

**Aus dem Marienhospital Stuttgart  
(Akademisches Lehrkrankenhaus der Universität Tübingen)  
Klinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie  
Ärztlicher Direktor: Prof. Dr. K.-K. Dittel**

**Komplikationsanalyse nach Marknagelung von  
Unterschenkelschaftfrakturen**

**Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Medizin**

**der Medizinischen Fakultät  
der Eberhard-Karls-Universität  
zu Tübingen**

**vorgelegt von  
Georgios Karavalakis  
aus  
Ludwigsburg  
2007**

<b>Dekan:</b>	<b>Professor Dr. I. B. Autenrieth</b>
<b>1. Berichtserstatter</b>	<b>Professor Dr. K.-K. Dittel</b>
<b>2. Berichtserstatter</b>	<b>Professor Dr. K. Weise</b>

**Meinen Eltern gewidmet**

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. EINLEITUNG .....</b>	<b>1</b>
1.1. KOMPLIKATIONEN IN DER UNFALLCHIRURGIE .....	1
1.1.1. Komplikation.....	1
1.2. ANATOMISCHE VORBEMERKUNGEN UNTERSCHENKEL .....	2
1.2.1. Tibia und Fibula.....	2
1.2.2. Die Kompartimente .....	4
1.3. UNFALLMECHANISMUS .....	5
1.4. KLASSIFIKATION .....	5
1.4.1. Die AO Klassifikation der Tibiaschaftfraktur .....	5
1.4.2. Die Klassifikation des Weichteilschadens .....	6
1.5. DIAGNOSTIK .....	8
1.6. OPERATIVE THERAPIE .....	9
1.7. MANAGEMENT VON UNTERSCHENKELFRAKTUREN .....	9
1.7.1. Notfallambulanzphase.....	10
1.7.2. Primäre operative Versorgung .....	10
1.7.3. Kontroll- und Erholungsphase .....	10
1.7.4. Stabilisierungsphase .....	10
1.7.5. Rekonstruktionsphase.....	10
1.8. DIE MARKNAGELOSTEOSYNTHESE.....	11
1.8.1. Geschichte der Marknagelung .....	11
1.8.2. Indikationen zur Marknagelung .....	12
1.8.3. Biomechanisches Prinzip des Marknagels.....	15
1.8.4. Weitere biologische und mechanische Aspekte der Marknagelung .....	17
1.8.5. Blutversorgung der Diaphyse .....	18
1.8.6. Intramedulläre Druckerhöhung bei Marknagelung .....	19
1.9. FRAGESTELLUNGEN .....	21
<b>2. MATERIAL UND METHODEN .....</b>	<b>22</b>
2.1. DAS PATIENTENGUT .....	22
2.2. DIE DOKUMENTATIONSBASIS.....	24
2.3. BILDICHE DARSTELLUNG EINER MARKNAGELUNG .....	25
2.3.1. Lagerung des Patienten und Frakturposition .....	25
2.3.2. Zugang .....	25
2.3.3. Nageleintrittspunkt .....	26
2.3.4. Einbringung des Marknagels.....	26
2.3.5. Verriegelung.....	28
2.4. DATENERFASSUNG UND STATISTIK .....	29
2.5. FOTOGRAFISCHE TECHNIK.....	29

<b>3.</b>	<b>ERGEBNISSE</b> .....	<b>30</b>
3.1.	PATIENTENKOLLEKTIV UND KOMPLIKATIONSRATE .....	30
3.2.	DIE UNFALLURSACHE .....	31
3.3.	DIE ALTERS- UND GESCHLECHTSVERTEILUNG .....	31
3.4.	ORT DER ERSTVERSORGUNG .....	33
3.5.	DAS VERLETZUNGSMUSTER .....	33
3.6.	FRAKTUREINTEILUNG NACH DER AO-KLASSIFKATION .....	34
3.7.	DER WEICHTEILSCHADEN .....	35
3.8.	OSTEOSYNTHESEMANAGEMENT .....	37
3.9.	KOMPLIKATIONSANALYSE .....	40
3.9.1.	Fehlstellung .....	42
3.9.2.	Pseudarthrose .....	43
3.9.3.	Infektion.....	43
3.9.4.	Implantatversagen.....	43
3.9.5.	Hintergrundanalyse der Komplikationen.....	44
3.9.6.	Sekundärverfahren.....	45
3.10.	DAUER DER BEHANDLUNG .....	46
3.11.	DAS AUSHEILUNGSERGEBNIS .....	47
3.12.	STATISTISCHE KOMPLIKATIONSANALYSE NACH UNAUFGEOHRTER UND AUFGEOHRTER MARKNAGELUNG .....	49
3.12.1.	Informationen zur Stichprobe .....	49
3.12.2.	Quoten (Wahrscheinlichkeiten) .....	51
3.13.	ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE.....	53
<b>4.</b>	<b>TYPISCHE KASUISTIKEN</b> .....	<b>56</b>
4.1.	FALL 1: VERKEHRSUNFALL .....	57
4.2.	FALL 2: PRIVATER UNFALL .....	60
4.3.	FALL 3: ARBEITSUNFALL .....	63
<b>5.</b>	<b>DISKUSSION</b> .....	<b>66</b>
<b>6.</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b> .....	<b>78</b>
<b>7.</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b> .....	<b>81</b>
<b>8.</b>	<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS</b> .....	<b>92</b>
<b>9.</b>	<b>DANKSAGUNG</b> .....	<b>93</b>
<b>10.</b>	<b>LEBENS LAUF</b> .....	<b>94</b>

# 1. EINLEITUNG

## 1.1. Komplikationen in der Unfallchirurgie

Lorenz Böhler schrieb in seinem Vorwort der ersten Auflage von „Technik der Knochenbruchheilung“ (1929): „Da die Ergebnisse der Behandlung nicht überall gute sind, suchte ich die Fehler zu finden, welche an den Misserfolgen die Schuld tragen“ (Piltz et al., 1998).

### 1.1.1. Komplikation

Definition: Die ungünstige Beeinflussung oder Verschlimmerung eines normalerweise überschaubaren Krankheitszustandes bzw. eines chirurgischen Eingriffs durch einen unvorhergesehenen Umstand (Duden).

Der Begriff Komplikation ist auf das engste mit dem Begriff Qualität verknüpft, da die Komplikation direkt auf das Ergebnis und damit auf die Qualität der Behandlung Einfluss nimmt.

W. van Eimeren (1977) definierte Qualität folgendermaßen:

„Qualität ist das Erreichte im Verhältnis zum Machbaren, bezogen auf die Menge des Gewünschten“ (Piltz et al., 1998). Dies setzt voraus, dass die erreichte Qualität gemessen wird (Feststellung des Ist-Zustandes). Im klinischen Alltag entspricht dies dem Erkennen und Dokumentieren einer Komplikation als Abweichung vom Erzielbaren (Machbaren). Durch fortschreitende Verbesserung der Behandlungsmöglichkeiten unterliegt der Begriff des Machbaren folglich einem ständigen, wenn auch oft nur graduellen Wandel.

Jede einzelne Fraktur in der Unfallchirurgie hat enorme Auswirkungen auf die Stabilität und die Belastbarkeit der betroffenen Extremität. Die operative

Therapie solcher Frakturen ist weit verbreitet infolge standardisierter Verfahren. Zahlreiche starre Implantate stehen hierfür zur Verfügung. Die Art und Lokalisation eines Implantates kann die Heilung einer Fraktur erheblich beeinflussen. Daher besteht unverändert Anlass zur kritischen Betrachtung der gewählten Osteosyntheseverfahren, ihrer Kombination und zeitlichen Koordination.

Besonders interessant ist die Wahl der Osteosynthese bei Frakturen am langen Röhrenknochen. Aufgrund seiner anatomischen Auffälligkeit stellt vor allem der Unterschenkel für jeden Unfallchirurgen eine große Herausforderung dar. Obgleich der Therapiegrundsatz gilt „so konservativ wie möglich und so operativ wie nötig“, muss doch die Mehrzahl der Unterschenkelfrakturen operativ versorgt werden.

## **1.2. Anatomische Vorbemerkungen Unterschenkel**

### **1.2.1. Tibia und Fibula**

Tibia und Fibula bilden das knöcherne Gerüst des Unterschenkels. Miteinander artikulieren sie im proximalen und distalen Tibiofibulargelenk (Abb.1). Das Verbindungsstück beider Knochen bildet die derbe Membrana interossea. Beim Betrachten des anatomischen Querschnitts fallen zwei verschieden starke Knochen auf, wobei sich die Tibia als ausgeprägter Röhrenknochen nach ventral orientiert. Nur zwei Drittel der Tibiazirkumferenz sind von einem muskulären Weichteilmantel und distal von Sehnen umgeben. Der Rest ist lediglich bedeckt mit Haut, wodurch folglich die Tibia durch direkte Gewalteinwirkung leicht verletzt werden kann. Im Falle eines aufgetretenen Weichteilschadens ist diese Begebenheit äußerst wichtig bei der Wahl des Osteosynthesematerials.

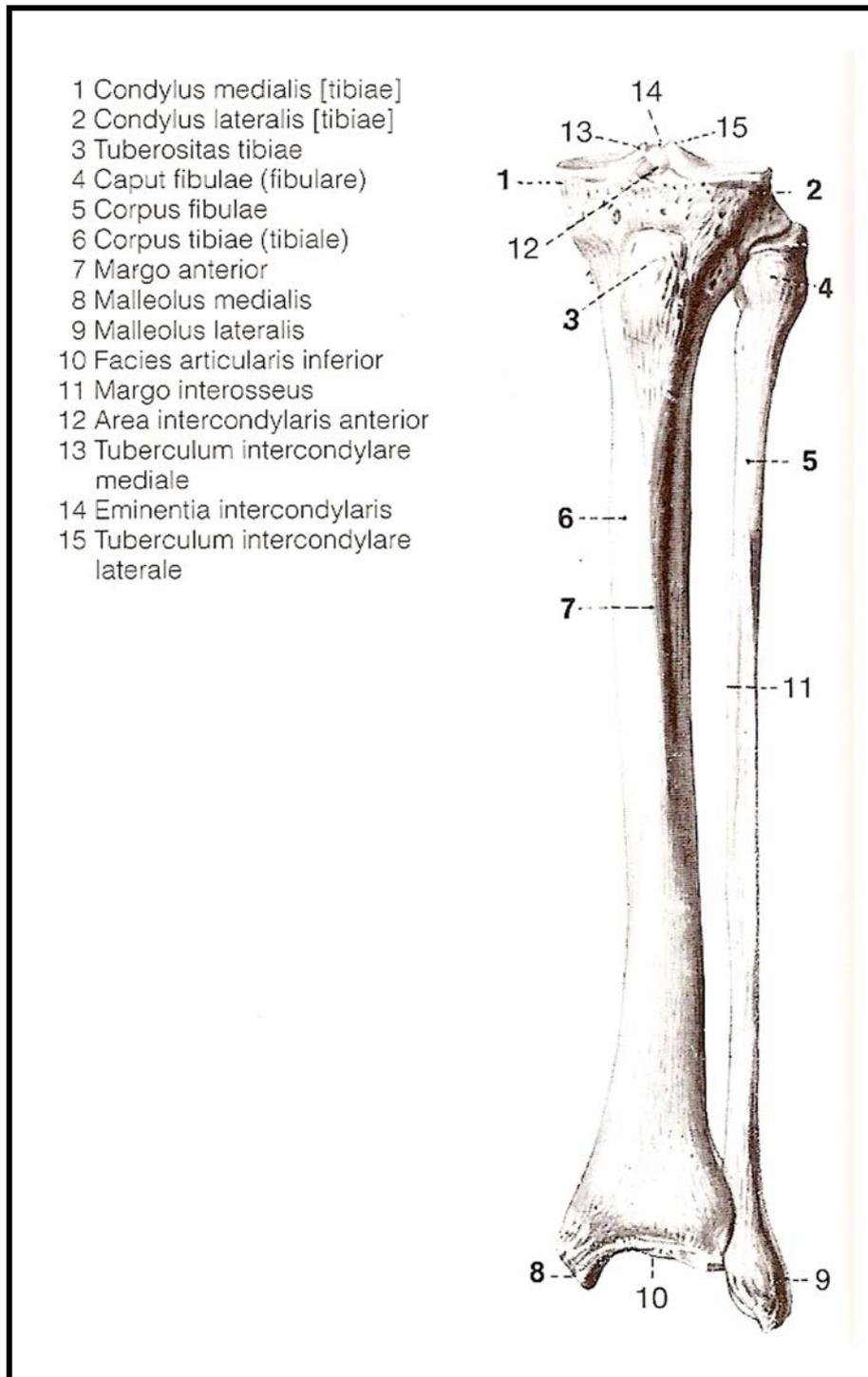


Abb. 1: Anatomie Unterschenkel (Quelle Lippert, 1993)

Im Gegensatz zur Tibia wird die weit dünnere Fibula in ihrem ganzen Umfang von einem erheblichen muskulären Weichteilmantel umgeben. Spielt die Fibula bei der Statik scheinbar eine untergeordnete Rolle, so hat sich ihr Stellenwert bei der Stabilisierung von Frakturen im Laufe der Jahre etablieren können.

## 1.2.2. Die Kompartimente

Die Muskulatur des Unterschenkels ist in vier Kompartimente unterteilt.

- a) Anteriores Kompartiment: hier befinden sich die Dorsalflektoren des Fußes. Es befindet sich vor der Membrana interossea und der Fibula, der Lateralfäche der Tibia anliegend
- b) Peroneales Kompartiment: es liegt der Fibula seitlich auf und umfasst die Elevatoren des Fußes
- c) Oberflächliches Beugerkompartiment: es bildet die Hauptmasse der Wadenmuskulatur und ist verantwortlich für die Plantarflexion des Fußes
- d) Tiefes Beugerkompartiment: liegt der Dorsalfäche von Tibia und Fibula sowie der Membrana interossea auf. Es ist zuständig für die Zehenbeugung und Inversion des Fußes. Innerhalb der Grenzen dieses Kompartimentes verläuft die A. tibialis posterior, die aufgrund ihrer anatomischen Lage bei Frakturen mit ausgeprägter Weichteilverletzung bei der Blutversorgung eine erhebliche Rolle spielt (Abb.2)

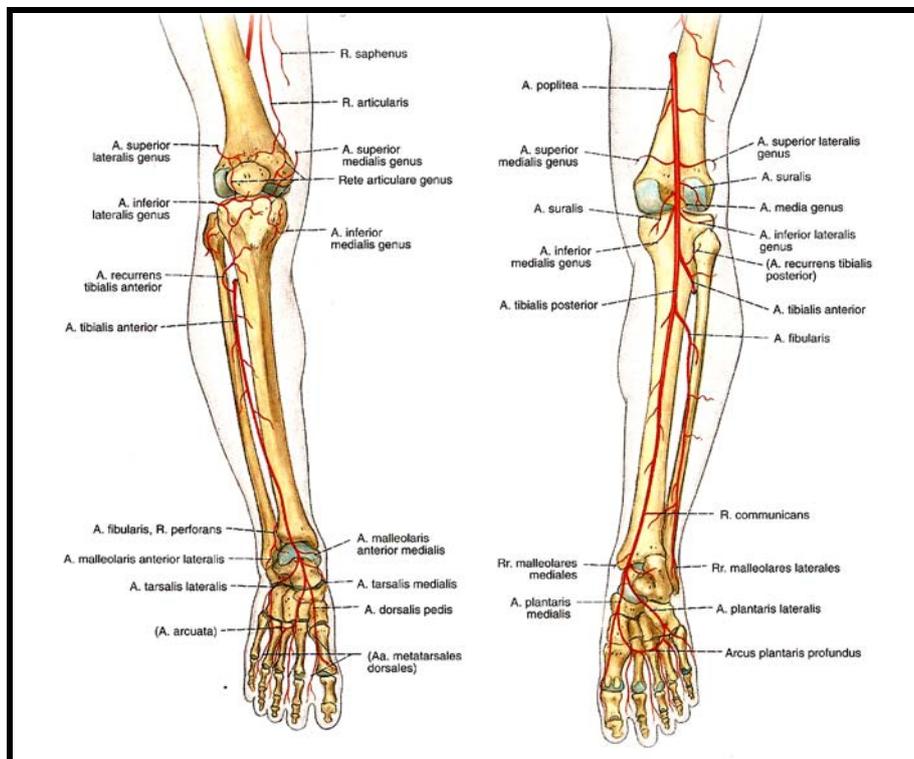


Abb.2: Arterien der unteren Extremität (Quelle Sobotta, 1993)

Da die Blutversorgung des Unterschenkels axial verläuft, kommt es zu einem Ungleichgewicht der intramedullären Durchblutung zu Ungunsten der distalen Tibia. Dies in Kombination mit dem an dieser Stelle vornehmlich sehnigen Weichteilmantel, ist höchstwahrscheinlich die Ursache für die nach distal hin deutlich verminderte Heilungspotenz des Knochens (Richter et al., 1998).

### **1.3. Unfallmechanismus**

Unterschenkelschaftfrakturen entstehen laut Stürmer (1999) durch direkte, manchmal penetrierende oder indirekte Gewalteinwirkung.

- a) Direkte Kraffteinwirkung: vor allem bei Rasanztraumen (überwiegend offene Frakturen). PKW-, Motorrad- oder Fußgängerunfälle haben in bis zu 15% der Fälle eine Unterschenkelfraktur zur Folge und sind damit häufigste Ursache für die direkte Gewalteinwirkung. Penetrierende Verletzungen, wie z.B. durch Schusswaffen kommen im deutschen Sprachraum sehr selten vor (überwiegend lokal begrenzte Zerstörung der Strukturen)
- b) Indirekte Kraffteinwirkung: häufig durch Sport oder Sturz aus geringer Höhe. Es kommt zur Kraffteinwirkung durch Biegung und Rotation (überwiegend geschlossene Frakturen)
- c) Pathologische Frakturen und Ermüdungsbrüche sind äußerst selten

### **1.4. Klassifikation**

#### **1.4.1. Die AO Klassifikation der Tibiaschaftfraktur**

Die AO Klassifikation stellt ein differenziertes Gliederungssystem für die Klassifikation von Frakturen des Menschen dar. Die Frakturen jedes Knochensegments werden entsprechend ihrer morphologischen Eigenschaften in Typen, Gruppen und Untergruppen eingeteilt. Die Klassifikation spiegelt den zunehmenden Schweregrad der Fraktur und die Behandlungsprognose wieder.

Laut AO Klassifikation werden die Tibiaschaftfrakturen (AO 42 A-C) gemäß dem zunehmenden Schweregrad in 3 Frakturtypen (einfache Fraktur, Keilfraktur, komplexe Fraktur) eingeteilt (Abb.3).

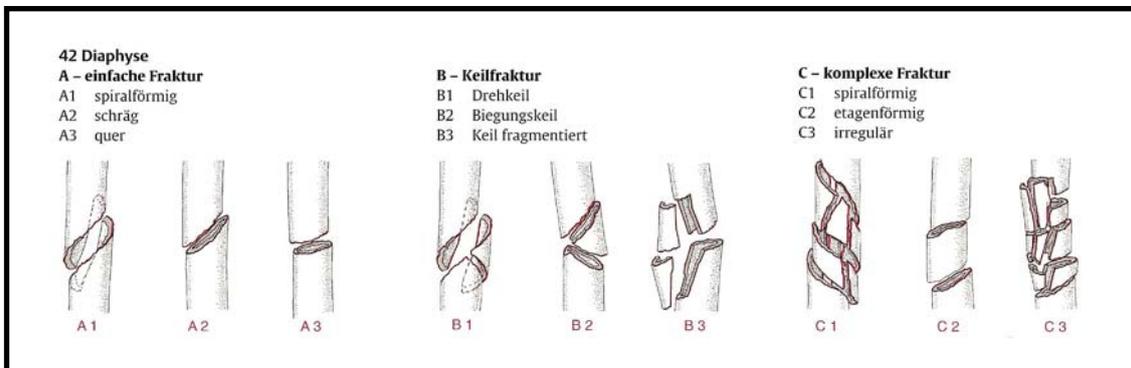


Abb.3: AO Klassifikation (Quelle Ewerbeck, 2004)

### 1.4.2. Die Klassifikation des Weichteilschadens

Neben der reinen Frakturmorphologie ist für die weitere Prognose von Unterschenkelfrakturen auch die genaue Klassifikation des begleitenden Weichteilschadens von immenser Bedeutung. Wegen der Besonderheit der spärlichen anteromedialen Weichteilbedeckung der Tibia ist der begleitende Weichteilschaden immer sehr ernst zu nehmen. Für die Einteilung des geschlossenen Weichteilschadens hat sich die Klassifikation nach Tscherne und Östern bewährt (Tab.1).

Tab.1: Klassifikation des geschlossenen Weichteilschadens (Tscherne/Östern)

Grad 0	Keine oder unbedeutende Weichteilverletzung, indirekte Gewalteinwirkung, einfache Frakturform
Grad I	Oberflächliche Schürfung oder Kontusion durch Fragmentdruck von innen, einfache bis mittelschwere Frakturformen
Grad II	Tiefe kontaminierte Schürfung oder Kontusion durch direkte Gewalteinwirkung, drohendes Kompartmentsyndrom, mittelschwere bis schwere Frakturform
Grad III	Ausgedehnte Hautkontusion, -quetschung oder Zerstörung der Muskulatur, subkutanes Décollement, manifestes Kompartmentsyndrom, Verletzung eines Hauptgefäßes, schwere Frakturform

Für die Einteilung des offenen Weichteilschadens wird in heutigen internationalen Kreisen die Klassifikation Gustilo und Anderson verwendet (Tab.2).

Tab.2: Klassifikation des offenen Weichteilschadens (Gustilo/Anderson):

Grad I	Hautwunde $\leq 1$ cm, nicht verschmutzt, Durchspießung von innen, minimale Muskelkontusion, einfache Frakturform
Grad II	Wunde $> 1$ cm, ausgedehnter Weichteilschaden mit Lappenbildung oder Décollement, mittelgradige Muskelquetschung, mittelschwere Frakturform
Grad III	Ausgedehnter Weichteilschaden mit Zerstörung von Haut, Muskel und neurovaskulären Strukturen, Hochrasanztrauma mit schwerer Gewebsschädigung IIIA Ausgedehnte Weichteilwunden mit noch adäquater Weichteildeckung, Stück- und Schussfrakturen IIIB Ausgedehnter Weichteilschaden mit Deperiostierung und freiliegendem Knochen, massive Kontamination IIIC Rekonstruktionspflichtige Gefäßverletzung

Durch den entstehenden Gewebeschaden kommt es zur Freisetzung von verschiedenen Mediatoren. Das Zusammenspiel dieser Mediatoren mit der Ausbildung von Thrombozytenaggregaten und Mikrothromben sowie der Aktivierung des Komplementsystems und der Makrophagen resultiert in einem hypoxischen Zustand verbunden mit dem Zustand einer Azidose. Diese wiederum kann eine Permeabilitätsstörung auslösen, wodurch ein interstitielles Ödem begünstigt wird und eine Einschränkung der Perfusion des Weichteilmantels letztendlich resultiert. Eine Unterschenkelfraktur mit Weichteilschaden ist immer ein chirurgischer Notfall. Ziel ist es, vor allem eine Knocheninfektion zu vermeiden und eine möglichst komplikationslose Heilung sowie Rekonstruktion des Weichteilmantels zu erreichen.

