

Aus der Klinik für Kinderchirurgie  
der Universität zu Lübeck  
Komm. Direktor: PD Dr. med. L. Wunsch

---

**Diaphysäre Oberschenkel- und Unterschenkelschaft-  
frakturen im Kindesalter:  
Häufigkeit und Ursache postoperativer Komplikationen**

Inauguraldissertation  
zur  
Erlangung der Doktorwürde  
an der Medizinischen Universität zu Lübeck  
- Aus der Medizinischen Fakultät -

vorgelegt von  
Kristina Albers  
aus Lingen, Ems

Lübeck 2012

1. Berichterstatter: Priv.-Doz. Dr. med. Martin Kaiser

2. Berichterstatter/in: Priv.-Doz. Dr. med. Peter Benecke

Tag der mündlichen Prüfung: 28.09.2012

Zum Druck genehmigt. Lübeck, den 28.09.2012

Meinen Eltern.

# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	IV
Abkürzungsverzeichnis	V
1. Einleitung	1
1.1 Anatomie und Entwicklung des Ober- und Unterschenkelknochens	1
1.2 Frakturheilung am wachsenden Knochen	3
1.3 Frakturen im Kindesalter	4
1.4 Epidemiologie und Diagnostik von Ober- und Unterschenkelschaftfrakturen im Kindesalter	5
1.5 Klassifikationssysteme von Frakturen	7
1.5.1 Li-La-Klassifikation im Kindesalter	7
1.5.2 Klassifikation der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen im Erwachsenenalter (AO-Klassifikation)	8
1.6 Therapie der Ober- und Unterschenkelschaftfrakturen im Kindesalter	10
1.6.1 Konservative Therapie	10
1.6.2 Operative Therapie	12
1.7 Fragestellung und Studienziel	19
2. Patienten und Methoden	21
2.1 Patientenkollektiv	21
2.2 Retrospektive Datenerhebung	21
2.3 Rekrutierung der Patienten	23
2.4 Nachuntersuchung der Kinder und Jugendlichen	24
2.4.1 Klinische Untersuchung	24
2.4.4 Qualitätssicherungsbogen	29
2.5 Statistische Auswertung der Ergebnisse	30
3. Ergebnisse	31
3.1 Femurschaftfrakturen	31
3.1.1 Studienkollektiv	31
3.1.2 Ursachen und Begleitverletzungen	32
3.1.3 Therapie	32
3.1.4 Frühkomplikationen während des stationären Aufenthaltes	33
3.1.5 Spätkomplikationen bis zur Metallentfernung	38
3.1.6 Ergebnisse der Nachuntersuchung	40
3.1.7 Ergebnisse der Fragebögen	44
3.2 Tibia- und Unterschenkelschaftfrakturen	45
3.2.1 Studienkollektiv	45
3.2.2 Ursachen und Begleitverletzungen	46
3.2.3 Therapie	46
3.2.4 Frühkomplikationen während des stationären Aufenthaltes	47
3.2.5 Spätkomplikationen bis zur Metallentfernung	49
3.2.6 Ergebnisse der Nachuntersuchung	50
3.2.6 Ergebnisse der Fragebögen	52

4. Diskussion	53
4.1 Postoperative Komplikationen nach Femurfrakturen	54
4.2 Postoperative Komplikationen nach Tibia- und Unterschenkelchaftfrakturen	72
4.3 Ausblick und Relevanz der Studie	79
5. Zusammenfassung	81
6. Literaturverzeichnis	85
7. Anhang	99
7.1 Aufklärungsbogen und Einwilligungserklärung der Eltern	99
7.1.1 Aufklärungsbogen und Einwilligungserklärung „Nachuntersuchung bei Frakturen des Oberschenkels“	99
7.1.2 Aufklärungsbogen und Einwilligungserklärung „Nachuntersuchung bei Frakturen des Unterschenkels“	102
7.2 Nachuntersuchungsbögen	105
7.2.1 Nachuntersuchungsbogen: Femur diaphysär	105
7.2.2 Nachuntersuchungsbogen: Tibia/Unterschenkel diaphysär	110
7.3 Fragebogen für die Eltern zur Nachuntersuchung bei Frakturen der unteren Extremität	115
8. Danksagung	117
9. Lebenslauf	118

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Anatomie des Femurs (links) und der Tibia (rechts) der rechten Seite (Schünke et al. 2005)	1
Abbildung 2: a) Von der Metaphyse ausgehende Verknöcherung b) Darstellung des exzentrischen Fugenschlusses am Beispiel der distalen Tibiaepiphyse (von Laer et al. 2004)	2
Abbildung 3: Li-La-Klassifikation für das Femur und die Tibia im Wachstumsalter	8
Abbildung 4: AO-Klassifikation der Frakturen	9
Abbildung 5 a+b: Röntgenaufnahme Fixateur externe (links: Femur, rechts: Tibia)	13
Abbildung 6 a+b: Röntgenaufnahme ESIN (links: Femur, rechts: Tibia)	15
Abbildung 7: Abstützpunkte (ovale Markierungen) der elastisch stabilen intramedullären Nägel am Femur (Rether 2005).	17
Abbildung 8: Normale Beweglichkeit der Körpergelenke gemessen nach der Neutral-Null-Methode (Rössler und Rüter 2005)	27
Abbildung 9: Therapie in Abhängigkeit von der Frakturform (Femur)	33
Abbildung 10: Röntgenaufnahme Femur. Kreuzung der intramedullären Nägel im Frakturbereich	34
Abbildung 11: Röntgenaufnahme Femur. Unzureichende Aufspannung der intramedullären Nägel im Frakturspalt	35
Abbildung 12: Röntgenaufnahme Femur. Trotz guter Aufspannung im Bereich der Fraktur eingeschränkte Stabilität der Osteosynthese durch einen zusätzlichen Biegungskeil medial	35
Abbildung 13: Röntgenaufnahme Femur. „Korkenzieherphänomen“	36
Abbildung 14: Röntgenaufnahme Femur. Inkorrekte Anlage eines Fixateur externe	37
Abbildung 15: Postoperative Antekurvationsfehlstellung einer distalen Oberschenkelchaftfraktur bei einem siebenjährigen Jungen (links); klinisch normale Beinachse bei der Nachuntersuchung vier Jahre nach dem Unfall (rechts)	41
Abbildung 16: Therapie in Abhängigkeit von der Frakturform (Tibia/Unterschenkel)	47

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Frakturform in Abhängigkeit vom Patientenalter (Femur)	31
Tabelle 2: Häufigkeit und Art postoperativer Komplikationen nach der elastisch stabilen intramedullären Nagelung diaphysärer Femurschaftfrakturen	36
Tabelle 3: Häufigkeit postoperativer Komplikationen nach Anlage eines Fixateur externe bei diaphysären Femurschaftfrakturen	38
Tabelle 4: Frequentierung der Nachuntersuchung bezogen auf Komplikationen (Femur)	40
Tabelle 5: Bewegungsumfang in den Hüft- und Kniegelenken (Ergebnisse der Nachuntersuchung)	42
Tabelle 6: Anzahl und Ausmaß verbliebener Beinlängendifferenzen	42
Tabelle 7: Ergebnisse Harris-Score	43
Tabelle 8: Frakturform in Abhängigkeit vom Patientenalter (Tibia/Unterschenkel)	45
Tabelle 9: Häufigkeit postoperativer Komplikationen nach der elastisch stabilen intramedullären Nagelung diaphysärer Unterschenkelschaftfrakturen	48
Tabelle 10: Frequentierung der Nachuntersuchung (Tibia/Unterschenkel)	50
Tabelle 11: Anzahl und Ausmaß verbliebener Beinlängendifferenzen (Tibia/Unterschenkel)	51

## Abkürzungsverzeichnis

ABD	Abduktion
ADD	Adduktion
AO	Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen
ARO	Außenrotation
ATL	Alltagsleben
AWMF	Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaft
E	Extension = Streckung
ESIN	Elastisch stabile intramedulläre Nagelung
F	Flexion = Beugung
IRO	Innenrotation
KG	Kniegelenk
Li-La	Licht und Lachen in der Medizin e.V.
ME	Metallentfernung
NU	Nachuntersuchung
OS	Oberschenkel
OSG	Oberes Sprunggelenk
US	Unterschenkel

# 1. Einleitung

## 1.1 Anatomie und Entwicklung des Ober- und Unterschenkelknochens

Das Femur ist der längste und stärkste Knochen des menschlichen Körpers. Proximal besteht er aus dem Hüftgelenk bildenden Femurkopf, dem Femurhals sowie den Muskelansatzpunkten Trochanter major und minor. Der von Muskeln umgebene Schaft weist eine leichte Antekurvatur von 12° auf, die auch beim Erwachsenen erhalten bleibt. Am distalen Ende befinden sich die Femurcondylen, die mit der Tibia korrespondieren und einen Teil des Kniegelenkes bilden (Abb.1) (Schünke et al. 2005).

Die Tibia besteht von proximal nach distal aus den Tibiakondylen, dem Tibiaschaft und dem medialen Malleolus (Abb.1). Lateral davon ist die Fibula gelegen.

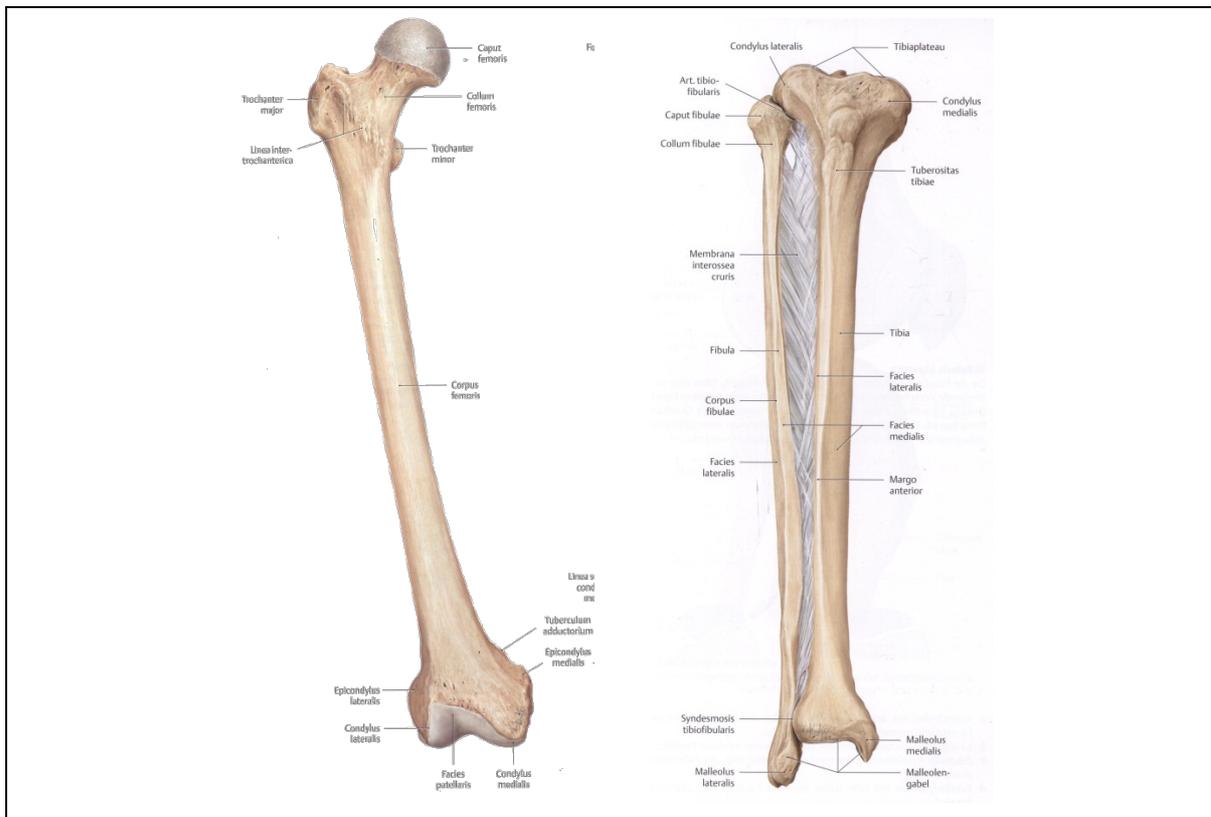


Abbildung 1: Anatomie des Femurs (links) und der Tibia (rechts) der rechten Seite (Schünke et al. 2005)

Wie die meisten Extremitätenknochen entstehen auch das Femur und die Tibia chondral. Dabei wird der bis zu der 7. Embryonalwoche angelegte hyaline Knorpel in Knochen umgewandelt (Gray 2005). Der Großteil des Femurs und der Tibia sind zum Zeitpunkt der Geburt bereits primär ossifiziert. Innerhalb der ersten sechs Monate nach der Geburt ossifiziert der Femurkopf, nach neun Monaten das distale Femurende, der Trochanter major während des vierten Lebensjahres und schließlich der Trochanter minor zwischen dem 12. und 14. Lebensjahr (Mayr et al. 2002).

Bei der Tibia bildet sich der sekundäre Knochenkern bereits zum Zeitpunkt der Geburt im proximalen Epiphysenzentrum. Innerhalb des ersten Lebensjahres ossifiziert das distale Epiphysenzentrum, nach zwölf Jahren die Tuberositas tibiae (Mayr et al. 2002, Gray 2005).

Zwischen dem 18. Lebensmonat und dem 20. Lebensjahr findet am Knochen ein kontinuierlicher Umbau statt, der zum einen zu der definitiven Form der Extremitätenknochen führt und zum anderen die Umwandlung von Geflechtknochengewebe in den „härteren“, weniger flexiblen Lamellenknochen bewirkt (Gray 2005) (Abb.2).

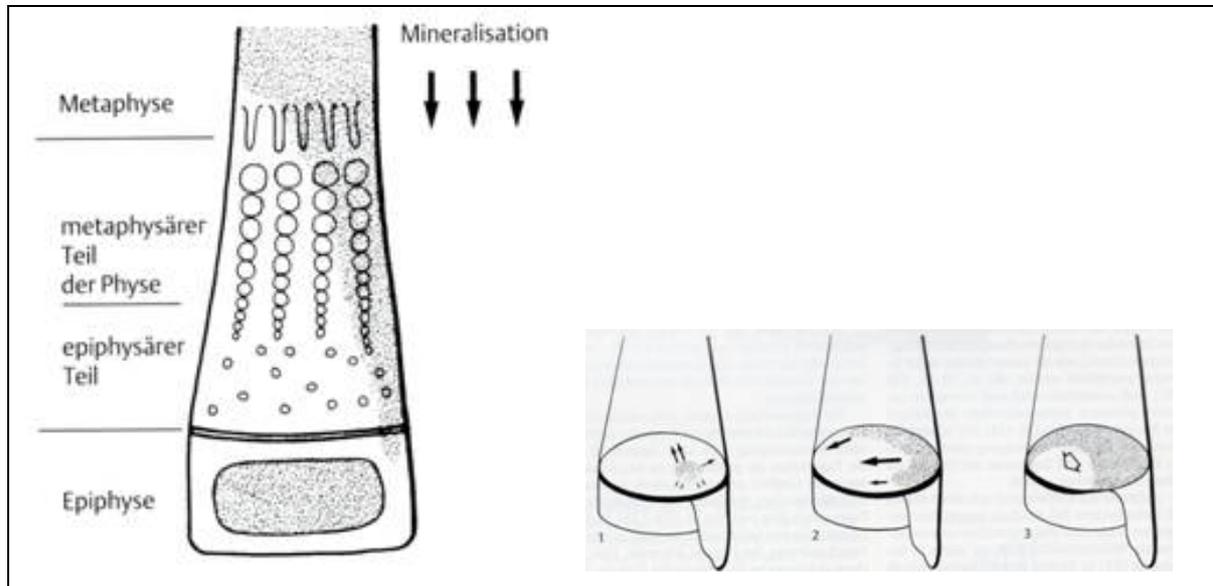


Abbildung 2: a) Von der Metaphyse ausgehende Verknöcherung b) Darstellung des exzentrischen Fugenschlusses am Beispiel der distalen Tibiaepiphyse (von Laer et al. 2004)

## 1.2 Frakturheilung am wachsenden Knochen

Bei der Frakturheilung wird zwischen der direkten (primären) Frakturheilung ohne Kallusbildung und der indirekten (sekundären) Frakturheilung mit Kallusbildung unterschieden (Weise 2004<sup>1</sup>, von Laer 2006). Die primäre Frakturheilung setzt einen direkten Kontakt der Knochenfragmente voraus. Dieser unmittelbare Kontakt wird nur mit Hilfe von Osteosyntheseverfahren erreicht, die eine interfragmentäre Kompression erzielen, z.B. bei einer Zugschraubenosteosynthese. Die sekundäre Frakturheilung tritt z.B. während der konservativen Therapie ein. Der Frakturspalt bleibt in geringem Ausmaß weiter bestehen und wird zunächst von einem Frakturhämatom überbrückt. Der Umorganisation des Hämatoms zu Bindegewebe folgen die Differenzierung zu Knochengewebe und der Abbau von überschüssigem Kallus (Dietz et al. 1997, von Laer 2006).

Als Besonderheit des wachsenden Knochens muss das Phänomen der möglichen Spontankorrektur verbliebener Fehlstellungen („Remodeling“) hervorgehoben werden. Posttraumatische Achsabweichungen im Kindesalter können durch einen stetigen Knochenumbau, d.h. durch das Gleichgewicht zwischen Knochenauf- und -abbau spontan korrigiert werden (Dietz et al. 1997, Flynn et al. 2002, von Laer et al. 2007). Das Ausmaß der Korrekturen ist allerdings von verschiedenen Faktoren abhängig: Entscheidend sind das Alter des Patienten und die Frakturlokalisierung sowie die funktionelle Belastung durch die umgebende Muskulatur, die statische Belastung und die Richtung der Fehlstellung (Dietz et al. 1997, Flynn et al. 2002, von Laer et al. 2007).

Nach konservativer Therapie kindlicher Femurschaftfrakturen wurden in der Literatur Spontankorrekturen posttraumatischer Fehlstellungen von 77% bis 88% in der frontalen bzw. von 79% bis 90% in der sagittalen Ebene beschrieben (Wallace und Hoffman 1992). Somit gelten bei Kindern im Alter zwischen zwei und zehn Jahren verbliebene Achsabweichungen im Bereich des Oberschenkels von 15° in der Frontal- und 20° in der Sagittalebene als akzeptabel (Flynn et al. 2002). Im Bereich der Tibia ist das Potential für Spontankorrekturen deutlich geringer ausgeprägt. In ihrer Arbeit über das Korrekturpotenzial der Tibia beobachteten Dwyer et al. (2007) bei Kindern im Alter zwischen 3 und 12 Jahren Spontankorrekturen zwischen 23,9% und 40,9% in der frontalen bzw. zwischen 18,5% und 52,7% in der

sagittalen Ebene. Am geringsten ausgeprägt zeigte sich mit 18,5% das Korrekturpotenzial posttraumatischer Rekurvationsfehlstellungen (Dwyer et al. 2007).

Im Rahmen der Frakturheilung wurde neben der Möglichkeit zur Spontankorrektur in der Sagittal- und Frontalebene ein Mehrwachstum der frakturierten Extremität mit resultierender Beinlängendifferenz beobachtet. Das posttraumatische Mehrwachstum wurde dabei sowohl nach einer konservativen als auch nach einer operativen Therapie beschrieben (Kirschner et al. 2005). Als Ursachen für das Mehrwachstum einer frakturierten Extremität gelten sowohl die posttraumatische Hyperämisierung der Epiphysenfugen als auch die Verletzung des Periosts und der Weichteile (Trueta 1963, Hohlschneider et al. 1985).

Flynn et al. postulierten in ihrer 2002 veröffentlichten Arbeit über die operativen Therapiemethoden bei kindlichen Ober- und Unterschenkelfrakturen, dass eine postoperativ aufgetretene Beinlängendifferenz bei Kindern unter zehn Jahren Werte von 1,5 – maximal aber 2,0 cm möglichst nicht überschreiten sollte. Bei älteren Kindern sei nach ihren Ergebnissen ein Längenunterschied von maximal 1,0 cm tolerabel (Flynn et al. 2002).

### **1.3 Frakturen im Kindesalter**

Eine Fraktur ist definiert als eine Kontinuitätsunterbrechung des Knochens, die vollständig oder unvollständig auftreten kann. Im Kindesalter entstehen Frakturen meist durch Sport-, Freizeit-, und Verkehrsunfälle. Ursächlich sind entweder ein direktes Trauma, bei dem eine größere Kraft z.B. in Form eines Schlages oder eines Stoßes von außen auf den gesunden Knochen einwirkt oder ein Verdrehtrauma (z.B. Verdrehung des Oberschenkels bei fixiertem Fuß) bzw. die Kombination aus axialer Krafteinwirkung und Biegekräften, wie sie z.B. beim Abfangen eines Sturzes durch den nahezu ausgestreckten Arm entstehen (Loder et al. 2006, AWMF-Leitlinien 2010).

Bei vollständigen Frakturen entsteht eine Verschiebung der Frakturrenden gegeneinander, die als Dislokation bezeichnet wird. Im Unterschied dazu ist bei den unvollständigen Frakturen wie den fissuralen oder den im Kindesalter typischen Grünholzfrakturen die Kontinuität des Knochens nicht vollständig unterbrochen und das Periost komplett oder größtenteils (an der konkaven Seite) erhalten.

Eine Dislokation in der Frontalebene führt zu einer Varus- oder Valgusfehlstellung, Verschiebungen in der Sagittalebene haben eine Ante- oder Rekurvation zur Folge. Aus einer Dislokation in Längsrichtung resultiert eine Verkürzung (Kontraktion) oder – seltener – eine Verlängerung (Distraction) des Knochens.

Eine Fraktur wird sowohl durch den Verlauf der Frakturlinie als auch durch die Anzahl ihrer Fragmente charakterisiert; beides hängt in erster Linie von der Richtung und der Größe der einwirkenden Belastung ab (Beatty und Kasser 2006, Lögters et al. 2009).

Während bei Querfrakturen die Bruchlinie horizontal verläuft, sind Schrägfrakturen durch ihren Verlauf bis zu 30° zur Oberfläche definiert. Spiralfrakturen verlaufen ähnlich einer Wendeltreppe in Längsrichtung des Knochens (Dietz et al. 1997). Größere Gewalteinwirkungen können zu Aussprengungen keilförmiger Knochenstücke und vermehrter Instabilität führen. Das Einwirken direkter Kräfte verursacht meist Frakturen mit nur zwei Fragmenten, während aus einer breitflächigen Kräfteinwirkung Mehrfragmentbrüche resultieren (Lögters et al. 2009).

Neben der Tibia und dem Femur zählen die Fibula, der Humerus, der Radius und die Ulna zu den langen Röhrenknochen. Hier werden Frakturen im Bereich der Diaphyse (Knochenschaft) von Frakturen der Meta- und Epiphyse unterschieden. Die Epiphysen werden beim wachsenden Knochen durch eine hyalinknorpelige Epiphysenplatte (Lamina epiphysialis, Wachstumsfuge, Epiphysenfuge) mit der Metaphyse verbunden, die wiederum die Diaphyse von der Epiphyse trennt (Mayr et al. 2002) (Abb.2).

#### **1.4 Epidemiologie und Diagnostik von Ober- und Unterschenkel-schaftfrakturen im Kindesalter**

Femur- und Tibiaschaftfrakturen treten mit einer Häufigkeit von jeweils 1,5-2,5% aller kindlichen Frakturen auf und zählen somit zu den häufigsten traumatologischen Ursachen, die eine stationäre Behandlung im Kindesalter erfordern (Galano et al. 2005, Loder et al. 2006, von Laer et al. 2007, AWMF-Leitlinien 2010). Galano et al. ermittelten 2005 mit Hilfe der „Kid's Inpatient Database“ die häufigsten unfallbedingten Verletzungen bei Kindern unter 19 Jahren in den USA: Im Jahr 1997 wurden 6,7 Millionen Kinder stationär aufgenommen, davon 84.202 (1,3%)

aufgrund einer unfallbedingten Verletzung; von diesen mussten 18.256 (21,7%) wegen einer Oberschenkelschaft- bzw. 18.111 (21,5%) aufgrund einer Unterschenkelfraktur behandelt werden (Galano et al. 2005).

In ihrer Erhebung waren 69,8% der Patienten, die sich einen Oberschenkelbruch zugezogen hatten und 71,0% der Patienten, die an einem Unterschenkelbruch litten, männlich. Das Durchschnittsalter bei Femurfrakturen betrug 8,9 Jahre, bei den Tibiafrakturen lag es bei 13,0 Jahren. Etwas seltener als die Ober- und Unterschenkelfrakturen mussten Frakturen des Ober- und des Unterarms mit 17,0% bzw. 14,8% stationär behandelt werden (Galano et al. 2005).

Starke Schmerzen sowie die Unfähigkeit, das Knie zu beugen oder den Unterschenkel zu heben, sind hochgradig verdächtige klinische Zeichen für eine Ober- oder Unterschenkelschaftfraktur, während Verkürzungen, Rotationsfehlstellungen und Instabilität als beweisend angesehen werden können (Lögters et al. 2009).

Zur Beurteilung von Lokalisation und Ausmaß der Verletzung sollte die klinische Untersuchung immer die Inspektion des Weichteilmantels und die Beurteilung des neurovaskulären Status beinhalten (von Laer et al. 2007, Lögters et al. 2009).

Radiologisch werden die Knochen in zwei Ebenen mit den angrenzenden Gelenken dargestellt (Vogl et al. 2006, Lögters et al. 2009). Bei Frakturen mit bereits klinisch sichtbarer Dislokation kann die Frakturdarstellung auf eine Ebene reduziert werden, da die Aufnahme in zwei Ebenen lediglich eine unnötige Röntgenbelastung darstellen würde, die hinsichtlich der Therapie keine weiteren Konsequenzen hätte (Vogl et al. 2006, von Laer et al. 2007). Initial radiologisch nicht sicher darstellbare Frakturen der Dia- oder Metaphyse können nach primärer Ruhigstellung sekundär durch das Frakturhämatom und die Periostreaktion in einer Ultraschallkontrolle diagnostiziert werden (von Laer et al. 2007). Die Sonographie als Methode ohne Strahlenbelastung kann auch initial zur Diagnostik eingesetzt werden, wenn – besonders bei kleinen Kindern – Anamnese und Befund keine sichere Lokalisation ermöglichen und weder offene noch komplett dislozierte Frakturen vorliegen (Hübner et al. 2000). Die Vorteile liegen in der Dynamik der Untersuchung in Kombination mit der klinischen Funktionsdiagnostik ohne Strahlenbelastung (Hübner et al. 2000, Vogl et al. 2006). Verglichen mit der konventionellen radiologischen Diagnostik gilt die sonographische Darstellung muskuloskelettaler

Verletzungen allerdings als zeitaufwändiger, technisch anspruchsvoller und schlechter vergleichbar (Grechenig et al. 1998, Mayr et al. 2004)

## **1.5 Klassifikationssysteme von Frakturen**

### **1.5.1 Li-La-Klassifikation im Kindesalter**

Bis dato mangelt es an einer weltweit einheitlichen Klassifikation für Frakturen im Kindesalter. Aufgrund dessen ist versucht worden, das für die Erwachsenentraumatologie angewandte AO-System an kindliche Frakturen anzupassen, woraus zwei aktuell konkurrierende Klassifikationen resultierten: die „AO Comprehensive Classification of Pediatric Long Bone Fractures“ (Slongo et al. 2007) und die Li-La-Klassifikation (von Laer und Kraus 2007).

Die Li-La-Klassifikation beruht auf dem Prinzip eines alphanumerischen Codes (Abb. 3). Die Ziffern 1-3 dienen der Kennzeichnung der Lokalisation, die vierte Ziffer beschreibt die Form der Fraktur, während die fünfte Ziffer das Dislokationsausmaß bezeichnet und nach „0“ = undisloziert, „1“ = tolerabel und „2“ = nicht tolerabel disloziert differenziert wird. Die sechste Ziffer charakterisiert in Ausnahmefällen den zweiten paarigen „nicht haupttragenden“ Knochen (= Ulna bzw. Fibula; von Laer und Kraus 2007). Eine undislozierte Querfraktur des mittleren Oberschenkelschaftes würde demnach mit folgendem Code beschrieben werden: 3.2.s.3.0. (3 = Oberschenkel, 2 = Mitte/Diaphyse, s = Schaft, 3 = Quer-, Schräg- und Torsionsfraktur, 0 = undisloziert).

Für eine dislozierte Mehrfragmentfraktur des mittleren Unterschenkelschaftes würde dementsprechend beispielhaft der Code 4.2.s.4.2. gelten (4 = Unterschenkel, 2 = Mitte, s = Schaft, 4 = Mehrfragmentfraktur, 2 = nicht tolerabel disloziert).

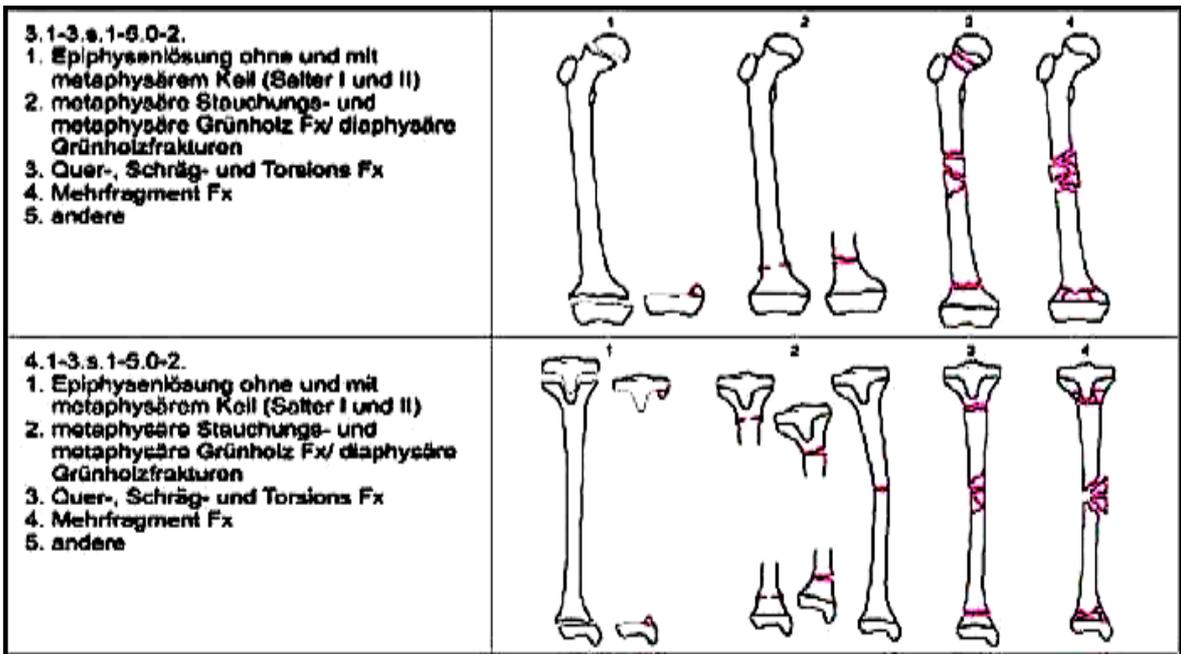


Abbildung 3: Li-La-Klassifikation für das Femur und die Tibia im Wachstumsalter (von Laer und Kraus 2007)

### 1.5.2 Klassifikation der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen im Erwachsenenalter (AO-Klassifikation)

Die „AO Comprehensive Classification of Pediatric Long Bone Fractures“ ist ebenfalls vor kurzer Zeit entstanden und damit ebenso noch nicht etabliert. Sie beruht auf der von Müller et al. für Erwachsene entwickelten AO-Klassifikation (Müller et al. 1990, Abb. 4) und wird hier der Vollständigkeit halber kurz dargestellt.

Mit der AO-Klassifikation lassen sich gleichermaßen die Lokalisation wie die Form einer Fraktur beschreiben. In ihrem 5-stelligen alphanumerischen Code ist an erster Position das Femur mit der Nummer 3, die Tibia mit der Nummer 4 belegt.

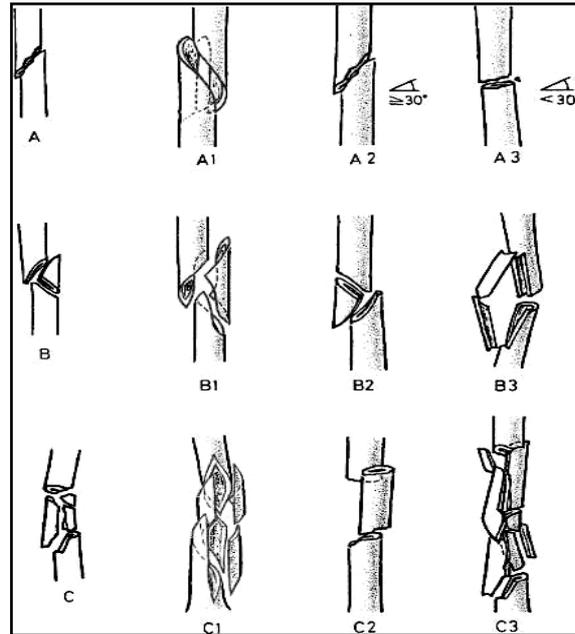


Abbildung 4: AO-Klassifikation der Frakturen (M.E. Müller 1990)

Für diese Studie von Bedeutung sind Frakturen des Typs 32- (Lokalisation: Femurdiaphyse) bzw. des Typs 42- (Lokalisation: Tibiadiaphyse) mit den Unterklassifikationen 32-A1.2 bzw. 42-A1.2 (Spiralfraktur), 32-A2.2 bzw. 42-A2.2 (Schrägfraktur), 32-A3.2 bzw. 42-A3.2 (Querfraktur). Die ebenfalls in der Studie erfassten Keil- und Trümmerfrakturen werden mit diesem System mit den Codes 32-B1.2 bzw. 42-B1.2 (Keilfrakturen mit Drehkeil), 32-B2.2 bzw. 42-B2.2 (Keilfraktur mit Biegekeil), 32-B3.2 bzw. 42-B3.2 (Keilfraktur, Keil fragmentiert), 32-C1.2 bzw. 42-C1.2 (komplexe spiralförmige Fraktur), 32-C2.2 bzw. 42-C2.2 (komplexe etagenförmige Fraktur) und 32-C3.2 bzw. 42-C3.2 (komplexe irreguläre Fraktur) verschlüsselt (Müller et al. 1992, Audigé 2005).

Da weder für die Li-La-Klassifikation noch für die „AO Comprehensive Classification of Pediatric Long Bone Fractures“ breitere Erhebungen bezüglich ihrer Sensitivität und Spezifität existieren, können dahingehend noch keine exakten Angaben gemacht werden. Slongo et al. (2007) untersuchten in einer Internet-basierten Multizenter-Studie die Richtigkeit und Präzision der „AO Comprehensive Classification of Pediatric Long Bone Fractures“, indem sie 70 Operateure unterschiedlicher Expertise baten, 275 Röntgenbilder zu klassifizieren.

Bei der Einteilung der Frakturen in einen epi-, meta-, und diaphysären Bereich wurden Kappa-Koeffizienten von 0.66, 0.80 und 0.91 erzielt. Geringere Übereinstimmungen wurden bei der Beurteilung von Frakturformen beobachtet. Hier lagen

die Kappa-Koeffizienten bei 0.51, 0.63 und 0.48. Dies zeigt die eminent hohe Bedeutung von breit durchgeführten Schulungen, bevor neue Klassifikationssysteme sicher und korrekt im klinischen Alltag eingesetzt werden können.

