

Aus der Kinderchirurgischen Klinik und Polyklinik
im Dr. von Haunerschen Kinderspital
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Direktor: Prof. Dr. D. von Schweinitz

**Indikationen, Ergebnisse und Komplikationen der „ESIN“ bei
Extremitätenfrakturen im Kindesalter**

Dissertation zum Erwerb des Doktorgrades
Der Medizin
An der Medizinischen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München

vorgelegt von
Johannes Müßig
geboren in Garmisch-Partenkirchen

2011

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
Der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. Hans-Georg Dietz

Mitberichterstatter: Prof. Dr. Bernhard Heimkes

Mitbetreuung durch den
Promovierten Mitarbeiter: Dr. Kathrin Neuhaus

Dekan: Prof. Dr. med. Dr. h. c. M. Reiser, FACR, FRCR

Tag der mündlichen Prüfung: 05.05.2011

Meinen Eltern

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	3
1.1 Frakturen der langen Röhrenknochen im Kindesalter	3
1.1.1 Geschichte der Elastisch Stablen Intramedullären Nagelung	10
1.1.2 Biomechanik und Indikationen der ESIN	13
1.1.3 Komplikationen	29
1.1.4 Fragestellung	39
2 Material und Methoden	40
2.1 Datenerfassung	40
2.2 Operationstechniken	41
3 Ergebnisse	52
3.1 Frakturen des Oberarms	54
3.2 Frakturen des Unterarms	59
3.3 Frakturen des Oberschenkels	69
3.4 Frakturen des Unterschenkels	71
4 Diskussion	75
5 Zusammenfassung	85
6 Literaturverzeichnis	88
7 Anhang	94
8 Danksagung	96
9 Lebenslauf	97

1 Einleitung

1.1 Frakturen der langen Röhrenknochen im Kindesalter

Etwa die Hälfte der klinisch behandelten Verletzungen infolge von Unfällen im Kindesalter sind Knochenbrüche. Der sich im Wachstum befindliche Knochen weist einige Besonderheiten auf, entsprechend sind für die Therapieplanung bei Frakturen im Wachstumsalter unter anderem Kenntnisse über

- die Wachstumsphänomene am juvenilen Skelett,
- die möglichen Folgen bei direkten Verletzungen der Wachstumszonen und
- deren formkorrigierendes Potenzial

unabdingbar [1]. Der wachsende Röhrenknochen wird in die Bereiche Epiphyse, Metaphyse und Diaphyse eingeteilt. Er wächst über die im Wachstumsalter aktiven je zwischen Epiphyse und Metaphyse befindlichen Epiphysenfugen in die Länge. Die Versorgung der Epiphyse erfolgt über 3 eigenständige Gefäßsysteme (periostales, epiphysäres und metaphysäres System). Für die Zunahme des Knochendurchmessers ist der periost-endostale Knochenzuwachs verantwortlich. Während der periostale Knochenzuwachs zu einer Vergrößerung des Durchmessers führt, wirkt der endostale Knochenabbau im Inneren einer gleichzeitigen Zunahme des Gewichts und der Wandstärke entgegen [2]. Bei der Versorgung von Knochenbrüchen bei Kindern muss auf diese Strukturen Rücksicht genommen werden. Ein besonderes Augenmerk ist dabei auf die Epiphysenfuge zu richten. Sie ist zwar selten direkt von der Fraktur betroffen, jeder Knochenbruch führt jedoch zu einer Reaktion der benachbarten Wachstumsfugen [3]. So ist die Epiphysenfuge bei der posttraumatischen Versorgung unbedingt zu schonen, denn eine iatrogene Verletzung der Epiphysenfuge kann zu Wachstumsstörungen führen. Bei guter Adaptation und stabilen Verhältnissen im Sinne einer rigiden Osteosynthese (beispielsweise bei einer Plattenosteosynthese) kann eine primäre Heilung ohne äußere Kallusbildung stattfinden, meist erfolgt die Heilung am Knochen eines Kindes nach bindegewebiger Organisation des Frakturhämatoms auch im Rahmen stabiler Osteosynthesen (Nagel, ESIN) praktisch immer sekundär über eine Kallusbildung. Zunächst bildet sich nach bindegewebiger Organisation des Frakturhämatoms der

druckdolente Fixationskallus. Mit voranschreitender Mineralisierung wird der Kallus zunehmend indolent. Als klinisches Zeichen der erlangten Bewegungsstabilität ist der Frakturbereich palpatorisch nicht mehr schmerzhaft. Je nach Frakturlokalisation sind Heilungszeiten von 2 bis 12 Wochen physiologisch. Die Heilungszeit der Fraktur hängt zum einen von der Fläche der Fragmente und zum anderen von der Lokalisation der Fraktur am Knochen ab. Entscheidend ist auch der beteiligte Knochen. Schrägfrakturen mit einer größeren Frakturfläche heilen wesentlich schneller als Querfrakturen. Liegt die Fraktur im metaphysären Bereich des Knochens, so ist im Vergleich zu diaphysären Frakturen von einer kürzeren Heilungszeit auszugehen [4]. Als ausreichend konsolidiert gilt die Fraktur, wenn der Frakturspalt mindestens an 3 von 4 Kortikales periostal überbrückt ist [2]. Der sich im Wachstum befindliche Knochen besitzt im Gegensatz zum Erwachsenen eine hohe Korrekturpotenz in allen drei Ebenen des Raumes. Zudem bestehen je nach Lokalisation charakteristische Wachstumspotenzen der Epiphysen (Abb. 1). Besonders bei Kindern unter 5 Jahren können Fehlstellungen spontan korrigiert werden. Varusfehlstellungen werden dabei besser korrigiert als Valgusfehlstellungen. Diese Fähigkeit kann in die Therapie eingebunden und genutzt werden. Rotationsfehler hingegen werden vom Körper eher ungerichtet kompensiert, über die zugrunde liegenden Mechanismen ist derzeit noch wenig bekannt.

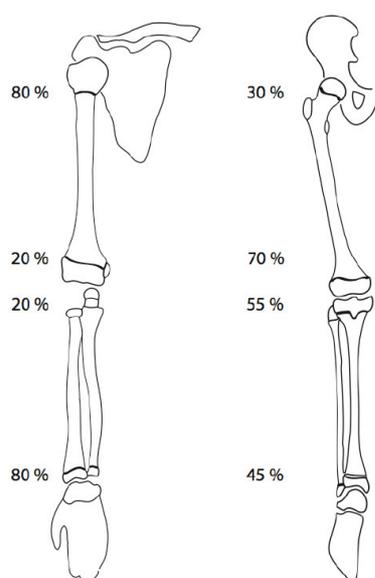


Abb. 1 Wachstumspotenz der Epiphysen

Frische Frakturen mit Rotationsfehlern sind im Gegensatz zu geringgradigen Achsabweichungen jedoch gut diagnostizierbar und können beseitigt werden. Entscheidend für die Wahl der Therapie ist die Verletzungsform und -lokalisation. Durch die schützende Funktion der Wachstumsfuge sind Frakturen mit Gelenkbeteiligung mit ca. 2% im Kindesalter selten, da die wirkenden Kräfte beim Unfallhergang über die offene Wachstumsfuge nicht unmittelbar in das Gelenk fortgeleitet werden. Dafür kommt es bei Kindern häufiger zu Epiphysenlösungen. Im Pubertätsalter kommt es zu einer hormonell bedingten Lockerung im Bereich des Blasenknorpels, der zugleich die labilste Zone

der Wachstumsfuge darstellt. In diesem Bereich kann eine Epiphysenlösung erfolgen. Gelenkstrukturen sind bei Epiphysenlösungen nicht direkt betroffen [4].

Gelenkfrakturen werden bei Kindern nach Aitken oder Salter-Harris eingeteilt (Abb. 2). Ist die Epiphyse betroffen, bezeichnet man fugenkreuzende Frakturen bei beginnendem physiologischen Fugenschluss im Jugendalter als Übergangsfrakturen. Sie treten als Besonderheit an der distalen Tibiaepiphyse auf, wenn große Kräfte auftreten und diese nicht adäquat abgeleitet werden können. Meist liegen sie lateral und begrenzen sich auf zwei Ebenen des Raums (two plane fractures). Treten in Verbindung mit diesen Frakturen zusätzlich metaphysäre Ausbrüche auf, spricht man von tri plane fractures (Abb. 3).

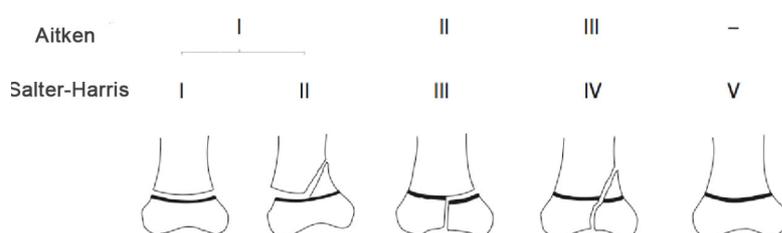


Abb. 2 Einteilung der Gelenkfrakturen

Abb. 3 Tri plane fracture

Im Kindesalter treten einige weitere Sonderformen von Frakturen auf. So unterscheidet man bestimmte Frakturformen im Bereich der Metaphysen. Der metaphysäre Stauchungsbruch, auch Wulstfraktur genannt, tritt typischerweise z.B. am distalen Unterarm auf: Durch Sturz auf den ausgestreckten Arm wird die Kortikalis meist auf einer Seite eingestaucht. Diese Frakturen sind sehr schmerzhaft, führen jedoch selten zu Komplikationen. Eine klassische Form vollständiger metaphysärer Frakturen stellt die supracondyläre Humerusfraktur dar. Im Jugendalter können im Bereich der Metaphyse durch Überbeanspruchung oder in Folge hormoneller Veränderungen auch Band- und Muskelausrisse auftreten. „Stressfrakturen“ treten z.B. im Alter von zwei bis vier Jahren (Toddler's Fractures) an Femur, Tibia und Fibula sowie an den Fußwurzelknochen auf. Ursächlich werden Miniunfälle und Überlastung angegeben, d.h. diese Frakturen treten oft ohne erkennbare größere Krafteinwirkung von außen auf. Einen zweiten Altersgipfel stressbedingter Frakturen beobachtet man in der Pubertät bei extremer Belastung im Sport.

Eine typische Verletzung im Bereich der Diaphyse ist die Grünholzfraktur. Grünholzfrakturen treten jedoch auch im Bereich der Metaphyse auf.

Hauptlokalisation dieser Frakturen sind Unterarm und Unterschenkel. Unterschieden werden drei Formen: die klassische Grünholzfraktur, die gestauchte Grünholzfraktur des Kleinkindes und die Biegungsfraktur. Bei Vorliegen einer Grünholzfraktur ist eine Kortikalis (konkavseitig) lediglich angebrochen, die der Gegenseite ist vollständig frakturiert. Bei dieser Konstellation heilt die angebrochene Seite rasch aus, während auf der vollständig gebrochenen Gegenseite mit einer Heilungsverzögerung oder -störung zu rechnen ist. Gestauchte Grünholzfrakturen treten etwa bis zum 5. Lebensjahr auf. Wie bei den im späteren Kindes – und Jugendalter auftretenden Biegungsfrakturen kann eine Korrektur der Achse erforderlich sein. Bei unklaren Verletzungsmustern, insbesondere bei widersprüchlichen Aussagen der Eltern zum Unfallhergang oder entsprechenden Verdachtsmomenten sollte aber auch, besonders bei Kleinkindern, an Kindsmisshandlung gedacht werden [2]. In diesen Fällen muss das Kind gezielt nach weiteren Verletzungen untersucht, und im tatsächlichen Verdachtsfall müssen weitere Schritte eingeleitet werden.

