Abteilung für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie
Universitätsklinik Ulm
Professor Dr. med. L. Kinzl

Die Beingeometrie nach intramedullärer Schienung von Ober- und Unterschenkelschaftfrakturen

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

Isabel Lindemann
geboren in *Münster*
2005

Amtierender Dekan: **Prof. Dr. med. Klaus-Michael Debatin**

1. Berichterstatter: **Prof. Dr. Gebhard**

2. Berichterstatter: **Prof. Dr. Brinkmann**

Tag der Promotion: **15.12.2005**

Inhaltsverzeichnis

1 Abkürzungsverzeichnis 1

2 Einleitung 2

3 Allgemeiner Teil 4

3.1 Entwicklung der ESIN 4

3.2 Operationstechnik der ESIN 5

3.3 Patientenkollektiv 8

3.4 Methodik 14

3.4.1 Computertomographie 14

3.4.2 2.5D Sonographie 17

3.4.3 Radiologische Bestimmung der Achsenabweichungen 18

3.4.4 Statistische Auswertung 20

4 Ergebnisse 21

4.1 Femurfrakturen 21

4.1.1 Torsion 21

4.1.2 Länge 25

4.1.3 Achse 30

4.2 Fallbericht 34

27-A 35

4.3 Unterschenkelfrakturen 37

5 Diskussion 41

6 Zusammenfassung 58

7 Literaturverzeichnis 60

8 Danksagung 67

9 Tabellarischer Lebenslauf 68

1 Abkürzungsverzeichnis

aLDFW	=	Anatomischer lateraler distaler femoraler Winkel
AO	=	Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen
AP	=	Im anterior-posterior Strahlengang erstelltes Röntgenbild
AT	=	Antetorsion
CT	=	Computertomographie
ECMES	=	Embrochage centro-medullaire elastique stable
EES	=	Embrochage elastique stable
ESIN	=	Elastic stable intramedullary nailing
mBA	=	Mechanische Beinachse
ME	=	Metallentfernung
OS	=	Oberschenkel
OP	=	Operation
SD	=	Standardabweichung
SHT	=	Schädel-Hirn-Trauma
TEN	=	Elastischer Titannagel
US	=	Unterschenkel

2 Einleitung

Unfälle im Kindesalter sind keine Seltenheit. Besonders gefährdet sind Kinder im Verkehr, bei Sport und Spiel oder in ihrer häuslichen Umgebung. Die Hälfte der verunglückten Kinder (ca. 750 000 pro Jahr) erleiden dabei Knochenbrüche. Die Frakturen sind dabei häufig im Schaftbereich langer Röhrenknochen lokalisiert und betreffen zu 12 % das Femur, zu 11 % die Tibia [10].

Schaftfrakturen bei Kindern und Jugendlichen waren früher eine Domäne der konservativen Therapiemethoden [6, 23, 55]. Ausnahmen davon bildeten allenfalls offene und nicht reponierbare Frakturen, sowie Frakturverletzungen im Rahmen von Poly- und Schädelhirntrauma. Plattenosteosynthese und Fixateur externe stellten dabei die üblichen operativen Therapieverfahren dar [3, 57].

Zur Behandlung instabiler Schaftfrakturen hat sich bei Brüchen der unteren Extremität die intramedulläre Osteosynthese im Sinne der elastisch-stabilen intramedullären Schienung als Standardverfahren vom dritten bis zum zwölften Lebensalter bewährt [19, 45, 48]. Hauptindikationen bilden dabei instabile und irreponible, sowie bis zu erstgradig offene Frakturen [24, 57]. Synonym werden dabei die Begriffe „ECMES“ (=embrochage centro-medullaire elastique stable), „EES“ (=Embrochage elastique stable), „ESIN“ (=elastic stable intramedullary nailing), „TEN“ (=elastischer Titannagel) sowie die „Nancy-Nagelung“ verwendet.

Folgende Vorteile ergeben sich aus dieser Behandlungsform:

Die primär geschlossen reponierten Fragmente werden sicher retiniert. Dies bedingt einen ungestörten peri- sowie endostalen Heilungsprozess unter Ausbildung eines Frakturhämatoms und einer damit verbundenen raschen Frakturheilung [49, 51, 52].

Eine Gipsimmobilisation ist normalerweise nicht erforderlich [35, 51]. Es können sofort aktive Bewegungsübungen mit schmerzadaptierter Belastung durchgeführt werden [53]. Nach einem kurzen stationären Aufenthalt kann das Kind in das gewohnte soziale Umfeld entlassen werden [48, 54].

Nach Abschluß des Heilungsprozesses (ca. 3-4 Monate postoperativ) kann die Materialentfernung ambulant erfolgen [10, 36]. Die minimale Traumatisierung des umgebenden Weichteilmantels bei Einbringen der Schienen bedingt ein ausgezeichnetes kosmetisches Resultat. [10].

Die spezifischen Nachteile, die sich aus diesem operativen Verfahren ergeben, sind:
Bei geschlossener Reposition ist oft eine genaue anatomische Reposition nicht möglich [23, 63]. Die Torsionsstabilität der ESIN – Nägel ist um ein Vielfaches geringer als beispielsweise die Stabilität beim Fixateur externe [42]. Dadurch kann es postoperativ zu Achsen-, Längen- und Torsionsabweichungen nach ESIN von Ober- und Unterschenkelschaftfrakturen kommen.

Ziel dieser Doktorarbeit ist es, die postoperative Beingeometrie, das heißt die mechanische Beinachse, Länge und Torsion der unteren Extremitäten von diesem als sehr kindgerecht geltendem Osteosyntheseverfahren zu erfassen.

3 Allgemeiner Teil

3.1 Entwicklung der ESIN

Die 1977 im Journal der Chirurgie von Lyon publizierte „elastisch stabile Markraumschienung“ nach FIRICA [15] gilt als Vorbild der Nancy-Nagelung nach LIGIER und METAIZEAU [35, 41]. Der Rumäne FIRICA verwendete dabei das einfache Ender-Instrumentarium zum Einbringen der Nägel, wobei hauptsächlich erwachsene Patienten behandelt wurden [13, 14, 15]. Nach experimentellen Vorarbeiten griffen LIGIER und METAIZEAU in Lyon diese Idee auf und übertrugen das Verfahren auch auf kindliche Frakturen. Die erste Publikation von LIGIER und METAIZEAU erfolgte 1983 [35]. Die beiden Kindertraumatologen erklärten in ihrer Veröffentlichung, dass vor allem zwei Gründe für die bis dahin überwiegend konservative Behandlung von Frakturen im Kindesalter sprächen: zum einen die schnelle Heilung und hohe Korrekturpotenz kindlicher Frakturen, zum anderen das Fehlen eines geeigneten Osteosynthesematerials, das die Erfordernisse des noch wachsenden Skeletts berücksichtigte. Gleichzeitig betonten sie die Vorteile ihres weiterentwickelten Verfahrens der ECMES-Nagelung.

Bis 2003 veröffentlichten zahlreiche Autoren Artikel zum Thema Nancy-Nagelung in den unterschiedlichsten Zeitschriften. Im Wesentlichen wurde dabei immer wieder auf die Besonderheiten in der Biomechanik, des Instrumentariums sowie der speziellen Technik der ECMES-Nägel und der sich daraus ergebenden Indikationen für diese Pins eingegangen:

Die Grundidee dieses Verfahrens liegt in zwei gegenläufigen intramedullären Kraftträgern begründet. Diese arbeiten nach dem Prinzip einer sog. „Drei-Punkt-Abstützung“ jedes einzelnen Implantats [31, 50], wodurch eine in allen Bewegungsebenen übungs- und belastungsstabile Versorgung von meta- und diaphysären Frakturen im Kindesalter möglich wird [41]. Die drei Abstützpunkte der Nägel liegen dabei an der Eintrittsstelle, auf Frakturhöhe an der Kortikalis der Gegenseite, sowie in der metaphysären Spongiosa des Gegenfragments. Muskelzug und einwirkende Kraft führen dabei zu einer reversiblen Verformung der Nancy-Nägel. Exzentrisch axiale Biegekräfte bewirken eine Streckung und Distraktion der zum Angriffspunkt der Kraft hin konvexen Schiene. Gleichzeitig überbiegen und komprimieren sie aber die konkave Schiene [25]. Durch die erhöhte

Spannung kommt es zum Aufbau von Rückstellkräften am distrahierten Implantat, bei gleichzeitig einwirkender Biegekraft auf der anderen Seite. Dies bewirkt zwangsläufig eine Rückkehr der Extremität in die Ausgangsposition. Auch die Rotation, die eine gegenläufige Verwindung der Implantate bewirkt, führt so zum Aufbau einer gewissen Spannung innerhalb der Schienen. Insgesamt ermöglicht die Elastizität des Nagels das Abfangen der einzelnen Kräfte. Die Y-förmige Verspreizung der Nägel in den Metaphysen stellt die mechanisch optimalste und effizienteste Kompensation der axial einwirkenden Kräfte dar.

Nach Untersuchungen von FIRICA bewirkt diese Y-förmige Verstrebung eine Reduktion der notwendigen Tragefähigkeit des Implantats zur Kompensation einwirkender Kräfte um 30% [14].

Intaktes Periost, belassenes Frakturhämatom und Mikrobewegungen im Frakturbereich sorgen für eine schnelle Frakturheilung, bei offensichtlich nur geringer Fugenstimulation. Weitreichende Längenveränderungen seien daher nicht zu erwarten [40, 44].

3.2 Operationstechnik der ESIN

Der narkotisierte Patient liegt in Rückenlage auf dem Operationstisch, mit frei beweglichem Hüft- und Kniegelenk. Das chirurgische Instrumentarium umfasst Skalpell, Schere, Pfriem, Pinzette und Nadelhalter. Die erforderliche Nagelstärke wird nach der einfachen Formel Markraumdurchmesser in Schaftmitte dividiert durch drei ermittelt. Die Eintrittsstelle liegt grundsätzlich außerhalb der Gelenkkapsel und ca. 1 cm proximal der Wachstumsfugen. Die Schienung kann je nach Frakturlokalisation aszendierend oder deszendierend erfolgen. Die aszendierende Oberschenkelschienung erfolgt dabei von lateral und medial (Abb. 1). Bei der deszendierenden Schienung am Oberschenkel liegt der Zugang lateralseitig subtrochantär [37, 48] (Abb. 2).

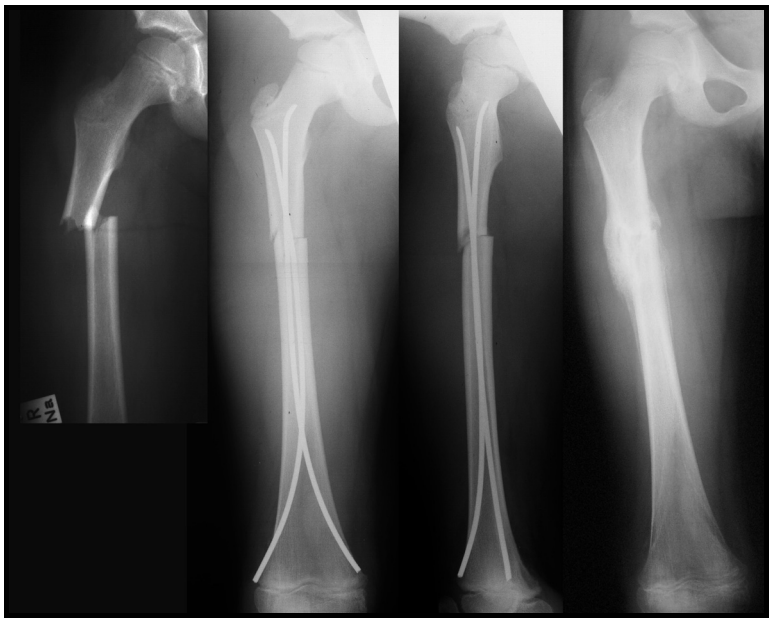


Abb. 1: Stabilisierung einer proximalen Oberschenkelschaftfraktur mit aszendierender ESIN. Unfallbild, postoperatives Bild und Ausheilungsergebnis bei einem 8 jährigen Jungen nach 4 Monaten.

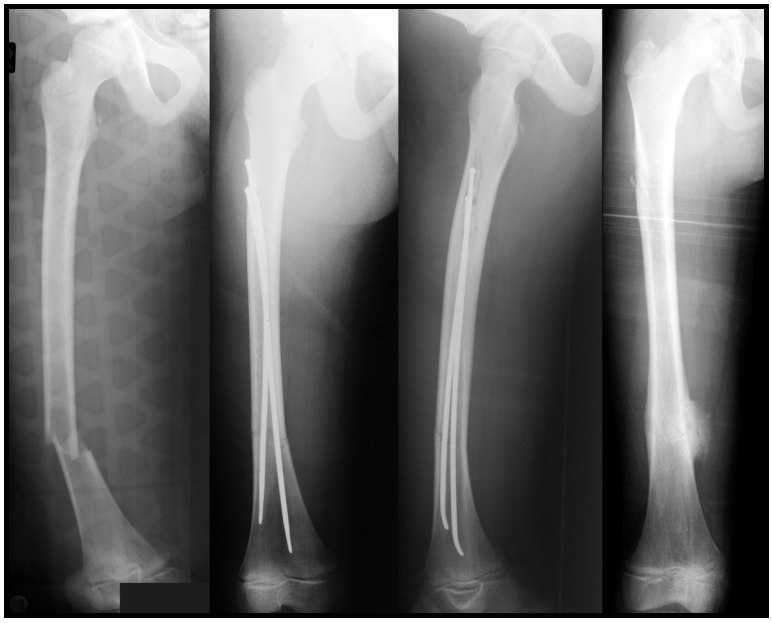


Abb. 2: Stabilisierung einer distalen Oberschenkelschaftfraktur mit deszendierender ESIN. Unfallbild, postoperatives Bild und Ausheilungsergebnis bei einem 9 jährigen Mädchen nach 5 Monaten.

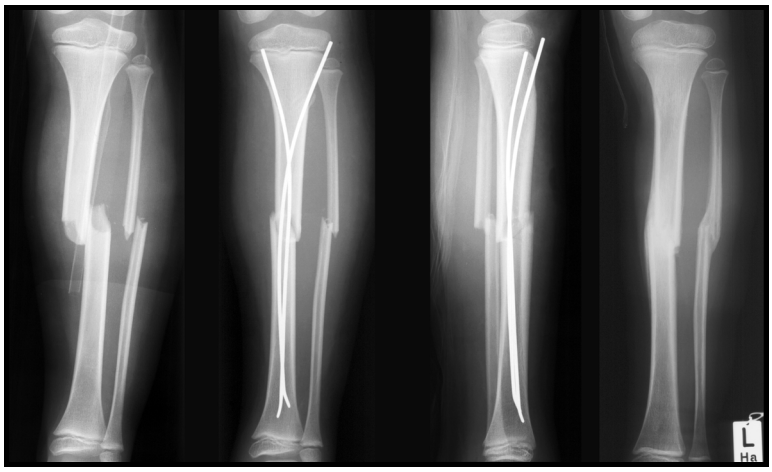


Abb. 3: Stabilisierung einer Unterschenkelschaftfraktur mit deszendierender ESIN. Unfallbild, postoperatives Bild und Ausheilungsergebnis bei einem 8 jährigen Jungen nach 4 Monaten.

Die deszendierende Tibiaschienung (Abb. 3) erfolgt wiederum über zwei Eintrittsstellen. Diese liegen medial und lateral der Tuberositas tibiae [65]. Die Perforationen der Kortikalis können durch einen Pfriem oder eine Universalbohrmaschine mit Gewebeschutz erfolgen. Das Vorschieben der Schienen sollte unter rechts/links Drehbewegungen geschehen, um eine Perforation der Gegenkortikalis zur vermeiden. Zuletzt wird die Schiene mit einem Bolzenschneider gekürzt. Um eine Perforation des scharf abgeschnittenen Schienenendes durch die Haut zu verhindern, kann die Schiene mit einer Kunststoffkappe versehen werden. Außerdem sollten die Enden ausreichend mit Weichteilen bedeckt sein [44, 63].

3.3 Patientenkollektiv

In einer prospektiv angelegten Studie wurden alle kindlichen Ober- und Unterschenkelfrakturen im Zeitraum von 8/91 bis 8/02 mit ESIN erfasst. Die Studie wurde von der Ethikkommission der Universität Ulm, Nummer 251/2004 genehmigt.

Um das gesunde Bein als Referenz heranziehen zu können, wurden folgende Eintrittskriterien formuliert:

- Isolierte Oberschenkel- oder Unterschenkelfraktur mit ESIN stabilisiert
- Einverständnis zur Studienteilnahme

Als Ausschlusskriterien galten folgende Faktoren:

- Weitere knöcherne Verletzungen im Bereich der unteren Extremität
- Persistierende neurologische Defizite, da diese einen Einfluss auf die Beingeometrie haben können [9].

Um das definitive Operationsergebnis zu erfassen, erfolgte die Bestimmung der Beingeometrie nach der Metallentfernung. Der Nachuntersuchungszeitraum per Computertomographie (8/91 bis 7/95) bzw. Sonographie (7/95 bis 8/02) erstreckte sich dabei über durchschnittlich 6 Monate (4 bis 7 Monate) nach dem Unfallereignis. Im Erfassungszeitraum von 8/91 bis 8/02 wurden 81 Kinder mit isolierten Ober- und Unterschenkelschaftfrakturen durch ESIN stabilisiert. Bei 3 Kindern willigten die Eltern nicht in die Studienteilnahme ein, so dass letztendlich 78 Patienten in die Studie aufgenommen werden konnten. Während des Nachuntersuchungszeitraums verstarb eine Patientin nach einem Unfall, zwei Patienten kehrten in ihr Heimatland zurück und zwei Patienten erschienen nicht zur Nachuntersuchung, äußerten allerdings in schriftlicher Form keinerlei Beschwerden nach ihrer Operation. Die Drop-out Rate entspricht somit 6% (5/78).

Von den 73 nachuntersuchten Studienteilnehmern waren 25 Mädchen und 48 Jungen.

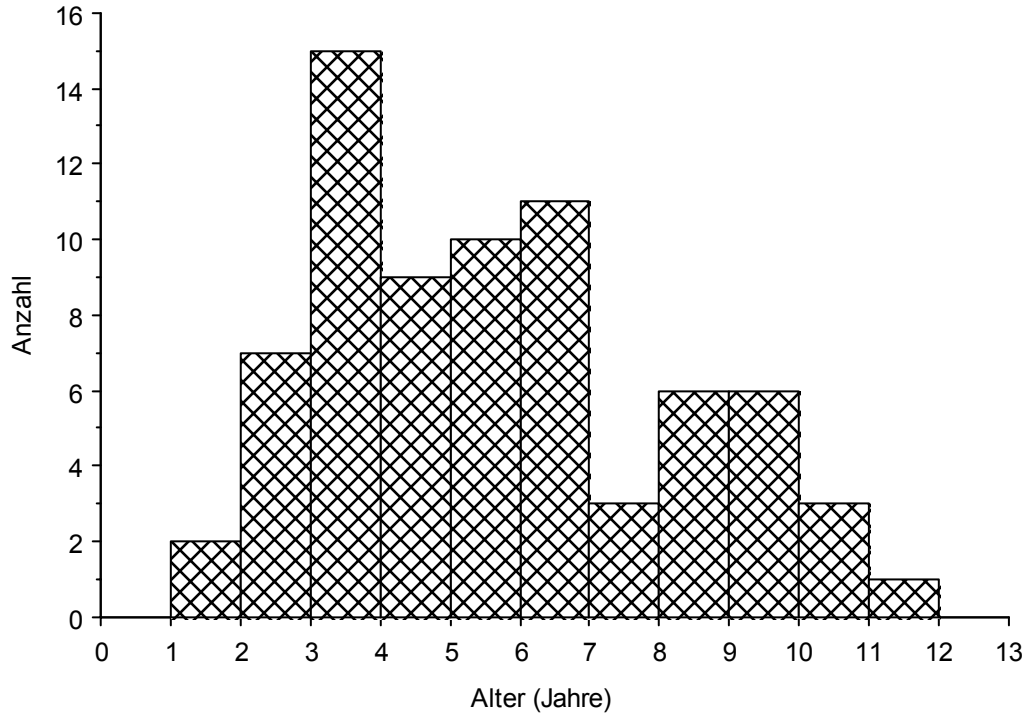


Abb. 4: Altersverteilung der 73 Studienteilnehmer, bei welchen im Zeitraum von 8/91 bis 8/02 nach ESIN die Beingeometrie bestimmt werden konnte.

Das Alter der Kinder betrug im Median 5,3 Jahre, wobei der jüngsten Studienteilnehmer 1,9 Jahre, die älteste 11,5 Jahre alt waren (Abb. 4).

Einer anderen Nationalität als der deutschen gehörten 19 von 73 Studienteilnehmern an: 14 Patienten waren türkischer Herkunft, zwei Patienten waren Italiener, ein Patient war französischer Staatsbürger, ein Studienteilnehmer war Algerier, ein weiterer Eriträer (Abb.5).