## 1.5. Diagnostik

Die klinische Abklärung einer Unterschenkelfraktur stellt den Erstversorger in der Regel nicht vor all zu große Schwierigkeiten. Häufig klagen die Verunfallten über bewegungsabhängige Schmerzen direkt über der Frakturzone. Begleitet wird dieses Bild oft von einer augenfälligen Fehlstellung und Instabilität mit entsprechender Schwellung und Hämatombildung. Ein etwas anderes klinisches Bild hingegen kann sich bei einer isolierten Fraktur von Tibia bzw. Fibula ergeben. In diesem Fall können sich diese Frakturen einer primären Blickdiagnose entziehen und Patienten beklagen lediglich Schmerzen. Das typische Bild einer Schwellung mit Hämatombildung fehlt dann oft in diesen Fällen.

Konventionelle Röntgenaufnahmen in zwei Ebenen sind in der Regel ausreichend. Wichtig hierbei ist, dass sowohl das Kniegelenk als auch das Sprunggelenk abgebildet werden. Unter diesem Gesichtspunkt sind lange Röntgenfilme von Vorteil, da so der komplette Unterschenkel abgebildet werden kann. Andere zusätzliche radiologische Untersuchungen werden unter besonderen Fragestellungen berücksichtigt. So kann z.B. eine Computertomographie Aufschluss darüber geben, ob eine Beteiligung der angrenzenden Gelenke vorliegt.

Der Pulsstatus sollte bei jeder Unterschenkelfraktur erhoben werden. Bei bestehenden Zweifeln über den Durchblutungsstatus der betroffenen Extremität kann eine Dopplersonographie oder eine Angiographie Abhilfe schaffen. Sie gibt Auskunft über das Vorliegen von Arterienverletzungen sowie deren Lokalisation.

Diagnostischen Schwierigkeiten bei Unterschenkelfrakturen:

- Erkennen eines Kompartmentsyndroms
- Einschätzung des begleitenden Weichteilschadens
- Interpretation einer begleitenden Gefäß- oder Nervenverletzung
- Erkennen der Mitbeteiligung von Knie- oder Sprunggelenk
- Erkennen einer begleitenden Syndesmosenruptur am oberen Sprunggelenk

- Erkennen einer Zwei- oder Mehretagenfraktur
- Erkennen einer nicht dislozierten Tibiaschaftfraktur bei intakter Fibula
- Orientierung über Achse und Rotation des unverletzten Bein
- Erkennen einer pathologischen Fraktur
- Erkennen des Frakturtyps und Wahl der Therapieform

## **1.6. Operative Therapie**

Über das Therapieziel von Unterschenkelfrakturen schrieb Mayr et al., (2002): „Die Behandlung einer Unterschenkelfraktur hat die infektfreie Wiederherstellung der Funktionseinheit Unterschenkel unter Erhalt der vollen Funktion von Knie- und Sprunggelenk zum Ziel“.

In der heutigen Zeit erhält der intramedulläre Kraftträger den Vorzug vor den anderen Kraftträgern. In dieser Arbeit wird bewusst nicht auf die anderen Osteosyntheseverfahren eingegangen.

Insbesondere durch seine biomechanische Überlegenheit und durch die Entwicklung der unaufgebohrten und aufgebohrten Marknagelungstechnik wusste der Marknagel zu überzeugen.

Hierdurch wird die Marknagelosteosynthese seit vielen Jahren mit guten Behandlungsergebnissen durchgeführt und hat in den vergangenen Jahren zunehmende Verbreitung gefunden (Müller et al., 1998).

## **1.7. Management von Unterschenkelfrakturen**

Die Tibiaschaftfraktur ist eine der häufigsten Frakturen und oft mit schwerem Weichteilschaden verbunden. Das Management von Unterschenkelfrakturen mit begleitendem Weichteilschaden ist in verschiedene Phasen unterteilt (Ketterl et al., 2001):

### **1.7.1. Notfallambulanzphase**

- Klinische Untersuchung
- Frakturklassifikation
- Beurteilung des Weichteilschadens
- Vaskulärer und neurologischer Status
- Antibiotika- und Tetanusprophylaxe
- Heparinisierung

### **1.7.2. Primäre operative Versorgung**

- Ausgiebiges Débridement (Weichteile und Knochen)
- Gefäßrekonstruktion
- Gegebenenfalls Fasziotomie bei Kompartimentdruckerhöhung
- Frakturstabilisierung
- Gelenktransfixation

### **1.7.3. Kontroll- und Erholungsphase**

- Stabilisierung der Vitalparameter
- Ausgleich von funktionellen Störungen
- Kontrolle der Extremitätenperfusion
- Kontrolle des Muskellogendrucks
- Transkutane Sauerstoffpartialdruckmessung

### **1.7.4. Stabilisierungsphase**

- Programmiertes Débridement
- Weichteildefektdeckung
- Gelenkrekonstruktion

### **1.7.5. Rekonstruktionsphase**

- Knochenrekonstruktion (Spongiosatransplantation, Ilizarov Transfer)
- Korrekturingriff (Weichteile, Gelenke, Knochen)

Dieses Therapiekonzept wurde von Ketterl im Zeitraum von 1986 bis 1996 bei drittgradig offenen Unterschenkelfrakturen (Gustilo IIIA, IIIB, IIIC) prospektiv dargestellt. Hierbei zeigte sich eine signifikante Reduktion der Osteomyelitishäufigkeit, der Amputationsrate und der Pseudarthrosen. Die sich hierdurch ergebende Verkürzung der Ausheilungsdauer der Frakturen führt einen wesentlich geringeren komplikationsbehafteten Verlauf mit sich. Hierdurch kann bei fast allen, auch sehr schwer traumatisierten Unterschenkelfrakturen eine Extremitäten erhaltende Methode angewendet werden (Ketterl et al., 2001).

## **1.8. Die Marknagelosteosynthese**

### **1.8.1. Geschichte der Marknagelung**

Bereits im 16. Jahrhundert soll der Stamm der Azteken in Südamerika versucht haben, Frakturen am langen Röhrenknochen mittels intramedullär eingebrachter geharzter Holzstäbe zu stabilisieren. Im Beginn des letzten Jahrhunderts wurde versucht durch verschiedene Materialien wie z.B. Knochen, Metall oder Silberstäbe eine adäquate, intramedulläre Stabilisierung zu erzielen. Im Jahre 1886 benutzte Bircher als erstes Elfenbeinzapfen zur intramedullären Versorgung von Frakturen (Walz et al., 2001).

Am 09.11.1940 führte Gerhard Küntscher in Kiel die erste Marknagelung einer Oberschenkelfraktur durch und ging damit aus medizinischer Sicht in die Geschichte ein.

Ein Mann, der die konservative Therapie von Frakturen am langen Röhrenknochen mit entscheidend geprägt hat, war Böhler, der den Bericht Küntschers über die Marknagelung wie folgt kommentierte (Walz et al., 2001):

***„Es ist großes Unglück über die Menschheit gekommen,  
die Marknagelung“.***

Etwa 2 Jahre später schrieb derselbe Böhler (Walz et al., 2001):

***„Der größte Fortschritt in der Behandlung der Brüche langer Röhrenknochen ist die Marknagelung“.***

Die Marknagelosteosynthese hat seit der Einführung durch Küntscher eine kontinuierliche Entwicklung erfahren.

Während in den Anfängen die Marknagelung nur unaufgebohrt durchgeführt wurde, entwickelte Küntscher 1962 die aufgebohrte Variante der Marknagelungstechnik mittels flexibler Bohrwellen.

Die Erfindung der Verriegelungstechnik 1968 führte rasch zu einer Ausweitung des Indikationsspektrums der mit Marknagel zu versorgenden Frakturen.

Der klassische Küntscher-Nagel erfuhr durch Klemm und Schellmann 1972 eine Weiterentwicklung zum eigentlichen Verriegelungsnagel, der sich nicht nur zur Versorgung von Schaftfrakturen, sondern auch zur Versorgung von metaphysennahen und von Trümmerfrakturen eignete (Kappus et al., 2001).

Jahrzehntlang stand der Begriff „Marknagelosteosynthese“ für die Marknagelung in gebohrter Technik.

Im Laufe der neunziger Jahre entwickelte die Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthese (AO) den unaufgebohrten Verriegelungsnagel, welcher anfänglich als eine Alternative zum Fixateur externe bei der Erstversorgung von Frakturen mit offenem oder geschlossenem Weichteilschaden gedacht war (Markmiller et al., 2001).

Im Laufe der Zeit zeigte sich aber, dass man auch mit der unaufgebohrten Methode Frakturen zur Ausheilung bringen kann (Runkel et al., 2000).

### **1.8.2. Indikationen zur Marknagelung**

Die Marknagelung hat die belastungsstabile Versorgung einer Fraktur am langen Röhrenknochen sowie eine frühzeitige Mobilisation des Patienten zum Ziel.

Obwohl sich die Marknagelung als Standardtherapie bei diaphysären Tibiafrakturen etabliert hat, wird in den letzten 15 Jahren über die Art der

angewendeten Technik (aufgebohrt oder unaufgebohrt) kontrovers diskutiert. Die Wahl der Marknagelungstechnik ist primär abhängig von biologischen und mechanischen Aspekten; im weiteren spielen Faktoren, wie der Weichteilschaden, die Frakturlokalisation, das Verletzungsmuster, der Allgemeinzustand des Patienten und die Erfahrung des Operateurs mit dem entsprechenden Implantat eine entscheidende Rolle.

Die Indikationsstellung zur Marknagelung am Unterschenkel wurde im letzten Jahrzehnt ausgeweitet. Galt die diaphysäre Fraktur von je her als Standardindikation, so kann bei entsprechenden Frakturen bis in den distalen metaphysennahen Schaft die Marknagelung durchgeführt werden. Auch metaphysennahe proximale Tibiafrakturen können genagelt werden, allerdings findet bei solchen Frakturen ein Marknagel mit nur geringer Herzog-Krümmung Verwendung.

Weitere Indikationsspektren bilden die Therapien von Pseudarthrosen, Korrekturingriffe zur Revision von Achs- und Rotationsfehlstellungen sowie Stabilisierungen von pathologischen Frakturen am langen Röhrenknochen.

Nach El Nasr et al., (2000) sollten die folgenden Kriterien gemeinsam eine Grundlage bilden für ein Versorgungskonzept durch Marknagelung am Unterschenkel:

- Gesamtverletzungsmuster
  - Das Gesamtverletzungsmuster ist entscheidend für die Verfahrenswahl
  - Polytrauma, Thoraxtrauma: bei pulmonalen Problemen ist der Marknagel zur Erstversorgung kontraindiziert
  - Erst nach Stabilisierung des Allgemeinzustandes ist ein Marknagel zu verwenden, z.B. als Verfahrenswechsel nach primärer Fixateur externe Behandlung

- Frakturlokalisierung entsprechend der AO - Klassifikation
  - Mittleres Unterschenkelschaftsdrittel ist die beste Indikation
  - Schaftfrakturen der Typen A bis C
  - Offene und geschlossene diaphysäre Frakturen der Tibia mit und ohne Weichteilschaden
  - Dislozierte nach intraartikulär reichende Frakturen scheiden im Regelfall aus
  - Eine Versorgung mit Marknagel im Wachstumsalter ist aufgrund noch offener Wachstumsfugen absolut nicht indiziert
- Weichteilschaden
  - Eine besonders anerkannte Indikation bei Frakturen mit schwerem Weichteilschaden besitzt die unaufgebohrte Marknagelung durch seine im Vergleich zu anderen Verfahren propagierte geringere Infektrate

Kappus et al., (2001) formulierte die Indikationsstellung zur Tibiamarknagelung wie folgt (Tab.3):

Tab.3: Indikationsstellung zur Tibiamarknagelung

<b>Gebahrter Marknagel</b>	<b>Unaufgebohrter Marknagel</b>
Verfahrenswechsel	Frakturversorgung bei höhergradigem Weichteilschaden
Korrekturosteotomien	Frakturversorgung beim Mehrfachverletzten und Polytrauma
Pseudarthrosen	
Pathologische Frakturen	
Geschlossene Frakturen ohne höhergradigen Weichteilschaden	

### 1.8.3. Biomechanisches Prinzip des Marknagels

Bei dem aufgebohrten und dem unaufgebohrten Marknagel handelt es sich um einen intramedullären Kraftträger mit zwei verschiedenen biomechanischen Prinzipien (Tab.4), welche bestimmte Vor- und Nachteile (Tab.5 und 6) mit sich führen.

Tab.4: Biomechanisches Prinzip des Marknagels

Aufgebohrter Marknagel	Unaufgebohrter Marknagel
Verkleben des Nagels im Markraum	Nur intramedulläre Schienung
Hohe Eigenstabilität	Erhalt der Biologie

#### a) aufgebohrte Technik:

Durch Bohren wird versucht einen großflächigen Kontakt zwischen Tibiakortikalis und Nagel herzustellen. Dies ist für die Frakturbehandlung von großem Vorteil, da infolge der elastischen Markraumverklebung es zu einer größeren Stabilität kommt.

Ein weiterer Vorteil der Aufbohrung ist das anfallende Bohrmehl, welches nach Runkel et al., (2000) zu einer Beschleunigung der Knochenbruchheilung führen kann. Dieser osteoinduktive Effekt des Bohrmehls im Frakturbereich wird auch durch Walz et al., (2001) beschrieben.

Nachteile entstehen dadurch, dass es durch das Aufbohren der Markhöhle grundsätzlich immer zu einer Schädigung des endostalen Gefäßsystems kommt, und eine bruske Technik beim Aufbohren durch den Operateur ebenfalls zu Schädigungen der zentralen Kortikalisschicht führen kann.

Zu Berücksichtigen ist des Weiteren die durch das Aufbohren entstehende thermische Schädigung. Laut Müller et al., (1993) führt eine Temperaturerhöhung von  $> 47^{\circ}\text{C}$  in Abhängigkeit von der Einwirkdauer zur Entstehung von kortikalen Nekrosen.

Die ebenfalls vom Operateur nicht unabhängige intramedulläre Druckerhöhung beim Aufbohren, führt zur Einschwemmung von Fett- und Zellbestandteilen aus dem Markraum in die Blutbahn. Dies kann zu Beeinträchtigungen der

Lungenfunktion und unter manchen Umständen bis hin zu einem Lungenversagen (ARDS) führen. Dem gebohrten Marknagel werden aufgrund der Keimverschleppung, durch den Bohrvorgang und den Hohlraum des Nagels höhere Infektraten nachgesagt.

Nach einer Aufbohrung muss für einen Zeitraum von mehreren Wochen davon ausgegangen werden, dass aufgrund der endostalen Durchblutungsstörung die inneren Anteile des Kortex nicht perfundiert sind (Runkel et al., 2000).

Daher galt in den meisten Kliniken die aufgebohrte Marknagelung von offenen Frakturen oder von Frakturen mit höhergradigen geschlossenen Weichteilschäden als kontraindiziert bzw. als zu risikoreich.

Tab. 5: Gebohrte Marknagelung (Quelle Kappus et al., 2001)

Vorteile	Nachteile
Hohe Stabilität durch Markraumverklebung	Metabolische, thermische und mechanische Schädigung des Knochens
Stärkung durch osteogenetische Potenz bei geschlossenen Frakturen	Höhere Infektraten
Anfrischung des Knochenbetts bei Korrekturingriffen	Keine Eignung bei höhergradigen Weichteilschäden

**b) unaufgebohrte Technik:**

Der unaufgebohrte Marknagel stellt nur eine intramedulläre Schienung des Röhrenknochens dar.

Wesentliches Ziel ist mehr der Erhalt der Biologie, als das Erzeugen einer absoluten Stabilität.

Hierdurch kommt es zu einer geringeren Schädigung des endostalen Gefäßsystems und zu keiner Störung der kortikalen Durchblutung. Durch die fehlende Aufbohrung entfallen ebenfalls die thermischen Schäden und Zelleinschwemmungen in den Kreislauf. Ein wesentlicher Vorteil der unaufgebohrten Nagelung ist eine kürzere Operationszeit, welche zu Kosteneinsparungen und zu einer geringeren Patientenbelastung führt.

Durch niedrigere Infektraten konnte das Indikationsspektrum in den letzten 15 Jahren bis hin zur Versorgung von Frakturen mit höhergradigem Weichteilschaden erweitert werden.

Durch die sehr geringe Eigenstabilität des unaufgebohrten Marknagels muss der Nagel jedoch immer verriegelt werden. Hierdurch ist seine mechanische Belastbarkeit geringer und sind Materialbrüche (Bolzenbrüche) demzufolge häufig anzutreffen, welche zu Pseudarthrosen, Achsen- und Rotationsfehlstellungen führen können.

Tab.6: unaufgebohrte Marknagelung (Quelle Kappus et al., 2001)

Vorteile	Nachteile
Eignung bei offenen und höhergradigen geschlossenen Weichteilschäden	Materialbruch
Schonung der endostalen Durchblutung	Geringe Eigenstabilität
Verkürzte Operationszeit	Hohe Pseudarthrosenrate
Keine Osteonekrose durch thermische Schädigung	
Keine relevante Mediatoreneinschwemmung in den Kreislauf	

#### 1.8.4. Weitere biologische und mechanische Aspekte der Marknagelung

Die Wahl der aufgebohrten oder unaufgebohrten Marknagelungstechnik einer Tibiaschaftfraktur, ist abhängig von einer Vielzahl von biologischen und mechanischen Aspekten. Faktoren wie die Erfahrung des Operateurs mit einem bestimmten Implantat, die Wettbewerbsfähigkeit verschiedener Hersteller und bestimmte „Trendwenden“ nehmen ebenfalls ihren Einfluss auf die Wahl des Verfahrens. Wurde im letzten Jahrzehnt die unaufgebohrte Technik als die weitaus elegantere und weniger belastende Methode propagiert, so gewinnt die

aufgebohrte Technik in den letzten Jahren immer mehr Anhänger. Grund dafür sind verschiedene internationale Studien welche belegen, dass unter bestimmten Umständen die Aufbohrung einer Markhöhle keineswegs mehr Nachteile mit sich führen muss im Vergleich zur unaufgebohrten Technik. Im fünften Teil dieser Arbeit (Diskussion) wird zu diesen vergleichenden Studien Stellung genommen.

Laut Höntzsch (2002) kann die Marknagelung als erstes minimalinvasives Verfahren angesehen werden. Sie erfüllt dazu alle Kriterien:

- Zugang fernab der verletzten Knochen- und Weichteilregion
- Kleiner Zugang im Verhältnis zur mitunter umfangreichen Verletzungszone
- Indirekte Repositionsmethode
- Überbrückende und elastische Osteosynthese mit Sekundärheilung

### **1.8.5. Blutversorgung der Diaphyse**

Die Blutversorgung der Diaphyse am langen Röhrenknochen erfolgt zu 2/3 aus dem intramedullären und zu 1/3 aus dem periostalen Gefäßsystem. Eine wichtige Rolle spielt hierbei die Durchblutung der angrenzenden Weichteile und hier in erster Linie die der Muskulatur, da diese für die Qualität der periostalen Durchblutung mit verantwortlich ist. Da eine intramedulläre Insertion eines Kraftträgers immer eine Beschädigung des endostalen Gefäßsystems bedeutet, sind in diesem Fall die kaliberschwächeren unaufgebohrten Marknägel vorteilhaft, da das Ausmaß der Beschädigung abhängt vom Verhältnis Markraumweite zu Implantatdurchmesser. Kommt es zusätzlich zu einer Aufbohrung der Markhöhle, so kommt es zu einer wesentlich größeren Störung der kortikalen Durchblutung wie durch Klein et al., (1990) in einem Tierexperiment bewiesen. In einer weiteren tierexperimentellen Studie von Schemitsch et al., (1994) wurde nach aufgebohrter und unaufgebohrter Marknagelung an Schafstibiae, in den ersten 6 postoperativen Wochen, eine signifikant höhere kortikale Durchblutungsrate bei der unaufgebohrten Technik gefunden.

Somit übernimmt nach einer Markraumaufbohrung das periostale Gefäßsystem im Wesentlichen die Verantwortung bezüglich der Durchblutung.

Reichert et al., (1995) konnten beweisen, dass es nach einer Aufbohrung zu einer kompensatorischen Vasodilatation der periostalen Gefäße kommt. Über endostal-periostale Kollateralen kommt es zu einer Umkehrung der ursprünglich zentrifugalen, in eine zentripetale Flussrichtung der kortikalen Durchblutung. Hierdurch entsteht ein Schutzmechanismus durch den es trotz Aufbohrung des Markraumes zu einem partiellen Ausgleich der Schädigung des endostalen Gefäßsystems kommen kann. Trotz der weitaus größeren Beeinträchtigung der endostalen Durchblutung bei der Markraumaufbohrung konnte experimentell bestätigt werden, dass bezüglich der Kallusdurchblutung und der Kallusstabilität 12 Wochen nach Operation zwischen den beiden Nagelungstechniken (aufgebohrt vs. unaufgebohrt) kein Unterschied vorlag (Schemitsch et al., 1995).

#### **1.8.6. Intramedulläre Druckerhöhung bei Marknagelung**

Bei Bohrversuchen am Femurschaft konnten Druckerhöhungen von bis zu 1000 mm Hg erreicht werden (Wenda et al., 1995).

Die wesentlichen Faktoren des intramedullären Druckanstiegs bei der Markraumaufbohrung sind nach Joist et al., (2003):

- Durchmesser der Bohrwelle
- Viskosität des Markrauminhalts
- Geschwindigkeit des Bohrvorschubs
- Der von dem Operateur auf den Bohrer axial ausgeübte Druck

Die kritische Grenze zur Einschwemmung von Knochenmarksbestandteilen in den Kreislauf und die damit in Verbindung stehenden Konsequenzen (Druckerhöhung der pulmonalen Strombahn, Zunahme der Permeabilität der Lungenkapillaren, Einschränkung der Lungenfunktion bis hin zu ARDS) wird bei circa 200 mm Hg gesehen.