Wie beim Erwachsenen finden sich beim Kind Quer-, Schräg- und Torsionsfrakturen, Trümmerfrakturen kommen eher selten vor.

Bei einigen Frakturformen bestehen spezielle Klassifikationen. Frakturen mit Beteiligung der Epiphysenfuge werden nach Salter/Harris beurteilt (Abb. 3), supracondyläre Humerusfrakturen nach Baumann, Gartland bzw. von Laer. Radiuskopffrakturen werden nach Judet eingeteilt. In Hinblick auf Qualitätssicherung sowie zur wissenschaftlichen Auswertung der Daten erfolgt die Klassifikation bei Frakturen der langen Röhrenknochen nach der AO Klassifikation für Frakturen im Kindesalter. Anhand von Röntgenbildern in zwei Ebenen wird die Fraktur nach Lokalisation (Knochen, Segment, Subsegment) und Morphologie codiert. Die detaillierte Vorgehensweise ist der angegebenen Literatur zu entnehmen [5].

In der Literatur finden sich Angaben zur Häufigkeit und Lokalisation der verschiedenen Verletzungen. Die Extremitätenfrakturen werden in mehreren Studien (*Brudvik* 2003; *Jonasch* 1981; *Jones* 2002; *Landin* 1983; *Worlock* 1986; Gesamtfallzahl n= 274 994) mit über 80% angegeben, davon waren in über 60% die langen Röhrenknochen betroffen. Die Prävalenz liegt in Mitteleuropa bei 21-25 Frakturen auf 1000 Kinder pro Jahr [4]. Die Häufigkeitsverteilung der Unfallursachen zeigt Abb. 4:

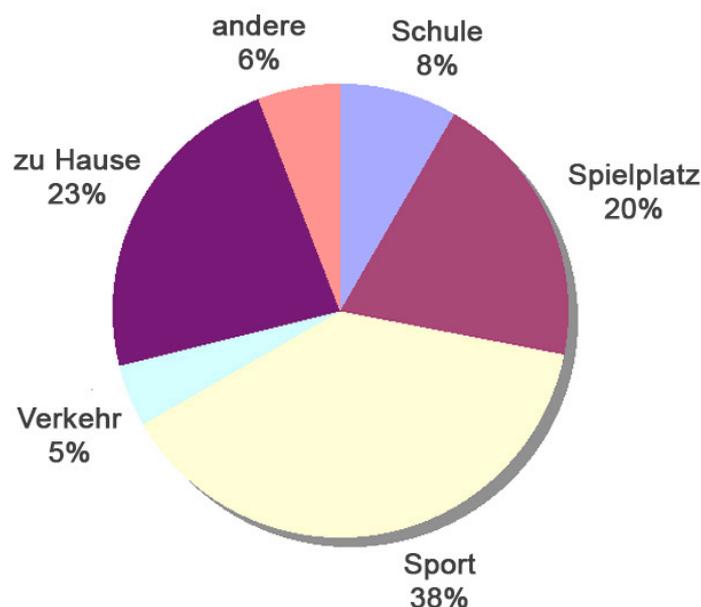


Abb. 4 Häufigkeitsverteilung der Unfallursachen

Bei der Frakturbehandlung stehen folgende Ziele im Vordergrund (*Worel*, [4]).

- Schmerzminimierung
- Stabilisierung der Fraktur
- geringe, kurz dauernde Funktionseinschränkung
- definitive Therapie
- adäquater Aufwand
- rasche Heilung
- Vermeiden von Wachstumsstörungen

Zur Wahl der geeigneten Methode der Frakturversorgung müssen also eine Reihe von Kriterien beachtet werden, diese reichen von Frakturlokalisierung und –typ bis hin zu biologischen und psychosozialen Aspekten. Die bei den verschiedenen Behandlungsprinzipien entstehenden Kosten können ebenfalls eine Rolle bei der Therapieentscheidung spielen.

Stabile, undislozierte Frakturen werden konservativ behandelt, ebenfalls primär dislozierte Frakturen, welche nach erfolgter Reposition hinreichend stabil sind.

Bei der konservativen Behandlung unterscheidet man die passive Retention und die aktive Redression. Bei der Retention erzielt man durch Einbezug des benachbarten Gelenks primär eine Schmerzreduktion sowie einen Schutz vor etwaiger Dislokation. Am häufigsten erfolgt diese Redression durch einen „Gips“ (heute wird der klassische Weißgips zunehmend durch Kunststoffmaterialien ersetzt), der meist zirkulär

angelegt wird. Unter den Begriff der Retention fallen aber auch Bandagen wie *Gilchrist-*, *Desault-* und *Velpeau-*Verbände. Zur Vermeidung eines Kompartmentsyndroms ist ein Gipsverband primär stets zu spalten oder als Schiene anzulegen. Zur Dokumentation des Repositionsergebnisses bedarf es einer radiologischen Stellungskontrolle.

Die aktive, nichtinvasive Redression beinhaltet die Gipskeilung und die Extensionsbehandlung. Durch die Gipskeilung besteht ab dem achten Tag die Möglichkeit, Achsfehlstellungen vorzubeugen oder diese zu beseitigen. Hierbei wird die elastische Eigenschaft des noch bindegewebigen Kallus ausgenutzt. Der primär gespaltene Gips wird hierzu zunächst wieder zirkulär geschlossen und nach erneuter Aushärtung konkavseitig semizirkulär gespalten. Dabei wählt man die Stelle der Gipskeilung unter Beachtung möglicher kombinierter Fehlstellungen, die Keilung erfolgt um so weiter proximal, je weiter die Fraktur im distalen Bereich des Knochens liegt. Nun kann durch Gipsspreizung mittels Gipsspreizer oder durch „Biegen“ der Extremität ein Achsfehler korrigiert werden. Nun wird das Ergebnis durch Einbringen eines Keils (z.B. aus Holz) fixiert und der Gips nach Röntgenkontrolle erneut zirkulär verschlossen. Auf eine ausreichende Polsterung ist zu achten, um ein Druckulkus zu vermeiden. Besonders bei Grünholzfrakturen des Unterarm- und Unterschenkelschafts oder bei metaphysären Frakturen werden damit gute Ergebnisse erzielt.

Femurfrakturen bei Kindern unter vier Jahren werden zum Teil heute noch mit einer Extensionsbehandlung versorgt, zum Beispiel mittels *Overhead-Extension* [6]. Dabei werden die gestreckten Beine bei 90° Beugung in der Hüfte mit ca. 1/6 des Körpergewichts senkrecht nach oben gezogen. Diese Technik kann auch vorläufig bis zur definitiven Versorgung angewandt werden. Die Therapie wird von kleinen Kindern relativ gut toleriert. Aufgrund der relativ lang dauernden Immobilisation (ca. 2 Wochen), der vergleichsweise zu anderen Verfahren langen Krankenhauspflichtigkeit und des meist kurzfristig nötigen Verfahrenswechsels wird diese Technik heute eher selten eingesetzt oder gar als obsolet angesehen [2, 4]. Weitere typische Beispiele einer Redression sind der Rucksackverband, der bei frischen Klavikulafrakturen zur Anwendung kommt oder die *Blount-Schlinge* bei nicht oder gering dislozierten (< 20°) supracondylären Humerusfrakturen. Hier nutzt man den Zug der Trizepssehne zur Redression der Fraktur aus, der Arm wird in Spitzwinkelstellung fixiert.

Reichen konservative Maßnahmen nicht aus, steht am Beginn der Therapie die Reposition der Fraktur. Ob diese geschlossen oder offen stattfindet, hängt einerseits von Frakturlokalisation und -typ, aber auch entscheidend von der Erfahrung des behandelnden Arztes ab. Repositionen sollten immer als definitiv angestrebt werden und im Kindesalter in Allgemeinanästhesie stattfinden. Die meisten Frakturen können geschlossen reponiert werden, Gelenkfrakturen jedoch sollten dargestellt und offen reponiert werden.

Die bei Kindern vielseitig einsetzbare Spickdrahtosteosynthese kommt bei metaphysären Frakturen der Röhrenknochen, Gelenkfrakturen sowie bei Frakturen an Hand und Fuß zur Anwendung. Diese Form der Osteosynthese ist zwar bei korrekter Anwendung bewegungsstabil, nicht jedoch belastungsstabil und muss daher zusätzlich im Gips ruhiggestellt werden. Ein Vorteil dieser Behandlungsmethode ist die Möglichkeit der ambulanten Metallentfernung ohne Narkose, wenn die Drahtenden nicht unter der Haut versenkt wurden.

Als weitere Form der Adaptationsosteosynthese wird bei Kindern die Schraubenosteosynthese angewandt, durch die zusätzlich eine Kompression auf die Fragmente ausgeübt werden kann. Meist bedarf es zumindest initial einer zusätzlichen Stabilisierung durch einen Gips. Es stehen Schrauben mit unterschiedlichen Eigenschaften zur Verfügung: z.B selbstschneidend, durchbohrt, selbstbohrend, rückschneidend. Einsatzgebiete der Schraubenosteosynthesen sind korrekt reponierte Gelenkfrakturen sowie epi-/metaphysäre Frakturen. Wie auch bei der Spickdrahtosteosynthese ist die Methode bei diaphysären Frakturen kontraindiziert.

Eine heute im Kindesalter zunehmend seltener eingesetzte Osteosyntheseform stellt die Plattenosteosynthese dar. Das Verfahren beinhaltet ein relativ invasives Vorgehen. Im Rahmen der Implantation wird zum Einbringen der Platte ein verhältnismäßig langer Hautschnitt angelegt. Dies gilt ebenfalls für die Metallentfernung. Um die Platte zu installieren, ist außerdem oft eine erhebliche Manipulation innerhalb der Weichteile um den frakturierten Knochen nötig. Und auch die Metallentfernung ist wiederum mit einem größeren Weichteiltrauma verbunden. Ein langstreckiger Kontakt der Osteosynthese mit dem Knochen kann zudem die Heilung negativ beeinflussen. Heute gibt es daher weiterentwickelte Plattenosteosynthesen, beispielsweise die Limited contact dynamic compression plate (LC-DCP) oder Low-Contact-(LCP)-Platten. Bei Anwendung dieser Platten

werden ungünstige Kraft- und Druckverhältnisse sowie die Kontaktfläche der Osteosynthese am Knochen reduziert. Mit einer Wave-Platte kann durch entsprechende Biegung der Platte die Frakturzone umgangen werden. Von Vorteil ist ebenfalls eine deutlich geringere Größe der Platten verglichen mit den herkömmlichen Systemen und damit die Möglichkeit der minimalinvasiven Implantation. Besonders bei größeren und vor allem übergewichtigen Kindern stellt dies eine Alternativmethode dar. Eine weitere Versorgungsmöglichkeit stellen winkelstabile Platten dar. Eingesetzt wird diese Technik bei Schafffrakturen der langen Röhrenknochen, Fingerfrakturen, mehrfragmentären Frakturen und Refrakturen.

Für ein recht überschaubares Einsatzgebiet steht die Zuggurtungsosteosynthese zur Verfügung. Mit Hilfe dieser stets offen angelegten Methode können Zugkräfte durch Weichteile neutralisiert werden. Angewandt wird die Technik z.B. bei Olekranon-, Patella- und Klavikulafrakturen oder bei Abrissen des Trochanter maior.