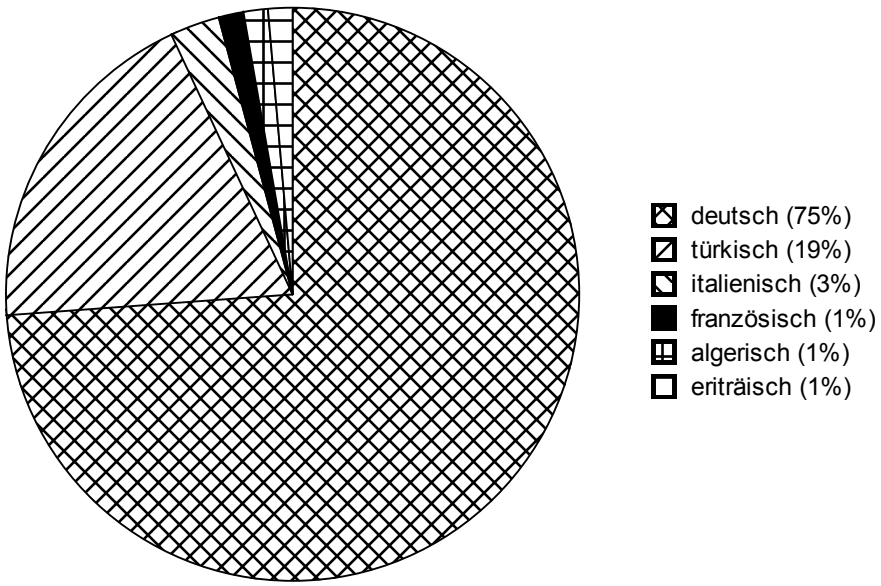


Abb. 5: Relative Verteilung der Staatsangehörigkeit der 73 nachuntersuchten Kinder.

Bezogen auf das Jahr des Unfalls (1991-2002) (Abb. 6) verunglückten die meisten Studienteilnehmer im Jahr 1997 (15 Patienten). Im Jahr 1994, sowie im Jahr 2001 mussten aufgrund ihres Unfalls jeweils 8 Patienten mit intramedullärer Schienung versorgt werden. In den Jahren 1998 und 2000 waren es jeweils 7 Patienten. Der Rest der Verunfallten verteilte sich auf die übrigen 7 Jahre des Untersuchungszeitraums. Diese Schwankungsbreite lässt sich damit erklären, dass bis 1998 klinikintern keine einheitliche Richtlinie zur Stabilisierung der Ober- und Unterschenkelfrakturen bestand. Somit wurden bis zu diesem Zeitraum auch andere Osteosyntheseverfahren angewandt. Des Weiteren gewann ab 1997/98 die Versorgung mit ESIN als Standardverfahren im Kindesalter auch in Kreiskrankenhäusern der Ulmer Umgebung an Bedeutung, so dass im Universitätsklinikum insgesamt weniger Patienten mit Oberschenkelschaftfrakturen behandelt wurden. Dieser Trend spiegelt sich auch in der Zahl der Primäreinweisungen wieder. Zu Beginn der neunziger Jahre wurde fast ein Viertel der Patienten aus anderen Krankenhäusern zu verlegt. Mit den Jahren zeigte diese Anzahl eine stark abnehmende Tendenz.

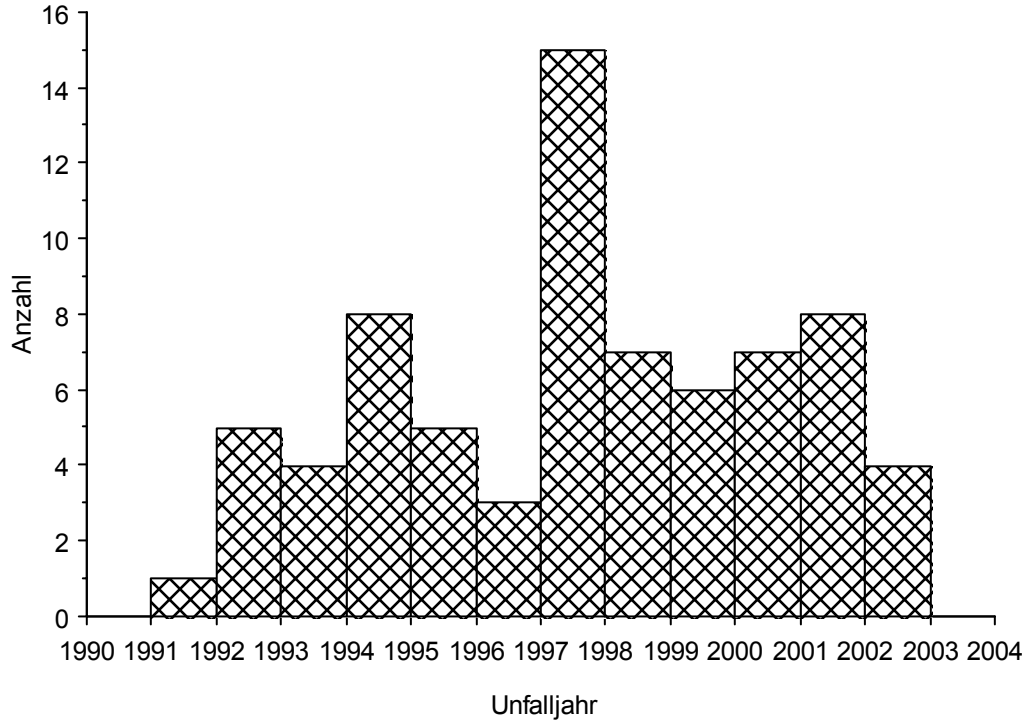


Abb. 6: Häufigkeit der nachuntersuchten Studienteilnehmer mit ESIN im Zeitraum von 8/91 bis 8/02 (n=73).

Die Verunfallten zogen sich dabei in der Mehrzahl der Fälle eine Spiralfraktur im Bereich der Diaphyse zu (n=30; A1.1-3) zu. An zweiter Stelle lagen einfache diaphysäre Querfrakturen (n=22; A3.1-3) gefolgt von den einfachen Schrägfrakturen (n=9; A2.1-3).

Keilfrakturen mit einem Biegungskeil (B2.1-3) konnte bei 7 Kindern, Keilfrakturen mit einem Drehkeil (B1.1-3) bei 3 und Keilfrakturen mit einem fragmentierten Keil (B3.1-2) bei 2 Kindern diagnostiziert werden (Abb.7). Somit setzen sich die kindlichen Schaftfrakturen im Bereich der unteren Extremität in 84% (61/73) aus den einfachen Spiral-, Quer- und Schrägfrakturen zusammen, wobei die Spiral- und Querfrakturen mit Abstand am häufigsten vertreten sind [43].

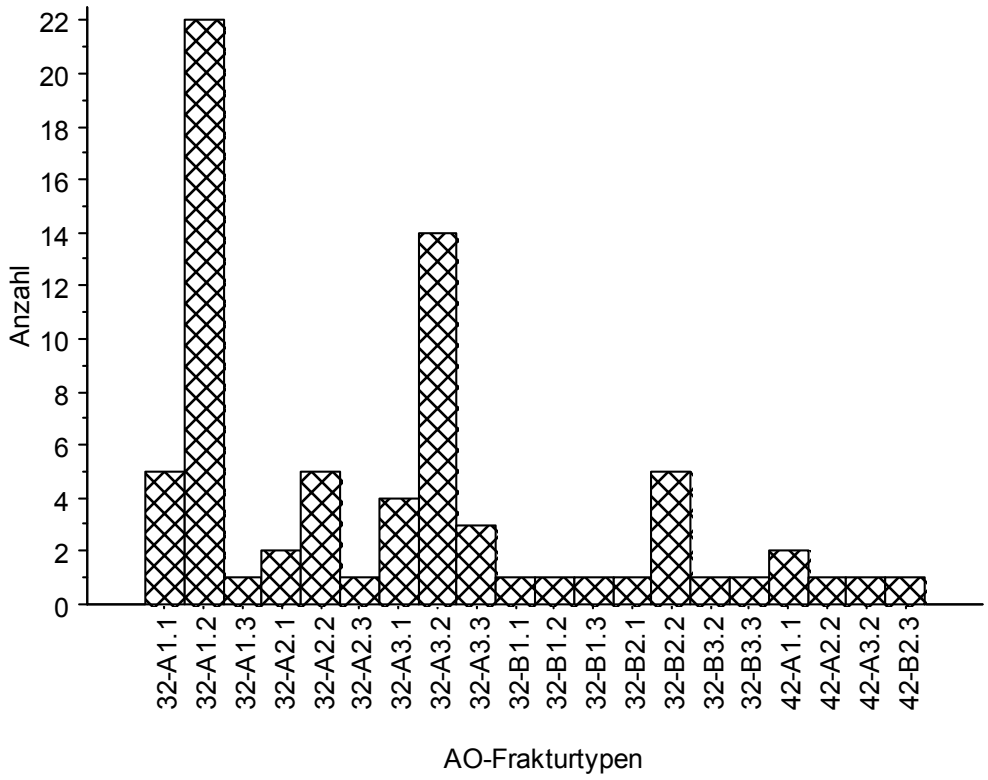


Abb. 7: Verteilung der Frakturen im Bereich des Femur- und Tibiaschaftes nach der AO-Klassifikation (n=73).

Im nachuntersuchten Patientenkollektiv hatten sich 70 Kinder eine geschlossene Fraktur zugezogen, nur bei drei Verunfallten wurden erstgradig offene Frakturen osteosynthetisch mit ESIN stabilisiert.

Nach der Klassifikation von Tscherne und Gotzen [70] handelte es sich in der Mehrzahl der Fälle (n=53) um erstgradig geschlossene Frakturen, das heißt Frakturen mit einer oberflächlichen Schürfung oder Kontusion durch einen Fragmentdruck von innen.

Bei 15 Patienten konnte keine oder nur eine unbedeutende Weichteilverletzung (G 0) diagnostiziert werden. Ein Kind hatte eine tiefe kontaminierte Schürfung mit lokaler Hautkontusion (G 2), ein weiteres eine ausgedehnte Hautkontusion mit subcutanem Décollement (G 3).

Eine erstgradig offene Fraktur (O 1), das heißt eine Durchspießung der Haut mit nur geringer Kontusion konnte bei 3 Patienten bei der Aufnahme festgestellt werden (Abb. 8).

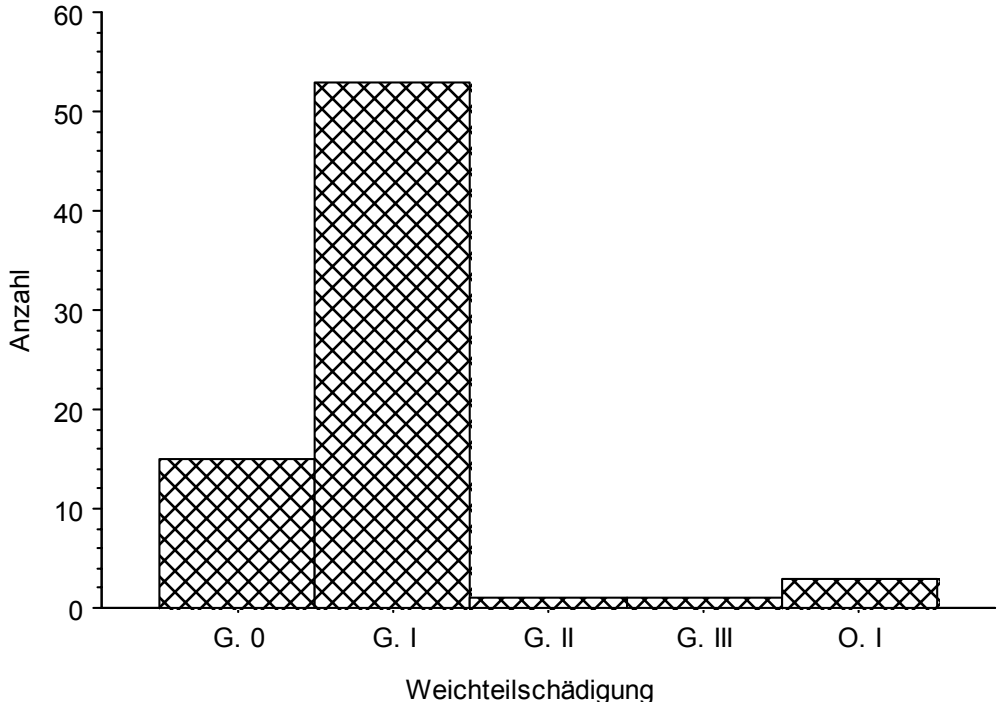


Abb. 8: Verteilung der Weichteilschädigung im Patientenkollektiv (n=73) Tscherne und Gotzen (159).

Im Patientenkollektiv wiesen 49 der 73 Studienteilnehmer (67%) keinerlei Begleitverletzungen auf, 24 Patienten (33%) zeigten hingegen neben ihrer Ober- oder Unterschenkelschaftfraktur noch Verletzungen in anderen Körperbereichen (Abb. 9). Elf Studienteilnehmer wiesen ein Schädelhirntrauma ersten bis zweiten Grades auf, sieben Patienten hatten neben ihrer Fraktur an der unteren Extremität noch ein Abdominaltrauma erlitten, vier weitere Patienten ein Thoraxtrauma und zwei Patienten hatten eine weitere Fraktur im Bereich der oberen Extremitäten.

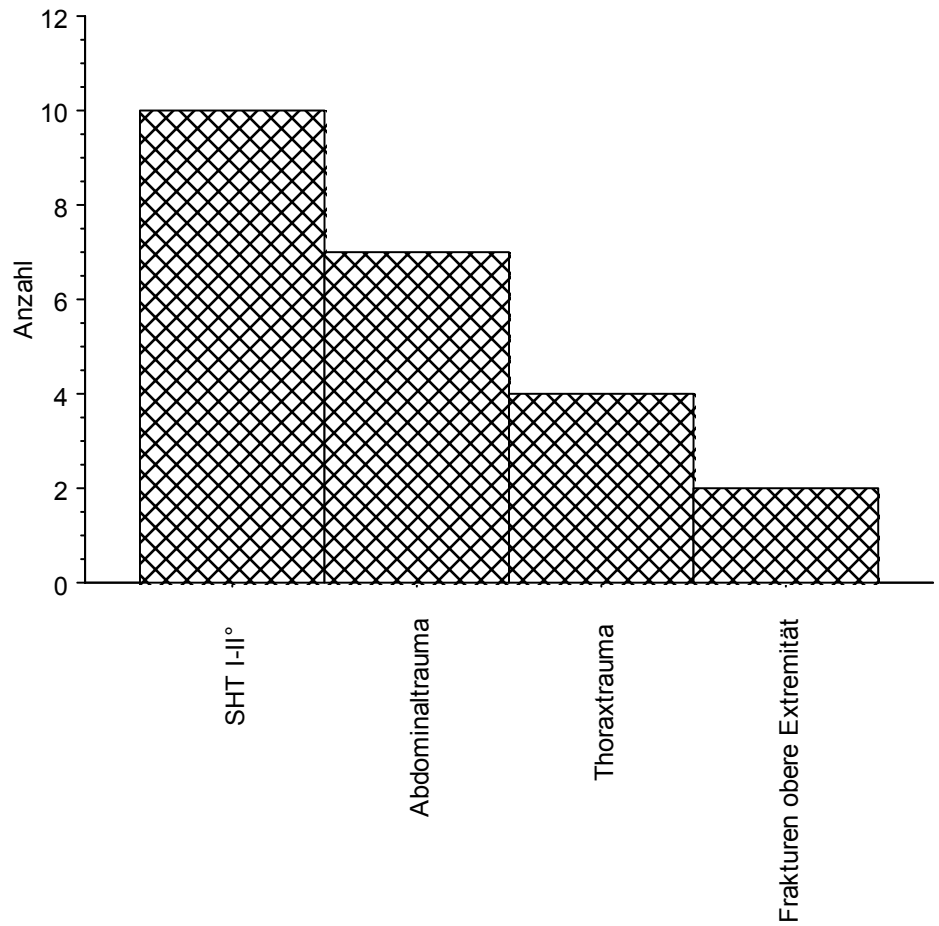


Abb. 9: Verteilung der 24 Begleitverletzungen im Patientenkollektiv (n=73).

Die Metallentfernung erfolgte zwischen drei und sieben Monaten nach der Implantation (Median 4 Monate), die computertomographische beziehungsweise sonographische Nachuntersuchung des Patientenkollektives erfolgte zwischen vier und sieben Monaten (Median 5 Monate) nach dem Unfallereignis.

3.4 Methodik

3.4.1 Computertomographie

Im Zeitraum von 8/91 bis 7/95 wurden insgesamt 21 Patienten computertomographisch untersucht. Die computertomographische Bestimmung der Beingeometrie nach WAIDELICH [73] gilt hierbei als Goldstandard zur Bestimmung von Torsions- und

Längendifferenzen an der unteren Extremität. Zur Reduktion der Anzahl der Schichtaufnahmen im strahlensensiblen Beckenbereich wird ein Beckengeradstand angestrebt. Falls erforderlich kann dieser mit Längenausgleich durch entsprechende Lagerungsmittel erfolgen. Im Gegensatz zu der seit 1955 verwendeten Methode nach RIPPSTEIN [60] ist die Strahlenbelastung bei der Methode nach WAIDELICH für den Patienten deutlich geringer. Gegenüber konventionellen Beckenaufnahmen, von denen bei der Methode nach RIPPSTEIN zwei erforderlich sind und die jeweils mit einer mittleren Oberflächendosis von 10-20 mGy, sowie einer Gonadendosis von 9 mGy einhergehen, wird der Patient bei der Methode nach WAIDELICH lediglich mit einer Hauteinfalldosis von 6,3 ± 1,2 mGy und einer Gonadendosis von 2,5 ± 0,3 mGy bei der Frau bzw. 0,7 ± 0,1 mGy beim Mann belastet [73].

Mit Hilfe eines Topogramms (sog. Scoutview) werden an Ober- und Unterschenkel seitengleich repräsentative Schichten durch bestimmte knöcherne Strukturen gelegt. Zu diesen gehören am Oberschenkel das Hüftkopfzentrum jeweils beider Seiten, die Trochantera majora (distal der Fossa trochanterica bzw. auf der Hälfte zwischen der Spitze des Trochanter major und minor), sowie die Femurkondylen (ca. 2 cm proximal des Kniegelenkspaltes in Höhe ihrer maximalen dorsalen Ausdehnung). Am Unterschenkel verlaufen die Schnittebenen einerseits durch die Tibiakondylen knapp distal der Gelenkfläche, sowie andererseits durch die oberen Sprunggelenke wenig proximal der Gelenkfläche [73].

Auf dem Topogramm wird außerdem die Ober- und Unterschenkellänge sowie die Beinlänge bestimmt. Dabei wird die Oberschenkellänge als der Abstand vom Oberrand des Hüftkopfes bis zur Eminentia intercondylaris und die Unterschenkellänge als der Abstand zwischen Eminentia intercondylaris und oberer Sprunggelenksspalt definiert.

Zur Torsionswinkelmessung sind die folgenden Achsen von besonderer Bedeutung:

- Die proximale Femurachse. Diese wird durch das Hüftkopfzentrum und den durch eine einhüllende Ellipse graphisch approximierten Flächenmittelpunkt des Trochanter major festgelegt.

- Die distale Femur- und proximale Tibiaachse. Hierbei wählt man die jeweilige Kondylenhinterkantentangente.
- Die distale Tibiaachse. Diese wird vom Flächenmittelpunkt der Innenknöchelbasis und je nach Form vom Flächenmittel- oder Halbierungspunkt der Incisura fibularis gebildet, wobei sich die jeweiligen Flächenmittelpunkte wie an den Trochanteren aus einer die knöchernen Konturen einhüllenden Ellipse ergeben.

Mit dem standardmäßig vorhandenen Winkelmessprogramm erfolgt die Winkelmessung zwischen den proximalen und distalen Transversalachsen des jeweiligen Extremitätenabschnitts. Innentorsionen werden dabei definitionsgemäß als Negativwinkel aufgeführt, Außentorsionen sind per definitionem positiv. Längenmesspunkte bilden am Oberschenkel die proximale Hüftkopfkontur und die distale Femurkondylenkontur, am Unterschenkel die Eminentia intercondylaris und der obere Sprunggelenksspalt (Abb.10).

Abb. 10: Computertomographisch Torsionswinkel- und Längenmessung nach der Methode von WAIDELICH ET AL. [73]

3.4.2 2.5D Sonographie

Ab Juli 1995 wurden die Torsionswinkel und Längen von Ober- und Unterschenkel bei den übrigen 52 Studienteilnehmern sonographisch ermittelt. Dabei wurde ein Ultraschall-Meßsystem bestehend aus einem 3D Navigationssystem und einem 2D Ultraschallsystem (2.5 D - Sonographie) verwendet. Wie Untersuchungen an Kindern und Jugendlichen gezeigt haben, sind die sonographischen Ergebnisse denen der Computertomographie gleichwertig [2]. Ein wesentlicher Vorteil des Ultraschallsystems liegt in der fehlenden Strahlenbelastung Die Methode ist ferner geringer bewegungsempfindlich als die Methode nach WAIDELICH. Außerdem können in einem Untersuchungsgang Längen, Torsionen von Ober- und Unterschenkel sowie die mechanische Beinachse sonographisch bestimmt werden [28, 29].

.

Analog der Computertomographie werden bei der sonographischen Bestimmung der Oberschenkeltorsion (Abb. 11) der Trochanter major und der Hüftkopf von ventral, sowie die Fermurkondylen von dorsal dargestellt. Die auf der Horizontalebene projizierten Tangenten ergeben die Oberschenkeltorsion. Die Unterschenkeltorsion ergibt sich aus dem Winkel zwischen der Tangente an der zur Tibiahinterkante, sowie der Tangente zum ventralen Anteil des Talus. Die Oberschenkellänge ist der Abstand zwischen Hüftkopfzentrum, welches durch zwei senkrecht zueinander stehende sonographische Schnitte bestimmt wird, und dem Kniegelenkszentrum, der Mitte zwischen Eminentia intercondylaris, sowie der Mitte des dorsalen Randes vom Tibiaplateau. Die Unterschenkellänge errechnet sich aus dem Abstand zwischen Kniegelenkszentrum und Sprunggelenkszentrum, welches durch einen Longitudinalschnitt zur Darstellung des oberen Sprunggelenkspaltes und einen Transversalschnitt zur Bestimmung der Mitte des Talus errechnet wird. Als mechanische Beinachse bezeichnet man den von medial gemessenen Winkel zwischen Hüft-, Knie- und Sprunggelenkszentrum.
Analog der Ulmer CT-Methode wurden die Antetorsionswinkel mit negativem Vorzeichen versehen, die Retrotorsionswinkel mit positivem. Eine Verkürzung des kranken Beins gegenüber dem gesunden wurde mit minus, eine Verlängerung mit plus bezeichnet.