Pape et al., (1994) konnten beweisen, dass die intramedulläre Druckerhöhung bei der aufgebohrten Technik signifikant durch das angewendete Design des Bohrinstrumentariums beeinflusst werden kann. Von Vorteil wäre somit eine größere Differenz zwischen dem Bohrkopfkern- und Gesamtdurchmesser des Marknagels, aufgrund des besseren Druckausgleichs zwischen den vor und hinter dem Bohrer gelegenen Markraumkompartimenten. Alleine durch die Verwendung von kleinkalibrigen Bohrwellen und Modifikation des Bohrkopfes konnte in Experimenten der intramedulläre Druck um bis zu 58% reduziert werden. Offen blieb allerdings, ob hierdurch weniger Markraumbestandteile in den Kreiskauf eingeschwemmt wurden (Müller et al., 1996).

Auch durch die Verwendung von neuartigen Saug-Spül-Bohrsystemen durch Joist et al., (2003) konnte eine druckärmere Markraumbohrung an Schweinefemora erzielt werden.

Schult et al., (2003) formulierte die folgenden Anforderungen an ein optimiertes Knochenbohrsystem:

- Beim Aufbohrvorgang sollte kein höherer intramedullärer Druck als 40 mm Hg auftreten
- Kontinuierliche Kühlung des Bohrkopfes zur Vermeidung von thermischen Schäden
- Durch den Bohrkopf sollten nur geringe Spongiosa- bzw. Kortikalisschäden verursacht werden
- Es sollte eine Kompatibilität mit etablierten Antriebsmaschinen und Instrumentarien bestehen
- Die Rückführung des Bohrmehls in den Frakturbereich sollte im Sinne einer autologen Spongiosaplastik möglich sein
- Eine hohe Torsionssteifigkeit zur Übertragung eines kontinuierlichen Drehmoments wäre günstig

Bei der Wahl zwischen der aufgebohrten und unaufgebohrten Technik sollten durch den Chirurgen außer Faktoren, wie die Verletzungsschwere, das Verletzungsmuster, der Allgemeinzustand des Patienten, die Erfahrung des

Operateurs und die Art der verfügbaren Implantate, auch die Blutversorgung der Diaphyse und die intramedulläre Druckerhöhung bei der Marknagelung mitberücksichtigt werden.

Zusammenfassend stellt ein halbes Jahrhundert nach Einführung der Marknagelung durch Küntscher, die Marknagelung das Standardverfahren für die operative Versorgung von Tibiaschaftfrakturen dar.

## **1.9. Fragestellungen**

Ziel dieser Arbeit soll es sein, die Komplikationen nach aufgebohrter und unaufgebohrter Marknagelung am Tibiaschaft in Abhängigkeit von der Marknagelungstechnik zu untersuchen, um so ein verbessertes Qualitäts- und Komplikationsbewusstsein zu entwickeln. Zudem sollen die eigenen Ergebnisse mit internationalen Studien verglichen werden, um somit eine bessere Therapieempfehlung aussprechen zu können.

Dabei ergaben sich folgende Fragestellungen:

1. Kommt es bei der unaufgebohrten Marknagelung im Vergleich zur aufgebohrten zu einer signifikant häufigeren Pseudarthrosenrate oder generell zu einer häufigeren Komplikationsrate?
2. Kann durch eine primär aufgebohrte Marknagelung die Komplikationsrate hinsichtlich von Frakturheilungsstörungen minimiert werden?
3. Sollte bei der operativen Versorgung einer Tibiaschaftfraktur primär immer aufgebohrt werden?

## **2. MATERIAL UND METHODEN**

In der nachfolgenden retrospektiven Studie wird die osteosynthetische Versorgung von Tibiaschaftfrakturen mittels Marknagelosteosynthese beschrieben. Die beiden zu unterscheidenden operativen Techniken der Marknagelosteosynthese werden mit den Begriffen unaufgebohrte Marknagelung (UTN) und aufgebohrte Marknagelung (AUF) belegt.

### **2.1. Das Patientengut**

Im Zeitraum vom Januar 1995 bis Dezember 2001 wurden in der Klinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie des Marienhospitals Stuttgart bei 110 Patienten frische Frakturen im Bereich des Tibiaschaftes osteosynthetisch mittels Marknagelung versorgt. Verwendet wurden ausschließlich solide Marknägel der Firma Synthes (UTN-Marknagel, AO-Marknagel). Nach Auswertung der präoperativen Röntgenbilder wurden die 110 Frakturen der Gruppe 42 A-B-C der AO- Klassifikation zugeordnet.

Die Patienten wurden gruppiert nach Klassifikation und operativer Versorgung der Frakturen mittels unaufgebohrter oder aufgebohrter Marknagelung. Das hier aufgearbeitete Patientengut ist Teil einer Medos-Datenbank sowie einer fortlaufenden Orbis-Datenbank des Marienhospitals Stuttgart.

Basierend auf dieser Vorauswahl wurden im Sinne einer retrospektiven Studie die Patientenunterlagen (Krankenblatt, Röntgenaufnahmen, Datenbank, Durchgangsarztberichte, Operationsberichte, Nachuntersuchungsbefunde) eingesehen und ausgewertet. Im Jahre 2004 konnten von 110 Patienten 88 Patienten (80,0%) zurückverfolgt und nachuntersucht werden. Die Patienten wurden schriftlich zur Nachuntersuchung eingeladen und wurden nach dem Merchant und Dietz Score (Merchant et al., 1989) eingestuft (Tab.8). In diesem Punktesystem werden die Patienten anhand von vorgegebenen



Sämtliche erzielten Punkte werden addiert und die Patienten werden anhand der maximal erreichten Punktezahl wie folgt eingestuft (Tab.9):

Tab.9: Ergebnisse Merchant und Dietz Score

90-100 Punkte	Sehr gut
80-89 Punkte	Gut
70-79 Punkte	Befriedigend
<70 Punkte	Schlecht

## 2.2. Die Dokumentationsbasis

Die folgenden Patientendaten wurden zur Analyse erhoben:

- Anzahl der operierten Tibiaschaftfrakturen im Zeitraum von 1995 - 2001
- AO Klassifikation der Frakturen
- Klassifikation des Weichteilschadens (geschlossen nach Tscherne und Östern, offen nach Gustilo und Anderson).
- Unfallursache
- Geschlecht, Alter und Durchschnittsalter der Patienten
- Anzahl der Primärverfahren in 110 Fällen (unaufgebohrt/aufgebohrt)
- Anzahl und Art der primär additiven Maßnahmen
- Anzahl und Art der Verfahrenswechsel
- Anzahl der aufgetretenen Komplikationen, Komplikationsrate
- Anzahl und Art der Sekundärverfahren
- Dauer der Behandlung / Zeiträume der Verfahren im Durchschnitt
- Ausheilungsergebnis nach dem Merchant und Dietz Score

## **2.3. Bildliche Darstellung einer Marknagelung im Bereich des Tibiaschaftes**

Der Ablauf einer Marknagelosteosynthese im Bereich des Tibiaschaftes wird im nachfolgenden Teil zusammenfassend bildlich dargestellt. In diesem bilddokumentierten Fall erfolgte primär eine Fixateurbehandlung. Leider musste die Reposition bei der Nagelung offen durchgeführt werden.

### **2.3.1. Lagerung des Patienten und Frakturposition**

Der Patient wird auf einem röntgendurchlässigen Operationstisch auf dem Rücken liegend gelagert. Das betroffene Bein wird zirkulär, freibeweglich gelagert. Das Kniegelenk wird um  $>90^\circ$  gebeugt. Die Reposition erfolgt wenn möglich geschlossen unter Zug und Innen-/Ausßenrotation, bzw. Ab-/Adduktion und wird unter Bildwandlerkontrolle durchgeführt.

### **2.3.2. Zugang**

Der Hautschnitt erfolgt am Unterrand der Patella ca. 1,5 cm – 4 cm kaudal der Patella in Richtung der Tuberositas tibiae. Die Patellarsehne wird nach lateral retrahiert, alternativ kann eine Längsspaltung der Sehne am Übergang vom medialen zum mittleren Drittel durchgeführt werden (Abb.4).

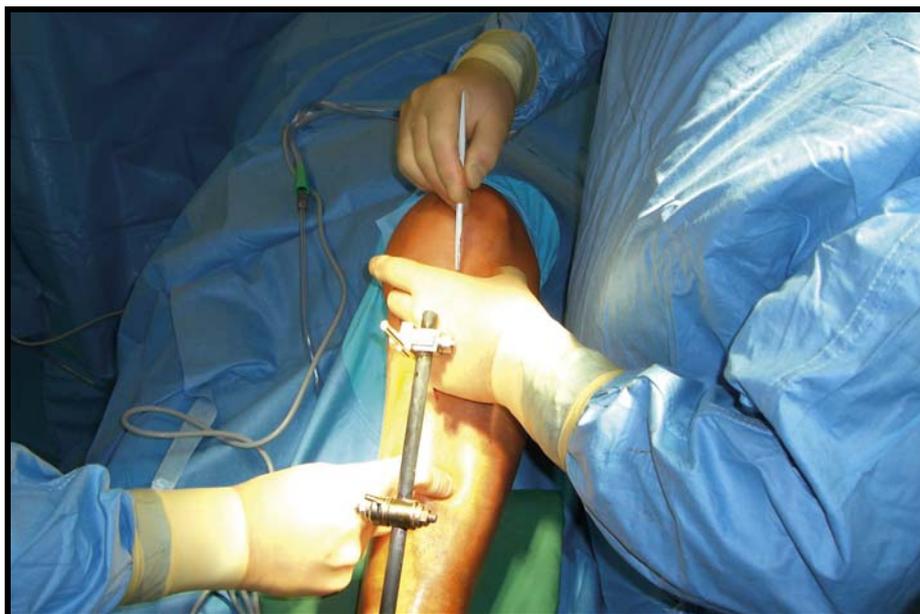


Abb.4:

### 2.3.3. Nageleintrittspunkt

Der knöchernen Eintrittspunkt liegt in der Verlängerung des Markkanales in der a.p.-Aufsicht. Für Schafffrakturen kann ein relativ anteriorer Eintrittspunkt unter Schonung der ventralen Kortikalis gewählt werden. Zum Durchdringen der Kortikalis kann der Pfriem benutzt werden (Abb.5). Die Eintrittspforte liegt im a.p.-Bildwandlerbild gerade medial der lateralen Spitze der Eminentia intercondylaris, in der seitlichen Bildwandleransicht direkt am vorderen Rand des Tibiaplateaus.

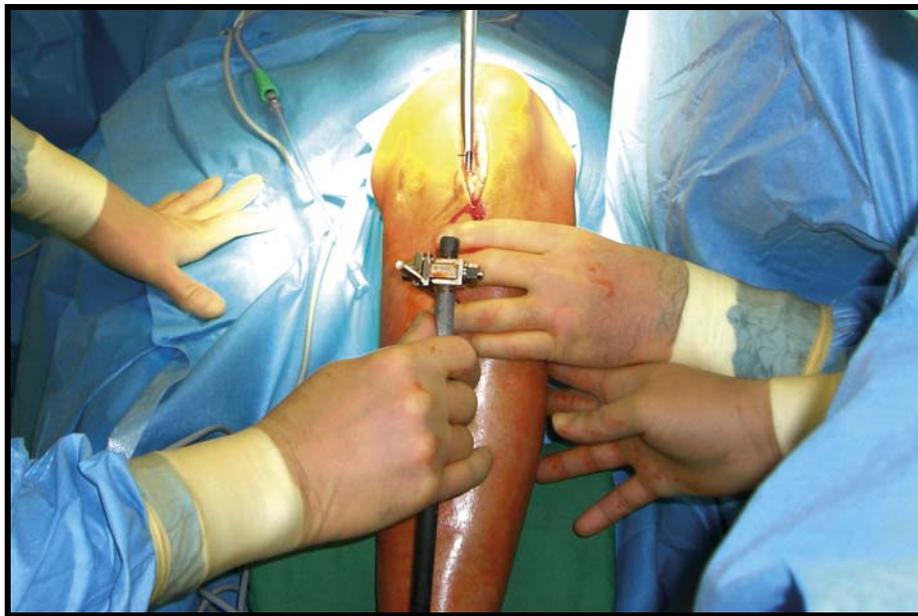


Abb.5:

### 2.3.4. Einbringung des Marknagels

Die Marknagellänge und -dicke wird mittels einer mitgelieferten Schablone bestimmt (Abb.6). Der im Einschlaginstrumentarium eingespannte Marknagel wird unter Reposition der Achse sowie der Rotation unter Bildwandlerkontrolle in das distale Fragment, unter möglichst optimaler Stellung der Fraktur eingetrieben (Abb.7). Ist der Nagel weit genug eingeschlagen (1-5 mm im Knochen versenkt), kann im Falle einer unaufgebohrten Technik die Verriegelung erfolgen.

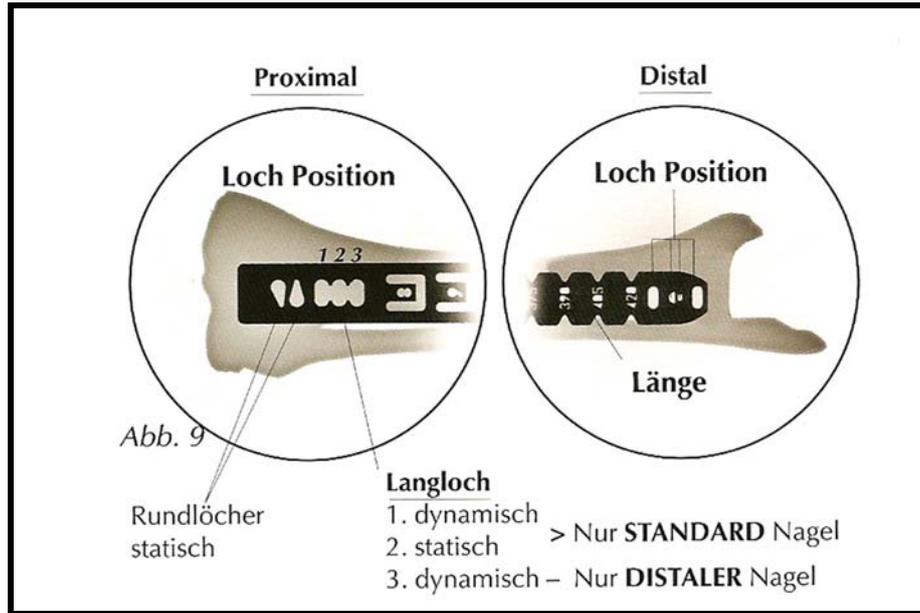


Abb.6:



Abb.7:

### 2.3.5. Verriegelung

Proximal erfolgt die Verriegelung über den Zielbügel (Abb.8). Die Verriegelungsbolzen können nach Stichinzision, Bohrung und Längenmessung eingebracht werden. Die distale Verriegelung erfolgt unter Bildwandlerkontrolle ohne Zielbügel in Freihandtechnik (Abb.9).

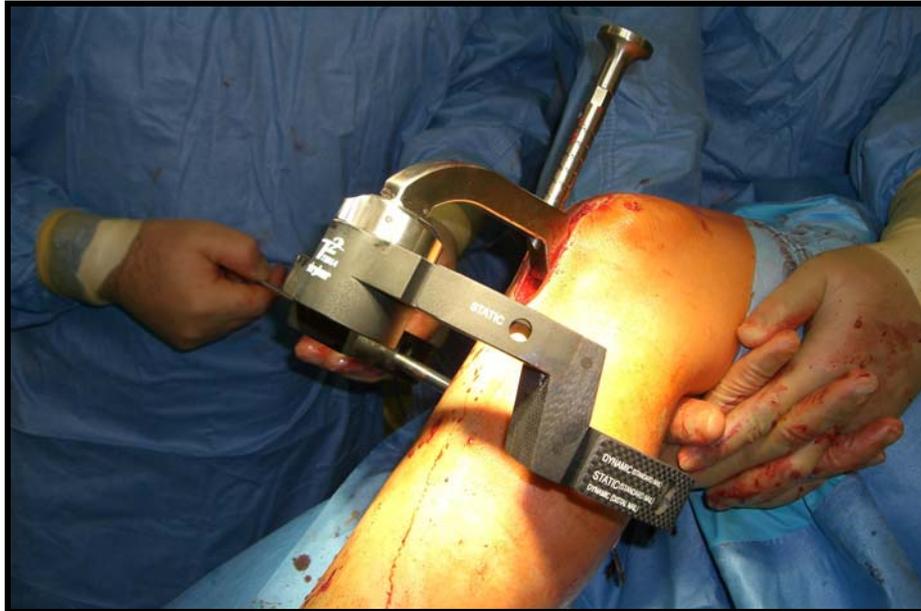


Abb.8:



Abb.9:

## **2.4. Datenerfassung und Statistik**

Alle relevanten klinischen Daten wurden zusammen mit den Ergebnissen der Datenauswertung in einer Microsoft Excel-Datei und anschliessend in einer SPSS-Datei (Version 12.0) erfasst.

Die Berechnungen basierten auf dem statistischen Testverfahren des  $\chi^2$ -Test nach Pearson.

Um statistisch zu beweisen, ob ein signifikanter Zusammenhang besteht zwischen einem angewendeten Verfahren und einer aufgetretenen Komplikation wurde ebenfalls der  $\chi^2$ -Test nach Pearson eingesetzt.

## **2.5. Photographische Technik**

Die intraoperativen Bilder der Marknagelosteosynthese (Abb.4, 5, 7, 8, 9) wurden mit einer Digitalkamera der Marke Konica Minolta Dimage X-50 aufgenommen. Abbildung 6 wurde einem Prospekt der Firma Stryker entnommen.

Die verwendeten Röntgenaufnahmen der Kasuistik typischer Fälle (Abb.10-25) stammen aus der elektronischen Datenbank (PACS) des Marienhospitals Stuttgart.

### 3. ERGEBNISSE

#### 3.1. Patientenkollektiv und Komplikationsrate

Im Jahr 1995 bis 2001 wurde bei 110 Patienten mit Frakturen am Tibiaschaft eine osteosynthetische Versorgung mittels Marknagelung durchgeführt. Für diese Studie wurden ausschließlich Schafffrakturen im Bereich der Tibia mit einem frischen adäquaten Unfallmechanismus berücksichtigt. Pathologische Frakturen und kindliche Frakturen wurden nicht miteinbezogen. Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung im Jahre 2004 konnten 88 Patienten (80,0%) untersucht werden. Bei allen 88 Patienten (80,0%) waren zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung sämtliche Implantate bereits entfernt worden. Von den 110 primär operierten Patienten waren zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung 2 Patienten (1,8%) verstorben.

Bei 21 von 110 (19,1%) mittels Marknagelung behandelten Patienten war es im Verlauf zur Ausbildung einer Komplikation gekommen.

Dies ergibt eine Komplikationsrate von 19,1% (Tab.10, Abb.10).

Tab.10: Die Komplikationsrate

Komplikationsrate	Anzahl	Anzahl in %
Komplikation	21	19,1
Keine Komplikation	89	80,9
Gesamt	110	100,0

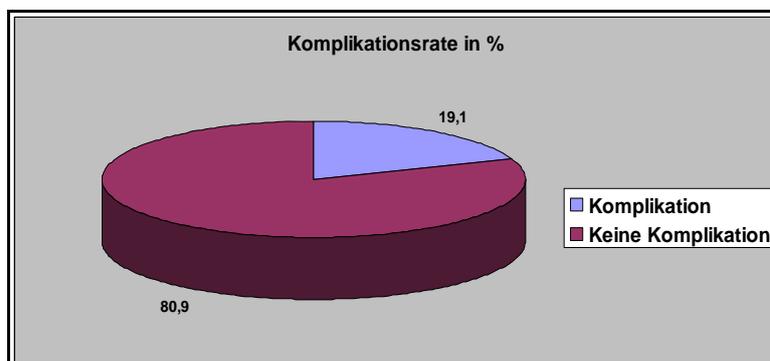


Abb.10: Die Komplikationsrate

### 3.2. Die Unfallursache

Hauptunfallursachen der Tibiaschaftfraktur waren wie zu erwarten Hochrasanztraumen im Rahmen von Verkehrsunfällen und Sportunfällen. Zusammen ergaben sie 78,2%.

Tab.11: Unfallursache

Unfallursache	n	%
Verkehrsunfall	50	45,5
Sportunfall	36	32,7
Hausunfall	13	11,8
Berufsunfall	11	10
Gesamt	110	100

Die restlichen 21,8% wurden durch Haus- und Berufsunfälle verursacht (Tab.11, Abb.11).

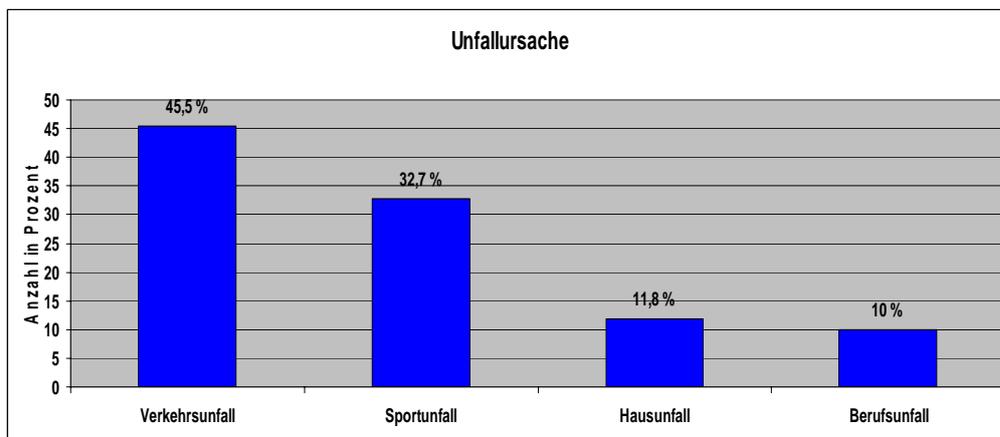


Abb.11: Unfallursache

### 3.3. Die Alters- und Geschlechtsverteilung

Die Anzahl der männlichen Patienten in unserer Studie betrug 67 (60,9%) mit einem Durchschnittsalter von 41,28 Jahren (Abb.13). Die restlichen 43 Patienten (39,1%) waren weiblich mit einem Durchschnittsalter von 47,58 Jahren. Das Durchschnittsalter aller Patienten lag bei 40,70 Jahren. Das Alter des jüngsten Patienten betrug 17 Jahre, der älteste Patient war 92 Jahre alt (Tab.12, Abb.12).

Tab.12: Altersverteilung

Altersverteilung in Jahren	m	w
0 - 10	0	0
11 - 20	8	2
21 - 30	14	10
31 - 40	15	10
41 - 50	16	7
51 - 60	9	6
61 - 70	2	3
71 - 80	3	1
81 - 90	0	2
91 - 100	0	2
Gesamt	67	43

Besonders auffällig in der Altersverteilung war die Gruppe erwachsener Männer mit einem Schwerpunkt in der Gruppe der 20 – 50 Jährigen, welche gemeinsam 40,9% aller Patienten ergaben. Ein Grund hierfür kann die besondere Disposition der unteren Extremitäten und vor allem des Unterschenkels bei Sport- und Verkehrsunfällen sein. Auch Hochrasanztraumen im Rahmen von Motorradunfällen sind hinsichtlich der Altersverteilung zu berücksichtigen.