Bei Schafffrakturen findet teilweise auch ein Fixateur externe Anwendung, der allgemein gut toleriert wird. Besonders bei älteren Kindern und sehr instabilen Frakturen wird diese Methode angewandt. Haupteinsatzgebiete sind komplett instabile Mehrfragmentfrakturen an Unterarm und Femur, dort speziell bei langen Spiralfrakturen sowie bei mehrfach fragmentierten Tibiafrakturen, zudem bei Frakturen im Rahmen von Polytraumata und Schädel-Hirn-Traumata. Bei dieser Methode ist besonders die tägliche Pflege der Pins wichtig, um Infektionen und Wundheilungsstörungen zu vermeiden. Nachteilig wirkt sich beim Fixateur externe die Verletzungsfahr und die recht unbequeme Handhabung im Alltag aus.

Bei Adoleszenten besteht außerdem die Möglichkeit der Marknagelung, diese erfolgt analog der des Erwachsenen [4, 7] und soll daher nicht ausführlicher besprochen werden.

In den letzten 20 Jahren etabliert sich zunehmend die Elastisch Stabile Intramedulläre Nagelung (ESIN), die Thema dieser Arbeit ist. Die Entstehungsgeschichte dieser Methode wird im Folgenden kurz dargestellt.

1.1.1 Geschichte der Elastisch Stablen Intramedullären Nagelung

Bereits Mitte des 19. Jahrhunderts erkannte man den günstigen Heilungsverlauf intramedullär geschienter Frakturen. *Dieffenbach* experimentierte 1848 mit Implantaten aus Elfenbeinstiften, noch bevor die Technik der Asepsis beherrscht

wurde. Bis 1920 wurde der Umgang mit Elfenbein als Osteosynthesematerial von mehreren Gruppen weiterentwickelt, in Deutschland insbesondere durch *König* und *Heine* [8] angeführt.

Ende des 19. Jahrhunderts wurde die operative Knochenbruchbehandlung anerkannt und vorangetrieben. Hierfür wichtige Neuerungen stellte die Asepsis, erkannt und beschrieben 1860 von *Lister* und die Möglichkeit der Diagnostik mittels Röntgentechnik seit 1895 [8] dar.

Ab 1858 befasste man sich mit Schienen aus Metall, als Vorreiter dieser Entwicklung ist *Langenbeck* zu nennen.

1939 versorgte *Küntschner* einen Femurschaftbruch mit seiner neuen intramedullären Technik. In seiner Erstveröffentlichung 1940 erklärt er anschaulich: „... im Prinzip ist der Gedanke ja sehr nahe liegend, einem zerbrochenen röhrenförmigen Gegenstand durch Einführen eines festen Stabes wieder neuen Halt zu geben...fester und vor allem leichter zu bewerkstelligen als das Herumlegen einer kurzen Muffe, die...sehr genau im Querschnitt passen muss, während ein Stab nicht derart exakt zu passen braucht...“ (*Küntschner*;1940). Parallel dazu entwickelte sich die intramedulläre Frakturfixation nach den Gebrütern *Rush* in Amerika, etwas später dann die Bündelnagelung nach *Hackethal* 1959.

Im Bereich der Kinderchirurgie war der Einsatz dieser Techniken wegen des sich im Wachstum befindlichen Knochens und der zu schonenden Epiphysenfuge aber zunächst sehr begrenzt. Die Vorteile mehrerer elastischer Implantate wurden erst 1970 von *Ender* und *Simon-Weidner* weiterentwickelt. Sie verwendeten bei der Versorgung von trochanteren Femurfrakturen meist drei Kondylennägel, die „fächerförmig“ verankert wurden und somit eine elastische und rotationsstabile Osteosynthese darstellten. Entscheidend für den Einsatz der intramedullären Nagelung im Kindesalter war die Weiterentwicklung zur „**Elastisch-Stabilen-Markraumschienung (ESM)**“ durch den Rumänen *Firica* und seine Mitarbeiter 1977. Im selben Jahr stellte *Metaizeau* die Bedeutung der ESM im Kindesalter vor und stellte weitere Indikationen für diese Technik zusammen [8]. 1985 schilderte er nach gut fünfjähriger Erfahrung bei 106 Kindern die Vorteile der ESM bei Femurfrakturen und stellte fest, dass die Komplikationsrate gering war und es seinen Beobachtungen nach keine Fälle von Sepsis oder Knochenheilungsstörungen gab. Weiter betonte er die physikalischen Vorzüge dieser Technik. Erstmals konnte man die durch Weichteile und insbesondere durch die Effekte der Muskulatur bedingten

Kompressions- und Traktionskräfte gezielt nutzen. Erst durch das Zusammenspiel dieser Faktoren können die Vorteile der ESM zum Tragen kommen. Beschrieben wurde weiterhin die positive Eigenschaft der Elastizität, welche durch mögliche Mikrobewegungen die Kallusbildung begünstigt. *Metaizeau* erkannte auch die guten Heilungsergebnisse dieser Osteosynthesetechnik. Zudem zeigte er ein breites Einsatzgebiet bei unterschiedlichen Frakturformen und Lokalisationen auf. Von *Metaizeau* und seinen Mitarbeitern wurden bis zu diesem Zeitpunkt bereits 19 Tibiafrakturen und 45 Unterarmschaftfrakturen erfolgreich mit ESM versorgt [9]. Während des inzwischen mehr als 20-jährigen Einsatzes kamen stetig weitere Indikationen hinzu; diese Osteosynthesetechnik wird weiterhin empfohlen und angewandt [10, 11].

1.1.2 Biomechanik und Indikationen der ESIN

Biomechanik

Die Elastisch Stabile Intramedulläre Nagelung wird als „biologische Osteosynthese“ angesehen, da sie den besonderen Anforderungen der Knochenheilung gerecht wird. Besonders die durch die Elastizität der Nägel möglichen Mikrobewegungen stimulieren die periostale Kallusbildung, was sich beschleunigend auf die Knochenbruchheilung auswirkt. Die Vorteile nicht rigider Systeme erkannten schon *Küntscher, Rush, Hackethal* und *Ender* (s.o.) [8]. Eine weitere sehr positive Eigenschaft der ESIN stellt die Fähigkeit dar, sich den Belastungen des Knochens durch reversible Deformierung anzupassen. Einerseits werden am Knochen exzentrisch wirkende Kräfte kompensiert, andererseits wird der Knochen in seine Ausgangsform zurückgebracht. Diese Technik passt sich somit der Rigidität des Knochens an und schafft nahezu physiologische Verhältnisse. Auf die Frakturheilung ungünstig wirkende Torsions- und Schubkräfte können in stimulierende Druck- und Zugkräfte überführt werden.

Um diese Vorteile nutzen zu können, hat sich die Technik zweier gegenläufig eingebrachter, an je drei Punkten anliegender Nägel als optimal erwiesen. Die Nägel finden ihren Halt an der Eintrittsstelle, auf Frakturhöhe an der Kortikalis und werden in der metaphysären Spongiosa des zweiten Fragments verankert. Auf Höhe der Fraktur liegen die Implantate unter einer bestimmten Vorspannung an, auf diese Weise entsteht eine elastische aber dennoch stabile Osteosynthese [8]. Hieraus ergibt sich die statisch sehr günstige Konstellation einer Dreipunktstützung. Bei instabilen Verhältnissen besteht zudem die Möglichkeit, die Achsenstabilität durch Einbringen einer oder zweier Kortikalisschrauben zu erhöhen. Dabei wird der Kreuzungspunkt der Nägel nach proximal verlagert, wodurch eine Stabilitätserhöhung um den Faktor 65 erreicht werden kann [12]. Die Schrauben werden am Termin der Metallentfernung zusammen mit den Nägeln extrahiert. Um einer möglichen Verkürzung entgegenzuwirken, können die Nagelenden mittels Endkappen zusätzlich fixiert werden. Hierzu muss die Länge der Nägel jedoch vor der Implantation festgelegt werden [12].

Die hervorzuhebende Eigenschaft dieses Osteosyntheseverfahrens ist somit das kontrollierte Abfangen der auftretenden Kräfte. Diese setzen sich zusammen aus

äußerlich einwirkenden und muskulär bedingten inneren Kräften. Aufgabe der Osteosynthese ist es, die auftretenden Kräfte zu kontrollieren und eine Angulation im Sinne einer Achsabweichung zu verhindern:

- exzentrische axiale Biegekräfte führen zu einer Streckung des Nagels auf der Angriffsseite, die Streckung wird durch Biegung des gegenläufig eingebrachten Nagels kompensiert.
- Frontale Schubkräfte führen ebenfalls zu einer Streckung der Implantate, somit werden Rückstellkräfte wirksam.
- Sagittale Schubkräfte verengen den Querschnitt, wobei sich die Nägel einander annähern, entsprechende Rückstellkräfte führen die Nägel in die Ausgangslage zurück.
- Bei Schräg- oder Torsionsfrakturen tendieren die Fragmente durch Schub- und Scherkräfte gegeneinander zu verrutschen, diese Kräfte können durch die Nägel in axiale Druckkräfte überführt werden.
- Rotationsbewegungen führen zu einer Verdrillung des Nagelmaterials, die Rückstellkräfte der verdrehten Nägel wirken entgegengesetzt und halten somit die Fraktur stabil.
- Konzentrische axiale Kräfte pressen die Implantate zusätzlich an die Kortikalis an, wodurch die Stabilität der Osteosynthese zusätzlich erhöht und eine Verkürzung des Knochens verhindert wird [8].

Die Eintrittsstellen der Nägel sollten möglichst frakturfern liegen, um ein stabiles Aufspannen der Implantate im intakten Knochen zu gewährleisten. Eine 2006 veröffentlichte Studie von Mehlmann et al. ergab jedoch, dass bei Frakturen des Femurs im distalen Drittel die retrograde Nagelung und damit die frakturnähere Eintrittsstelle, der antegraden Technik an Stabilität signifikant überlegen ist [13]. Dies ist jedoch als Ausnahme anzusehen.

In Fällen von äußerlich sehr ungleich wirkenden Kräften kann ein dritter Nagel eingebracht werden. Diese seltene Konstellation kann bei Femurfrakturen auftreten [12], ebenso werden Tibiafrakturen in manchen Fällen mit drei Implantaten gesichert [14].

Für die Frakturheilung maßgeblich ist u. a. das Ausmaß der Periostzerstörung. Bei der intramedullären Nagelung wird der frakturnahe Periostschlauch sekundär nicht weiter geschädigt. Die im Kindesalter noch relativ leicht verformbare Kortikalis wird

wie oben erwähnt durch die Implantate vor zu hohen Kompressionsbelastungen geschützt. In der schon kräftig ausgebildeten metaphysären Spongiosa finden die Implantate guten Halt, Mikrobewegungen werden zugelassen. Der Kontakt der Nägel im Frakturbereich stimuliert die endostale Knochenneubildung. Hierbei ist anzumerken, dass die nach Knochenbruchbehandlungen bei Kindern relativ häufig auftretenden Längendifferenzen bei dieser Behandlungsmethode am seltensten sind. Das intakt gebliebene Frakturhämatom ermöglicht eine rasche Konsolidierung der Fraktur, die Stimulation der Epiphyse fällt dagegen gering aus [8, 15].

Sollte durch die Versorgung mit ESIN noch keine ausreichende Stabilität erreicht worden sein, können ergänzend eine Gipsschiene bzw. ein Fixateur externe eingesetzt werden. Diese können bei adäquater Kallusbildung meist nach zwei bis drei Wochen entfernt werden [12]. Eine vergleichende, experimentelle Studie gängiger Osteosyntheseverfahren bei Kindern wurde 2007 von Weinberg et al. veröffentlicht [16]. An einem biomechanischen Modell wurden 4 Versorgungsmöglichkeiten hinsichtlich Achsen- und Rotationsstabilität verglichen. Im Hinblick auf Rotationsstabilität wurden oben genannte statische Besonderheiten der ESIN deutlich. Die Elastisch Stabile Intramedulläre Nagelung bringt somit einige Vorteile mit sich, die besonders in Anbetracht der kindgerechten Frakturversorgung zum Tragen kommen. Anhand der beschriebenen biomechanischen Eigenschaften dieser Methode kann die ESIN als minimalinvasiv, kaum traumatisierend, ausreichend bewegungsstabil und teilbelastungsstabil angesehen werden [12].