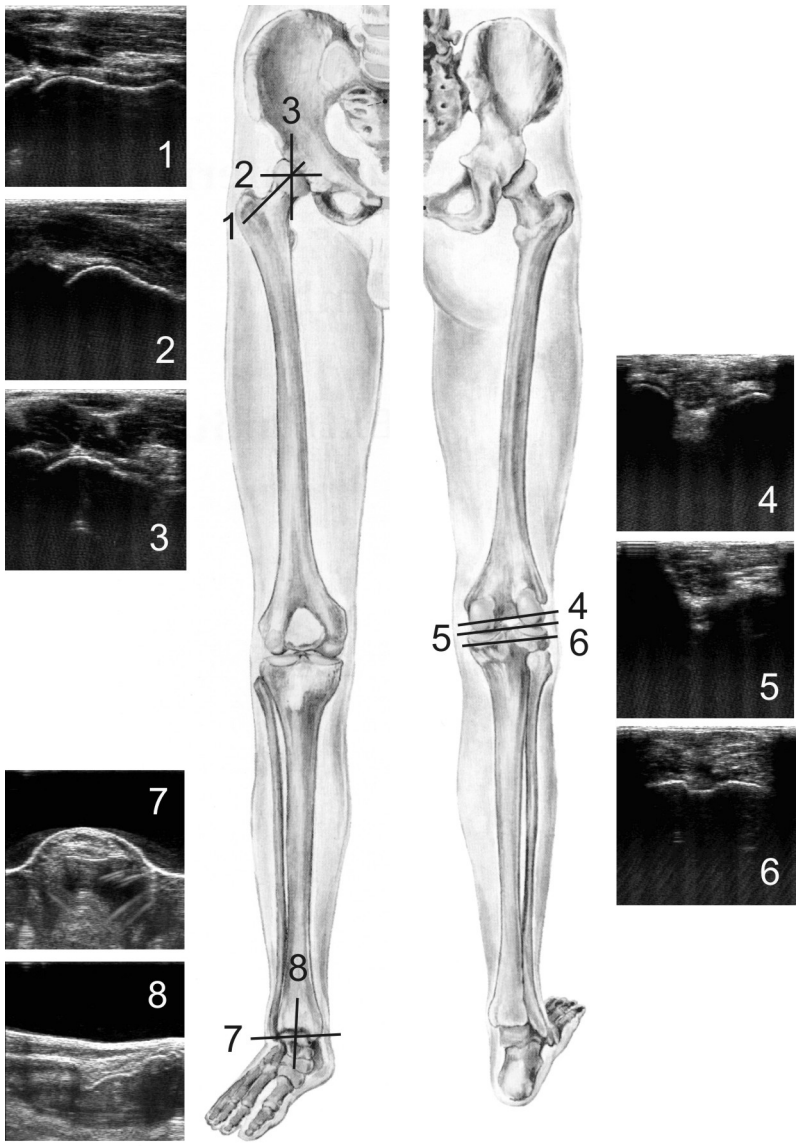


Abb. 11: Sonographische Schnittebenen der 2.5D-sonographische Bestimmung der Beingeometrie nach der Methode von KEPPLER ET AL. [27, 28]

3.4.3 Radiologische Bestimmung der Achsenabweichungen

Die postoperative Bestimmung der Achsenabweichungen im Bereich des Femur- oder Tibiaschaftes erfolgte auf dem AP und lateralen Röntgenbild vor der Metallentfernung. Hierzu wurde die Schaftachse, welche approximativ im geometrischen Zentrum des Schaftes verläuft, im proximalen und distalen Segment eingezeichnet und der Winkel zwischen den beiden Linien in beiden Projektionen bestimmt [47] (Abb. 12). Unter der

Annahme, dass die beiden Röntgenbilder senkrecht aufeinander stehen, wurde die tatsächliche Achsenabweichung nach folgender trigonometrischen Formel berechnet [20]:

$$\tan\alpha = \sqrt{(\tan\alpha_1)^2 + (\tan\alpha_2)^2}$$

$\tan\alpha$: tatsächliche Achsenabweichung

$\tan\alpha_1$*:* Achsenabweichung in der Frontalebene

$\tan\alpha_2$*:* Achsenabweichung in der Sagittalebene

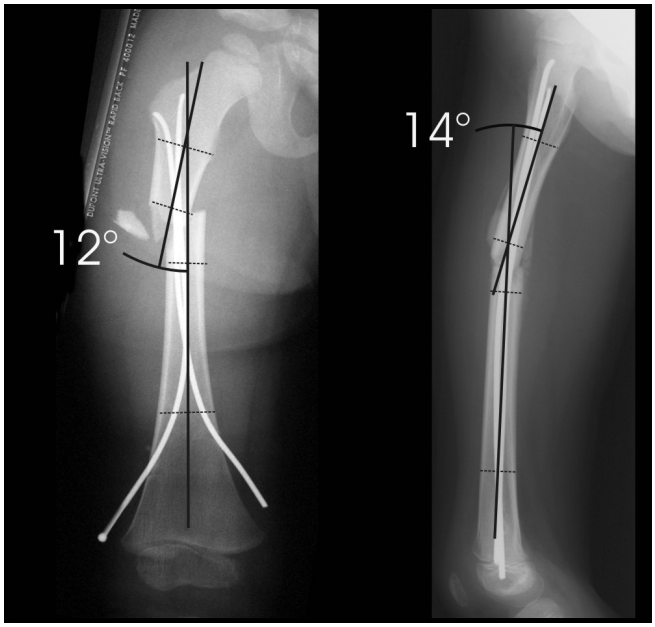


Abb. 12: Bestimmung der postoperativen Achsenabweichungen auf dem AP und lateralen Röntgenbild. Der echte Deformitätswinkel beträgt in diesem Beispiel 18°.

Auf Grund des klinischen Verdachts auf eine erhebliche Beinachsenabweichung erfolgte bei einem Patienten die Bestimmung der mechanischen Beinachse mit einer Röntgenganzbeinaufnahme.

3.4.4 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung der sonographischen und computertomographischen Daten wurde mit dem Programm StatView V 5.0 durchgeführt. Der Vergleich zwischen dem gesunden und dem frakturierten Bein erfolgte mit dem Wilcoxon-Vorzeichen-Rangsummentest für gepaarte Daten, der Vergleich mehrerer voneinander unabhängiger Gruppen mit dem Kurskal Wallis Test.

Die unterschiedlichen Streuungen der Werte wurden mit Hilfe der zugehörigen Varianzen mit dem F-Test analysiert.

Als Nullhypothese wurde formuliert, dass sich die Beingeometrie des gesunden Beines nicht vom kranken Bein unterscheidet. Die Irrtumswahrscheinlichkeit wurde mit α=0,05 festgelegt [22].

4 Ergebnisse

4.1 Femurfrakturen

Im untersuchten Patientenkollektiv hatten sich 67 der insgesamt 68 Kinder eine primäre Femurschaftfraktur zugezogen, bei einer Patientin handelte es sich um eine Refraktur nach primärer Fixateur externe Behandlung. Bei 43 Kindern war die Fraktur rechtsseitig, bei den übrigen 25 auf der linken Seite lokalisiert.

4.1.1 Torsion

Die Oberschenkeltorsion des verunfallten Beines lag im Median bei –15,5° (Spanne –38,0° bis +21,0°), auf der gesunden Gegenseite betrug die mediane Oberschenkeltorsion –28,0° (Spanne –55,0° bis –5). Dieser Unterschied war hochsignifikant (Abb. 13).

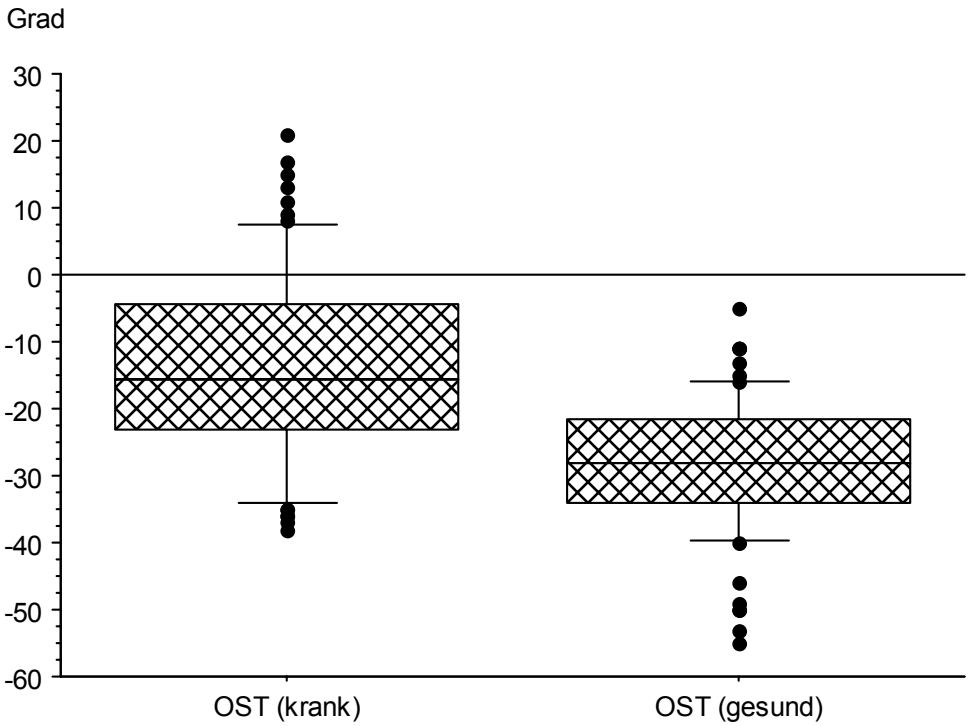


Abb. 13 : Verteilung der Oberschenkeltorsion (OST) der kranken und der gesunden Gegenseite (n=68; p<0,001).

Ferner konnte festgestellt werden, dass die Subtraktion des Torsionswinkels der frakturierten Seite von der gesunden Gegenseite in der Mehrzahl der Fälle positive Werte ergab. Der gebrochene Oberschenkel konsolidiert folglich meistens in einer relativen Außentorsionsabweichung, nur in neun Fällen (13%) lagen negative Werte, das heißt relative Innentorsionsabweichung vor (Abb. 14).

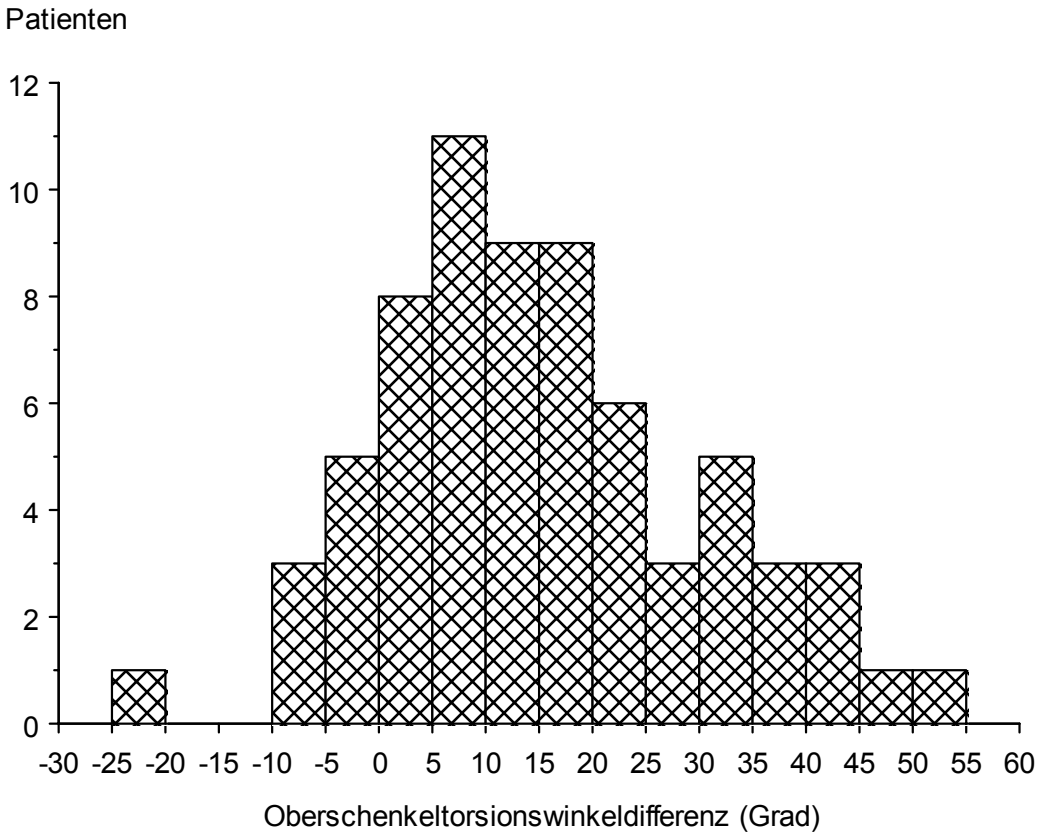


Abb. 14: Torsionsabweichung des kranken Oberschenkels relativ zur gesunden Gegenseite. Positive Werte beschreiben relative Außentorsions-, negative Werte relative Innentorsionsabweichungen (n=68).

Im Median ergab sich eine relative Außentorsionsabweichung von 12°. Dabei betrug die maximale Innentorsionsabweichung –25,0°, die maximale Außentorsionsabweichung +51°.

Bei 31 Femurfrakturen bestand eine intraindividuelle Torsionswinkeldifferenz von 15° oder mehr (>95. Perzentil) [30]. Diese lag bei fast allen Patienten im positiven Bereich. Nur bei einem Studienteilnehmer zeigte sich eine relative Innentorsionsabweichung von mehr als 15° (Abb. 14).

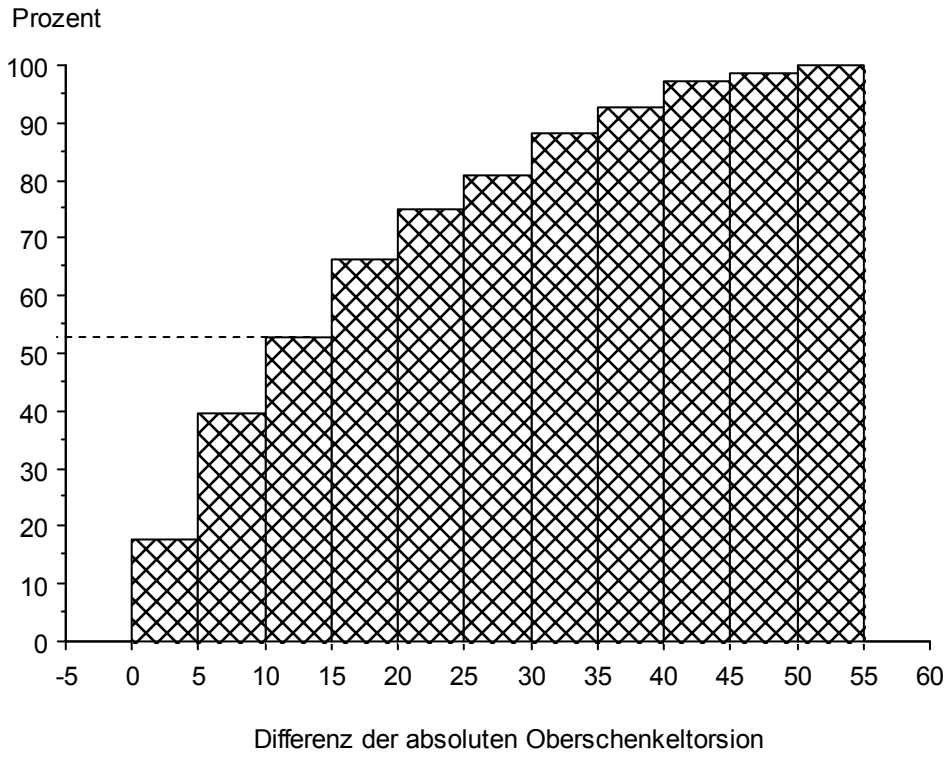


Abb. 15: Kumulative Häufigkeit der absoluten intraindividuellen Torsionswinkeldifferenzen nach Oberschenkelschaftfrakturen. Die physiologische intraindividuelle Torsionswinkeldifferenz von 15° wird in 47% überschritten (n=68).

Wie das Histogramm der kumulativen absoluten intraindividuellen Torsionswinkeldifferenzen der Oberschenkel zeigt, wird bei fast jedem zweiten Patienten (47%) die noch als physiologisch angesehene intraindividuelle Torsionswinkeldifferenz von 15° überschritten (Abb.15).

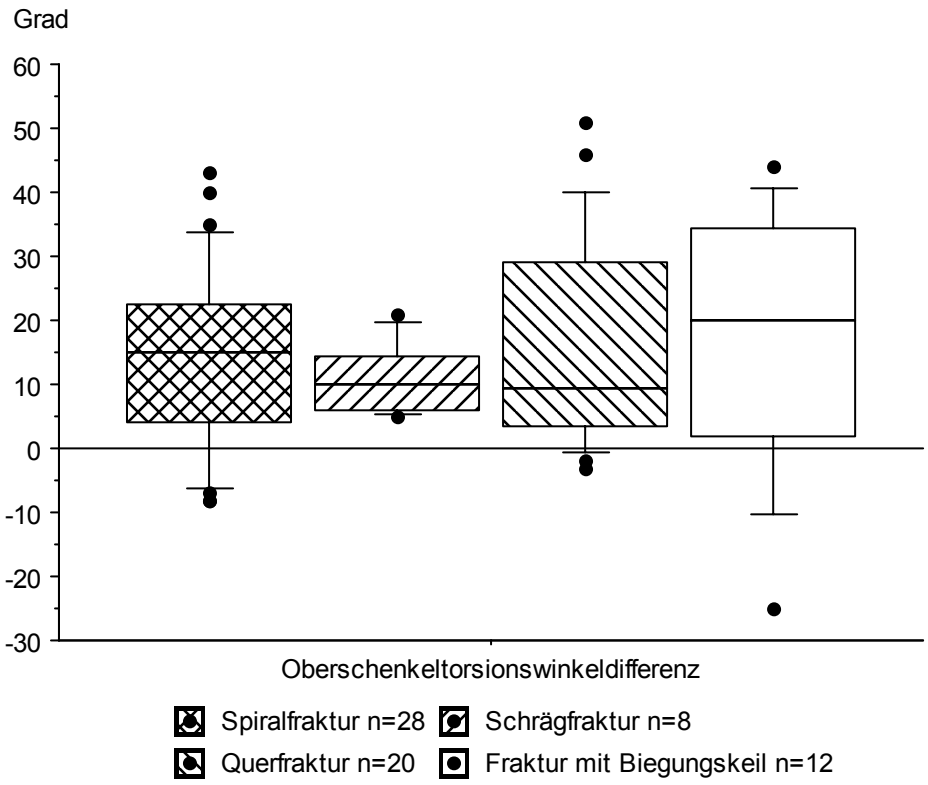


Abb. 16 : Verteilung der intraindividuellen Torsionswinkeldifferenzen der Femura in Abhängigkeit vom Frakturtyp nach Oberschenkelschaftfrakturen (n=68; p=0,91).

Betrachtet man die intraindividuellen Torsionswinkeldifferenzen in Abhängigkeit vom Frakturtyp (Abb. 16), so ergibt sich folgendes Bild: Die medianen Torsionswinkeldifferenzen der einzelnen Untergruppen liegen alle im positiven Bereich, das heißt es liegt eine relative Außentorsionsabweichung vor. Die Schräg- und Querfrakturen haben eine relative mediane Außentorsionsabweichung von neun bzw. zehn Grad. Es folgen die Spiralfrakturen mit 15° und die Frakturen mit einem Biegungskeil mit 20°. Ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen konnte nicht nachgewiesen werden.

Da pathologische intraindividuelle Torsionswinkelabweichungen im Bereich der Oberschenkel durch gegenläufige Abweichungen im Bereich der Unterschenkel kompensiert werden können, wurde zusätzlich die Torsionswinkeldifferenz beider Beine ermittelt. Diese beschrieb – ähnlich wie die alleinige Torsionswinkeldifferenz der Femura beider Seiten – im Wesentlichen eine relative Außentorsionsabweichung. Nur bei 9

Kindern lag die Torsionswinkeldifferenz der Beine im negativen Bereich und beschrieb somit eine relative Innentorsionsabweichung. Eine intraindividuelle Torsionswinkeldifferenz im Bereich der Beine von mehr als 15° hatten 31 der 68 Studienteilnehmer (46%). Dabei bestand bei allen eine relative Außentorsionsabweichung (Abb. 17).