## **1.6 Therapie der Ober- und Unterschenkelchaftfrakturen im Kindesalter**

Die Grundlagen der Behandlung dislozierter Frakturen bestehen in der Reposition und Retention; daran schließt sich die Rehabilitation an (Weise 2004<sup>2</sup>). Die Reposition dient der Wiederherstellung von Länge, Achse und Torsion des dislozierten Röhrenknochens. Die erreichte achsengerechte Stellung muss bis zur knöchernen Ausheilung durch die Retention erhalten bleiben, um eine mögliche Redislokation zu vermeiden. Die konservative Behandlung besteht aus immobilisierenden Verbänden (z.B. Gipsverband) oder der Extensionstherapie. Operativ wird die Retention durch verschiedene Osteosyntheseverfahren wie der elastisch stabilen intramedullären Nagelung (ESIN), dem Fixateur externe oder der Plattenosteosynthese erreicht.

### **1.6.1 Konservative Therapie**

Bei Neugeborenen, Säuglingen und Kleinkindern bis ca. 3 Jahre können kindliche Oberschenkelchaftfrakturen konservativ durch einen Becken-Bein-Cast oder eine Overhead-Extension suffizient versorgt werden, da sich verbleibende Fehlstellungen durch das Remodeling nahezu komplett ausgleichen (Curtis et al. 1995, Dietz et al. 2001, Beaty und Kasser 2006). Für kleine Kinder wurde früher häufig die Extension nach B. G. Weber (Zug an den Beinen in jeweils 90° gebeugten Knie- und Hüftgelenken) (Weber et al. 1979) verwendet; sie wurde jedoch zugunsten der so genannten Overheadextension (vertikales Aushängen beider Beine) nach Bryant (Bryant 1876) aufgegeben. Nach 3- bis 4-wöchiger Traktion wird nachfolgend ein Beckenbeingips angelegt. Hierbei sind jedoch schwerwiegende spezifische Probleme und Komplikationen der Extensions- und Castbehandlung beschrieben:

- Das Risiko eines Rotationsfehlers trotz häufiger Röntgenkontrollen mit entsprechender Strahlenbelastung und konsekutive Manipulationen am extendierten Bein
- Eine signifikante Beinlängendifferenz von +3 cm bis -3 cm (Curtis et al. 1995, Stans et al. 1999, von Laer et al. 2007)
- Die lange Immobilisation (bei älteren Kindern > sieben Wochen) (Ferguson und Nicol 2000) mit den Folgen einer signifikanten Quadricepsatrophie (Reeves et al. 1990) oder eventuell einer späteren stationären Rehabilitation (Curtis et al. 1995)
- Hygienische Probleme und Entwicklung eines sakralen Dekubitus (Buckley 1997)
- Perfusionsstörungen und Compartmentsyndrom des extendierten Beines (Beaty und Kasser 2006, Gracilla et al. 2003, Mubarak et al. 2006)
- Eine große psychische Belastung besonders größerer Kinder, nachgewiesen durch Evaluierungen mittels eines „posthospital behaviour questionnaire“ (Beaty und Kasser 2006, Braun et al. 1995, Reeves et al. 1990)

Aufgrund dieser gravierenden Nachteile wurde Ende der 1990er Jahre zunächst der Fixateur externe, später die elastisch stabile intramedulläre Nagelung favorisiert (Dietz et al. 2001, Maier et al. 2003). Heute wird bereits für Kinder ab dem dritten Lebensjahr die Versorgung mittels einer übungs- und belastungsstabilen Osteosynthese gefordert. Nur in Ausnahmefällen, wie z.B. einem Polytrauma, wird eine Extension als temporäre Therapieoption empfohlen (Beaty et al. 1994, Dietz et al. 1997, Dietz et al. 2001, Maier et al. 2006, AWMF-Leitlinien 2008).

Unterschenkelschaftfrakturen sind häufig weniger instabil als Oberschenkelschaftfrakturen und können daher bis zum zehnten Lebensjahr oft konservativ therapiert werden (Wessel et al. 1997). Als Operationsindikationen gelten instabile Schräg- und Spiralfrakturen sowie abrutschgefährdete komplette Unterschenkelfrakturen (Wessel et al. 1997, Till et al. 2000, Schmidt et al. 2003, Vallamshetla et al. 2006). Ergänzend zur Gipsbehandlung steht bei Unterschenkelschaftfrakturen die Option einer Gipskeilung zur Verfügung, durch die im Verlauf – auch bei älteren Kindern – die Achsstellung nachträglich verbessert werden kann (Schmittbecher und Dietz 1995<sup>1</sup>, Wessel et al. 1997, von Laer 2002, Jubel 2004<sup>1</sup>). Dies betrifft sowohl Korrekturen in der Horizontal- als auch in der Sagittalebene (von Laer 2002). Der Gips

wird dazu in Frakturhöhe semizirkulär aufgeschnitten und dann keilförmig an der gewünschten Stelle aufgeweitet und in der neuen Position z.B. durch Korken und zusätzliches Gipsmaterial wieder stabilisiert (Gregson und Thomas 1994, Weise 2004<sup>2</sup>). Da jedoch eine signifikante Abhängigkeit zwischen der Zahl der Repositionen und einer posttraumatischen Verlängerung des betroffenen Beins besteht, sollten wiederholte Gipskeilungen vermieden werden (Wessel et al. 1997).

### **1.6.2 Operative Therapie**

Das Ziel der operativen Behandlung ist es, mit einem Minimum an Aufwand die Fraktur achsengerecht, bewegungs- und am besten belastungsstabil zu versorgen (Weinberg 1994, Platz und Käch 1996, von Laer 2005). Rether (2005) stellt folgende Anforderungen an ein „ideales“ Osteosyntheseverfahren:

- Keine zusätzliche Ruhigstellung
- Bewegungsstabil und früh übungstabil
- Geringe Rate an Wachstumsstörungen
- Wenig oder minimal-invasiv mit kleinen Narben sowohl bei der Osteosynthese als auch bei der Metallentfernung
- Kurzer Krankenhausaufenthalt
- Hoher Tragekomfort

#### Plattenosteosynthese

Die Plattenosteosynthese führt zu einer rigiden Stabilisierung der anatomischen Reposition sowohl diaphysärer als auch proximaler und distaler Schaftfrakturen (Caird et al. 2003).

Die Methode wird in der Kinderchirurgie nur noch selten durchgeführt, da sie im Vergleich zu anderen Verfahren zu einem erheblichen iatrogenen Weichteilschaden mit entsprechend höherem intraoperativen Blutverlust führt (Maier et al. 2003). Für die spätere Entfernung der Osteosynthese ist außerdem ein umfangreicher Zweiteingriff notwendig (Ward et al. 1992), der eine vergleichsweise große, kosmetisch störende Narbe hinterlässt (Kuner et al. 1990, Ward et al. 1992, Lögters et al. 2009). Gehäuft treten postoperative Beinlängendifferenzen bis zu 2 cm mit konsekutivem Beckenschiefstand auf (Hehl et al. 1993).

In neuerer Zeit wird versucht, die Komplikationsrate durch minimal-invasive Techniken und neue Plattendesigns zu senken. Bei der submuskulären Plattenosteosynthese wird die Fraktur indirekt reponiert und die Platten werden über einen ca. 3 cm großen Hautschnitt eingebracht. Der Vorteil liegt bei diesem Vorgehen unter anderem in dem geringeren iatrogenen Weichteilschaden, der ebenso hohen Frakturstabilität und dem verminderten Auftreten postoperativer Beinlängendifferenzen (Collinge und Sanders 2000, Sink et al. 2006, Oh et al. 2007). Hierzu liegen bislang aber nur wenige klinische Ergebnisse vor.

### Verriegelungsnagel

Der Verriegelungsnagel wird häufig und mit sehr guten Ergebnissen bei Erwachsenen eingesetzt. Im Gegensatz dazu hat sich dieses Verfahren bei kindlichen Oberschenkelschaftfrakturen nicht etabliert. Ursache ist eine mögliche Verletzung der A. circumflexa femoris medialis mit konsekutiver Hüftkopfnekrose, die bei der Marknagelung von Femurfrakturen vor Abschluss des Wachstums auftreten kann (Beaty et al. 1994, Mileski et al. 1995, O'Malley et al. 1995, Orlor et al. 1998, Stans et al. 1999). Die avaskuläre Nekrose nach Marknagelung ist mit 3-4% zwar eine seltene, dafür aber sehr schwere Komplikation, die eine Umstellungsosteotomie oder gar einen künstlichen Gelenkersatz zur Folge haben kann (Orlor et al. 1998).

### Fixateur externe

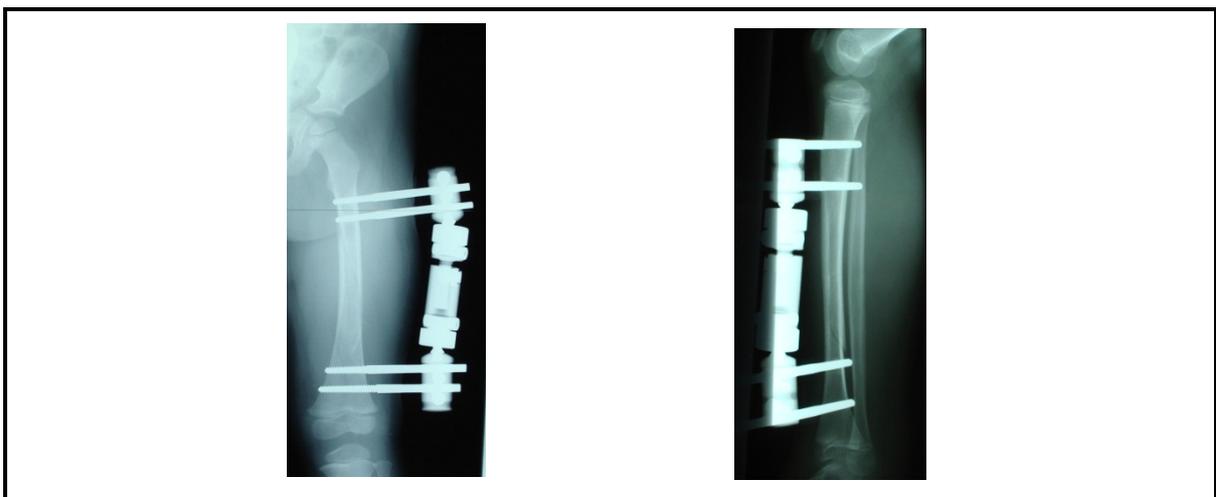


Abbildung 5 a+b: Röntgenaufnahme Fixateur externe (links: Femur, rechts: Tibia)

Bei der Anwendung eines unilateralen Fixateur externe (z.B. Orthofix<sup>®</sup>-Fixateur) werden jeweils zwei Schanz-Schrauben senkrecht zum Knochen ober- und unterhalb der Fraktur in den Knochen eingebracht (Abb. 5 a+b). Bei Femurschaftfrakturen erfolgt die Anbringung von lateral nach Kerbung des Tractus ileotibialis, bei Tibiafrakturen werden die Schrauben von ventromedial eingebracht. Der Verbindung des Fixateur externe mit den Schanz-Schrauben folgt die definitive Reposition und Befestigung des Fixateur externe.

Die stabile und auf die individuelle Situation des Patienten ausgerichtete Anwendung macht den Fixateur externe zu einem bevorzugten Osteosyntheseverfahren bei Trümmerfrakturen (Maier et al. 2003), bei polytraumatisierten Kindern, bei schweren Weichteilschäden sowie bei infizierten (Jubel et al. 2004<sup>2</sup>) oder offenen Frakturen (Bar-On et al. 1997). Von Vorteil gegenüber der konservativen Therapie sind die kurze Hospitalisationszeit, die frühe Mobilisation unter Vollbelastung und die frühere Rückkehr der Kinder in die gewohnte Umgebung (Platz und Käch 1996). Maier et al. (2003) konnten in ihrer Studie über die Ausheilungsergebnisse konservativ und operativ versorgter kindlicher Femurfrakturen zeigen, dass konservativ behandelte Patienten durchschnittlich sechs Tage länger stationär betreut wurden als Patienten mit einem Fixateur externe. Viele Operateure erlauben die Mobilisation mit dem Fixateur externe unter voller Belastung ab dem 1. postoperativen Tag, während die konservative Therapie eine lange Immobilisation bzw. Gipsruhigstellung von 4-5 Wochen, bei älteren Kindern von bis zu 9 Wochen bedeuten kann (Ferguson und Nicol 2000).

Als Nachteile sind jedoch Rotationsfehler, Refrakturen und Infektionen im Bereich der Pin-Eintrittsstellen bekannt (Kirschenbaum et al. 1990, Probe et al. 1993, Weinberg et al. 1994, Gregory et al. 1996, Sola et al. 1999, Stans et al. 1999, Dietz et al. 2001, Domb et al. 2002, Wright et al. 2005, Myers et al. 2007). Wright und Mitarbeiter (2005) stellten in einer randomisierten Studie fest, dass 12 von 45 mit einem Fixateur externe behandelten Kinder nach zwei Jahren unter einem Rotationsfehler litten. Myers et al. (2007) beobachtete acht Infektionen im Bereich der „Pins“ bei 30 Patienten, deren Tibiaschaftfrakturen mit Hilfe eines Fixateur externe stabilisiert wurden. Bei Wright et al. (2005) mussten 20 der 45 Patienten aufgrund einer Infektion im Pintrack-Bereich mit oralen Antibiotika therapiert werden. Auch Weinberg und Mitarbeiter (1994) beobachteten eine Komplikationsrate von 19,1% nach der Behandlung 89 kindlicher Schafffrakturen mit dem Fixateur externe. Das

Auftreten von Infektionen lag bei 4,5%, Refrakturen traten ebenfalls bei 4,5% der Patienten auf. Die hohe Komplikationsrate von 19,1% konnte durch eine suffiziente Pflege der Schraubenaustrittsstellen und durch eine bessere Dynamisierung und stabilere Schraubenverankerungen deutlich gesenkt werden.

### Elastisch stabile intramedulläre Nagelung (ESIN)

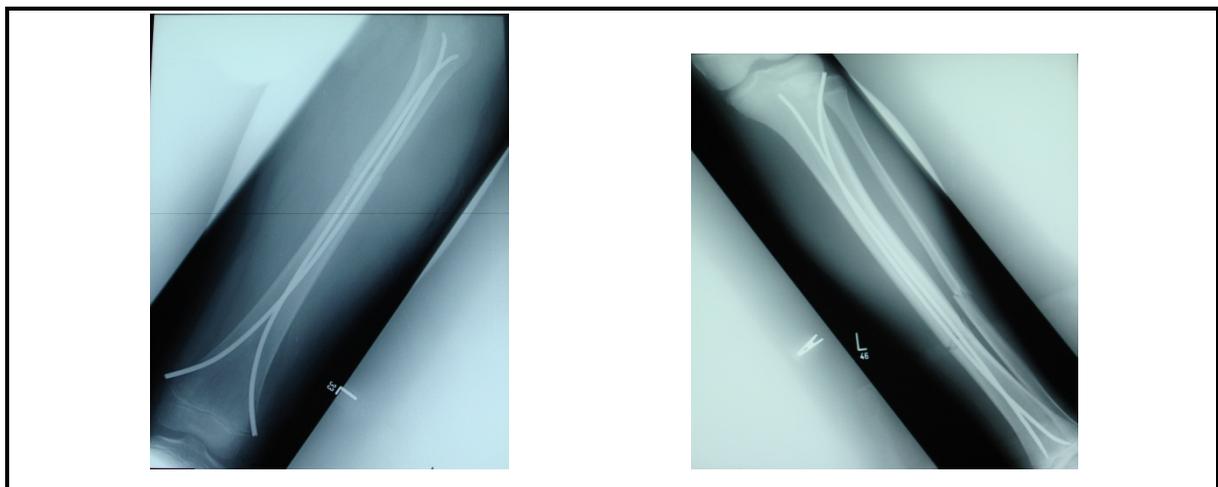


Abbildung 6 a+b: Röntgenaufnahme ESIN (links: Femur, rechts: Tibia)

Die elastisch stabile intramedulläre Nagelung (ESIN) stellt ein geschlossenes minimal-invasives Verfahren dar, das die noch offenen Wachstumsfugen der langen Röhrenknochen umgeht. Hierbei werden zwei elastische Nägel in C-Konfiguration durch kleine Corticalisperforationen in den Markraum eingebracht (Abb. 6 a+b). Sie wurde Ende der 30er-Jahre des letzten Jahrhunderts von Kuntscher (Kuntscher 1950) entwickelt, durch Rush (1970) und Ender (1975) modifiziert und gründet in ihrer heutigen Form auf den Untersuchungen von Firica (Firica et al. 1977). Eine weitere Verbreitung erfuhr sie durch die Arbeitsgruppe um Ligier, Métaizeau, Lascombes und Prévot aus Nancy in Frankreich (Ligier et al. 1985, Métaizeau 2004, Lascombes et al. 2006).

Für die elastisch stabile intramedulläre Nagelung werden Markraumnägel aus Edelstahl oder Titan verwendet, deren Durchmesser individuell angepasst wird (Dietz et al. 1997, Rether 2005, Lascombes et al. 2006). Die Nägel werden entsprechend der erforderlichen Länge am Ende der OP gekürzt. Der Nageldurchmesser ist abhängig von der Markraumweite und sollte jeweils 33-40% des engsten Markraumdurchmessers betragen (Goodwin et al. 2005, Rether 2005, Lascombes et al. 2006). Um die Stabilität der Osteosynthese zu erhöhen und eine ungleichmäßige Verspannung der Fraktur zu vermeiden, müssen zwei Nägel der

gleichen Stärke verwendet werden (Rether 2005, Slongo 2005). Nägel unterschiedlichen Durchmessers erhöhen die Odds ratio für eine Fehlstellung auf 19,4 (Narayanan et al. 2004). Um das Einbringen und Manipulieren der Nägel im Markraum zu erleichtern, sind die Nagelspitzen (Kufen) um 20° vorgebogen. Eine Vorgebung der Nägel um ca. 40°, bevor sie in den Markraum eingebracht werden, soll die dynamische Stabilität verbessern (Métaizeau 2004, Rether 2005, Slongo 2005, Lascombes et al. 2006, Fa. Synthes 2011). Bei Frakturen des proximalen und mittleren Femurschaftdrittels werden die Nägel meist 2 cm oberhalb der distalen Epiphysenfuge implantiert und ascendierend (retrograd) in das Femur eingebracht. Dabei kommt es proximal zu einer zweiten Überkreuzung der intramedullären Nägel. Die Nagelkufen sollten cranial des Trochanter major enden. Bei Frakturen des distalen Femurschaftdrittels kann auch eine descendierende Nagelung gewählt werden und die Nägel können dementsprechend unterhalb des Trochanter major implantiert werden.

Um Weichteilirritationen zu vermeiden und trotzdem eine spätere Entfernung zu gewährleisten, werden die Nägel auf eine extrakortikale Länge von ca. 1-1,5 cm gekürzt (Métaizeau 2004, Narayanan et al. 2004, Wenger und Pring 2005).

Bei Tibiaschaftfrakturen liegen die Nageleintrittspunkte medial und lateral der Tuberositas tibiae (Rether 2005, Maier und Marzi 2008). Somit überkreuzen sich die Nägel das zweite Mal im distalen Bereich des Markraumes; die Nagelkufen sollten zur Unterstützung der Antekurvatur nach dorsal ausgerichtet werden.

Sowohl bei der ascendierenden als auch bei der descendierenden Implantation ist es das Ziel des Verfahrens, eine intramedulläre Drei-Punkt-Abstützung zu erzielen (Abb.7). Der Eintritt in den Markraum und das Verkanten der Kufe an der inneren Corticalis am proximalen Ende des Femur bzw. am distalen Ende der Tibia stellen zwei der drei Abstützpunkte dar. Der dritte Punkt ist der Bereich der Fraktur: Hier müssen die Nägel möglichst langstreckig parallel zueinander verlaufen, um die Fraktur optimal aufzuspannen (Dietz et al. 1997, Rether 2005, Lascombes et al. 2006, Maier und Marzi 2008).

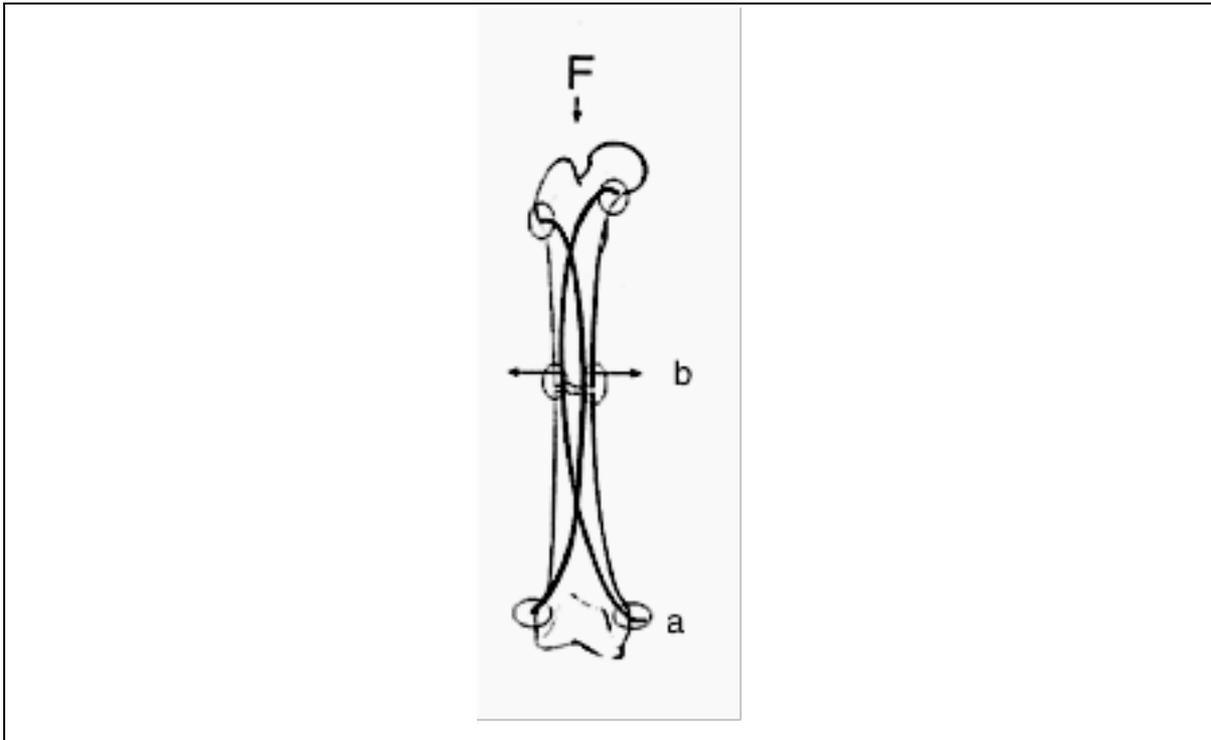


Abbildung 7: Abstützpunkte (ovale Markierungen) der elastisch stabilen intramedullären Nägel am Femur (Rether 2005).

a) Eintrittspunkt oberhalb der distalen Epiphysenfuge

b) Axiale Stabilität durch Abstützung der Nägel an der jeweiligen Gegencorticalis

Daher sind besonders diaphysäre, zum Teil auch metaphysäre Frakturen der unteren Extremität ohne ausgedehnte interfragmentäre Knochendefekte für die Behandlung mit elastisch stabilen intramedullären Nägeln grundsätzlich geeignet (Flynn et al. 2002, Métaizeau 2004, Rether 2005). Das Risiko von Defektheilungen und verbleibenden postoperativen Achsfehlstellungen ist jedoch bei älteren übergewichtigen Kindern, bei längerstreckigen interfragmentären Defektzonen, höhergradig offenen Frakturen und massiven Weichteilschäden erhöht (Schmitteneber und Dietz 1995<sup>2</sup>). Auch bei Begleiterkrankungen mit erhöhtem Infektrisiko und fehlender Compliance in Bezug auf die zeitabhängig zu dosierende (Teil-)Belastung wird von der Methode abgeraten (Rether 2005, Maier und Marzi 2008). Im Vergleich zu den bereits genannten Operationsmethoden wie Fixateur externe oder Plattenosteosynthese wurde bei bisherigen Untersuchungen eine signifikant kürzere Heilungszeit bei mit der ESIN-Osteosynthese versorgten kindlichen Oberschenkel- und Unterschenkelschaftfrakturen beobachtet (Kubiak et al. 2005, Caglar et al. 2006). Kubiak et al. (2005) ermittelten bei operativer Behandlung kindlicher Tibiaschaftfrakturen eine durchschnittliche Heilungszeit von sieben Wochen nach der elastisch stabilen intramedullären Nagelung, während diese nach Anlage

eines Fixateur externe durchschnittlich 18 Wochen betrug. Caglar et al. (2006) stellten eine durchschnittliche Heilungszeit von 3,91 Monaten nach der intramedullären Nagelung kindlicher Femurschaftfrakturen bzw. von 4,75 Monaten nach einer Plattenosteosynthese fest. Der Grund für die beschleunigte Frakturheilung wird in „Mikrobewegungen“ gesehen, die die intramedulläre Nagelung im Gegensatz zu den rigideren Osteosynthesetechniken zulässt (Flynn et al. 2001, Métaizeau 2004, Maier und Marzi 2008). Als weitere Vorteile konnten geringere Raten an Refrakturen dokumentiert werden, weiterhin tragen kleinere Narben, ein kürzerer Krankenhausaufenthalt (Maier et al. 2003) und ein höherer Tragekomfort zu einer verbesserten Patientenzufriedenheit bei (Dietz et al. 1997, Rether 2005, Jubel et al. 2004<sup>1</sup>). Im Bereich des Oberschenkels hat die elastische intramedulläre Nagelung den wesentlichen technischen Vorteil, dass sie im Gegensatz zur starren Nagelung die Fossa piriformis umgeht und somit eine Verletzung der dortigen Gefäße vermieden wird, die bei Adoleszenten zur gefürchteten Komplikation der avaskulären Hüftkopfnekrose führen kann (Carey und Galpin 1996, Flynn et al. 2002).

Ein häufiges Problem der ESIN-Osteosynthese stellen Nagelenden dar, die für die spätere Metallentfernung zu lang belassen wurden. Insgesamt wird diese Komplikation in der Literatur mit 5,8% angegeben (Schmittenbecher 2001). Das Hervorstehen der Nägel an den Nageleintrittsstellen führt zu Reizzuständen, Infektionen oder gar Hautperforationen (Rether 2005). Ebenso kann am Oberschenkel der Tractus ileotibialis durch den Nagel versehentlich fixiert werden, was zu einer schmerzhaften Bewegungseinschränkung des Kniegelenkes führen kann (Maier et al. 2006). Kleinere Probleme können durch den kräftigen Weichteilmantel bedingt sein, der intraoperativ das Wiederauffinden der Corticalisbohrung erschwert (Dietz et al. 1997).

Als gravierende Probleme der elastisch stabilen intramedullären Nagelung sind Nageldislokationen und sekundäre Fehlstellungen mit konsekutiven Revisionseingriffen beschrieben (Narayanan et al. 2004, Ho et al. 2006). In gezielten Fehleranalysen und Multi-Center-Studien zeigten sich Komplikationsraten mit Achsfehlstellungen, Nageldislokationen und Korrekturingriffen von 10 bis zu 50%, insbesondere bei Kindern über 10 Jahren oder mehr als 40 kg Körpergewicht (Flynn et

al. 2001, Luhmann et al. 2003, Flynn und Schwend 2004, Narayanan et al. 2004, Sink et al. 2005, Lascombes et al. 2006).

Bei Unterschenkelschaftfrakturen liegen die Vorteile der ESIN-Osteosynthese im Vergleich zur konservativen Therapie in der schnelleren Schmerzfreiheit und der verbesserten Mobilität der Patienten (Schneidmüller und Marzi 2006). Nach Frakturen im Unterschenkelbereich ist die Sportfähigkeit der Patienten vier Wochen nach der Konsolidierung gegeben; nach der elastisch stabilen intramedullären Nagelung des Femurs muss jedoch mit ca. acht Wochen nach der Konsolidierung gerechnet werden (Schneidmüller und Marzi 2006).

Neben dem nicht verfahrensspezifischen erhöhten Risiko eines Compartmentsyndroms bei Unterschenkelverletzungen stellt bei isolierten Tibiaschaftfrakturen das Zusammenrutschen der Fragmente („Teleskoping“) ein typisches Problem der elastischen Nagelung am Unterschenkel dar (Dietz et al. 1997, Schneidmüller und Marzi 2006). In der Folge kommt es meist zu einer Varusfehlstellung (Schneidmüller und Marzi 2006).

## **1.7 Fragestellung und Studienziel**

Ziel der Behandlung kindlicher Femur-, Tibia- bzw. Unterschenkelschaftfrakturen ist es, mit möglichst geringem Aufwand rasch die statische und funktionelle Belastbarkeit wiederherzustellen und auf lange Sicht ein optimales funktionelles und kosmetisches Ergebnis zu erzielen.

Nachdem aufgrund des Remodelings verbliebener Fehlstellungen Frakturen am Femur früher ausschließlich konservativ behandelt wurden, etablierte sich zunächst die Versorgung dislozierter Frakturen mit dem Fixateur externe. Seit Mitte der 1990er-Jahre werden dislozierte Femurschaftfrakturen bei Kindern und Jugendlichen bevorzugt mit der elastisch stabilen intramedullären Nagelung behandelt. Dies wird zum einen mit der besseren Frakturstellung gegenüber dem konservativen Vorgehen begründet und zum anderen mit der geringeren Refrakturnrate im Vergleich zur Osteosynthese mit dem Fixateur externe. Der deutlich geringere operative Zugang im Vergleich zur Plattenosteosynthese sowohl bei der Implantation als auch der Metallentfernung erspart den Kindern Schmerzen und größere Narbenbildung.

Im Bereich des Unterschenkels ist das Remodeling deutlich geringer ausgebildet als am Femur, dafür liegen hier häufiger stabile und somit konservativ zu behandelnde Frakturen vor. Bei den dislozierten Tibia- bzw. Unterschenkelschaftfrakturen sowie bei Frakturen im Adoleszentenalter ist jedoch eine ähnliche Entwicklung wie bei der operativen Versorgung der Oberschenkelschaftfrakturen zu beobachten: Nach einer Phase der externen Fixierung dominiert aktuell die elastisch stabile intramedulläre Nagelung. Auch an der Klinik für Kinderchirurgie Lübeck wurde bei der operativen Versorgung dislozierter Schaftfrakturen an der unteren Extremität zunächst der Fixateur externe eingesetzt, während aktuell die ESIN-Osteosynthese favorisiert wird.

Trotz der beschriebenen Vorteile wie dem Verzicht auf eine mehrwöchige Hospitalisierung oder eine lang andauernde Ruhigstellung der betroffenen Extremität sind die publizierten Ergebnisse nach operativer Versorgung dislozierter Frakturen sehr different. Komplikationen wie Nagelwanderungen, Fehlstellungen nach der Operation bzw. sekundäre Dislokationen mit konsekutiven Re-Operationen sind in bis zu 50% der Fälle beschrieben.

Ziel dieser Arbeit war es daher, zunächst retrospektiv sämtliche Komplikationen der eigenen Patienten zu erfassen und zu analysieren. Ein weiterer wichtiger Aspekt sollte – da bislang in der Literatur fast nie erfasst – die Zufriedenheit unserer Patienten und ihrer Eltern sein. Untersucht werden sollten hierzu die Ergebnisse nach operativer Versorgung von Schaftfrakturen der unteren Extremität sowohl mittels elastisch stabiler intramedullärer Nagelung als auch mit dem Fixateur externe, um die Wahl der Behandlungsmethode in der Zukunft zu optimieren und die Rate an Komplikationen langfristig zu minimieren.

Im Rahmen dieser Studie sollen somit die folgenden Fragen geklärt werden:

- Wie häufig sind postoperative Komplikationen nach Versorgung dislozierter Schaftfrakturen der unteren Extremität mit der elastisch stabilen intramedullären Nagelung (ESIN-Osteosynthese) bzw. dem Fixateur externe im Kindesalter?
- Welche Ursachen haben die aufgetretenen Komplikationen?

- Bei welchen Komplikationen können sicher Anwenderfehler identifiziert werden?
- Bei welchen Komplikationen können anhand der Röntgenbilder keine Anwenderfehler gefunden werden und muss somit von Limitierungen des jeweiligen Osteosyntheseverfahrens ausgegangen werden?
- Wie zufrieden sind Eltern mit den postoperativen Ergebnissen der jeweiligen Osteosyntheseverfahren und dem gesamten Verlauf?
- Welches der beiden Verfahren kann somit eher die o. g. hohen Erwartungen an eine operative Therapie erfüllen?
- Können aus den Ergebnissen der Fehleranalyse Schlüsse für die Optimierung der operativen Therapie gezogen werden?

## **2. Patienten und Methoden**

### **2.1 Patientenkollektiv**

Die Studie umfasste alle Kinder unter 16 Jahren, deren Ober- oder Unterschenkel- bzw. Tibiaschaftfrakturen zwischen dem 1. März 2002 und dem 30. April 2007 operativ in der Klinik für Kinderchirurgie der Universität zu Lübeck versorgt wurden.

Eingeschlossen wurden nur dislozierte, diaphysäre Frakturen, die mit Hilfe der elastisch stabilen intramedullären Nagelung oder mittels Fixateur externe behandelt wurden. Erfasst wurden auch Kombinationsverfahren der elastisch stabilen intramedullären Nagelung bzw. des Fixateur externe mit zusätzlicher Schrauben- oder Gipsanlage.

Frakturen, die sich im epi- oder metaphysären Bereich befanden, sowie weitere Operationsverfahren wurden aus der Studie ausgeschlossen.

### **2.2 Retrospektive Datenerhebung**

Über die Datenerfassungssysteme OPDis und Orbis erfolgte die Identifizierung aller in Frage kommenden Patienten (ICD-10-Nummer Femurschaftfraktur: S72.3;

ICD-10-Nummer Tibiaschaftfrakturen: S82.2 bzw. S82.28 und S82.21 bei einer Tibiaschaftfraktur inklusive Fraktur der Fibula). Anhand der Krankenakten wurden folgende Daten ermittelt: Alter der Kinder zum Zeitpunkt des Unfalls, das Geschlecht, die Frakturursache, Begleitverletzungen, die jeweilige Therapie sowie das Auftreten sämtlicher peri- und postoperativer Komplikationen und die stationäre Aufenthaltsdauer. Postoperative Komplikationen wurden unterteilt in erneute Operationen und in zusätzlich erforderliche nicht-operative Maßnahmen wie eine additive Gipsanlage oder eine erneute Reposition. Infektionen wurden ebenfalls zu den direkt postoperativen Komplikationen gezählt.

Die Auswertung der OP-Berichte gab Auskunft über die Dauer der Operation, die Art der Reposition (offen oder geschlossen) sowie die Durchführung der Osteosynthese.

