower limb.
J Bone Joint Surg Br. 79(6):1019-1023
- [85] Stryker (2005)
T2™ Femur Marknagel System - Operationsanleitung
Duisburg
- [86] Stryker (2005)
T2™ Suprakondyläresnagelystem – Operationsanleitung
Duisburg
- [87] Stryker (2004)
T2™ Recon Nailing System – Operative Technique
Schönkirchen

- [88] Sugarman I D, Adam I, Bunker T D (1988)
Radiation dosage during AO locking femoral nailing
Injury 19(5):336-338
- [89] Suhm N, Jacob A L, Nolte L P, Regazzoni P, Messmer P (2000)
Surgical navigation based on fluoroscopy. Clinical application for computer-assisted distal locking of intramedullary implants.
Comput Aided Surg. 5(6):391-400
- [90] Suhm N, Messmer P, Jacob A L, Regazzoni P (2000)
Navigationssysteme in der Unfallchirurgie-ein Überblick
OP-Journal 16(2):144-149
- [91] Synthes, Stratec Medical (1998)
Operationstechniken, UFN-Solider Femurnagel.
Oberdorf, Schweiz
- [92] Synthes, Stratec Medical
Antegrader Femurnagel (AFN), Operationstechnik.
Bettlach, Schweiz
- [93] Synthes, Stratec Medical
Distaler Femurnagel (DFN), aus dem Synthes® Nagelsystem.
Bettlach, Schweiz
- [94] Synthes, Stratec Medical
Das Femurnagelsystem aus Titan, solide Femurnägel (UFN) und durchbohrte Femurnägel (CFN) - Operationstechnik.
Bettlach, Schweiz

- [95] Tabutin J, Tanguy C (1990)
Innovation and modification of osteosynthesis.
Osteosynthese International, Kiel 14.-16. Juni 1990
- [96] Tscherne H, Oestern H-J (1982)
Die Klassifizierung des Weichteilschadens bei offenen und geschlossenen
Frakturen.
Hefte der Unfallheilkunde 85 (3):111-115
- [97] Viant W J, Phillips R, Griffiths J G, Ozanian T O, Mohsen A M, Cain T J
Karpinski M R, Sherman K P (1997)
A computer assisted orthopedic surgical system for distal locking of
intramedullary nails.
Proc Inst Mech Eng. 211(4):293-300
- [98] Wallny T, Sagebiel C, Westerman K et al.(1997)
Comparative results of bracing an interlocking nailing in the treatment of humeral
shaft fractures.
Int Orthop. 21(6):374-379
- [99] Walcher F, Frank J, Marzi I (2000)
Retrograde nailing of distal femoral fracture-clear and potential indications.
Eur J Trauma 26:155-168
- [100] Winkquist R A (1993)
Locked femoral nailing.
J Am Acad Orthop Surg. 1(2):95-105
- [101] Wirth Carl Joachim (2001)
Praxis der Orthopädie, 3.Aufl., Bd 2: Operative Orthopädie.
Thieme, Stuttgart, New York

- [102] Wolfers, Wolf-Rainer (1994)
Die Marknagelung als Lebenswerk von Gerhard Küntscher(1900-1972).
Medizinische Dissertation, Universität Kiel
- [103] Wolter D, Hanis M, Havemann D (1995)
Externe und interne Fixateursysteme.
Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo
- [104] Zuber K, Schneider E, Eulenberger J, Perren S M (1988)
Form und Dimension der Markhöhle menschlicher Femora im Hinblick auf die
Passung von Marknagelimplantaten.
Unfallchirurg 91(7):314-319

Ich danke

- in erster Linie Herrn Prof. Dr. med. Harald Schöttle, der mir dieses Thema freundlicher Weise zur Verfügung stellte. Hervorheben möchte ich in besonderem Maße seine Geduld und seine Unterstützung, die er mir entgegenbrachte,
- weiterhin gilt mein Dank den Herrn Professoren Altmannsberger und Bratzke, sowie
- Herrn Rotarie, der mir bei der Durchführung der praktischen Versuche immer hilfsbereit und zuvorkommend zur Verfügung stand.
- Herrn Prof. Dr. med. Rüther, der mir die Finalisierung dieser Arbeit ermöglichte und
- Herrn PD Dr. med. M. Rauschmann, für seiner moralische Unterstützung und die zahlreichen wissenschaftlichen Zwiegespräche.
- Mein ganz besonderer Dank gilt jedoch meiner Frau!