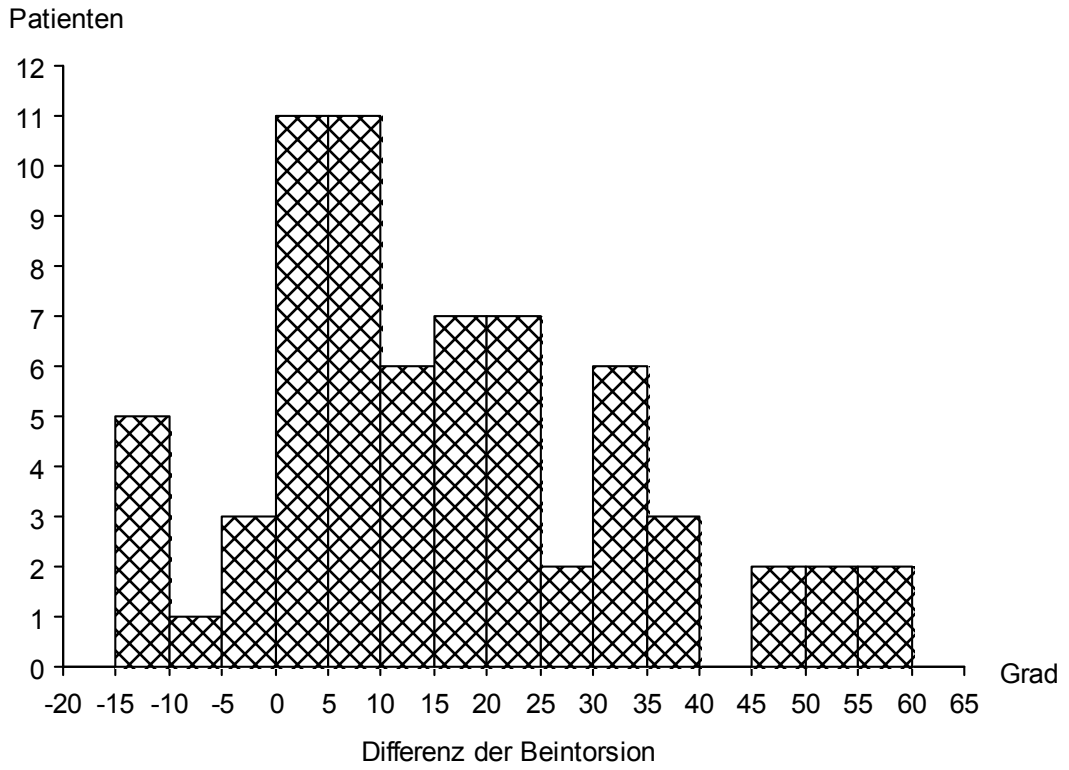


Abb. 17: Verteilung der intraindividuellen Torsionswinkeldifferenzen zwischen gesundem und krankem Bein. Positive Werte beschreiben relative Außentorsions-, negative Werte relative Innentorsionsabweichungen (n=68).

4.1.2 Länge

Beim Vergleich der absoluten Oberschenkellängen konnte zwischen krankem und gesundem Oberschenkel kein signifikanter Unterschied nach der Metallentfernung nachgewiesen werden. Die durchschnittliche Länge des kranken und gesunden Oberschenkels betrug 316mm mit einer Spannweite zwischen 187mm und 516mm (Abb. 18).

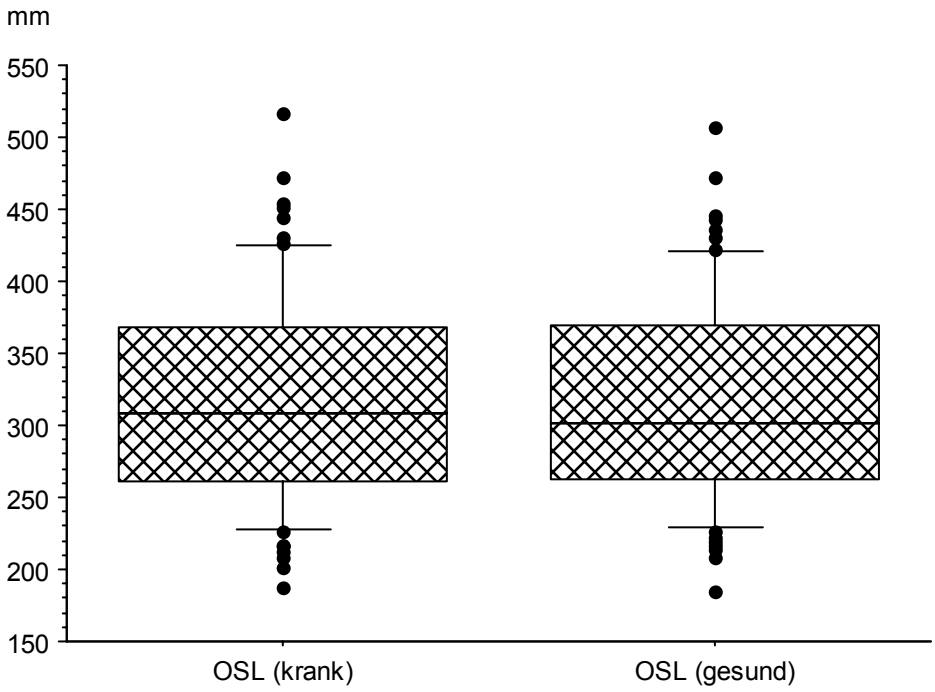


Abb. 18: Verteilung der Oberschenkellängen (OSL) der kranken Seite und zum Vergleich der gesunden Gegenseite (n=68; p=050).

Die intraindividuelle Längendifferenz der Oberschenkel betrug im Mittel +0,5mm. Die maximale Oberschenkelverkürzung betrug 13mm, die maximale Verlängerung +14mm (Abb. 19).

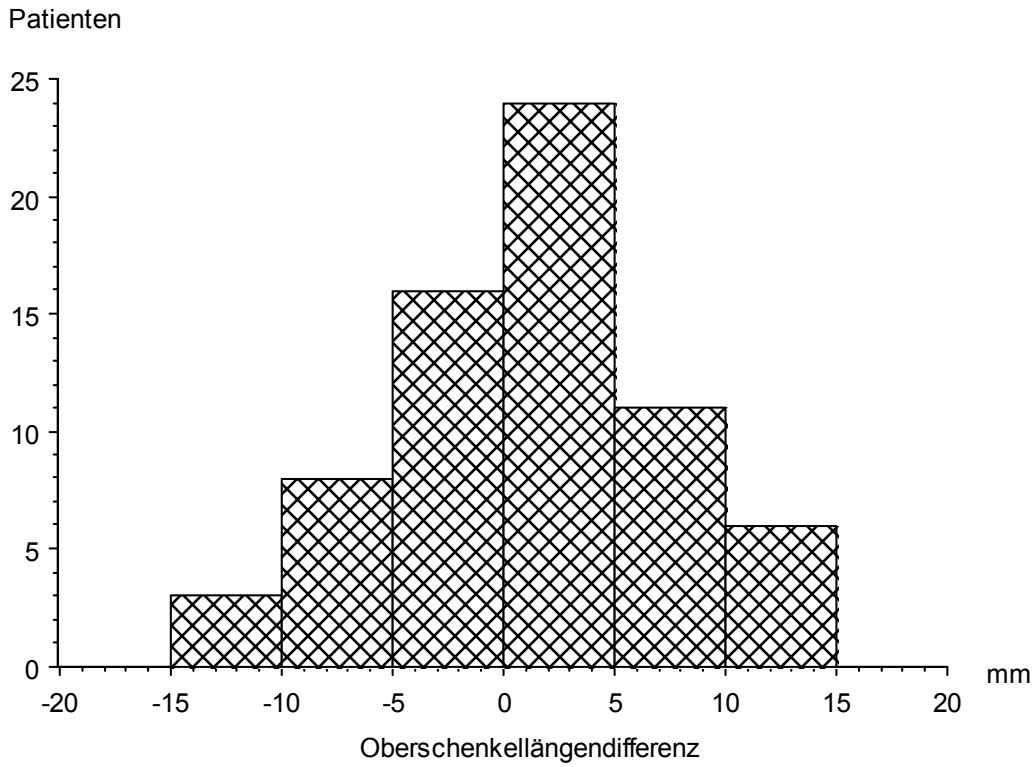


Abb. 19: Verteilung der intraindividuellen Längendifferenzen nach Oberschenkelschaftfrakturen (n=68).

Noch normale Längendifferenzwerte (95. Perzentil) nach computertomographischer bzw. sonographischer Messung im Rechts-Links-Vergleich liegen bei Kindern und Jugendlichen bis zu 10 mm [30].

Bei 9 der 68 Kinder (13%) mit Oberschenkelschaftfraktur lag postoperativ eine absolute intraindividuelle Oberschenkellängendifferenz mehr als 10mm vor (Abb.20).

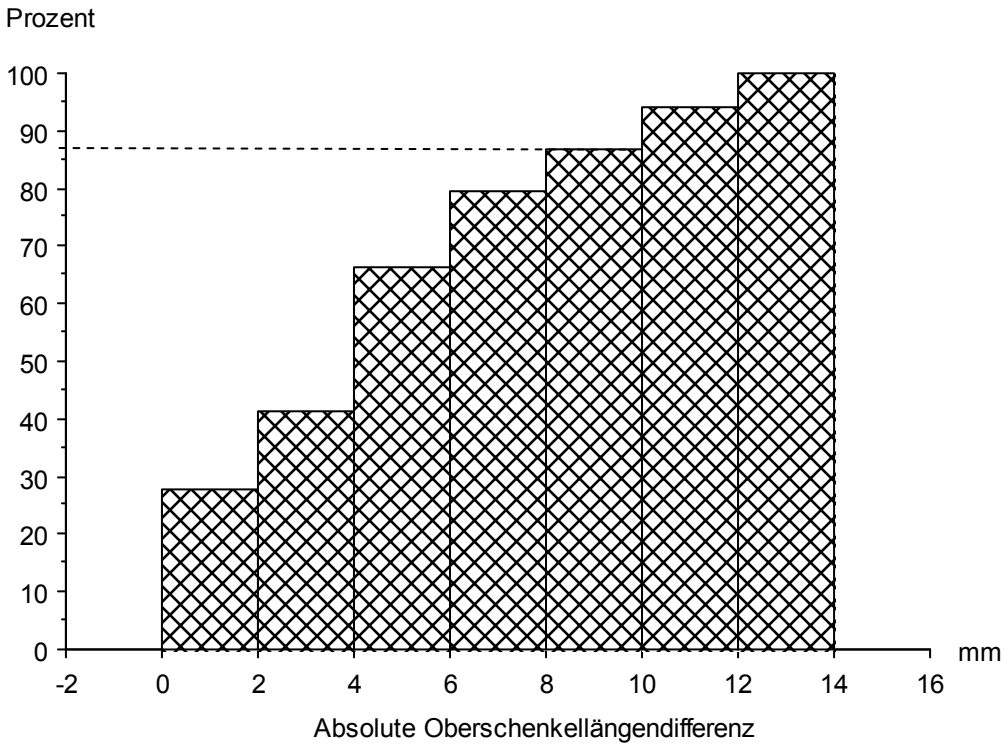


Abb. 20: Kumulative Häufigkeit der absoluten Oberschenkellängendifferenzen nach Schaftfrakturen. Die physiologische intraindividuelle Längendifferenz von 10mm wird in 13% überschritten (n=68).

Betrachtet man die Längendifferenz im Abhängigkeit vom Frakturtyp, so zeigt sich eine mittlere Verkürzung von -0,9mm bei den Spiralfrakturen, gefolgt von einer mittleren Verlängerung bei den Frakturen mit einem Biegungskeil von 0,7mm und den Schrägfrakturen mit 1,5mm. Die Querfrakturen weisen mit einer durchschnittlichen Verlängerung von 2,1mm im untersuchten Kollektiv den größten Längenzuwachs auf. (Abb. 21). Ein statistisch signifikante Unterschied zwischen den Längendifferenzen bestand nicht (p=0,48).

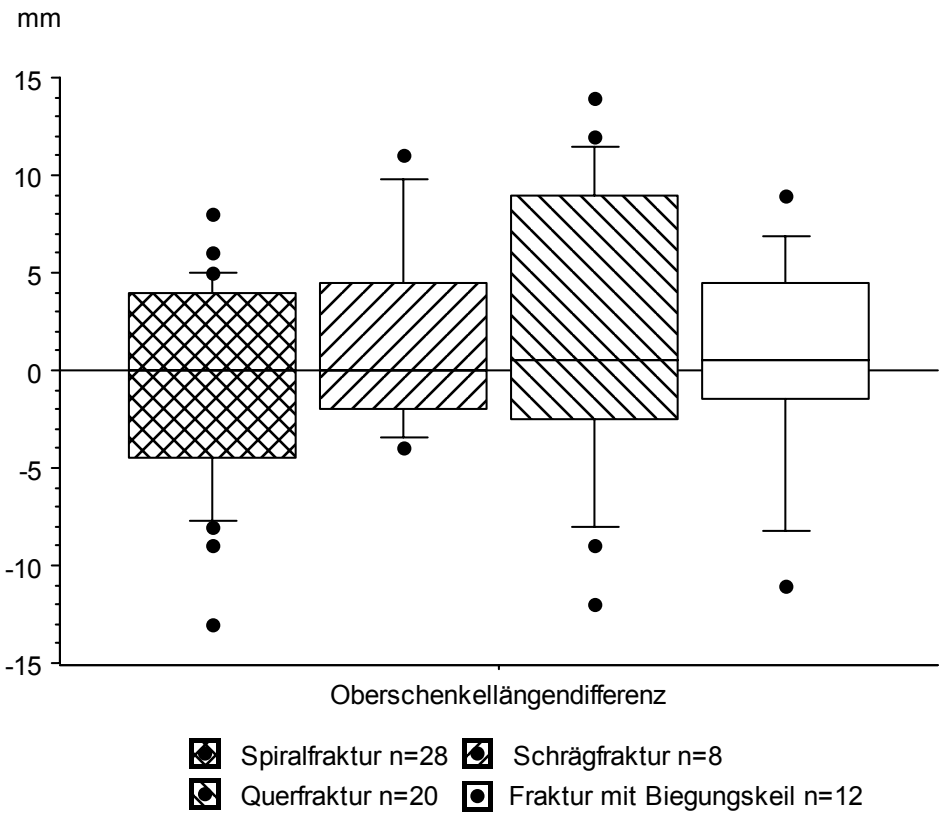


Abb. 21: Verteilung der intraindividuellen Längendifferenzen in Abhängigkeit vom Frakturtyp nach Oberschenkelschaftfrakturen (n=68; p=0,49).

Wie bei der Oberschenkeltorsion, muss bei der Beurteilung der Oberschenkellänge auch der Unterschenkel, das heißt das Bein als Ganzes beurteilt werden.

Der Mittelwert der Beinlängendifferenz zwischen gesundem und krankem Bein lag bei 2,0mm ± 6.4mm (SD). Der maximale Beinlängendifferenzwert betrug 14,0 mm. Eine relative Beinverkürzung hatten 25 Studienteilnehmer (37 Prozent) die übrigen 43 Studienteilnehmer wiesen Beinverlängerungen auf (Abb. 22).

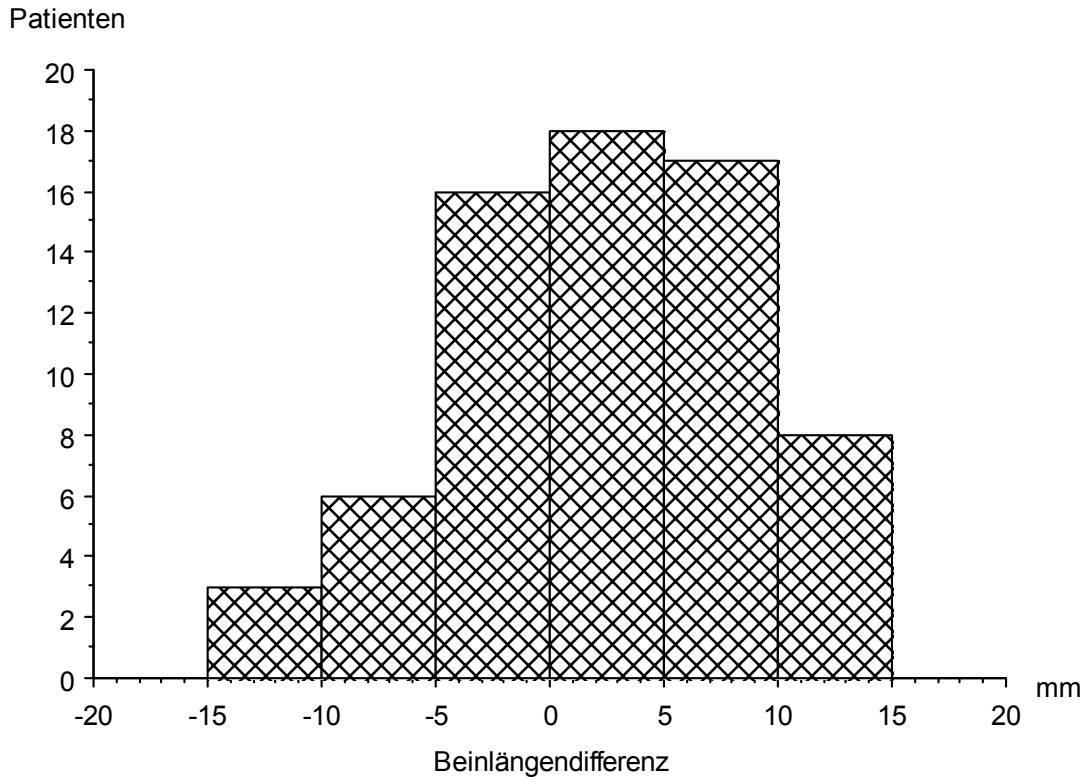


Abb. 22: Verteilung der intraindividuellen Beinlängendifferenzen zwischen gesundem und krankem Bein nach Oberschenkelschaftfrakturen (n=68).

4.1.3 Achse

Bei zwei Patienten, welche in einem entfernteren Heimatkrankenhaus weiterbehandelt wurden, konnten die Röntgenbilder nicht mehr eingesehen werden. Deshalb wurden bei der postoperativen radiologischen Bestimmung der anatomischen Femurachse 66 Patienten berücksichtigt.

Bei der Darstellung der röntgenologisch ermittelten Werte für die Achsenabweichungen im AP und lateralen Strahlengang in einem Streudiagramm (Abb. 23) zeigte sich, dass eine Tendenz zur postoperativen Varus- und Antekurvationsabweichung im untersuchten Patientenkollektiv besteht. Dabei relativieren sich die gemessenen Antekurvationsabweichungen, wenn man die physiologische Antekurvation von 5-10° im Kindesalter berücksichtigt. Bei dem Patienten mit einer Valgusabweichung von 15° und

einer Rekurvationsabweichung von 6° handelt es sich um einen operationstechnischen Fehler. Hier wurden ESIN-Nägel mit unterschiedlichen Durchmessern verwendet.

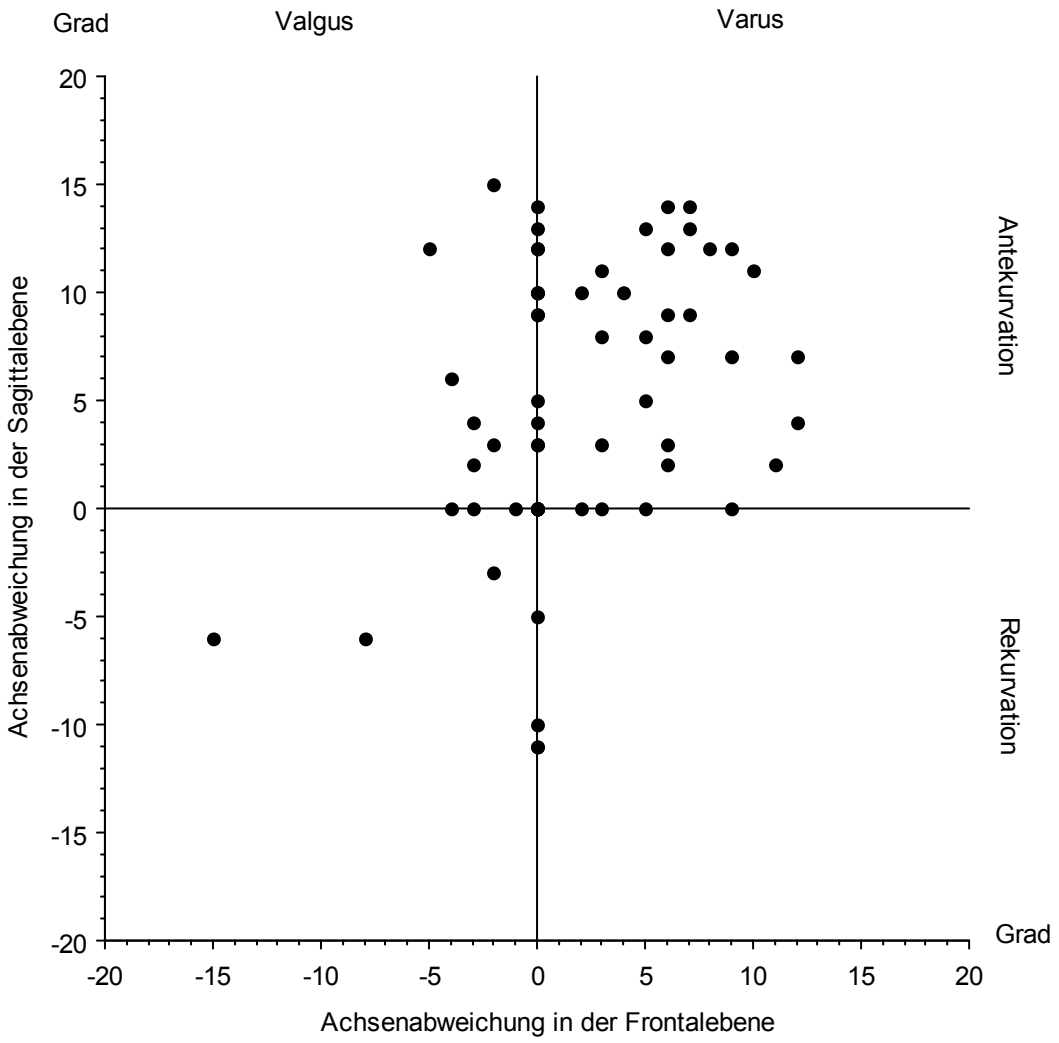


Abb. 23: Abweichung der Femurschaftachse in der Frontal- und Sagittalebene auf der Röntgenaufnahme (n=66).