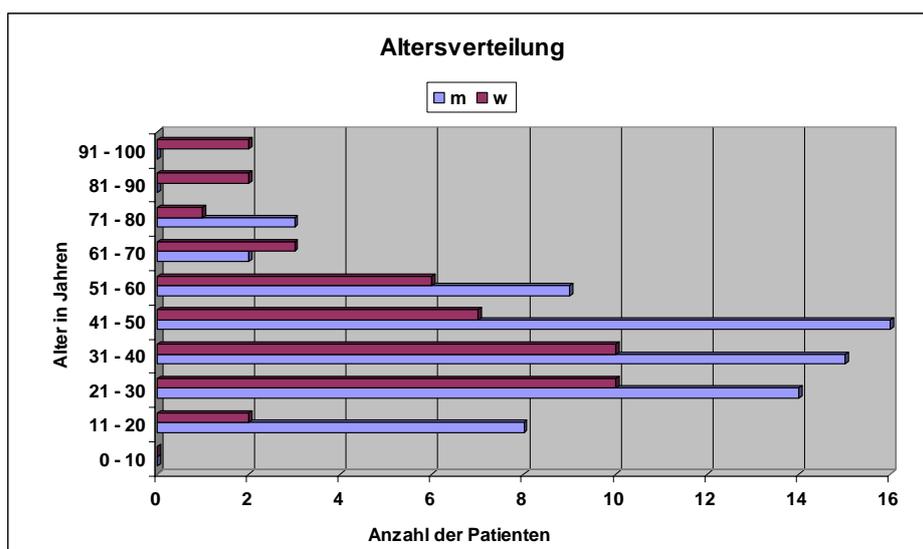


Abb.12: Altersverteilung

Dominierten bei den Unterschenkelfrakturen im Rahmen von Verkehrs- und Sportunfällen die 20 – 50 Jährigen Männer, so waren bei Hausunfällen in der Regel Frauen ab dem 50. Lebensjahr betroffen.

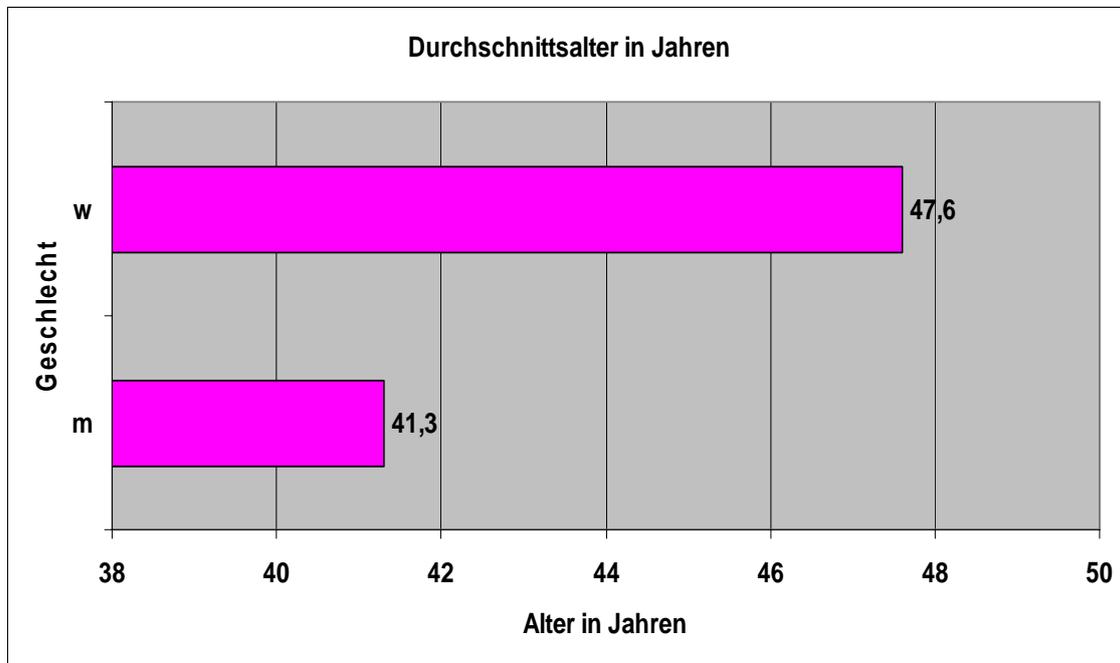


Abb.13: Durchschnittsalter

### 3.4. Ort der Erstversorgung

97 Patienten (88,1%) wurden primär mittels Marknagelung in der Klinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie des Marienhospitals Stuttgart operiert. Die restlichen 13 Patienten (11,9%) wurden auswärtig primär versorgt.

### 3.5. Das Verletzungsmuster

Die Einzelverletzung war mit 73,6% am häufigsten vertreten, demgegenüber war die Gruppe der Kombinationsverletzungen (gleiche Extremität), Mehrfachverletzungen (verschiedene Körperregionen) und das Polytrauma mit insgesamt 26,4% weniger oft vertreten (Abb.14).

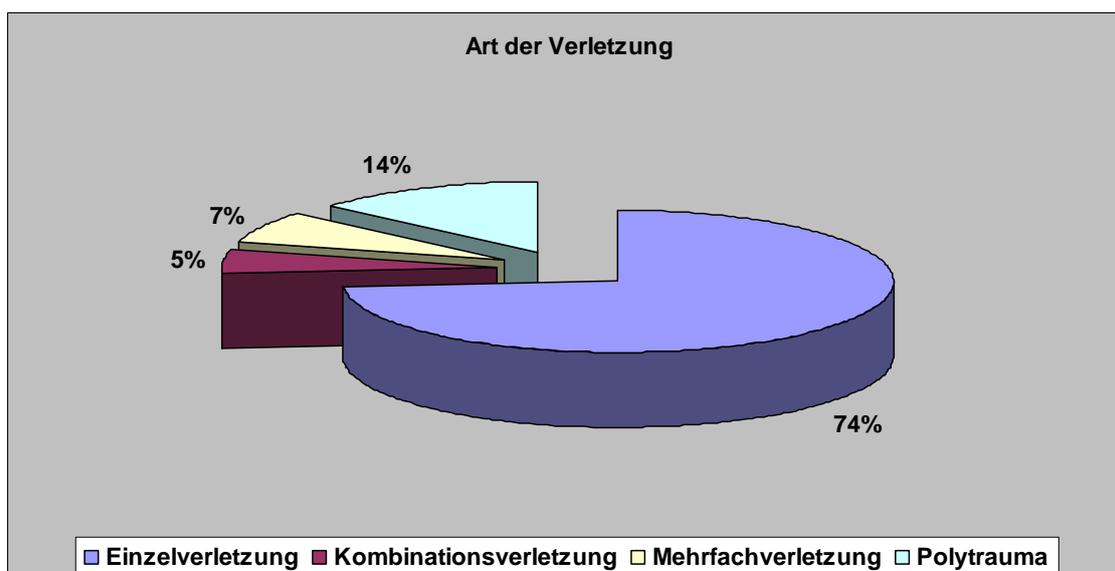


Abb.14: Verletzungsmuster

### 3.6. Fraktureinteilung nach der AO-Klassifikation

Gemäß der AO-Klassifikation wurden die Frakturen je nach zunehmendem Schweregrad der Verletzung in 3 Hauptgruppen (A-B-C) unterteilt. Bei den Frakturtypen des diaphysären Segmentes 42 werden entweder „einfache“ (Typ A) oder „mehrfragmentäre“ Frakturen unterschieden. Bei den mehrfragmentären Frakturen unterscheidet man Keilfrakturen (Typ B) und komplexere Frakturen (Typ C). Die genaue Einteilung nach der AO Klassifikation wurde bereits im vorangegangenen Teil der Arbeit unter Punkt 1.3.1 beschrieben.

Bei der Analyse der Frakturtypen (Tab.13, Abb.15) zeigte sich, dass die einfachen Frakturen (42-A) mit 46,4% am häufigsten vertreten waren, dicht gefolgt von den Keilfrakturen (42-B) mit 38,7%. Am seltensten kamen komplexere Frakturen (42-C) mit 15,4% vor.

Tab.13: AO Klassifikation

AO-Klassifikation	42A	42B	42C	Gesamt
Anzahl der Fälle	51	42	17	110
Anzahl der Fälle in %	46,4	38,7	15,4	100,0

Die am häufigsten vertretene Frakturart war mit 27 Fällen (24,5%) die einfache Torsionsfraktur AO 42 A 1-2 als typischer Vertreter der Sportverletzungen.

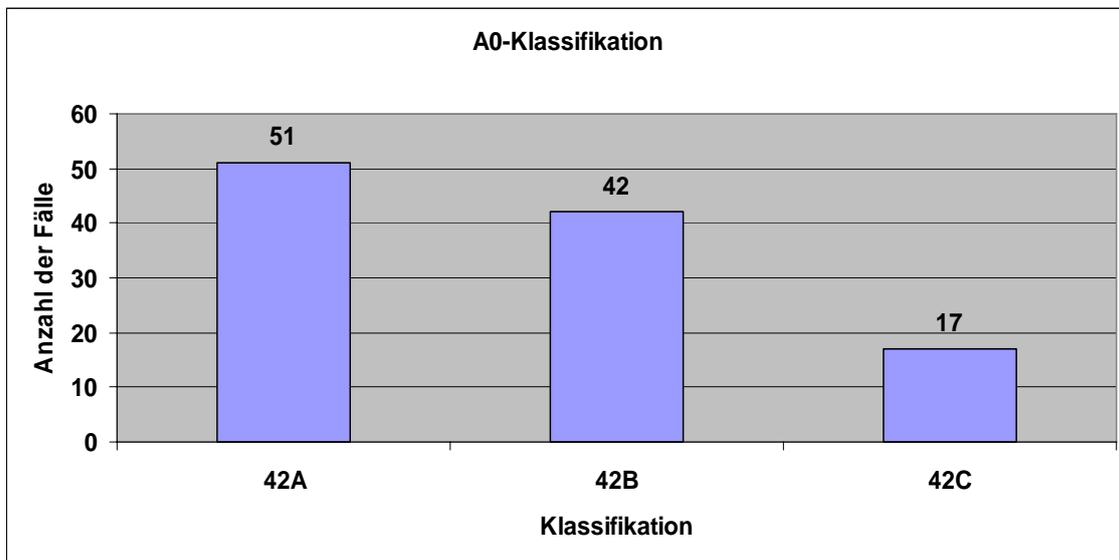


Abb.15: AO Klassifikation

### 3.7. Der Weichteilschaden

Wie bereits unter Punkt 1.3.2 dieser Arbeit beschrieben, erfolgte die Einteilung des geschlossenen Weichteilschadens nach Tscherne und Östern (Tab.15). Die Einteilung des offenen Weichteilschadens wurde nach Gustilo und Anderson vorgenommen (Tab.16). 85 Patienten (77,3%) hatten geschlossene, 25 Patienten (22,7%) offene Frakturen (Tab.14, Abb.16). Besonders auffällig ist, dass von den 25 Fällen mit offenen Frakturen es bei 8 Patienten (32,0%) zur Ausbildung einer Komplikation gekommen war. Im Vergleich hierzu kam es bei den 85 Fällen der geschlossenen Frakturen nur in 13 Fällen (15,3%) zur Ausbildung einer Komplikation.

Tab.14: Weichteilschaden

Frakturart	Geschlossen	Offen	Gesamt
Anzahl der Fälle	85	25	110
Anzahl der Fälle in %	77,3	22,7	100,0

Besonders der Weichteilschaden bei geschlossenen Brüchen erweist sich als äußerst problematisch, da seine Erfassung vielfach schwieriger ist und in vielen Fällen unterschätzt oder gar ignoriert wird.

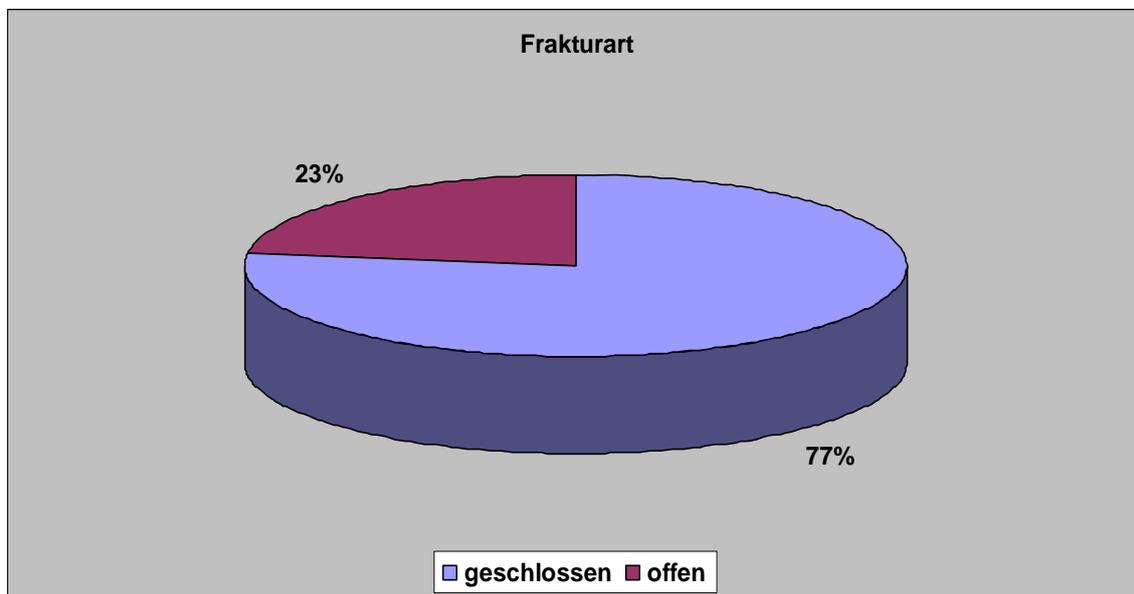


Abb.16: Weichteilschaden

Bereits die einfache Hautkontusion einer geschlossenen Fraktur kann mehr therapeutische und prognostische Probleme aufwerfen, als die Hautperforation bei einer offenen Fraktur. Entsteht eine Nekrose als Hauptkomplikation einer Hautkontusion, so kann diese Nekrose einen Infektionsweg bahnen. Die Prognose einer offenen Fraktur hängt außer von der Weichteilschädigung selbst, zusätzlich noch vom Schweregrad der knöchernen Verletzung, dem Unfallmechanismus, der Zeitspanne bis zur definitiven Versorgung der Weichteile und vom Grad der Weichteilkontamination ab.

Tab.15: Geschlossener Weichteilschaden nach Tscherne und Östern

<b>Geschlossene Frakturen</b>	<b>G0</b>	<b>G1</b>	<b>G2</b>	<b>G3</b>	<b>Gesamt</b>
Anzahl der Fälle	6	45	33	1	85
Anzahl der Fälle in %	7,0	53,0	38,8	1,2	100,0

Bei den geschlossenen Frakturen kam am häufigsten der Weichteilschaden G1 (53,0%) vor, als Repräsentant der einfachen Frakturformen.

Tab.16: Offener Weichteilschaden nach Gustilo und Anderson

Offene Frakturen	O1	O2	O3	Gesamt
Anzahl der Fälle	9	10	6	25
Anzahl der Fälle in %	36,0	40,0	24,0	100,0

Bei den offenen Frakturen dominierte der Weichteilschaden O2 (40,0%), welcher hauptsächlich bei mittelschweren Frakturformen angetroffen wird.

### 3.8. Osteosynthesemanagement

Im Zeitraum Januar 1995 bis einschließlich Dezember 2001 wurden insgesamt 110 Patienten mit frischen Tibiaschaftfrakturen operativ versorgt. In 55 Fällen (50,0%) erfolgte, vor allem bei schwerem Weichteilschaden, die primäre Versorgung mittels Fixateur externe. Nach durchschnittlich 10,9 Tagen wurde auf eine interne Osteosynthese gewechselt. Bei insgesamt 50 Fällen (45,5%) erfolgte der Wechsel von Fixateur externe auf eine Marknagelung in unaufgebohrter Technik (UTN), bei 5 Fällen (4,5%) der Wechsel von Fixateur externe auf eine Marknagelung in aufgebohrter Technik (Tab.17).

Tab.17: Primärverfahren Fixateur – Sekundärverfahren Marknagelung

Primärverfahren	Fixateur - unaufgebohrter Marknagel	Fixateur - aufgebohrter Marknagel
Anzahl der Fälle	50	5
Anzahl der Fälle in %	45,5	4,5

44 Patienten (40,0%) wurden primär mit unaufgebohrter Marknagelung, 11 Patienten (10,0%) mit primär aufgebohrter Marknagelung versorgt (Tab.18).

Tab.18: Primärverfahren Marknagelung

Primärverfahren	Primär unaufgebohrter Marknagel	Primär aufgebohrter Marknagel
Anzahl der Fälle	44	11
Anzahl der Fälle in %	40,0	10,0

Abbildung 17 zeigt eine Gesamtübersicht der Osteosyntheseverfahren.

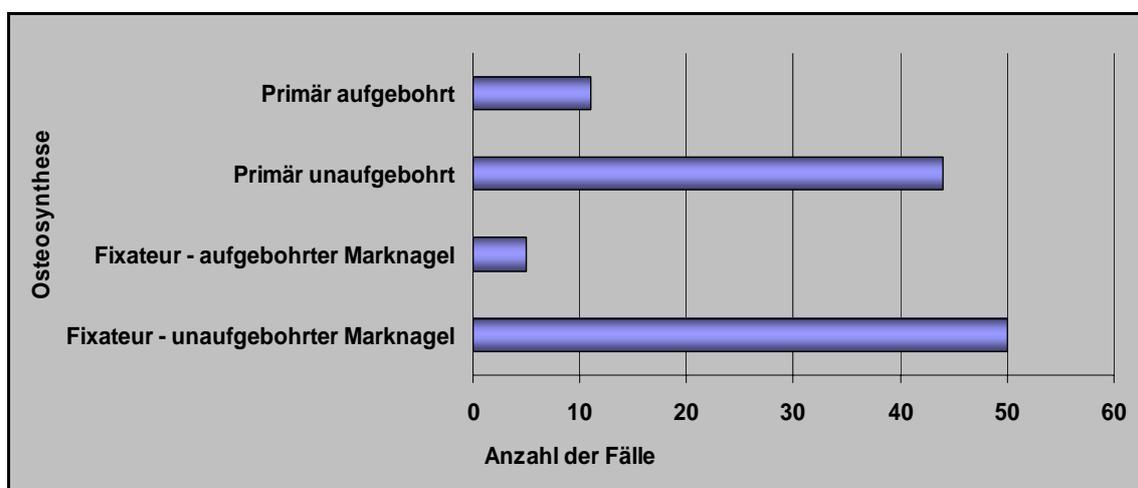


Abb.17: Osteosyntheseverfahren

Der Verfahrenswechsel in 50 Fällen (45,5%) vom Fixateur externe auf eine unaufgebohrte Marknagelung erfolgte im Durchschnitt nach 7,2 Tagen, in 5 Fällen (4,5%) erfolgte der Wechsel von einem Fixateur externe auf eine aufgebohrte Marknagelung nach durchschnittlich 14,6 Tagen (Abb.18).

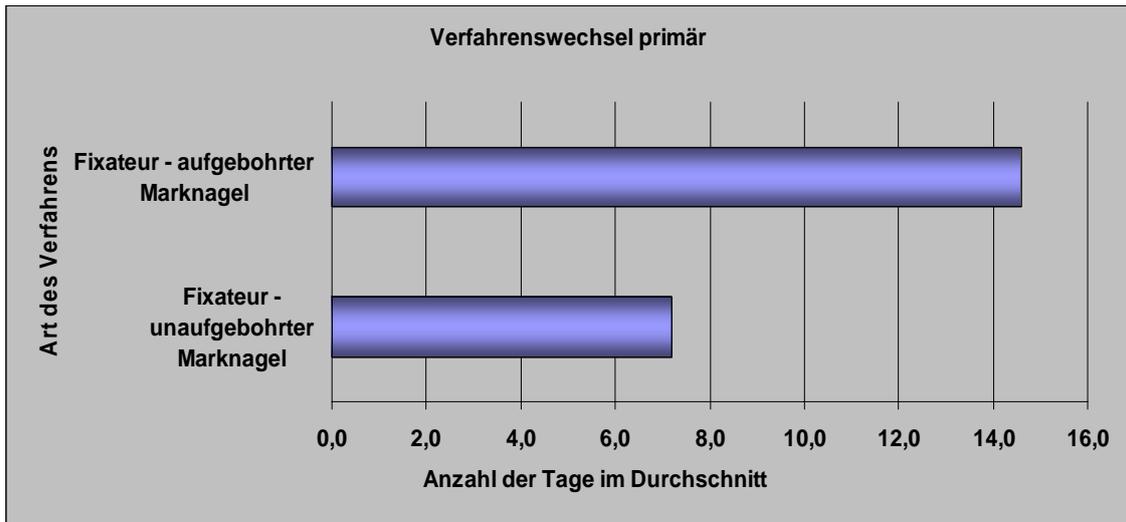


Abb.18: Verfahrenswechsel nach Fixateur externe

Primär additive Osteosynthesemaßnahmen wurden in 46 Fällen (41,8%) durchgeführt. In insgesamt 23 Fällen (50,0%) erfolgte eine plattenosteosynthetische Stabilisierung einer begleitenden Fibulafraktur um zusätzliche Stabilität zu erreichen (Tab.19, Abb.19).