Zusammenfassend ergeben sich somit zwei biomechanische Kernsätze der ESIN:

1. Die Verhinderung von Rotation und Angulation erlaubt eine frühe Belastung.
2. Mikrobewegungen bewirken eine rasche Frakturheilung [8].

Aus diesen biomechanischen Eigenschaften und zusätzlicher als positiv angesehener Faktoren der ESIN, auf die noch eingegangen wird, ergeben sich die im Folgenden besprochenen Indikationen. Nach geschlossener Reposition werden je nach Lokalisation und Frakturtyp jeweils eine oder mehrere elastische Nägel aus Titan oder Stahl frakturfern in die Diaphyse eingebracht. Auf die jeweilige Implantationstechnik wird im Folgenden genauer eingegangen.

Die Anwendbarkeit des Verfahrens hat bezogen auf das Alter der Patienten eine Untergrenze bei ca. drei Jahren und eine Obergrenze im Adoleszentenalter.

Grundsätzlich wird die Indikation zur Frakturversorgung mit ESIN jedoch in Abhängigkeit von Typ und Lokalisation der Fraktur und einigen weiteren Kriterien gestellt [4]. In Frage kommt eine ESIN bei folgenden Frakturtypen.

- transversale Frakturen,
- kurze Schräg- oder Querfrakturen mit Ausbruchkeilen,
- lange Schrägfrakturen mit kortikaler Abstützung,
- Spiralfrakturen,
- multifragmentäre oder bifokale Frakturen,
- pathologische Frakturen beispielsweise bei juvenilen Knochenzysten oder Osteogenesis imperfecta.

Unter anderem daraus ergeben sich als Hauptlokalisationen:

- Humerus diaphysär, subcapital und supracondylär,
- Radius- und Ulnaschaft, Radiushals oder -kopf,
- Femur diaphysär, distal metaphysär, subtrochantär,
- Unterschenkel diaphysär, distal metaphysär.
- Clavicula

Weitere Indikationen für eine ESIN liegen bei polytraumatisierten Patienten sowie bei Kindern mit Schädel-Hirn-Trauma, hier wird die ESIN auch teilweise außerhalb der oben genannten Altersgrenzen eingesetzt.

Darüber hinaus kann eine intramedulläre Nagelung bei juvenilen Knochenzysten neben einer prophylaktischen Stabilisierung auch zur Beschleunigung der Durchbauung der Knochenzyste selbst eingesetzt werden [17].

Auch außerhalb der Kinderchirurgie gibt es Einsatzgebiete dieser Technik, beispielsweise werden Humerus- und Unterarmfrakturen bei Erwachsenen ebenfalls mit ESIN versorgt.

Kontraindikationen stellen insbesondere Gelenkfrakturen dar, welche offen operativ versorgt werden sollten. Nicht zum Einsatz kommt die intramedulläre Nagelung auch

bei total instabilen Femur- sowie Unterschenkelfrakturen wegen der fehlenden kortikalen Abstützung[18].

Zurückhaltend stellt man die Indikation zur ESIN bei übergewichtigen Kindern (BMI über der 90. Perzentile)[19-21].

(*Slongo* [4])

Im Folgenden sollen nun die Frakturtypen im Einzelnen erläutert werden.

1. Humerusschaftfrakturen:

Humerusschaftfrakturen treten mit einem Anteil von 2% aller Frakturen im Kindesalter eher selten auf. Indikationen zur ESIN stellen hier hauptsächlich instabile oder nicht korrekt reponierbare dislozierte Schräg- und Querfrakturen dar. In der Regel sind diese Frakturen jedoch konservativ beherrschbar [8]. Ab einer Achsabweichung von 30° Varus-, Ante- oder Retrokurvationsfehlstellung bzw. einer Valgusfehlstellung über 10°, sollte bis zum Alter von zehn Jahren operativ vorgegangen werden. Bei älteren Kindern sollte jede Achsabweichung von mehr als 10° chirurgisch versorgt werden. Pathologische Frakturen im Rahmen von juvenilen Knochenzysten können u. U. ebenfalls gut mit dieser Technik stabilisiert werden. Vorteilhaft erweist sich hier die minimale Beeinträchtigung durch die Nägel im Alltag bei verhältnismäßig langer Verweildauer der Implantate [12]. Außerdem tragen die positiven biomechanischen Eigenschaften dieses Verfahrens zu einer rascheren Wiederauffüllung der Zyste bei.

Tab. 1: Indikationen der ESIN bei Oberarmchaftfrakturen		
<p>1. ESIN als 1.Präferenz</p>	<p>Proximale Humerusfrakturen bei unzureichender konservativer Reposition oder Retention:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kinder < 5 Jahre bei Achsenfehler > 50-70° Seitverschiebung mehr als 1 Schaftbreite • Kinder 5 – 12 Jahre bei Achsenfehler > 30 – 50° Seitverschiebung um 2/3 Schaftbreite • Jugendliche bei einem Achsenfehler > 10° Seitverschiebung um 1/2 Schaftbreite <p>Diaphysäre Humerusfrakturen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Achsfehler > 10 – 20° • Seitverschiebung > 1 Schaftbreite • Verkürzung > 2 cm • Quer-, Schräg-, Spiralfraktur • Kettenfraktur <p>Allgemeine Operationsindikationen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ipsilaterale Unterarmfrakturen • Schädel-Hirn- oder Polytrauma 	
<p>2. ESIN oder alternative Frakturversorgung:</p> <p>Indikationsstellung nach dem Abwägen der kurz- und langfristigen Vorteile der möglichen Alternativen.</p>	<p>Frakturtyp</p> <ul style="list-style-type: none"> • Subkapitale Humerusfraktur • Schaftfraktur mit Dreh- oder Biegungskeil • Segmentfraktur • Metaphysäre Fraktur • II°-offene Fraktur • Pathologische Fraktur • Refraktur • Fraktur mit bereits liegendem anderen Implantat 	<p>Alternative Osteosynthesen zu ESIN</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kirschnerdraht, zusätzlich ist ein fixierender Verband erforderlich • Fixateur externe, Platte • Fixateur externe • Fixateur externe • Fixateur externe • Fixateur externe • Fixateur externe, Platte • Fixateur externe
<p>3. Ungeeignete Indikationen für die ESIN</p> <p>Nachteile der ESIN bei folgenden Frakturformen*:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Keine ausreichende Stabilität 	<p>Frakturtyp</p> <ul style="list-style-type: none"> • III°- offene Fraktur • Begleitende Gefäß- oder Nervenverletzung • Trümmerfraktur 	<p>Empfohlene Osteosynthesen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fixateur externe • Fixateur externe, Platte • Fixateur externe, überbrückende Platte

<ul style="list-style-type: none"> • Nicht durchführbar wegen der zusätzlich lokalen Verletzungen 		
<p>Wegen der guten Resultate und der Akzeptanz kann die Indikation großzügig gestellt werden, wenn Patient und Eltern über die geringen Risiken und die zu erwartenden guten Ergebnisse aufgeklärt sind.</p>		

2. Supracondyläre Humerusfrakturen:

Supracondyläre Humerusfrakturen lassen sich nach der AO Pediatric Comprehensive Classification [22] in vier Gruppen einteilen Tab. 2.

Tab. 2: Einteilung der Supracondylären Humerusfrakturen (nach der AO Pediatric Comprehensive Classification)	
Typ-I-Fraktur	undislozierte Fraktur
Typ-II-Fraktur	Dislokation in einer Ebene (Sagittalebene) im Sinne einer Ante- oder Rekurvation des distalen Fragments
Typ-III-Fraktur	Dislokation in zwei Ebenen durch zusätzliche Rotation des distalen Fragments (Sagittal- und Frontal- oder Horizontalebene)
Typ-IV-Fraktur	Dislokation in drei Ebenen oder gänzlich fehlender Kontakt der einzelnen Fragmente

Stabile Frakturen des Typs I und II werden in der Regel konservativ versorgt. Bei instabilen Typ II-Frakturen sowie bei Typ II-Frakturen mit einer Dislokation von $> 20^\circ$ besteht die Indikation zur operativen Therapie, ebenso werden Frakturen vom Typ III und IV reponiert und chirurgisch behandelt.

Ob es sich um eine Extensions- oder Flexionsfraktur handelt, kann auf dem Seitbild mit Hilfe der Rogers-Hilfslinie erkannt werden (Abb. 5). Verlängert man die ventrale Kortikalis des Humerus nach distal, so schneidet diese Linie bei physiologischem Befund das Capitulum humeri am Übergang vom mittleren zum hinteren Drittel. Liegt eine Extensionsfraktur (z.B. durch Sturz auf den ausgestreckten Arm) vor, so schneidet die Linie das Capitulum humeri weiter ventral. Bei Flexionsfrakturen (z.B. durch Sturz auf den abgewinkelten Ellbogen) verläuft die Hilfslinie weiter dorsal im Capitulum humeri. Da dies auch bei nur leicht dislozierten Frakturen der Fall ist, kann

die Hilfslinie auch zur Entscheidung beitragen, ob überhaupt eine Fraktur vorliegt [23].



Abb. 5 Rogers-Hilfslinie

Zusätzliche Indikationen stellen eventuell offene Frakturen sowie Frakturen mit begleitenden Gefäß- oder Nervenläsionen und Polytraumata dar. Als Vorteile der ESIN im Vergleich zu bisherigen Standardverfahren, z.B. der Kirschnerdrahtosteosynthese, erweisen sich insbesondere die gipsfreie Nachbehandlung, die sofort mögliche freie Beweglichkeit im Ellenbogengelenk und eine geringe Komplikationsrate. Die gefürchtete Verletzung des N. ulnaris wird im Rahmen einer Behandlung mit ESIN mit ca. 5% deutlich seltener dokumentiert als bei der Kirschnerdraht – Osteosynthese (bis zu 15%) [12, 24, 25]. In den vergangenen Jahren konnten bei der Versorgung der

häufigsten Ellbogenverletzung im Kindesalter mit ESIN durchweg positive Erfahrungen gesammelt werden. Im Vergleich zu der häufig eingesetzten Kirschnerdrahtosteosynthese wurden deutlich weniger Komplikationen wie z.B. Fehlstellungen, Pseudarthrosen oder Nervenläsionen beobachtet. [24].

Tab. 3: Indikationen der ESIN bei supracondylären Humerusfrakturen		
1. ESIN als 1.Präferenz	<ul style="list-style-type: none"> • Instabile supracondyläre Humerusfrakturen Typ II 	
2. ESIN oder alternative Frakturversorgung: Indikationsstellung nach dem Abwägen der kurz- und langfristigen Vorteile der möglichen Alternativen.	Frakturtyp <ul style="list-style-type: none"> • Supracondyläre Humerusfraktur Typ III und – IV 	Alternative Osteosynthesen zu ESIN <ul style="list-style-type: none"> • gekreuzte Kirschnerdrähte von radial und ulnar oder unilateral von radial, radialer Fixateur externe Zusätzlich zur Fixation mittels Kirschnerdrähten ist eine OA – Gipsschiene erforderlich.
Zur Schmerztherapie kann zusätzlich eine Oberarmgipsschiene nach ESIN passager angelegt werden. Dies ist jedoch selten notwendig.		