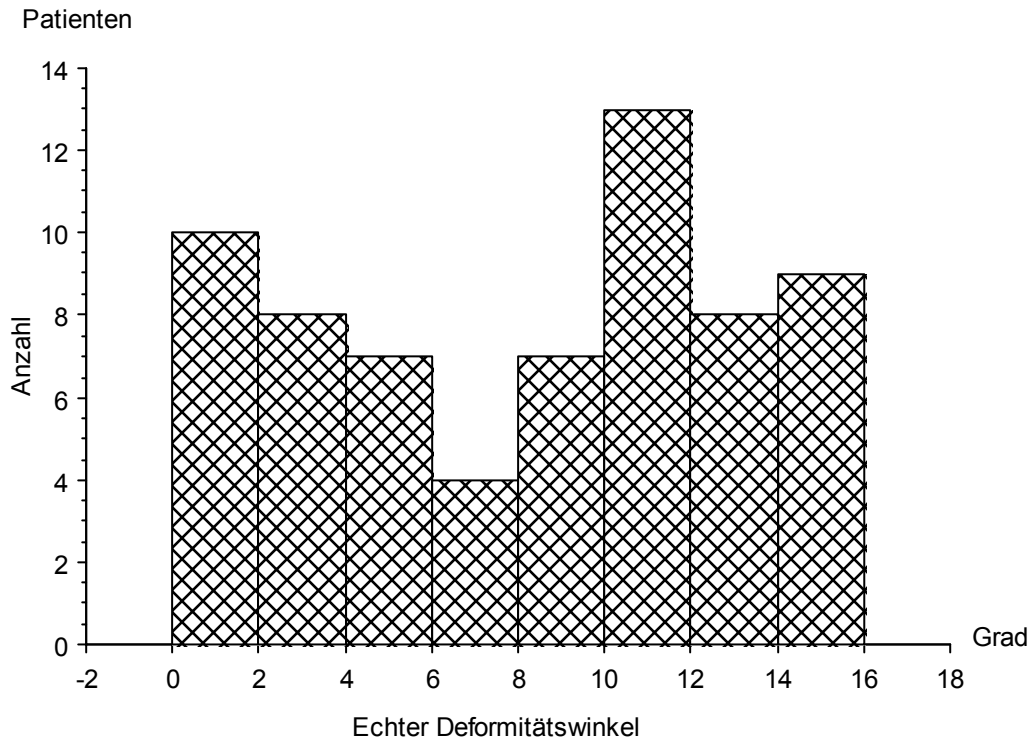


Abb. 24: Echter Deformitätswinkel berechnet aus der Achsenabweichung in der AP und lateralen Röntgenaufnahme des Oberschenkels (n=66).

Der echte Deformitätswinkel zeigt wider Erwarten mit der Größenzunahme keinen kontinuierlichen Rückgang der Häufigkeit. Die mediane Abweichung beträgt 8 Grad mit einer maximalen Abweichung von 16 Grad (Abb. 24).

Die Bestimmung der mechanischen Beinachse war nur mit dem Ultraschallsystem, welches seit Juli 1995 zum Einsatz kam, möglich. Bei einem Patienten (Abb. 27) wurde auf Grund einer erheblichen Valgusabweichung 3 Monate nach dem Unfallereignis im Januar 1994 eine Röntgenganzbeinaufnahme zur Bestimmung der mechanischen Beinachse durchgeführt. Somit konnten in den folgenden Auswertungen 53 Kinder berücksichtigt werden.

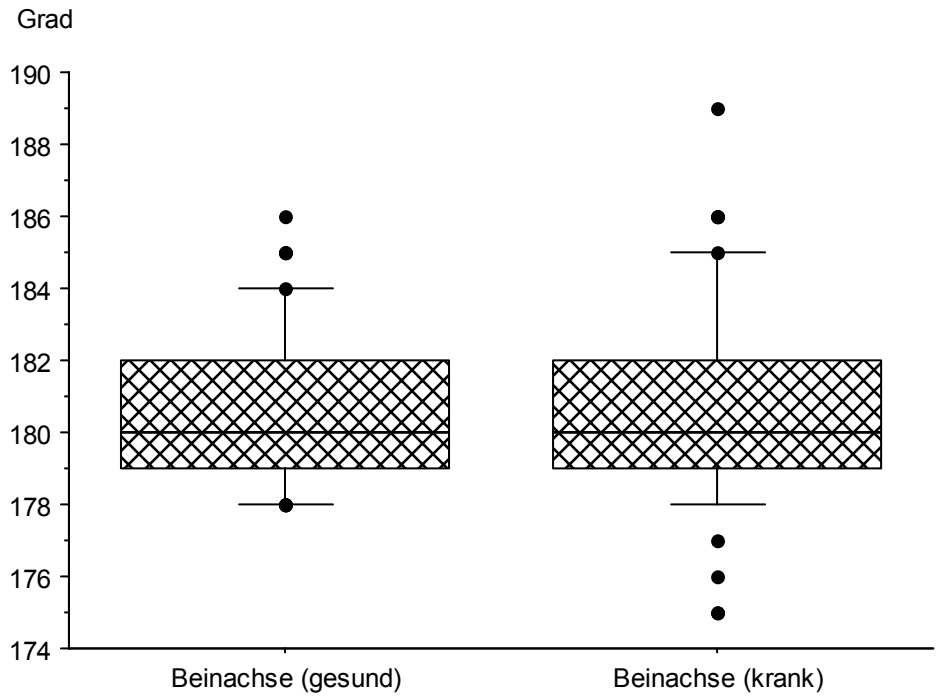


Abb. 25: Verteilung der mechanischen Beinachsen der kranken Seite und zum Vergleich der gesunden Gegenseite (n=53; p=0,07).

Der Mittelwert der mechanischen Beinachse war mit 180,7° +/- 2,2° (SD) auf der gesunden und 180,8° +/- 2,9° (SD) auf der kranken Seite fast identisch. Unterschiedlich war die Spanne, diese betrug auf der gesunden Seite von 178 bis 186° und auf der kranken Seite von 175° - 189° (Abb. 25).

Wird die gesunde Seite als Referenz für die kranke Seite verwendet, so zeigt sich eine durchschnittliche Abweichung der mechanischen Achse von 0,1° +/- 2,19° (SD) mit einer maximalen Abweichung im Sinne eines Genu varum von 4° und im Sinne eines Genu valgum von 7° (Abb. 26)

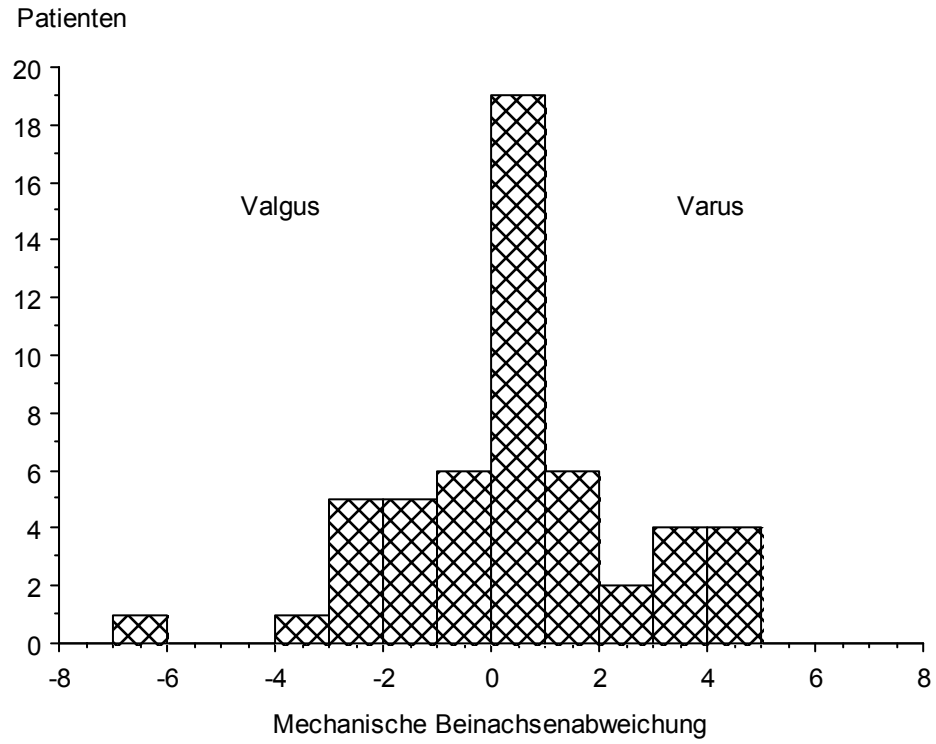


Abb. 26: Abweichung der Beinachse in der Frontalebene im Vergleich zur gesunden Gegenseite (n=53).

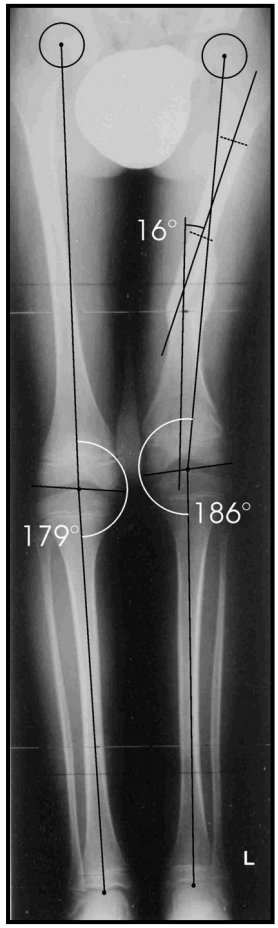
4.2 Fallbericht

Bei einem häuslichen Unfall zog sich ein damals neunjähriger Junge eine distale Oberschenkelschaftfraktur mit einem Biegungskeil zu.

Die Fraktur wurde am Unfalltag durch eine intramedulläre Schienung stabilisiert. Intraoperativ gestaltete sich die Reposition wegen Weichteilinterpositionen sehr schwierig. Es wurde zuerst der Titandraht mit einem Durchmesser von 5mm von medial eingebracht. Anschließend erfolgte das Einbringen des zweiten Titandrahtes von lateral. Da die Fraktur nicht anatomisch reponiert werden konnte, war es nicht möglich, den Titandraht mit demselben Durchmesser über die Fraktur zu schieben. Deshalb wurde ein dünnerer Draht mit einem Durchmesser von 3,5mm implantiert. Wegen der unterschiedlichen Rückstellkräfte der Titandrähte resultierte eine Valgusfehlstellung von ca. 16° (Abb.27). Die knöcherne Heilung verlief unproblematisch, der Junge konnte nach 6 Wochen sein linkes Bein voll belasten.

27-A

27-B



27-C

Abb. 27: Postoperative Valgusdeformität einer distalen Oberschenkelschaftfraktur bei einem neunjährigen Jungen (A). Auf Grund eines Streckdefizits im linken Kniegelenk wurde die Valgusfehlstellung von 16° bei der klinischen Untersuchung subjektiv verstärkt. Auf der Ganzbeinaufnahme 3 Monate nach dem Unfallereignis betrug die mechanische Beinachse rechts 179° und links 186°.

Bei der Kontrolluntersuchung nach 7 Monaten hat sich die Valgusfehlstellung bereits um ca. 4° spontan korrigiert. Durch die jetzt freie Beweglichkeit des Kniegelenkes entsteht bei der klinischen Untersuchung der Eindruck einer noch größeren Spontankorrektur (Abb. 28). Beschwerden oder Einschränkungen bei sportlichen Aktivitäten bestanden nicht.

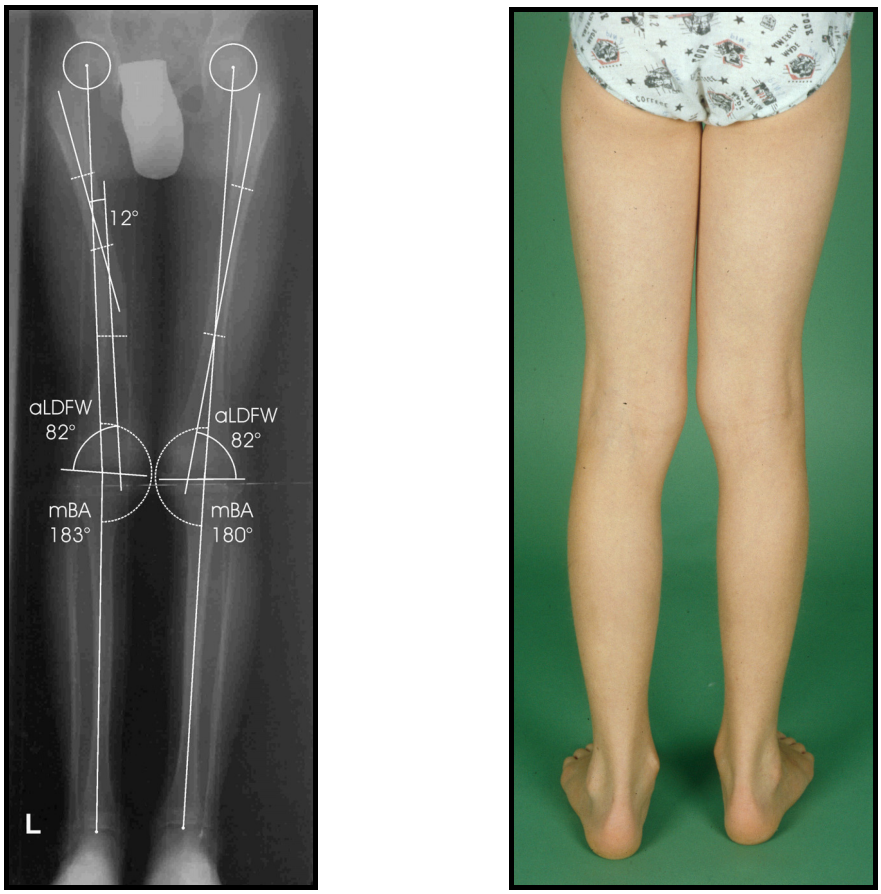


Abb. 28: Klinische und radiologische Kontrolle 7 Monate nach dem Unfallereignis. Die Valgusabweichung im Bereich des Oberschenkelschafts hat sich spontan um 4° korrigiert.

Bei der letzten Nachuntersuchung nach Abschluss des Längenwachstums, 10 Jahre nach dem Unfallereignis, hatte sich die Beinachse vollständig korrigiert (Abb.29).

Bei der navigierten Ultraschallbestimmung der Beingeometrie betrug die Beinlänge rechts 827mm und links 832mm, die mechanische Beinachse rechts 175° und links 177° und die Oberschenkeltorsion rechts –13° und links –18°. Somit liegen alle wesentlichen Parameter im Normbereich.

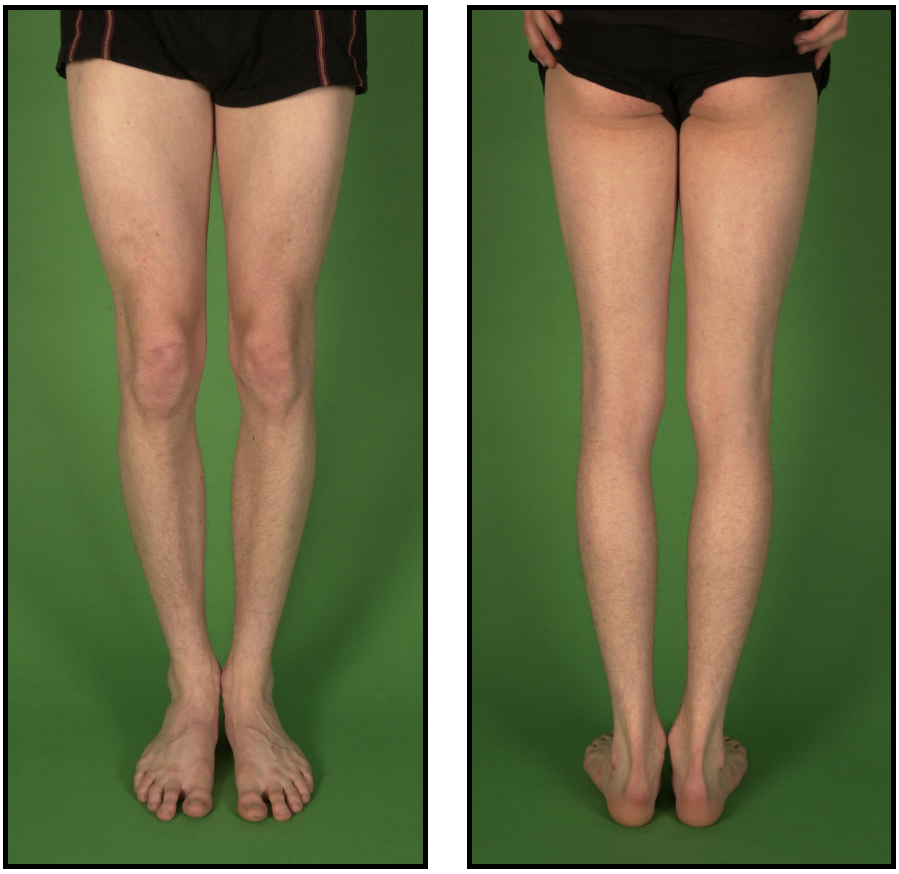


Abb. 29: Spontankorrektur der posttraumatischen Valgusfehlstellung von 16° im Bereich des distalen Oberschenkelschafts nach Abschluss des Längenwachstums. Die mechanische Beinachse beträgt jetzt rechts 175° und links 177°.

4.3 Unterschenkelfrakturen

In unserem Patientenkollektiv zogen sich fünf Kinder (zwei Jungen und drei Mädchen) eine Tibiaschaftfraktur zu, welche durch eine intramedulläre Schienung stabilisiert wurde. Unter diesen Frakturen waren zwei Spiralfrakturen (42-A1.1), je eine Schräg- (42-A2.2) und eine Querfraktur (42-A3.2), sowie eine Keilfraktur mit einem Biegungskeil (42-B2.3). Nach der Klassifikation von Tscherne und Gotzen [70] waren vier Frakturen in den Klassen G.0 bis G.1 und eine Fraktur in der Klasse O.1. Drei Frakturen waren rechtsseitig lokalisiert, zwei befanden sich auf der linken Körperseite.

Tab. 1: Torsionswinkeldifferenzen Unterschenkel

ID	AO	Alter (Jahre)	Tibiatorsion krank	Tibiatorsion gesund	Differenz
R.T.	A2.2	2	18°	31°	-13°
T.A.	A1.1	5	35°	40°	-5°
H.H.	B2.3	9	40°	43°	-3°
M.M.	A3.2	7	5°	41°	-36°
U.K.	A1.1	11	38°	18°	+20°

Bezogen auf das Gesamtkollektiv von fünf Patienten mit Tibiafraktur konnten folgende Werte für die Unterschenkeltorsion ermittelt werden: Der Median der Unterschenkeltorsion auf der gesunden Seite betrug 40° (Minimum 18°, Maximum 43°), auf der verunfallten Seite lag er bei 35°. Das Minimum betrug 5°, das Maximum 40° (Tab.1). Ein Patient zeigte hinsichtlich der intraindividuellen Torsionsabweichung eine relative Außendrehung von zwanzig Grad, bei vier Kindern konnte eine relative Innentorsionsabweichung zwischen drei und sechsunddreißig Grad gemessen werden. Somit liegt bei zwei Kindern eine deutliche Überschreitung der physiologischen intraindividuellen Torsionswinkel-differenz von 15° vor [30].

Hinsichtlich der Unterschenkellängendifferenz ließ sich bei den fünf Kindern folgendes feststellen:

Tab. 2: Unterschenkellängendifferenzen

ID	AO	Alter (Jahre)	Tibialänge Krank	Tibialänge gesund	Differenz
R.T.	A2.2	2	283mm	281mm	+2mm
T.A.	A1.1	5	371mm	365mm	+6mm
H.H.	B2.3	9	283mm	281mm	+2mm
M.M.	A3.2	7	271mm	270mm	+1mm
U.K.	A1.1	11	314mm	322mm	-8mm

Die intraindividuelle Längendifferenz der Unterschenkel betrug im Mittel +0,6mm (Median 2,0 mm). Die maximale Unterschenkelverkürzung betrug 8mm, die maximale Verlängerung 6mm (Tab. 2). Somit konnten im Bereich des Unterschenkels keine pathologischen Längendifferenzen (95. Perzentil = 10mm) nach der Metallentfernung nachgewiesen werden [30].

Tab. 3: Achsenabweichungen Tibiaschaft Frontal- und Sagittalebene

ID	Alter	Varus	Valgus	Antekurvation	Rekurvation
R.T.	2 Jahre	0	0	0	0
T.A.	5 Jahre	0	0	0	0
H.H.	9 Jahre	0	6	0	0
M.M.	7 Jahre	5	0	4	0
U.K.	11 Jahre	0	0	0	2

Auf der AP Röntgenaufnahme konnte bei je einem Patienten eine Varusabweichung von 5° und Valgusabweichung von 6° nachgewiesen werden. Auf der lateralen Projektion hatte ein Patient eine Antekurvation von 4°, ein weiterer eine Rekurvation von 2° (Tab. 3). Auf Grund der sehr geringen Achsenabweichungen erhöht sich der echte Deformitätswinkel bei den Patienten mit einer Varusdeformität von 5° und einer Antekurvationsabweichung von 4° auf lediglich 6,4°.

Bei zwei Patienten konnte die Beinachse sonographisch bestimmt werden. Diese betrug bei beiden Kindern sowohl auf der gesunden, als auch auf der kranken Seite 180°.

5 Diskussion

Bei Verwendung der elastisch stabilen intramedullären Schienung zur Behandlung kindlicher Ober- bzw. Unterschenkelschaftfrakturen können postoperativ Achsen-, Längen- und Torsionsabweichungen auftreten. Um die Fehlstellungen nach knöcherner Konsolidierung der Fraktur feststellen zu können, wurde in einer prospektiven Studie die Beingeometrie bei der Metallentfernung mit der Computertomographie bzw. einem navigierten Ultraschallsystem (2.5D Sonographie) bestimmt.