Tab.19: Primär additive Osteosynthesemaßnahmen

Anzahl primär additive Maßnahmen	Anzahl	Anzahl in %
Cerclage	16	34,8
Fibulaplatte	23	50,0
Minimalosteosynthese	6	13,0
Spongiosaplastik	1	2,2
Gesamt	46	100,0

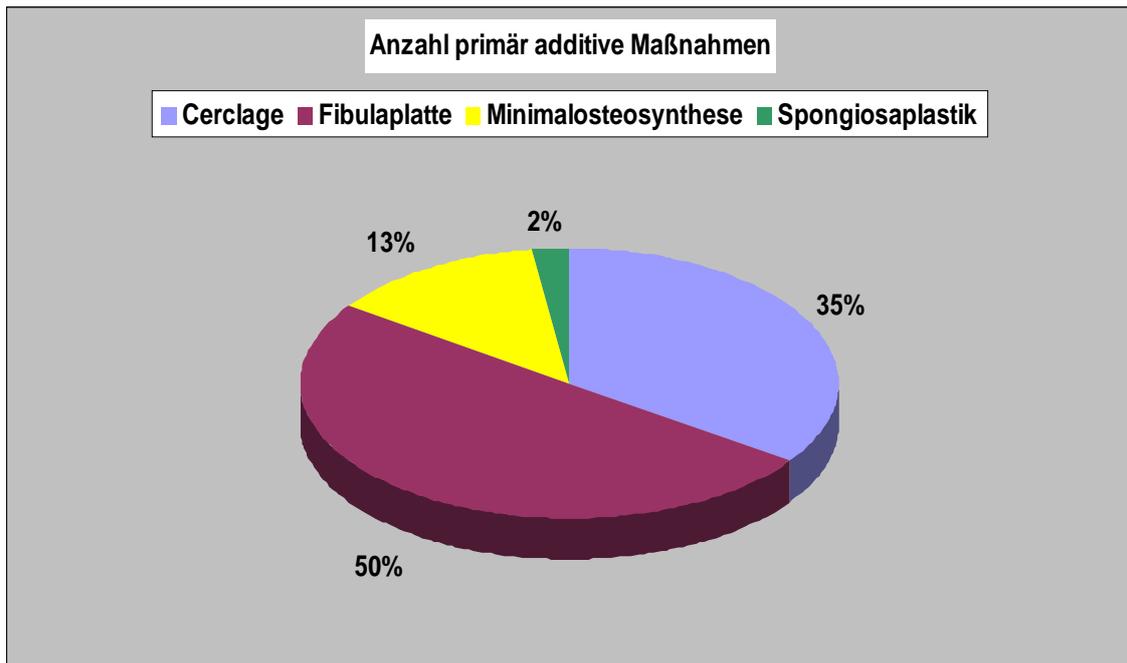


Abb.19: Primär additive Osteosynthesemaßnahmen

### 3.9. Komplikationsanalyse

Von den 110 Fällen mit osteosynthetischer Frakturbehandlung mittels Marknagelung kam es in 21 Fällen zur Ausbildung einer Komplikation. Dies ergibt eine Komplikationsrate von **19,1%**. Betrachtet man die beiden verschiedenen Marknagelungstechniken in dieser Analyse, so beträgt die Komplikationsrate bei insgesamt 94 unaufgebohrten Marknagelungen 20,2% (19 Fälle) und bei der aufgebohrten Marknagelung 12,5% (2 Fälle). Die häufigste Komplikation war die Pseudarthrose (47,6%), gefolgt von der Fehlstellung (42,9%). Danach trat mit Abstand die Infektion (9,5%) auf. Andere Komplikationen (Kompartmentsyndrom, Thrombose, Hämatom) kamen in dieser Studie nicht vor. Bezogen auf den Weichteilschaden betrug die Infektrate bei den 25 offenen Frakturen 8,0% (2 Fälle). Bei den geschlossenen Frakturen kam es zu keiner Ausbildung einer Infektion (Tab.20, Abb.20).

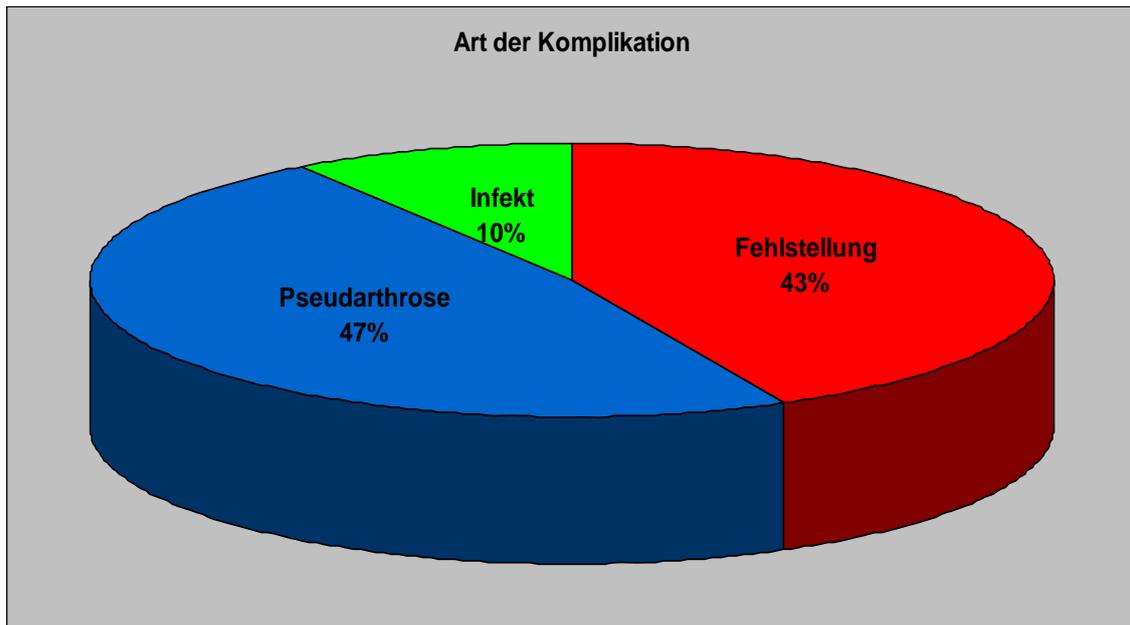


Abb.20: Komplikationen

Tab.20: Komplikationen

Art der Komplikation	Anzahl	Anzahl in %
Fehlstellung	9	42,9
Pseudarthrose	10	47,6
Infekt	2	9,5
Gesamt	21	100,0

Abbildung 21 zeigt die Anzahl der aufgetretenen Komplikationen in Bezug auf die angewendete Marknagelungstechnik (unaufgebohrt / aufgebohrt).

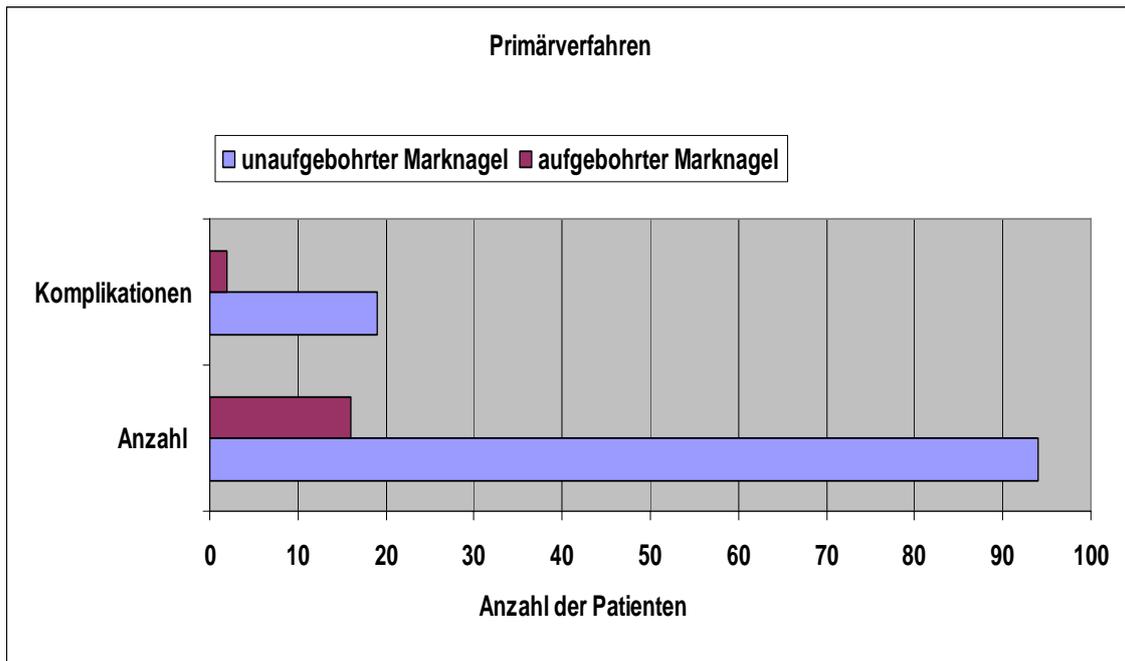


Abb.21: Marknagelungstechnik und Anzahl aufgetretene Komplikationen

### 3.9.1. Fehlstellung

Eine primäre oder sekundäre Fehlstellung als Komplikation in beiden Gruppen kam in 9 Fällen (8,2%) vor (Tab.21).

In der unaufgebohrten Gruppe gab es 7 Fälle (7,5%) einer Fehlstellung.

In der aufgebohrten Gruppe kam es in 2 Fällen (12,5%) zur Ausbildung einer Komplikation. In diesen beiden Fällen handelte es sich um eine Außenrotationsfehlstellung, welche wahrscheinlich auf das durch den Operateur nicht exakte Ausführen der Osteosynthese zurückzuführen ist. In 1 Fall (11,1%) führte ein Bolzenbruch direkt zu einer primären Fehlstellung.

Tab.21: Fehlstellung

Fehlstellung	Anzahl	Anzahl in %
Primär	8	88,9
Sekundär	1	11,1
Gesamt	9	100,0

### **3.9.2. Pseudarthrose**

Die Pseudarthrosenrate betrug 9,1% (10 Fälle). Alle Pseudarthrosen kamen in Zusammenhang mit der unaufgebohrten Marknagelung vor. Eine hypertrophe Pseudarthrose kam in 9 Fällen, eine areaktive Pseudarthrose kam in 1 Fall vor. In 8 Fällen entstand die Pseudarthrose direkt oder indirekt durch Implantatversagen. In 7 Fällen kam es zum Bolzenbruch (allesamt distal), in 1 Fall kam es zur Ausbildung einer Pseudarthrose durch den Bruch eines unaufgebohrten Marknagels.

### **3.9.3. Infektion**

Beide Fälle von aufgetretenen Infektionen (1,8%) kamen in der Gruppe der unaufgebohrten Marknagelung vor. In beiden Fällen handelte es sich um offene Frakturen mit schwerem Weichteilschaden. In beiden Fällen erfolgte als Sekundärverfahren im Sinne eines Komplikationsmanagements die Entfernung des Marknagels. Anschliessend erfolgte eine Markraumaufbohrung und die Fraktur wurde temporär mittels Fixateur externe stabilisiert. Die definitive Ausheilung erfolgte im weiteren Verlauf mittels aufgebohrter Marknagelung.

### **3.9.4. Implantatversagen**

In 9 Fällen (8,2%) kam es durch Implantatversagen direkt oder indirekt zur Ausbildung einer Komplikation. In sämtlichen 9 Fällen betraf es einen unaufgebohrten Marknagel. In 1 Fall der aufgetretenen Fehlstellungen konnte nachweislich ein Bolzenbruch und im Falle der aufgetretenen Pseudarthrosen konnte in 1 Fall der Bruch eines unaufgebohrten Marknagels als direkte Ursache für das Auftreten einer Komplikation identifiziert werden. Ob die übrigen 7 Fälle der aufgetretenen Bolzenbrüche direkt verantwortlich sind für das Auftreten von Komplikationen, konnte in unserer Studie nicht eindeutig belegt werden.

### 3.9.5. Hintergrundanalyse der Komplikationen

Für das Auftreten von Komplikationen können verschiedene Aspekte und Umstände verantwortlich sein. Neben der korrekten Indikationsstellung für eine bestimmte Osteosynthese, ist die korrekte und exakte Ausführung dieser durch den Chirurgen hauptverantwortlich für ein gutes Behandlungsergebnis. Besonders wichtig für ein gutes Behandlungsergebnis ist eine adäquate Patientencompliance. Für das Auftreten der 21 Komplikationen (19,1%) in unserer Studie konnten mehrere Ursachen festgestellt werden (Tab.22, Abb.22).

Tab.22: Hintergrundanalyse Komplikation

Komplikation	Anzahl	Anzahl in %
Falsche Indikationsstellung	6	28,6
Fehlerhafte Osteosynthese	10	47,6
Mangelnde Patientencompliance	5	23,8
Gesamt	21	100,0

Am häufigsten war eine fehlerhafte Durchführung der Osteosynthese (47,6%) verantwortlich für das Auftreten einer Komplikation, gefolgt von einer falschen Indikationsstellung (28,6%) für das gewählte Osteosyntheseverfahren.

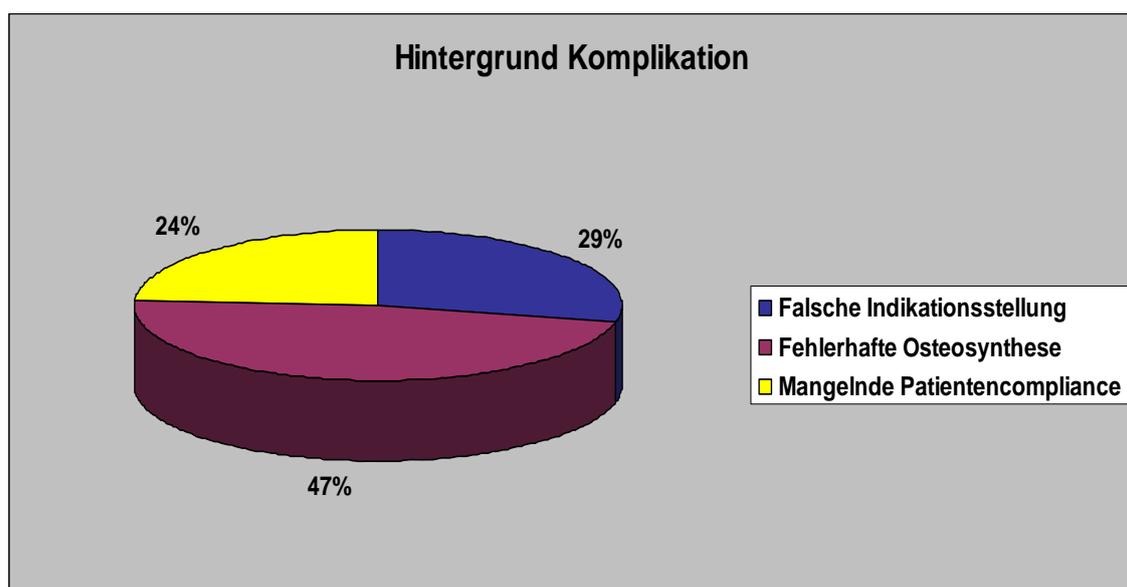


Abb.22: Hintergrundanalyse Komplikation

In insgesamt 5 Fällen (23,8%) lag die Ursache der Komplikation beim Patienten selbst wegen mangelnder Compliance. In allen 5 Fällen kam es nachweislich im Verlauf der Behandlung zum Auftreten einer Komplikation nach einem Sturz in alkoholisiertem Zustand.

### 3.9.6. Sekundärverfahren

In allen 21 Fällen (19,1%) unserer Studie in denen Komplikationen nach einer Marknagelung auftraten, wurde im weiteren Verlauf eine sekundäre Intervention notwendig (Tab.23).

Tab.23: Sekundärverfahren

Sekundärverfahren	Anzahl	Anzahl in %
Alternative Unterschenkelplatte	1	4,8
Additive Unterschenkelplatte	6	28,6
Umnagelung - aufgebohrter Marknagel	12	57,1
Fixateur + Markraumaufbohrung	2	9,5
Gesamt	21	100,0

Bei der primär aufgebohrten Marknagelung wurden 2 Komplikationen (12,5%) beobachtet. Es handelte sich hierbei um jeweils eine Außenrotationsfehlstellung welche operativ, mittels Achsenkorrektur und erneuter proximaler Verriegelung, korrigiert werden konnte. Zusätzlich wurde in beiden Fällen noch eine additive Plattenosteosynthese mit Unterschenkelplatte durchgeführt. In sämtlichen 10 Fällen, in denen eine Pseudarthrose nach unaufgebohrter Marknagelung auftrat erfolgte eine Umnagelung in aufgebohrter Technik. Insgesamt erfolgte in 12 von 21 Fällen (57,1%) eine Umnagelung von unaufgebohrtem auf einen aufgebohrten Marknagel. In den beiden Fällen einer tiefen Infektion nach unaufgebohrter Marknagelung (1,8%) erfolgte die Entfernung des Marknagels sowie die Anlage eines Fixateur externe mit zusätzlicher Markraumaufbohrung. Nach Sanierung der Infektsituation erfolgte die Implantation eines aufgebohrten Marknagels. In insgesamt 5 Fällen erfolgte eine zusätzliche Spongiosaplastik aus dem Beckenkamm, um entstandene Defektsituationen zu sanieren (Abb.23).

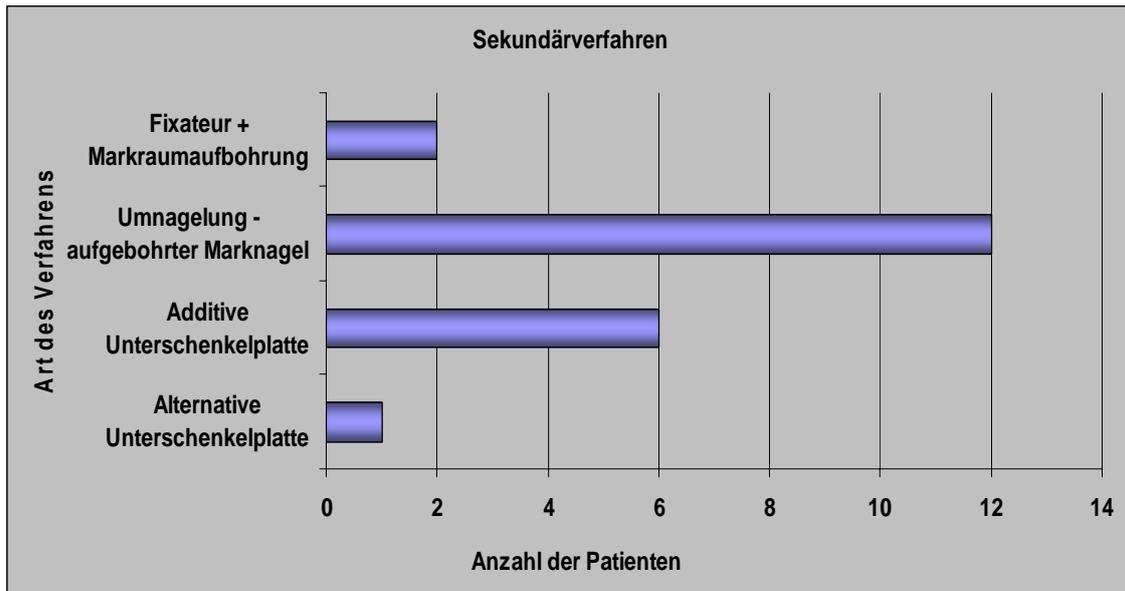


Abb.23: Sekundärverfahren

Bei den Revisionseingriffen mittels aufgebohrter Markraumumnagelung kam es in sämtlichen Fällen zu einer knöchernen Ausheilung der Fraktur.

### 3.10. Dauer der Behandlung

Wie aus der Tabelle 24 ersichtlich, betrug der durchschnittliche Behandlungszeitraum in der Patientengruppe ohne Komplikationen (89 Fälle) vom Zeitpunkt der primären Versorgung bis zum Zeitpunkt der vollständigen Metallentfernung 505,1 Tage. In der Gruppe der Komplikationen (21 Fälle) kam es durchschnittlich zu einem deutlich längeren Behandlungszeitraum von 847,5 Tagen. Vom Tage der primären Versorgung bis zum Zeitpunkt des Sekundärverfahrens vergingen in der Komplikationsgruppe durchschnittlich 137,1 Tage.

Tab.24: Dauer der durchschnittlichen Behandlung

Behandlungsdauer Tag OP - ME	Anzahl der Patienten	Durchschnitt in Tagen
ohne Komplikationen	89	505
mit Komplikationen	21	848

Die stationären Aufenthaltstage betragen im Durchschnitt in der Gruppe ohne Komplikationen 16,7 Tage und in der Gruppe mit Komplikationen 37,1 Tage (Abb.24).

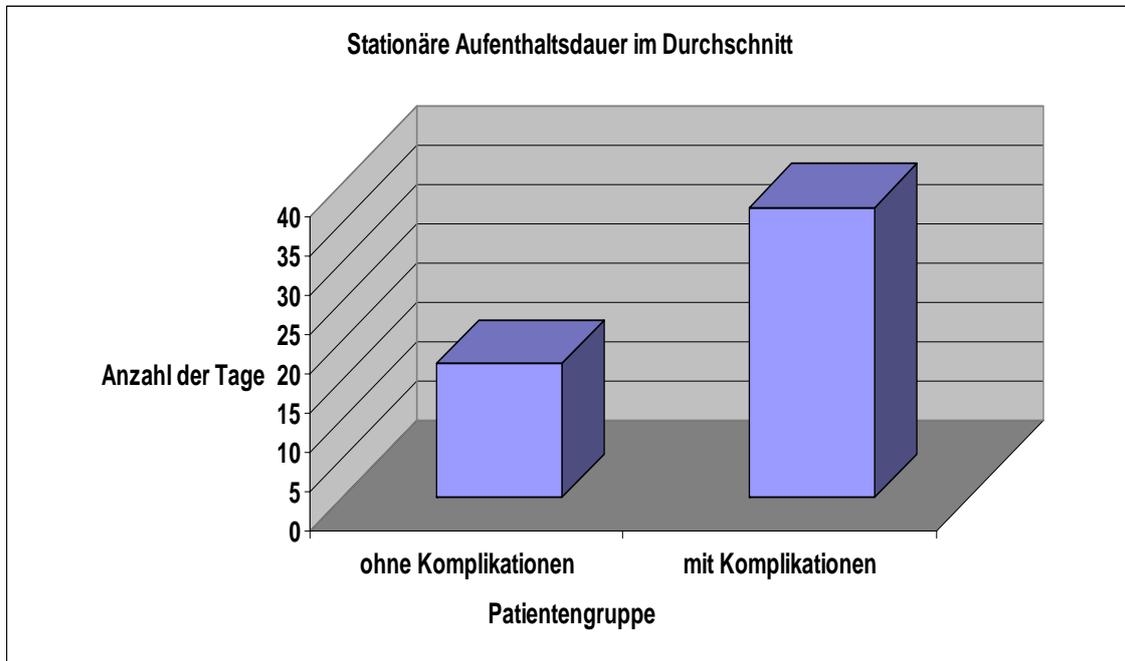


Abb.24: Stationäre Aufenthaltsdauer im Durchschnitt

### 3.11. Das Ausheilungsergebnis

Von insgesamt 110 Patienten konnten im Jahre 2004 im Rahmen einer Nachuntersuchung 88 Patienten (80,0%) einbestellt und in den Räumen des Marienhospitals Stuttgart nachuntersucht werden. Als Grundlage der Nachuntersuchung dienten die Kriterien von Merchant und Dietz (1989). Der überwiegende Teil der Patienten war mit dem erreichten Behandlungsergebnis sehr zufrieden (Abb.25).