3. Unterarmschaftfrakturen:

Die operative Behandlung der Unterarmfrakturen hängt zunächst nicht primär vom Alter der Kinder ab [12]. In Anbetracht der Möglichkeit des minimalinvasiven Vorgehens stellt die elastisch-stabile intramedulläre Nagelung bei dislozierten oder instabilen diaphysären Frakturen des Unterarms eine komfortable und kindgerechte Osteosyntheseform dar. Bleibende funktionelle Beeinträchtigungen spiegeln sich meist in der Pro- und Supination wieder. Daher muss bei diesen Frakturen so wenig invasiv wie möglich vorgegangen werden. Entsprechend bestehen bestimmte eher großzügige Korrekturgrenzen. Bei Kindern unter 10 Jahren werden beispielsweise bei distalen metaphysären Frakturen dorsale und radiale Achsabweichungen von bis zu 50° spontan korrigiert [2, 4], ab dem zehnten Lebensjahr wird jedoch eine Achskorrektur ab einer Fehlstellung von 10° empfohlen. Seit- zu Seit-Verschiebungen werden nie spontan korrigiert [8] und daher ab einer Schaftbreite operativ versorgt. Bei nicht eindeutig gegebener Indikation muss bedacht werden, dass durch eine Stabilisierung mittels ESIN eventuell die bei konservativem Vorgehen häufiger notwendige Nachreposition infolge sekundärer Dislokation vermieden werden kann. In jedem Falle indiziert ist die ESIN bei allen primär

repositionspflichtigen diaphysären Unterarmfrakturen als definitive Frakturversorgung [26]. Als positiv angesehen wird die vom Kind selbst bestimmte frühfunktionelle Bewegungsmöglichkeit ohne Einschränkung durch immobilisierende Verbände oder einen Gips [27]. Ferner zählen Grünholzfrakturen, Refrakturen und Monteggiafrakturen zu den Einsatzbereichen der ESIN im Bereich des Unterarmschafts [28]. Gerade bei Monteggiafrakturen stellt diese minimalinvasive Technik eine therapeutische Alternative zur Plattenosteosynthese dar [29].

In Frage kommt die ESIN auch bei isolierten Radiusschaftfrakturen ab einer Valgusfehlstellung über 10° , sollte die Fehlstellung nicht konservativ korrigiert werden können [30]. Aufgrund der Gefährdung des tiefen Astes des Nervus radialis, welcher im Bereich des distalen Humerus und des Radiuskopfes nahe dem Knochen verläuft, ist eine antegrade Nagelung des Radius zu vermeiden. Unter Umständen kann die Fraktur mit nur einem Implantat stabil versorgt werden [31, 32]. In den Leitlinien der AWMF [33] wird die ESIN bei instabilen Schafffrakturen als Methode der Wahl empfohlen. Ein weiteres Einsatzgebiet stellt die Versorgung von Refrakturen dar [34].

Tab. 4: Indikationen der ESIN bei Unterarmschaftfrakturen		
<p>1. ESIN als 1.Präferenz</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Kinder < 5 Jahre bei unzureichender konservativer Reposition oder Retention; Kriterien: <ul style="list-style-type: none"> - Varus/Valgus > 20° - Ante-/Rekursion > 20° - Grünholzfrakturen > 20° - Seitverschiebung um 1 Schaftbreite • Kinder > 5 Jahre: <ul style="list-style-type: none"> - Frakturen ab einer Achsabweichung von > 10 ° - Instabile Quer-, Schräg-, Spiralfaktur Radius und/oder Ulna - Monteggiafrakturen - Galeazzifrakturen - Grünholzfrakturen > 10° - Schädel-Hirn- oder Polytrauma - Multiple andere Frakturen - Kettenfraktur 	
<p>2. ESIN oder alternative Frakturversorgung:</p> <p>Indikationsstellung nach dem Abwägen der kurz- und langfristigen Vorteile der möglichen Alternativen.</p>	<p>Frakturtyp</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fraktur mit Dreh- oder Bieungskeil • Segmentfraktur • Grünholzfrakturen • Pathologische Fraktur • Refraktur • Fraktur mit bereits liegendem anderen Implantat 	<p>Alternative Versorgung zu ESIN</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fixateur externe • Fixateur externe • OA - Gipsschiene • Fixateur externe • Fixateur externe, Platte • Fixateur externe, Platte
<p>3. Ungeeignete Indikationen für die ESIN</p> <p>Nachteile der ESIN bei folgenden Frakturformen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Keine ausreichende Stabilität • Nicht durchführbar wegen der zusätzlich lokalen Verletzungen 	<p>Frakturtyp</p> <ul style="list-style-type: none"> • II°- und III°- offene Fraktur • Begleitende Gefäß- oder Nervenverletzung • Trümmerfraktur • Metaphysäre Fraktur 	<p>Empfohlene Osteosynthesen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fixateur externe • Fixateur externe • Fixateur externe, überbrückende Platte • Fixateur externe
<ul style="list-style-type: none"> • Bei hinreichend stabilen Frakturen kann die Fraktur primär mit einer OA – Gipsschiene versorgt werden und die ESIN am Folgetag durchgeführt werden, bzw. kann nach erfolgter ESIN unterstützend eine passagere OA – Gipsschiene eingesetzt werden. 		

4. Radiuskopffrakturen:

Frakturen des Radiuskopfes sind zum Teil schwierig zu behandeln. Durchblutungsprobleme können besonders nach operativem Vorgehen bzw. infolge offener Reposition auftreten. Die meisten Fehlstellungen können mittels ESIN reponiert und stabilisiert werden, ohne dabei das Gelenk eröffnen zu müssen. Somit besteht bei diesem Verfahren die Möglichkeit, sowohl die Nachteile der konservativen Behandlung als auch die des operativen Vorgehens mit Eröffnung des Gelenks zu vermeiden. Die Indikation ist von der Dislokation abhängig, diese wird üblicherweise nach der Klassifikation nach Judet beurteilt:

- Grad I: Verschiebung nach lateral um einige Millimeter
- Grad II: Abkippung bis 30°
- Grad III: Abkippung um 30 - 60°
- Grad IV: Abkippung über 60°
- Grad V: vollständige epiphysäre Abscherung

Da diese Einteilung die Prognose der Fraktur nicht berücksichtigt, wird zunehmend die Klassifikation nach Metaizeau angewandt, welche die aus der intramedullären Schienung gewonnenen Erfahrungen mit einbezieht:

- Grad I: Verschiebung nach lateral um 3 mm und/oder Abkippung bis zu 20 Grad
- Grad II: Abkippung von 20 - 45°
- Grad III: Abkippung von 45 - 80°
- Grad IV: Abkippung über 80° oder Abscherung der Epiphyse

[8]

Radiuskopffrakturen bis Grad II können grundsätzlich konservativ versorgt werden und haben eine gute Prognose. Ab Grad III sollte ein operatives Verfahren angestrebt werden. Hierzu konnten durch die Technik der ESIN positive Erfahrungen gesammelt werden, lediglich bei vollständig abgescherten Epiphysen ist diese Technik kontraindiziert.

Tab. 5: Indikationen der ESIN bei Radiuskopffrakturen		
1. ESIN als 1.Präferenz	<ul style="list-style-type: none"> • Kinder < 10 Jahre: Abkipfung > 45 Grad • Kinder > 10 Jahre: Abkipfung > 20 Grad • Seitverschiebung > 1/2 Schaftbreite 	
2. ESIN oder alternative Frakturversorgung: Bei stark abgekipptem Radiuskopf kann eine Reposition mit K-Draht als Joystick von dorsoradial in Erwägung gezogen werden. Cave: Schädigung der periostalen Gefäßversorgung!		
3. Ungeeignete Indikationen für die ESIN Epiphysäre Radiuskopffrakturen können mittels ESIN nicht stabil versorgt werden.	Frakturtyp <ul style="list-style-type: none"> • Epiphysäre Radiuskopffrakturen 	Empfohlene Osteosynthesen <ul style="list-style-type: none"> • K-Draht, Minischraube, resorbierbarer Pin
Es ist keine zwingende Immobilisation erforderlich, eine 8-10 - tägige OA – Gipsschiene kann jedoch zur Schmerzausschaltung sinnvoll sein.		

5. Femurfrakturen:

Die AMWF [33] empfiehlt die ESIN ab dem dritten Lebensjahr, in Ausnahmen auch früher. Aufgrund der als unerwünschte Folge der ESIN möglichen Beinlängenzunahme wird sie am Femur bis zum zehnten Lebensjahr eher zurückhaltend eingesetzt. Im Alter zwischen 3 und 15 Jahren zählen die Möglichkeit der frühen Mobilisierung und Teilbelastung sowie dem schnellen Wiedererlangen der vollen Funktion zu den Vorteilen dieser Methode [12]. Sollten mit der Methode der ESIN keine stabilen Verhältnisse zu erzielen sein, kann zusätzlich ein Fixateur externe eingesetzt werden. Bei Schaftfrakturen zeigt die ESIN verglichen mit anderen Standardverfahren bezogen auf die Verlaufsparemeter Beinlänge, Rotation, Umfang und Beweglichkeit das beste Ergebnis, Rotationsdifferenzen werden nur bei etwa 10% beobachtet [6]. Spätere Fehlstellungen können durch eine primär möglichst achsgerechte Stellung in allen drei Ebenen am sichersten vermieden werden. Eine weitere positive Eigenschaft ist die hohe Akzeptanz seitens des Patienten und der Eltern [6].

Tab. 6: Indikationen der ESIN bei Femurschaftfrakturen		
<p>1. ESIN als 1.Präferenz</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Kinder < 5 Jahre bei unzureichender konservativer Reposition oder Retention; Kriterien: <ul style="list-style-type: none"> - Varus > 20° - Valgus > 10 ° - Ante-/Rekursion > 10 ° - Seitverschiebung > 1 Schaftbreite - Verkürzung > 2cm • Kinder > 5 Jahre bei Achsabweichungen > 10° bzw. Seitverschiebung >1/2 Schaftbreite • Multiple andere Frakturen • Schädel-Hirn- oder Polytrauma • Quer-, Schräg-, Spiralfraktur • Kettenfraktur 	
<p>2. ESIN oder alternative Frakturversorgung:</p> <p>Indikationsstellung nach dem Abwägen der kurz- und langfristigen Vorteile der möglichen Alternativen.</p>	<p>Frakturtyp</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fraktur mit Dreh- oder Biegungskeil • Segmentfraktur • Metaphysäre Fraktur • Subtrochantäre Fraktur • II°-offene Fraktur • Pathologische Fraktur • Refraktur • Fraktur mit bereits liegendem anderen Implantat 	<p>Alternative Osteosynthesen zu ESIN</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fixateur externe • Fixateur externe • Fixateur externe • Fixateur externe, Platte • Fixateur externe • Fixateur externe, Platte • Fixateur externe, Platte • Fixateur externe
<p>3. Ungeeignete Indikationen für die ESIN</p> <p>Nachteile der ESIN bei folgenden Frakturformen*:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Keine ausreichende Stabilität • Nicht durchführbar wegen der zusätzlich lokalen Verletzungen 	<p>Frakturtyp</p> <ul style="list-style-type: none"> • III°- offene Fraktur • Begleitende Gefäß- oder Nervenverletzung • Trümmerfraktur • Proximale Femurschaftfraktur Typ I - III 	<p>Empfohlene Osteosynthesen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fixateur externe • Fixateur externe, Platte • Fixateur externe, überbrückende Platte • Schrauben, Platte
<p>Sonderindikationen</p> <ul style="list-style-type: none"> • In besonderen Fällen kann die ESIN mit alternativen Osteosynthesen wie einem Fixateur externe kombiniert werden, bzw. durch das Aufsetzen von End-caps zusätzliche Stabilität erzielt werden. 		