Nach Entlassung aus der Klinik für Kinderchirurgie der Universität zu Lübeck wurden die Kinder regelmäßig zu Nachuntersuchungen in die kinderchirurgische Poliklinik einbestellt. Anhand der Poliklinik-Akten konnte der Zeitpunkt der Metallentfernung, der letzten Nachuntersuchung sowie die Zeit bis zur Vollbelastung des Beines ermittelt werden. Des Weiteren wurden sämtliche Komplikationen, die sich im Laufe der poliklinischen Nachuntersuchungen zeigten, erfasst. Als Komplikationen wurden definiert:

- Achsenfehlstellungen  $> 10^\circ$
- verbliebene Beinlängendifferenzen in der Nachuntersuchung  $> 1,5$  cm
- Pseudarthrosen
- Refrakturen
- Infektionen

Zur radiologischen Beurteilung des Verlaufes wurden Röntgenbilder zu drei verschiedenen Zeitpunkten analysiert: a) am Unfalltag, b) direkt postoperativ und c) am Abschluss der Behandlung. Die Röntgenaufnahmen des Unfalltages wurden hinsichtlich der Frakturform, der Frakturlokalisierung und der Art der Fraktur begutachtet. Da es sich bei allen Frakturen um diaphysäre Frakturen handelte, wurde bei der Bewertung der Frakturlokalisierung der Knochenschaft in ein proximales, mittleres und distales Drittel eingeteilt. Die Frakturart wurde bestimmt, indem Knochenverlängerungen und -verkürzungen (Dislocatio ad longitudinem), Achsabweichungen (Dislocatio ad axim) und Seitverschiebungen (Dislocatio ad latus) ermit-

telt wurden. Das Ausmaß der Achsabweichungen wurde mit Hilfe eines Winkelmessers bestimmt. Seitverschiebungen des Knochens wurden in Bezug zur Corticalis- bzw. Schaftbreite angegeben. Die postoperativ und im weiteren Verlauf angefertigten Röntgenaufnahmen wurden hinsichtlich der Art der osteosynthetischen Versorgung sowie der Achsenstellung der Fragmente analysiert. Die Qualität der ESIN-Osteosynthese wurde anhand der Nagelgrößen, der erzielten Drei-Punkt-Abstützung, der intramedullären Platzierung und der extrakortikalen Nagellänge bewertet. Als fehlerhafte Anwendung der ESIN wurden definiert:

- unterschiedliche oder zu geringe Nageldurchmesser
- angestrebte 2-C-Konfiguration der Nägel nicht erreicht bzw. mangelnde Verspannung der Nägel im Frakturbereich z.B. durch Verdrehungen der Nägel umeinander („Korkenzieherphänomen“)
- ein zu kurzer Verlauf im Markkanal
- zu lang belassene Nagelenden (> 1 cm extracortical)

## **2.3 Rekrutierung der Patienten**

Diejenigen Eltern, deren Kinder regelmäßig in der Poliklinik nachuntersucht wurden und weder postoperativ noch im weiteren Verlauf unter Komplikationen litten, wurden telefonisch kontaktiert und mit Hilfe des Qualitätssicherungsbogens (Anhang 7.3.) zu dem jeweiligen Operationsverfahren befragt. Voraussetzung war jedoch immer ein unauffälliger und komplett dokumentierter Verlauf sowie das Vorliegen der erforderlichen Röntgenbilder.

Alle übrigen Patienten, die postoperativ oder im weiteren Verlauf eine der genannten Komplikationen erlitten hatten oder deren Verlaufsdaten nicht komplett erfasst waren, wurden schriftlich zu einer Nachuntersuchung in die Kinderchirurgie eingeladen. Die Eltern der Kinder wurden schriftlich über die Studie informiert – ein Musterbeispiel dieses Anschreibens an die Eltern ist in den Anhängen 7.1.1 und 7.1.2 aufgeführt.

Waren die betroffenen Eltern postalisch unbekannt verzogen, erfolgte eine Adressaktualisierung über die zuletzt behandelnden Haus- und Kinderärzte. Eltern, die mit ihren Kindern aus verschiedenen Gründen nicht zu der Nachuntersuchung erscheinen konnten oder wollten, wurden telefonisch zum postoperativen Verlauf und dem derzeitigen Befinden ihrer Kinder befragt. Die Zufriedenheit mit

dem jeweiligen Operationsverfahren wurde in diesen Fällen anhand eines Qualitätssicherungsbogens erhoben. Ein Musterbeispiel des „Fragebogens für die Eltern zur Nachuntersuchung bei Frakturen der unteren Extremität“ ist im Anhang 7.3 aufgeführt.

Die Ethikkommission der Medizinischen Universität zu Lübeck hatte der Durchführung der Studie unter dem Aktenzeichen 08-069 am 20.05.2008 zugestimmt.

## **2.4 Nachuntersuchung der Kinder und Jugendlichen**

Die Kinder kamen mit ihren Eltern oder einer anderen Bezugsperson zur Nachuntersuchung. Bei vorliegender schriftlicher Einwilligungserklärung wurden die Eltern noch einmal über den Untersuchungsablauf aufgeklärt (Anhang 7.1.1).

Die Nachuntersuchung wurde standardisiert durchgeführt:

- Anamneseerhebung
- klinische Untersuchung (s. 2.4.1 und Anhang 7.2) und Bestimmung der Oberschenkel- und Hüftfunktion anhand des Harris-Scores (modifiziert nach Haddad 1990: Harris 1969, Haddad et al. 1990, siehe Anhang 7.2.1) bzw. der Funktion des Unterschenkels anhand des Scores nach Merchant & Dietz (Merchant und Dietz 1989, s. Anhang 7.2.2)
- sonographische Darstellung des ehemaligen Frakturbereichs (s. u.)
- Ausfüllen eines Qualitätssicherungsbogens (Anhang 7.3), um die Zufriedenheit der Eltern mit dem jeweiligen Operationsverfahren zu erheben

### **2.4.1 Klinische Untersuchung**

In ihrer Arbeit über die Analyse der Beingeometrie stellten Keppler et al. 1998 eine Standardtechnik für eine strukturierte klinische Untersuchung der unteren Extremitäten zur Erfassung von Beindeformitäten vor. Die in der Arbeit vorgestellten Untersuchungsvorgänge dienten als Vorlage für die klinische Untersuchung der Ober- und Unterschenkel.

#### Beurteilung des Gangbildes und der Achswinkel

Voraussetzung für die Begutachtung des Gangbildes war ein ausreichend großer Untersuchungsraum, in dem die Patienten ungehindert mehrere Schritte gehen

konnten. Die Beurteilung erfolgte stets an der unbedeckten unteren Extremität. Während des Gehens wurde auf ein Hinken, einen Außen- oder Innenrotationsgang und auf ein ausgeglichenes Zusammenspiel der Gelenke geachtet (Keppler et al. 1998). Es folgte die Bewertung der Beinachsen in der Frontal- und Sagittalebene am stehenden Patienten, bei der auf eine neutrale Achsenausrichtung in beiden Ebenen geachtet wurde: Als physiologisch wurde eine Ausrichtung der Beinachsen in der Frontalebene gewertet, wenn sich die Femurkondylen und die medialen Malleolen berührten. Abweichungen der physiologischen Ausrichtung im Sinne eines Genu varum bzw. eines Genu valgum bzw. einer isolierten Veränderung von Femur oder Tibia wurden mit Hilfe des Winkelmessers bestimmt. Abweichungen der Beinachse in der Sagittalebene (physiologisch durch die Zentren von Hüft-, Knie-, und Sprunggelenk) wurden entsprechend einem Genu antecurvatum bzw. auf ein Genu recurvatum vermessen und dokumentiert, ebenso Veränderungen, die isoliert nur das Femur oder die Tibia betrafen.

#### Messung der Beinlänge

Potenzielle Beinlängenunterschiede wurden zunächst mit Hilfe der Seitenvergleichenden Beckenansicht von dorsal und der Palpation der Beckenkämme abgeschätzt. Anschließend wurden sie mit Hilfe der Brettchenmethode zusätzlich quantifiziert.

Bei dieser Messung wurden die Patienten aufgefordert, beide Fußsohlen mit gleichmäßigem Kontakt parallel zueinander aufzusetzen. Eine Veränderung der Beinlängenverhältnisse mit konsekutivem Beckenschiefstand war so bereits durch die Betrachtung der Beckenkämme im Seitenvergleich sowie der Inspektion der horizontalen Gesäßfalte und der Glutealfalten beim stehenden Patienten von dorsal zu erkennen. Bei einer Differenz wurden danach solange 5 mm dicke Brettchen unter das kürzere Bein gelegt, bis der bestehende Beckenschiefstand ausgeglichen war. Diese Methode wurde gewählt, da sie sich in mehreren Studien als ein zuverlässiges Hilfsmittel bei der Erfassung von Beinlängendifferenzen erwiesen hatte (Hanada et al. 2001, Mutimer et al. 2007). Bei bestehender Beinlängendifferenz wurden zusätzlich die Beinlängen direkt mit dem Maßband ermittelt. Die Länge des Oberschenkels wurde definiert als Strecke zwischen dem Trochanter major und dem lateralen Kniegelenksspalt, während die Länge des Unterschen-

kels vom lateralen Kniegelenksspalt bis zur Spitze des Malleolus lateralis gemessen wurde.

### Bewegungsumfang

Der Bewegungsumfang der Hüft-, Knie- und Fußgelenke wurde mit Hilfe der Neutral-Null-Methode erfasst und dokumentiert (Abb.8). Um den Bewegungsumfang der Oberschenkel zu ermitteln, wurden mit Hilfe eines Winkelmessers die Extension, Flexion, Innenrotation, Außenrotation, Abduktion und Adduktion des Hüftgelenks sowie die Extension und Flexion des Kniegelenks bestimmt und in 5°-Schritten dokumentiert. Des Weiteren wurde die Kniegelenksachse im Stehen im Seitenvergleich beurteilt.

Die Funktionsüberprüfung der Unterschenkel beinhaltete die Untersuchung der Dorsalextension und der Plantarflexion des oberen Sprunggelenks sowie die Beurteilung der Kniegelenksachse und der Ante- und Rekurvation der Tibia.

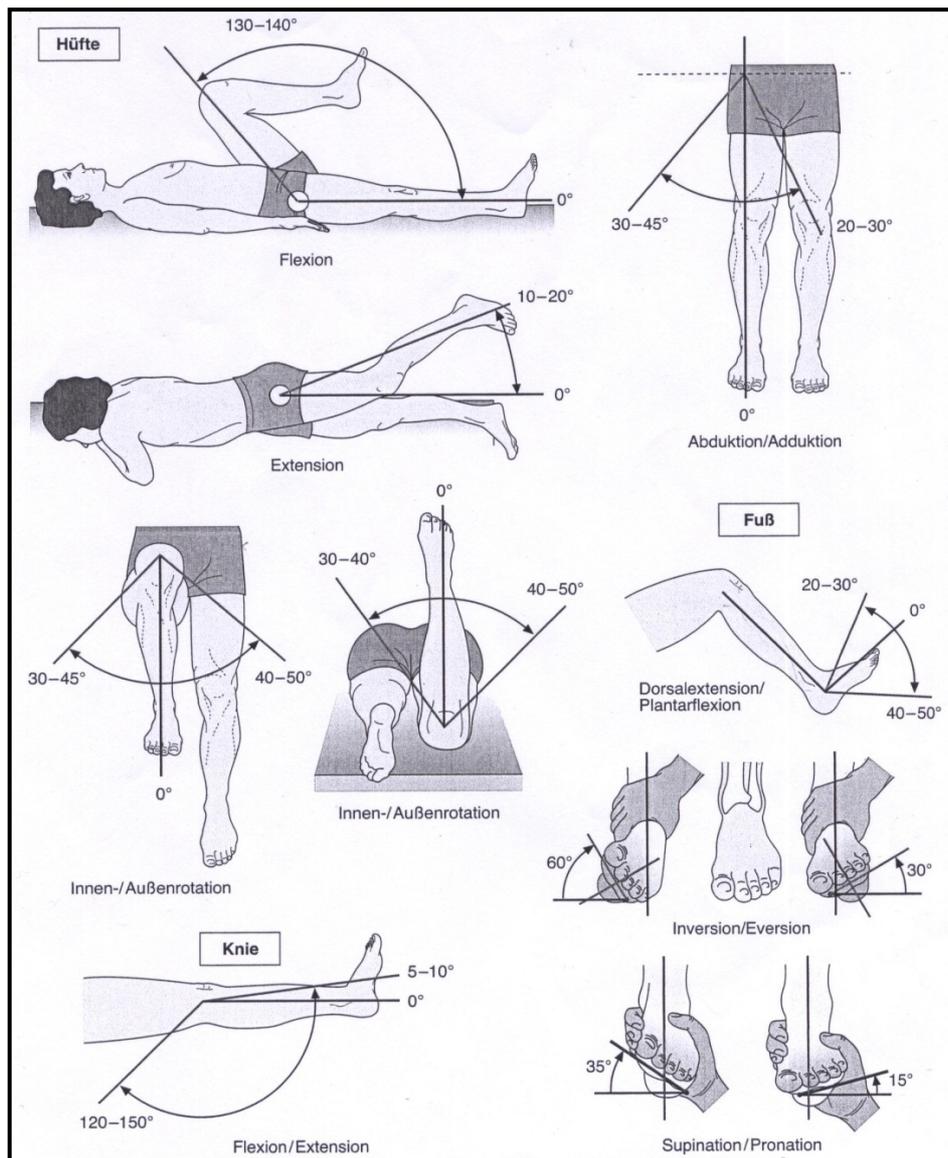


Abbildung 8: Normale Beweglichkeit der Körpergelenke gemessen nach der Neutral-Null-Methode (Rössler und Rüter 2005)

### Sonographische Darstellung des Frakturbereiches

Neben der ultraschallgesteuerten Diagnostik akuter diaphysärer Ober- und Unterschenkelchaftfrakturen besteht die Möglichkeit, postoperativ die Achsen von in Fehlstellung verheilten Frakturen und eventuell vorliegende Pseudarthrosen sonographisch darzustellen (Mayr et al. 2002, Mayr et al. 2004).

Nach der klinischen Untersuchung erfolgte daher eine Ultraschalldiagnostik des Ober- bzw. Unterschenkels mit einem 7,5-MHz-Linearschallkopf. Die Darstellung fand in der Neutral-Null-Stellung in vier Längsschnitten parallel zum entsprechenden Knochen statt. Es wurde auf Anzeichen einer nicht konsolidierten Fraktur (Unterbrechung, Wulst, Knick, Versatz), auf das Ausmaß und die Richtung einer mög-

lichen Seitverschiebung (Dislocatio ad latus), sowie auf das Ausmaß und die Richtung einer verbliebenen Achsabweichung (Dislocatio ad axim) geachtet. Seitverschiebungen wurden in die Kategorien halbe, ganze oder doppelte Corticalisbreite sowie halbe oder ganze Schaftbreite eingeteilt. Achsabweichungen wurden in Grad angegeben.

### **2.4.3 Bestimmung der Funktion von Oberschenkel und Unterschenkel**

#### Harris-Score

Der 1969 entwickelte Harris-Score (modifiziert nach Haddad 1990) ist einer der am häufigsten eingesetzten Hüftscore. Er kann im Gegensatz zu anderen Scores wie dem aktuell bevorzugten DASH-Score problemlos auf kindliche Verhältnisse übertragen werden. Der Harris-Score besteht aus den Kategorien Schmerz, Deformität, Bewegungsumfang und Gehfähigkeit mit den Unterpunkten Hinken, Gehhilfe, Gehstrecke, Treppen steigen, Schuhe/Socken anziehen, sitzen und Betreten öffentlicher Verkehrsmittel (Anhang 7.2.1). Die maximal zu erreichende Punktzahl beträgt 100 Punkte und beschreibt somit einen schmerz- und beschwerdefreien Patienten ohne Gelenkfunktionseinschränkung.

#### Score nach Merchant & Dietz

Der 1989 entwickelte Score nach Merchant & Dietz ist ein häufig angewendeter Score für die postoperative Bewertung von Tibia- und Fibulafrakturen und hat ebenfalls den Vorteil der Verwendbarkeit bei Kindern. Er besteht aus den Kategorien Funktion/Aktivität, Schmerz, Gang und Bewegungsausmaß (Anhang 7.2.2). Die maximal zu erreichende Punktzahl beträgt auch hier 100 Punkte.

Das Erzielen von 90-100 Punkten wird als „exzellentes“ Ergebnis gewertet. 80-89 erreichte Punkte spiegeln ein „gutes“, 70-79 Punkte ein „ausreichendes“ und < 70 Punkte ein „schlechtes“ Ergebnis wider (Merchant und Dietz 1989). Ein vergleichbares Bewertungssystem für den Harris-Score am Oberschenkel existiert in der Literatur nicht, wurde aber zur Vergleichbarkeit ebenso eingesetzt.

#### 2.4.4 Qualitätssicherungsbogen

Der „Fragebogen für die Eltern zur Nachuntersuchung bei Frakturen der unteren Extremität“ wurde von der Kinderchirurgie der Universität zu Lübeck im Zuge der Qualitätssicherung entwickelt (Anhang 7.3).

Der den Eltern während der Nachuntersuchung oder während des Telefoninterviews vorgelegte Fragebogen enthält folgende Items:

1. Wie schätzen Sie die Schmerzen Ihres Kindes unmittelbar nach der OP ein? (Antwortmöglichkeiten: keine – wenig – mittelstark – stark – sehr stark)
2. Wie schätzen Sie die Schmerzen Ihres Kindes einige Tage nach der OP ein? (Antwortmöglichkeiten: keine – wenig – mittelstark – stark – sehr stark)
3. Waren Sie mit der Wundheilung zufrieden? (Antwortmöglichkeiten: ja – nein)
4. Ist ein Bruch an anderer Stelle aufgetreten? (Antwortmöglichkeiten: ja – nein – weiß nicht)
5. Traten nach der OP Komplikationen auf? (Antwortmöglichkeiten: ja – nein – weiß nicht)
6. War eine erneute Operation notwendig (außer der Metallentfernung)? (Antwortmöglichkeiten: ja – nein)
7. Wie zufrieden sind Sie mit der Narbe? (Antwortmöglichkeiten: sehr zufrieden – zufrieden – teilweise zufrieden – wenig zufrieden – sehr unzufrieden)
8. Würden Sie die Behandlung wieder durchführen lassen? (Antwortmöglichkeiten: ja – nein – weiß nicht)
9. Waren Sie mit der Aufklärung über die Studie zufrieden? (Antwortmöglichkeiten: ja – nein)

Insbesondere die Antworten zu den Punkten 3, 5, 6, 7 und 8, die mehr als die Fragen 1, 2, 4 und 9 auf die Unterschiede zwischen den Operationsmethoden hinweisen, galten als relevant für die Fragestellung.

Die Fragen 4, 5 und 6 des Fragebogens dienten der zweifachen Absicherung in Bezug auf das Auftreten postoperativer Komplikationen. Hier wurden die Eltern nach Refrakturen, postoperativen Komplikationen und erneuten Operationen befragt. Die Angaben wurden dann mit den bereits gesammelten Daten verglichen. Kinder, deren postoperative Komplikationen nicht erfasst gewesen wären, hätten auf diese Weise nachträglich zu einer Nachuntersuchung eingeladen werden kön-

nen. Die Fragen 3 und 7 bezogen sich auf die kosmetischen Unterschiede zwischen der elastisch stabilen intramedullären Nagelung und der Fixateur-externe-Therapie.

## **2.5 Statistische Auswertung der Ergebnisse**

Die Angaben aus den Krankenakten, Poliklinik-Akten, OP-Berichten sowie die Angaben aus den Nachuntersuchungs- und Fragebögen wurden pseudonymisiert und dann codiert in eine selbsterstellte Datenbank des Programms Excel 2003<sup>®</sup> von Microsoft (Washington USA, Redmond) eingegeben.

Bei binären Variablen erfolgte die Dokumentation als null oder eins. Bei ordinalen Parametern in aufsteigender Zahlenreihe. Konstanten wie Alter zum Zeitpunkt des Unfalls wurden in ihrer ursprünglichen Form verarbeitet.

Die Variablen wurden mit dem Programm SPSS 17.0 statistisch ausgewertet. Für die deskriptive Statistik der quantitativen Variablen wurden Mittelwerte angegeben. Zum Vergleich der beiden Behandlungsformen und der Komplikationen wurde der Chi-Quadrat-Test mit einem Signifikanzniveau von  $p < 0,05$  durchgeführt.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Femurschaftfrakturen

##### 3.1.1 Studienkollektiv

Zwischen März 2002 und April 2007 wurden in der Klinik für Kinderchirurgie der Universität zu Lübeck 43 Kinder aufgrund einer dislozierten Oberschenkelschaftfraktur operativ versorgt. Der jüngste Patient war zum Zeitpunkt des Unfalls ein Jahr, der älteste Patient 15 Jahre alt (Mittelwert: 6,1 Jahre). 27 der am Oberschenkel behandelten Kinder waren Jungen, 16 waren Mädchen. 20 Kinder brachen sich den rechten, 23 den linken Oberschenkel.

Das mittlere Schaftdrittel war am häufigsten von einer Fraktur betroffen (32 von 43 Oberschenkelschaftfrakturen). Es wurden zehn Frakturen im Bereich des proximalen Oberschenkelschaftes und eine Fraktur im distalen Anteil beobachtet.

Die häufigste Form der Oberschenkelfraktur war die lange Spiralfraktur (n = 18), gefolgt von den Querfrakturen (n = 11) und den Schrägfrakturen (n = 8). Es wurden drei kurze Spiralfrakturen, zwei Biegungsfrakturen und eine Spiralfraktur mit Keil ermittelt. Tabelle 1 zeigt die Frakturformen in Abhängigkeit vom Alter der Patienten.

Frakturtyp	Patientenalter		
	0-6	7-12	13-18
Querfraktur (n=11)	3	7	1
Biegungsfraktur (n=2)	0	1	1
Schrägfraktur (n=8)	3	4	1
Spiralfraktur, kurz (n=3)	2	1	0
Spiralfraktur mit Keil (n=1)	0	1	0
Spiralfraktur, lang (n=18)	16	2	0

Tabelle 1: Frakturform in Abhängigkeit vom Patientenalter (Femur)

### **3.1.2 Ursachen und Begleitverletzungen**

Der Sturz stellte die häufigste Frakturursache im Bereich des Oberschenkels dar (24 von 43 Oberschenkelschaftfrakturen). Verkehrsunfälle – in den meisten Fällen wurden die Kinder als Fußgänger oder Fahrradfahrer von Autofahrern übersehen – waren mit insgesamt zehn verletzten Kindern die zweithäufigste Ursache. Sieben Femurschaftfrakturen wurden durch den Aufprall schwerer Gegenstände auf den Oberschenkel verursacht. Ein Kind brach sich seinen Oberschenkel während des Tobens und ein weiteres beim „Spagat“.

Begleitverletzungen traten bei acht der 43 am Oberschenkel operierten Kinder auf. Fünf Kinder erlitten multiple Verletzungen in anderen Körperbereichen nach einem Verkehrsunfall. Ein Patient brach sich – ebenfalls verursacht durch einen Verkehrsunfall – zusätzlich den Oberarm. Ein 10jähriges Mädchen zog sich durch einen Sturz schwere Schädel-Hirn-Verletzungen in Form beidseitiger Felsenbeinfrakturen, multipler rechtsseitiger Kalottenfrakturen und eines Hirnödems zu; bei einem 3jährigen Jungen kam es aus dem gleichen Grund zu einer linksseitigen Lungenkontusion.

### **3.1.3 Therapie**

31 der insgesamt 43 Femurschaftfrakturen wurden mittels elastisch stabiler intramedullärer Nägel stabilisiert. Drei Frakturen wurden intraoperativ entweder additiv mit einem Gips immobilisiert oder mit einer zusätzlichen Schraube verriegelt. Zwölf der 43 Patienten wurden mit einem Fixateur externe versorgt.

Die Reposition erfolgte bei den meisten Oberschenkelschaftfrakturen (n = 40) geschlossen. Bei drei Frakturen war eine offene Reposition erforderlich.

Wie in Abbildung 9 dargestellt, wurden je nach Frakturform unterschiedliche Operationsmethoden gewählt. Die Querfrakturen wurden ausschließlich mittels intramedullärer Nagelung therapiert, während die langen Spiralfrakturen in je neun Fällen mit dem Fixateur externe bzw. mit elastisch stabilen intramedullären Nägeln versorgt wurden. Neben den langen Spiralfrakturen wurden außerdem drei der acht Schrägfrakturen mit Hilfe des Fixateur externe stabilisiert, während alle ande-

ren Frakturformen einer elastisch stabilen intramedullären Nagelung zugeführt wurden.

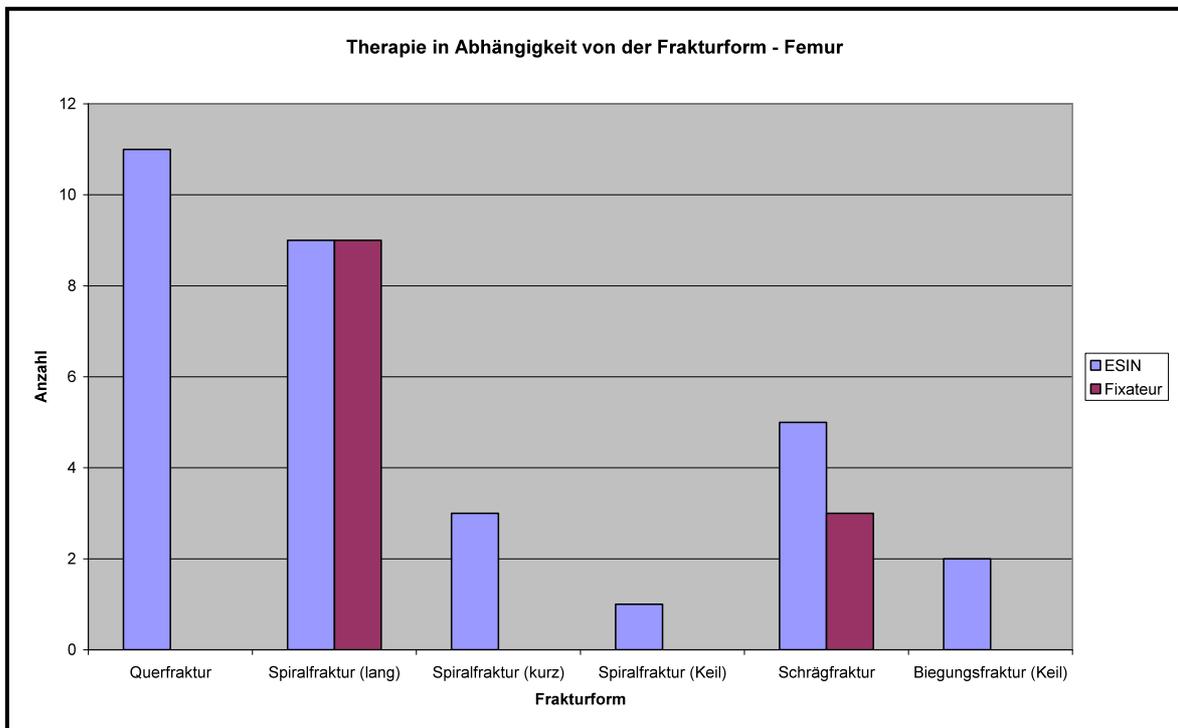


Abbildung 9: Therapie in Abhängigkeit von der Frakturform (Femur)

### 3.1.4 Frühkomplikationen während des stationären Aufenthaltes

#### Elastisch stabile intramedulläre Nagelung

Die stationäre Behandlungsdauer lag bei Kindern ohne Begleitverletzungen (n = 25) zwischen vier und 17 Tagen (Median 6,0 Tage), während Patienten mit einer Begleitverletzung (n = 6) zwischen acht und 41 Tagen (Median 19,5 Tage) stationär überwacht wurden. Der 17-tägige Aufenthalt einer Patientin ohne Begleitverletzungen ergab sich aus der stationären neuropädiatrischen Abklärung eines fraglich stattgehabten Krampfanfalls (während der Narkoseausleitung) sowie aus einem unklaren Fieberanstieg im stationären Verlauf, der intravenös antibiotisch behandelt wurde.

Von den 31 mit der ESIN-Osteosynthese versorgten Oberschenkelchaftfrakturen kam es bei insgesamt elf Patienten zu einer Komplikation (35,5%). Zwei Kinder erlitten zwei, ein Patient drei Komplikationen.

Fünf Patienten mussten sich bei instabilen Osteosynthesen oder verbliebenen Fehlstellungen einem Zweiteingriff unterziehen. In zwei Fällen musste die Fraktur

durch das zusätzliche Anbringen eines Fixateur externe stabilisiert werden. Bei einem 15-jährigen Mädchen konnte die Fraktur mit ausgebrochenem Keil trotz radiologisch als adäquat zu beurteilender Technik der ESIN-Osteosynthese nicht vollständig stabilisiert werden, so dass eine zusätzliche Stabilisierung durch einen Fixateur externe und eine Nagelkürzung notwendig wurden. Bei einer weiteren Patientin mit einer Querfraktur kreuzten die Nägel bereits in Höhe des Frakturbereiches, so dass eine Drei-Punkt-Abstützung nicht gewährleistet war und die Reposition nicht gehalten werden konnte (Abb.10).



Abbildung 10: Röntgenaufnahme Femur. Kreuzung der intramedullären Nägel im Frakturbereich

Bei drei Patienten wurden aufgrund von Instabilität oder Fehlstellung postoperativ die elastisch stabilen intramedullären Nägel entfernt und durch einen Fixateur externe ersetzt.

Bei einem dieser drei Patienten wurden vor dem Osteosynthesewechsel zunächst neue elastisch stabile intramedulläre Nägel eingesetzt und ein Gipsverband angelegt, so dass er insgesamt zweimal reoperiert werden musste. Verantwortlich für den Nagelersatz war in diesem und einem weiteren Fall die mangelnde Verspannung im Frakturbereich, so dass die erwünschte Stabilität primär nicht erzielt werden konnte (Abb.11). Bei der dritten Patientin kam es trotz guter Verspannung und nach radiologischer Beurteilung korrekter Technik zu dem Osteosynthesewechsel (Abb.12), da der Frakturkeil durch die ESIN nicht ausreichend retiniert werden konnte.

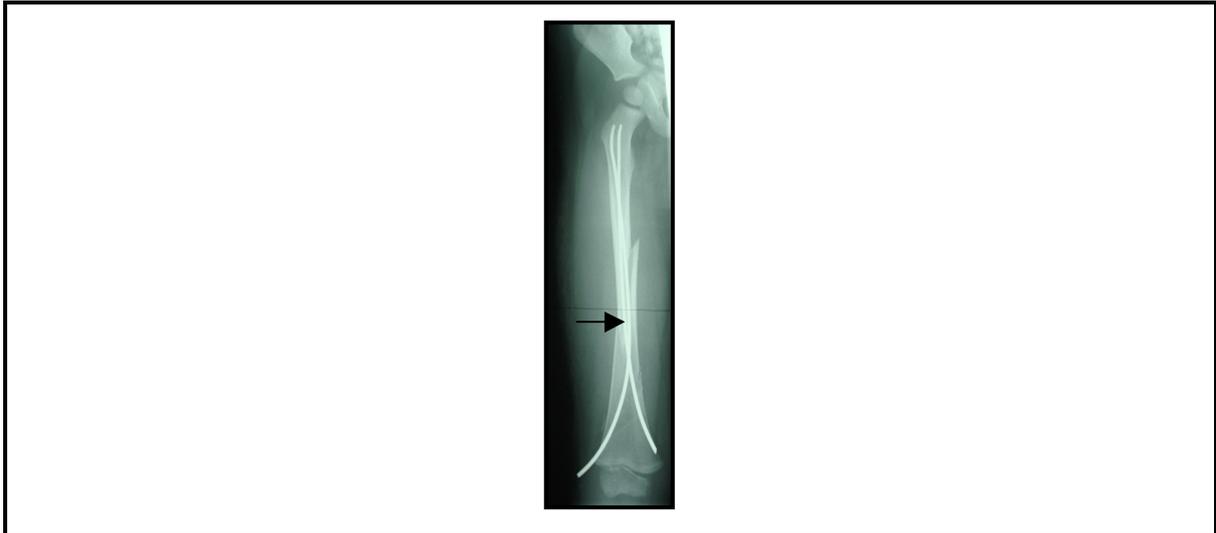


Abbildung 11: Röntgenaufnahme Femur. Unzureichende Aufspannung der intramedullären Nägel im Frakturspalt



Abbildung 12: Röntgenaufnahme Femur. Trotz guter Aufspannung im Bereich der Fraktur eingeschränkte Stabilität der Osteosynthese durch einen zusätzlichen Biegekeil medial

Bei weiteren vier Patienten mussten im Verlauf die Nägel wegen Hautirritationen gekürzt werden. Verantwortlich für die Nagelkürzungen waren bei drei Patienten die mangelnde Verspannung im Frakturbereich (n = 1, Abb.11) bzw. die Kreuzung der Nägel im selbigen (n = 2, Abb.10), so dass durch das Einstauchen der Fraktur die Nägel aus ihrer ursprünglichen Position verlagert wurden („Teleskopinge-Effekt“). Bei einem dieser drei Patienten konnte zusätzlich ein „Korkenzieherphänomen“ beobachtet werden (Abb.13). Hierbei wurde durch in sich verdrehte Nägel die erwünschte Aufspannung nicht erzielt. Eine weitere Nagelkürzung war notwendig, da das Ende extramedullär zu lang belassen worden war.



Abbildung 13: Röntgenaufnahme Femur. „Korkenzieherphänomen“

Postoperative Stellungskorrekturen in Form einer zusätzlichen Gipsanlage und einer Reposition erfolgten bei weiteren zwei Patienten. Die Fraktur eines 2-jährigen Jungen musste bei nicht ausreichender Stabilität trotz radiologisch korrekter Lage der elastisch stabilen intramedullären Nägel mit einer zusätzlichen Gipsanlage stabilisiert werden, während bei einem weiteren Patienten die Reposition und anschließende Gipsversorgung der Fraktur aufgrund einer Kreuzung der Nägel im Frakturbereich notwendig wurde (s. Abb.10). Eine Übersicht über die aufgetretenen postoperativen Komplikationen bietet Tabelle 2.

Art der Komplikation	Häufigkeit der Komplikation (bei 11 von 31 Patienten)
Nagelwechsel	1
Wechsel auf Fixateur externe	3
Zusätzliche Anlage Fixateur externe	2
Zusätzlicher Gips / erneute Reposition	4
Nagelkürzung	5
Gesamt	15

Tabelle 2: Häufigkeit und Art postoperativer Komplikationen nach der elastisch stabilen intramedullären Nagelung diaphysärer Femurschaftfrakturen  
(Drei Patienten erlitten mehrere Komplikationen bzw. Revisionseingriffe)

### Fixateur externe

Patienten ohne Begleitverletzungen (n = 10) wurden sechs bis 15 Tage (Median 7,5 Tage) stationär behandelt. Der 15-tägige Aufenthalt wurde durch einen nicht

belastungsstabil angebrachten Fixateur externe mit anschließender Mobilisation unter physiotherapeutischer Anleitung und begleitender Analgesie verursacht. Die beiden Patienten mit Begleitverletzungen wurden nach elf bzw. 13 Tagen aus der Klinik für Kinderchirurgie entlassen.

Insgesamt traten bei fünf von zwölf Patienten postoperative Komplikationen auf. Einer der zwölf Patienten musste sich bei sekundärer Dislokation einem Verfahrenswechsel unterziehen. Eine Woche nach der radiologisch korrekt durchgeführten Osteosynthese wurde der Fixateur externe entfernt und durch eine Plattenosteosynthese ersetzt.

Bei drei Patienten erfolgte eine postoperative Stellungskorrektur in Form einer erneuten Reposition. Bei einem der drei Patienten wurde die Achsfehlstellung durch einen Sturz auf das betroffene Bein verursacht. Zwei Fehlstellungen wurden in den radiologischen Verlaufskontrollen festgestellt. Zu einer Redislokation kam es bei einem der beiden Patienten trotz radiologisch korrekt eingebrachtem Fixateur externe, bei einem weiteren Patienten handelte es sich um zwei proximal zu eng aneinander und distal V-förmig zueinander eingebrachte Nägel (Abb.14).