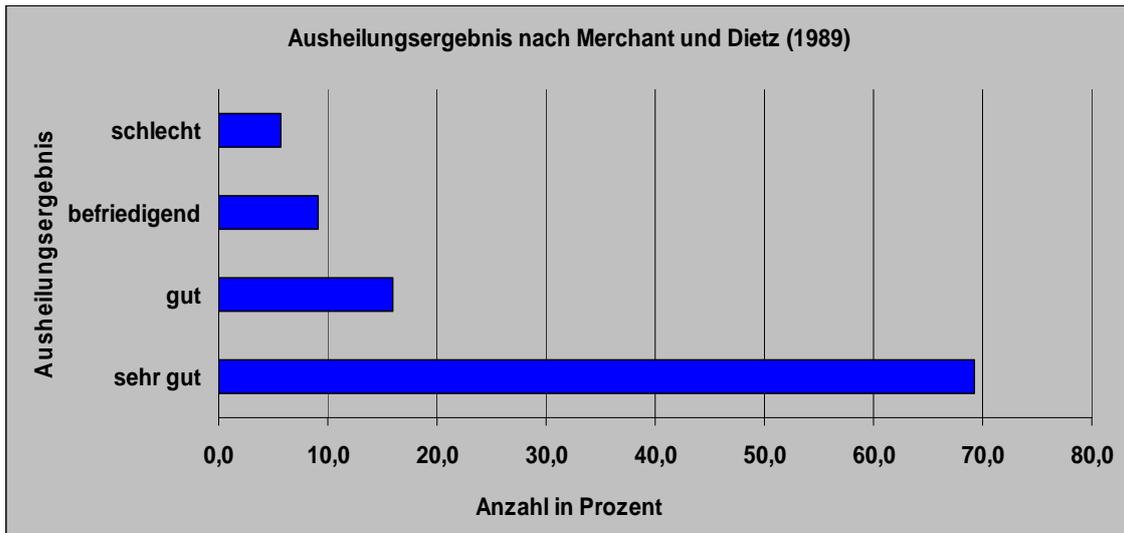


Abb. 25: Ausheilungsergebnis

Insgesamt 85,2% der Patienten (75 Fälle) schnitten nach den Kriterien von Merchant und Dietz sehr gut bis gut ab. Bei 9,1% (8 Fälle) wurde ein befriedigendes Ergebnis erreicht. Lediglich 5,7% (5 Fälle) schnitten sehr schlecht ab. Als Gründe für hierfür wurden hauptsächlich starke belastungsabhängige Schmerzen genannt. Aufgrund dieser Beschwerden könnten sich diese Patienten im Alltag und im Berufsleben nicht zurechtfinden und würden sich deshalb weiterhin in ärztlicher Behandlung befinden.

### 3.12. Statistische Komplikationsanalyse nach unaufgebohrter und aufgebohrter Marknagelung

#### 3.12.1. Informationen zur Stichprobe

Kommt es bei dem unaufgebohrten Verfahren (UTN) im Vergleich zum aufgebohrten (AUF) zu einer signifikant häufigeren Pseudarthrosenrate oder generell zu einer häufigeren Komplikationsrate?

Tab.25: Angewendetes Operationsverfahren (Häufigkeiten)

<b>Angewendetes Operationsverfahren</b>				
	<b>Häufigkeit</b>	<b>Prozent</b>	<b>Gültige Prozente</b>	<b>Kumulierte Prozente</b>
Verfahren 1: UTN	94	85,5	85,5	85,5
Verfahren 2: AUF	16	14,5	14,5	100
Gesamt	110	100,0	100,0	

Tab.26: Aufgetretene Komplikationen (Häufigkeiten)

<b>Aufgetretene Komplikationen (a)</b>				
	<b>Häufigkeit</b>	<b>Prozent</b>	<b>Gültige Prozente</b>	<b>Kumulierte Prozente</b>
Pseudarthrose	10	52,6	52,6	52,6
Fehlstellung	7	36,8	36,8	89,5
Infekt	2	10,5	10,5	100,0
Gesamt	110	100,0	100,0	

Tab.27: Kreuztabelle

<b>Aufgetretene Komplikationen *</b>				
<b>Angewendetes Operationsverfahren Kreuztabelle</b>				
		<b>Angewendetes Operationsverfahren</b>		<b>Gesamt</b>
		<b>Verfahren 1 UTN</b>	<b>Verfahren 2 AUF</b>	
Aufgetretene Komplikationen	Komplikation 1: Pseudarthrose	10	0	10
	Komplikation 2: Fehlstellung	7	2	9
	Komplikation 3: Infekt	2	0	2
<b>Gesamt</b>		19	2	21

Tab.28: Chi-Quadrat-Tests

<b>Chi-Quadrat-Tests</b>			
	<b>Wert</b>	<b>df</b>	<b>Asymptotische Signifikanz (2-seitig)</b>
Chi-Quadrat nach Pearson	2,947(a)	2	,229
Likelihood-Quotient	3,674	2	,159
Zusammenhang linear-mit-linear	,717	1	,397
Anzahl der gültigen Fälle	21		

a 4 Zellen (66,7%) haben eine erwartete Häufigkeit kleiner 5. Die minimale erwartete Häufigkeit ist 19.

Der  $\chi^2$ -Test ergibt, dass es keinen signifikanten Zusammenhang zwischen dem gewählten Verfahren und einer aufgetretenen Komplikation (Pseudarthrose) gibt, da die Signifikanz mit einem Wert von  $p = 0,229$  über einen Wert von 0,05 liegt. Erst ab einem Wert unter 0.05 ist eine Signifikanz gegeben (Tab.28).

Das bedeutet dass die Ergebnisse auch zufällig auftreten könnten, und/oder durch eine andere Variable beeinflusst sein könnten wie z.B. Alter, Geschlecht, oder Vorerkrankungen der jeweiligen Patienten.

In unserer Analyse weisen 2 von 4 Zellen (50%) eine erwartete Häufigkeit kleiner als 5 auf. Das deutet darauf hin, dass unsere Fallzahl zu gering ist um statistisch aussagekräftige Ergebnisse aus einem  $\chi^2$ -Test zu gewinnen.

Empfehlung: Die Fallzahlen sind gegebenenfalls zu erhöhen.

Ein Z-Test ist aufgrund fehlender analytischer Software nicht ohne erheblichen Aufwand durchführbar.

### **3.12.2. Quoten (Wahrscheinlichkeiten)**

Die aufgetretenen Komplikationen bedingt durch das Verfahren einer unaufgebohrten Marknagelung (UTN), weisen folgende Quoten für Ihr Auftreten auf (Tab.29):

- a) Die Quote (Wahrscheinlichkeit) für das Auftreten einer Komplikation durch das UTN Verfahren liegt bei der untersuchten Stichprobe bei 20,21% der Patienten. Im Vergleich hierzu weist das aufgebohrte Verfahren (AUF) mit einer Quote von 12,5 % eine niedrigere Quote auf. Bemerkung: Die Fallzahlen beim aufgebohrten Verfahren (AUF) sind nicht ausreichend groß.
- b) Bei insgesamt 79,8% der Patienten verlief eine unaufgebohrte Marknagelung (UTN) ohne Komplikation. Die Pseudarthrose weist mit 10,64 % die höchste Quote einer aufgetretenen Komplikation durch das unaufgebohrte Verfahren (UTN) auf. Bei 7,45% aller Patienten ist durch dasselbe Verfahren eine Fehlstellung aufgetreten, und bei weiteren 2,13% ein Infekt.

- c) Bei insgesamt 87,5% der Patienten verlief ein aufgebohrtes Verfahren (AUF) ohne Komplikation. Die Pseudarthrose bzw. ein Infekt trat beim aufgebohrten Verfahren (AUF), bei den untersuchten 16 Fällen gar nicht erst auf. In 2 Fällen (12,5%) kam es zu einer Fehlstellung durch das aufgebohrte Verfahren.

**Fazit:**

1. Das unaufgebohrte Verfahren (UTN) weist im Vergleich zum aufgebohrten Verfahren (AUF) eine höhere Komplikationsrate auf.
2. Zu berücksichtigen ist jedoch die deutlich niedrigere Stichprobe beim aufgebohrten Verfahren (AUF), wodurch eigentlich auch kein statistisch exakt nachgewiesener Rückschluss möglich ist.

Tab.29: Quoten (Wahrscheinlichkeiten)

Komplikation	UTN Verfahren		AUF Verfahren	
	Häufigkeiten	Quoten	Häufigkeiten	Quoten
Pseudarthrose	10	10,64%	0	0,00%
Fehlstellung	7	7,45%	2	12,50%
Infekt	2	2,13%	0	0,00%
- keine -	75	79,79%	14	87,50%
Gesamt	94	100,00%	16	100,00%

**Gesamtfazit:**

- Die Wahl einer bestimmten Marknagelungstechnik hat keinen signifikanten Einfluss auf das Auftreten einer Komplikation in unserer Studie.
- Absolut zu berücksichtigen ist dabei die niedrige Fallzahl dieser Stichprobe, die keine klaren statistischen Tests erlaubt.
- Jedoch erlauben die aufgetretenen Quoten innerhalb des unaufgebohrten Verfahrens (UTN) den Rückschluss, dass die Pseudarthrose, im Vergleich zu anderen Komplikationen häufiger auftritt.

- Es bedarf einer wesentlich höheren Stichprobe, um Ergebnisse statistischen Tests unterziehen zu können und somit eine signifikante Abhängigkeit der Komplikationen durch ein bestimmtes Verfahren nachweisen zu können.

Durch den  $\chi^2$ -Test konnte kein signifikanter Einfluss der angewendeten Marknagelungstechnik für das Auftreten einer Komplikation nachgewiesen werden. Dadurch ist, bedingt durch die geringen Fallzahlen unserer Studie, auch kein statistisch nachgewiesener Rückschluss möglich, hinsichtlich der Minimierung von Komplikationen durch die Wahl eines bestimmten Osteosyntheseverfahrens.

### **3.13.Zusammenfassung der Ergebnisse**

1. Im Zeitraum zwischen 1995 und 2001 wurde an 110 Patienten mit frischen Tibiaschaftfrakturen eine Marknagelosteosynthese durchgeführt. Vor allem bei schweren Weichteilschäden erfolgte in 55 Fällen (50,0%) zunächst eine temporäre Versorgung der Frakturen mittels Fixateur externe. Anschließend erfolgte nach Konsolidierung der Weichteilverhältnisse ein Verfahrenswechsel von Fixateur externe auf eine unaufgebohrte Marknagelung im Durchschnitt nach 7,2 Tagen und auf eine aufgebohrte Marknagelung im Durchschnitt nach 14,6 Tagen. Insgesamt erfolgte in 94 Fällen (85,5%) eine unaufgebohrte und in 16 Fällen (14,5%) eine aufgebohrte Marknagelung. Primär additive Maßnahmen wurden in 46 Fällen (41,8%) durchgeführt.
2. In 21 von 110 Fällen kam es zur Ausbildung einer Komplikation. Dies ergab sich eine Komplikationsrate insgesamt von 19,1%. Die Komplikationsrate in der unaufgebohrten Gruppe betrug 20,2% (19 Fälle) und in der aufgebohrten Gruppe 12,5% (2 Fälle). Als Komplikationen kam die Pseudarthrose (9,1%) am häufigsten vor, gefolgt von der Fehlstellung (8,2%) und der Infektion (1,8%).

3. In allen 21 Fällen (19,1%) einer aufgetretenen Komplikation wurden sekundäre Interventionen erforderlich (1 alternative Plattenosteosynthese 6 additive Plattenosteosynthesen, 12 aufgebohrte Umnagelungen, 2 temporäre Fixateur externe-Reosteosynthesen).

Bei der primär aufgebohrten Marknagelung konnten lediglich 2 Außenrotationsfehlstellungen (12,5%) objektiviert und im weiteren Verlauf operativ korrigiert werden. Bei den Reosteosynthesen mittels aufgebohrter Umnagelung kam es in allen Fällen zur knöchernen Ausheilung der Frakturen.

4. Im Nachuntersuchungszeitraum konnten 88 Patienten (80,0%) nachuntersucht werden. Als Grundlage dienten die Kriterien von Merchant und Dietz (1989). Der überwiegende Teil der Patienten war zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung mit dem erreichten Behandlungsergebnis sehr zufrieden. In 75 Fällen (85,2%) schnitten die Patienten sehr gut bis gut, in 8 Fällen (9,1%) befriedigend und in 5 Fällen (5,7%) schlecht ab.

5. Beide Marknagelungsverfahren (unaufgebohrt, aufgebohrt) wurden mit Hilfe einer statistischen Vergleichsanalyse ( $\chi^2$ -Test nach Pearson) miteinander verglichen.

a) Das unaufgebohrte Verfahren (UTN) wies im Vergleich zum aufgebohrten Verfahren (AUF) eine höhere Komplikationsrate auf, jedoch ist die deutlich niedrigere Stichprobe beim aufgebohrten Verfahren absolut zu berücksichtigen.

b) Durch den  $\chi^2$ -Test konnte kein signifikanter Einfluss der angewendeten Marknagelungstechnik für das Auftreten einer Komplikation in unserer Studie nachgewiesen werden ( $p = 0,229$ ).

Die Fallzahlen der untersuchten Patienten waren zu gering um statistisch aussagekräftige Ergebnisse aus einem  $\chi^2$ -Test gewinnen zu können, da 2 von 4 Zellen (50,0%) eine erwartete Häufigkeit kleiner als 5 aufwiesen.

c) Hinsichtlich der Minimierung von Komplikationen durch die Wahl eines bestimmten Marknagelungsverfahrens war aufgrund der geringen Fallzahlen keine eindeutig statistisch nachgewiesene Aussage möglich.

d) Es bedarf einer wesentlich höheren Stichprobe, um erzielte Ergebnisse statistischen Tests unterziehen zu können, um somit eine absolut signifikante Abhängigkeit der Komplikationen von einem bestimmten Verfahren nachzuweisen.

## 4. TYPISCHE KASUISTIKEN

### Fall 1:

Abb. 26-30

AO Klassifikation 42 A 3

Weichteilschaden O II

Komplikation: hypertrophe Pseudarthrose nach primär unaufgebohrter Marknagelung

### Fall 2:

Abb. 31-36

AO Klassifikation 42 A 3

Weichteilschaden G II

Komplikation: hypertrophe Pseudarthrose und Bolzenbruch nach primär unaufgebohrter Marknagelung

### Fall 3:

Abb. 37-41

AO Klassifikation 42 A 3

Weichteilschaden G II

Komplikation: Implantatversagen und Bolzenbruch nach primär unaufgebohrter Marknagelung

## 4.1. Fall 1: Verkehrsunfall

Herr W.P., 49 Jahre,  
Verkehrsunfall (Anpralltrauma als Fußgänger)



Abb. 26

AO Klassifikation: 42 A 3  
Weichteilschaden: O II  
Unfalltag: 06.09.2000



Abb. 27

**Therapie:**  
primär unaufgebohrte  
Marknagelung 07.09.2000



Abb. 28

**Komplikation:**

hypertrophe Pseudarthrose

06.02.2001



Abb. 29

**Revision:**

aufgebohrte Marknagelung

11.05.2001



Abb. 30

Ausheilungsbild bei knöcherner  
Konsolidierung 04.09.2001

## 4.2. Fall 2: Privater Unfall

Herr G.D., 52 Jahre,  
Privater Unfall (Leitersturz)



Abb. 31

AO Klassifikation: 42 A 3  
Weichteilschaden: G II  
Unfalltag: 15.07.2002



Abb. 32

**Therapie:**  
primär unaufgebohrte  
Marknagelung 15.07.2002



Abb. 33

**Komplikation:**

hypertrophe Pseudarthrose,  
Bolzenbruch 03.12.2002



Abb. 34

**Revision:**

aufgebohrte Marknagelung  
14.01.2003



Abb. 35

Ausheilungsbild bei knöcherner  
Konsolidierung 11.07.2003



Abb. 36

Ausheilungsbild nach vollständiger  
Metallentfernung 03.02.2004

### 4.3. Fall 3: Arbeitsunfall

Herr W.M., 45 Jahre,  
Arbeitsunfall (Sturz vom Gerüst)



Abb. 37

AO Klassifikation: 42 A 3  
Weichteilschaden: G II  
Unfalltag: 11.11.1999



Abb. 38

**Therapie:**  
primär unaufgebohrte  
Marknagelung 12.11.1999



Abb. 39

**Komplikation:**

Implantatversagen /  
Marknagelbruch 03.04.2000



Abb. 40

**Revision:**

alternative Plattenosteosynthese  
22.06.2000



Abb. 41

Ausheilungsbild nach vollständiger  
Metallentfernung 14.06.2002

## 5. DISKUSSION

Die Marknagelung gehört seit je her zu den etablierten Osteosyntheseverfahren bei der operativen Versorgung von Tibiaschaftfrakturen. Seit Einführung der intramedullären Osteosynthese durch Gerhard Küntscher im Jahre 1940 hat sich diese Technik zu einem heutigen Goldstandard immer weiter entwickelt. Anfang der neunziger Jahre berichtet Krettek et al., (1991) über seine ersten Erfahrungen mit einem soliden, unaufgebohrten Tibiamarknagel. Zur damaligen Zeit war noch der Fixateur externe das Mittel der ersten Wahl bei der Versorgung von Tibiaschaftfrakturen. Schnell wurde deutlich, dass die unaufgebohrte Marknagelung eine weitaus schonendere und elegantere Alternative zum Fixateur externe war, hinsichtlich des mangelnden Tragecomforts sowie der Vielzahl an Pin-Infektionen bei der Versorgung mittels Fixateur.

Befürworter der unaufgebohrten Technik propagierten diese Anfang der neunziger Jahre als eine minimal-invasive Technik mit verkürzter Operationszeit unter Schonung sowohl der endostalen Durchblutung als auch des Knochens. Somit etablierte sich die unaufgebohrte Marknagelung aufgrund ihrer vielseitigen Verwendbarkeit - auch bei höhergradiger Weichteilschädigung - als unangefochtenes Standardverfahren bei der Erstversorgung von Tibiaschaftfrakturen. Dem aufgebohrten Marknagel wurde von je her durch den Bohrvorgang eine metabolische, thermische als auch mechanische Schädigung des Knochens nachgesagt. Als weitere Nachteile wurden höhere Infektraten und keine Eignung bei der Versorgung von Frakturen mit höhergradigen Weichteilschäden genannt. Aus diesem Grund rückte die aufgebohrte Marknagelung im letzten Jahrzehnt immer mehr in das zweite Glied und wurde nur noch bei Korrekturingriffen aufgrund ihrer höheren mechanischen Stabilität bevorzugt.

Die aufgebohrte Technik gewinnt in den letzten Jahren immer mehr Anhänger. Grund dafür sind viele verschiedene nationale und internationale Studien, welche belegen, dass unter bestimmten Umständen die Aufbohrung einer

Markhöhle keineswegs mehr Nachteile mit sich führen muss im Vergleich zur unaufgebohrten Technik.

Im statistischen Teil dieser Arbeit wurde versucht anhand einer statistischen Vergleichsanalyse beide Marknagelungstechniken miteinander zu vergleichen. Hinsichtlich der Fragestellungen aus dem ersten Teil unserer Arbeit zeigten sich folgende Ergebnisse:

1. Die Komplikationsrate beider Gruppen betrug insgesamt 19,1%.
2. Die Komplikationsrate war höher in der unaufgebohrten Gruppe und betrug 20,2% im Vergleich mit 12,5% in der aufgebohrten Gruppe. Zu berücksichtigen sind jedoch die weitaus geringeren Fallzahlen in der aufgebohrten Gruppe.
3. Als Komplikationen kam die Pseudarthrose (9,1%) am häufigsten vor gefolgt von der Fehlstellung (8,2%) und der Infektion (1,8%).
4. In der aufgebohrten Gruppe kam es lediglich in 2 Fällen zur Ausbildung einer Komplikation, es handelte sich hierbei jeweils um eine Fehlstellung.
5. Es besteht kein signifikanter Zusammenhang zwischen dem gewählten Verfahren und einer aufgetretenen Komplikation in unserer Studie ( $p = 0,229$ ). Zu berücksichtigen wiederum sind die geringen Fallzahlen unserer Stichprobe.
6. Ein aussagekräftiges Statement hinsichtlich der Minimierung von Komplikationen durch die Wahl eines bestimmten Osteosyntheseverfahrens in unserer Studie konnte statistisch nicht getroffen werden.
7. Die aufgetretenen Pseudarthrosen innerhalb der unaufgebohrten Gruppe (10,6%) erlauben den Rückschluss, dass im Vergleich zu anderen aufgetretenen Komplikationen die Pseudarthrose bei der unaufgebohrten Marknagelung tendenziell häufiger auftritt.
8. Auf die Frage, ob bei der operativen Versorgung einer Tibiaschaftfraktur primär immer aufgebohrt werden sollte, konnte in dieser Arbeit keine eindeutige Aussage getroffen werden.

9. Hinsichtlich der postulierten Fragestellungen unserer Arbeit bedarf es einer wesentlich höheren Stichprobe, um Ergebnisse statistischen Tests unterziehen zu können und um somit eine signifikante Abhängigkeit der Komplikationen von einem bestimmten Verfahren nachweisen zu können.

Es stellt sich für den behandelnden Chirurgen somit die Frage, welche Kriterien bei der Wahl zwischen gebohrter und unangebohrter Marknagelung bestehen und welche der postulierten Vor- und Nachteile bewiesen sind.

Forster et al., (2004) versuchte darzulegen, ob eine Tibiaschaftfraktur primär immer angebohrt werden sollte. Hierzu wurde in der Cochrane Datenbank nach passenden Ergebnissen gesucht. Von insgesamt 1200 gefundenen möglichen Artikeln ergaben sich 7 Studien, welche die angebohrte und die unangebohrte Marknagelung am Tibiaschaft miteinander verglichen. Insgesamt 3 Studien erfüllten die Kriterien des Verfassers im Sinne einer prospektiv randomisierten Studie (Court-Brown et al., 1996, Keating et al., 1997, Blachut et al. 1997).

Von 291 mittels Marknagelosteosynthese versorgten Tibiaschaftfrakturen konnten 280 (96%) zurückverfolgt (follow-up) werden. Aus den 280 analysierten Tibiaschaftfrakturen waren 148 angebohrt und 132 nicht angebohrt worden. Es zeigten sich folgende Ergebnisse:

1. Es konnte eine signifikant kleinere Pseudarthrosenrate bei der angebohrten Technik nachgewiesen werden ( $p = 0,02$ ). Auch kam es bei der unangebohrten Gruppe häufiger zu Revisionseingriffen ( $p = 0,02$ ).
2. Ein signifikanter Unterschied bezüglich eines Nagelbruches konnte nicht nachgewiesen werden. Es kam insgesamt in allen 3 Studien zu 5 Nagelbrüchen (2 unangebohrte, 3 angebohrte). Doch kam es in der unangebohrten Gruppe zu deutlich mehreren Bolzenbrüchen ( $p < 0,0001$ ).
3. Ein signifikant häufigeres Vorkommen einer Fehlstellung oder eines Kompartmentsyndroms konnte nicht nachgewiesen werden.