Pathologische Frakturen im Rahmen von Erkrankungen des Skelettsystems können teilweise auch mit ESIN stabilisiert und bei geringer Beeinträchtigung im Alltag auch für längere Zeit belassen werden [17].

6. Unterschenkelfrakturen:

Frakturen der Fibula und Tibia stellen die häufigsten Knochenbrüche der unteren Extremität. Überwiegend handelt es sich dabei um undislozierte Frakturen und Grünholzfrakturen, die meist konservativ versorgt werden können. Operativ vorgegangen wird bei:

- Scheitern des konservativen Behandlungsversuchs
- Nicht reponiblen oder nicht retinierbaren Frakturen
- Ante- oder Rekurvation von mehr als 10°
- II°- und III° offenen Frakturen
- Gefäß-, Nerven- und/oder ausgedehnten Weichteilschäden
- Vorliegen eines Kompartmentsyndroms.

Erneut hängt die Indikationsstellung zur ESIN von Frakturlokalisierung und –typ ab. Als Standardindikation für ESIN werden Quer- und Schrägfrakturen der Tibia angegeben [8, 35]. Beträgt die seitliche Verschiebung der Fragmente mehr als die Hälfte des Knochendurchmessers oder liegt eine Verkürzung vor, sollte nach Reposition ein operatives Vorgehen in Erwägung gezogen werden [12]. Frakturen im mittleren Drittel sind für ESIN besonders geeignet [36]. In den vergangenen Jahren wurden mit dieser Methode speziell auch bei offenen Tibiafrakturen zufriedenstellende Ergebnisse erzielt [11]. Durch den Einsatz von Verriegelungsschrauben bzw. End-Caps kann die Winkelstabilität zusätzlich erhöht werden [37, 38].

Das gefürchtete Kompartmentsyndrom bei Verletzungen des Unterschenkels kann durch die freie Zugänglichkeit, sollte eine Faszienspaltung notwendig sein, bei intramedullärer Schienung gut beherrscht werden.

Unter Berücksichtigung von Operationsdauer und Durchleuchtungszeiten sind vor allem kurze Quer- und Schrägfrakturen die idealen Indikationen für ESIN [39].

Tab. 7: Indikationen der ESIN bei Unterschenkelschaftfrakturen		
<p>1. ESIN als 1.Präferenz</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Kinder < 5 Jahre bei unzureichender konservativer Reposition oder Retention; Kriterien: <ul style="list-style-type: none"> - Varus/Valgus > 10° - Ante-/Rekursion > 10° - Verkürzung > 2cm • Kinder > 5 Jahre • Frakturen der Tibia und Fibula auf gleicher Höhe • Multiple andere Frakturen • Quer-, Schräg-, Spiralfaktur (keine zusätzliche Gipsfixation) 	
<p>2. ESIN oder alternative Frakturversorgung:</p> <p>Indikationsstellung nach dem Abwägen der kurz- und langfristigen Vorteile der möglichen Alternativen. Häufig ist eine zusätzliche passagere Gipsfixation nötig.</p>	<p>Frakturtyp</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fraktur mit Dreh- oder Bieungskeil • Segmentfraktur • Metaphysäre Fraktur • Refraktur • Kettenfraktur • Fraktur mit bereits liegendem anderen Implantat • Schädel-Hirn- oder Polytrauma 	<p>Alternative Osteosynthesen zu ESIN</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fixateur externe • Fixateur externe • Fixateur externe • Fixateur externe, Platte • Fixateur externe, Platte • Fixateur externe, Platte • Fixateur externe
<p>3. Ungeeignete Indikationen für die ESIN</p> <p>Nachteile der ESIN bei folgenden Frakturformen*:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Keine ausreichende Stabilität • Nicht durchführbar wegen der zusätzlich lokalen Verletzungen 	<p>Frakturtyp</p> <ul style="list-style-type: none"> • II°- und III°- offene Fraktur • Begleitende Gefäß- oder Nervenverletzung • Trümmerfraktur • Isolierte Fibulafraktur 	<p>Empfohlene Osteosynthesen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fixateur externe • Fixateur externe, Platte • Fixateur externe, überbrückende Platte • Auch bei kompletten Unterschenkelfrakturen wird die Fibula nicht mit einer Osteosynthese versorgt.

1.1.3 Komplikationen

Allgemeine Komplikationen des Osteosyntheseverfahrens:

Grundsätzlich unterscheidet man intraoperativ auftretende von postoperativ auftretenden Komplikationen. Zunächst werden die intraoperativ auftretenden Komplikationen aufgezeigt. Der Unterschied zu rigiden Systemen wie z.B. die bei Erwachsenen verwendeten Marknägel, besteht in der „Dreipunkt-Abstützung“ der elastisch stabilen intramedullären Nägel. Im Idealfall liegen alle drei Punkte in einer Ebene. Die Stabilität der Osteosynthese wird durch die Vorbiegung der Nägel, deren Kreuzungspunkte intramedullär und der korrekten Verankerung maßgeblich beeinflusst. Auch die Eintrittsstellen der Nägel sind entscheidend. Sie sollten möglichst frakturfern liegen (die Epiphysenfuge muss jedoch geschützt werden), so dass eine maximale Führung im Frakturbereich erzielt werden kann. Die größte Fehlerquelle in Bezug auf Stabilität ist der nicht adäquat vorgebogene Nagel, denn nur unter Spannung können die Vorteile der elastischen Nagelung zum Tragen kommen. Beide Nägel sollten zudem gleichermaßen vorgebogen werden, um ein Ungleichgewicht der wirkenden Kräfte zu vermeiden. Ebenfalls sollte die Implantatdicke übereinstimmend gewählt werden, nur so wirken im Falle der Biegung ausgewogene Rückstellkräfte. In besonderen Fällen kann man eine gewisse Asymmetrie der Kräfte jedoch auch bewusst nutzen. Dies ist zum Beispiel sinnvoll, wenn sich bereits prä- oder intraoperativ eine deutliche Tendenz zu einer Varus- oder Valgusfehlstellung zeigt, die so evtl. kompensiert werden kann.

Der zu wählende Nageldurchmesser sollte im Normalfall $1/3$ des intramedullären Lumens betragen; eine Ausnahme stellen die mit nur einem Nagel versorgten Unterarmfrakturen dar. Hier sollte der Implantatdurchmesser ca. $2/3$ des Lumens ausfüllen. Werden zu dünne Nägel verwendet, besteht die Gefahr der Achsabweichung und Instabilität. Werden die auftretenden Kräfte nicht vollständig aufgefangen, steigt die Gefahr des Auftretens von Refrakturen und Bildung von Pseudarthrosen. Statisch ungünstige Effekte treten ebenfalls bei inkorrekt Wahl der Eintrittsstellen in den Knochen auf. Liegen sich die Perforationen nicht genau gegenüber, befinden sich die wirkenden Kräfte nicht im Gleichgewicht, was die Biomechanik stark beeinflussen kann. Dennoch wird bei der Versorgung einiger Frakturen (z.B. bei der supracondylären Humerusfraktur) ein anatomisch bedingter unilateraler Zugang gewählt. Insgesamt erfolgen bei Frakturen des Humerus einseitig retrograde oder einseitig antegrade, aber auch beidseitig retrograde Montagen [8].

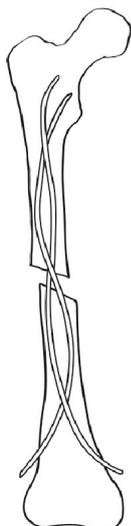


Abb. 6 Korkenzieher-Phänomen

Femurfrakturen werden mit einseitig antegraden oder beidseitigen Nagelungen versorgt. Um die positiven Eigenschaften der Osteosynthese nutzen zu können, ist bei unilateralem Vorgehen jeweils einer der Nägel nach Einbringen in den Markraum um 180° zu drehen, um ein Oval zwischen den beiden Kreuzungspunkten mit dem anderen Implantat und damit ebenfalls die erwünschte Dreipunktstützung der Nägel zu erzielen. Besonders bei Frakturen des Femurs ist vor dem Verankern der Nagelspitzen in der Gegenkortikalis die Achsenstellung in beiden Ebenen zu kontrollieren sowie eine fixierte Distraction auszuschließen: Durch passiven Zug werden die Fragmente separiert, im Bereich der Fraktur fehlt somit der Kontakt und es resultieren eine verzögerte Bruchheilung oder Knochenheilungsstörungen. Liegen die Eintrittsstellen nahe der Diaphyse, besteht bei Implantation und Metallentfernung die erhöhte Gefahr der Muskelirritation und -schädigung in diesem Bereich. Einer Hautperforation, Hämatombildung, Serombildung sowie Schmerzen durch zu lang belassene Nagelenden kann durch korrekte Nagelkürzung und gegebenenfalls durch Aufsetzen von Plastikkappen vorgebeugt werden [8]. Bei zu kurzen Nagelenden können die Implantate in den Knochen wandern, was die Metallentfernung erheblich erschweren kann. Wenn die Nägel über eine längere Zeit belassen werden, wie dies bei pathologischen Frakturen z.B. im Rahmen juveniler Knochenzysten des proximalen Humerus oder Femurs sinnvoll ist, ist ein Überwachsen der Nagelenden durch Kallus möglich [12]. Zudem gewährt nur der Einsatz geeigneter Werkzeuge und Instrumentarien ein sicheres Beherrschen dieser Technik [14]. Es stehen dafür spezielle Instrumente zur Verfügung. Eine weitere sehr wichtige Komplikation stellt das „Korkenzieher-Phänomen“ dar (Abb. 6). Es entsteht, wenn sich einer der Nägel um den anderen windet. Dadurch werden die elastisch-stabilen Eigenschaften der Osteosynthese durch Abnahme der intramedullären Spannung stark verringert. Dieses Problem muss mittels Bildwandler intraoperativ erkannt werden und ist durch Ersetzen des gewundenen Nagels zu beheben.

Zusammenfassend werden als Hauptfehlerquellen der ESIN angesehen:

- falsche Indikation
- Einsatz von zu dünnen oder zu dicken Nägeln
- inkorrekte Lokalisation der Nageleintrittsstellen
- Fehleinschätzung der biomechanischen Eigenschaften der ESIN
- Postoperative Komplikationen

[12]

Besondere Komplikationen der einzelnen Frakturlokalisationen:

1. Oberarmfrakturen

Die im Kindesalter deutlich seltener auftretenden Frakturen des proximalen Humerus und des Humerusschafts werden vorwiegend konservativ versorgt. Primäre Fehlstellungen werden durch die aktive proximale Wachstumsfuge gut spontan korrigiert. Bleibende Fehlstellungen geringen Ausmaßes können durch die Beweglichkeit im Schultergelenk gut kompensiert werden, jedoch sollten Achsenfehler ab einem gewissen Ausmaß aus kosmetischen Gründen stets behoben werden (s. Indikationen). Bei II.-gradig offenen Verletzungen ist ein Fixateur externe in Betracht zu ziehen. Nicht indiziert ist die ESIN bei Mehrfragment- und Trümmerfrakturen [8].

Die Lokalisation der Insertionspunkte ist von entscheidender Bedeutung. Sie sollten nicht zu weit proximal liegen, um eine mögliche Läsion des Nervus radialis zu vermeiden [40]. Sekundär auftretende Nervenläsionen bedürfen einer Freilegung [8]. Präoperativ werden Nervus radialis Läsionen relativ häufig beobachtet [12]. Als Hauptkomplikation der ESIN am Humerus wird die Perforation der Haut durch ein Nagelende angegeben. Die Nägel sind daher sehr knapp zu kürzen und es kann bei unzureichender Weichteildeckung eine Schutzkappe aufgesetzt werden.