Dabei stellte sich heraus, dass bei fast jedem zweiten Kind die physiologische intraindividuelle Torsionswinkeldifferenz im Bereich des Oberschenkels von 15° überschritten wurde. Die Frakturen konsolidierten überwiegend in einer relativen Außentorsion, so dass eine relative mediane Außentorsionsabweichung von 12° resultierte. Eine Abhängigkeit vom Frakturtyp konnte dabei nicht nachgewiesen werden.

Bei jedem achten Kind wurde die intraindividuelle Längedifferenz von 10mm nach einer Oberschenkelfraktur überschritten, dabei zeigten nur die Querfrakturen eine Tendenz zur Verlängerung.

Die Fermurschaftfrakturen konsolidierten überwiegend in einer geringen Varus- und Antekurvationsabweichung. Dabei betrug der echte Deformitätswinkel bis zu 16°. Dadurch kam es zu einer Abweichung der mechanischen Beinachse von bis zu 4° Varus und bis zu 7° Valgus im Vergleich zur gesunden Gegenseite.

Bei den Unterschenkelfrakturen können ebenfalls erhebliche Torsionsabweichungen von bis zu 36° auftreten. Quantitative Aussagen können jedoch auf Grund der kleinen Fallzahl nicht gemacht werden. Alle intraindividuellen Längendifferenzen im Bereich des Unterschenkels lagen im Normbereich.

Die physiologische intraindividuelle Torsionswinkeldifferenz (95. Perzentil, 2SD) im Bereich der Ober- und Unterschenkel beträgt nach computertomographischen Untersuchungen von KEPPLER et al. bei Kindern und Jugendlichen 15° [30]. Da die Reproduzierbarkeit und Genauigkeit der angewendeten Ultraschallmethode mit der CT-Methode vergleichbar ist, lassen sich diese 15° auf das gesamte nachuntersuchte Patientenkollektiv übertragen [2, 29].

Bei 31 der 67 Kinder (48%) mit Oberschenkelschaftfraktur wurde die physiologische intraindividuelle Torsionswinkeldifferenz von 15° überschritten. Dabei lag bei 30 Kindern eine relative Außentorsion von bis zu +51° und bei einem Kind eine relative Innentorsion von -25° vor, welche jedoch durch eine relative Außentorsion des Unterschenkels kompensiert wurde. Betrachtet man die Beintorsion insgesamt, so reduziert sich der Anteil der nicht physiologischen Torsionswinkeldifferenzen um lediglich 2%.

Bei zwei Kindern mit Tibiafraktur lagen Torsionswinkeldifferenzen oberhalb der physiologischen 15°. Ein Kind zeigte eine Innentorsionsabweichung von -36°, bei einem weiteren konnte eine Außentorsionsabweichung von +20° ermittelt werden.

Eine Ursache für die Torsionswinkelabweichung kann die Implantation der Titannägel in einer Torsionsfehlstellung sein. Beim Einbringen können sich die intramedullären Kraftträger trotz Dreipunktabstützung bei nicht korrekter Lage des Implantates verdrehen [33]. Aufgrund der Elastizität der Titannägel ist bei asymmetrischem Zug der Oberschenkelmuskulatur eine sekundäre Außentorsionsabweichung ebenfalls denkbar [42].

In einer retrospektiven Studie von PRÉVOT [53] konnten von 250 Kindern 135 mittels CT mindestens zwei Jahre nach dem Unfall auf Torsionsfehlstellungen nachuntersucht werden. Bezüglich der Auswahlkriterien zur computertomographischen Nachuntersuchung bzw. der genauen Durchführung der CT-Messung werden keine näheren Angaben gemacht Bei der computertomographischen Bestimmung der intraindividuellen Torsionswinkeldifferenzen konnte laut PRÉVOT bei 98 Kindern kein Unterschied zwischen gesundem und krankem Bein nachgewiesen werden. In 35 Fällen lagen die Torsionswinkeldifferenzen zwischen 0° und 5°, nur bei zwei Kindern konnten Differenzwerte über 5° ermittelt werden. Bedenkt man, dass die computertomographische Meßmethode bereits bei Torsionswinkelmessungen an gesunden Femura mit einem Projektionsfehler von ± 2,4° behaftet ist, der bei kongenitalen oder posttraumatischen Fehlstellungen noch erheblich zunehmen kann [26], und die Literatur deshalb von einer physiologischen Streubreite von 15° ausgeht [30], liegen die von PRÉVOT et al publizierten Torsionsabweichungen unter der normalen intraindividuellen Torsionswinkeldifferenz.

PRÉVOT et al. berichteten in einer weiteren Studie [52] über die Ergebnisse von 217 Femurschaftfrakturen ohne die Untersuchungsmethode zu nennen. Dabei führt der Autor 9

Fälle von vermehrter Außentorsion, sowie 6 Fälle von gesteigerter Innentorsion auf, ohne auf die genauen Werte der Torsionswinkeldifferenzen einzugehen.

LASCOMBES et al. erörterten in ihrer Studie [33] die Ergebnisse von 75 über einen Zeitraum von drei Jahren nachuntersuchten Patienten. Dabei zeigte sich in drei Fällen eine über das physiologische Maß hinausgehende Torsionsabweichung: in einem Fall bestand eine Innenrotation von -20°. Zweimal lag einen Außenrotation von +20° vor. Angaben zur Methode der Nachuntersuchung fehlen.

In der retrospektiven Studie von VAN MEETEREN et al. [72] wird von 27 Kindern unter 16 Jahren mit 27 Femurschaftfrakturen berichtet. Von diesen konnten nach durchschnittlich 7,5 Jahren 24 nachuntersucht werden. Die Torsionsabweichung wurde radiologisch nach der Methode von RIPPSTEIN bestimmt [60]. Dabei zeigte sich bei 9 Patienten (37,5%) eine Torsionsabweichung zwischen gesunden und krankem Bein von > 10°, wobei 6 Patienten eine vermehrte Außenrotation aufwiesen (Maximum 22°), sowie 3 Patienten eine vermehrte Innenrotation (Maximum 27°). Obwohl diese Studie nur über ein recht begrenztes Patientenkollektiv verfügt, wird bei genauer radiologischer Betrachtung der Daten nach durchschnittlich 7,5 Jahren deutlich, dass Torsionsabweichungen auch > 10° bei Behandlung mit ESIN keine Seltenheit darstellen. Der Autor kommt zu dem Ergebnis, dass gerade aufgrund der Rotationsabweichungen nach ESIN Operationsindikationen für dieses Behandlungsverfahren auch bei jungen Patienten sorgsam gestellt werden sollten.

Das Patientenkollektiv von FLYNN ET AL. [16] umfasste 58 Kinder, die nach durchschnittlich einem Jahr klinisch nachuntersucht wurden. Bei Hinweisen auf signifikante Beinlängendifferenzen, Torsions- oder Achsabweichungen wurde außerdem radiologisch nachkontrolliert. Eine signifikante Torsionsabweichung zeigte sich in keinem der Fälle. 41 Kinder waren unmittelbar postoperativ zusätzlich mit einer Orthese oder dorsalen Oberschenkelgipsschiene stabilisiert worden. Genaue Indikationen hierfür werden von FLYNN nicht aufgeführt.

AKTUGLU ET AL. [1] beschrieben in ihrem Patientenkollektiv (30 Patienten mit 32 Femurschaftfrakturen) die klinischen und radiologischen Nachuntersuchungsergebnisse nach durchschnittlich 105 Monaten. Dabei konnte in einem Fall eine Innenrotation von 7° ermittelt werden, die übrigen Patienten zeigten keinerlei relevante Torsionsabweichungen.

MAZDA ET AL. [39] gingen in ihrem Patientenkollektiv auf die klinischen und radiologischen Nachuntersuchungsergebnisse von 32 Kindern mit 34 Femurschaftfrakturen nach durchschnittlich 2,5 Jahren ein. Eine signifikante Torsionsabweichung konnte dabei laut MAZDA in keinem Fall festgestellt werden.

LUHMANN ET AL. [38] erfassten 39 Kinder nach durchschnittlich 12 Monaten (4 bis 22 Monate) radiologisch und klinisch. Dabei zeigte sich bei zwei Kindern eine Torsionsabweichung von 5° bis 10°. Die übrigen Kinder wiesen Torsionsabweichungen < 5° auf. In LUHMANN's Patientenkollektiv erhielten 17 Kinder postoperativ einen Gips zur besseren Stabilisierung. Bei drei Patienten musste aufgrund von Instabilitäten der beiden eingebrachten ECMES-Nägel ein dritter Nagel implantiert werden.

BOURDELAT ET AL. beschrieben in einer ihrer Studien [4] ein Patientenkollektiv aus 40 Kindern, von denen 38 nach durchschnittlich 2 Jahren klinisch und radiologisch im Bezug auf mögliche Torsionsabweichungen erfasst werden konnten. BOURDELAT führt keinen Fall einer relevanten Torsionsdifferenz auf, gibt allerdings keine genauere Beschreibung seiner Methodik und Art der Auswertung.

LIGIER ET AL. erfassten in ihrer Studie mit 118 Kindern (123 Femurfrakturen) nach durchschnittlich 22 Monaten 62 Kinder klinisch [36]. Dies entspricht einer Nachuntersuchungsrate von 53%. Bei lediglich 20 Patienten wurde die Anteversion des Femurhalses radiologisch nach der Methode von Rippstein bestimmt. Auf genaue Auswahlkriterien wird dabei nicht eingegangen. Nur bei einem Patienten konnte eine Retroversion des Femurhalses von 10° auf der verunfallten Seite gegenüber einer Anteversion von 5° auf der gesunden Seite festgestellt werden. Diese Werte liegen innerhalb der physiologischen intraindividuellen Torsionswinkeldifferenz von < 15° [30]. Aufgrund der Tatsache, dass in diesem Fall nur 17% (20 von 118) des ursprünglichen Patientenkollektivs radiologisch erfasst wurden, lässt sich bezüglich der Torsionswinkeldifferenzen im Gesamtkollektiv keine Aussage machen.

CAREY ET AL. [7] untersuchten in ihrer retrospektiven Studie 22 von 25 Kindern mit isolierten Femurfrakturen nach durchschnittlich einem Jahr (6 Monate bis 5 Jahre) nach. Sie stellten hierbei klinisch keine wesentlichen Torsionswinkeldifferenzen fest.

Auf die gleiche Art und Weise ermittelten SCHMITTENBECHER und DIETZ ihre Ergebnisse [61]. 27 Studienteilnehmer wurden hierbei mindestens ein Jahr nach ihrem

Unfall klinisch nachuntersucht, ohne dass relevante Torsionswinkeldifferenzen ermittelt werden konnten.

OH ET AL. [46] erfassten 28 Patienten mit 31 Femurschaftfrakturen nach durchschnittlich 27 Monaten. Es fand sich klinisch in keinem Fall eine relevante Torsionsabweichung.

PROKOP ET AL. [55] untersuchten 38 Kinder durchschnittlich 4 bis 37 Monate postoperativ nach. Es zeigten sich laut Autor keinerlei Rotationsfehlstellungen.

Auch REINBERG ET AL. [59] gehen nicht auf die genaue Methodik ihrer Nachuntersuchung ein. REINBERG führt 22 Monate postoperativ bei 7 von 84 Kindern mit Femurfraktur eine Außenrotation von +10° auf, 7 Kinder zeigten eine Außenrotation zwischen +10° und +15°. Nähere Angaben werden vom Autor nicht gemacht.

Des Weiteren verzichteten zahlreiche Autoren bei der Beschreibung ihrer Ergebnisse in ihrem Patientenkollektiv ganz auf jegliche Ausführungen zu Torsionswinkeldifferenzen [5, 11, 17, 23, 32, 34, 36, 37, 44, 48, 58, 62].

Es lässt sich somit feststellen, dass hinsichtlich der Torsionswinkeldifferenzen keine Studie existiert, die mit dem Ulmer Kollektiv vergleichbar wäre. Dies lässt sich zum einen damit begründen, dass keinerlei prospektive Studien existieren, die auf Torsionsabweichungen am Femur eingehen. Das nachuntersuchte Patientenkollektiv umfasst ferner meist weniger als 60% der ursprünglichen Studienteilnehmer. Nur in Ausnahmefällen wurden mehr Kinder berücksichtigt. Dabei handelte es sich stets um Studien mit weniger als 30 Studienteilnehmern. Außerdem wurden die Patienten meistens klinisch erfasst, wobei nur in Ausnahmefällen relevante Torsionsabweichungen beschrieben wurden.

Des Weiteren lässt sich feststellen, dass kein Autor in einer seiner Studien auf Torsionsabweichungen an der Tibia einging. Häufig wurde das anfangs noch umfassend erscheinende Patientenkollektiv stark eingeschränkt, so dass repräsentative Aussagen zu Torsionsabweichungen von den Autoren eigentlich nicht getroffen werden dürften. Selbst bei computertomographischen Nachuntersuchungen wurde häufig auf die genaue Aufschlüsselung der Ergebnisse zu Torsionsabweichungen verzichtet. Auf den Zusammenhang zwischen Frakturtyp und Ausmaß einer Torsionsabweichung wurde in keinem Fall eingegangen.

Die Ulmer Ergebnisse stehen folglich nicht im Widerspruch zu den Angaben in der Literatur.

Tolerable intraindividuelle Beinlängendifferenzwerte nach computertomographischer und sonographischer Messung [2] liegen bei Kindern und Jugendlichen bei 10 mm (2SD) [30].

Für das Ulmer Patientenkollektiv konnte festgestellt werden: 25 Studienteilnehmer zeigten postoperativ eine Beinverkürzung, 43 Studienteilnehmer wiesen Beinverlängerungen auf. Bei 9 der 68 Kinder (13%) mit Oberschenkelschaftfraktur lag postoperativ eine absolute intraindividuelle Oberschenkellängendifferenz > 10mm vor. Die maximale Oberschenkelverkürzung betrug dabei -13mm, die maximale Verlängerung +14mm. Somit wird die dreifache intraindividuelle Standardabweichung bzw. das 99. Perzentil in keinem der 11 Fälle überschritten. Bei den 5 Kindern mit einer Tibiafraktur wurde in keinem Fall eine Beinlängendifferenz > 10mm festgestellt.

Veränderungen in der Beinlänge zwischen gesundem und krankem Bein nach Frakturen im Kindesalter lassen sich unterschiedlich begründen:

Die während des Traumas und der Operation freigesetzten Wachstumsfaktoren im Knochenbereich bewirken einen fortschreitenden Stimulus und dadurch ein Mehrwachstum des Knochens [8, 66].

Folglich hat der Nachuntersuchungszeitpunkt einen wesentlichen Einfluss auf die ermittelte Beinlängendifferenz: Je früher die postoperative Nachuntersuchung stattfindet, umso wahrscheinlicher ist es, dass eine relative Verkürzung der frakturierten Extremität vorliegt. Ferner kann die Reposition des Knochens während der OP großen Einfluss auf das Ergebnis der Beinlänge nehmen. Eine nicht exakt durchgeführte Reposition bewirkt unter Umständen ein primäres Auseinanderklaffen der Knochenenden. Durch Bildung von Kallusbrücken und anschließender Ossifikation kann es z.B. bei Querfrakturen leicht zu einer Beinverlängerung kommen. Durch Stauchung im Rahmen des Repositionsvorgangs sind auch Beinverkürzungen möglich. Besonders bei Spiral- oder Schrägfrakturen, bei denen die Knochenenden nicht exakt reponiert wurden, kann durch leichtes Abgleiten der Knochenbruchstücke in der Frontalebene eine Stauchung und somit eine sekundäre Beinverkürzung induziert werden [44].

In den Studien von KNORR [32] und DIETZ [11] wird auf Beinlängendifferenzwerte gar nicht eingegangen. Viele Autoren nennen ferner in ihren Veröffentlichungen nicht die

genaue Methodik, mit der Beinlängendifferenzwerte bestimmt werden konnten [11, 34, 52, 53, 55, 58, 62] oder verwenden klinische Untersuchungsmethoden wie Brettchenmethode oder Maßband [5, 46, 61].

PRÉVOT führt in einer Serie von 99 Frakturen der Jahre 79 bis 91 [53] wechselnde Beinlängendifferenzen je nach Frakturtyp auf, ohne die genaue Betroffenenzahl pro Frakturtyp zu nennen. Nicht erwähnt werden der Nachuntersuchungszeitraum, sowie die Methode, mit der die Beinlängendifferenzen erfasst werden konnten. So kam es bei einer Querfraktur zu einer durchschnittlichen Beinverlängerung von -6mm, bei einer Etagenfraktur von +10mm. Demgegenüber bewirkten kurze Schrägfrakturen in seinem Patientenkollektiv eine Beinverkürzung von -9mm, lange Schrägfrakturen und Spiralfrakturen eine Beinverkürzung von -8mm und Trümmerfrakturen verkürzten das verunfallte Bein sogar um -13mm. Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass viele wesentliche Angaben in PRÉVOTS Studie fehlen (Methodik, Nachuntersuchungszeitraum, Betroffenenzahl pro Frakturtyp), ist in dieser Veröffentlichung auch unser Trend erkennbar, bei dem Querfrakturen eine ausgeprägtere Verlängerung bewirken als Spiralfrakturen.

In einer weiteren Studie [52] mit 217 Femurschaftfrakturen beschreibt PRÉVOT die Nachuntersuchungsergebnisse seines Patientenkollektivs. Allerdings führt er weder den genauen Nachuntersuchungszeitraum auf, noch nennt er die Methodik, mit der die Kinder nachuntersucht wurden. PRÉVOT kommt zu folgendem Ergebnis: 98 Kinder (45%) zeigten eine Beinlängendifferenz <5mm. Bei 14 Kindern (7%) lag die Längendifferenz zwischen 5mm und 20mm. Bei 105 Kindern (48%) lagen laut PRÉVOT keine Beinlängendifferenzen zwischen gesundem und krankem Bein vor.

LIGIER berichtet in seiner Studie [36] von einem Patientenkollektiv aus 118 Kindern mit 123 Femurschaftfrakturen in den Jahren 1979 bis 1985, von denen 62 Studienteilnehmer radiologisch erfasst werden konnten. Die Nachuntersuchung erfolgte dabei nach durchschnittlich 22 Monaten. Ermittelt werden konnte eine durchschnittliche Beinverlängerung von +1,2mm. Bei 29 Patienten mit einfachen Querfrakturen kam es zu einer durchschnittlichen Beinverlängerung von +2mm, gegenüber einer durchschnittlichen Beinverkürzung von -0,7mm bei 12 Kindern mit Spiralfrakturen. Die restlichen Frakturtypen wurden von LIGIER nicht näher differenziert.

Stark eingeschränkt wirkte LIGIERS Patientenkollektiv ebenfalls in einer weiteren Veröffentlichung zum Thema ESIN bei Kindern [34]. Beschrieben wird dabei ein Kollektiv von 106 Femurschaftfrakturen. Davon wurden lediglich diejenigen Patienten mit Querfrakturen (23 Kinder, entspricht 22%) nach mindestens einem Jahr nachuntersucht. LIGIER führt dabei allerdings nicht die genaue Methodik auf. Es zeigte sich eine durchschnittliche Beinverlängerung von +4,5mm. LIGIER schlägt in seiner Studie eine generelle Gipsversorgung unmittelbar postoperativ vor, um dadurch eine zu frühe Gewichtsbelastung des verunfallten Beins und ein damit induziertes Mehrwachstum durch Druck auf die Fraktur zu verhindern.

LASCOMBES ET AL. [33] untersuchten 75 Kinder nach durchschnittlich 3 Jahren nach. Dabei zeigte sich bei 40 Kindern mit Querfrakturen in 6 Fällen eine Verkürzung: in 5 Fällen lag diese zwischen -5mm und -8mm, in einem Fall betrug sie -17mm. 29 Mal kam es zu einer Verlängerung des verunglückten Beins. Diese lag bei 11 Kindern zwischen +1mm und +4mm, 9 Mal zwischen +5mm und +9mm, 6 Mal zwischen +10mm und +15mm, sowie bei drei Patienten zwischen +15mm und +23mm. In fünf Fällen zeigten sich keinerlei Längendifferenzen. Bei den Spiralfrakturen betrug die durchschnittliche Verkürzung –4mm. Angaben zur Methodik fehlen.

AKTUGLU ET AL. [1] führt in seiner retrospektiven Studie (Nachuntersuchung nach durchschnittlich 105 Monaten) 30 nachuntersuchte Patienten mit 32 Femurschaftfrakturen auf. Die Ergebnisse konnten klinisch und radiologisch ermittelt werden. AKTUGLU beschreibt eine durchschnittliche Beinverlängerung von +9mm (-15mm bis 15mm), wobei 4 Patienten eine Beinlängendifferenz > 10mm zeigten. Bei zwei Patienten betrug die Differenz -15mm bzw. +15mm.

MAZDA ET AL. [39] beschreiben in ihrem Patientenkollektiv, das aus 32 Patienten mit 34 Femurschaftfrakturen bestand, die klinisch und radiologisch ermittelten Nachuntersuchungsergebnisse nach durchschnittlich 2,5 Jahren. Dabei zeigte sich in 13 Fällen eine Beinlängendifferenz. Diese lag bei drei Patienten zwischen +10mm und +15mm. Bei den übrigen Patienten konnten Beinlängendifferenzwerte < 10mm festgestellt werden, wobei es in einem Fall zu einer Beinverkürzung < -10mm gekommen war.