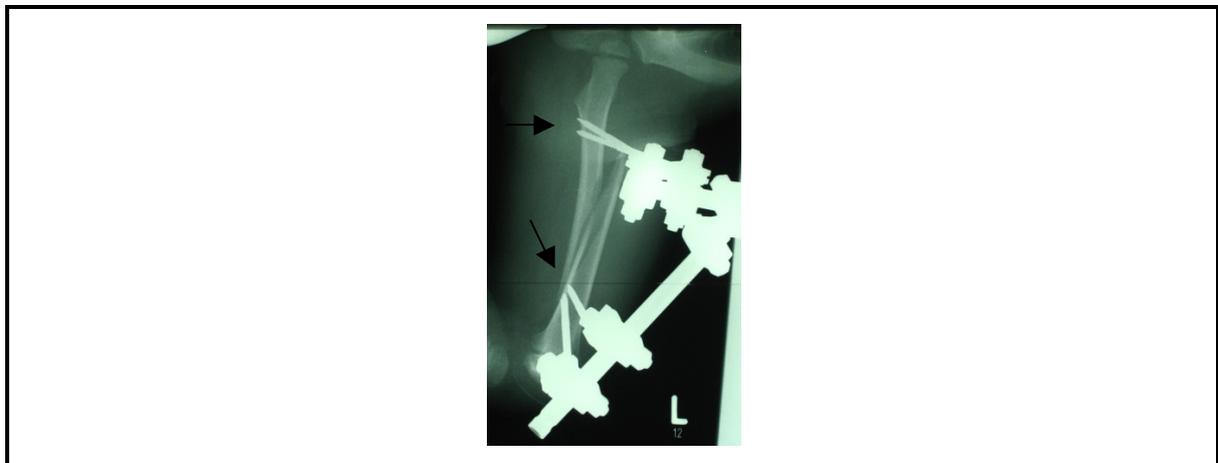


Abbildung 14: Röntgenaufnahme Femur. Inkorrekte Anlage eines Fixateur externe

Eine Infektion der Pin-Eintrittsstellen trat einmalig auf. Dieser Patient wurde fünf Tage nach der Entlassung erneut stationär aufgenommen und eine i.v.-antibiotische Therapie wurde eingeleitet. Art und Anzahl der postoperativen Komplikationen nach Anlage eines Fixateur externe sind in Tabelle 3 dargestellt.

Art der Komplikation	Häufigkeit der Komplikationen (bei 5 von 12 Patienten)
Wechsel auf Plattenosteosynthese	1
Infektion	1
Erneute Reposition	3
Gesamt	5

Tabelle 3: Häufigkeit postoperativer Komplikationen nach Anlage eines Fixateur externe bei diaphysären Femurschaftfrakturen

### 3.1.5 Spätkomplikationen bis zur Metallentfernung

#### Elastisch stabile intramedulläre Nagelung

Die intramedullären Nägel wurden im Durchschnitt nach 21,9 Wochen entfernt (Minimum: 8,6 Wochen; Maximum: 42,9 Wochen). Die Patienten konnten den betroffenen Oberschenkel im Median nach 57,0 Tagen wieder vollständig belasten (Minimum: 23 Tage, Maximum: 108 Tage).

Verbliebene Achsfehlstellungen von mehr als 10° wurden bei insgesamt sieben der 31 behandelten Kinder festgestellt (22,6%). Die für die Ermittlung der Achsfehlstellung verwendeten Abschlussröntgenbilder wurden 34 bis 304 Tage (Mittelwert: 140,5 Tage) nach dem Unfall erstellt. Bei vier Patienten wurde eine Antekurvationsfehlstellung zwischen 12° und 25° beobachtet, weiterhin lagen zwei Varusfehlstellungen von 12° und 14° vor sowie bei einem Patienten eine Kombination aus einer Antekurvations- (12°) und Varusfehlstellung (18°). Valgus- bzw. Rekurvationsfehlstellungen traten nicht auf. Bei vier dieser Patienten waren bereits direkt postoperativ ein Osteosynthesewechsel (n = 1), eine Nagelkürzung (n = 2) bzw. eine Reposition mit Gipsanlage (n = 1) erforderlich gewesen.

Bei den mit den intramedullären Nägeln behandelten Kindern konnten weder eine verbliebene Beinlängendifferenz von mehr als 1,5 cm noch das Auftreten einer Pseudarthrose oder einer Refraktur festgestellt werden.

Insgesamt führte die ESIN-Osteosynthese des Oberschenkels daher bei 14 von 31 Patienten (45,2%) entweder direkt postoperativ (n = 11) oder im weiteren Verlauf (n = 3) zu Komplikationen.

### Fixateur externe

Der Fixateur externe wurde im Durchschnitt 8,1 Wochen nach der Osteosynthese wieder entfernt (Minimum: 6,4 Wochen, Maximum: 12,9 Wochen). Eine vollständige Belastung war im Median nach 68,0 Tagen möglich (Minimum: 2 Tage, Maximum: 131 Tage). Im Vergleich mit der ESIN-Osteosynthese (Median 57,0 Tage) führte dies zu keinem klinisch relevanten Unterschied zwischen den beiden Operationsmethoden.

Verbliebene Achsfehlstellungen von mehr als  $10^\circ$  wurden innerhalb der poliklinischen Nachuntersuchung bei fünf der zwölf Patienten festgestellt (entsprechend 41,7%). Die für die Ermittlung der Achsfehlstellung verwendeten Abschlussröntgenbilder wurden 27 bis 131 Tage (Mittelwert: 62,8 Tage) nach dem Unfall erstellt. Bei den Fehlstellungen handelte es sich ausschließlich um Antekurvationsfehlstellungen zwischen  $11^\circ$  und  $14^\circ$ . Bei zwei der fünf Patienten war bereits direkt postoperativ eine erneute Reposition erfolgt.

Bei den mit einem Fixateur externe behandelten Kindern konnten weder eine verbliebene Beinlängendifferenz von mehr als 1,5 cm noch das Auftreten einer Pseudarthrose oder einer Refraktur beobachtet werden.

Insgesamt kam es bei zwei Drittel der Patienten (acht von zwölf) direkt postoperativ ( $n = 5$ ) oder im Verlauf ( $n = 3$ ) zu Komplikationen.

Bezüglich des Auftretens von Komplikationen bei der Versorgung kindlicher Oberschenkelschaftfrakturen liefert der Chi-Quadrat-Test eine asymptotische Signifikanz von 0,206. Damit ergibt sich zum 5%-Niveau kein signifikanter Unterschied zwischen der Verwendung eines Fixateur externe und der Elastisch stabilen intramedullären Nagelung.

### 3.1.6 Ergebnisse der Nachuntersuchung

#### Follow-up

	Anzahl der Patienten/ESIN	Anzahl der Patienten/Fixateur externe
Gesamt	31	12
Komplikationen postoperativ und/oder im Verlauf	14	8
Keine poliklinische Nachuntersuchung	1	2
Poliklinische Nachuntersuchung im UK-SH Campus Lübeck abgeschlossen	16	2
Zur Nachuntersuchung eingeladen	15	10
Zur Nachuntersuchung erschienen	11	4

Tabelle 4: Frequentierung der Nachuntersuchung bezogen auf Komplikationen (Femur)

Zu einer Nachuntersuchung in die Klinik für Kinderchirurgie wurden 15 der am Oberschenkel mittels ESIN behandelten Kinder und zehn der mit Hilfe des Fixateur externe versorgten Kinder eingeladen (Tab. 4).

Insgesamt folgten 15 Familien der Einladung zur Nachuntersuchung. 11 Kinder kamen aus der ESIN-, vier Kinder aus der Fixateur-externe-Gruppe. Gründe für das Ablehnen einer Nachuntersuchung waren Umzug (n = 5) oder Zeitmangel der Eltern (n = 3). Zwei Kinder und ihre Eltern waren mehrmalig zum vereinbarten Termin nicht erschienen.

Die Patienten wurden 163 bis 1875 Tage (ca. 0,5 bis 5 Jahre) nach ihrem Unfall nachuntersucht.

#### Form und Funktion der Oberschenkel

Im Rahmen dieser Studie konnten sieben der zwölf Patienten, deren Abschlussröntgenbild eine Achsfehlstellung  $> 10^\circ$  zeigte, nachuntersucht werden. Keines der Kinder litt aufgrund der verbliebenen Fehlstellung unter funktionellen Beeinträchtigungen. Ein 7-jähriger Junge zeigte zum Zeitpunkt des Abschlussröntgenbildes eine Achsfehlstellung von  $25^\circ$  in sagittaler Ebene (Antekurvation). Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung – 4 Jahre nach dem Unfall – war die Fehlstellung klinisch nicht mehr relevant (Abb.15).

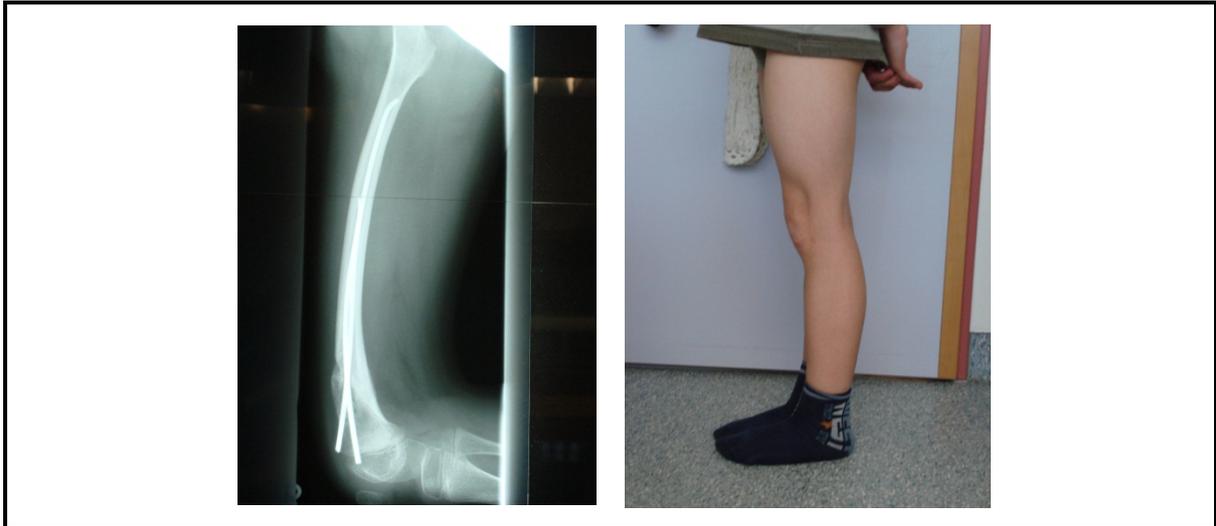


Abbildung 15: Postoperative Antekurvationsfehlstellung einer distalen Oberschenkelchaftfraktur bei einem siebenjährigen Jungen (links); klinisch normale Beinachse bei der Nachuntersuchung vier Jahre nach dem Unfall (rechts)

Die Überprüfung des Bewegungsumfanges in den Hüft- und Kniegelenken führte bei der Nachuntersuchung der Femurschaftfrakturen zu den in Tabelle 5 dargestellten Ergebnissen.

Die sonographische Darstellung der ehemaligen Frakturzone ergab durchgehend unauffällige Ergebnisse. Insbesondere wurden keine Anzeichen einer nicht verheilten Fraktur bzw. keine Seitverschiebungen und keine Dislocatio ad axim  $> 10^\circ$  festgestellt.

	Femur (ESIN)	Femur (Fixateur externe)
<b>Hüftgelenk</b>	n = 11	n = 4
Extension		
<b>10°-20°</b>	11	4
0°-9°	/	/
Flexion		
<b>110°-120°</b>	11	3
100°-109°	/	1
<100°	/	/
Außenrotation		
<b>40°-50°</b>	9	3
30°-39°	2	1
<30°	/	/

Innenrotation		
<b>40°-50°</b>	3	1
30°-39°	7	3
<30°	1	/
Abduktion		
<b>40°-50°</b>	11	3
30°-39°	/	/
<30°	/	1
Adduktion		
<b>20°-30°</b>	11	4
10°-19°	/	/
<10°	/	/
<b>Kniegelenk</b>		
Extension		
<b>5°-10°</b>	7	2
0°-4°	4	2
Flexion		
<b>110°-120°</b>	11	4
100°-109°	/	/
< 100°	/	/

Tabelle 5: Bewegungsumfang in den Hüft- und Kniegelenken (Ergebnisse der Nachuntersuchung)

### Verbliebene Beinlängendifferenz

Beinlängendifferenz in cm	ESIN	Fixateur externe
Gesamt	31	10
0,0	27	7
0,5	1	2
1,0	1	1
1,5	2	/

Tabelle 6: Anzahl und Ausmaß verbliebener Beinlängendifferenzen

Zu insgesamt 41 der 43 am Oberschenkel operierten Kinder konnten anhand der Nachuntersuchungen und der Poliklinik-Akten Angaben zur Beinlängendifferenz gemacht werden (Tab. 6). Eine Beinlängendifferenz über 1,5 cm trat nicht auf.

## Harris-Score

Harris-Score	Femur (ESIN)	Femur (Fixateur externe)
	n = 11 (27)	n = 4 (6)
96	3	1
97	1	0
100	7 (16)	3 (2)

Tabelle 7: Ergebnisse Harris-Score

Bei der Ermittlung des Harris-Scores während der Nachuntersuchung gab keiner der Patienten an, eine Gehhilfe zu benötigen oder eine nur limitierte Gehstrecke bewältigen zu können. Weiterhin wurde keine Hilfe beim Treppen steigen, Anziehen der Socken oder beim Betreten öffentlicher Verkehrsmittel benötigt; alle Patienten konnten länger als eine Stunde komfortabel auf einem Stuhl sitzen. Des Weiteren wurde bei keinem Patienten entsprechend den vorgegebenen Kriterien eine fixierte Kontraktur, eine Beinlängendifferenz > 3,0 cm oder ein eingeschränkter Bewegungsumfang festgestellt. Einschränkungen wurden nur in den Bereichen „Schmerzen“ und „Hinken“ beobachtet. Drei ESIN-Patienten und ein Patient aus der Fixateur-Gruppe gaben an, gelegentlich leichte Schmerzen beim Laufen zu verspüren und erreichten daher 96 der möglichen 100 Punkte. Bei zwei dieser drei Patienten mussten postoperativ die Nagelenden gekürzt werden: Bei einem Patienten war es zu einem „Teleskopieren“ (Zusammenschieben) innerhalb der Fraktur gekommen, bei dem anderen musste zusätzlich ein Fixateur externe angebracht werden. Bei einer weiteren Patientin wurde in der Nachuntersuchung ein Hinken festgestellt – sie erreichte dadurch nur 97 Punkte. Ursächlich für das Hinken der Patientin war eine Beinlängendifferenz von 1,5 cm. Im postoperativen Verlauf war bei dieser Patientin eine Umstellung der ESIN auf einen Fixateur externe erfolgt.

Patienten, deren stationärer und poliklinischer Verlauf komplikationslos verlief, wurden statistisch als schmerz- und beschwerdefreie Patienten ohne Gelenkfunktionseinschränkung erfasst. Dadurch erzielten 16 Patienten aus der ESIN- und weitere zwei Patienten aus der Fixateur-externe-Gruppe 100 Punkte beim Harris-Score (Tab. 7). Die Anzahl dieser Patienten und die daraus resultierende Gesamtzahl der mit Hilfe des Harris-Scores klassifizierten Fälle sind in der Tabelle 7 in Klammern gefasst.

### 3.1.7 Ergebnisse der Fragebögen

Insgesamt konnten im Rahmen der Nachuntersuchungen und der Telefoninterviews 34 der 43 betroffenen Familien mit Hilfe des Qualitätssicherungsbogens zu ihrer Zufriedenheit mit den beiden Operationsverfahren befragt werden. 27 Eltern stammten aus der ESIN- und sieben Eltern aus der Fixateur-externe-Gruppe.

24 Eltern, deren Kinder mittels ESIN therapiert wurden, waren mit der Wundheilung zufrieden (88,9%). 21 der Befragten (77,8%) gaben an, mit den Narbenverhältnissen sehr zufrieden (25,9%) oder zufrieden (51,9%) zu sein. Vier der befragten Elternpaare (14,8%) waren mit den Narbenverhältnissen teilweise (n = 3) bzw. wenig (n = 1) zufrieden. Zwei Mütter gaben an, sehr unzufrieden mit den verbliebenen Narben zu sein (7,4%).

26 Eltern (96,3%) würden die intramedulläre Nagelung erneut bei ihrem Kind durchführen lassen. Eine Mutter würde sich für ein anderes Operationsverfahren entscheiden. Hierbei handelte es sich um die Mutter eines 13jährigen Mädchens, das durch einen Wechsel der elastisch stabilen intramedullären Nägel vor der endgültigen Umstellung auf einen Fixateur externe insgesamt zweimal reoperiert werden musste.

Aus der Fixateur-externe-Gruppe waren fünf der sieben Befragten mit der Wundheilung zufrieden (entspricht 71,4%). Kein Elternteil gab an, mit den Narbenverhältnissen sehr zufrieden zu sein. Zwei Väter und Mütter waren mit dem Zustand des verbliebenen Narbengewebes zufrieden (28,6%), vier Eltern gaben an teilweise (n = 3) oder wenig (n = 1) zufrieden zu sein. Ein Elternteil war mit dem kosmetischen Ergebnis sehr unzufrieden.

Vier der sieben Befragten würden die Oberschenkelchaftfraktur ihres Kindes erneut mit einem Fixateur externe versorgen lassen. Zwei Väter und Mütter würden sich zunächst mit möglichen Alternativen beschäftigen, bevor sie einer Fixateur-externe-Therapie erneut zustimmen würden. Eine Mutter schloss eine Wiederdurchführung des extramedullären Verfahrens vor allem wegen der hohen Unzufriedenheit mit der verbliebenen Narbe aus.

## 3.2 Tibia- und Unterschenkelschaftfrakturen

### 3.2.1 Studienkollektiv

Zwischen März 2002 und April 2007 wurden sechs Kinder aufgrund einer isolierten Tibia- und 21 Kinder aufgrund einer kompletten Unterschenkelschaftfraktur operativ in der Kinderchirurgie der Universität zu Lübeck versorgt. Das jüngste am Unterschenkel verletzte Kind war drei Jahre alt, das älteste Mädchen war zum Zeitpunkt des Unfalls 17 Jahre alt (Mittelwert: 9,8 Jahre). Der Einschluss in diese Studie erfolgte bei der 17-jährigen Patientin trotz ihres Alters, da die Wachstumsfugen zum Zeitpunkt des Unfalls noch nicht geschlossen waren. Es waren mehr Jungen (n = 18), als Mädchen (n = 9) betroffen. 13 Kinder brachen sich den rechten, 14 den linken Unterschenkel.

Bei den Tibia- bzw. Unterschenkelschaftfrakturen war das mittlere Tibiadrittel am häufigsten (in 16 von 27 Fällen) betroffen, elf Frakturen betrafen das distale Schaftdrittel. Frakturen im proximalen Drittel der Tibia lagen bei unseren Patienten nicht vor.

Insgesamt traten Schrägfrakturen am häufigsten auf (n = 12). Weiterhin wurden acht Querfrakturen, vier lange Spiralfrakturen, zwei kurze Spiralfrakturen und eine Biegungsfraktur diagnostiziert. Spiralfrakturen mit Keil wurden nicht beobachtet. In Tabelle 8 sind die Frakturformen in Abhängigkeit vom Patientenalter dargestellt.

Frakturtyp	Patientenalter		
	0-6	7-12	13-18
Querfraktur (n=8)	1	4	3
Biegungsfraktur (n=1)	0	0	1
Schrägfraktur (n=12)	2	7	3
Spiralfraktur, kurz (n=2)	1	0	1
Spiralfraktur, lang (n=4)	2	1	1

Tabelle 8: Frakturform in Abhängigkeit vom Patientenalter (Tibia/Unterschenkel)

### **3.2.2 Ursachen und Begleitverletzungen**

15 der 27 Frakturen im Tibia- bzw. Unterschenkelbereich waren durch einen Sturz verursacht und bildeten somit die häufigste Frakturursache. Zehn Kinder wurden als Fußgänger oder Fahrradfahrer Opfer eines Verkehrsunfalls, zweimal war der Aufprall schwerer Gegenstände ursächlich.

Vier der 27 am Unterschenkel operierten Kinder wurden mit Begleitverletzungen aufgenommen. Ein 13-jähriges Mädchen musste nach einem Verkehrsunfall zusätzlich an einer Kopfplatzwunde behandelt werden. Bei einem 11-jährigen Jungen kam es ebenfalls im Rahmen eines Verkehrsunfalls zu einer Teiltraktur des M. tibialis anterior. Der Sturz aus einem Fenster führte bei einem weiteren Patienten neben einer Metatarsale-Serienfraktur und einem erstgradigen Schädel-Hirn-Trauma zu einem stumpfen Bauchtrauma. Der vierte Patient erlitt multiple Schnittverletzungen.

### **3.2.3 Therapie**

Vier der sechs isolierten Tibiaschaft- und 19 der 21 kompletten Unterschenkel-schaftfrakturen wurden mit Hilfe der elastisch stabilen intramedullären Nagelung versorgt. Bei drei Frakturen der Tibia und sieben Frakturen des Unterschenkel-schaftes war intraoperativ eine zusätzliche Stabilisierung durch eine Gipsanlage erforderlich. Vier Patienten wurden mit einem Fixateur externe versorgt. Dabei handelte es sich um zwei Patienten mit einer Tibia- und zwei Patienten mit einer kompletten Unterschenkel-schaftfraktur.

Die Reposition erfolgte bei den meisten Unterschenkel-frakturen geschlossen (n = 26); nur eine komplette Schafffraktur musste offen reponiert werden.

Auch im Bereich der Unterschenkel-schaft- bzw. Tibiafrakturen wurden je nach Frakturform unterschiedliche Operationsmethoden gewählt (Abb.16).

Die Querfrakturen wurden ausschließlich mittels ESIN-Osteosynthese versorgt, ebenso die Biegefraktur mit Keil. Zehn von zwölf Schrägfrakturen sowie drei der vier langen Spiralfrakturen wurden durch elastisch stabile intramedulläre Nägel stabilisiert. In je einem Fall wurden die kurzen Spiralfrakturen mittels ESIN bzw. Fixateur externe versorgt.

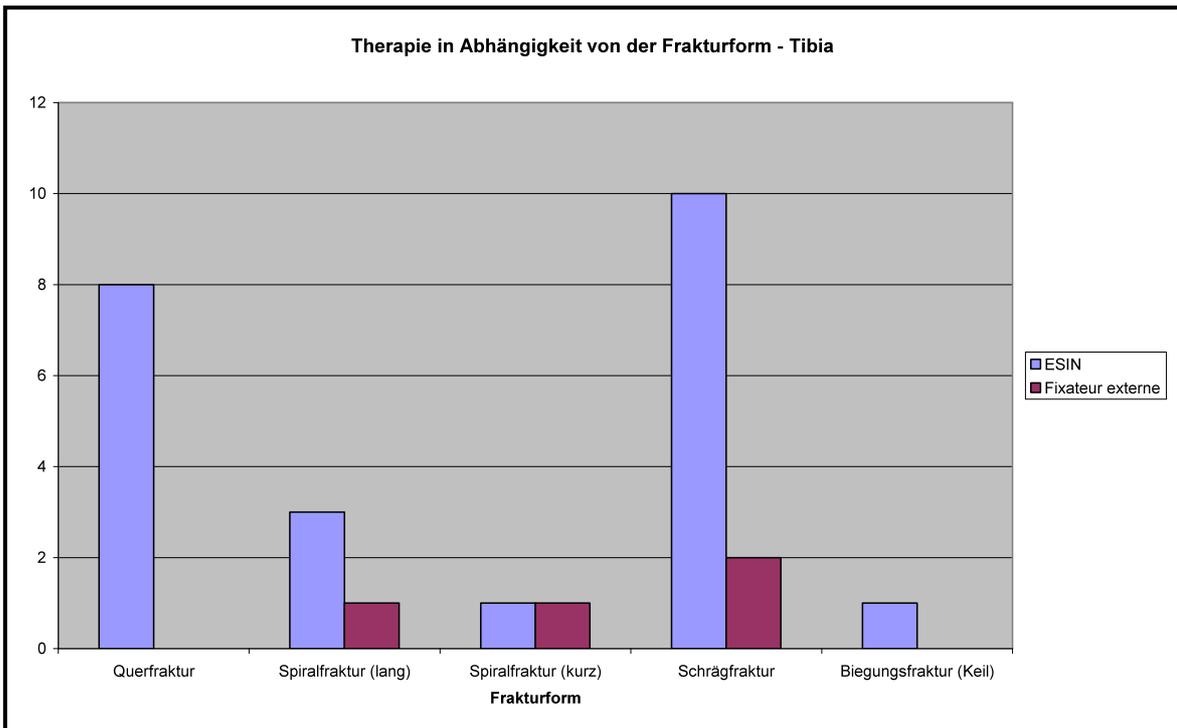


Abbildung 16: Therapie in Abhängigkeit von der Frakturform (Tibia/Unterschenkel)

### 3.2.4 Frühkomplikationen während des stationären Aufenthaltes

#### Elastisch stabile intramedulläre Nagelung

Patienten ohne Begleitverletzungen wurden nach vier bis 16 Tagen ( $n = 19$ , Median 8,0 Tage) aus der Klinik für Kinderchirurgie entlassen. Mit Begleitverletzungen lag die stationäre Aufenthaltsdauer bei sieben bis 16 Tagen ( $n = 4$ , Median 11,0 Tage).

Von den 23 mit der ESIN-Osteosynthese versorgten Frakturen kam es bei insgesamt fünf Patienten zu mindestens einer Komplikation. Alle betroffenen Patienten litten unter einer kompletten Fraktur des Unterschenkels.

Einer der Patienten musste sich neben der Metallentfernung einem Verfahrenswechsel unterziehen. Verantwortlich hierfür war eine sehr weit distal gelegene Fraktur, die trotz nach radiologischen Kriterien korrekter elastisch stabiler intramedullärer Nagelung nicht ausreichend stabil reponiert werden konnte. Die Nägel wurden durch einen Fixateur externe ersetzt.

Des Weiteren erfolgten bei zwei der mittels Nägel versorgten Patienten postoperative Stellungskorrekturen in Form zusätzlicher Gipsanlagen und mehrfacher Gipskeilungen. In einem Fall war die zusätzliche postoperative Stabilisierung trotz – wie aus der radiologischen Kontrolle ersichtlich – korrekt durchgeführter Osteo-

synthese notwendig. Bemerkenswert war bei diesem 14-jährigen Patienten die Körperlänge von 175 cm zum Zeitpunkt der Operation. Im Gegensatz dazu führte bei einem 13-jährigen Jungen die mangelnde Aufspannung der elastisch stabilen intramedullären Nägel durch in sich verdrehte Nägel („Korkenzieherphänomen“) zu einer Redislokation mit konsekutiver Gipsanlage.

Bei einem fünfjährigen Mädchen führte ein Sturz aus dem Rollstuhl elf Tage nach dem Primäreingriff zu einer behandlungsbedürftigen Redislokation. Die Fraktur wurde erneut reponiert und anschließend zusätzlich gegipst. Zusätzlich trat bei einem 13jährigen Jungen zehn Tage nach Implantation der Nägel ein Compartmentsyndrom auf, das eine Spaltung der Faszien erforderte. In Tabelle 9 sind die postoperativ aufgetretenen Komplikationen nach ESIN-Osteosynthese des Unterschenkels aufgeführt. Da bei dem fünfjährigen Mädchen zwei Komplikationen in Form einer Reposition und einer anschließenden Gipsanlage aufgetreten sind, lagen insgesamt sechs Komplikationen bei fünf Patienten vor.

Art der Komplikation	Häufigkeit der Komplikationen (bei 5 von 23 Patienten)
Wechsel auf Fixateur externe	1
Compartmentsyndrom	1
Gips/Gipskeilung	3
Reposition	1
<b>Gesamt</b>	<b>6</b>

Tabelle 9: Häufigkeit postoperativer Komplikationen nach der elastisch stabilen intramedullären Nagelung diaphysärer Unterschenkelschaftfrakturen  
(Ein Patient erlitt mehrere Komplikationen bzw. Revisionseingriffe)

### Fixateur externe

Die Patienten wiesen keine Begleitverletzungen auf und konnten das Krankenhaus nach vier bis 16 Tagen (Median 11,0 Tage) verlassen.

Der 16-tägige stationäre Aufenthalt einer 8jährigen Patientin wurde durch ein Compartmentsyndrom verursacht, welches einen Tag nach der Primäroperation auftrat und umgehend durch eine anterolaterale Compartmentspaltung aller Unterschenkelfaszien therapiert wurde, wobei die Wunde mit Epigard® temporär verschlossen wurde. Der Eingriff wurde in Intubationsnarkose durchgeführt. Es folgten Epigard-Wechsel und der sekundäre Wundverschluss während des stationä-

ren Aufenthalts. Bei einem weiteren Patienten wurde trotz – radiologisch kontrolliert – korrekt durchgeführter Osteosynthese während der Röntgen-Verlaufskontrollen eine Seitverschiebung festgestellt, die mit Hilfe einer geschlossenen Reposition unter Bildwandlerkontrolle in Sedierung korrigiert wurde. Beide Patienten hatten eine komplette Unterschenkelschaftfraktur erlitten.

### **3.2.5 Spätkomplikationen bis zur Metallentfernung**

#### Elastisch stabile intramedulläre Nagelung

Die elastischen Marknägel wurden nach durchschnittlich 24,9 Wochen (Minimum: 8,6 Wochen, Maximum: 64,3 Wochen) entfernt, wobei in einem Fall eine Weichteilinfektion zu einer frühzeitigen Entfernung der intramedullären Nägel nach bereits 8,6 Wochen führte.

Die Patienten konnten den betroffenen Unterschenkel nach durchschnittlich 110,1 Tagen vollständig belasten (Minimum 31 Tage, Maximum 272 Tage, Median 71,0). Bei keinem Patienten konnte anhand der durchschnittlich 202 Tage nach dem Unfall entstandenen Abschlussröntgenbilder eine verbliebene Achsfehlstellung von mehr als 10° festgestellt werden. Es wurden weder eine Beinlängendifferenz von mehr als 1,5 cm, noch eine Pseudarthrose oder eine Refraktur beobachtet. Zusammenfassend erlitten sechs der 23 Patienten (26,1%) postoperativ (n = 5) oder im Verlauf (n = 1) eine Komplikation.

#### Fixateur externe

Der Fixateur externe wurde nach durchschnittlich 9,9 Wochen entfernt (n = 3, Minimum 8,6 Wochen, Maximum 12,9 Wochen). Eine vollständige Belastung des betroffenen Beines war nach durchschnittlich 105,5 Tagen möglich (Minimum: 28 Tage, Maximum: 183 Tage, Median 105,5 Tage). Ein relevanter Unterschied bezüglich der Dauer bis zur vollständigen Belastungsfähigkeit der betroffenen Extremität ergab sich zwischen der intramedullären Nagelung und der Fixateur-Anlage nicht.

Im Verlauf entwickelten sich bei den mit Fixateur externe versorgten Kindern keine weiteren Komplikationen.

Bezüglich des Auftretens von Komplikationen bei der Versorgung kindlicher Unterschenkelschaftfrakturen liefert der Chi-Quadrat-Test eine asymptotische Signifi-

kanz von 0,334. Damit ergibt sich zum 5%-Niveau keiin signifikanter Unterschied zwischen der Verwendung eines Fixateur externe und der Elastisch stabilen intramedullären Nagelung.

### 3.2.6 Ergebnisse der Nachuntersuchung

#### Follow-up

	Anzahl der Patienten / ESIN	Anzahl der Patienten/ Fixateur externe
Gesamt	23	4
Komplikationen postoperativ und/oder im Verlauf	6	2
Keine poliklinische Nachuntersuchung	1	1
Poliklinische Nachuntersuchung im UK-SH Campus Lübeck abgeschlossen	16	1
Zur Nachuntersuchung eingeladen	7	3
Zur Nachuntersuchung erschienen	2	3

Tabelle 10: Frequentierung der Nachuntersuchung (Tibia/Unterschenkel)

Sieben der am Unterschenkel mittels ESIN behandelten Kinder und drei der mittels Fixateur externe versorgten Kinder wurden zu einer Nachuntersuchung in die Kinderchirurgie der Universität zu Lübeck eingeladen (Tab.10).

Insgesamt folgten fünf Familien der Einladung zur Nachuntersuchung. Zwei Kinder kamen aus der ESIN-, drei Kinder aus der Fixateur-externe-Gruppe. Gründe für das Ablehnen einer Nachuntersuchung waren Umzug (n = 3) und Zeitmangel der Eltern (n = 2).

Die Kinder wurden 570 bis 1323 Tage (ca. 1,5 – 3,5 Jahre) nach ihrem Unfall nachuntersucht.

#### Form und Funktion der Unterschenkel

Bei der Nachuntersuchung wurden die Kniegelenksachse, die Tibiaachse, der Ante- und Rekurvationsgrad und ein eventueller Rotationsfehler ermittelt. Hierbei trat bei keinem der Patienten eine Fehlstellung von > 6° auf.

Die sonographische Darstellung der ehemaligen Frakturzone am Unterschenkel führte durchgehend zu unauffälligen Ergebnissen. Es zeigten sich keine Achsen-

knicke bzw. Unterbrechungen als Zeichen einer nicht verheilten Fraktur, auch wurden keine Seitverschiebungen oder Achsabweichungen  $> 10^\circ$  gemessen.

#### Verbliebene Beinlängendifferenz

Beinlängendifferenz	ESIN	Fixateur externe
Gesamt	22	4
0,0 cm	18	3
0,5 cm	2	1
1,0 cm	2	/
1,5 cm	/	/

Tabelle 11: Anzahl und Ausmaß verbliebener Beinlängendifferenzen (Tibia/Unterschenkel)

Am Unterschenkel konnten die Beinlängen bzw. die Beinlängendifferenzen von 26 Kindern ermittelt werden. Keines der Kinder litt unter einer Beinlängendifferenz von mehr als 1,0 cm (Tab.11).

#### Score nach Merchant & Dietz

Bei der Nachuntersuchung erreichten die mittels der ESIN-Osteosynthese versorgten Kinder jeweils 94 der maximal zu erzielenden 100 Punkte. In der Fixateur-externe-Gruppe erlangten alle Kinder 96 Punkte; Probleme bei der Bewältigung alltäglicher Tätigkeiten oder Schmerzen wurden nicht angegeben.

Ursächlich für das Verfehlen der maximalen Punktzahl war bei vier der fünf nachuntersuchten Patienten eine eingeschränkte Dorsalextension bzw. Plantarflexion im oberen Sprunggelenk. Pro  $20^\circ$  Extension bzw. Flexion wurden bei der Ermittlung des Bewegungsbogens 2 Punkte vergeben. Maximal konnten in dieser Kategorie 10 Punkte erreicht werden. Drei Patienten erreichten in der Dorsalextension  $20^\circ$  (2 Punkte) sowie  $50^\circ$  in der Plantarflexion (4 Punkte) und kamen somit auf 96 Punkte. Ein weiterer Patient erzielte mit  $15^\circ$  Dorsalextension und  $40^\circ$  Plantarflexion 94 Punkte. Allerdings war die verminderte Spanne der Dorsalextension bzw. Plantarflexion bei diesen Patienten beidseits zu beobachten.

Ein fünfter Patient mit einer Dorsalextension von  $20^\circ$  bzw. einer Plantarflexion von  $40^\circ$  gab an, gelegentlich zu hinken. Bei diesem Patienten war aufgrund der technisch inkorrekten intramedullären Nagelung („Korkenzieherphänomen“) eine zusätzliche Gipsanlage mit mehrfacher Gipskeilung notwendig; er erzielte 94 Punkte.

Patienten ohne Komplikationen und regelmäßigen unauffälligen poliklinischen Kontrollen wurden als schmerz- und beschwerdefrei in das Kollektiv aufgenommen. Somit erzielten 16 Patienten der ESIN- und ein Patient der Fixateur-externe-Gruppe die maximal zu erreichenden 100 Punkte.