Im Verlauf können die Implantatenden jedoch durch Verkürzung des Humerus weiter hervortreten. Sollte dies der Fall sein, müssen sie bei drohender Perforation sekundär gekürzt werden. Bei inkorrekt Lage der Nägel können

diese intramedullär wandern, besonders wenn die Implantate zu kurz gewählt wurden. Durch gezielte Verankerung der Nagelenden in der Gegenkortikalis des Fragments kann ein Rotationsfehler vermieden werden.

2. Supracondyläre Humerusfrakturen

Da die Wachstumsfuge des distalen Oberarms nur 20% zum Längenwachstum des Humerus beiträgt, werden Fehlstellungen in diesem Bereich nur in geringem Maß spontan korrigiert [41]. Häufig gehen durch die enge anatomische Situation vaskuläre und nervale Läsionen mit den Frakturen des distalen Humerus einher. Supracondyläre Humerusfrakturen treten im Kindesalter mit bis zu 70% der Frakturen im Ellenbogenbereich relativ häufig auf und stellen eine hohe technische Herausforderung an den behandelnden Arzt [42]. Vor Therapiebeginn ist die richtige Interpretation des radiologischen Befunds entscheidend, da aufgrund komplexer knöcherner Strukturen am immaturren Ellbogen die Verletzung nicht immer augenscheinlich ist [43]. Vor dem zehnten Lebensjahr werden Fehlstellungen in der Bewegungsachse im Verlauf meist spontan korrigiert, Varus- und Valgusfehlstellungen werden jedoch kaum kompensiert. Funktionelle Auswirkungen von Rotationsfehlstellungen sind anhand eines Röntgenbildes schwierig zu erkennen. Bei vorliegendem Innenrotationsfehler kann die mediale Kontur in Form eines Knochensporns blockierend auf die Flexion wirken, vor allem dann, wenn der Sporn oberhalb des Processus coronoideus liegt. Am aussagekräftigsten und entscheidend ist hier jedoch immer eine klinische Beurteilung. Flexionsfrakturen stellen in den meisten Fällen eine ungeeignete Indikation für ESIN dar.

Eine intraoperativ kalte und pulslose Hand sollte sich nach Reposition rasch normalisieren, anderenfalls ist eine Angiographie und eine operative Freilegung der Gefäße notwendig [8]. Der venöse Abfluss ist bei operativer Versorgung weniger gefährdet als bei konservativem Vorgehen [44]. Bei bis zu einem Fünftel der Patienten zeigen sich neurologische Defizite des Nervus radialis, des Nervus medianus und seltener des Nervus ulnaris. Hier ist die Komplikationsrate bei ESIN jedoch geringer als bei der gekreuzten Kirschnerdrahtosteosynthese, bei der die Ulnarisläsion durch den medialen

Pin eine ernstzunehmende Problematik darstellt. Häufigkeitsangaben hierfür schwanken in der Literatur zwischen 2% und 5% [24] [44] [45]. Strenges aseptisches Vorgehen sollte stets eingehalten werden, von Vorteil hat sich unter anderem deshalb die das Gelenk schonende Methode der antegraden ESIN erwiesen [8].

Sollte eine nervale Läsion länger als vier bis sechs Monate bestehen, ist ein chirurgisches Vorgehen indiziert. Aufgrund der oft schwierigen Reposition kommt es häufig zu Fehlstellungen, meist bedeuten diese aber keine im Alltag relevante Einschränkung der Bewegung [8]. Eine häufig beobachtete Fehlstellung ist die Ante- oder Rekurvationsfehlstellung [46]. Eine nicht korrigierte Abkipfung des Fragments nach dorsal führt meist nicht zu einer funktionellen Beeinträchtigung. Folgeschwerer ist dagegen eine Ad-latum-Verschiebung (Seit zu Seit) oder eine Verschiebung nach dorsal, wodurch die Ellenbogenflexion behindert wird. Diese Fehlstellungen können bis zum 10. Lebensjahr spontan korrigiert werden, eventuell kann eine chirurgische Intervention in Erwägung gezogen werden. Varusfehlstellungen können in bis zu 50% der supracondylären Humerusfrakturen nachgewiesen werden; neben einem resultierenden geringen Extensionsdefizit, kann diese Fehlstellung ästhetisch als störend empfunden werden. Häufig liegt zudem eine gewisse Fehlrotation vor. Entsprechende Korrekturmaßnahmen, z.B. eine laterale Subtraktionsosteotomie, sind abzuwägen. In selteneren Fällen liegt ein Hypervalgus vor. Dabei kommt es zu einer radialen Abkipfung des distalen Frakturfragments oft kombiniert mit einer zusätzlichen Fehlrotation. Verlaufen ein oder mehrere Implantate intraartikulär, besteht grundsätzlich die Gefahr einer septischen Arthritis. In der Folge kann dies wiederum zu Wachstumsstörungen und Einsteifung des Gelenks führen. Die gefürchtete Volkmann-Kontraktur wird bei intramedullärer Nagelung äußerst selten beobachtet und tritt vornehmlich bei zu engen Gipsverbänden auf, ferner nach Ödemen im Bereich der Fraktur oder bei extremer Flexion des Ellbogengelenks. Zur Vorbeugung dieser Komplikation sollte bei Zeichen von neurologischen Defiziten bzw. bei erkennbaren Durchblutungsstörungen der oberen Extremität rasch eingegriffen werden.

3. Radiuskopffrakturen.

Durch die intraartikuläre Lage des Radiushalses und –kopfes sind Radiuskopffrakturen mitunter schwierig operativ zu versorgen. Die Blutgefäße zur Versorgung des Radiuskopfes treten entlang des metaphysären Periosts in die Gelenkkapsel ein. Bedingt durch die Situation einer Endstrombahn, stellen Durchblutungsprobleme nach operativen Eingriffen ein relativ häufiges Problem dar. Initial sollte immer eine konservative Behandlung angestrebt werden. Dennoch ist die ESIN durch die Möglichkeit des frakturfernen Eintretens des Nagels in den Knochen bei dislozierten Radiuskopffrakturen die Methode der Wahl [47].

Bei stark abgekippten Radiuskopffrakturen besteht intraoperativ vor allem beim Einsatz der „Joystick-Methode“ die Gefahr einer Gefäßschädigung. Im Operationsgebiet ist auf den oberflächlichen Ast des N. radialis zu achten. Die antegrade Nagelung des Radius ist aufgrund der Gefährdung des tiefen Asts des Nervus radialis zu vermeiden [40].

Die Bildung einer Pseudarthrose stellt eine gefürchtete postoperative Komplikation dar. Zum Ausbleiben der Konsolidierung kann es durch starkes Verkippen der Epiphyse um 180° mit begleitendem Abriss von Weichteilen kommen, wodurch die Durchblutung beeinträchtigt werden kann. Auch eine Interposition von Periost kann die Entstehung einer Pseudarthrose begünstigen. Pseudarthrosen wirken sich vorwiegend auf die Umwendbewegungen aus. Vor Abschluss des Wachstums sind korrigierende Maßnahmen eher zurückhaltend zu ergreifen, beim Erwachsenen kann unter Umständen eine Prothese für Radiushals und –kopf eingesetzt werden. Eine weitere Möglichkeit mit häufig besseren Ergebnissen zur Korrektur stark verformter Epiphysen stellt die Resektion dar, die in besonderen Fällen mit einer Ulnaris-Ventralisation einhergehen kann. Vollständige Nekrosen des Radiusköpfchens sind selten, eine Revaskularisation ist möglich. Als schwierig zu lösen stellen sich Synostosen zwischen proximalem Radius und distalem Humerus dar, die durch umgeschlagenes Periost häufig nach offener chirurgischer Intervention auftreten können. Im Rahmen von

Wachstumsstörungen kann es bei Verkürzung zu einer Valgisierung des Unterarms kommen. Trotz guter Stellung kommt es in bis zu 5% der Fälle zu Längendifferenzen von mehr als einem Zentimeter, was jedoch selten zu funktionalen Einschränkungen führt. Trophische Veränderungen treten meist als klinisch irrelevante Hypertrophien des Radiuskopfes auf [8].

4. Unterarmschaftfrakturen

Bis zu einer axialen Fehlstellung von 10° erfolgt altersabhängig meist eine Spontankorrektur. Hiervon ausgeschlossen sind Rotationsfehler, welche der wachsende Knochen nicht ausgleichen kann [8]. Um Indikationsfehler zu vermeiden, sind bei Frakturen des Unterarms vor allem folgende Formen auszuschließen bzw. alternative Osteosyntheseformen zu bedenken: Trümmerfrakturen sind grundsätzlich nicht mit ESIN zu versorgen, da die Nägel eine konstante Knochenlänge nicht gewährleisten können. Bei Frakturen mit Biegungskeilen oder bei metaphysären Frakturen ist zu beurteilen, ob mit ESIN überhaupt eine stabile Osteosynthese zu erwarten ist. Abzuwägen sind Alternativen zur ESIN auch im Rahmen von Korrekturosteotomien [8]. Bei weit proximal gelegenen Radiusfrakturen ist die Indikation ebenfalls streng zu stellen [48].

Intraoperativ ist vor allem der Nervus radialis superficialis gefährdet, daher empfiehlt sich seine intraoperative Darstellung über dem distalen Radius, um die Epiphysenfuge und damit den Verlauf des Nervs zu markieren. Bei proximaler radialer Insertion ist ebenfalls der tiefer gelegene Ast des Nervus radialis gefährdet. Des Weiteren ist am distalen Unterarm auf einen ausreichenden Abstand zu Sehnen zu achten, da scharfkantige Nagelenden im Verlauf Reizungen und Verletzungen verursachen können [49]. Die relativ dünne Kortikalis des distalen Radius kann während der Implantation des Nagels bei großer Krafteinwirkung durchstoßen werden, die ausgebrochenen Fragmente können dann durch die Osteosynthese oft nicht stabilisiert werden [12]. Bei weit distal gelegenen Unterarmschaftfrakturen kann das Fragment unter Umständen nicht geführt und stabilisiert werden, was zu einer antegraden Nagelung oder sogar zu einem Verfahrenswechsel zwingen kann. Eine Achsabweichung trotz intramedullärer Nagelung kann auf zu dünne

Implantate oder eine mangelnde Aufspannung der Membrana interossea und dadurch ungenügende Stabilität hinweisen [40]. Zudem besteht prinzipiell das Risiko der Nagelwanderung, dem man jedoch durch Aufsetzen von Schutzkappen entgegenwirken kann. Zugleich schützen diese vor einer Hautperforation [8]. Monteggiafrakturen und Frakturen mit Monteggiaäquivalent sowie bei fraglicher Instabilität sollte zusätzlich für ca. zwei Wochen eine Ruhigstellung z.B. im Oberarmgips angelegt werden [8].

Achsfehlstellungen nach Unterarmschaftfrakturen führen vor allem zu Einschränkungen bei Umwendbewegungen, in bis zu 40% treten messbare Pronationsdefizite auf [47]. Bei Schafffrakturen des distalen Drittels sind posttraumatische Fehlstellungen in bis zu 90% schicksalhaft [50]. Heilungsstörungen werden relativ selten beobachtet [51]. In zwei diese Problematik betreffenden Studien wurden in 1,9% der Fälle (Studie Schmittenebecher [52] 10 von n= 532) bzw. 0,3% (Studie Adamczyk [53] 6 von n=1968) Heilungsstörungen beobachtet. Vorwiegend treten diese Komplikationen nach offenen Knochenbrüchen sowie nach offener Reposition häufiger bei älteren Kindern (12,3 Jahre) auf. In einer weiteren kürzlich veröffentlichten Studie von Fernandez et al. wurden bei einem Patientenkollektiv von 537 Unterarmfrakturen über 16 Jahre 6 Pseudarthrosen (1,1%) dokumentiert [54].