VAN MEETEREN ET AL. [72] berichten in ihrer retrospektiven Studie von 24 aus 27 Kindern, die nach durchschnittlich 7,5 Jahren nachuntersucht werden konnten. Dies geschah hinsichtlich der Beinlänge klinisch und radiologisch. Dabei zeigte sich bei 14

Patienten eine Beinlängendifferenz < +10mm. Bei 3 Patienten zeigte sich eine Beinverkürzung > -10mm (Maximum –17mm). Sechs Patienten wiesen eine Beinverlängerung > +10mm auf (Maximum +35mm). VAN MEETEREN geht in seiner Diskussion auf diese Problematik ein und gibt zu bedenken, dass ESIN in Bezug auf Beinlängendifferenzen der einfachen konservativen Behandlung keinesfalls überlegen sei.

In der Studie von FLYNN ET AL. [16] wiesen ein Jahr postoperativ 6 von 58 Kindern eine Beinverlängerung zwischen +10mm und +20mm auf. Eine Studienteilnehmerin zeigte eine Beinverkürzung von –15mm. Nach vormals klinischer Untersuchung waren bei etwaigen Auffälligkeiten die Beinlängen radiologisch nachkontrolliert worden.

Bei CAREY ET AL. [7] lag die durchschnittliche Beinlängendifferenz, die ebenfalls radiologisch festgestellt worden war (nach 6 Monaten bis 5 Jahren), etwas höher (zwischen +11mm bis +14mm). Sie untersuchten 22 von 25 Kindern mit Femurschaftfrakturen nach.

LINHART ET AL. [37] konnten in ihrer Studie 28 Patienten nachuntersuchen (klinisch und radiologisch). Bei 22 Oberschenkelfrakturen, sowie 6 Unterschenkelbrüchen zeigte sich in 8 Fällen ein vermehrtes Längenwachstum. Dieses lag zwischen +5mm und +12mm. Der Nachuntersuchungszeitraum betrug dabei 8 bis 36 Monate.

Bei diesen Studien [7, 37] zeigen sich also trotz des jeweils relativ kleinen Patientenkollektivs ähnliche Ergebnisse wie unter unseren Ulmer Studienteilnehmern. Unterschiede sind durch eine andere Untersuchungsmethodik bzw. einen veränderten Nachuntersuchungszeitraum erklärbar.

Die klinische Messmethodik (Brettchen, Maßband) [12], die nicht mit computertomographisch bzw. sonographisch ermittelten Daten unseres Patientenkollektivs vergleichbar ist [2, 68] , muss bei den folgenden Studien berücksichtigt werden.

LUHMANN ET AL. [38] untersuchten klinisch ihr Patientenkollektiv nach durchschnittlich 12 Monaten (4-22 Monate) nach. Unter 39 Kindern zeigte sich in acht Fällen eine Beinlängendifferenz. Diese betrug bei sechs Patienten im Durchschnitt + 8mm, bei zwei Patienten zeigte sich eine durchschnittliche Beinverkürzung von -13mm. HERTLEIN ET AL. [23] stellten in ihrem klinisch nachuntersuchten Patientenkollektiv (12 Kinder mit Femurfrakturen, Nachuntersuchung nach durchschnittlich drei Jahren) bei zwei Kindern eine Längenwachstumsdifferenz > 10mm fest.

BOURDELAT legte ein Maßband an der Spina iliaca anterior superior an und führte dies bis zum Malleolus medialis. Nachuntersucht wurden auf diese Weise 70 Patienten mit 73 Femurschaftfrakturen, wobei sich eine durchschnittliche Beinlängendifferenz von +7mm zeigte. Der Nachuntersuchungszeitraum wird in dieser Studie nicht angegeben. [5].

Ferner beschrieb BOURDELATS ein Kollektiv aus 40 Kindern [4], von denen 38 im Hinblick auf mögliche Beinlängendifferenzwerte klinisch erfasst werden konnten. Die durchschnittliche Beinverlängerung betrug dabei +7mm (4mm bis 12mm). Lediglich ein polytraumatisierter Patient habe eine Beinlängendifferenz von +25mm aufgewiesen.

SCHMITTENBECHER ET AL. [61] publizierten in einer Studie ihre Beinlängendifferenz nach ESIN. Sie bestimmten das Ausmaß der Differenz durch die Brettchenmethode und Maßband. Hierbei zeigte sich ein Jahr postoperativ kein Fall einer Beinlängendifferenz >10mm. Von 27 Kindern wiesen zwei eine Beinverlängerung um +5mm, sieben Kinder zeigten eine Verlängerung um +10mm. Bei einem Jungen mit gleichzeitiger Unterschenkelfraktur trat eine Beinverkürzung um -35mm auf. Im Nachtrag beschreibt SCHMITTENBECHER 54 operierte Kinder, von denen mittlerweile 45 nachuntersucht werden konnten. Dabei betrug die durchschnittliche Beinlängendifferenz +2,6mm. Bei 40 Patienten lag sie nicht über ± 10mm.

SCHMITTENBECHER ET AL. ermittelten in einer weiteren Studie [62] bei Frakturen am Oberschenkel (35 Patienten) eine durchschnittliche Beinlängendifferenz von 2,6mm, bei Frakturen an der Tibia (14 Patienten) trat bis zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung (9-56 Monate postoperativ) erst bei einem Patienten eine Beinverlängerung von +5mm auf.

REHLI ET AL. [58] nennen in ihrer Veröffentlichung weder Methodik noch Nachuntersuchungszeitraum. Sie beschreiben in ihrem Patientenkollektiv (40 Patienten mit Femurschaftfraktur, 5 Patienten mit Tibiafraktur) ein durchschnittliches Mehrwachstum von +8mm.

PROKOP ET AL. [55] führen in ihrem 38 Kinder umfassenden Patientenkollektiv 12 Fälle einer Beinlängendifferenz auf. Dabei kam es in einem Fall zu einer Verkürzung um –5mm, in 11 Fällen zeigten sich Beinverlängerungen um durchschnittlich +6mm (+5mm bis +10mm). Die Methodik der Nachuntersuchung, die zwischen 4 und 37 Monaten nach der Operation erfolgte, wird in dieser Studie nicht aufgeführt.

Auch REINBERG ET AL. [59] verzichten auf eine Erläuterung ihrer Methodik. Sie führen 11 Fälle einer Beinlängendifferenz zwischen +10mm und +15mm auf, sowie einen Fall einer Beinverlängerung um +20mm in ihrem 84 Femurfrakturen umfassenden und 22 Monate postoperativ nachuntersuchten Patientenkollektiv. Auf die sechs Kinder mit Tibiafraktur wird in diesem Zusammenhang nicht näher eingegangen.

Das 58 Kinder umfassende Kollektiv von FLYNN ET AL. [17] zeigte bei 39 Kindern laut Autor ausgezeichnete Ergebnisse. Die Beinlängendifferenz lag bei diesen Kindern < 10mm. Bei den übrigen 19 Kindern zeigten sich Beinlängendifferenzen < 20mm. Nachuntersuchungszeitraum und Methodik fehlen.

HUBER ET AL. [24] beschrieben, ohne die Methodik zu nennen, ein Kind mit einer Tibiafraktur, sowie 6 Patienten mit Femurfrakturen, wobei laut Autor lediglich die Femurfrakturen eine Beinlängendifferenz aufwiesen. Dabei betrug das durchschnittliche Mehrwachstum +5mm. Der Nachuntersuchungszeitraum lag bei durchschnittlich 6 Monaten.

Es bleibt festzuhalten, dass auch in Bezug auf Beinlängendifferenzen nur wenige Studien einen Vergleich mit unseren Ulmer Ergebnissen ermöglichen. Häufig fehlen wesentliche Angaben wie zum Beispiel der Nachuntersuchungszeitraum oder die Messmethodik.

Bei den wenigen vergleichbaren aussagekräftigen Studien wird allerdings ersichtlich, dass ESIN Beinlängendifferenzen verursacht, die normalerweise den physiologischen Bereich nicht überschreiten.

Während des Wachstums machen die Kniegelenke in der Frontalebene eine „umwegige Beinachsenentwicklung“ durch, die von VANKKA und SALENIUS erstmals 1975 beschrieben wurde [71]. Zum Zeitpunkt der Geburt besteht eine Varusstellung von im Mittel 15°, die sich während der ersten 2-3 Lebensjahre zu einer überschießenden Valgusstellung entwickelt, um dann zur physiologischen Valgusstellung des Kniegelenkes zurückzukehren, die auch das erwachsene Kniegelenk kennzeichnet.

Für das Ulmer Patientenkollektiv konnte festgestellt werden: 18 Kinder wiesen hinsichtlich ihrer Beinachse eine relative Valgusabweichung im Vergleich zur gesunden Gegenseite auf. Die normale intraindividuelle Differenz von 3° wurde bei einem Kind um 1° und bei einem weiteren um 4° überschritten. Bei 35 Kindern konnte keine oder eine geringe

Varusabweichung nachgewiesen werden. Bei 4 Kindern wurde die physiologische intraindividuelle Differenz von 3° um weniger als 2° überschritten.

Bei fünf Kindern mit Tibiafraktur konnte bei einem Patienten eine Valgusabweichung der anatomischen Tibiaschaftachse von 6°, bei einem weiteren eine Varusabweichung von 5° ermittelt werden. In der Sagittalebene konnte einmal eine Rekurvation von 2° sowie eine Antekurvation von 4° im Bereich des Tibiaschaftes nachgewiesen werden. Die Werte befanden sich dabei in den physiologischen Grenzen.

Achsabweichungen sind - natürlich ebenso wie Abweichungen in Länge oder Torsion - unter Umständen mit operationstechnischen Fehlern assoziiert. Insbesondere Fehler bei der Reposition und Retention der Fraktur können Veränderungen im physiologischen Verlauf der Beinachse bedingen [23]. Zum anderen sollte die eigentlich einfache Operationstechnik der intramedullären Schienung nicht zu einer Vernachlässigung der sorgfältigen intra- und postoperativen Überprüfung der Beingeometrie führen [71].

Auch die Instabilität der ECMES-Nägel, die sich in intra- oder postoperativer Verdrehung der ESIN äußern kann [42], bewirkt unter Umständen Veränderungen in der Beinachse oder sogar der kompletten Beingeometrie.

Die Problematik von Achsabweichungen nach ESIN bleibt in vielen Studien unberücksichtigt [11, 32, 34, 44, 48, 52]. Einige Autoren beschäftigten sich zwar mit der Thematik von Achsdeviationen, nennen häufig nicht genaue Art und Ausmaß der Achsabweichungen oder die Methodik, mit der diese Abweichungen in der Beingeometrie bestimmt werden konnten [5, 24, 36, 45, 46, 52, 53, 58]. Aus diesem Grund sind Vergleiche mit unserer Studie auch zu dieser Art von Beingeometrieabweichung nicht möglich.

So erläutern LIGIER ET AL. in ihrer Studie [36] weder die genaue Methodik, noch die exakten Winkelmasse der Achsdeviationen. Sie berichten aus ihrem Kollektiv (62 Patienten) von keinem Fall einer Achsabweichung > 10°, führen hingegen 14 Kinder mit Abweichungen > 5° auf. Bei diesen Patienten lag achtmal ein Varus vor, zweimal ein Valgus, dreimal eine Antekurvation, sowie einmal eine Rekurvation.

HERTLEIN ET AL. [23] untersuchten 12 Kinder mit Femurfrakturen in einer Fall-Kontroll-Studie nach. Dies erfolgte nach durchschnittlich drei Jahren. Dabei wurde jedem Kind, das mit ESIN versorgt worden war, ein konservativ behandelter Patient

gegenübergestellt und beide hinsichtlich Varus / Valgus, sowie Ante- bzw. Rekurvation radiologisch untersucht. Als signifikant wurde eine Achsabweichung > 10° gewertet. Unter den mit ESIN behandelten Patienten kam es in einem Fall zu einer Achsabweichung > 10°, bei den konservativ behandelten Kindern zeigte sich hingegen in 4 Fällen eine Abweichung > 10°. Genauere Gradangaben fehlen. HERTLEIN vertritt die Auffassung, dass trotz eventuell möglicher Spontankorrektur in den nächsten Lebensjahren der Kinder eine möglichst achsgerechte Stellung der kindlichen Schaftbrüche erzielt werden sollte, da auch den spontanen Korrekturmechanismen des kindlichen Skeletts Grenzen gesetzt seien. LUHMANN ET AL. [38] beschrieben eine durchschnittliche radiologisch ermittelte Achsabweichung in der Frontalebene (Varus / Valgus) von 4,7° (0°-20°), in sagittaler Ebene betrug sie durchschnittlich 4,2° (Antekurvation / Rekurvation, 0°-20°) unter ihren 39 Patienten. Laut Autor ließ sich tendenziell feststellen, dass mit steigender Nagelgröße eine Abnahme der sagittalen Achsabweichung zu verzeichnen war.

MAZDA ET AL. [39] konnten ihre Nachuntersuchungsergebnisse klinisch und radiologisch aus einem Patientenkollektiv mit 32 Kindern und 34 Femurschaftfrakturen ermitteln. Nach durchschnittlich 2,5 Jahren zeigte sich laut MAZDA in keinem Fall eine Achsabweichungen in frontaler oder sagittaler Ebene > 2°.

LASCOMBES ET AL. [33] nannten in ihrer Studie nicht die Methodik, mit der folgende Achsabweichungen bei 75 Kindern nach drei Jahren bestimmt werden konnten: 18 Mal kam es zu einem Varus, 12 Mal zeigten die Patienten eine Valgusabweichung. Die Varusabweichung, die anfangs bei 7 Kindern < 5°, bei 11 Kindern < 10° betrug, korrigierte sich in acht Fällen bis zum Ende des Nachuntersuchungszeitraums spontan. Nach drei Jahren lag sie bei drei Kindern zwischen 4° und 5°. Bei fünf Kindern konnten Werte zwischen 5° und 10° ermittelt werden. Zweimal zeigte sich eine Überkorrektur in Richtung Valgus von 5°. Abweichungen in Richtung Valgus betrugen anfangs bei 4 Kindern < 5°, bei 8 Kindern zeigten sich Werte < 10°, wobei sich im Laufe der Untersuchungen bei sieben Kindern Spontankorrekturen zeigten. Nach drei Jahren betrug der Valgus bei drei Kindern 2° bis 4°, bei zwei Kindern lag er zwischen 5° und 7°.

SCHMITTENBECHER [63] führt 405 Oberschenkel- sowie 119 Unterschenkelbrüche auf, die in den Jahren 1990 bis 1998 nachuntersucht werden konnten. Der Nachuntersuchungszeitraum sowie die Methodik werden nicht erläutert. Als Ergebnis führt er in 3,8 % der Fälle Achsabweichungen > 10° auf.

In einer weiteren Studie von SCHMITTENBECHER ET AL. [62] wurden 35 Patienten mit Femurschaftfraktur hinsichtlich ihrer Achse radiologisch beurteilt (9 bis 56 Monate postoperativ). Siebenmal zeigte die radiologische Abschlusskontrolle eine Achsabweichung von 5-10°, siebenmal von 10-15°. Davon betrafen acht Achsenfehler die sagittale Ebene (Antekurvation), nur sechs die Frontalebene. Unter den 14 Kindern mit frakturiertem Unterschenkel zeigte sich in sechs Fällen eine Achsdeviation von 5-7°, vier davon lagen in der sagittalen Ebene. Auch hier fehlen präzisere Angaben zur Art der Achsabweichungen.

In einer dritten Studie von SCHMITTENBECHER UND DIETZ [61] wurden 27 Patienten nach durchschnittlich vier Monaten radiologisch nachuntersucht. Bezüglich der Femurachse lagen 13 Werte unter 5° Achsabweichung, sieben Werte zwischen 5 bis 10° (viermal Antekurvation, dreimal Varus/ Valgus), weitere fünf Werte zwischen 10-15° Varus / Valgus, zwei Werte zwischen 10-20° Antekurvation. Bei keinem Patienten lagen die Winkel > 15° Varus/ Valgus bzw. > 20° Antekurvation. Erklärbar sind diese Achsdeviationen > 10° durch eine mögliche intra- bzw. postoperative Instabilität der ECMES-Nägel [42], sowie mögliche operationstechnische Fehler.

PRÉVOT [53] beschreibt unter seinen Patienten 16% mit Varus (durchschnittlich 6,6°), 10% mit Valgus (durchschnittlich 7°), 8% mit Antekurvation (durchschnittlich 11,5°), sowie 2% mit Rekurvation (durchschnittlich 10°). Ferner geht er davon aus, dass sich Abweichungen diesen Grades innerhalb der nächsten zwei Jahre spontan korrigieren würden. Allerdings bleibt offen, bei wie vielen Patienten in welchem Nachuntersuchungszeitraum Achsabweichungen bestimmt werden konnten und welche Methodik er dazu verwendete.

In einer weiteren Studie von PRÉVOT [52], sowie in zahlreichen Veröffentlichungen anderer Autoren [4, 5, 17, 46, 55, 58, 59] werden keinerlei Angaben zur Methodik gemacht:

PRÉVOT [52] führte 217 Femurschaftfrakturen auf. Dabei kam es in 23 Fällen zu Abweichungen über 5°. Ein Varus zeigte sich bei 14 Patienten, ein Valgus bei 9. Eine Antekurvation lag in 9 Fällen vor, eine Rekurvation in 3. Genaue Gradzahlen, sowie der Nachuntersuchungszeitraum werden hier nicht genannt.

OH ET AL. [46] beschrieben die Ergebnisse von 28 Patienten mit 31 Femurschaftfrakturen. Ohne auf die Methodik einzugehen, nennen die Autoren ihre

Ergebnisse, die nach durchschnittlich 27 Monaten (18-40 Monate) ermittelt werden konnten. In drei Fällen bestand ein Varus von 5° bis 10°. In 28 Fällen betrug die Achsabweichung < 5°.

Auch PROKOP ET AL [55] führten 4 bis 37 Monate postoperativ in ihrem 38 Kinder umfassenden Patientenkollektiv keinerlei Achsabweichungen auf, wobei auch hier genaue Angaben zur Methodik fehlen.

FLYNN ET AL. [17] untersuchten 50 mit ESIN versorgte Kinder nach. 38 von ihnen zeigten laut FLYNN ausgezeichnete Ergebnisse ohne jegliche Achsabweichungen, wobei der genaue Nachuntersuchungszeitraum, sowie die Methodik nicht aufgeführt werden. Die proximale Femurfraktur eines elfjährigen Jungen heilte in 20° Varus aus. Nach zwei Jahren betrug sie nur noch 7°.

REINBERG ET AL [59] führen 84 Femurschaftfrakturen, sowie 4 Tibiafrakturen auf. Die Nachuntersuchung der Tibiafrakturen erfolgte durchschnittlich nach 12 Monaten, ohne das relevante Achsabweichungen auftraten. Untersuchungen der Femurfrakturen erfolgten nach 22 Monaten, wobei sich in 2 Fällen ein Valgus von 10°, in 4 Fällen ein Varus von 10° bis 15° und bei einem Kind eine Antekurvation von 20° feststellen ließ. Die Methodik, mit der diese Bestimmungen vorgenommen werden konnten, führen die Autoren nicht auf.

REHLI ET AL. [58] beschreiben in ihrer Studie (Nachuntersuchungszeitraum zwischen 1988 bis 1991) allgemein das Auftreten von Antekurvationsfehlstellungen und möglichen Achsabweichungen, nennen aber weder Betroffenenzahl, noch geben sie Methodik oder Winkel an.

Unter BOURDELATS Patienten [4] (Nachuntersuchungszeitraum zwischen 1985 bis 1992) traten angeblich keinerlei Achsabweichungen auf.

Genauso verhält es sich in einer zweiten Studie BOURDELATS [5], in der er 38 von 40 Kindern erfasste. Die Methodik wird nicht genannt. Er beschreibt normale Achsenverhältnisse unter der Prämisse eines physiologischen Valgus von 4° bis 7°. Nur ein Kind mit beidseitiger Femurfraktur habe unmittelbar postoperativ einen Valgus von 20° gezeigt. Nach 30 Monaten habe dieser nur noch 10° betragen. Bis zum Ende des Beobachtungszeitraums habe sich die Achse normalisiert. Einige Fälle zeigten anfangs vermehrte Antekurvationen. Diese hätten sich aber im Verlauf der weiteren Entwicklung

auf ein physiologisches Maß korrigiert. Genauere Angaben zu Ausmaß, Zeitraum und Art der Erfassung werden dabei von BOURDELAT nicht gemacht.

Nur in wenigen Studien werden Art der Methodik und Ausmaß der Achsabweichung präziser ausgeführt:

Ähnliche Ergebnisse verzeichneten FLYNN ET AL. [16] in ihrem erst klinisch, bei Auffälligkeiten später radiologisch nachkontrolliertem Patientenkollektiv (58 Kinder). Zu Achsabweichungen zwischen 5° bis 10° kam es hierbei in 6 Fällen. Eine Studienteilnehmerin zeigte eine Varusabweichung von 20°. Zur besseren Stabilisierung erhielten 15 Kinder postoperativ einen Gips, 26 Kinder speziell angepasste Schienen. Nur 17 Kinder wurden nicht primär postoperativ immobilisiert.

TILL ET AL. [69] untersuchten nach durchschnittlich 3,1 Jahren 70 von 110 Kindern klinisch und radiologisch nach. 23 Kinder hatten eine Femurfraktur erlitten, 14 Patienten eine Tibiafraktur. Bei den übrigen 33 Kindern handelte es sich um Patienten mit Frakturen der oberen Extremität. HILL berichtet nur von einer Valgusabweichung von 12° nach einer Tibiafraktur. Andere Achsabweichungen führt er nicht auf.

LINHART ET AL. [37] untersuchten 28 Patienten klinisch und radiologisch nach (8 bis 36 Monate postoperativ). Davon hatten sich 20 Kinder eine Oberschenkelfraktur zugezogen (zwei davon jeweils beidseits), 8 Kinder wiesen Unterschenkelbrüche auf. Es zeigte sich in zwei Fällen ein Varus von 5° bzw. 10°, ansonsten traten keine Achsabweichungen > 10° auf.