4. Bezüglich des Auftretens einer oberflächlichen Infektion, einer Fettembolie, eines Todesfalls, einer Lungenembolie oder einer tiefen Beinvenenthrombose konnte aufgrund des statistisch sehr geringen Vorkommens in beiden Gruppen keine Aussage getroffen werden.

Forster et al., (2004) kamen zu dem Ergebnis, dass es durch die Aufbohrung des Tibiaschaftes, zu einer signifikanten Reduktion von Frakturheilungsstörungen kommt.

Auch Finkemeier et al., (2000) bestätigte in einer prospektiven Studie, dass die Aufbohrung des Markraumes bei geschlossenen Tibiaschaftfrakturen zu einer schnelleren knöchernen Konsolidierung ohne höhere Komplikationsrate führt. In dieser Studie war die Aufbohrung von offenen Tibiaschaftfrakturen nicht mit einem höheren Komplikationsrisiko verbunden.

Kappus und Börner, (2001) untersuchten anhand einer retrospektiven Literaturstudie die Vor- und Nachteile beider Techniken und leiteten daraus eine zeitgemäße differenzierte Therapieempfehlung bei der intramedullären Versorgung von Tibiaschaftfrakturen ab (Tab.30).

Tab.30: Literaturübersicht unaufgebohrter / aufgebohrter Tibianagel

Autor / Anzahl (n)	Weichteil- schaden G/O I-III	Pseud- arthrose	Material- bruch	Knochen- heilung
<b>Literaturübersicht unaufgebohrter Tibianagel</b>				
Ostermann et al. 1993 n = 33	G = 40% I-III = 60%	6%	12%	23,5 Wochen
Hofer et al. 1994 n = 33	G = 94% I-II = 6%	0%	?	12-14 Wochen
Gregory u. Sanders 1995 n = 38	G = 100%	8%	25%	16 Wochen
Ruchholtz et al. 1996 n = 26	G = 62% I = 38%	4%	4%	12 Wochen
Jockheck et al. 1996 n = 131	G = 54% I-III = 46%	2%	26%	19,8 Wochen
Richter et al. 1998 n = 50	G = 64% I = 36%	2%	10%	?
<b>Literaturübersicht aufgebohrter Tibianagel</b>				
Wu u. Shih 1993 n = 38	G = 100% I = 100%	3%	?	18 Wochen
O'Dwyer et al. 1994 n = 35	G = 85% I-II = 15%	6%	?	20 Wochen
Wiss u. Stetson 1995 n = 101	G = 100%	2%	?	28 Wochen
Ruchholtz et al. 1996 n = 35	G = 97% I = 3%	6%	?	18 Wochen

Sämtliche Vor- und Nachteile beider Techniken wurden in dieser Studie analysiert und es wurde versucht, diese wissenschaftlich zu untermauern. Hierbei kamen die Verfasser zu folgenden Schlussfolgerungen:

1. Eine vermehrte Schädigung der Knochendurchblutung bei der aufgetriebenen Technik wurde bei Tierexperimenten bestätigt.
2. Wiederum in Tierexperimenten zeigte sich bei den unaufgetriebenen Tibianägeln eine frühzeitige Knochenbruchheilung.
3. Eine vermehrte Mediatoreinschwemmung in den Kreislauf konnte an der Tibia nicht bewiesen werden.
4. Die Infektrate lag bei beiden Techniken zwischen 0 und 3%. Zu berücksichtigen sei hier allerdings der generell höhere Weichteilschaden bei der Verwendung eines unaufgetriebenen Marknagels.
5. Die Pseudarthrosenrate betrug bei beiden Techniken bis zu 8%, ohne dass eine Überlegenheit eines dieser Systeme hinsichtlich der Pseudarthrosenrate abzulesen war.
6. Bei bis zu 26% der Fälle der unaufgetriebenen Nagelung kam es zu Bolzenbrüchen, ohne dass dies immer einen Nachteil für die Knochenbruchheilung bedeutete.

In Anbetracht vieler nationaler und internationaler Studien sowie der eigenen Ergebnisse zeigt sich, dass über die aufgetriebene Marknagelung am Tibiaschaft kontrovers diskutiert werden kann.

Die Hauptsorge bezüglich der Aufbohrung ist nach wie vor eine vermehrte Schädigung der Knochendurchblutung. Es ist bewiesen, dass durch die Aufbohrung - im Vergleich zur unaufgetriebenen Technik - es zu einer wesentlich größeren Störung der kortikalen Durchblutung kommt. Hierdurch könnte man eine erhöhte Infektionsrate oder eine verzögerte Knochenbruchheilung erwarten. Dies ist bis heute jedoch aus der veröffentlichten Literatur nicht eindeutig zu entnehmen.

In einer prospektiv randomisierten Studie von Giannoudis et al., (2002) wurde die Temperaturerhöhung in der Tibia bei 34 Patienten während der Markraumaufbohrung gemessen. Die Verfasser kamen zu dem Schluss, dass es während der Aufbohrung des Markraumes, nur zu einer vorübergehenden Temperaturerhöhung in der Tibia kommt. Dieser Temperatureffekt ist proportional zu der Menge des kortikalen Knochens. Die Anwendung einer Blutsperrung und das Aufbohren des Markraumes bis zu 1,5 mm über den benötigten Nageldurchmesser kann laut der Verfasser aus klinischer Sicht noch als „sicher“ bezeichnet werden.

Beim Einbringen eines Nagels ohne vorhergehende Aufbohrung ist laut Pfister et al. (2000) die Zone der primären Avaskulärität sehr viel kleiner, das notwendige Remodelling weniger ausgedehnt und zeitaufwendig. Durch den Bohrvorgang bildet sich Bohrmehl, welches zu einer Verstärkung der osteogenetischen Potenz führt und somit ein biologischer Zünder für die Knochenbruchheilung sein kann.

Eine eindeutige Tendenz bezüglich des vermehrten Auftretens einer Fettembolie, einer Lungenembolie oder einer tiefen Infektion bei der aufgebohrten Marknagelung lässt sich nicht erkennen. Die 2 Fälle einer Infektion (9,5%) in unserer Studie betrafen in beiden Fällen offene Frakturen mit schweren Weichteilschäden, weshalb eine unaufgebohrte Marknagelung durchgeführt wurde. Eine Aussage bezüglich des vermehrten Auftretens von Infektionen bei der aufgebohrten Marknagelung ist anhand unserer Analyse nicht möglich. Es ist jedoch eindeutig bewiesen, dass bei Frakturen mit schweren und vor allem offenen Weichteilschäden das Infektionsrisiko deutlich erhöht ist.

Bei geschlossenen Tibiaschaftfrakturen ist kein eindeutiger Unterschied in den Heilungsraten nach gebohrter und unaufgebohrter Marknagelung festzustellen. In unserer Studie kamen 10 Fälle von Pseudarthrosen (9,1%) vor. Alle eingetretenen Pseudarthrosen kamen in der unaufgebohrten Gruppe vor.

Eine eindeutige Aussage bezüglich des vermehrten Auftretens einer Pseudarthrose bei der gebohrten oder unaufgebohrten Marknagelung lässt sich bei der Analyse der Ergebnisse aus vielen nationalen und internationalen Studien nicht erkennen.

***Tendenziell aber ist die Pseudarthrosenrate bei der unaufgebohrten Marknagelung in Anbetracht der erzielten Quoten in unserer Studie und aufgrund der bewiesenen unzureichenden Stabilität im Markraum höher.***

Bei offenen Tibiaschaftfrakturen gleichen sich die Ergebnisse bezüglich der Heilung nach gebohrter und unaufgebohrter Marknagelung.

Bewiesen ist, dass es bei der unaufgebohrten Marknagelung aufgrund der unzureichenden Stabilität des Nagels im Markraum zu einer deutlich vermehrten Anzahl von Bolzenbrüchen kommt. Betroffen sind hier meistens die distalen Verriegelungsbolzen, ohne dass dies jedoch laut Kappus et al., (2001) immer einen Nachteil für die Knochenbruchheilung bedeuten muss.

Die insgesamt 10 Fälle (9,1%) der aufgetretenen Pseudarthrosen in unserer Studie wurden in 8 Fällen durch ein Implantatversagen verursacht (7 distale Bolzenbrüche, 1 Marknagelbruch). Hinsichtlich unserer Ergebnisse hatte somit vor allem der Bolzenbruch einen negativen Einfluss auf die Knochenbruchheilung.

Laut Duda et al., (2003) sollte jedoch aufgrund der unzureichenden Stabilitätsverhältnisse, vor allem bei den Schafffrakturen, die unaufgebohrte Marknagelung ohne zusätzliche knöcherne Abstützung (z.B. Fibulaosteosynthese) lediglich zurückhaltend eingesetzt werden.

Fehlstellungen als Komplikation kommen in beiden Marknagelungstechniken vielfach vor. In unserer Studie traten in 16 Fällen einer aufgebohrten Marknagelung 2 Fehlstellungen (12,5%) auf, welche relativ einfach in einem Zweiteingriff operativ beseitigt werden konnten. In 94 Fällen einer unaufgebohrten Marknagelung kam es in 7 Fällen (7,4%) zu einer Fehlstellung.

Da der Marknagel unter Reposition der Achse sowie der Rotation unter Bildwandlerkontrolle in das distale Fragment unter möglichst optimaler Stellung der Fraktur eingetrieben wird, ist in jedem Fall die chirurgische Präzision des Operateurs hinsichtlich des Auftretens von Fehlstellungen mit verantwortlich.

Es besteht kein Zweifel, dass die Marknagelung eine sehr gute und sichere Behandlung von Tibiaschaftfrakturen darstellt, welche aus unfallchirurgischer Sicht in der heutigen Zeit nicht mehr wegzudenken ist.

Aufgrund der eigenen erzielten Ergebnisse und der Durchsicht der veröffentlichten Literatur fällt auf, dass die aus Tierexperimenten gewonnenen hypothetischen biologischen Vorteile der unaufgebohrten Marknagelung in der Humanmedizin nicht eindeutig bestätigt werden können.

Es muss allerdings hinzugefügt werden, dass die Vergleichbarkeit klinischer Studien durch die Verwendung unterschiedlicher Implantate, die unterschiedliche Klassifikation der Weichteilschäden und das unterschiedliche Zeitfenster zwischen Trauma und Marknagelung erschwert wird.

Generell hat die unaufgebohrte und aufgebohrte Marknagelung Ihren Nutzen unter Beweis gestellt. Dem behandelnden Chirurgen steht mittlerweile eine Vielzahl von gebohrten und unaufgebohrten Marknägeln zur Verfügung.

Grundsätzlich stellt sich für den Chirurgen immer die Frage, nach welchen Kriterien die Indikation für einen unaufgebohrten oder aufgebohrten Marknagel gestellt wird und welche der postulierten Vor- und Nachteile tatsächlich bewiesen sind.

Die aufgebohrte Marknagelung hat einen festen Platz in der Versorgung von allen Revisionseingriffen. Aufgrund der hohen Stabilität durch die Markraumverklebung und der guten Handhabbarkeit des aufgebohrten Marknagels findet er bei Verfahrenswechseln, Pseudarthrosen und bei Korrekturingriffen von Fehlstellungen hauptsächlich Verwendung. Auch bei der

Versorgung von pathologischen Frakturen ist der aufgebohrte Marknagel aufgrund der hohen Stabilität zu bevorzugen (Tab.31).

Die Verwendung eines aufgebohrten Marknagels bei höhergradigen Weichteilschäden, insbesondere bei offenen Frakturen, sollte unterbleiben, um durch den Bohrvorgang keine zusätzliche Schädigung zu verursachen und um eine Verschleppung von Keimen in den Markraum zu verhindern.

Tab.31: Indikationsstellung zur Tibiamarknagelung (Kappus et al., 2001)

<b>Geboghrter Marknagel</b>	<b>Unaufgeboghrter Marknagel</b>
Verfahrenswechsel	Frakturversorgung bei höhergradigen Weichteilschäden
Korrekturosteotomien	Frakturversorgung beim Mehrfachverletzten und Polytrauma
Pseudarthrosen	
Pathologische Frakturen	
Geschlossene Frakturen ohne höhergradige Weichteilschäden	

Die Versorgung von offenen Tibiaschaftfrakturen sollte aus diesem Grund weiterhin mit einem unaufgebohrten Marknagel erfolgen. Auch sollte die Versorgung eines polytraumatisierten Patienten aufgrund des schonenden und zeitlich kürzeren Eingriffs mittels unaufgebohrter Marknagelung erfolgen.

Insgesamt kann postuliert werden, dass die aufgebohrte Marknagelung die stabileren Verhältnisse mit sich bringt. Daher muss der Operateur bei der unaufgebohrten Marknagelung der Verriegelung proximal und distal die nötige Aufmerksamkeit schenken.

Für den reibungslosen Ablauf einer Frakturheilung am langen Röhrenknochen ist der Zustand des umgebenden Weichteilmantels von enormer Bedeutung. Bei der Wahl zwischen aufgebohrtem und unaufgebohrtem Marknagel muss der behandelnde Chirurg vor jedem Eingriff individuell die Vor- und Nachteile des

jeweiligen Systems jedes Mal neu abwägen, um einen Weg zu finden, Komplikationsraten zu verringern und um somit den bestmöglichen Behandlungserfolg erzielen zu können.

Bleiben beide Verfahren der Marknagelung ohne Komplikationen, so können vergleichbare Ergebnisse erzielt werden.

Für die Zukunft könnte es von Interesse sein, ungeklärte Fragen, bezogen auf die aus Tierexperimenten gewonnenen und postulierten Vor- und Nachteile der aufgebohrten Marknagelung mittels großer vergleichender Multicenterstudien zu analysieren und zu evaluieren.

Durch Ergebnisse solcher Studien könnte die aufgebohrte Marknagelung den Stellenwert bei der Versorgung von Tibiaschaftfrakturen erhalten, den sie ohne Zweifel verdient hat.

Ein erster Schritt hierzu könnte die Einführung einer „limitierten“, „vorsichtigen“ und nicht extensiven Markraumbohrung bei geschlossenen Tibiaschaftfrakturen sein.

Laut Höntzsch, (2005) werden für das Aufbohren des Markraumes neue Generationen von Bohrsystemen angeboten, welche wesentlich dünnere Bohrwellen beinhalten und bei denen die Geometrie der Bohrköpfe verändert wurde. Dadurch wird die Bohrleistung erhöht, der Abraum besser nach hinten transportiert und vor allem der intramedulläre Druck reduziert, und somit auch iatrogene Schäden beim Bohren minimiert.

Eine besondere Entwicklung ist ein System bei dem gleichzeitig gebohrt, gespült und abgesaut werden kann. Ein Nachteil sind die nicht ganz unerheblichen Kosten des Einmalsets, dessen Anwendung aber in besonderen Fällen zum Einsatz kommen könnte.

**Schlussfolgernd können folgende Aussagen getroffen werden:**

1. Es besteht kein signifikanter Zusammenhang zwischen der gewählten Marknagelungstechnik und einer aufgetretenen Komplikation in unserer Studie.
2. Generell und in Anbetracht der erzielten Quoten unserer Studie, zeigt sich jedoch die Tendenz einer höheren Pseudarthrosenrate bei der unaufgebohrten Marknagelung.
3. Durch eine primär aufgebohrte Marknagelung kann die Komplikationsrate hinsichtlich von Frakturheilungsstörungen bei korrekter Indikationsstellung wesentlich minimiert werden.
4. Bei der operativen Versorgung einer Tibiaschaftfraktur sollte primär nicht immer aufgebohrt werden. Bei der Wahl zwischen aufgebohrtem und unaufgebohrtem Marknagel muss der behandelnde Chirurg vor jedem Eingriff individuell die Vor- und Nachteile des jeweiligen Systems jedes Mal neu abwägen um somit einen Weg zu finden um Komplikationsraten zu verringern.

Laut Höntzsch, (2005) werden „die neuen Entwicklungen die Marknagelung vereinfachen, komplikationsärmer machen und die Anwendungsmöglichkeit erweitern“.

***„Die Marknagelung von Unterschenkelschaftfrakturen war, ist und wird auch in Zukunft ein Goldstandard bleiben“ (Dittel, K.-K., 2006).***

## 6. ZUSAMMENFASSUNG

In dieser Arbeit untersuchten wir die operative Frakturbehandlung am Unterschenkelschaft durch aufgebohrte und unaufgebohrte Marknagelung und die hierbei auftretenden Komplikationen sowie deren Management.

Zudem versuchten wir anhand einer vergleichenden Komplikationsanalyse der eigenen retrospektiven Studie und anderer vergleichender internationaler Studien die Marknagelung in gebohrter und unaufgebohrter Technik zu analysieren, um somit eine effiziente und differenzierte Therapieempfehlung diesbezüglich aussprechen zu können.

Von Januar 1995 bis Dezember 2001 wurden im Marienhospital Stuttgart 110 Patienten mit frischen Frakturen des Tibiaschaftes behandelt. Insgesamt wurde in allen 110 Fällen eine Marknagelung durchgeführt. 97 Patienten (88,1%) wurden primär im Marienhospital Stuttgart und die restlichen 13 Patienten (11,9%) wurden primär auswärts versorgt.

Nach Auswertung der präoperativen Röntgenbilder wurden die Frakturen der Gruppe 42 A-B-C im Sinne der AO Klassifikation zugeordnet.

Es erfolgte eine operative Versorgung mittels unaufgebohrter (85,5%) und aufgebohrter Marknagelung (14,5%).

Bei 21 Patienten war es im weiteren Verlauf zur Ausbildung einer Komplikation gekommen. Die Komplikationsrate generell betrug 19,1%.

Die Komplikationsrate in der unaufgebohrten Gruppe betrug 20,2% (19 Fälle) und in der aufgebohrten Gruppe 12,5% (2 Fälle).

Als Komplikationen kam die Pseudarthrose (9,1%) am häufigsten vor gefolgt von der Fehlstellung (8,2%) und der Infektion (1,8%). In der aufgebohrten Gruppe kam es lediglich in 2 Fällen (12,5%) zur Ausbildung einer Komplikation, es handelte sich hierbei jeweils um eine Außenrotationsfehlstellung.

Andere Komplikationen wie Kompartmentsyndrom, Thrombose oder Hämatom kamen in unserer Studie nicht vor.

Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung im Jahr 2004 konnten 88 Patienten (80,0%) nachuntersucht werden.

In der vorliegenden Arbeit konnte gezeigt werden, dass kein signifikanter Zusammenhang besteht zwischen der gewählten Marknagelungstechnik und einer aufgetretenen Komplikation ( $p = 0,229$ ). Zu berücksichtigen wiederum sind jedoch die geringen Fallzahlen in unserer Stichprobe.

Bei der unaufgebohrten Marknagelung zeigte sich in Anbetracht der erzielten Quoten unserer Studie (Pseudarthrosenrate 10,6%) und aufgrund der bewiesenen unzureichenden Stabilität des unaufgebohrten Marknagels im Markraum eine größere Tendenz zur Ausbildung einer Pseudarthrose.

Auf die Frage, ob bei der operativen Versorgung einer Tibiaschaftfraktur primär immer aufgebohrt werden sollte, konnte in dieser Arbeit keine eindeutige Aussage getroffen werden.

Durch eine primär aufgebohrte Marknagelung konnte die Komplikationsrate hinsichtlich von Frakturheilungsstörungen bei korrekter Indikationsstellung wesentlich minimiert werden. Wiederum zu berücksichtigen waren die geringen Fallzahlen unserer Stichprobe.

Zusammenfassend halten wir die Marknagelung für eine sichere, zuverlässige und bei korrekter Indikationsstellung und Anwendung komplikationsarme Methode, welche den Goldstandard bei der osteosynthetischen Versorgung von Tibiaschaftfrakturen darstellt.

Bei der operativen Versorgung einer Tibiaschaftfraktur sollte primär nicht immer aufgebohrt werden. Bei der Wahl zwischen unaufgebohrter und aufgebohrter Marknagelung muss der behandelnde Chirurg vor jedem Eingriff individuell die Vor- und Nachteile des jeweiligen Systems jedes Mal neu abwägen um die Komplikationen zu verringern.

Eine Zielsetzung für die Zukunft muss sein, ungeklärte Fragen, bezogen auf die aus Tierexperimenten gewonnenen und postulierten Vor- und Nachteilen der aufgebohrten Marknagelung mittels großer vergleichender Multicenterstudien zu analysieren und zu evaluieren.

Durch die Ergebnisse solcher Studien könnte die aufgebohrte Marknagelung den Stellenwert bei der Versorgung von Unterschenkelschaftfrakturen erhalten, den sie ohne jeden Zweifel verdient hat.