### **3.2.6 Ergebnisse der Fragebögen**

Insgesamt konnten im Rahmen der Nachuntersuchungen und der Telefoninterviews 16 der 27 betroffenen Familien mit Hilfe des Qualitätssicherungsbogens zu ihrer Zufriedenheit mit den beiden Operationsverfahren befragt werden. 13 Eltern stammten aus der ESIN- und drei Paare aus der Fixateur-externe-Gruppe.

Elf Eltern, deren Kinder mit der ESIN-Osteosynthese therapiert worden waren, waren mit der Wundheilung zufrieden (entspricht 84,6%). Zehn Befragte (76,9%) gaben an, mit den Narbenverhältnissen sehr zufrieden ( $n = 2$ ) oder zufrieden ( $n = 8$ ) zu sein. Drei der befragten Elternpaare (23,1%) waren mit den Narbenverhältnissen teilweise ( $n = 2$ ) bzw. wenig ( $n = 1$ ) zufrieden. Kein Elternteil war sehr unzufrieden mit dem kosmetischen Ergebnis.

Elf (84,6%) würden die intramedulläre Nagelung erneut bei ihrem Kind durchführen lassen, ein Elternteil würde sich zunächst nach alternativen Operationsverfahren informieren. Die Mutter einer Patientin mit einer spastischen Cerebralparese würde der Operation aus persönlichen Gründen nicht erneut zustimmen.

Aus der Fixateur-externe-Gruppe waren zwei der drei Befragten mit der Wundheilung zufrieden. Dieselben Eltern gaben an, sehr zufrieden mit dem Zustand der verbliebenen Narben zu sein und einer Fixateur-externe-Therapie erneut zuzustimmen. Eine Mutter, deren Tochter zusätzlich ein Compartmentsyndrom erlitten hatte, war mit der Wundheilung nach Entfernung des Fixateur externe nicht zufrieden. Da sie nur teilweise zufrieden war, würde sie sich zunächst über alternative Verfahren informieren.

## 4. Diskussion

Aufgrund der guten Heilungstendenz und der ausgeprägten Fähigkeit zur Korrektur verbliebener Fehlstellungen war die Behandlung kindlicher Femurschaftfrakturen lange Zeit eine Domäne der konservativen Behandlung. Nach der zunehmenden Verbreitung des Fixateur externe in den 80er und frühen 90er Jahren etablierte sich ab Mitte der 1990er Jahre die elastisch stabile intramedulläre Nagelung (ESIN) in der osteosynthetischen Versorgung kindlicher Oberschenkelschaftfrakturen (Cummings 2005). Gründe, die operative Versorgung gegenüber der konservativen Behandlung zu bevorzugen, waren einerseits die verbesserte Fragmentstellung – sowohl nach Reposition als auch in der anschließenden Rekonvaleszenz –, andererseits die Reduktion der durch die Immobilisation verursachten Komplikationen. Besonders die Extensionsbehandlung erforderte wiederholte Röntgenkontrollen und Korrekturen der Frakturposition (Weinberg et al. 1994, Braun et al. 1995, Dietz et al. 2001, Wright et al. 2005). Weitere Vorteile der operativen Versorgung wurden in einem deutlich verkürzten stationären Aufenthalt, in der Möglichkeit zur schnelleren postoperativen Mobilisation und – insbesondere bei älteren Kindern und Jugendlichen – in der Reduktion der psychischen Belastung gesehen (Reeves et al. 1990, Sanders et al. 2001, Maier et al. 2003, Beaty und Kasser 2006). Des Weiteren entfielen in den Studien neben der sehr langen Immobilisation bzw. Gipsruhigstellung Komplikationen wie eine signifikante Quadricepsatrophie, die stationäre Rehabilitation, hygienische Probleme und die Entwicklung eines sakralen Dekubitus oder gar eines Compartmentsyndroms (Reeves et al. 1990, Beaty et al. 1994, Braun et al. 1995, Curtis et al. 1995, Buckley 1997, Ferguson und Nicol 2000, Gracilla et al. 2003, Mubarak et al. 2006). Ein weiterer eminenter Vorteil zu Gunsten der operativen Versorgung betraf das reduzierte Risiko einer signifikanten Beinlängendifferenz, wie sie bei der konservativen Behandlung mit einem Ausmaß zwischen -3 cm und +3 cm beschrieben worden war (Curtis et al. 1995, Stans et al. 1999, von Laer et al. 2007).

Bei Tibia- und Unterschenkelschaftfrakturen im Kindesalter gilt nach wie vor, dass ein großer Teil der Frakturen konservativ behandelt werden kann, da diese oft eine höhere Stabilität aufweisen als Femurfrakturen. Zusätzlich besteht durch die

Gipskeilung die Möglichkeit, kleinere Achsenabweichungen im Verlauf der Behandlung zu korrigieren. Für dislozierte und instabile Frakturen ist jedoch bezüglich der operativen Behandlung eine Entwicklung analog zu den Femurfrakturen zu beobachten: Wurde zunächst der Fixateur externe bevorzugt, wurde dieses Verfahren später weniger häufig angewendet und größtenteils durch die elastisch stabile intramedulläre Nagelung abgelöst. Eine zusätzliche relative Indikation stellen ältere Kinder und Jugendliche dar, die eine operative Versorgung wünschen, um die lange Zeit der Gips- oder Cast-Ruhigstellung zu umgehen und früher wieder die untere Extremität belasten zu können.

Da konservative Therapieverfahren sowohl bei der Versorgung der Unterschenkel- als auch der Oberschenkelschaftfrakturen grundsätzlich weiterhin eine Behandlungsoption darstellen, müssen folgende hohe Anforderungen an eine operative Therapie und ihre Ergebnisse gestellt werden (Weinberg et al. 1994, Rether 2005, von Laer et al. 2007):

- Bewegungsstabilität und frühe Übungsstabilität ohne zusätzliche Ruhigstellung
- Niedrige Rate an Wachstumsstörungen
- Geringe Invasivität
- Kurzer Krankenhausaufenthalt
- Kleine Narbe(n)
- Kein invasiver Zweiteingriff zur Implantatentfernung und
- Hoher Tragekomfort.

#### **4.1 Postoperative Komplikationen nach Femurfrakturen**

Im Vergleich zu anderen Operationsmethoden liegen laut Literatur die Vorteile der ESIN-Osteosynthese in der verkürzten Heilungszeit durch „Mikrobewegungen“, der geringeren Rate an Refrakturen, dem verkürzten Krankenhausaufenthalt und der höheren Patientenzufriedenheit bei größerem Tragekomfort (Dietz et al. 1997, Maier et al. 2003, Rether 2005, Caglar et al. 2006). Etliche Anwender der ESIN-Osteosynthese schätzen diese Technik außerdem auf Grund ihrer geringen Komplikationsrate (Ligier et al. 1985, Galpin et al. 1994, Till et al. 2000, Flynn et al. 2001, Maier et al. 2003, Jubel et al. 2004<sup>2</sup>, Song et al. 2004). Im Gegensatz dazu ergaben gezielte Fehleranalysen anderer Autoren bei intramedullär versorgten

Femurfrakturen Komplikationshäufigkeiten von 10% bis 50% (Luhmann et al. 2003, Flynn und Schwend 2004, Narayanan et al. 2004, Sink et al. 2005, Ho et al. 2006). Insbesondere bei längeninstabilen Frakturen und bei Kindern über 10 Jahren und mehr als 40 kg Körpergewicht wurden in diesen Studien vermehrt Achsabweichungen, Nageldislokationen und Korrekturingriffe nachgewiesen.

Konträr zu den hohen postulierten Anforderungen an ein operatives Verfahren (s.o.) wiesen auch die Ergebnisse unserer Nachuntersuchung eine nicht unerhebliche Rate postoperativer Probleme und Komplikationen am Femur nach: 15 Korrekturingriffe waren nach 31 ESIN-Osteosynthesen erforderlich. Dabei handelte es sich im Speziellen um einen Nagelwechsel, drei Osteosynthesewechsel auf den Fixateur externe, zwei zusätzliche Fixateur-externe-Anlagen, vier zusätzliche Gipsanlagen und Repositionen sowie um fünf Nagelkürzungen.

Ähnlich hohe Komplikationsraten finden sich auch in anderen Publikationen, wie zum Beispiel den Ergebnissen von Narayanan et al. (2004). In ihrer Fehleranalyse bei 79 mit der ESIN-Osteosynthese versorgten Femurschaftfrakturen traten 55 Komplikationen auf, darunter 41 Weichteilirritationen an den Nagelaustrittspunkten, acht Fehlstellungen, zwei Refrakturen, zwei vorübergehende Nervenschädigungen und zwei Wundinfektionen. Bei zehn der 79 Patienten musste ein operativer Korrekturingriff durchgeführt werden. Wie auch in unserer Studie stellte bei dieser Arbeitsgruppe die Kürzung der Nagelenden den am häufigsten durchgeführten Zweiteingriff dar. Nach Modifikation der Operationsmethode stellte die Arbeitsgruppe einen deutlichen Rückgang der Weichteilirritationen an den Nagelaustrittspunkten fest. Im Unterschied zu dem von den Initiatoren der Operationsmethode vorgeschlagenen Umbiegen der Nagelenden verzichteten Narayanan et al. (2004) auf diesen Operationsschritt und ließen die ungebogenen Nägel nah der Epikondylen enden. Dabei achteten sie darauf, dass eine extrakortikale Länge von 1,0 bis 1,5 cm nicht überschritten wurde. Bei einer Patientin unserer Studie hätte die erforderliche sekundäre Nagelkürzung durch ein derartiges Vorgehen vermieden werden können: Die retrospektive Analyse der postoperativen Röntgenbilder zeigte eindeutig die umgebogenen und zu lang in den Weichteilen belassenen Nagelenden. Diese Problematik war jedoch bei den vier weiteren Nagelkürzungen am Oberschenkel nicht die Ursache: Hier bewirkte die mangelnde Stabilität der

Osteosynthese ein Sintern der Fraktur und führte zu einem Herausrutschen der Nagelenden.

Ho et al. (2006) untersuchten in einer Studie über die Verwendung elastisch stabiler intramedullärer Nägel im Kindesalter 91 Patienten mit 93 Femurschaftfrakturen und gaben eine Komplikationsrate von 17% bzw. acht Korrekturingriffe an. Die Eingriffe beinhalteten drei Osteosynthesewechsel, ein Wunddébridement und eine Epiphysiodese aufgrund einer Beinlängendifferenz. Bei zwei Patienten wurde aufgrund einer Pseudarthrose und bei einem Patienten in Folge einer Refraktur ein Zweiteingriff notwendig. Die im Vergleich zu unserer und auch zu anderen Studien auffällig seltenen Weichteilirritationen führten Ho et al. auf ihre differierende Operationsmethode zurück, bei der sie wie die Arbeitsgruppe um Narayanan (2004) auf ein Umbiegen der Nagelendem am Ende des Eingriffes verzichteten. Eine signifikant höhere Komplikationsrate stellten Ho et al. (2006) bei Patienten fest, die zum Zeitpunkt des Unfalls älter als zehn Jahre alt waren. Sie stellten die Hypothese auf, dass die von ihnen verwendeten Titannägel bei besonders großen oder schweren Kindern keine ausreichende Stabilität mehr gewährleisteten. Diese Hypothese wurde 2008 von Li et al. gestützt. Anhand ihrer biomechanischen Analyse am synthetischen Modell ließ sich zeigen, dass Patienten > 40 kg Körpergewicht, deren Femurschaftquerfrakturen mit Hilfe der elastisch stabilen intramedullären Nägel aus Titan versorgt worden waren, ein erhöhtes Risiko für postoperative Frakturdislokationen besaßen (Li et al. 2008). Vier von fünf Patienten unserer Studie, bei denen eine operative Korrektur notwendig wurde, waren zwischen 10 und 15 Jahren alt und lagen gleichzeitig mit ihrem Körpergewicht über 40 kg. Bei zwei dieser nachoperierten Patientinnen spielten das Alter und das Körpergewicht nachweislich eine maßgebliche Rolle als Komplikationsursache: In der postoperativen Analyse der Röntgenbilder waren technische Fehler der ESIN-Osteosynthese nicht erkennbar. Nur ein Patient mit erforderlichem Zweiteingriff entsprach mit einem Lebensalter von 2 Jahren nicht dem oben aufgeführten Risikoprofil.

Konträr dazu dokumentierten die Arbeitsgruppen um Jubel (Jubel et al. 2004<sup>2</sup>) und Maier (Maier et al. 2003) deutlich geringere Komplikationsraten nach der ESIN-Osteosynthese im Bereich des Oberschenkels. In ihrer Studie über die „Aushei-

lungsergebnisse konservativ und operativ versorgter kindlicher Femurfrakturen“ beurteilten Maier et al. 101 Kinder im Alter von  $5 \pm 0,4$  Jahren, die eine Femurfraktur erlitten hatten. Innerhalb dieser Studienpopulation erfolgte die Versorgung bei 38% der Frakturen konservativ mit Overhead-Extension und Becken-Bein-Gips, bei 32% mit dem Fixateur externe, bei 17% mit der ESIN und bei 12% mit anderen Osteosyntheseverfahren. Postoperative Komplikationen wie sekundäre Dislokationen, Refrakturen oder Infektionen traten – allerdings ohne Angaben zu der exakten Verteilung der Komplikationen – bei 25% der mit dem Fixateur externe behandelten Patienten und lediglich bei 6% der mit der ESIN behandelten Patienten auf. Bei 49% ihrer versorgten Frakturen handelte es sich um Torsions- und Schrägfrakturen ohne Keil, bei weiteren 30% um Querfrakturen; in 10% der Fälle lagen Biegefrakturen mit Keil und in 8% reine Torsionsfrakturen vor. Im Gegensatz zu unserer Studie (s. Tabelle 8) ließen sich aus der Studie von Maier et al. (2003) allerdings keine dezidierten Angaben zur Art der gewählten operativen Therapie in Abhängigkeit von der Frakturform finden. Die Versorgung schwierig zu behandelnder Frakturen wie z.B. von Mehrfragment- oder Spiralfrakturen erfolgte nach wie vor häufiger mit dem Fixateur externe, so dass bei der Studie von Maier et al. (2003) – auch in Anbetracht der hohen Anzahl extramedullär versorgter Patienten (32%) – davon auszugehen ist, dass der Fixateur externe bei gerade diesen Frakturen regelmäßig zum Einsatz kam. Daher ist anzunehmen, dass die auffällig niedrige Komplikationsrate nach der Versorgung durch ESIN durch entsprechende Präselektion erklärbar ist: Bei der Versorgung einfacher Frakturen ist die Bevorzugung der elastisch stabilen Nagelung zu vermuten, bei komplexeren Frakturen hingegen die Verwendung des Fixateur externe. Weiterhin dürfte sich das deutlich niedrigere Gewicht der jüngeren Patienten als positiver Faktor erwiesen haben.

Auch Jubel et al. (2004<sup>2</sup>) wiesen in ihrer Studie über Probleme und Komplikationen der intramedullären Nagelung von Femurfrakturen im Kindesalter eine relativ niedrige Komplikationsrate nach. Insgesamt kam es bei 47 operierten Patienten zu drei Weichteilirritationen, einer Implantatdislokation und drei Korrekturoperationen. Bei der Mehrzahl der versorgten Frakturen handelte es sich um einfache Querfrakturen (27 von 47, entsprechend 57,4%). Hinzu kamen 15 Spiral- und Schrägfrakturen (entspricht 31,9%), eine Spiralfaktur mit Keil und drei Biegefrakturen mit Keil.

Im Gegensatz dazu wurde in unserer Studie die Mehrzahl der Patienten an den im Vergleich zu den Querfrakturen technisch schwieriger zu versorgenden Spiral- oder Schrägfrakturen operiert (17 von 31, entsprechend 54,8%). Elf Patienten (entsprechend 35,5%) wurden an Quer-, zwei Patienten an Biegungsfrakturen mit Keil und ein Patient an einer Spiralfaktur mit Keil behandelt. Weitere Ursachen für die voneinander abweichenden Ergebnisse könnten, neben der erwähnten ungleichen Verteilung der versorgten Frakturformen, die unterschiedlichen Zielsetzungen der Studien in Hinblick auf möglichst niedrige Komplikationsraten und ein divergierender Ausbildungsstand der Operateure sein. Ein Zusammenhang zwischen dem Erfahrungsgrad der Operateure und der Anzahl an Komplikationen wurde in den vorgestellten Studien, wie auch in unserer Arbeit, nicht hergestellt.

Neben den direkt postoperativ aufgetretenen Komplikationen wurden in der vorliegenden Arbeit zusätzlich Spätkomplikationen wie Achsfehlstellungen und Beinlängendifferenzen ermittelt. Ursächlich für Spätkomplikationen sind zum Beispiel Fehler bei der Reposition und Retention einer Fraktur, da sie durch Veränderungen der physiologischen Beinachse oder Frakturverkürzungen zu einer veränderten Statik der Beine und somit der Beckenachse führen können; ebenso sollen wiederholte Repositionen häufiger zu Beinlängendifferenzen führen (von Laer 1977, Bettermann et al. 1990, Hertlein et al. 2000). Klinisch relevante Achsabweichungen von  $>15^\circ$  traten sowohl in dieser Studie mit vier von 31 Fällen als auch in der bisher hierzu veröffentlichten Literatur seltener auf (Reinberg et al. 1994, Schmittenbecher und Dietz 1995<sup>2</sup>, Weinberg et al. 2000, Oh et al. 2002, Luhmann et al. 2003). Auf den postoperativ angefertigten Bildern unserer ESIN-Patienten 34 bis 304 Tage nach dem Unfall wurden folgende Achsabweichungen gemessen: vier Antekurvationsfehlstellungen zwischen  $12^\circ$  und  $25^\circ$ , zwei Varusfehlstellungen von  $12^\circ$  und  $14^\circ$  sowie eine Kombination aus einer Antekurvations- ( $12^\circ$ ) und einer Varusfehlstellung ( $18^\circ$ ).

Das nachgewiesene Ausmaß der verbliebenen Fehlstellungen wird innerhalb der Publikationen different angegeben. Schmittenbecher und Dietz (1995) führten im Rahmen einer Studie nach durchschnittlich vier Monaten bei 27 ESIN-Patienten mit Femurschaftfrakturen eine radiologische Nachuntersuchung durch. Bei sieben Patienten ließ sich eine Achsabweichung zwischen  $10^\circ$  und  $20^\circ$  feststellen. Reinberg et al. (1994) unternahmen ihre Nachuntersuchungen zu einem späteren Zeit-

punkt: das Follow-up ihrer 84 ESIN-Patienten mit Femurschaftfrakturen betrug durchschnittlich 22 Monate. In dieser Konstellation wurde bei lediglich vier Patienten eine verbliebene Varusstellung von 10-15° festgestellt, nur ein Patient litt unter einer Antekurvationsfehlstellung von 20°.

In unserer Studie ließ sich bei keinem der nach einer elastisch stabilen intramedullären Nagelung nachuntersuchten Kinder, deren Abschlussröntgenbild eine Achsfehlstellung > 10° zeigte, eine funktionelle Beeinträchtigung nachweisen. Ein 7-jähriger Junge (siehe Fallbeschreibung im Ergebnisteil) zeigte trotz einer Achsfehlstellung von 25° in sagittaler Ebene (Antekurvations) zum Zeitpunkt des Abschlussröntgenbildes bei der Beurteilung der Form und der Funktion der unteren Extremität zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung (fast 5 Jahre nach dem Unfall) keine Auffälligkeiten.

Ursächlich für die guten klinischen Ergebnisse trotz postoperativen Fehlstellungen ist sicher das von vielen Autoren beschriebene hohe kindliche Korrekturpotenzial am Femurschaft („Remodeling“) (Wallace und Hoffman 1992, Slongo 2005, von Laer 2006, Dwyer et al. 2007). Da dieser Prozess einen längeren Zeitraum in Anspruch nimmt, erklärt sich auch die Abhängigkeit der gemessenen Achsfehlstellungen vom Zeitpunkt der Nachuntersuchung. Präzise Daten hierzu lieferten Wallace und Hoffman bereits 1992. Sie wiesen bei 6- bis 12-Jährigen drei bis fünf Jahre nach erfolgter Operation folgende Korrekturraten belassener Fehlstellungen nach: Varusfehlstellungen zu 77%, Valgusfehlstellungen zu 88%, Antekurvations- und Rekurvationsfehlstellungen zu 79% bzw. 90%. Wichtig ist jedoch, dass dieses Phänomen des „Remodelings“ für Jugendliche nicht mehr zutrifft (Buehler et al. 1995, von Laer et al. 2007). Somit ist das Risiko für persistierende postoperative Fehlstellungen und daraus resultierende notwendige Korrekturingriffe bei älteren Kindern und Adoleszenten deutlich erhöht. Da bei dieser Gruppe zusätzlich das Risiko einer postoperativen Instabilität bzw. Fehlstellung nach der ESIN-Osteosynthese tendenziell größer ist, summieren sich in dieser Alters- und Gewichtsgruppe die vorgenannten Faktoren zum erhöhten Risiko eines schlechteren postoperativen Outcome (Rether 2005, Maier und Marzi 2008). Im Gegensatz dazu zeigen die eigenen Ergebnisse und die Literatur, dass höhergradige Fehlstellungen bei jüngeren Kindern – sowohl bei der konservativen Behandlung als auch nach einer Osteosynthese – nahezu problemlos toleriert werden können, ohne schlechte funktionelle Ergebnisse befürchten zu müssen. Aus dem zuvor Genann-

ten ergibt sich, dass es nicht die elastisch stabile intramedulläre Nagelung ist, die zu dem Ausgleich postoperativer Fehlstellungen führt, sondern das „gutmütige“ Korrekturpotenzial des kindlichen Femurs.

Eine Beinlängendifferenz zwischen 1,0 cm und maximal 1,5 cm wurde im Rahmen dieser Studie bei drei von 31 Kindern, die am Oberschenkel mittels elastisch stabiler Nagelung behandelt wurden, beobachtet. Auch in der Normalpopulation ist eine völlig identische Länge der unteren Extremitäten nicht die Regel. Ältere Daten belegen, dass nach Wachstumsabschluss bei 40-70% der Erwachsenen eine Beinlängendifferenz von bis zu einem Zentimeter besteht (Subotnik 1981, Woermann und Binder-MacLeod 1984), bei 0,1% der Bevölkerung wurde sogar eine Differenz größer als 2,0 cm gemessen (Guichet et al. 1991). Als klinisch relevant werden jedoch nur Beinlängendifferenzen gewertet, die aufgrund des konsekutiven Beckenschiefstandes und daraus resultierender Ausgleichsskoliose zu Veränderungen der Körperhaltung oder Schmerzen führen (Taillard W. und Morscher E. 1965).

Bei den in unserer Studie von einer Beinlängendifferenz betroffenen Patienten handelte es sich um drei Mädchen im Alter zwischen drei und zehn Jahren. Bei einer Patientin, deren elastisch stabile intramedulläre Nägel postoperativ durch einen Fixateur externe ersetzt werden mussten, ließ sich bei der Nachuntersuchung ein leichtes, subjektiv störendes Hinken feststellen. Zwei weitere Patientinnen, deren postoperativer Verlauf komplikationslos verlief, fühlten sich aufgrund der Beinlängendifferenz in ihrem Alltag nicht eingeschränkt.

Vergleichbare Studien, die für die Bestimmung der Beinlängendifferenz analog zu unserer Studie die klinische Messmethodik (Brettchen, Maßband) gewählt haben, kamen zu einem ähnlichen Ergebnis. Flynn et al. (2001) untersuchten in einem nicht exakt definierten Nachuntersuchungszeitraum 57 Kinder, deren Femurschaftfrakturen mit elastisch stabilen intramedullären Nägeln versorgt worden waren. Bei sechs Patienten wurde eine Beinlängendifferenz zwischen 1,0 und 2,0 cm nachgewiesen. Hertlein et al. (2000) stellten nach durchschnittlich drei Jahren bei zwei von zwölf Kindern, deren Femurschaftfrakturen mit Hilfe der ESIN-Osteosynthese versorgt wurden, eine Beinlängendifferenz von > 1,0 cm fest. Die Arbeitsgruppe um Mutimer (2007) untersuchte in einer retrospektiven Arbeit 17 Patienten nach,

deren Femurschaftfrakturen zwischen 1997 und 2001 mit intramedullären Nägeln versorgt wurden. Elf Patienten zeigten eine Längenzunahme des operierten Beines von durchschnittlich 6,0 mm ( $\pm$  3,6 mm), bei fünf Patienten wurde eine Beinlängenverkürzung von durchschnittlich 6,6 mm ( $\pm$  8,9 mm) festgestellt. Maier et al. (2003) verglichen in einer Studie die Ausheilungsergebnisse konservativ und operativ versorgter kindlicher Femurfrakturen. Bei 24,0% der Patienten aus der Fixateur-externe-Gruppe und bei 8,0% der Patienten aus der ESIN-Gruppe wurde eine Beinlängendifferenz von  $>$  1,0 cm beobachtet.

Unter der Prämisse, dass eine intraindividuelle Beinlängendifferenz bis zu 1,0 cm bei Kindern und Jugendlichen als tolerabel anzusehen ist (Keppler et al. 1999, Flynn et al. 2002), überschreiten die von uns nach ESIN-Osteosynthese gemessenen Werte die Toleranzschwelle insgesamt nur in drei Fällen. Bei nur einer Patientin ist die Differenz als Folge einer Komplikation im Verlauf anzusehen.

In Anbetracht der genannten Literatur und der eigenen Ergebnisse scheint somit die ESIN-Osteosynthese dem möglichen Problem einer Beinlängendifferenz entgegenzuwirken.

Die bisher diskutierten Ergebnisse zeigen, dass die Versorgung von Femurschaftfrakturen mit Hilfe der elastisch stabilen intramedullären Nagelung eine nicht unerhebliche Rate an postoperativen Komplikationen zu verzeichnen hatte. Bei Kindern  $>$  10 Jahren und  $>$  40 kg Körpergewicht war dabei das Risiko für postoperative Fehlstellungen und Korrekturereingriffe tendenziell erhöht. Diese Problematik spiegelte sich allerdings nicht in den funktionellen Langzeitergebnissen hinsichtlich verbliebener Achsabweichungen oder Beinlängendifferenzen wider.

Insgesamt wurden nach den aufgeführten erforderlichen Revisionen und zum Teil mit Hilfe des Remodelings an der Kinderchirurgischen Klinik der Universität zu Lübeck sehr gute klinische Ergebnisse bei der Versorgung kindlicher Oberschenkelchaftfrakturen mit Hilfe der ESIN erzielt.

In der Kinderchirurgie Lübeck wurde bis vor einigen Jahren noch die Versorgung von Femurschaftfrakturen mit dem Fixateur externe favorisiert. Durch die zunehmende Anwendung der elastisch stabilen intramedullären Nagelung ist die extramedulläre Osteosynthese mittels Fixateur externe jedoch weitgehend verdrängt worden. Verschiedene subjektive und objektive Faktoren waren für diese Entwick-

lung ursächlich. Nachteile der Versorgung durch den Fixateur externe waren aus der Sicht der Patienten und deren Eltern der oft störende Fixateur-Corpus, die lange Tragezeit, die täglich notwendige Pflege der Pin-Eintrittsstellen und die nach Abschluss der Behandlung verbleibenden Narben. Beschriebene Nachteile der Methode sind Infekte bis zur Osteomyelitis, sekundäre Dislokationen und das Auftreten von Refrakturen (Krettek et al. 1989, Weinberg et al. 1994, Feld et al. 1993, Ramseier et al. 2010). Dennoch befürworteten einige Autoren in ihren Publikationen aufgrund der kürzeren Hospitalisationszeit, der früheren Mobilisation unter Vollbelastung und der früheren Rückkehr in die gewohnte Umgebung den Fixateur externe in der operativen Therapie dislozierter Femurfrakturen (Weinberg et al. 1994, Platz und Käch 1996, Maier et al. 2003, Kraus et al. 2008).

Die Ergebnisse unserer Untersuchung zeigen, dass auch an der Kinderchirurgischen Klinik der Universität zu Lübeck die Verwendung eines Fixateur externe nicht ohne Komplikationen blieb: bei vier von 12 durchgeführten Osteosynthesen waren Korrekturingriffe in Form von drei Repositionen und einem Osteosynthesewechsel auf eine Plattenosteosynthese erforderlich.

Weinberg und Mitarbeiter (1994) berichten in ihrem Artikel über die „Erfahrungen mit dem Fixateur externe bei der Behandlung von Schafffrakturen im Kindesalter“ ebenfalls über hohe Komplikationsraten; Ihre Analyse von 89 extramedullär versorgten kindlichen Schafffrakturen (davon 80 an der unteren Extremität) ergab eine Komplikationshäufigkeit von 19,1%. Neben Komplikationen durch technische Fehler (5,6%) kam es zu Problemen durch Infektionen (4,5%), Refrakturen (4,5%) und Reinfractionen (4,5%). Krettek und Mitarbeiter (1989) mussten infektionsbedingt bei insgesamt 16 operierten Kindern dreimal die Schrauben entfernen und einen Beckenbeingips anlegen. Feld et al. (1993) berichteten über 4 Korrekturoperationen bei 15 Kindern, jeweils zweimal aufgrund von Fehlstellungen bzw. aufgrund einer Instabilität nach Entfernung des Fixateurs. In einer Multizenterstudie von Ramseier et al. (2010) kam es bei 10 von 33 Frakturen zum Repositionsverlust und 16 Patienten mussten erneut operiert werden.

Während einige Autoren den Fixateur externe als Therapieoption trotz diesen Ergebnissen noch regelmäßig einsetzen (Kraus et al. 2008), sehen andere Kliniken aufgrund der oben angeführten Probleme und Komplikationen nur dann noch eine Indikation für die Anwendung, wenn sich die Versorgung mittels ESIN aufgrund

der Frakturform, begleitenden lokalen Weichteilverletzungen oder Zusatzverletzungen als nicht praktikabel herausstellt (Acs 1992, Maier et al. 2003, Leitlinien 2008, Kolecka et al. 2009).

In Anbetracht der eigenen Ergebnisse in Bezug auf die postoperative Komplikationsrate und der oben genannten Nachteile des Fixateur externe halten wir die Verwendung des Fixateur externe für grundsätzlich möglich, jedoch wird die elastisch stabile intramedulläre Nagelung von uns mittlerweile favorisiert.

Eine spezielle Problematik am Femur stellte die Therapie langer Spiralfrakturen dar. Bei unseren Patienten wurden sie – zum Teil auch durch die unterschiedlichen Zeitabschnitte bedingt – je zur Hälfte (n = 9) mittels ESIN bzw. mittels Fixateur externe (n = 9) versorgt. Beide Verfahren wiesen ähnliche Komplikationsraten auf. Bei vier von neun ESIN- bzw. drei von neun Fixateur externe-Patienten wurden sekundäre Frakturdislokationen beobachtet. Bei der Versorgung durch den Fixateur externe ließ sich – wie in der retrospektiven Analyse der Röntgenbilder ersichtlich – bei lediglich einem der drei Patienten ein Anwenderfehler nachweisen, wohingegen sich drei der vier ESIN-Patienten aufgrund radiologisch nachweisbarer mangelnder Verspannung der intramedullären Nägel im Frakturbereich einem Zweiteingriff unterziehen mussten.

In den Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Kinderchirurgie aus dem Jahr 2008 (Leitlinien 2008) wurden lange Spiralfrakturen nicht zu den Kontraindikationen bei der Versorgung diaphysärer Oberschenkelschaftfrakturen mittels ESIN-Osteosynthese gezählt. Die Häufigkeit an Komplikationen bei diesen technisch schwieriger zu versorgenden Frakturen spricht unserer Meinung nach jedoch eher gegen die Versorgung langer Spiralfrakturen mit der ESIN-Osteosynthese in der klassischen 2-C-Konfiguration. Kraus et al. (2008) empfahlen bereits explizit den Fixateur externe für diese Frakturform. Sie erwarten durch den bevorzugten Einsatz der extramedullären Versorgung eine höhere Primärstabilität, eine höhere Belastbarkeit und weniger sekundäre Dislokationen.

Auch Sink et al. (2005) kamen in einer retrospektiven Studie zu dem Schluss, dass längsinstabile Frakturen wie die langen Spiralfrakturen des Oberschenkels nicht mittels elastischer Marknagelung therapiert werden sollten. In ihrer Studie über die Komplikationshäufigkeit nach elastisch stabiler intramedullärer Nagelung kindlicher Femurfrakturen korrelierten sie die Häufigkeit der Komplikationen mit

dem Frakturtyp. Dafür untersuchten sie 39 Kinder, deren Femurfrakturen zwischen Januar 2001 und Januar 2003 am Children's Hospital in Denver mit Hilfe der ESIN therapiert und bis zur Ausheilung nachuntersucht wurden. Die Einteilung der Frakturen erfolgte in „längeninstabile“ und „längenstabile“ Frakturen. Als „längeninstabil“ galten lange Spiralfrakturen und Trümmerfrakturen. Komplikationen wurden in „minor complications“ und „major complications“ unterteilt. Zu den Majorkomplikationen wurden unvorhergesehene Zweiteingriffe gezählt, die vor dem Zeitpunkt der kompletten Ausheilung stattfanden. Im angeführten Nachuntersuchungszeitraum von elf Monaten wurden bei insgesamt 24 Patienten (62%) Komplikationen registriert, davon 41% (n = 16) Minor- bzw. 21% (n = 8) Majorkomplikationen. Acht Patienten mussten erneut operiert werden. Sechs dieser acht Patienten stammten aus der Gruppe der „längeninstabilen“ Frakturen – bei allen war eine Nagelkürzung aufgrund einer Nagelwanderung notwendig. Insgesamt lag die Komplikationsrate für „längeninstabile“ Frakturen somit bei 80%. Aufgrund dieser Ergebnisse empfahlen Sink et al. (2006) statt der ESIN-Osteosynthese die submuskuläre Plattenosteosynthese zur Versorgung instabiler Femurschaftfrakturen im Kindesalter. Auch die Ergebnisse unserer Studie weisen darauf hin, dass bei der operativen Versorgung langer Spiralfrakturen Alternativen zur bisherigen Versorgung mit der klassischen ESIN-Osteosynthese gefunden werden müssen. Anders als von Kraus et al. (2008) postuliert, stellte bei unseren Patienten die Versorgung derartiger Frakturen mit dem Fixateur externe allerdings keine optimale Alternative zur elastisch stabilen intramedullären Nagelung dar. Die Rate an sekundären Dislokationen widersprach der von Kraus et al. (2008) erwarteten erhöhten Primärstabilität der intramedullären elastischen Nagelung. Hinzu kamen die im Folgenden dargestellte geringere Patientenzufriedenheit und der verminderte Tragekomfort beim Fixateur.

Neben der standardisierten Erfassung der Funktion des betroffenen Beines war ein wesentliches Kriterium dieser Studie, die Zufriedenheit der Eltern mit dem jeweiligen Operationsverfahren zu erfassen. Auf diese Weise sollten zusätzlich subjektive Daten gesammelt werden, mit welchem der beiden Verfahren eher die Erwartungen an eine optimale operative Therapie erfüllt werden können. Hierzu existierten in der Literatur bislang nahezu keine Daten. Nach den Ergebnissen der von uns durchgeführten Studie lag die Vermutung nahe, dass Probleme und Kom-

plikationen von beinahe 50% bei der elastisch stabilen intramedullären Nagelung kindlicher Femurschaftfrakturen und von zwei Dritteln nach der Anlage eines Fixateur externe zu schlechten Bewertungen führen könnten bzw. sich diese hohen Komplikationsraten außerdem in der Nachuntersuchung mittels Harris-Score widerspiegeln würden.