AKTUGLU ET AL. [1] führen in ihrer retrospektiven Studie (30 Patienten, Nachuntersuchung nach durchschnittlich 105 Monaten sowohl klinisch als auch radiologisch) einen Fall einer relevanten Anteversion von 8° auf. Außerdem zeigte sich bei drei Patienten ein Valgus > 5° (5° bis 7°). Der Autor beschreibt in diesem Zusammenhang die Möglichkeit von Abweichungen in der Beingeometrie nach ESIN und die Wichtigkeit einer genauen Indikationsstellung für dieses Verfahren, um Probleme möglichst zu vermeiden.

VAN MEETEREN ET AL. [72] beschreiben in ihrem Patientenkollektiv die postoperativen Ergebnisse nach durchschnittlich 7,5 Jahren von 24 der ursprünglich 27 mit ESIN behandelten Kinder. Klinisch und radiologisch ermittelte Daten wurden dabei hinsichtlich der Anteversion des Femurhalses durch computertomographische Messungen

ergänzt. Relevante Achsabweichungen werden dabei von VAN MEETEREN nicht aufgeführt.

CAREY ET AL. [7] ermittelten in ihrem Patientenkollektiv (25 Kinder, 6 Monate bis 5 Jahre später nachuntersucht) keinen Betroffenen mit einer signifikanten klinischen oder radiologischen Achsabweichung. Sie führten zwei Patienten mit einer Achsabweichung über 5° auf, davon ein Kind mit 7° Valgus, ein anderes mit 10° Varus.

Zusammenfassend lässt sich formulieren, dass bei keiner Studie der tatsächliche Deformitätswinkel berücksichtigt wurde. Dennoch treten Achsenabweichungen im Bereich des Fermur- oder Tibiaschaftes > 15° nur in Ausnahmefällen auf. Eine Indikation zur Korrekturosteotomie ergibt sich daraus nicht, da, wie auch im eigenen Fallbeispiel gezeigt werden konnte, eine Achsenabweichung im Bereich der distalen Femurdiaphyse von bis zu 16° toleriert werden kann. SCHULZ berichtet sogar über eine Spontankorrektur von 20° im Bereich der proximalen Femurdiaphyse [64].

6 Zusammenfassung

Die früher überwiegend konservative Behandlung der Oberschenkelschaftfakturen im Kindesalter wird heute durch kindgerechte Osteosyntheseverfahren ersetzt. Hierzu gehört die elastisch-stabile intramedulläre Schienung nach dem Vorbild von FIRICA, die durch PRÉVOT ET AL. weiterentwickelt wurde. Vorteile liegen in einer frühzeitigen Mobilisation, einem verkürzten stationären Aufenthalt, sowie – nach Abschluss des Heilungsprozesses einer ambulanten Materialentfernung, wobei aufgrund der minimalen Traumatisierung des Weichteilmantels beim Einbringen und Entfernen der Schienen ein exzellentes kosmetisches Resultat zu erwarten ist. Nachteile ergeben sich v.a. aufgrund der Torsionsinstabilität der ECMES-Nägel. Es resultieren u. U. Abweichungen in der Beingeometrie, die Länge, Achse und Torsion des verunfallten Beins betreffen können. Ziel dieser Doktorarbeit war es, die Häufigkeit derartiger Abweichungen nach gesicherter knöcherner Konsolidierung der Fraktur präzise mittels computertomographischer bzw. navigierter sonographischer Untersuchung zu erfassen.

In unserem Patientenkollektiv, bestehend aus 73 Studienteilnehmern (25 Mädchen und 48 Jungen, Alter im Median 5,3 Jahre), wurden 21 Kinder computertomographisch nach der Methode von WAIDELICH nachuntersucht. Die übrigen Kinder konnten hinsichtlich ihrer Beingeometriedaten sonographisch mit einem der Computertomographie gleichwertigen 2.5D-Meßsystem erfasst werden. Die radiologische Bestimmung der anatomischen Femurschaftachse erfolgte auf dem AP und lateralen Röntgenbild. Die mechanische Beinachse wurde bis auf einen Fall sonographisch bestimmt.

Relevante Abweichungen hinsichtlich Beinlänge wurden im Patientenkollektiv nicht festgestellt. In der Mehrzahl der Fälle (53 Studienteilnehmer) kam es zu einer Beinverlängerung. Die übrigen Studienteilnehmer wiesen Beinverkürzungen auf. Jedes sechste Kind zeigte zwar Abweichungen von mehr als der physiologischen Differenz von 10mm, die Abweichung von 15mm wurde jedoch in keinem Fall überschritten. Hinsichtlich der Beinachse konnten nur in einem Fall eine erhebliche Valgusabweichung von 7 Grad nachgewiesen werden. Als Tendenz zeigte sich eine Abweichung in Richtung Varus, die sich allerdings noch in den physiologischen Grenzen bewegte.

Ferner ließ der Frakturtyp (Quer-, Schräg, Spiralfraktur oder Fraktur mit Biegungskeil) keinerlei Rückschlüsse auf das Ausmaß der Beingeometrieveränderung zu. Tendenziell

neigen Spiralfrakturen und Fakturen mit Biegungskeil zu den größten Torsionsabweichungen, Querfrakturen zu einer Beinverlängerung. Allerdings konnte aufgrund der geringen Fallzahl kein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Gruppen nachgewiesen werden.

Hinsichtlich der Torsion konnte folgendes festgestellt werden: Beinahe jedes zweite Kind aus unserem Kollektiv (48%) wies eine erhebliche Torsionswinkeldifferenz (> 15°) auf, wobei die Frakturen in der Mehrzahl der Fälle in Außentorsion konsolidierten (90%). Ob dieses Ergebnis mit der Torsionsinstabilität der intramedullären Schienung zu erklären ist, oder ob es sich um operationstechnische Fehler handelt, konnte nicht festgestellt werden, da die Bestimmung der Beingeometrie erst bei der Metallentfernung durchgeführt wurde.

Fest steht, dass die einfache Operationstechnik der intramedullären Schienung von Ober- und Unterschenkelschaftfrakturen nicht zu einer Vernachlässigung der sorgfältigen intra- und postoperativen Überprüfung der Beingeometrie führen darf. Auf Grund der möglichen Spontankorrektur kann zur entgültigen Häufigkeit von posttraumatischen Fehlstellungen nach ESIN erst nach Wachstumsabschluß in einer weiteren Studie Stellung genommen werden.

7 Literaturverzeichnis

1. Aktuglu K, Özkayin N: **Cocuk femur cisim kiriklarinda elastik intramedüller civilemenin gec dönem sonuclari.** Ulus Travma Derg 9 : 203-208 *(2003)*
2. Anselment K: **Die sonographische Torsionswinkel- und Längenmessung der unteren Extremität.** Dissertation der Universität Ulm *(1997)*
3. 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: 975-978 *(1997)*
4. Bourdelat D, Sanguina M: **Fracture de la diaphyse fémorale chez l´enfant – Embrochage centro-médullaire ascendant ou descendant ? Un choix de principe ou de nécessité ?** Ann Chir 45 : 52-57 *(1991)*
5. Bourdelat D: **Fracture of the femoral shaft in children: Advantages of the descending medullary nailing.** J Pediatr Orthop Part B 5: 110-114 *(1996)*
6. 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)*
7. Carey TP, Galpin RD: Flexible **intramedullary nail fixation of pediatric femoral fractures.** Clin Orthop 332: 110-118 *(1996)*
8. Corry IS, Nicol RO: Limb **length after fracture of the femoral shaft in children.** J Pediatr Orthop 15: 217-219 *(1995)*
9. Davids JR, Marshall AD, Blocker ER, Frick, SL, Blackhurst DW, Skewes E: **Femoral Anteversion in Children with cerebral Palsy.** J Bone Joint Surg 85A, 3: 481-488 *(2003)*
10. Dietz HG, Schmittenbecher PP, Illing P: **Intramedulläre Osteosynthese im Wachstumsalter.** Urban und Schwarzenberg, München Wien Baltimore, S. 1-56, 135-219 *(1997)*
11. Dietz HG, Schmittenbecher PP, Knorr, Stehr M: **Biologische Osteosynthesen von Schaftfrakturen der unteren Extremität im Wachstumsalter**. Langenbecks Arch Chir Suppl – Kongressbericht *(1993)*
12. Eichler J: Methodische **Fehler bei Feststellung der Beinlänge und der Beinlängendifferenzen.** Orthopäde 1:14-20 *(1972)*

13. Ender J, Simon-Weidner R: **Die Fixation der trochantären Brüche mit runden elastischen Condylennägeln.** Acta chirurgica austriaca 1: 40-42 *(1970)*
14. Firica A, Popescu R, Scarlet M, Dimitriu M, Ionescu V, Protopescu C, Buga M, Constantinescu I, Iliescu N : **L´ostéosynthèse stable élastique, nouveau concept biomécanique - étude expérimentale**. SOFCOT réunion annuelle, Nov. 1980. Rev Chir Orthop 67 Suppl. II: 82-91 *(1981)*
15. Firica A, Troianescu O, Micichescu D, Protopopescu C: **Ostéosynthèse du fémur à clous élastiques sécants (études de technique).** Lyon chirurgical 73: 385-387 *(1977)*
16. Flynn JM, Hresko T, Reynolds RA: **Titanium elastic nails for pediatric femur fractures – a multicenter study of early results with analysis of complications.** J Pediatr Orthop 21: 4-8 *(2001)*
17. Flynn JM, Luedtke L, Ganley TJ, Pill SG: **Titanium elastic nails for pediatric femur fractures: lessons from the learning curve**. Am J Orthop 31: 71-74 *(2002)*
18. Franzreb M, Strecker W, Kinzl L: **Wertigkeit der klinischen Untersuchung von Torsionswinkel- und Längenverhältnissen der unteren Extremität.** Akt Traumatol. 25:153-156 *(1995)*
19. Gonzalez-Herranz P, Burgos-Flores J, Rapariz JM, Lopez-Mondejar JA, Ocete JG, Amaya S: **Intramedullary nailing of the femur in children.** J Bone Joint Surg 77B: 262-266 *(1995)*
20. Gürke L, Martinol S: **Korrektur mehrdimensionaler Deformitäten durch eine einzige Osteotomie.** In: Strecker W, Keppler P, Kinzl L (Hrsg): Posttraumatische Beindeformitäten, Analyse und Korrektur. Springer, Berlin Heidelberg New York, S. 277-284 *(1997)*
21. Gustilo B, Anderson JP: **Prevention of infection in the treatment of one thousand and twenty-five open fractures of long bones**. J Bone Joint Surg 58A: 453 *(1976)*
22. Hartung J, Elpelt B, Klösener KH: **Statistik** 10. Auflage, Oldenbourg, München, Wien, S. 505-637 *(1995)*
23. 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)*

24. Huber RI, Keller HW, Huber PM, Rehm KE: **Flexible intramedullary nailing as fracture treatment in children.** J Pediatr Orthop 16: 602-605 *(1996)*
25. Keller HW, Huber R, Rehm KE: **Die intramedulläre Schienung von Frakturen im Wachstumsalter mit einem neuen Implantat.** Chirurg 64: 180-184 *(1993)*
26. Keppler P, Strecker W, Liebscher D, Kinzl L: **Projektionsfehler bei der computertomographischen Torsionswinkel- und Längenbestimmung an der unteren Extremität.** In: Strecker W, Keppler P, Kinzl L (Hrsg): **Posttraumatische Beindeformitäten, Analyse und Korrektur**. Springer, Berlin Heidelberg New York, S. 55-64 *(1997)*
27. Keppler P, Strecker W, Anselment K, Kinzl L : **Die sonographische Torsionswinkel- und Längenbestimmung der unteren Extremität.** In: Strecker W, Keppler P, Kinzl L (Hrsg): Posttraumatische Beindeformitäten, Analyse und Korrektur. Springer, Berlin Heidelberg New York, S. 39-49 *(1997)*
28. Keppler P, Strecker W, Anselment K, Kinzl L: A **new method using ultrasound for measuring femoral and tibial torsion and leg length in children**. J Bone Joint Surg 77B (Supp 2): 204 *(1995)*
29. Keppler P, Strecker W, Kinzl L, Simnacher M, Claes L: **Die sonographische Bestimmung der Beingeometrie.** Orthopäde 28: 1015-1022 (1999)
30. Keppler P, Strecker W, Kinzl L: **Die CT-Bestimmung der Beinlängen und Torsionen bei Kindern und Jugendlichen.** Unfallchirurg 102: 936-941 *(1999)*
31. Kiely N: **Mechanical properties of different combinations of flexible nailing in a model of pediatric femoral fracture.** J Pediatr Orthop 22: 424-427 *(2002)*
32. Knorr P, Schmittenbecher PP, Dietz H-G: Die Behandlung pathologischer Frakturen der langen Röhrenknochen im Kindesalter mittels elastisch stabiler Markraumschienung. Unfallchirurg 99 (6): 410-414 *(1996)*
33. Lascombes P, Prevot J, Poncelet T, Ligier JN, Blanquart D: **Les complications de l´embrochage élastique stable dans le traitement des fractures du fémur de l´enfant.** Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot 74: 293-296 *(1988)*
34. Ligier JN, Metaizeau JP, Prévot J, Lascombes P: **Elastic stable intramedullary pinning of long bone shaft fractures in children**. Z Kinderchir 40: 209-212 *(1985)*
35. Ligier JN, Metaizeau JP, Prévot J: **L'embrochage élastique stable à foyer fermé en traumatologie infantile**. Chir Ped 24 : 383-385 *(1983)*

36. Ligier JN, Metaizeau JP, Prévot J, Lascombes P: **Elastic stable intramedullary nailing of femoral shaft fractures in children**. J Bone Joint Surg 70 B: 74-77 *(1988)*
37. Linhart WE, Spendel S, Mayr H, Schwendenwein E: **Die elastisch stabile intramedulläre Schienung kindlicher Schaftfrakturen**. Zent bl Kinderchir 1: 215-220 *(1992)*
38. 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)*
39. Mazda K, Khairouni A, Pennecot GF, Bensahel H: **Closed flexible intramedullary nailing of the femoral shaft fractures in children**. J Pediatr Orthop B 6: 198-202 *(1997)*
40. Metaizeau JP, Ligier JN : **Le traitment chirurgical des fractures des os longs chez l'énfant.** J Chir (Paris) 121: 527-537 *(1984)*
41. Metaizeau JP, Ligier JN : **L'ostéosynthèse chez l'énfant – techniques et indications.** Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot 69: 495-511 *(1983)*
42. Moser S: **Vergleichende Untersuchung zwischen Fixateur externe und elastischer Markraumschienung bei kindlichen Oberschenkelfrakturen.** Dissertation der Universität Ulm *(1998)*
43. Müller ME, Nazarian S, Koch P, Schatzker J: **The Comprehensive Classification of Fractures of Long Bones.** Springer, Berlin Heidelberg New York, S. 128 – 137 (1990)
44. Oestern HJ, Rieger G, Jansen Th : **Intramedulläre Osteosynthesen beim Kind.** Unfallchirurg 103: 2-11 *(2000)*
45. Oetiker J, Komorek W, Meyer RP, Kappeler U: **Die Prévot-Nagelung, eine elegante Methode - Erfahrungen mit 38 eigenen Fällen**. Unfallchirurg 99 (5): 327-331 *(1996)*
46. 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)*
47. Paley D, Herzenberg J, Tetsworth K, McKie J, Bhave A: **Deformity planning for frontal and sagittal plane corrective osteotomies.** Orthop Clin North Am 25: 425-465 *(1994)*

48. Parsch KD: **Modern trends in internal fixation of femoral shaft fractures in children – a critical review**. J Pediatr Orthop B 6: 117-125 *(1997)*
49. Penning D: Zur **Biologie des Knochens und der Knochenbruchheilung.** Unfallchirurg 93: 488-491 *(1990)*
50. Prévot J, Lascombes P, Ligier JN : **L'ECMES comme procédé d´ostéosynthèse des fractures des membres chez l'enfant : Principe, application sur le fémur. A propos de 250 fractures suivies depuis 1979.** Chirurgie 119 : 473-476 *(1993-1994)*
51. Prevot J, Ligier JN, Metaizeau JP, Lascombes P: **Stabile elastische intramedulläre Schienung bei verschiedenen Frakturlokalisationen.** In: Hofmann von Kappherr S (Hrsg.): Operationsindikationen bei Frakturen. Gustav Fischer, Stuttgart New York, S. 276-279 *(1987)*
52. Prévot J, Metaizeau JP, Lascombes P: **Stabiles elastisches intramedulläres Pinning: Ein neues Konzept der Behandlung der Schaftfraktur beim Kind**. Hefte zu der Unfallchirurg 230: 955-961 *(1993)*
53. Prévot J: Elastisch**-stabile Nagelung der Oberschenkel- und Unterarmfrakturen des Kindes.** Hefte zu der Unfallchirurg 249: 77-82 *(1995)*
54. Prévot J: **L´embrochage élastique stable.** Z Unfallchir Vers med 82 : 252-260 *(1989)*
55. Prokop A, Jubel A, Hahn U, Rehm KE : **Intramedulläre Stabilisierung kindlicher Schaftfrakturen.** Kongressbd dtsch Ges Chir Kongr 119: 689-694 *(2002)*
56. Puhl W, Günther KP: **Wahl geeigneter Operationsverfahren in Abhängigkeit von Art und Lokalisation der Fehlstellung.** In: Strecker W, Keppler P, Kinzl L (Hrsg): Posttraumatische Beindeformitäten, Analyse und Korrektur. Springer, Berlin Heidelberg New York, S. 132-140 *(1997)*
57. Rehli V, Slongo T: **Operative Therapiemöglichkeiten bei Kinderschaftfrakturen mittels endomedullärer Nagelung.** Helv Chir Acta 60: 991-996 *(1994)*
58. Rehli V, Slongo Th: **Die elastisch-stabile endomedulläre Schienung (EES) nach Prévot – Eine ideale Methode zur Versorgung kindlicher Schaftfrakturen.** Z Unfallchir Vers med 84: 177-181 *(1991)*

59. 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)*
60. Rippstein J: **Zur Bestimmung der Antetorsion des Schenkelhalses mittels zweier Röntgenaufnahmen.** Z Orthop Ihre Grenzgeb 86: 345-360 *(1955)*
61. Schmittenbecher PP, Dietz HG: **Die Osteosynthese der Femurschaftfraktur im Kindesalter mit elastisch-stabiler Markraumschienung („Nancy-Nagelung").** Operat Orthop Traumatol 7 (Heft 4): 215-224 *(1995)*
62. Schmittenbecher PP, Dietz HG: **Starndardindikationen zur intramedullären Osteosynthese im Wachstumsalter. Erfahrungen bei 100 Patienten.** Akt Chir. 30: 171-179 *(1995)*
63. Schmittenbecher PP: **Komplikationen und Fehler bei der Anwendung intramedullärer Stabilisierungsverfahren bei Schaftfrakturen im Kindesalter.** Kongressbd dtsch Ges Chir, Springer, Berlin, S 435 - 437 *(2001)*
64. Schulz W : **Therapie der Wachstumsstörungen im Kindesalter.** In: Grifka J (Hrsg): X- und O-Beine bei Kindern und Erwachsenen. Enke, Stuttgart, S. 24-26 *(1997)*
65. Segal D: **Flexible intramedullary nailing of tibial shaft fractures.** Instr course Lect 36 : 338 - 349 *(1987)*
66. Shapiro F: Fractures of the femoral shaft in children: **The overgrowth phenomenon.** Acta Orthop Scand 52: 649-655 *(1981)*
67. Slongo T: TEN **(Titanium Elastic Nail) Operationstechnik.** SYNTHES, Oberdorf (2003)
68. Strecker W, Franzreb M, Kinzl L: **Die klinische Untersuchung der Beingeometrie – Vorschläge zur Untersuchungstechnik und einem standartisierten Vorgehen.** In: Strecker W, Keppler P, Kinzl L (Hrsg): Posttraumatische Beindeformitäten, Analyse und Korrektur. Springer, Berlin Heidelberg New York, S. 9-21 *(1997)*
69. Till H, Huttl 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)*
70. Tscherne H, Gotzen L: **Fraktur und Weichteilschaden.** Springer, Berlin Heidelberg New York, S. 1-10 *(1983)*

71. Vankka E, Salenius P: **The development of the tibiofemoral angle in children.** J Bone Joint Surg Am 57 : 259-261
72. Van Meeteren MC, van Riet YE, Hoogbergen MM, Pull Ter Gunne AJ: **Matig resultaat van de behandeling van femurschaftfracturen bij kinderen door intramedullaire fixatie.** Ned Tijdschr Geneeskd 140: 1232-1235 *(1996)*
73. Waidelich HA, Strecker W, Schneider E: **Computertomographische Torsionswinkel- und Längenmessung an der unteren Extremität**. Fortschr Röntgenstr 157,3: 245-251 *(1992)*

8 Danksagung

Mein Dank gilt all jenen, die mich bei dieser Arbeit unterstützt haben, besonders meinem Betreuer Herrn Dr. med. P. Keppler für seine wertvolle Hilfe sowie meinem Doktorvater Herrn Professor Dr. med. L. Kinzl für die Bereitstellung des Themas.

9 Tabellarischer Lebenslauf

Name:	Isabel Lindemann
Geburtsdatum:	08.12.1979
Geburtsort:	Münster
Familienstand:	Ledig
Staatsangehörigkeit:	Deutsch
Eltern:	Dr. Michael Lindemann, Dermatologe Dr. Karla Höcker-Lindemann, Dermatologin
Schulbildung:	1986-1990 Grundschule Burgberg 1990-1999 Gymnasium Immenstadt 6/1999 Abitur
Studium:	1999-2004 Studium der Humanmedizin 8/2001 Ärztliche Vorprüfung 8/2002 Erstes Staatsexamen 8/2004 Zweites Staatsexamen 11/2005 Drittes Staatsexamen