## 7. LITERATURVERZEICHNIS

1. **Antich-Adrover, P., Marti-Garin, D., Murias-Alvarez, J., Puente-Alonso C. (1997)**  
External Fixation and secondary intramedullary nailing of open tibial fractures. A randomized, prospective trial  
J Bone Joint Surg, 79-B, 433-437
2. **Beickert, R., Smieja, S. (2001)**  
Kompressionsmarknagelung bei Pseudarthrosen  
Trauma Berufskrankh, 3, 195-202
3. **Bhandari, M., Guyatt, G.H., Tong, D., et al. (2000)**  
Reamed versus unreamed intramedullary nailing of lower extremity long bone fractures: a systematic overview and meta-analysis  
J Orthop Trauma, 14, 2-9
4. **Bhandari, M., Guyatt, G.H., Swiontkowski, M.F., Schmemitsch, E.H. (2001)**  
Treatment of open fracture shaft of tibia: a systematic overview and metaanalysis  
J Bone Joint Surg, 83-B, 62-68
5. **Bhandari, M., Tornetta, P.3rd, Sprague, S., Najibi, S., Petrisor, B., Griffith, L., Guyatt, G.H. (2003)**  
Predictors of reoperation following operative management of fractures of the tibial shaft  
J Orthop Trauma, 17, 353-61
6. **Blachut, P.A., O'Brien, P.J., Meek, R.N., Broekhuysse, H.M. (1997)**  
Interlocking intramedullary nailing with and without reaming for the treatment of closed fractures of the tibial shaft. A prospective, randomized study  
J Bone Joint Surg, 79(5), 640-646
7. **Braun, W., Rüter, A. (1996)**  
Frakturheilung  
Unfallchirurg, 99, 59-67
8. **Buchholz, J., Möllenhoff, G., Reckert, M., Muhr, G. (2000)**  
Chronisch venöse Durchblutungsstörungen nach offenem Unterschenkelbruch, ein unterschätztes Problem  
Chirurg, 71, 1115-1120

9. **Bühren, V. (2000)**  
Kompressionsmarknagelung langer Röhrenknochen  
Unfallchirurg, 103, 708-720
10. **Claes, L., Grass, R., Schmickal, T., Kisse, B., Eggers, C., Gerngross, H., Mutschler, W., Arand, M., Wintermeyer, T., Wentzensen, A. (2002)**  
Monitoring and healing analysis of 100 tibial shaft fractures  
Langenbecks Arch Surg, 387, 146-52
11. **Court-Brown, C.M., Will, E., Christie, J., McQueen, M.M. (1996)**  
Reamed or unreamed nailing for closed tibial fractures  
J Bone Joint Surg, 78-B, 580-583
12. **Duda, G.N., Mandruzzato, F., Heller, M., Schütz, M., Claes, L., Haas N.P. (2003)**  
Mechanische Grenzindikationen der unaufgebohrten Marknagelung  
Unfallchirurg, 106, 683-689
13. **Ewerbeck, V., Wetzensen, A., Holz, F., Krämer, K.L., Pfeil, J., Sabo, D. (2004)**  
Standardverfahren in der operativen Orthopädie und Unfallchirurgie  
Stuttgart, Thieme Verlag, 2. Auflage
14. **Finkemeier C.G., Schmidt A.H., Kyle, R.F., Templeman D.C., Varecka, T.F. (2000)**  
A prospective, randomized study of intramedullary nails inserted with and without reaming for the treatment of open and closed fractures of the tibial shaft  
J Orthop Trauma, 14(3), 187-193
15. **Folwaczny, E.K., Stürmer, K.M. (1999)**  
Verletzungen des oberen Sprunggelenks bei Unterschenkelfraktur  
Unfallchirurg, 102, 611-618
16. **Foster, M.C., Bruce, A.S.W., Aster A.S. (2005)**  
Should the tibia be reamed when nailing?  
Injury, 36, 439-444
17. **Fuchs, S., Jürgens, C., Schulz, A.P., Wenzl, M.E., Wolter, D. (2005)**  
Rolle der Winkelstabilität bei der intramedullären Stabilisierung  
Trauma Berufskrankh, 7, 83-88

18. **Gaebler, C., Berger, U., Schandelmaier, P., Greitbauer, M., Schauwecker, H.H., Applegate, B., Zych, G., Vecsei, V. (2001)**  
Rates und odds ratios for complications in closed and open tibial fractures treated with unreamed, small diameter tibial nails: a multicenter analysis of 467 cases  
J Orthop Trauma, 15(6), 415-423
19. **Giannoudis, P.V., Snowden, S., Matthews, S.J., Smye, S.W., Smith, R.M. (2002)**  
Friction burns within the tibia during reaming. Are they affected by the use of a tourniquet?  
J Bone Joint Surg, 84-B, 492-496
20. **Gicquel, P., Giacomelli, M.C., Basic, B., Karger, C., Clavert, J.M. (2005)**  
Problems of operative and non-operative treatment and healing in tibial fractures  
Injury, 36(1), 44-50
21. **Gonschorek, O., Hofmann, G.O., Bühren, V. (1998)**  
Interlocking compression nailing: a report on 402 applications  
Arch Orthop Trauma Surg, 117, 403-437
22. **Gonschorek, O., Hofmann, G.O., Wagner, F.D., Bühren V. (1999)**  
Reamed interlocking compression nailing for the treatment of tibial pseudarthrosis  
Osteosynthese Int, 7(1), 142-145
23. **Gonschorek, O., Hofmann, G.O., Kirschner, M.H., Bühren, V. (1999)**  
Hochstabile Versorgung von Unterschenkelfrakturen durch Kompressionsmarknagelung  
Osteosynthese Int, 7(2), 92-94
24. **Gonschorek, O., Hofmann, G.O., Bühren, V. (2001)**  
Kompressionsmarknagelung zur Behandlung von Unterschenkelfrakturen  
Trauma Berufskrankh, 3(2), 138-142
25. **Gruner, A., Hockertz, T., Reilmann, H. (2000)**  
Die proximale Tibiafraktur  
Unfallchirurg, 103, 668-684
26. **Gugala, Z., Nana, A., Lindsey, R.W. (2001)**  
Tibial intramedullary nail distal interlocking screw placement: a comparison of the free-hand versus distally-based targeting device techniques  
Injury, 32(4), 21-25

- 27. 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, 58-A, 453-458
- 28. Haddad, F.S., Desai, K., Sarkar, J.S., Dorrell, J.H. (1996)**  
The AO unreamed nail: friendly or foe  
Injury, 27, 261-263
- 29. Hanson, M., Mehler, D., Voltmer, W., et al. (2002)**  
Die proximale extraartikuläre Tibiafraktur  
Unfallchirurg, 105, 858-872
- 30. Havemann, D. (2000)**  
Marknagelung geschlossener Femur-und Tibiafrakturen  
Trauma Berufskrankh, 2(1), 124-125
- 31. Höntzsch, D., Weise, K., Weller, S. (2000)**  
Verfahrenswechsel vom Fixateur externe zur Marknagelosteosynthese an Femur und Tibia  
Trauma Berufskrankh, 2, 101-110
- 32. Höntzsch, D. (2002)**  
Marknagelung geschlossener Unterschenkelschaftbrüche  
Trauma Berufskrankh, 4(1), 85-88
- 33. Höntzsch, D. (2005)**  
Neue Entwicklungen in der Marknageltechnik  
Trauma Berufskrankh, 7(2), 78-82
- 34. Hofmann, R., Klaar, N., Heinz, J., Nonnemann, H.C. (1999)**  
Pseudarthrosen im Gesamtkrankengut einer unfallchirurgischen Klinik  
Osteosynthese Int, 7(1), 5-8
- 35. Hutson, J.J., Zych, G.A., Cole, J.D. et al. (1995)**  
Mechanical failures of intramedullary tibial nails applied without reaming  
Clin Orthop, 315, 129-137
- 36. Joist, A., Schult, M., Frerichmann, U., Frebel, T., Spiegel, H.U., Koppe, M., Joosten, U. (2003)**  
Ein neues Spül-Saug-Bohrsystem ermöglicht die druckarme Markraumböhrung an isolierten Schweinefemora  
Unfallchirurg, 106, 874-880

- 37. Kaminski, A., Muhr, G. (2002)**  
Pseudarthrose, Fehlstellungen und Verfahrenswechsel im Unterschenkelschaftbereich  
Trauma Berufskrankh, 4, 107-113
- 38. Kappus, M., Börner, M. (2001)**  
Marknagelung gebohrt versus unaufgebohrt  
Trauma Berufskrankh, 3(2), 125-129
- 39. Karladani, A.H., Granhed, H., Kärrholm, J., Styf, J. (2001)**  
The influence of fracture etiology and type on fracture healing: a review of 104 consecutive tibial shaft fractures  
Arch Orthop Trauma, 121, 325-328
- 40. Keating, J.F., O'Brien, P.J., Blachut, P.A., et al. (1997)**  
Locking intramedullary nailing with and without reaming for open fractures of the tibial shaft: a prospective, randomized study  
J Bone Joint Surg, 79-A, 334-341
- 41. Keating, J.F., Blachut, P.A., O'Brien, P.J., Court-Brown, C.M. (2000)**  
Reamed nailing of Gustilo grade-IIIB tibial fractures  
J Bone Joint Surg, 82-B, 1113-1116
- 42. Ketterl, R. (2001)**  
Vorgehen bei Unterschenkelfrakturen mit schwerem Weichteilschaden  
Trauma Berufskrankh, 3(2), 167-173
- 43. Konrad, G., Markmiller, M., Ruter, A. (2002)**  
Tibial diaphyseal fracture in sports - clinical outcome and sports ability after operative treatment  
Sportverletz Sportschaden, 16, 36-38
- 44. Kouzelis, A.T., Kourea, H., Megas, P., Panagiotopoulos, E., Marangos, M., Lambiris, E. (2004)**  
Does graded reaming affect the composition of reaming products in intramedullary nailing of long bones?  
Orthopaedics, 27, 852-856
- 45. Krettek, C. (2001)**  
Prinzipien der intramedullären Knochenbruchstabilisierung  
Unfallchirurg, 104, 749-771
- 46. Kutty, S., Murphy, D., McElwain, J.P. (2002)**  
Closed intramedullary nailing of the tibia: a better draping technique  
Eur J Orthop Surg Traumatol, 12, 58-59

- 47. Lang, G.J., Cohen, B.E., Bosse, M.J., Kellam, J.F. (1995)**  
Proximal third tibial shaft fractures. Should they be nailed?  
Clin Orthop, 315, 64-74
- 48. Larsen, L.B., Madsen, J.E., Hoiness, P.R., Ovre, S. (2004)**  
Should insertion of intramedullary nails for tibial fractures be with or without reaming? A prospective, randomized study with 3.8 years' follow-up  
J Orthop Trauma, 18(3), 144-9
- 49. Lembcke, O., Ruter, A., Beck, A. (2001)**  
The nail-insertion point in unreamed tibial nailing and its influence on the axial malignment in proximal tibial fractures  
Surg, 121(4), 197-200
- 50. Lippert, H. (1993)**  
Lehrbuch Anatomie  
München-Wien-Baltimore, Urban und Schwarzenberg, 3. Auflage
- 51. Markmiller, M., Tjarksen, M., Mayr, E., Rüter, A. (2000)**  
The unreamed tibia nail. Multicenter study of the AO/ASIF  
Langenbeck's Arch Surg, 385, 276-283
- 52. Markmiller, M., Rüter, A. (2001)**  
Unaufgebohrter Tibiamarknagel (UTN), Sammelstudie der AOJ  
Trauma Berufskrankh, 3(2), 135-137
- 53. McKee, M.D., Schemtisch, E.H., Waddell, J.P., Yoo, D. (1999)**  
A prospective, randomized trial comparing tibial nailing using fracture table traction versus manual traction  
J Orthop Trauma, 13(7), 463-469
- 54. Menck, J., Bertram, C., Lierse, W., Wolter, D. (1992)**  
Das arterielle Versorgungsprinzip der Tibia und seine praktischen Konsequenzen  
Langenbeck's Arch Chir, 377, 229-234
- 55. Merchant, T.C., Dietz, F.R. (1989)**  
Long-term follow-up after fractures of the tibial and fibular shafts  
J Bone Joint Surg, 71-A, 599-606
- 56. Militz, M., Hauck, S., Bühren, V. (2001)**  
Akute Frakturversorgung mit Kompressionsmarknagel  
Trauma Berufskrankh, 3, 180-187

- 57. Müller, C.A., Dietrich, M., Morakis, P., Pfister, U. (1998)**  
Klinische Ergebnisse der primären Marknagelosteosynthese mit den unaufgebohrten AO/ASIF Tibiamarknagel von offenen Tibiaschaftfrakturen  
Unfallchirurg, 101, 830-837
- 58. Müller, M.E., Nazarian, S., Koch, P., Schatzker, J. (1990)**  
The comprehensive classification of fractures of long bones  
Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York
- 59. Mullett, H., Al-Abed, K., Prasad, C.V., O'Sullivan, M. (2001)**  
Outcome of compartment syndrome following nailing of tibial fractures  
Injury, 32, 411-413
- 60. Nasr El, M.S., Friedl, H.P. (2000)**  
Indikation, Operationstechnik und Ergebnisse mit dem Unterschenkelnagel in unaufgebohrter Technik (UTN)  
Trauma Berufskrankh, 2, 86-92
- 61. Nassif, J.M., Gorczyca, J.T., Cole, J.K., Pugh, K.J., Pienkowski, D. (2000)**  
Effect of acute reamed versus unreamed intramedullary nailing on compartment pressure when treating closed tibial shaft fractures: a randomized prospective study  
J Orthop Trauma, 14(8), 554-558
- 62. Obrebskey, W.T., Medina, M. (2004)**  
Comparison of intramedullary nailing of distal third tibial shaft fractures: before and after traumatologists  
Orthopaedics, 27, 1180-1184
- 63. Oh, C.W., Park, B.C., Ihn, J.C. (2001)**  
Primary unreamed intramedullary nailing for open fractures of the tibia  
International Orthopaedics (SICOT), 24, 338-341
- 64. Ostermann, P.A.W. (2001)**  
Weichteilschaden – Strategien zur Infektvermeidung  
Trauma Berufskrankh, 3(2), 174-176
- 65. Pfister, U. (2000)**  
Intramedulläre Stabilisierungsverfahren bei Tibiafrakturen: State of the Art  
OP-Journal, 16, 176-180
- 66. Piltz, S., Lob, G. (1998)**  
Komplikationen in der Unfallchirurgie  
Unfallchirurg, 101, 856-865

- 67. Pommer, A., David, A., Richter, J., Muhr, G. (1998)**  
Die Markraumböhrung bei infizierten Marknagelosteosynthesen an Tibia und Femur  
Unfallchirurg, 101, 628-633
- 68. Pröbstel, M., Richter, F.J., Börner, M. (1999)**  
Ist die routinemäßige postoperative CT-Messung nach Marknagelung von Ober- und Unterschenkelfrakturen indiziert?  
Trauma Berufskrankh, 1, 152-157
- 69. Reynders, P.A., Broos, P.L.O. (2000)**  
Healing of closed femoral shaft fractures treated with the AO unreamed femoral nail. A comparative study with the AO reamed femoral nail  
Injury, 31, 367-371
- 70. Richter, D., Hahn, M-P., Laun, R.A., Ekkernkamp, A., Muhr, G., Ostermann, P.A.W. (1998)**  
Der sprunggelenksnahe Unterschenkelbruch. Ist die Osteosynthese mit unaufgebohrtem Marknagel ausreichend?  
Chirurg, 69, 563-570
- 71. Ritter, G. (1989)**  
Biomechanische Voraussetzungen für die Kompressionsosteosynthese mit dem neuen AO-Universal-Marknagel  
Hefte Unfallheilk, 207, 304
- 72. Ritter, G. (1991)**  
Kompressionsosteosynthesen mit dem neuen AO-Universalnagel. Funktionsprinzip und biomechanische Voraussetzungen  
Unfallchirurg, 84, 9-12
- 73. Runkel, M., Wenda, K., Stelzig, A., Rahn, B.A., Storkel, S., Ritter, G. (1994)**  
Knochenaufbau nach aufgebohrter und ungebohrter Marknagelung. Eine histomorphometrische Studie  
Unfallchirurg, 97, 385-390
- 74. Runkel, M., Wenda, K., Degreif, J., Blum, J. (1996)**  
Ergebnisse nach primärer unaufgebohrter Tibianagelung von Unterschenkelfrakturen mit schwerem offenem oder geschlossenem Weichteilschaden  
Unfallchirurg, 99, 771-777
- 75. Runkel, M. (2000)**  
Wissenschaftliche Grundlagen der aufgebohrten und unaufgebohrten Marknagelung. Knochenneubildung und kortikale Nekrose  
Trauma Berufskrankh, 2, 69-77

76. **Runkel, M., Pommens, P.M. (2000)**  
Pseudarthrosen  
Unfallchirurg, 103, 51-63
77. **Schandelmaier, P., Krettek, C., Tscherne, H. (1996)**  
Biomechanical study of nine different tibia locking nails  
J Orthop Trauma, 10, 37-44
78. **Schemitsch, E.H., Kowalski, M.J., Swiontkowski, M.F., Senft, D. (1994)**  
Cortical blood flow in reamed and unreamed locked intramedullary nailing:  
a fractured tibia model in sheep  
J Orthop Trauma, 8, 373-382
79. **Schmickal, T., Hochstein, P., Wentzensen, A. (1999)**  
Behandlung von Unterschenkelschaftfrakturen im Fixateur externe  
Trauma Berufskrankh, 1, 240-146
80. **Schult, M., Frerichmann, U., Schiedel, F., Brug, E., Joist, A. (2003)**  
Pathophysiology of fat embolism after intramedullary reaming  
Eur J Trauma, 29(2), 68-73
81. **Schweiberer, L., Baumgart, R., Deiler, S. (1999)**  
Die biologischen Bedingungen atropher und hypertropher Pseudarthrosen  
im Schaftknochen  
Chirurg, 70, 1193-1201
82. **Seifert, J., Matthes, G., Stengel, D., Hinz, P., Ekkernkamp, A. (2002)**  
Kompartmentsyndrom, Standards in Diagnostik und Therapie  
Trauma Berufskrankh, 4, 101-106
83. **Shah, R.K., Moehring, H.D., Singh, R.P., Dhakal, A. (2004)**  
Surgical Implant Generation Network (SIGN) intramedullary nailing of open  
fractures of the tibia  
International Orthopaedics (SICOT), 28, 163-166
84. **Skoog, A., Soderqvist, A., Tornkvist, H., Ponzer, S. (2001)**  
One-year outcome after tibial shaft fractures: results of a prospective  
fracture registry  
J Orthop Trauma, 15, 210-215
85. **Sobotta (1993)**  
Atlas der Anatomie des Menschen, Band 2  
München-Wien-Baltimore, Urban und Schwarzenberg, 2. Auflage
86. **Stürmer, K.M. (1999)**  
Leitlinien Unfallchirurgie, Unterschenkelschaftfraktur  
Stuttgart, Thieme Verlag, 2. Auflage, 184-196

- 87. Toivanen, J.A., Vaisto, A., Kannus, P., Latvala, K., Honkonen, S.E., Jarvinen, M.J. (2002)**  
Anterior knee pain after intramedullary nailing of fractures of the tibial shaft. A prospective, randomized study comparing two different nail-insertion techniques  
J Bone Joint Surg, 84-A, 580-585
- 88. Tornetta, P.3<sup>rd</sup>, Riina, J., Geller., Purban, W. (1999)**  
Intraarticular anatomic risks of tibial nailing  
J Orthop Trauma, 13(4), 247-251
- 89. Tscherne, H. (1996)**  
Pseudarthrosen  
Orthopäde, 25, 385
- 90. Vecsei, V., Erhart, J., Bockhorn, G. (2000)**  
Verfahrenswechsel in der operativen Knochenbruchbehandlung der unteren Extremität, geplant oder gezwungen  
Trauma Berufskrankh, 2(3), 315-323
- 91. Walz, M. (2001)**  
Gebohrte oder unaufgebohrte Marknagelung. Für und wider  
Trauma Berufskrankh, 3(1), 43-48
- 92. Weise, K., Höntzsch, D. (2001)**  
Unterschenkelfraktur. Operative Verfahren und Verfahrenswechsel  
Trauma Berufskrankh, 3(2), 119-124
- 93. Weise, K., Winter, E. (2000)**  
Indikation und Stellenwert der intramedullären Stabilisierung in aufgebohrter Technik an Oberarm, Oberschenkel und Tibia bei Pseudarthrosen und Fehlstellungen  
Trauma Berufskrankh, 2, 118-129
- 94. Wentzensen, A. (1999)**  
Tibiaschaftfraktur  
Trauma Berufskrankh, 1(3), 227-228
- 95. Wheelwright, E.F., Court-Brown, C.M. (1992)**  
Primary external fixation and secondary intramedullary nailing in the treatment of tibial fractures  
Injury, 23, 373-376
- 96. Zelle, B.A., Gruen, G.S., Klatt, B., Haemmerle, M.J., Rosenblum, W.J., Prayson, M.J. (2004)**  
Exchange reamed nailing for aseptic nonunion of the tibia  
J Trauma, 57, 1053-9

- 97. Zeugner, A., Wernicke, F., Wieland, O. (2002)**  
Fixateur externe und alternative Fixationsmethoden beim offenen  
Unterschenkelschaftbruch  
Trauma Berufskrankh, 4, 89-93
- 98. Ziran, B.H., Darowish, M., Klatt, B.A., Agudelo, J.F., Smith, W.R. (2004)**  
Intramedullary nailing in open tibia fractures: a comparison of two  
techniques  
International Orthopaedics (SICOT), 28, 235-238

## 8. ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

- Abb. Abbildung
- a.-p. anterior - posterior
- AO Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthese
- ARDS Acute Respiratory Distress Syndrome
- A. Arteria
- AUF Aufgebohrte Marknagelung
- bzw. beziehungsweise
- ggf. gegebenenfalls
- G Geschlossen
- Tab. Tabelle
- mm Hg Millimeter Quecksilbersäule
- O Offen
- UTN Unaufgebohrter Tibianagel
- vs. versus
- °C Grad Celsius

## 9. DANKSAGUNG

Ich bedanke mich bei allen, die mir bei der Durchführung dieser Arbeit behilflich waren.

Herrn Professor Dr. med. K.-K. Dittel danke ich sehr herzlich für die Überlassung des Themas meiner Arbeit und für seine unermüdliche Unterstützung sowie für die Durchsicht und Korrektur dieser Arbeit.

Frau Dr. med. Wenz danke ich herzlich für die freundliche Unterstützung, das Korrekturlesen und die motivierenden Worte welche zum Abschluss meiner Arbeit beigetragen haben.

Meinem Freund Marc Britten danke ich sehr für seine zahlreichen Hilfestellungen bei computertechnischen sowie statistischen Problemen.

Für das Korrekturlesen meiner Arbeit und der moralischen Unterstützung danke ich meiner Schwester Dr. med. Maria Karavalaki.

Meiner Freundin Maria Tranidou danke ich für die Hilfestellung und die Unterstützung bei der graphischen Ausarbeitung meiner Arbeit.

Meinen Eltern danke ich für ihre unermüdliche und liebevolle Unterstützung, den motivierenden Worten, sowie für alles was sie mir in meinem Leben ermöglicht haben.

## 10. LEBENS LAUF

### Personalien:

---

Name:	Georgios Karavalakis
Geburtsdatum:	04.02.1977
Geburtsort:	Ludwigsburg
Familienstand:	ledig
Eltern:	Nikolaos Karavalakis, Gastronom Efstathia Karavalaki, Gastronomin
Geschwister:	Dr. med. Maria Karavalaki, Allgemein Chirurgie

### Schulbesuch:

---

1983 - 1985	Grundschule Silcherschule, Stuttgart-Zuffenhausen
1985 - 1987	Grundschule Uhlandschule, Stuttgart-Rot
1987 - 1997	Ferdinand-Porsche-Gymnasium, Stuttgart-Rot <i>- parallel -</i>
1983 - 1989	Griechische Grundschule (Rosenschule), Stuttgart-Zuffenhausen
1989 - 1992	Griechisches Gymnasium (Rilke Realschule), Stuttgart-Rot

### Studium:

---

01.09.1998	Studienbeginn an der Universität Maastricht, Niederlande
06.08.1999	Propedeutisches Examen
30.09.2002	Doctoralexamen
26.07.2004	Arztdiplom der Universität Maastricht, Niederlande
10.09.2004	Approbation als Arzt, Land Baden-Württemberg

**Weiterbildung:**

---

Seit 03.01.2005 Assistenzarzt in der Klinik für  
Unfall- und Wiederherstellungschirurgie  
Marienhospital Stuttgart  
Ärztlicher Direktor Prof. Dr. K.-K. Dittel

**Mitgliedschaften:**

---

September 2005 Mitglied des Gerhard Küntscher Kreises  
Januar 2006 Mitglied der Deutschen Gesellschaft für  
Unfallchirurgie