Wesentliche Funktionseinschränkungen ließen sich jedoch nicht verifizieren. Keines der nachuntersuchten Kinder wies alltagsrelevante Bewegungseinschränkungen auf. Sieben der elf ESIN-Patienten (entspricht 63,6%) und drei der vier mit einem Fixateur externe versorgten Patienten (entspricht 75%) erreichten die volle Punktzahl (100 von 100 Punkten) bei der Ermittlung des Harris-Scores. Drei der ESIN-Patienten und ein Patient aus der Fixateur-Gruppe gaben an, gelegentlich leichte Schmerzen beim Laufen zu verspüren und erreichten daher 96 der möglichen 100 Punkte. Bei zwei der drei intramedullär versorgten Patienten mussten postoperativ die Nagelenden gekürzt werden. Bei einer weiteren Patientin wurde in der Nachuntersuchung ein Hinken festgestellt – sie erreichte dadurch nur 97 Punkte. Ursächlich für das Hinken der Patientin war eine Beinlängendifferenz von 1,5 cm. Im postoperativen Verlauf war bei dieser Patientin eine Umstellung der ESIN-Osteosynthese auf einen Fixateur externe erfolgt. Angesichts der zahlreichen Revisionen und Korrekturoperationen stimmen die Ergebnisse dieser Studie nicht mit der Aussage von Slongo (2005) überein, der die ESIN als eine „gutmütige“ Methode bezeichnet, die selbst eine technisch inkorrekte Durchführung „in einem hohen Maß verzeiht“. Vielmehr sind wir der Überzeugung, dass es das kindliche Femur ist, das durch sein Korrekturpotenzial einige Fehler „verzeiht“.

Hinsichtlich der Zufriedenheit mit den Operationsmethoden wurden weitere Daten mittels eines standardisierten Fragebogens erhoben. Die Auswertung der Fragebögen ergab erkennbare Differenzen in den Bereichen „Zufriedenheit mit der Narbe“ und „Wiederholung der Therapie“. Eltern, deren Kinder durch elastisch stabile intramedulläre Nägel am Oberschenkel versorgt worden waren, waren in der Mehrzahl der Fälle (21 von 27) mit der verbliebenen Narbe zufrieden oder sehr zufrieden, während dies bei den Eltern der Fixateur-Gruppe lediglich auf zwei von sieben zutraf. Zwei weitere dieser sieben Eltern äußerten sich sogar nur wenig zufrieden bzw. sehr unzufrieden mit der verbliebenen Narbe. Nach der intramedullären Nagelung am Unterschenkel waren zehn von 13 Eltern (sehr) zufrieden mit

der verbliebenen Narbe, während aus der Fixateur-Gruppe zwei der drei Eltern diese Meinung äußerten.

Die Bereitschaft, die Operation bei entsprechender Indikation ein weiteres Mal durchführen zu lassen, war sowohl bei den Oberschenkelschaft-, als auch bei den Tibia- und Unterschenkelschaftfrakturen nach einer elastisch stabilen intramedullären Nagelung größer als nach der Anlage eines Fixateur externe. 26 der insgesamt 27 befragten Eltern aus der ESIN-Gruppe würden einer Operation am Oberschenkel erneut zustimmen, während es ihnen nur vier der sieben befragten Eltern aus der Fixateur-Gruppe gleich tun würden. Im Bereich des Unterschenkels würden 11 der 13 befragten Eltern aus der ESIN-Gruppe und zwei der drei Eltern aus der Fixateur-Gruppe eine Operation erneut durchführen lassen.

Als Ergebnis ließ sich somit in dieser Arbeit nachweisen, dass die ESIN zu einer deutlich höheren Patientenzufriedenheit führte als die Therapie mit einem Fixateur externe. Diese Ergebnisse stimmen mit den in geringer Anzahl publizierten Beobachtungen anderer Autoren überein, die eine relativ hohe Zufriedenheit nach der intramedullären Nagelung feststellten (Till et al. 2000, Buechsenschuetz et al. 2002, Kubiak et al. 2005, Rether 2005).

Buechsenschuetz et al. (2002) kontaktierten in einer Studie über die Unterschiede zwischen der ESIN und dem Extensionsverfahren 43 betroffene Elternpaare (Follow-up 63%), um sie im Rahmen eines in seinem Inhalt nicht näher beschriebenen Telefoninterviews zu ihrer Zufriedenheit mit der verbliebenen Narbe zu befragen. 93% der Eltern aus der ESIN-Gruppe bezeichneten das kosmetische Ergebnis hierbei als „akzeptabel“.

Till et al. (2000) befragten in ihrer Studie über die Langzeitergebnisse nach elastisch stabiler intramedullärer Nagelung von Schafffrakturen im Kindesalter ihre insgesamt 70 Patienten zu den Punkten „Kosmetik“, „Funktion“ und „Zufriedenheit“. Die Antwortmöglichkeiten waren in „gut“, „befriedigend“ und „schlecht“ unterteilt. 93% der Befragten betrachteten das kosmetische Ergebnis als „gut“ (6% als befriedigend), 91% beurteilten das funktionelle Ergebnis ebenfalls als „gut“ (9% befriedigend) und 93% der Befragten waren mit der Behandlung „gut“ zufrieden (6% befriedigend, 1% war nicht zufrieden).

Einen direkten Vergleich zwischen der ESIN und dem Fixateur externe führten Kubiak et al. (2005) mit Hilfe des „Pediatric Outcomes Data Collection Instrument“ (PODCI) durch. Bei dem PODCI handelt es sich um einen 114 Items umfassenden

Fragebogen, der sich aus den Unterpunkten „Funktion der oberen Extremität“, „Bewegung und Mobilität“, „Sport und Funktion“, „Komfort/Schmerz“, „globale Funktion“ und „Zufriedenheit mit dem physischen Zustand“ zusammensetzt (Haynes und Sullivan 2001). Die maximal zu erreichende Punktzahl, die von Kindern erreicht werden sollte, liegt innerhalb jeder Untergruppe bei 100 Punkten. Kubiak et al. (2005) stellten mit Hilfe des PODCI bei der Befragung von 16 mittels ESIN und 15 mit Hilfe eines Fixateur externe versorgten Patienten einen signifikanten, aber nicht näher beschriebenen Unterschied in den Bereichen „Komfort/Schmerz“, „Zufriedenheit mit dem physischen Zustand“ und „Sport und „Funktion“ zugunsten der ESIN-Osteosynthese fest.

Insgesamt weisen die genannten Studien und die Auswertung unserer eigenen Ergebnisse eine höhere Patientenzufriedenheit vor allem im Bereich „Kosmetik“ auf, was im Vergleich zum Fixateur externe zusätzlich dafür spricht, bei dislozierten Oberschenkelchaftfrakturen die elastisch stabile intramedulläre Nagelung zu favorisieren.

Sämtliche Osteosynthesen wurden mit Hilfe der vorliegenden Röntgenbilder auf ihre Qualität überprüft. Hierzu wurden die Röntgenbilder hinsichtlich erkennbarer Fehler wie mangelnder Verspannung der Nägel, einem zu klein gewähltem Durchmesser, der Kreuzung der Nägel im Frakturbereich oder der Torsion der Nägel umeinander analysiert. Ziel war es, technische Fehler bei der Osteosynthese herauszuarbeiten und somit den Anteil der Anwenderfehler zu bestimmen, die dem jeweiligen Operateur anzulasten waren. Damit sollte zwischen Komplikationen unterschieden werden, die auf einer inkorrekten Anwendung des gewählten Osteosyntheseverfahrens (Anwenderfehler) oder auf einer limitierten Anwendbarkeit des Systems beruhten (im weiteren Systemfehler genannt). Als Systemfehler wurde eine Komplikation gewertet, die trotz sich radiologisch als optimal darstellender Osteosynthese auftrat und somit als eine Limitierung des Osteosyntheseverfahrens angesehen werden konnte.

Bei der Durchsicht der Röntgenbilder zeigte sich, dass besonders bei der elastisch stabilen intramedullären Nagelung ein nicht unerheblicher Teil der in dieser Studie festgestellten postoperativen Komplikationen durch Anwenderfehler bedingt war. Im Bereich des Oberschenkels traten nach der ESIN-Osteosynthese bei elf Patienten postoperative Komplikationen auf, davon waren bei sieben Patienten An-

wenderfehler auszumachen. Insbesondere die mangelnde Verspannung der Nägel (n = 3) und die Kreuzung der Nägel im Frakturbereich (n = 4) führten zu Frakturdislokationen und Nagelwanderungen.

Die hier detektierten Fehler wären durch eine optimale OP-Technik vermeidbar gewesen. Die hohe Rate an Anwenderfehlern zeigt, dass das Operationsergebnis stark von der Erfahrung des Operateurs abhängt und dass für die korrekte Durchführung der ESIN-Osteosynthese neben einem grundsätzlichen Verständnis für Biomechanik die exakte OP-Technik immer zwingend berücksichtigt werden muss. Dies gilt vor allem für das Erreichen einer übungsstabilen Drei-Punkt-Abstützung durch die Wahl der Nägel mit identischem Durchmesser, das Einbringen der Nägel auf gleicher Eintrittshöhe und die intraoperative Stabilitätskontrolle. Das Risiko einer unzureichenden Verspannung der Nägel im Frakturbereich soll sich weiterhin durch symmetrisches Vorbiegen der Nägel verringern (Linhart und Roposch 1999). Das häufig beobachtete und in unserer Studie einmalig am Unterschenkel aufgetretene „Korkenzieherphänomen“ führt zu einem Verlust der Spannung im Frakturbereich und muss „unter allen Umständen“ vermieden werden (Slongo 2005). Der intraoperative Nachweis dieses vermeidbaren Anwenderfehlers kann somit nur zur umgehenden Entfernung der Nägel und Implantation neuer Nägel führen (Slongo 2005). Bestehen generell Zweifel an der Stabilität der Osteosynthese, sollte intraoperativ ein Verfahrenswechsel in Betracht gezogen werden (Maier und Marzi 2008). Wären die Operateure diesen Vorgaben gefolgt und hätten zum Beispiel in sich verdrehte Nägel intraoperativ ausgetauscht, hätten einige unserer Komplikationen vermieden werden können.

Im Gegensatz dazu standen die Komplikationen, bei denen eine Analyse der Röntgenbilder hinsichtlich der erreichten Drei-Punkt-Abstützung und der intramedullären Lage der Nägel keine Fehler zeigten und bei denen somit von einer technisch korrekten Anwendung der ESIN-Osteosynthese ausgegangen werden konnte. Bei vier der elf am Oberschenkel versorgten ESIN-Patienten ließen sich die postoperativen Komplikationen nicht auf eine mangelhafte Anwendung zurückführen und müssen somit als Limitierungen der Methode („Systemfehler“) gedeutet werden. Hierbei spielten Faktoren wie das Alter der Patienten und ein Körpergewicht über 49 kg eine Rolle: Je älter und schwerer die Patienten waren, desto höher war das tendenzielle Risiko, eine Komplikation zu erleiden. Ähnliche Ergebnisse lieferte auch die Studie von Moroz et al. (2006), die Prädiktoren für postoperati-

ve Komplikationen bei der elastisch stabilen intramedullären Nagelung im Kindesalter suchten. Bei 234 Femurfrakturen stellten sie eine signifikante Beziehung zwischen dem Alter, dem Körpergewicht und den postoperativen Ergebnissen fest. Die Odds ratio für ein schlechtes Outcome lag bei den Kindern über elf Jahren im Vergleich zu jüngeren Kindern bei 3,86. Bei Kindern mit einem Körpergewicht von über 49 kg war das Risiko, mangelhafte postoperative Ergebnisse zu erzielen, sogar fünffach erhöht.

Insgesamt waren in unserer Studie einige Komplikationen den Grenzen des Verfahrens verschuldet, ein durchaus größerer Anteil wurde allerdings durch technische Fehler verursacht und muss daher als vermeidbar angesehen werden.

Die Analyse der Literatur und der eigenen Patienten zeigt, dass es sich bei den Komplikationen am Femur im Wesentlichen um zwei Formen handelte: a) die postoperative Instabilität, die eine Achsenveränderung in der Sagittal- oder Horizontalebene bedingte und b) die oft nicht ausreichende Stabilität der Osteosynthese bei längsinstabilen Frakturen (Spiralfrakturen, Quer- und Schrägfrakturen mit zusätzlichem Ausbruchskeil), die über ein Sintern der Fraktur zu einem Herausrutschen der Nagelenden führte.

Möglichkeiten, die Stabilität der Osteosynthese bei längsinstabilen Frakturen zu optimieren, liegen unter anderem in der Materialwahl.

Auf Grundlage der vorliegenden Arbeit wurde an der Universität zu Lübeck eine biomechanische Studie über den Einfluss unterschiedlicher Materialien auf die Stabilität der ESIN bei Spiralfrakturen durchgeführt (Kaiser et al. 2011<sup>1</sup>). Insgesamt 24 Kunstknochenmodelle mit exakt gleichen Spiralfrakturen wurden mit elastisch stabilen intramedullären Nägeln aus Titan (n = 16) und Edelstahl (n = 8) versorgt. Die Belastung der Knochenmodelle unter kontrollierten Bedingungen ergab eine signifikant höhere Stabilität der in der Praxis mittlerweile seltener verwendeten Edelstahlnägel (Kaiser et al. 2011).

Ähnliche Ergebnisse erzielte die Arbeitsgruppe um Wall (2008). Sie verglich in ihrer Studie den Einfluss des Materials (Nägel aus Titan vs. Edelstahl) auf die Komplikationsrate. Ihre Ergebnisse zeigten ebenfalls eine signifikant geringere Komplikationsrate bei der Verwendung von Nägeln aus Edelstahl (16,7%) im Vergleich zu Titannägeln (35,7%) (Wall et al. 2008), so dass möglicherweise bereits

der häufigere Einsatz der bis dato seltener verwendeten Edelstahlnägel zu einer deutlichen Verbesserung der Primärstabilität führen könnte.

Die klinische Relevanz einer postoperativ verbleibenden Instabilität und Achsenfehlstellung spiegelt sich auch darin wider, dass einige Autoren Alternativen bzw. Modifikationen der Behandlung publizierten. Neben dem Einsatz additiver Orthesen und Casts zur Erhöhung der Stabilität wurden neuere Verfahren wie die o. g. submuskuläre Plattenosteosynthese eingesetzt oder die klassische Form der elastisch stabilen intramedullären Nagelung modifiziert: Hierbei kamen mehr als zwei Nägel, Verriegelungsnägel, zusätzliche Zugschrauben bzw. ein zusätzlicher Fixateur externe oder „End Caps“ zum Einsatz (Oh et al. 2002, Caird et al. 2003, O'Brien et al. 2004, Gordon et al. 2007, Nectoux et al. 2008).

Die Komplikation des unter b) aufgeführten sinterungsbedingten Herausrutschens der Nägel könnte theoretisch durch sogenannte „End Caps“ vermieden werden. Bei diesen handelt es sich um Gewindekappen, die über die distalen Nagelenden eingeschoben und in Höhe der Corticalis eingeschraubt werden; sie sollen das Herausrutschen der Nagelenden abwenden. In ihrer Studie über die Verwendung von Verriegelungsschraubkappen bei der Versorgung instabiler Femur- und Tibiaschaftfrakturen im Kindesalter beschrieben Nectoux et al. (2008) die Ergebnisse der ersten elf Patienten, deren Frakturen mit intramedullären Nägeln und „End Caps“ versorgt wurden. Innerhalb eines Untersuchungszeitraumes von 13,1 Monaten traten keine Infektionen, Hautirritationen oder Nageldislokationen auf. Bei einem Patienten wurde eine Beinlängendifferenz von 10 mm beobachtet. Um eine gesicherte Aussage über die klinische Effektivität und biomechanische Stabilität treffen zu können, reichen die Daten dieser sehr kleinen Serie allerdings nicht aus. Als Konsequenz der eigenen Ergebnisse und der spärlichen Datenlage wurden eigene biomechanische Testungen am Kunstknochen durchgeführt. In einem Teilprojekt konnte ein positiver Effekt der Endkappen auf die Stabilität der Osteosynthese jedoch nicht nachgewiesen werden, so dass diese Alternative zunächst kritisch betrachtet werden muss (Kaiser et al. 2011<sup>2</sup>).

Während der Einsatz von Endkappen an unserem Modell demnach zu keiner Verbesserung der Stabilität führte, konnte eine tendenzielle Verbesserung der Frakturstabilität durch die Implantation eines dritten Nagels beobachtet werden. Aufgrund dieser biomechanischen Daten wurden daraufhin an der Kinderchirurgi-

schen Abteilung der Universität zu Lübeck zunächst sieben Femurfrakturen mit drei intramedullären Nägeln versorgt. Bei den Frakturen handelte es sich um fünf lange Spiralfrakturen, eine Querfraktur mit Biegungskeil und eine Trümmerfraktur. Postoperative Komplikationen in Form eines Osteosynthesewechsels oder Zweit- eingriffs traten nicht auf. Vier bis sieben Monate nach dem Unfall erreichten sechs der sieben Patienten ein funktionell sehr gutes Ergebnis (Harris-Score 100 Punkte). Eine polytraumatisierte Patientin mit einer zusätzlich extramedullär versorgten Tibiafraktur erzielte sieben Monate nach dem Unfallereignis einen Harris-Score von 67 Punkten. Unter weiterer intensiver Rehabilitation sind es mittlerweile 93 Punkte. Diese positiven klinischen Ergebnisse führten dazu, dass diese Variante bei mangelnder Stabilität mit der klassischen Konfiguration bereits regelhaft intraoperativ eingesetzt wird.

In der Zusammenschau der Ergebnisse zeigte sich, dass hinsichtlich der postoperativen Komplikationsrate beider Osteosyntheseverfahren am Femur kein signifikanter Unterschied vorlag. Elf der 31 Patienten, deren Femurschaftfrakturen mittels elastisch stabilen Nägeln versorgt wurden, und vier der 12 Patienten, deren Fraktur extramedullär behandelt wurde, mussten sich einem Korrekturingriff unterziehen. Trotz der hohen Komplikationsraten waren die funktionellen Ergebnisse sowohl nach der elastisch stabilen Nagelung als auch nach Anlage eines Fixateur externe gut oder sehr gut. Auch hier unterschieden sich die beiden Osteosyntheseverfahren nicht signifikant. Die Rate an Wachstumsstörungen war bei beiden Operationsverfahren in etwa gleich und funktionelle Einschränkungen ergaben sich dabei als Folge des „Remodelings“ nur in seltenen Fällen. Die Dauer des Krankenhausaufenthaltes war nach unseren Ergebnissen nach der ESIN-Osteosynthese geringer als nach Anlage eines Fixateur externe.

Unterschiede ließen sich hingegen bei den Ursachen der aufgetretenen Komplikationen feststellen. Die Analyse der Röntgenbilder ergab, dass sieben der elf durchgeführten Korrekturingriffe nach der ESIN-Osteosynthese bei Einhaltung operationstechnischer und biomechanischer Grundsätze vermeidbar gewesen wären. Im Gegensatz zur Therapie mit dem Fixateur externe ergeben sich dadurch Ansatzpunkte zu einer deutlichen Verringerung der postoperativen Komplikationsrate. Um die häufigen Weichteilirritationen und Nagelkürzungen zu vermeiden, könnte z.B. die Verwendung von Endkappen oder Verriegelungsnägeln sinn-

voll sein; eine einfachere Möglichkeit ist das präzise Kürzen der nicht umgebogenen Nagelenden, so dass diese dem Knochen nahezu anliegen. Für längeninstabile Brüche wie Spiralfrakturen oder Frakturen mit Biegungskeil sowie Patienten > 10 Jahren / > 40 kg Körpergewicht sind weitere klinische und biomechanische Untersuchungen erforderlich. Hiermit könnten Therapiemöglichkeiten wie die submuskuläre Plattenosteosynthese oder Modifikationen des Verfahrens (z.B. Verwendung zusätzlicher Schrauben, Materialkombinationen) auf ihre Stabilität geprüft werden.

Unserer Meinung nach entsprechen jedoch die gelegentlich beschriebene Verwendung eines zusätzlichen Fixateurs oder eines Gipsverbandes nicht den Erwartungen an ein operatives Verfahren und sind eher als Ausweichtherapien zu sehen. Die Ziele müssen neben der möglichst geringen Invasivität in einer frühen Bewegungs- und Übungsstabilität ohne zusätzliche Ruhigstellung liegen.

Sind die Komplikationsraten beider OP-Methoden bei unseren Patienten nahezu gleich, bieten sich jedoch für die elastisch stabile intramedulläre Nagelung sehr gute Ansatzpunkte, um entsprechend den Ergebnissen dieser Fehleranalyse die Durchführung zu optimieren. Zusätzlich bieten die Materialwahl und auch die Verwendung eines dritten Nagels vielversprechende Ansätze, um den hohen Ansprüchen an ein operatives Verfahren immer mehr gerecht zu werden. Die Ergebnisse der Befragung der Eltern und Kinder zur Zufriedenheit sprechen ebenfalls für die Verwendung elastisch stabiler intramedullärer Nägel am Oberschenkel als der Fixateur externe. Gerade die kleinen Narben bei der elastisch stabilen intramedullären Nagelung – sowohl bei der Osteosynthese als auch bei der Metallentfernung – und der hohe Tragekomfort wurden deutlich besser bewertet als beim Fixateur externe.

## **4.2 Postoperative Komplikationen nach Tibia- und Unterschenkelchaftfrakturen**

Stabile Unterschenkel- und Tibiaschaftfrakturen im Kindesalter sind nach wie vor Domäne der konservativen Therapie. Die operative Versorgung wird vor allem für instabile Frakturen wie z.B. lange Schräg- und Spiralfrakturen sowie abrutschgefährdete komplette Unterschenkelfrakturen empfohlen (Shannak 1988, Wessel et al. 1997, Setter und Palomino 2006).

Im Fall einer notwendigen operativen Versorgung sprechen sich die meisten aktuellen Publikationen für eine ESIN-Osteosynthese der Fraktur aus (O'Brien et al. 2004, Vallamshetla et al. 2006, Srivastava et al. 2008), da für die extramedulläre Versorgung höhere Komplikationsraten beschrieben wurden (Kubiak et al. 2005, Myers et al. 2007).

Angewendet wird der Fixateur externe hingegen öfter bei der Versorgung komplizierter Mehrfragment- und Trümmerfrakturen sowie bei der Behandlung polytraumatisierter Patienten (Schneidmüller und Marzi 2006).

Dementsprechend wurde auch an der Kinderchirurgischen Klinik der Universität zu Lübeck nach unserer Erhebung die ESIN-Osteosynthese als operative Therapie bevorzugt: 23 der 27 operativ versorgten Frakturen wurden mit Hilfe der elastisch stabilen intramedullären Nagelung stabilisiert.

Fünf dieser 23 Patienten mussten sich postoperativ einem Korrekturingriff unterziehen (entspricht 21,7%). Dabei handelte es sich im Einzelnen um einen Osteosynthesewechsel auf einen Fixateur externe, drei zusätzliche Gipsanlagen, eine Frakturreposition und ein Compartmentsyndrom. Da bei einem fünfjährigen Mädchen zwei Komplikationen in Form einer Reposition und einer anschließenden Gipsanlage auftraten, lagen insgesamt sechs Komplikationen bei fünf Patienten vor. Die Reposition wurde als Folge eines Sturzes erforderlich und kann daher – ebenso wie das Compartmentsyndrom – nicht zu den operationsspezifischen Komplikationen gezählt werden. Somit ist die tatsächliche Zahl der verfahrensspezifischen Komplikationen vier (entspricht 17,4%). Die Korrekturingriffe wurden ausschließlich bei kompletten Unterschenkelschaftfrakturen notwendig, so dass ein Zusammenhang zwischen der Frakturstabilität und der Anzahl der Komplikationen bestehen muss. Beinlängendifferenzen zwischen 1,0 cm und 1,5 cm wurden ebenso wie Achsfehlstellungen  $> 10^\circ$  in der von uns untersuchten Gruppe nicht festgestellt.

Diese sehr guten postoperativen Ergebnisse und die im Vergleich zum Oberschenkel geringere Komplikationsrate spiegeln sich auch in der Literatur wider.

Vallamshetla et al. (2006) beobachteten in ihrer Studie über die elastische intramedulläre Nagelung im Kindesalter bei lediglich zwei von insgesamt 54 an der Tibia operierten Kindern eine Achsfehlstellung von  $> 10^\circ$ . Zusätzlich traten drei Infektionen, eine verzögerte Konsolidierung und eine Beinlängendifferenz von  $>$

1,5 cm auf. O'Brien et al. (2005) untersuchten 14 Patienten nach, deren Unterschenkelschaftfrakturen mit der ESIN-Osteosynthese versorgt wurden. Bis auf eine oberflächige Wundinfektion traten weder postoperativ noch im Verlauf Komplikationen auf. Reinberg et al. (1994) wiesen ebenso – allerdings bei einem sehr kleinen Patientenkollektiv von vier ESIN-Patienten mit Tibiaschaftfrakturen – nach durchschnittlich 12 Monaten keine relevanten Achsabweichungen mehr nach. Eine ähnlich geringe Komplikationsrate der elastisch stabilen intramedullären Nagelung stellten Gordon et al. (2007) in ihrer 60 Patienten umfassenden Studie über die Ausheilungsergebnisse nach intramedullärer Versorgung diaphysärer Tibiafrakturen fest: Sie berichteten lediglich über zwei Nagelwanderungen und fünf prolongierte Frakturheilungen.

Eine Ursache für die geringen Komplikationsraten kann in der Verwendung zusätzlicher Stabilisierungsmaßnahmen liegen. Im Unterschied zu der operativen Versorgung am Oberschenkel wurden sowohl bei unseren Patienten als auch in der Literatur am Unterschenkel häufiger zusätzlich stabilisierende Maßnahmen wie Knieorthesen oder Unterschenkelcasts verwendet. In unserer Studie wurden nur drei der 31 Oberschenkelfrakturen (entsprechend 9,7%), jedoch drei der vier Tibiafrakturen und sieben der 19 Unterschenkelschaftfrakturen (entsprechend zusammen 43,5%) zusätzlich zu der elastisch stabilen intramedullären Nagelung mit einer Gipsanlage stabilisiert. Ursachen dafür liegen zum einen in begleitenden – in der Kindertraumatologie üblicherweise nicht operativ versorgten – Fibulafrakturen. Ein weiterer Grund ist, dass besonders proximale Femurfrakturen mit einem Oberschenkelgips nur unzureichend stabilisiert werden können und ein zusätzlicher Becken-Bein-Gips für größere Kinder eine sehr starke Einschränkung darstellen kann. Insgesamt beeinflusst der häufigere Einsatz eines Gipses im Unterschenkelbereich neben der oft im Vergleich zu den Femurfrakturen bestehenden höheren Primärstabilität sicher auch die hier dokumentierte geringere Komplikationsrate bei den Tibia- und Unterschenkelfrakturen (O'Brien et al. 2004, Vallamshetla et al. 2006, Gordon et al. 2007, Srivastava et al. 2008).

Gordon et al. (2007), ebenso wie O'Brien et al. (2004), versorgten alle 50 bzw. 14 Patienten ihrer Studie mit einem zusätzlichen Unterschenkelcast, den sie nach zwei bis drei Wochen wieder entfernten. Mag dieses Vorgehen in Anbetracht des späteren Ergebnisses zwar erfolgreich sein, erfüllt es jedoch in der Kombination

aus zweimaliger Operation plus Ruhigstellung und Entlastung des betroffenen Beines nicht die Erwartungen an ein optimales operatives Verfahren, das die Richtschnur der Behandlung sein sollte (Rether 2005). Der Einsatz sekundärer Stabilisatoren bei der Primäroperation oder im Verlauf ist unserer Meinung nach eher ein weiterer Indikator für die Grenzen dieser Methode. Daher müssen auch hier weitere biomechanische Untersuchungen folgen, um die Primärstabilität der ESIN ohne Verwendung zusätzlicher interner oder externer Modulatoren zu verbessern.

Nur vier der 23 am Unterschenkel operierten Patienten wurden in dieser Studie mit Hilfe eines Fixateur externe versorgt. Eine Patientin litt postoperativ unter einem Compartmentsyndrom, bei einem weiteren Patienten wurde eine Nach-Reposition durchgeführt. Somit können aus den eigenen Daten keine sinnvollen Schlussfolgerungen gezogen werden.

Beim Einsatz des Fixateur externe zur Frakturbehandlung im Unterschenkelbereich ließ sich jedoch in der vorliegenden Literatur eine erhöhte Rate an Komplikationen nachweisen. Zu den häufigsten Problemen zählten – ähnlich wie am Oberschenkel – Infektionen, verzögerte Frakturheilung oder Pseudarthrosenbildung, Refrakturen und Dislokationen (Weinberg et al. 1994, Levy et al. 1997, Kubiak et al. 2005, Myers et al. 2007)

In ihrer 2007 veröffentlichten Studie berichteten Myers et al. (2007) von post- und perioperativ aufgetretenen Komplikationen bei insgesamt 31 mit einem Fixateur externe versorgten Patienten mit Unterschenkel- oder Tibiafrakturen. Insgesamt kam es bei acht Patienten zu einer Infektion im Bereich der Pintracks, drei Patienten litten unter einer Wundinfektion, bei 13 Patienten wurde eine verzögerte oder fehlende Frakturheilung beobachtet, bei zwei Patienten kam es im Verlauf zu einer Osteomyelitis und vier Patienten benötigten einen Korrekturingriff. Einen direkten Vergleich der beiden Operationsmethoden führten Kubiak et al. (2005) in ihrer retrospektiven Studie über die operative Versorgung kindlicher Unterschenkelfrakturen durch. Sie untersuchten das funktionelle Outcome von 16 mit der ESIN-Osteosynthese und 15 mit einem Fixateur externe versorgten Patienten. Nach Anlage eines Fixateur externe kam es zu zwei verzögerten Frakturheilungen, drei Nichtheilungen und zwei Heilungen in Fehlstellung. Bei zwei Patienten wurde eine

Infektion der Pintracks festgestellt. In der Gruppe der intramedullär versorgten Kinder kam es bei einem Patienten zu einer verzögerten Frakturheilung. Ein weiterer Patient litt unter einem (eher behandlungsunabhängigen) Compartmentsyndrom. Die postoperative Konsolidierungszeit war nach der intramedullären Nagelung mit durchschnittlich sieben Wochen signifikant kürzer als nach Anlage eines Fixateur externe mit durchschnittlich 18 Wochen. Als Ergebnis ihrer Studie favorisierten Kubiak et al. (2005) die elastisch stabile intramedulläre Nagelung für die Versorgung kindlicher Tibiafrakturen.

Zu einem gegensätzlichen Schluss kamen zwei weitere Studien, die trotz nicht unerheblicher Komplikationsraten die Versorgung offener oder dislozierter Tibia- und Unterschenkelschaftfrakturen mit dem Fixateur externe empfahlen (Siegmet et al. 1998, Gordon et al. 2003). Gordon et al. (2003) stellten in ihrer Studie über die Versorgung 46 instabiler kindlicher Tibia- oder Unterschenkelschaftfrakturen mit einem monolateralen oder zirkulären Fixateur externe folgende Komplikationen fest: elf Infektionen der Pintracks, eine Osteomyelitis, drei verzögerte oder fehlende Frakturheilungen und sechs Frakturdislokationen. Die hohe Anzahl an Frakturdislokationen führten Gordon et al. (2003) auf die Verwendung monolateraler Osteosynthesen bei Trümmerfrakturen zurück und empfahlen für die Versorgung instabiler Trümmer- oder Schrägfrakturen im Bereich des Unterschenkels die Verwendung eines zirkulären statt eines monolateralen externen Fixateur.

In der hier vorliegenden Studie wurden bei der Analyse der Röntgenbilder und in den Nachuntersuchungen weder nach der elastisch stabilen Nagelung noch nach der Versorgung mit dem Fixateur externe größere verbliebene Achsfehlstellungen  $> 10^\circ$  noch Beinlängendifferenzen von mehr als 1,5 cm gemessen.

Diese Ergebnisse entsprechen zwar denen der Literatur, sind aber besonders hervorzuheben, da das Remodeling am Unterschenkel im Vergleich zum Oberschenkel deutlich geringer ausgeprägt ist. Bei der Versorgung von Tibia- und Unterschenkelschaftfrakturen sind die achsengerechte Reposition und die sichere Retention daher von noch größerer Bedeutung. Das geringere Potenzial für eine Spontankorrektur an der Tibia zeigen die Ergebnisse von Dwyer et al. (2007). Die Arbeitsgruppe untersuchte den Langzeitverlauf von Fehlstellungen an der Tibia bei 48 Kindern im Alter zwischen 3 und 12 Jahren nach Schafffrakturen. Die verbliebenen Antekurvationsfehlstellungen reduzierten sich nach 2 bis 10 Jahren von

initial  $7,4^\circ$  ( $4^\circ$ - $14^\circ$ ) auf  $3,9^\circ$  ( $0^\circ$ - $12^\circ$ ), die Varusfehlstellungen korrigierten sich von durchschnittlich  $8,3^\circ$  ( $2^\circ$ - $14^\circ$ ) auf  $4,9^\circ$  ( $0^\circ$ - $10^\circ$ ) und die Valgusfehlstellungen von anfangs  $4,2^\circ$  ( $2^\circ$ - $10^\circ$ ) auf  $3,2^\circ$  ( $0^\circ$ - $10^\circ$ ). Die geringsten Veränderungen wurden bei den Rekurvationsfehlstellungen beobachtet, die sich von  $8,1^\circ$  ( $6^\circ$ - $16^\circ$ ) auf  $6,6^\circ$  ( $0^\circ$ - $14^\circ$ ) reduzierten. Damit korrigierten sich die Antekurvationsfehlstellungen zu 52,7%, die Varusfehlstellungen zu 40,9%, die Valgusfehlstellungen zu 23,9% und die Rekurvationsfehlstellungen zu 18,5%. Wallace und Hofmann (1992) konnten im Vergleich dazu am Oberschenkel nach drei bis fünf Jahren folgende Korrekturraten belassener Fehlstellungen beobachten: Varusfehlstellungen zu 77%, Valgusfehlstellungen zu 88%, Antekurvations- bzw. Rekurvationsfehlstellungen zu 79% bzw. 90%.

Anhand dieser Daten wird deutlich, wie wichtig die postoperativen Revisionen in Form der zusätzlichen Gipsanlagen bzw. Gipskeilungen und Repositionen, aber auch die häufig bereits intraoperativ durchgeführte Gipsanlage für das abschließende Ergebnis waren. Postoperative Achsfehlstellungen am Unterschenkel müssen daher wenn möglich durch wenig invasive Korrekturmöglichkeiten wie die Gipskeilung, aber gegebenenfalls auch zum Preis eines erneuten Eingriffes, ausgeglichen werden.

Trotz der niedrigeren Komplikationsrate, den wenigen verfahrensspezifischen Korrektureingriffen (5 von 23, entsprechend 21,7%) und der geringen Anzahl verbliebener Fehlstellungen bzw. Beinlängendifferenzen erreichte keines der am Unterschenkel nachuntersuchten Kinder bei der Berechnung des Scores nach Merchant & Dietz die volle Punktzahl. Merchant und Dietz schlugen für die Bewertung der Score-Ergebnisse vor, den Bereich von 90-100 Punkten als exzellentes Ergebnis zu werten (Merchant und Dietz 1989). In dieser Studie erreichten alle Probanden mehr als 90 Punkte und zeigten durchweg gute und sehr gute Ergebnisse in den Bereichen Gangbild, Aktivitäten des täglichen Lebens und Schmerzen. Die für das Nichterreichen der maximalen Punktzahl ursächliche verminderte Spanne der Dorsalextension bzw. Plantarflexion war bei allen nachuntersuchten Patienten beidseits zu beobachten, so dass diese Einschränkung nicht den Folgen der Tibia- bzw. Unterschenkelschafffrakturen oder ihrer Versorgung angelastet werden kann. Daher kann trotz der nicht komplett erreichten Punktzahl bei den am Unterschen-

kel nachuntersuchten Patienten ohne Ausnahme von schmerz- und beschwerdefreien Kindern bzw. einem sehr guten Endergebnis gesprochen werden.