9 Lebenslauf

Name	Markus Claudius Heine
Geburtsdatum	7. Mai 1968
Geburtsort	Frankfurt am Main
Staatsangehörigkeit	Deutsch
Familienstand	verheiratet
Anschrift	Kaulbachstr. 63, 60596 Frankfurt am Main

Werdegang

08/74 - 05/89	Schulbesuch in Frankfurt am Main mit Abschluß (Zeugnis der Allgemeinen Hochschulreife)
08/89 - 05/90	Zivildienst beim Arbeiter-Samariter-Bund in Frankfurt am Main mit Ausbildung zum Rettungshelfer
05/90 - 07/91	Angestellter der W.i.G.-Gaststätten GmbH in München
08/91 - 07/93	Berufsausbildung zum Bankkaufmann bei der Commerzbank AG / Frankfurt mit Abschluss
07/93 - 10/93	Kaufmännischer Angestellter der Commerzbank International S.A. in Luxembourg
10/93 - 05/00	Studium der Humanmedizin an der Johann Wolfgang Goethe Universität in Frankfurt am Main
05/96 - 05/00	Pflegehelfer in der Klinik Bad Soden/Ts. auf der chirurgischen Intensiv- und Wachstation
05/00	3. Abschnitt der Ärztlichen Prüfung
06/00 - 11/01	Arzt im Praktikum an der Orthopädischen Universitätsklinik und Poliklinik, Stiftung Friedrichsheim, in Frankfurt am Main, Univ.-Prof. Dr. med. L. Zichner
02/02 – 01/03	Assistenzarzt der Klinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie am Klinikum Offenbach, Prof. Dr. med. R. Hoffmann
02/03 – 06/03	Assistenzarzt der Fachklinik für Orthopädie und Rheumatologie Unfall- und Wiederherstellungschirurgie an der Elisabethklinik in Olsberg, PD Dr. med. P. Koydl
07/03 – 06/07	Assistenzarzt der Orthopädischen Abt. der Rheumaklinik Bad Bramstedt in Kooperation mit dem UKE Hamburg, Univ.-Prof. Dr. med. W. Rütther
07/07 – heute	Facharzt an der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik (BGU) in Frankfurt am Main, Prof. Dr. med. R. Hoffmann
Sonstiges	
12/00	Kursus zur Berechtigung der Impftätigkeit
11/04	Fachkunde gemäß der Röntgenverordnung im Strahlenschutz
11/04	Fachkundenachweis Rettungsdienst
11/04	Zusatzbezeichnung Sportmedizin
06/07	Facharztanerkennung für Orthopädie und Unfallchirurgie
07/07	Zusatzbezeichnung Notfallmedizin
07/07	Zusatzbezeichnung Manuelle Medizin/Chirotherapie

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die am Fachbereich für Humanmedizin der Universität Hamburg zur Promotion eingereichte Arbeit mit dem Titel:

**Eine neue Technik der distalen Verriegelung am
Oberschenkelmarknagel**

in der Unfallchirurgischen Klinik des Krankenhaus Nordwest, der Stiftung Hospital zum heiligen Geist, Akademisches Lehrkrankenhaus der Johann Wolfgang Goethe Universität in Frankfurt am Main, unter der Leitung von Professor Dr. med. H. Schöttle, ohne sonstige Hilfe selbst durchgeführt und bei der Abfassung der Arbeit keine anderen als die in der Dissertationsschrift angeführten Hilfsmittel benutzt habe.

Ich habe an keiner anderen in- und ausländischen Fakultät ein Gesuch um Zulassung zur Promotion eingereicht, noch die vorliegende Arbeit als Dissertation eingereicht.

.....
(Markus Claudius Heine)

Frankfurt am Main, im April 2007