Um die Ursache aufgetretener Komplikationen vergleichen zu können und Limitierungen des einzelnen Osteosyntheseverfahrens sicher von Anwenderfehlern abgrenzen zu können, führten wir auch im Bereich des Unterschenkels eine Analyse der Röntgenbilder durch. Im Bereich des Oberschenkels traten bei 11 der 31 mit der ESIN-Osteosynthese behandelten Patienten postoperative Komplikationen auf; bei sieben Patienten konnten Anwenderfehler als Ursache für die Komplikation beobachtet werden. Am Unterschenkel waren insgesamt fünf Patienten von postoperativen Komplikationen betroffen – bei nur einem Patienten trat die Komplikation aufgrund einer technisch inkorrekten Anwendung der elastisch stabilen intramedullären Nägel auf. Durch die in sich verdrehten Nägel („Korkenzieherphänomen“) kam es zur insuffizienten Aufspannung im Frakturbereich und somit zu einer Fraktur-Redislokation mit konsekutiver Gipsanlage. Dies ist somit eindeutig dem Operateur anzulasten. Die übrigen Komplikationen (Osteosynthesewechsel n = 1, Compartmentsyndrom n = 1, Gips/Reposition n = 2) traten trotz radiologisch nachgewiesener korrekt durchgeführter Osteosynthese oder aus nicht verfahrensbedingten Gründen wie z.B. einem Sturz auf. Die Anlage der Fixateur externe wurde am Unterschenkel bei allen Patienten korrekt durchgeführt. Anwenderfehler bei der ESIN traten somit in unserer Studie am Oberschenkel deutlich häufiger auf als am Unterschenkel.

Unsere Ergebnisse können in zweierlei Hinsicht gedeutet werden: a) durch die relativ hohe Zahl an zusätzlichen Gipsanlagen wurde den möglicherweise postoperativ verbliebenen Instabilitäten am Unterschenkel entgegengewirkt oder b) die Technik der ESIN ist am Unterschenkel leichter durchzuführen als im Bereich des Oberschenkels.

In der vorliegenden Literatur lässt sich allerdings kein Hinweis dafür finden, dass die Durchführung der ESIN-Osteosynthese am Unterschenkel technisch einfacher durchführbar wäre. Langanke und Slongo 2006 wiesen in ihrem Text über „Probleme der ESIN am Unterschenkel beim Kind“ eher im Gegenteil darauf hin, dass bei der Wahl der operativen Therapie am Unterschenkel auf die „trianguläre Form der Tibia, die Mechanik aufgrund des asymmetrischen Muskelzuges und [...] die ungleich starken paarigen Knochen“ zu achten sei (Langanke und Slongo 2006).

Zu vermuten ist allerdings, dass sowohl die Rest-Stabilität der Fibula bei Tibiaschaftfrakturen als auch die im Vergleich zu den Oberschenkelschaftfrakturen erhöhte Primärstabilität der Unterschenkelschaftfrakturen die technisch korrekte Durchführung der ESIN erleichtern. Weitere Möglichkeiten für die unproblematischere Durchführung der ESIN am Unterschenkel wären die durch die Nähe zur Hüfte verursachten erschwerten Operationsbedingungen am Oberschenkel sowie der größere Muskel- und Weichteilmantel im Bereich des Femurs, der die Reposition erschwert.

Zusammenfassend bot bei unseren Patienten und in der Literatur die ESIN-Osteosynthese am Unterschenkel eine technisch gut durchführbare Methode, die bei einer geringen Komplikationsrate zu sehr guten funktionellen Ergebnissen führte. Diese Ergebnisse wurden allerdings häufiger als am Oberschenkel mit zusätzlichen stabilisierenden Maßnahmen und kleinen Revisionseingriffen in Form zusätzlicher Gipsanlagen, Gipskeilungen und Repositionen erzielt. Die Vorteile auch in den Bereichen Patientenzufriedenheit und Kosmetik lagen – wie auch am Oberschenkel – im Vergleich zum Fixateur externe eindeutig auf der Seite der ESIN. Indikationen für den Fixateur externe bestehen aber weiterhin bei komplizierten Mehrfragment- und Trümmerfrakturen sowie bei der Behandlung polytraumatisierter Patienten.

### **4.3 Ausblick und Relevanz der Studie**

Die eigenen Ergebnisse und die Literatur zeigen, dass die operative Versorgung diaphysärer Femurfrakturen sowohl nach der ESIN-Osteosynthese als auch nach der extramedullären Therapie mit dem Fixateur externe mit einer relativ hohen Komplikationsrate einhergeht. Auch wenn sich dies nicht in den funktionellen Ergebnissen der Nachuntersuchung widerspiegelt, mussten die Patienten doch Korrekturingriffe oder Verfahrenswechsel über sich ergehen lassen.

Ein Teil der Komplikationen wurde durch eine mangelhafte Technik bei der Osteosynthese verursacht. Hier können nur theoretische Schulungen, „workshops“ und eine konsequente Unterweisung im OP mit Fehleranalyse die Qualität verbessern. Schwieriger wird es jedoch in den Grenzbereichen der Anwendung der jeweiligen Osteosyntheseverfahren wie zum Beispiel bei der Versorgung langer Femur- oder

Tibiaspiralfrakturen. Hier ist es oft sehr schwierig, mit der „klassischen Methode“ eine ausreichende Stabilität zu erzielen und Revisionen waren trotz radiologisch optimaler Osteosynthesen erforderlich.

Neben der praktischen Ausbildung bedarf es jedoch auch theoretischer Grundlagen, um die Frakturstabilität durch die elastisch stabile intramedulläre Nagelung zu erhöhen. Die Ergebnisse dieser Studie waren wesentlicher Ausgangspunkt, um an der Klinik für Kinderchirurgie der Universität zu Lübeck umfangreiche biomechanische Untersuchungen am Kunststoffknochenmodell zu initiieren. Hierbei wurde mit dem Modell einer langen Spiralfraktur als typische längeninstabile und damit komplikationsträchtige Frakturform begonnen. Nach Etablierung eines standardisierten Messaufbaus wurden im Labor der Einfluss verschiedener Materialien auf die Frakturstabilität ebenso überprüft wie der Einfluss der Vorbiegung der Nägel, die Modifikation der klassischen 2-C-Konfiguration und der Einsatz von Endkappen.

Während der additive Fixateur externe den Patientenkomfort sehr einschränkt und damit nicht in Betracht gezogen wurde, werden in den Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Kinderchirurgie zusätzliche Endkappen empfohlen. Diese „End Caps“ werden über die distalen Nagelenden eingeschoben und in Höhe der Corticalis eingeschraubt, um eine sekundäre Dislokation zu vermeiden. Hier liegen bislang jedoch nur spärliche Daten bezüglich der klinischen Effektivität vor. Während der Einsatz von Endkappen an unserem Modell zu keiner Verbesserung der Stabilität führte, konnte eine tendenzielle Verbesserung der Frakturstabilität durch die Implantation eines dritten Nagels beobachtet werden. Konsequenterweise wurden daraufhin an der Kinderchirurgischen Abteilung der Universität zu Lübeck zunächst sieben Femurfrakturen mit drei intramedullären Nägeln versorgt und hierbei sehr gute Ergebnisse erzielt. Diese Ergebnisse führten dazu, dass diese Variante bei mangelnder Stabilität mit der klassischen Konfiguration bereits regelmäßig intraoperativ eingesetzt wird.

Obwohl es sich bei der Versorgung mit einem zusätzlichen Nagel um einen vielversprechenden Ansatz handelt, muss weiter nach Alternativen gesucht werden, um den Kindern und Jugendlichen ein optimales einzeitiges operatives Verfahren sowohl für Femur- als auch Unterschenkel- und Tibiaschaftfrakturen anbieten zu können. Im Rahmen unserer weiteren biomechanischen Untersuchungen war eine stärkere Vorbiegung der Nägel von Vorteil bzw. es konnte eine erhöhte Steifigkeit der Osteosynthese bei der Verwendung von Edelstahl Nägeln nachgewiesen wer-

den. Hier müssen klinische Testungen jedoch den Nachweis der höheren Stabilität am Patienten erbringen.

Eine interessante Alternative könnte in Zukunft die winkelstabile submuskuläre Plattenosteosynthese darstellen, die sich aber zurzeit bei Kindern und Jugendlichen noch in der Erprobungsphase befindet. Auch modifizierte starre Femurnägel, die beim Eintritt in den Knochen die Blutversorgung des Schenkelhalses umgehen, könnten einen weiteren Schritt zu einer Osteosynthese darstellen, die den hohen Ansprüchen an ein operatives Verfahren gerecht wird.

## **5. Zusammenfassung**

Aktuell werden dislozierte diaphysäre Oberschenkelschaftfrakturen im Kindesalter immer häufiger mit der elastisch stabilen intramedullären Nagelung (ESIN) versorgt. Vor Ausbreitung der ESIN war die Versorgung mit dem Fixateur externe die Methode der Wahl. Dislozierte Frakturen der Tibia oder des Unterschenkels sind oftmals stabiler als die des Oberschenkels und stellen daher nach wie vor eine Domäne der konservativen Therapie mit Gipsruhigstellung und ggf. Gipskeilung dar. Bei der operativen Versorgung hat die elastisch stabile Nagelung den Fixateur externe ähnlich wie beim Oberschenkel abgelöst.

Bei der ESIN-Osteosynthese werden zwei elastische Nägel durch kleine Eröffnungen der Corticalis in den Markraum des Femurs oder der Tibia eingebracht. Ziel des Verfahrens ist es, durch das Verkanten der Kufen an der inneren Corticalis und den parallelen Verlauf der Nägel im Frakturbereich mittels einer 2-C-Konfiguration im Markraum eine Drei-Punkt-Abstützung zu erzielen und hierdurch die Fraktur von innen zu stabilisieren. Bei der Versorgung mit dem Fixateur externe werden jeweils zwei Schanz-Schrauben senkrecht zum Knochen ober- und unterhalb der Fraktur in den Knochen eingebracht und mit einer äußeren, stabilisierenden Spannvorrichtung verbunden.

Vorteile der ESIN gegenüber Operationsverfahren wie der Plattenosteosynthese oder dem Fixateur externe sehen Verfechter des Verfahrens in den minimalen Zugangswegen, der geringeren Komplikations- und Refrakturnrate und dem höheren Patientenkomfort. Gezielte Fehleranalysen anderer Autoren ergaben jedoch Komplikationsraten von bis zu 50% nach ESIN-Osteosynthese von Femurschaftfraktu-

ren im Kindesalter. Hinsichtlich der Häufigkeit und der Art von technischen Problemen und Komplikationen bei der operativen Versorgung von Ober- und Unterschenkelschaftfrakturen im Kindesalter liegen in der Literatur somit sehr divergente Angaben vor; die Zufriedenheit der Patienten und ihrer Eltern wurde nahezu nie berücksichtigt.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden retrospektiv die Ergebnisse der Kinderchirurgischen Universitätsklinik Lübeck nach elastisch stabiler intramedullärer Nagelung und nach Anlage eines Fixateur externe bei dislozierten Femur-, Tibia- und kompletten Unterschenkelschaftfrakturen analysiert. Mit dem Fixateur externe oder der ESIN versorgte Frakturen wurden auf sämtliche peri- und postoperative Komplikationen, Fehlstellungen und technische Probleme in Form von Anwender- und Systemfehlern untersucht. Die Funktion der unteren Extremität wurde durch eine Nachuntersuchung überprüft und mit dem Harris-Score und dem Score nach Merchant & Dietz objektiviert. Die betroffenen Knochen wurden zusätzlich per Ultraschall untersucht. Die Patientenzufriedenheit wurde mit Hilfe eines Fragebogens evaluiert.

Von 03/2002 bis 04/2007 wurden in der Kinderchirurgie der Universität zu Lübeck insgesamt 70 Kinder, davon 43 mit Femurschaftfrakturen und 27 mit Tibia- oder Unterschenkelschaftfrakturen operativ mit einem Fixateur externe (Femur n = 12, Unterschenkel n = 2, Tibia n = 2) oder der ESIN-Osteosynthese (Femur n = 31, Unterschenkel n = 19, Tibia n = 4) versorgt. Perioperative Komplikationen traten am Oberschenkel bei der Hälfte der Patienten unabhängig von der Osteosynthesform auf. Am Unterschenkel wurden peri- und postoperative Komplikationen nach elastisch stabiler intramedullärer Nagelung im Vergleich zum Oberschenkel seltener beobachtet (OS: 15 Korrekturingriffe nach 31 ESIN-Osteosynthesen; US: 5 Korrekturingriffe nach 23 ESIN-Osteosynthesen), wobei am Unterschenkel häufiger ein Gips oder Cast als additives Verfahren zur Osteosynthese zur Anwendung kam (OS: 3 von 31; US: 10 von 23).

Komplikationen durch eine technisch inkorrekte Durchführung der elastisch stabilen Marknagelung konnten am Oberschenkel häufiger nachgewiesen werden als am Unterschenkel. Bei sieben von 31 ESIN-Patienten waren entsprechend der Analyse der Röntgenbilder Anwenderfehler für die postoperativen Komplikationen

ursächlich. Am Unterschenkel waren insgesamt fünf Patienten von postoperativen Komplikationen betroffen – hier trat die Komplikation nur bei einem Patienten aufgrund einer inkorrekten Anwendung der elastisch stabilen intramedullären Nägel auf.

Limitierungen des Verfahrens wurden bei längsinstabilen Frakturen wie Spiralfrakturen oder Frakturen mit Bieungskeil sowie bei Patienten > 10 Jahren / > 40 kg Körpergewicht beobachtet. Hier wurde trotz der korrekten Anwendung der elastisch stabilen intramedullären Nagelung häufiger keine ausreichende Stabilität erzielt.

Das Problem der verbliebenen Instabilität führte auch in der Literatur dazu, dass additive Verfahren wie zusätzliche intramedulläre Nägel, Verriegelungsnägel, Zugschrauben bzw. ein zusätzlicher Fixateur externe, „End Caps“ und additive Gipsanlagen publiziert wurden. Die auch bei unseren Patienten relativ häufig verwendete zusätzliche Gipsschienung zur ESIN-Osteosynthese am Unterschenkel führte sicherlich neben der technisch einfacheren Osteosynthese gegenüber den Femurschafffrakturen zu einer Verbesserung der postoperativen Ergebnisse. Allerdings wurden somit die Vorteile der intramedullären Versorgung teilweise wieder aufgegeben und die postulierten hohen Erwartungen an ein operatives Verfahren wie Bewegungsstabilität, frühe Übungsstabilität bzw. ein hoher Tragekomfort nicht erfüllt.

Insgesamt zeigten die eigene Untersuchung und die Analyse der Literatur, dass die Versorgung von Schafffrakturen der unteren Extremität im Kindesalter mit einer nicht unerheblichen Rate an Problemen und Komplikationen verbunden war. Dies spiegelte sich allerdings nicht in den funktionellen Langzeitergebnissen wider: in den Nachuntersuchungen konnten sehr gute funktionelle Ergebnisse ermittelt werden. Ebenso wurden keine Beinlängendifferenzen > 1,5 cm festgestellt. Die Patientenzufriedenheit war in der mit den elastisch stabilen intramedullären Nägeln versorgten Patientengruppe größer als in der mit einem Fixateur externe therapierten Gruppe.

Die Ursachen für die insgesamt sehr guten Nachuntersuchungsergebnisse liegen zum einen in den durch die Nachrepositionen und Korrekturingriffe verbesserten Frakturstellungen als auch in dem Korrekturpotenzial des kindlichen Knochens,

das gerade im Bereich des Femurs verbliebene Fehlstellungen in einem hohen Maß „verzeiht“.

Aus unseren Ergebnissen und der Literatur lassen sich die folgenden Schlüsse ziehen:

- Die ESIN-Osteosynthese besticht trotz notwendiger postoperativer Revisionen und Korrekturingriffe durch sehr gute klinische Ergebnisse mit kleinen Narben und einem hohen Tragekomfort. Des Weiteren wird sie von den Patienten deutlich besser bewertet als der Fixateur und ist somit aktuell das Verfahren der Wahl.
- Das hohe Maß an technischen Fehlern besonders bei der ESIN-Osteosynthese muss durch eine jeweilige Fehleranalyse, operationstechnische Schulungen bzw. „workshops“ verbessert werden.
- Um die verfahrenstechnischen Grenzen des intramedullären Verfahrens zu erweitern, wurden als Konsequenz der vorliegenden Arbeit an der Universität Lübeck weiterführende biomechanische Untersuchungen am Kunststoffmodell durchgeführt. Hier zeigte der Einsatz von Endkappen keine Verbesserung der Stabilität, während die Frakturstabilität durch die Implantation eines dritten Nagels und die Verwendung von Stahlnägeln bzw. durch eine stärkere Vorbiegung der Nägel positiv beeinflusst werden konnte.
- Um auf lange Sicht das optimale Verfahren auch für längsinstabile Frakturen der unteren Extremitäten entwickeln zu können sind auch in Zukunft klinische Prüfungen notwendig, die auch weitere Modifikationen wie die submuskuläre Plattenosteosynthese und den kindlichen Femurnagel einschließen.

## 6. Literaturverzeichnis

- Acs G: Experience with the management of childhood diaphyseal fractures. *Magy Traumatol Orthop Helyreallito Seb* 35, 281-287 (1992)
- Audigé L, Bhandari M, Hanson B, Kellam J: A Concept of the Validation of Fracture Classifications. *J Orthop Trauma* 19, 404-409 (2005)
- Bar-On E, Sagiv S, Porat S: External Fixation Or Flexible Intramedullary Nailing For Femoral Shaft Fractures In Children. *J Bone Joint Surg (Br)* 79-B, 975-978 (1997)
- Beaty JH, Austin SM, Warner WC, Canale ST, Nichols L: Interlocking intramedullary nailing of femoral-shaft fractures in adolescents: preliminary results and complications. *J Pediatr Orthop* 14, 178-183 (1994)
- Beaty JH, Kasser JR: *Rockwood and Wilkins` Fractures in children*. 6th Edition. Lippincott Williams & Wilkins Philadelphia (2006)
- Bettermann A, Kunze K, Ackeren von A: Oberschenkelchaftfrakturen im Wachstumsalter – Resultate nach Wachstumsabschluss. *Z Unfallchir* 83, 44-48 (1990)
- Braun W, Zerai H, Mayr E, Rüter A: Pediatric femoral shaft fracture: effect of treatment procedure on results with reference to somatic and psychological aspects. *Unfallchirurg* 98, 449-453 (1995)
- Bryant T: *The practice of surgery*. Churchill London, Volume 2 (1876)
- Buckley SL: Current trends in the treatment of femoral shaft fractures in children and adolescents. *Clin Orthop Relat Res* 338, 60-73 (1997)
- Buechsenschuetz KE, Mehlman CT, Shaw KJ, Crawford AH, Immerman EB: Femoral Shaft Fractures in Children: Traction and Casting versus Elastic Stable Intramedullary Nailing. *J Trauma* 53, 914-921 (2002)

- Buehler KC, Thompson JD, Sponseller PD, Black BE, Buckley SL, Griffin PP: A Prospective Study of Early Spica Casting Outcomes in the Treatment of Femoral Shaft Fractures in Children. *J Pediatr Orthop* 15, 30-35 (1995)
- Caglar O, Aksoy MC, Yazici M, Surat A: Comparison of compression plate and flexible intramedullary nail fixation in pediatric femoral shaft fractures. *J Pediatr Orthop Part B* 15, 210-214 (2006)
- Caird MS, Mueller KA, Puryear A, Farley FA: Compression Plating of Pediatric Femoral Shaft Fractures. *J Pediatr Orthop* 24, 448-452 (2003)
- Carey TP, Galpin RD: Flexible Intramedullary Nail Fixation of Pediatric Femoral Fractures. *Clin Orthop* 332, 110-118 (1996)
- Collinge CA, Sanders RW: Percutaneous Plating in the Lower Extremity. *J Am Acad Orthop Surg* 8, 211-216 (2000)
- Cummings RJ: Paediatric femoral fracture. *Lancet* 365, 1153-1158 (2005)
- Curtis JF, Killian JT, Alonso JE: Improved treatment of femoral shaft fractures in children utilizing the pontoon spica cast: a long-term follow-up. *J Pediatr Orthop* 15, 36-40 (1995)
- Dietz HG, Schmittenbecher PP, Illing P: Intramedulläre Osteosynthese im Wachstumsalter. Urban und Schwarzenberg, München Wien Baltimore (1997)
- Dietz HG, Joppich I, Marzi I, Parsch K, Schlickewei W, Schmittenbecher PP: Treatment of femoral fractures in childhood. Consensus Report of the 19th Meeting of the Child Traumatology Section of the DGU, Munich, 23-24 June 2000. *Unfallchirurg* 104, 788-790 (2001)
- Domb BG, Sponseller PD, Ain M, Miller NH: Comparison of dynamic versus static external fixation for pediatric femur fractures. *J Pediatr Orthop* 22, 428-430 (2002)
- Dwyer AJ, John B, Mam MK, Hora R: Remodeling of Tibial Fractures in Children Younger Than 12 Years. *Orthopedics* 30, 393-396 (2007)

- Ender HG: Treatment of per- and subtrochanteric fractures in old age using elastic nails. Hefte Unfallheilkd, 67-71 (1975)
- Feld C, Gotzen L, Hannich T: Pediatric femoral shaft fracture in the 6-14year age group. A retrospective therapy comparison between conservative treatment, plate osteosynthesis and external stabilization. Unfallchirurg 96, 169-174 (1993)
- Ferguson J, Nicol RO: Early spica treatment of pediatric femoral shaft fractures. J Pediatr Orthop 20, 189-192 (2000)
- Firica A, Mucichescu D, Troianescu O, Razus M: Flexible metallic intramedullary nail, an ideal osteosynthesis material for femoral fractions. Rev Chir Oncol Radiol O R L Oftalmol Stomatol Chir 26, 429-438 (1977)
- Flynn JM, Hresko T, Reynolds RA, Blasier RD, Davidson R, Kasser J: Titanium Elastic Nails of Pediatric Femur Fractures: A Multicenter Study of Early Results with Analysis of Complications. J Pediatr Orthop 21, 4-8 (2001)
- Flynn JM, Skaggs D, Sponseller PD, Ganley TJ, Kay RM, Leitch KK: The Operative Management Of Pediatric Fractures Of The Lower Extremity. J Bone Joint Surg Am 84, 2288-2300 (2002)
- Flynn JM, Schwend RM: Management of pediatric femoral shaft fractures. J Am Acad Orthop Surg 12, 347-359 (2004)
- Galano GJ, Vitale MA, Kessler MW, Hyman JE, Vitale MG: The Most Frequent Traumatic Orthopaedic Injuries From a National Pediatric Inpatient Population. J Pediatr Orthop 25, 39-44 (2005)
- Galpin RD, Willis RB, Sabano N: Intramedullary nailing of pediatric femoral fractures. J Pediatr Orthop 14, 184-189 (1994)
- Goodwin RC, Gaynor T, Mahar A, Oka R, Lalonde FD: Intramedullary Flexible Nail Fixation of Unstable Pediatric Tibial Diaphyseal Fractures. J Pediatr Orthop 25, 570-576 (2005)

- Gordon JE, Schoenecker PL, Oda JE, Ortman MR, Szymanski DA, Dobbs MB, Luhmann SJ: A comparison of monolateral and circular external fixation of unstable diaphyseal tibial fractures in children. *J Pediatr Orthop* 12, 338-345 (2003)
- Gordon JE, Gregush RV, Schoenecker. PL, Dobbs MB, Luhmann SJ: Complications after Titanium Elastic Nailing of Pediatric Tibial Fractures. *J Pediatr Orthop* 27, 442-446 (2007)
- Gracilla RV, Diaz HM, Penaranda NR, Pagsisilgan JM, Spiegel DA, Quirapas D, Reyes ER: Traction spica cast for femoral-shaft fractures in children. *Int Orthop* 27, 145-148 (2003)
- Gray H: *The Anatomical Basis of Clinical Practice*. Elsevier, Churchill Livingstone (2005)
- Grechenig W, Mayr J, Fellingner M, Clement H, Tesch NP: Sonoanatomie und –pathologie des Ellenbogengelenks beim Kind und beim Erwachsenen. *Radiologe* 38, 378-389 (1998)
- Gregory P, Pevny T, Teague D: Early complications with external fixation of pediatric femoral shaft fractures. *J Orthop Trauma* 10, 191-198 (1996)
- Gregson PA, Thomas PBM: Tibial cast wedging: a simple and effective technique. *J Bone Joint Surg Br* (76), 496-497 (1994)
- Guichet JM, Spivak JM, Trouilloud P, Grammont PM: Lower limb-length discrepancy. An epidemiologic study. *Clin Orthop* 272, 235-241 (1991)
- Haddad RJ, Cook SD, Brinker MR: A comparison of three varieties of noncement porous-coated hip replacement. *J Bone Jt Surg* 72-B, 2-8 (1990)
- Hanada E, Kirby R, Mitchell M, Swuste J: Measuring leg-length discrepancy by the “iliac crest palpation and book correction” method: reliability and validity. *Arch Phys Med Rehabil* 82, 938-942 (2001)
- Harris WH: Traumatic arthritis of the hip after dislocation and acetabular fractures: treatment by Mold arthroplasty. An end result study using a new method of result evaluation. *J Bone Jt Surg* 51-A, 737-755 (1969)

- Haynes RJ, Sullivan E: The Pediatric Orthopaedic Society of North America Pediatric Orthopaedic Functional Health Questionnaire: An Analysis of Normals. *J Pediatr Orthop* 21, 619-621 (2001)
- Hehl G, Kiefer H, Bauer G, Volck C: Post-traumatic leg length inequality after conservative and surgical therapy of pediatric femoral shaft fractures. *Unfallchirurg* 96, 651-655 (1993)
- Hertlein H, Aidelsburger P, Huber A, Hartl WH, Andress HJ: Instabile kindliche Femur- und Unterarmschaftfrakturen – Vergleich zwischen konservativer Behandlung und stabiler intramedullärer Schienung. *Zentralbl Chir* 125, 756-762 (2000)
- Ho CA, Skaggs DL, Tang CW, Kay RM: Use of flexible intramedullary nails in pediatric femur fractures. *J Pediatr Orthop* 26, 497-504 (2006)
- Hohlschneider AM, Vogl D, Dietz HG: Längendifferenzen nach Oberschenkelschaftfrakturen im Kindesalter. *Z Kinderchirurgie* 40, 341-350 (1985)
- Hübner U, Schlicht W, Outzen S, Barthel M, Halsband H: Ultrasound in the diagnosis of fractures in children. *J Bone Joint Surg* 82, 1170-1173 (2000)
- Jubel A, Andermahr J, Isenberg J, Schiffer G, Prokop A, Rehm KE: Erfahrungen mit der elastisch stabilen Nagelung (ESIN) diaphysärer Frakturen im Kindesalter. *Der Orthopäde* 33, 928-935 (2004<sup>1</sup>)
- Jubel A, Andermahr J, Prokop A, Bergmann H, Isenberg J, Rehm KE: Pitfalls und Komplikationen der elastischen intramedullären Nagelung (ESIN) von Femurfrakturen im Kindesalter. *Unfallchirurg* 9, 744-749 (2004<sup>2</sup>)
- Kaiser MM, Wessel LM, Zachert G, Stratmann C, Eggert R, Gros N, Schulze-Hessing M, Kienast B, Rapp M: Biomechanical analysis of a synthetic femur spiral fracture model: influence of different materials on the stiffness in flexible intramedullary nailing. *M Clin Biomech* 26(6), 592-597 (2011<sup>1</sup>)
- Kaiser MM, Zachert G, Wendlandt R, Rapp M, Eggert R, Stratmann C, Wessel LM, Schulz AP, Kienast BJ: Biomechanical Analysis of a synthetic Femoral Spiral Fracture

Model: Do End Caps improve Retrograde Flexible intramedullary Nail Fixation? J Orthop Surg Res 6(1), 46 (Epub ahead of print) (2011<sup>2</sup>)

Keppler P, Strecker W, Kinzl L: Analyse der Beingeometrie-Standardtechniken und Normwerte. Der Chirurg 69, 1141-1152 (1998)

Keppler P, Strecker W, Kinzl L: Die CT-Bestimmung der Beinlängen und Torsionen bei Kindern und Jugendlichen. Unfallchirurg 102, 936-941 (1999)

Kirschner HJ, Stuhldreier G, Schellinger K, Fuchs J: Beinlängendifferenz nach isolierter Oberschenkelschaftfraktur im Kindesalter. 122. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Chirurgie (2005)

Kirschenbaum D, Albert MC, Robertson WW, Davidson RS: Complex femur fractures in children: Treatment with external fixation. J Pediatr Orthop 10, 588-591 (1990)

Kolecka E, Niedzielski KR, Lipczyk Z, Flont P: Treatment of the femoral, tibia and humeral shaft fractures in children with the use of intramedullary nailing or external fixation, a long term study. Chir Narzadow Ruchu Ortop Pol 74, 139-144 (2009)

Kraus R, Schiefer U, Schäfer C, Meyer C, Schnettler R: Elastic Stable Intramedullary Nailing in Pediatric Femur and Lower Leg Shaft Fractures, Intraoperative Radiation Load. J Pediatr Orthop 28, 14-16 (2008)

Krettek C, Haas N, Tscherne H: Management of femur shaft fracture in the growth age with the fixateur externe. Aktuelle Traumatol 19, 255-261 (1989)

Kubiak EN, Egol KA, Scher D, Wassermann B, Feldman D, Koval KJ: Operative Treatment Of Tibial Fractures In Children: Are Elastic Stable Intramedullary Nails an Improvement Over External Fixation? J Bone Joint Surg 78-A, 1761-1768 (2005)

Kuner EH, Mayer HP, Schlickewei W: Technik und Ergebnisse der Plattenosteosynthese am kindlichen Femur. Hefte zur Unfallkunde 212, 355-360 (1990)

Kuntscher G: Progress in the field of intramedullary nailing. Langenbecks Arch Klin Chir Ver Dtsch Z Chir 264, 547-551 (1950)

- Langanke K, Slongo T: <http://www.egms.de/static/de/meetings/dgu2006/06dgu0881.shtml> (2006) (Tag des Zugriffs: 06.06.2011)
- Lascombes P, Haumont T, Journeau P: Use and abuse of flexible intramedullary nailing in children and adolescents. *J Pediatr Orthop* 26, 827-834 (2006)
- Leitlinien: <http://www.uni-duesseldorf.de/AWMF/III/> (2008) (Tag des Zugriffs: 11.04.2010)
- Levy AS, Wetzler M, Lewars M, Bromberg J, Spoo J, Whitelaw GP: The orthopedic and social outcome of open tibia fractures in children. *Orthopedics* 20, 593-598 (1997)
- Li Y, Stabile KJ, Shilt JS: Biomechanical Analysis of Titanium Elastic Nail Fixation in a Pediatric Femur Fracture Model: *J Pediatr Orthop* 28, 874-878 (2008)
- Ligier JN, Métaizeau JP, Prévot J, Lascombes P: Elastic Stable Intramedullary Nailing Of Femoral Shaft Fractures In Children. *J Bone Joint Surg Br* (70), 74-77 (1985)
- Linhart WE, Roposch A: Elastic stable intramedullary nailing for unstable femoral fractures in children: preliminary results of a new method. *J Trauma* 47, 372-378 (1999)
- Loder RT, O'Donnell PW, Feinberg JR: Epidemiology and Mechanisms of Femur Fractures in Children. *J Pediatr Orthop* 26, 561-566 (2006)
- Lögters T, Windolf J, Flohé S: Femurschaftfrakturen. *Unfallchirurg* 112, 635 – 651 (2009)
- Luhmann SJ, Schootmann M, Schoenecker PL, Dobbs MB, Gordon JE: Complications of Titanium Elastic Nails for Pediatric Femoral Shaft Fractures. *J Pediatr Orthop* 23, 443-447 (2003)
- Maier M, Maier-Heidkamp P, Lehnert M, Marzi I: Ausheilungsergebnisse konservativ und operativ versorgter kindlicher Femurfrakturen. *Unfallchirurg* 106, 48-54 (2003)
- Maier M, Schneidmüller D, Marzi I: Oberschenkel. In: Marzi I.: *Kindertraumatologie*. 1. Auflage, 289-299, Steinkopff, Darmstadt (2006)

- Maier M, Marzi I: Die elastisch-stabile Marknagelung der Femurfraktur beim Kind. *Oper Orthop Traumatol* 20 (4-5), 364-372 (2008)
- Mayr JM, Grechenig W, Peicha G, Tesch NP: Sonoanatomie der kindlichen Gelenke. *Orthopäde* 31, 135-142 (2002)
- Mayr JM, Grechenig W, Höllwarth ME: Musculoskeletal Ultrasound in Pediatric Trauma. *Eur J Trauma* 30, 150-160 (2004)
- Merchant TC, Dietz FR: Long-term follow-up after fractures of the tibial and fibular shafts. *J Bone Jt Surg Am.* 71, 599-606 (1989)
- Métaizeau JP: Stable elastic intramedullary nailing for fractures of the femur in children. *J Bone Joint Surg Br* 86, 954-957 (2004)
- Mileski RA, Garvin KL, Huurman WW: Avascular necrosis of the femoral head after closed intramedullary shortening in an adolescent. *J Pediatr Orthop* 15, 24-26 (1995)
- Moroz LA, Launay F, Kocher MS, Newton PO, Frick SL, Sponseller PD, Flynn JM: Titanium elastic nailing of fractures of the femur in children – Predictors of complications and poor outcome. *J Bone Joint Surg Br* 88, 1361-1366 (2006)
- Mubarak SJ, Frick S, Sink E, Rathjen K, Noonan KJ: Volkmann contracture and compartment syndromes after femur fractures in children treated with 90/90 spica casts. *J Pediatr Orthop* 26, 567-572 (2006)
- Müller ME, Nazarian S, Koch P, et al.: *The Comprehensive Classification of Fractures of Long Bones.* Springer-Verlag, Berlin (1990)
- Müller ME, Allgöwer M, Schneider R, Willenegger H: *Manual der Osteosynthese.* Springer Verlag, Berlin (1992)
- Mutimer J, Hammett RD, Eldridge JD: Assessing leg length discrepancy following elastic stable intramedullary nailing for paediatric femoral diaphyseal fractures. *Arch Orthop Trauma Surg* 127, 325-330 (2007)

- Myers SH, Spiegel D, Flynn JM: External Fixation of High-Energy Tibia Fractures. *J Pediatr Orthop* 27, 537-539 (2007)
- Narayanan UG, Hyman JE, Wainwright AM, Rang M, Alman BA: Complications of Elastic Stable Intramedullary Nail Fixation of Pediatric Femoral Fractures, and how to avoid them. *J Pediatr Orthop* 24, 363-369 (2004)
- Nectoux E, Giacomelli MC, Karger C, Gicquel P, Clavert JM: Use of end caps in elastic stable intramedullary nailing of femoral and tibial unstable fractures in children: preliminary results in 11 fractures. *J Child Orthop* 2 (4), 309-314 (2008)
- O'Brien T, Weisman DS, Ronchetti P, Piller CP, Maloney M: Flexible Titanium Nailing for the Treatment of Unstable Pediatric Tibial Fracture. *J Pediatr Orthop* 24 (6), 601-609 (2004)
- Oh CW, Park BC, Kim PT, Kyung HS, Kim S, Ihn JC: Retrograde flexible intramedullary nailing in children`s femoral fractures. *Int Orthop* 26, 52-55 (2002)
- Oh CW, Song HR, Jeon IH, Min WK, Park BC: Nail-assisted percutaneous plating of pediatric femoral fractures. *Clin Orthop Relat Res* 456, 176-181 (2007)
- O'Malley DE, Mazur JM, Cummings RJ: Femoral head avascular necrosis associated with intramedullary nailing in an adolescent. *J Pediatr Orthop* 15, 21-23 (1995)
- Orler R, Hersche O, Helfet DL, Mayo KA, Ward T, Ganz R: Die avaskuläre Hüftkopfnekrose als schwerwiegende Komplikation nach Femurnagelung bei Kindern und Jugendlichen. *Unfallchirurg* 101, 495-499 (1998)
- Platz A, Käch K: Versorgung instabiler kindlicher Schaftfrakturen der unteren Extremität mit dem Fixateur externe. *Swiss Surg* 2, 284-289 (1996)
- Probe R, Lindsey RW, Hadley NA, Barnes DA: Refracture of Adolescent Femoral Shaft Fractures: A Complication of External Fixation. A Report of Two Cases. *J Pediatr Orthop* 13, 102-105 (1993)
- Ramseier LE, Janicki JA, Weir S, Narayanan UG: Femoral fractures in adolescents: a comparison of four methods of fixation. *J Bone Joint Surg* 92, 1122-1129 (2010)

- Reeves RB, Ballard RI, Hughes JL: Internal fixation versus traction and casting of adolescent femoral shaft fractures. *J Pediatr Orthop* 10, 592-595 (1990)
- Reinberg O, Frey P, Meyrat BJ: Traitement des fractures de l'enfant par enclouage centro-médullaire élastique stable (ECMES). *Z Unfallchir Versicherungsmed* 87, 110-118 (1994)
- Rether JR: Intramedulläre Stabilisierung von Schafffrakturen im Wachstumsalter. *Trauma Berufskrankh* 7, 112-117 (2005)
- Rössler H, Rütter W: Manuelle Untersuchung in der Orthopädie – Prüfung der Gelenke. In: Rössler H, Rütter W: *Orthopädie und Unfallchirurgie*. 18-19, Urban und Fischer, München (2005)
- Rush J: The Kuntscher rod in the treatment of femoral shaft fractures: the question of early versus delayed operation. *Aust N Z J Surg* 40, 44-52 (1970)
- Sanders JO, Browne RH, Mooney JF, Raney EM, Horn BD, Anderson DJ, Hennrikus WL, Robertson WW: Treatment of femoral fractures in children by pediatric orthopedists: results of a 1998 survey. *J Pediatr Orthop* 21, 436-441 (2001)
- Schmidt, AH, Finkemeier CG, Tornetta P: Treatment of closed tibial fractures. *Instr Course Lect* 52, 607-622 (2003)
- Schmittenebecher PP, Dietz HG: Standardindikationen zur intramedullären Osteosynthese im Wachstumsalter. *Akt Chir* 30, 171-179 (1995<sup>1</sup>)
- Schmittenebecher PP, Dietz HG: Die Osteosynthese der Femurschafffraktur im Kindesalter mit elastisch-stabiler Markraumschienung ("Nancy-Nagelung"). *Operat Orthop Traumatol* 7 (4), 215-224 (1995<sup>2</sup>)
- Schmittenebecher PP: Complications and errors in use of intramedullary nailing in shaft fractures in childhood. *Kongressbd Dtsch Ges Chir Kongr* 118, 435-437 (2001)
- Schneidmüller D, Marzi I: Unterschenkel. In: Marzi I.: *Kindertraumatologie*. 1. Auflage. 337-348, Steinkopff, Darmstadt (2006)

- Schünke M, Schulte E, Schumacher U: Prometheus, LernAtlas der Anatomie. 1. Auflage, 360-509, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York (2005)
- Setter KJ, Palomino KE: Pediatric tibia fractures: current concepts. *Curr Opin Pediatr* 18, 30-35 (2006)
- Shannak AO: Tibial fractures in children: follow-up study. *J Pediatr Orthop* 8, 306-310 (1988)
- Siegmeth A, Wruhs O, Vécsei V: External Fixation of Lower Limb Fractures in Children. *Eur J Pediatr Surg* 8, 35-41 (1998)
- Sink EL, Gralla J, Repine M: Complications of Pediatric Femur Fractures Treated with Titanium Elastic Nails – A Comparison of Fracture Types. *J Pediatr Orthop* 25, 577-580 (2005)
- Sink EL, Hedequist D, Morgan SJ, Hresko T: Results and technique of unstable pediatric femoral fractures treated with submuscular bridge plating. *J Pediatr Orthop* 26, 177-181 (2006)
- Slongo TF: Complications and failures of the ESIN technique. *Injury* 36, 78-85 (2005)
- Slongo TF, Audigé L, AO Pediatric Classification Group: Fracture and dislocation classification compendium for children: the AO pediatric comprehensive classification of long bone fractures (PCCF). *J Orthop Trauma* 21, 135-160 (2007)
- Sola J, Schoenecker PL, Gordon JE: External fixation of femoral shaft fractures in children: enhanced stability with the use of an auxiliary pin. *J Pediatr Orthop* 19, 587-591 (1999)
- Song HR, Oh CW, Shin HD, Kim SJ, Kyung HS, Baek SH, Park BC, Ihn JC: Treatment of femoral shaft fractures in younger children: comparison between conservative treatment and retrograde flexible nailing. *J Pediatr Orthop B* 13, 275-280 (2004)
- Srivastava AK, Mehlmann CT, Wall EJ, Do TT. Elastic Stable Intramedullary Nailing of Tibial Shaft Fractures in Children. *J Pediatr Orthop* 28, 152-158 (2008)

- Stans AA, Morrissy RT, Renwick SE: Femoral shaft fracture treatment in patients age 6 to 16 years. J Pediatr Orthop 19, 222-228 (1999)
- Subotnick SI: Limb length discrepancies of the lower extremity (the short leg syndrome). J Orthop Sports Phys Ther 3, 11-16 (1981)
- Synthes: [www.synthes.com](http://www.synthes.com) (Tag des Zugriffs 22.03.2011)
- Till H, Hüttl B, Knorr P, Dietz HG: Elastic Stable Intramedullary Nailing (ESIN) Provides Good Long-Term Results in Pediatric Long-Bone Fractures. Eur J Pediatr Surg 10, 319-322 (2000)
- Trueta J: The role of the vessels in osteogenesis. J Bone Joint Surgery 45, 402-418 (1963)
- Vallamshetla VR, De Silva U, Bache CE, Gibbons PJ: Flexible intramedullary nails for unstable fractures of the tibia in children. An eight year experience. J Bone Joint Surg Br (88), 536-540 (2006)
- Vogl Th.J, Wetter A, Schneidmüller D: Radiologische Diagnostik. In: Marzi I: Kindertraumatologie. 1. Auflage, 40-47 (2006)
- von Laer L: Beinlängendifferenzen und Rotationsfehler nach Oberschenkelfrakturen im Kindesalter. Arch orthop Unfall-Chir 89, 121-137 (1977)
- von Laer L: Frakturen im Wachstumsalter. Wie Sie in der Praxis bevorzugt konservativ behandeln können. Orthopädie & Rheuma 4, 18-26 (2002)
- von Laer L: Frakturen im Wachstumsalter – Wandel in der Behandlung in den letzten 30 Jahren. Trauma Berufskrankh 7, 6-10 (2005)
- von Laer L: Knochenwachstum und Knochenheilung. In: Marzi I: Kindertraumatologie. 1. Auflage, 3-13, Steinkopff, Darmstadt (2006)
- von Laer L, Kraus R: Conservative treatment of fractures of the long bones during the growth phase. Unfallchirurg 110, 811-823 (2007)

- von Laer L, Kraus R, Linhardt W: Frakturen und Luxationen im Wachstumsalter. G. Thieme Verlag, Stuttgart New York (2007)
- Wall EJ, Jain V, Mehlmann CT, Crawford AH: Complications of titanium and stainless steel elastic nail fixation of pediatric femoral fractures. J. Bone Joint Surg 90, 1305-1313 (2008)
- Wallace ME, Hoffman EB: Remodelling of angular deformity after femoral shaft fractures in children. J Bone Joint Surg Br 74, 765-769 (1992)
- Ward WT, Levy J, Kaye A: Compression plating for child and adolescent femur fractures. J Pediatr Orthop 12, 626-632 (1992)
- Weber BG, Brunner C, Freuler F: Die Frakturbehandlung bei Kindern und Jugendlichen. Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York (1979)
- Weinberg AM, Reilmann H, Lampert C, von Laer L: Erfahrungen mit dem Fixateur externe bei der Behandlung von Schafffrakturen im Kindesalter. Unfallchirurg 97, 107-113 (1994)
- Weinberg AM, Hasler CC, Leitner A, Lampert C: External Fixation of Pediatric Femoral Shaft Fractures; Treatment and Results of 121 Fractures. Eur J Trauma 26, 25-32 (2000)
- Weise K: Allgemeine Frakturlehre, Physiologie und Pathophysiologie der Frakturheilung. In: Hirner A, Weise K: Chirurgie – Schnitt für Schnitt. 1. Auflage, 225-229, G. Thieme Verlag, Stuttgart (2004<sup>1</sup>)
- Weise K: Konservative Frakturbehandlung. In: Hirner A, Weise K: Chirurgie – Schnitt für Schnitt. 1. Auflage, 230-231, G. Thieme Verlag, Stuttgart (2004<sup>2</sup>)
- Wenger DR, Pring ME: Rang's Children's Fractures. Lippincott Williams & Wilkins (2005)
- Wessel L, Seyfriedt CS, Hock S, Waag KL: Kindliche Unterschenkelfrakturen: ist die konservative Therapie zeitgemäß. Unfallchirurg 100, 8-12 (1997)

Woermann AL, Binder-MacLeod SA: Leg length discrepancy assessment: accuracy and precision in five clinical methods of evaluation. *J Orthop Sports Phys Ther* 5, 230-238 (1984)

Wright JG, Wang EE, Owen JL, Stephens D, Graham HK, Hanlon M, Nattrass GR, Reynolds RA, Coyte P: Treatments for paediatric femoral fractures: a randomised trial. *Lancet* 365, 1153-1158 (2005)

## 7. Anhang

### 7.1 Aufklärungsbogen und Einwilligungserklärung der Eltern

#### 7.1.1 Aufklärungsbogen und Einwilligungserklärung „Nachuntersuchung bei Frakturen des Oberschenkels“

##### **Information für die Eltern:** **Nachuntersuchung bei Frakturen des Oberschenkels**

Sehr geehrte Eltern,

Wir möchten Sie bitten, mit Ihrem Kind an einer Nachuntersuchung an der kinderchirurgischen Universitätsklinik in Lübeck teilzunehmen.

Ihr Kind hat vor einiger Zeit einen Oberschenkelbruch erlitten. Knochenbrüche des Oberschenkels sind bei Kindern und Jugendlichen selten eine ernste Erkrankung. Es besteht jedoch die Möglichkeit, dass der Bruch schief zusammenwächst oder im Verlauf die Stellung korrigiert werden muss. Die sich daraus ergebenden Fehlstellungen können nicht nur zu ästhetischen, sondern auch zu funktionellen Problemen führen.

Zur operativen Behandlung gibt es im Wesentlichen 2 mögliche Methoden:

- 1) **Die Intramedulläre Schienung:** hierbei wird der Oberschenkelbruch mit sog. „Elastischen Rundnägeln“ versorgt. Die Nägel werden in den Knochen eingebracht und verleihen ihm infolge gegenseitiger Verklebung im Markraum die nötige Stabilität. Die Nägel sind von außen nicht sichtbar, müssen allerdings in einer zweiten Operation wieder aus dem Knochen entfernt werden.
- 2) **Die Äußere Schienung:** hierbei wird der Oberschenkelbruch mit Hilfe eines sog. „Fixateur externe“ versorgt. Hier wird der Bruch über eine äußere Verstrebung stabilisiert. Auch hier ist ein zweiter Eingriff nötig, um die Pins aus dem Bein entfernen zu können.

Ob nun die 1. oder 2. Methode angewendet wird, hängt von mehreren Faktoren ab, wie z.B. der Art des Bruches oder der gleichzeitigen Verletzung der Muskulatur.

Um die Qualität unserer Behandlung zu verbessern, möchten wir nun gern wissen, wie zufrieden Sie heute mit dem Ergebnis dieser Behandlung sind. Gleichzeitig wollen wir gerne untersuchen, ob Form und Funktion des Beines Ihren und unseren Ansprüchen genügen.

Dazu bitten wir Sie mit Ihrem Kind zu einer Nachuntersuchung in die Kinderchirurgie Lübeck zu kommen. Hier werden wir den Oberschenkel mit Ultraschall (keine Belastung durch Röntgenstrahlen!) untersuchen und die Funktion des Beines prüfen. Die Untersuchung wird insgesamt etwa eine Stunde in Anspruch nehmen.

Die bei der Untersuchung erhobenen Daten werden in pseudonymisierter Form elektronisch gespeichert, ausgewertet und gegebenenfalls weitergegeben. Pseudonymisiert bedeutet, dass keine Angaben von Namen oder Initialen verwendet werden, sondern nur ein

Nummern- und/oder Buchstabencode, evtl. mit Angabe des Geburtsjahres. Die Daten sind gegen unbefugten Zugang gesichert.

Das Ergebnis der Nachuntersuchung werden wir Ihnen oder dem Hausarzt auf Nachfrage nach Abschluss aller Auswertungen selbstverständlich schriftlich zukommen lassen.

**Wichtig:** Die Teilnahme an der Untersuchung ist freiwillig. Zu jedem Zeitpunkt ist es möglich, die Teilnahme an dieser Untersuchung abubrechen, ohne dass Ihnen dadurch Nachteile entstehen. Sie können Ihre Einwilligung jederzeit ohne Angabe von Gründen zurückziehen!

Sollte im Rahmen der Studiendurchführung ein Schaden auftreten, der den Studienteilnehmern durch das schuldhafte Verhalten eines Beschäftigten des Universitätsklinikums Schleswig-Holstein (UK SH) zugefügt wurde, haftet die gesetzliche Haftpflicht des UK SH.

Wir weisen Sie ferner darauf hin, dass Sie auf dem Weg von und zur Prüfstelle unfallversichert sind.

Um Ihnen das weitere Vorgehen so angenehm wie möglich zu machen, werden wir Sie in den kommenden Wochen telefonisch kontaktieren und einen möglichen Termin vereinbaren.

Wir bedanken uns recht herzlich für Ihre Mitarbeit!  
Ihr Team der Kinderchirurgie Lübeck

OA Dr. med. MM Kaiser und Fr. K. Albers (Doktorandin)

Wenn Sie noch Fragen haben, wenden Sie sich an:  
OA Dr. MM Kaiser Tel.: 0451-500-2581



## 7.1.2 Aufklärungsbogen und Einwilligungserklärung „Nachuntersuchung bei Frakturen des Unterschenkels“

### Information für die Eltern: Nachuntersuchung bei Frakturen des Unterschenkels

Sehr geehrte Eltern,

Wir möchten Sie bitten, mit Ihrem Kind an einer Nachuntersuchung an der kinderchirurgischen Universitätsklinik in Lübeck teilzunehmen.

Ihr Kind hat vor einiger Zeit einen Unterschenkelbruch erlitten. Knochenbrüche des Unterschenkels sind bei Kindern und Jugendlichen selten eine ernste Erkrankung. Es besteht jedoch die Möglichkeit, dass der Bruch schief zusammenwächst oder im Verlauf die Stellung korrigiert werden muss. Die sich daraus ergebenden Fehlstellungen können nicht nur zu ästhetischen, sondern auch zu funktionellen Problemen führen.

Zur operativen Behandlung gibt es im Wesentlichen 2 mögliche Methoden:

- 3) **Die Intramedulläre Schienung:** hierbei wird der Unterschenkelbruch mit sog. „Elastischen Rundnägeln“ versorgt. Die Nägel werden in den Knochen eingebracht und verleihen ihm infolge gegenseitiger Verklebung im Markraum die nötige Stabilität. Die Nägel sind von außen nicht sichtbar, müssen allerdings in einer zweiten Operation wieder aus dem Knochen entfernt werden.
- 4) **Die Äußere Schienung:** hierbei wird der Unterschenkelbruch mit Hilfe eines sog. „Fixateur externe“ versorgt. Hier wird der Bruch über eine äußere Verstrebung stabilisiert. Auch hier ist ein zweiter Eingriff nötig, um die Pins aus dem Bein entfernen zu können.

Ob nun die 1. oder 2. Methode angewendet wird, hängt von mehreren Faktoren ab, wie z.B. der Art des Bruches oder der gleichzeitigen Verletzung der Muskulatur.

Um die Qualität unserer Behandlung zu verbessern, möchten wir nun gern wissen, wie zufrieden Sie heute mit dem Ergebnis dieser Behandlung sind. Gleichzeitig wollen wir gerne untersuchen, ob Form und Funktion des Beines Ihren und unseren Ansprüchen genügen.

Dazu bitten wir Sie mit Ihrem Kind zu einer Nachuntersuchung in die Kinderchirurgie Lübeck zu kommen. Hier werden wir den Unterschenkel mit Ultraschall (keine Belastung durch Röntgenstrahlen!) untersuchen und die Funktion des Beines prüfen. Die Untersuchung wird insgesamt etwa eine Stunde in Anspruch nehmen.

Die bei der Untersuchung erhobenen Daten werden in pseudonymisierter Form elektronisch gespeichert, ausgewertet und gegebenenfalls weitergegeben. Pseudonymisiert bedeutet, dass keine Angaben von Namen oder Initialen verwendet werden, sondern nur ein Nummern- und/oder Buchstabencode, evtl. mit Angabe des Geburtsjahres. Die Daten sind gegen unbefugten Zugang gesichert.

Das Ergebnis der Nachuntersuchung werden wir Ihnen oder dem Hausarzt auf Nachfrage nach Abschluss aller Auswertungen selbstverständlich schriftlich zukommen lassen.

**Wichtig:** Zu jedem Zeitpunkt ist es möglich, die Teilnahme an dieser Untersuchung abbrechen, ohne dass Ihnen dadurch Nachteile entstehen. Sie können Ihre Einwilligung jederzeit ohne Angabe von Gründen zurückziehen!

Sollte im Rahmen der Studiendurchführung ein Schaden auftreten, der den Studienteilnehmern durch das schuldhafte Verhalten eines Beschäftigten des Universitätsklinikums Schleswig-Holstein (UK SH) zugefügt wurde, haftet die gesetzliche Haftpflicht des UK SH.

Wir weisen Sie ferner darauf hin, dass Sie auf dem Weg von und zur Prüfstelle unfallversichert sind.

Um Ihnen das weitere Vorgehen so angenehm wie möglich zu machen, werden wir Sie in den kommenden Wochen telefonisch kontaktieren und einen möglichen Termin vereinbaren.

Wir bedanken uns recht herzlich für Ihre Mitarbeit!  
Ihr Team der Kinderchirurgie Lübeck

OA Dr. med. MM Kaiser und Fr. K. Albers (Doktorandin)

Wenn Sie noch Fragen haben, wenden Sie sich an:  
OA Dr. MM Kaiser Tel.: 0451-500-2581



## 7.2 Nachuntersuchungsbögen

### 7.2.1 Nachuntersuchungsbogen: Femur diaphysär

#### Nachuntersuchungsbogen: Femur diaphysär

Datum:


Patient- ID:

Alter (Unfallzeitpunkt):

Geb.- Datum:

Alter (Nachuntersuchung):

#### Frakturlokalisierung:

rechts

links

proximal diaphysär

zentral diaphysär

distal diaphysär

#### Frakturtyp:

quer

schräg

Spiralfraktur

Kurz

Lang

Keil

Mehrfragment

Biegungsfraktur

Etagenfraktur

#### Frakturdislokation:

ad longitudinem

Kontraktion

Distraktion

ad axim

Varus in °

Valgus in °

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Antekurvatur in °  Rekurvatur in °

**ad latus** ½ Schaftbreite  Volle Schaftbreite

½ Corticalis  1x Corticalis  2x Corticalis

**Unfalltag:**

**OP-Datum:**  **Operationsteam:**

**Therapie:**

ESIN  ESIN und Gips  Fixateur externe

ME nach Monaten

**Verlauf:**

Komplikationen:

Weitere Therapie:

Nachbeh. hier durch:

Sonstiges:

**Belastung ab:**

Teilbelastung  Keine Angaben

Vollbelastung

Letzte NU

Voller Einsatz

**Anamnese / Besonderheiten / Befundbeschreibung / Maßnahmen**

**Harris-Score 1969, modifiziert nach Haddad 1990: ( maximal 100 Punkte):**

- Schmerzen:** keine 44, leicht gelegentlich 40, mild, selten mäßig gelegentlich Analgesie 30, mäßiger Schmerz dadurch einige Einschränkungen 20, starke Schmerzen mit Einschränkungen 10, stärkste Schmerzen bettlägerig 0 Punkte
- Hinken:** kein 11, leicht 8, mäßig 5, schwer 0 Punkte
- Hilfe:** keine 11, Stock für lange Strecken 7, meistens Stock 5, 1 Gehstütze 3, 2 Stöcke 2, zwei Stützen oder kein Gehen 0 Punkte
- Gehstrecke:** unlimitiert 11, 6 Wohnblocks 8, 2-3 Blöcke 5, nur zu Hause 2, Rollstuhl 0 Pkt.
- Treppen:** normal 4, mit Geländer 2, mit Hilfen 1, keine 0 Punkte
- Schuhe Socken:** anziehen ja 4, mit Problemen 2, nein 0 Punkte
- Sitzen:** komfortabel > 1 h 5 P, hoher Stuhl für ½ Stunde 3 P, komfortabel nicht möglich 0 Punkte
- Öff. Verkehrsmittel:** Betreten ja 1 nein 0 Punkte
- Deformität:** Keine fixierte Kontraktur > 30° 1 P, keine fixierte Adduktion > 10° 1 P, keine fixierte IRO > 10° 1 P, keine Beinlängendifferenz > 3 cm 1 Punkt
- Bewegung gesamt:** in E / F / ABD / ADD / ARO / IRO :

E:	F:	ABD:	ADD:	ARO:	IRO:	<b>Ges.:</b>
----	----	------	------	------	------	--------------

> 210° 5 P, 160°-209° 4 P, 100°-159° 3 P, 60°-99° 2 P, 30°-59° 1P, < 30° = 0 Punkte

ERGEBNIS GESAMTSCORE: .....Punkte

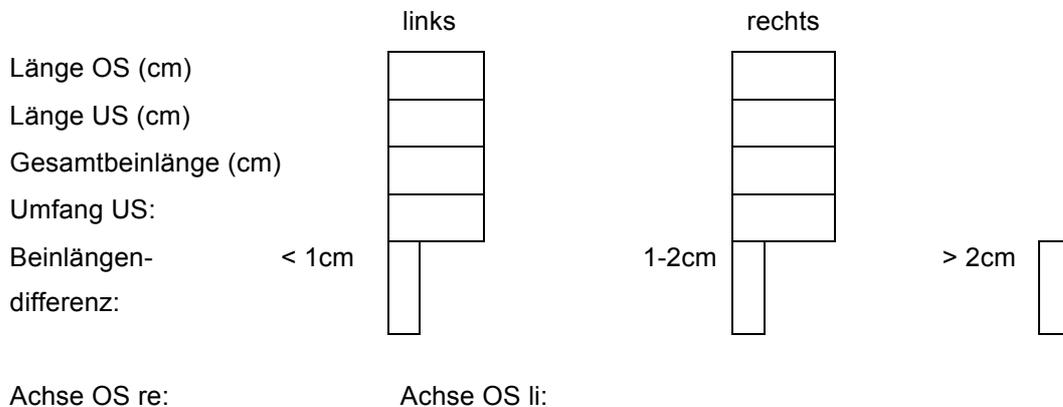
**Neutral-Null-Methode:**

Extension Hüfte re.	0	5	10	15	20	25	30	35	40				
Extension Hüfte li.	0	5	10	15	20	25	30	35	40				
Flexion Hüfte re.	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Flexion Hüfte li.	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120

<b>IRO Hüfte re.</b>	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50				
<b>IRO Hüfte li.</b>	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50				
<b>ARO Hüfte re.</b>	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50				
<b>ARO Hüfte li.</b>	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50				
<b>ABD Hüfte re.</b>	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
<b>ABD Hüfte li.</b>	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
<b>ADD Hüfte re.</b>	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
<b>ADD Hüfte li.</b>	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70

	<b>Varus</b>										<b>Valgus</b>						
<b>KG-Achse re.</b>	40	35	30	25	20	15	10	5	0	5	10	15	20	25	30	35	40
<b>KG-Achse li.</b>	40	35	30	25	20	15	10	5	0	5	10	15	20	25	30	35	40
<b>Extension Knie re.</b>	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50						
<b>Extension Knie li.</b>	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50						
<b>Flexion Knie re.</b>	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70		
<b>Flexion Knie li.</b>	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70		

**Beinlängendifferenz:**



**Sonographie:**

**Neurologie:**

**Narben:**

**Procedere**

**Abschluss oder weitere Behandlung erforderlich?**

## 7.2.2 Nachuntersuchungsbogen: Tibia/Unterschenkel diaphysär

### Nachuntersuchungsbogen: Tibia/Unterschenkel diaphysär

Datum:

Patient- ID:

Geb.- Datum:



Alter (Unfallzeitpunkt):

Alter (Nachuntersuchung):

#### Frakturlokalisierung:

rechts

links

proximal diaphysär

zentral diaphysär

distal diaphysär

#### Frakturtyp:

quer

schräg

Spiralfraktur

Kurz

Lang

Keil

Mehrfragment

Biegungsfraktur

Etagenfraktur

#### Frakturdislokation:

ad longitudinem

Kontraktion

Distraktion

ad axim

Varus in °

Valgus in °

Antekurvatur in °

Rekurvatur in °

**ad latus**  ½ Schaftbreite  Volle Schaftbreite

½ Corticalis  1x Corticalis  2x Corticalis

**Unfalltag:**

**OP-Datum:**  **Operationsteam:**

**Therapie:**

ESIN  ESIN und Gips  Fixateur externe

ME nach Monaten

**Verlauf:**

Komplikationen:

Weitere Therapie:

Nachbeh. hier durch:

Sonstiges:

**Belastung ab:**

Teilbelastung  Keine Angaben

Vollbelastung  Letzte NU

Voller Einsatz

**Anamnese / Besonderheiten / Befundbeschreibung / Maßnahmen**

**Score nach Merchant & Dietz (1989) (maximal 100 Punkte):**

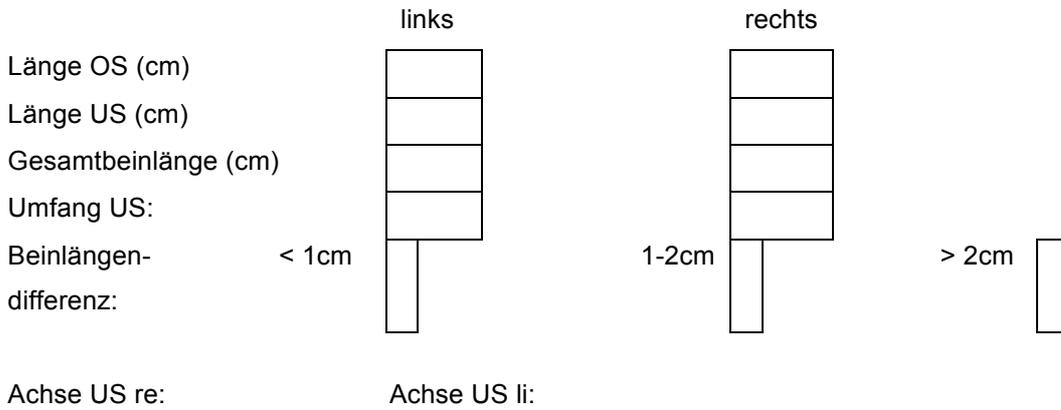
<b>Gang (10%):</b>	Kein Hinken 10, gelegentlich 8, Stützen 2, Rollstuhl / Bett 0 Punkte
<b>Aktivität (40%):</b>	ATL ohne Probleme 8, Treppen problemlos 6 / bei Einschränkung 4, Last tragen 4, Rennen / Sport 4, normale Laufstrecke 8, Freizeitbeschäftigungen 4, Auto einsteigen 6 Punkte
<b>Schmerzen (40%):</b>	keine 40, bei länger Tätigkeit 30, beim Tragen 20, bei Bewegung 10, in Ruhe 0 Punkte
<b>Bewegungsbogen (10%):</b>	von Dorsalextension bis Plantarflexion: 2 Punkte pro 20°, max. 10 Punkte

ERGEBNIS GESAMTSCORE: .....**Punkte**

**Neutral-Null-Methode:**

	<b>Varus</b>										<b>Valgus</b>						
Achse Tibia re.	40	35	30	25	20	15	10	5	0	5	10	15	20	25	30	35	40
Achse Tibia li.	40	35	30	25	20	15	10	5	0	5	10	15	20	25	30	35	40
KG-Achse re.	40	35	30	25	20	15	10	5	0	5	10	15	20	25	30	35	40
KG-Achse li.	40	35	30	25	20	15	10	5	0	5	10	15	20	25	30	35	40
Rotationsfehler	<b>IRO</b>					20	15	10	5	0	5	10	15	20	<b>ARO</b>		
Antekurvation re.	40	35	30	25	20	15	10	5	0								
Antekurvation li.	40	35	30	25	20	15	10	5	0								
Rekurvation re.	40	35	30	25	20	15	10	5	0								
Rekurvation li.	40	35	30	25	20	15	10	5	0								

**Beinlängendifferenz:**



**Sonographie:**

Neurologie:

Narben:

**Procedere**

**Abschluss oder weitere Behandlung erforderlich?**

## **Bewertung:**

### **Score nach Merchant & Dietz:**

90-100 Punkte:	Exzellent
80-89 Punkte.:	Gut
70-79 Punkte:	Ausreichend
< 70 Punkte:	Schlecht

## 7.3 Fragebogen für die Eltern zur Nachuntersuchung bei Frakturen der unteren Extremität

### Fragebogen für die Eltern zur Nachuntersuchung bei Frakturen der unteren Extremität

Klinik für Kinderchirurgie , Universitätsklinikum S –H, Campus Lübeck

Liebe Eltern,

wir möchten Sie bitten, einige Fragen zur Ihrer Zufriedenheit mit der Behandlung Ihres Kindes zu beantworten.

1) Wie schätzen Sie die Schmerzen Ihres Kindes unmittelbar nach der OP ein?

<input type="checkbox"/>	keine Schmerzen	<input type="checkbox"/>	wenig Schmerzen	<input type="checkbox"/>	Mittelstarke Schmerzen	<input type="checkbox"/>	Starke Schmerzen	<input type="checkbox"/>	sehr starke Schmerzen
--------------------------	--------------------	--------------------------	--------------------	--------------------------	---------------------------	--------------------------	---------------------	--------------------------	--------------------------

2) Wie schätzen Sie die Schmerzen Ihres Kindes einige Tage nach der OP ein?

<input type="checkbox"/>	keine Schmerzen	<input type="checkbox"/>	wenig Schmerzen	<input type="checkbox"/>	Mittelstarke Schmerzen	<input type="checkbox"/>	Starke Schmerzen	<input type="checkbox"/>	sehr starke Schmerzen
--------------------------	--------------------	--------------------------	--------------------	--------------------------	---------------------------	--------------------------	---------------------	--------------------------	--------------------------

3) Waren Sie mit der Wundheilung zufrieden?

<input type="checkbox"/>	ja	<input type="checkbox"/>	nein
--------------------------	----	--------------------------	------

4) Ist ein Bruch an anderer Stelle aufgetreten?

<input type="checkbox"/>	ja	<input type="checkbox"/>	nein	<input type="checkbox"/>	weiß nicht
--------------------------	----	--------------------------	------	--------------------------	---------------

5) Traten nach der OP Komplikationen auf?

<input type="checkbox"/>	ja	<input type="checkbox"/>	nein	<input type="checkbox"/>	weiß nicht
--------------------------	----	--------------------------	------	--------------------------	---------------

Wenn ja, welche:

6) War eine erneute Operation notwendig (außer der Metallentfernung) ?

<input type="checkbox"/>	ja	<input type="checkbox"/>	nein
--------------------------	----	--------------------------	------

7) Wie zufrieden sind Sie mit der Narbe?

<input type="checkbox"/>	sehr zufrieden	<input type="checkbox"/>	zufrieden	<input type="checkbox"/>	teils/teils	<input type="checkbox"/>	wenig zufrieden	<input type="checkbox"/>	sehr unzufrieden
--------------------------	----------------	--------------------------	-----------	--------------------------	-------------	--------------------------	-----------------	--------------------------	------------------

8) Würden Sie diese Art der Behandlung wieder durchführen lassen?

ja

nein

weiß  
nicht

9) Waren Sie mit der Aufklärung über die Studie zufrieden?

ja

Nein

## 8. Danksagung

Meinem Doktorvater PD Dr. med. M.M. Kaiser danke ich für die Überlassung des Themas und für die fachliche und moralische Unterstützung in allen Phasen der Promotion.

Herzlich bedanke ich mich bei den Mitarbeitern der Kinderchirurgie, die mich bei dem reibungslosen Ablauf der Nachuntersuchungen immer unterstützt haben. Mein besonderer Dank gilt Frau Graumann aus dem Sekretariat der Kinderchirurgie und Frau Mink aus der Röntgenabteilung, deren Zeit und Hilfe ich besonders häufig in Anspruch genommen habe.

Mein herzlicher Dank gilt den Eltern für ihre Teilnahmebereitschaft und ihr Vertrauen sowie ihren Kindern für ihre aktive Mitarbeit.

Für die Durchsicht des Manuskriptes, für ihre schier endlose Geduld und für die vielen produktiven Verbesserungsvorschläge bedanke ich mich herzlich bei Frau Dr. med. Marion Rapp, die mich immer wieder neu motiviert und angetrieben hat.

Meinen Eltern möchte ich für ihren unerschütterlichen Glauben an mich danken. Danke für eure Liebe und Unterstützung in allen Lebenslagen.

Meinen Freunden und meiner Familie möchte ich für ihre Geduld, ihr Verständnis und ihre Hilfe danken. Ganz besonders gilt dieser Dank Wiebe Külper und Philipp Dietz für ihren stetigen Zuspruch und ihre unbezahlbare moralische Unterstützung.

## 9. Lebenslauf



### Persönlich Daten

Name: Kristina Helena Albers  
Geburtstag: 21.11.1984  
Geburtsort: Lingen (Ems)  
Staatsangehörigkeit: deutsch  
Religion: römisch-katholisch

### Ausbildung und Beruf

02/2011 – heute	Assistenzärztin in der Allgemein-, Gefäß-, und Viszeralchirurgie am Klinikum Itzehoe
10/2004 – 11/2010	Studium der Humanmedizin an der Universität zu Lübeck. Abschluss: 2. Staatsexamen (2,0)
1996 – 2004	Gymnasium Leoninum Handrup, Abschluss: Allgemeine Hochschulreife (1,8)
1991 – 1996	Grundschule St. Marien Lingen (Ems)

## Promotion

„Diaphysäre Ober- und Unterschenkelchaftfrakturen im Kindesalter :Häufigkeit und Ursache postoperativer Komplikation“

09/2009 – 09/2011	Vorbereitung und Einreichung der Publikation
11/2008 – 08/2009	Auswertung und Verschriftlichung
05/2008 – 10/2008	Selbstständige und praktische Durchführung der Studie
10/2007 – 04/2008	Studienplanung, Erlernen von Untersuchungstechniken, Datenerfassung

## Veröffentlichung

M. Rapp, K. Albers, MM Kaiser: Korrekturingriffe nach Operationen bei Femurchaftfrakturen im Kindesalter. Chirurgische Praxis 73 / Heft 3, 499-512 (2011)

## Auszeichnungen

06/2008	Gewinnerin des Posterpreises des Lübecker Doktorantentages für die Darstellung des Forschungsthemas im Sinne des „public understanding of science“
---------	--