5. Oberschenkelfrakturen

Im Gegensatz zu den Frakturen der oberen Extremität sind Längendifferenzen und Achsfehlstellungen im Bereich der unteren Extremität von größerer funktioneller Bedeutung und können häufiger Korrekturoperationen nach sich ziehen [55] [15]. Bereits kleine Fehler bei der Versorgung können später große Auswirkungen haben z.B. klinisch relevante Beinlängendifferenzen [36] mit konsekutiver skoliotischer Fehlhaltung. Gravierende Komplikationen kann eine nicht zutreffende Indikation nach sich ziehen. Kontraindiziert ist die intramedulläre Nagelung bei III° - offenen Frakturen, Trümmerfrakturen, komplexen Frakturen, Frakturen mit Gelenkbeteiligung oder bei begleitenden

Gefäß- oder Nervenläsionen. Ebenso werden Schenkelhalsfrakturen nicht mit ESIN versorgt.

Als postoperativ auftretende Komplikationen werden Schmerzen, Hämatom- und Serombildung sowie Hautperforationen durch Nagelenden beschrieben. Diese können jedoch durch korrektes Kürzen der Nägel und gegebenenfalls durch Aufsetzen von Kappen verhindert werden. Sekundäre Achsabweichungen werden bei korrekter Wahl und Lage des Osteosynthesematerials selten beobachtet. Es besteht die Gefahr einer Osteomyelitis [8].

6. Unterschenkelfrakturen

Die Indikation zur intramedullären Schienung bei Unterschenkelfrakturen ist streng zu stellen [8, 12], da die Vorteile der intramedullären Abstützung häufig nicht genutzt werden können. Durch die exzentrische Lage der Tibia im Weichteilmantel, die äußere Dreiecksform der Tibia sowie aufgrund der ungleich starken paarigen Knochen herrschen bei Unterschenkelfrakturen besondere statische Bedingungen. [8, 12, 40]. Es besteht insbesondere die Gefahr von Varusfehlstellungen [36].

Ungeeignet für die Versorgung mit ESIN sind III° offene Frakturen des Unterschenkelschaftes, Trümmerfrakturen sowie Frakturen mit Drehkeilen oder Fragmentausbrüchen. Hier besteht ein erhebliches Risiko der Instabilität und der späteren Beinlängendifferenz. Zurückhaltung beim Einsatz von intramedullären Osteosynthesen ist ebenfalls bei metaphysären Unterschenkelfrakturen geboten. Hier muss geprüft werden, ob eine suffiziente intramedulläre Abstützung überhaupt erreichbar ist.

Zu intraoperativen Komplikationen kann es durch die Nähe zur Epiphyse bei weit kranial bzw. kaudal liegenden Frakturen kommen [8]. Die Nageleintrittsstellen sind so zu wählen, dass die Epiphyse des Fibulaköpfchens und der Nervus peroneus geschont werden. Durch zu steiles Eintreten der Nägel in den Markraum wird möglicherweise der Kontakt zur Gegenkortikalis verhindert, ein stärkeres Vorbiegen der Implantate kann den

Kontakt dennoch ermöglichen [12]. Voraussetzung für die korrekte Lage der Nägel ist erneut das Erreichen einer Dreipunktstützung, die in der Frontalebene ausgerichtet sein sollte. Besonders wichtig ist wiederum die korrekte Wahl der Implantatstärke. Der Frakturspalt sollte bei korrektem Sitz der Osteosynthese möglichst schmal sein, um einer Beinlängenzunahme und eventuellen Heilungsverzögerung vorzubeugen [8]. Um eine maximale Stabilität in der Längsachse zu erzielen, sollten in fraglichen Situationen Verriegelungsschrauben eingesetzt werden. Hautirritationen oder Perforationen lassen sich durch entsprechend knappes Kürzen der Nägel vermeiden.

Postoperativ kann eine zuvor möglicherweise übersehene Biegungsfraktur der Fibula aufgrund von Heilungsstörungen zu einer Pseudarthrose führen [36]. Hauptkomplikationen stellen Achsabweichungen über 10° dar [56], vor Metallentfernung sollte eine maximale Flexion im Kniegelenk vermieden werden [12, 14]. Um sekundären Achsfehlstellungen sowie Refrakturen vorzubeugen, sollte die Vollbelastung nach erneutem Konsolidationsröntgen und die Materialentfernung erst nach 3-6 Monaten erfolgen. Für diese Entscheidungen sollte ein Röntgenbild herangezogen werden [8]. Besonders bei Tibiafrakturen besteht ein erhöhtes Risiko der Pseudarthrose oder Distraction [12, 57]. Materialbrüche werden äußerst selten beobachtet. Im Kindesalter tritt ein Kompartmentsyndrom am Unterschenkel relativ selten auf, bei Adoleszenten hingegen besteht eine höhere Gefahr [11, 56, 58]. Eine Osteomyelitis wurde im Rahmen der ESIN bisher nicht beschrieben.

Insgesamt ist die Technik der intramedullären Nagelung eine relativ komplikationsarme Methode; auftretende intra- oder postoperative Probleme haben zudem meist keine Auswirkung auf das Endergebnis. Rückblickend wurde festgestellt, dass die Komplikationen dieser Technik weniger der Methode selbst, sondern eher der Erfahrung des Operateurs zuzuschreiben sind [57]. Die häufigsten Fehler treten bei der Wahl zu dünner Nägel, der Verdrillung der Nägel (Korkenzieherphänomen) oder inkorrekt er Dreipunktstützung der Implantate auf und sind somit biomechanischer Art [40]. Durch das Erfassen von Verletzungsmustern, Kenntnis der Anatomie und der technischen Möglichkeiten ermöglicht die operative Versorgung hohe Erfolgschancen [59].

1.1.4 Fragestellung

Ziel der vorliegenden Arbeit ist eine Evaluation der Methode der ESIN. Die Erfahrung mit dieser Technik soll über einen Zeitraum von 10 Jahren im Dr. von Haunerschen Kinderspital zusammenfassend dargestellt und ausgewertet werden.

2 Material und Methoden

2.1 Datenerfassung

Die retrospektive Analyse bezieht sich auf alle Kinder mit Frakturen der langen Röhrenknochen, welche im Zeitraum von Juli 1998 bis August 2007 im Dr. von Haunerschen Kinderspital der Ludwig–Maximilians–Universität München mit einer Elastisch Stablen Intramedullären Nagelung versorgt und betreut wurden. Kinder mit Mehrfachfrakturen bzw. erneuten Unfällen wurden doppelt geführt. Der Beobachtungszeitraum erstreckt sich vom Tag des Unfalls bis zur Metallentfernung bzw. den Nachuntersuchungen im weiteren Verlauf.

Zur Datensammlung und -erfassung standen die stationären und ambulanten Akten sowie die Röntgenbilder der Patienten zur Verfügung. Daraus wurden folgende Parameter tabellarisch erfasst:

- Patientenummer, Name, Geburtsdatum und Geschlecht
- Betroffene Seite, betroffener Knochen, Frakturlokalisierung und ggf. Frakturtyp,
- Refraktur, pathologische Fraktur ggf. Pathologie
- Unfallursache
- Unfalldatum, Operationsdatum
- Primäre Gefäß- oder Nervenläsionen
- Indikation für ESIN
- Implantatmaterial, Implantatstärke, Anzahl der Implantate, Eintrittsstelle in den Knochen, evtl. Kappen, evtl. zusätzliche Osteosyntheseverfahren
- Operationsdauer, Durchleuchtungszeit
- Verfahrenswechsel und ggf. Ursache
- Hospitalisationsdauer (Aufnahme- und Entlasstag als ganze Tage gewertet)
- Zusätzliche Immobilisation post operationem mit ggf. Grund/Dauer
- Anzahl postoperativer Röntgenkontrollen und Intervall post operationem
- Komplikationen
- Dauer bis zum Beginn der Mobilisierung/Vollbelastung
- Dauer bis zur Metallentfernung
- Kosmetisches Ergebnis
- Funktionelles Ergebnis mit Bewegungsausmaß
- Anzahl ambulanter Nachkontrollen
- Ggf. Besonderheiten

Bei den ausgewerteten Komplikationen wird zwischen passageren Problemen und bleibenden Beschwerden oder Funktionseinschränkungen unterschieden. Die Bewegungsausmaße wurden nach der Neutral-Null-Methode bestimmt.

2.2 Operationstechniken

Alle Eingriffe erfolgten nach der im Hause üblichen Technik, die nachfolgend noch genauer erläutert wird, sowie in Allgemeinnarkose. Der zu wählende Nageldurchmesser beträgt in der Regel ein Drittel des Markraums gemessen an der engsten Stelle, ausgeschlossen hiervon sind die Unterarmfrakturen, bei denen der Durchmesser ca. 60% des Lumens ausfüllen sollte.

Die Gliederung erfolgt auch hier nach den betroffenen Knochen sowie der Lokalisation der Frakturen.

Proximale Humerus- und Humerusschaftfrakturen



Abb. 7 15-jähriges Mädchen mit proximaler Humerusfraktur: prä- und postoperative Bilder

- Der frakturierte Humerus wird auf einem Armtisch gelagert, Schulter und Ellbogen müssen frei zugänglich sein. Der Patient liegt auf dem Rücken. Die Schienung kann je nach Lokalisation der Fraktur ante- oder retrograd erfolgen. Proximale Humerusfrakturen treten häufiger auf, somit kommt die retrograde Technik häufiger zum Einsatz. Es besteht die Möglichkeit der einseitigen (radialen) oder beidseitigen Insertion. Bei den distal gelegenen Frakturen erfolgt die antegrade Nagelung gemäß der im Folgenden vorgestellten supracondylären Humerusfrakturen. Die retrograde Nagelung erfolgt durch 1-2cm lange Inzisionen über den Condylen. Von dort wird stumpf auf den Knochen vorgegangen. Hierbei ist der Nervus ulnaris zu schonen. Der Hautschnitt wird in diesem Fall über dem Epicondylus radialis etwas länger gewählt. Es erfolgt die Spaltung des Septum intermusculare brachii laterale. Die Perforationen müssen in ausreichendem Abstand zueinander liegen, der Knochen wird hierzu auf eine Länge von ca. 3cm freigelegt. Der Pfriem wird in einem Winkel von ca. 45° angesetzt und die Perforation gesetzt. Die Reposition der proximalen Fraktur des Humerus wird unter 90° Abduktion, Beugung und leichter Außenrotation durchgeführt. Der Assistent fixiert bei diesem Manöver den Humeruskopf. Der erste Nagel wird bis zum Frakturspalt vorgeschoben, seine Spitze ist zum Markraum hin gerichtet, nach radiologischer Kontrolle des Repositionsergebnisses wird der Nagel in das zweite Fragment vorgetrieben. Nun kann das Repositionsergebnis durch Drehung weiter korrigiert werden. Anschließend wird der zweite Nagel eingebracht. Liegen die Insertionen auf der gleichen Seite, wird der zweite Nagel nach Erreichen des oberen Schaftdrittels um 180° gedreht. Die Spitzen werden so verankert, dass ein stabiles Ergebnis zu erwarten ist. Unter Umständen muss dazu die proximale Epiphysenfuge gekreuzt werden. Die Reposition von Schaftfrakturen stellt sich meist einfacher dar. Bei Frakturen im proximalen Drittel ist das Vorgehen analog zu den subkapitalen Humerusfrakturen, bei distal gelegenen Frakturen erfolgt die Nagelung gemäß dem Vorgehen bei den supracondylären Humerusfrakturen. Die Enden der Nägel werden gekürzt und bei Bedarf mit Kappen versehen. Schließlich erfolgt der Wundverschluss.

ESIN bei supracondylären Humerusfrakturen

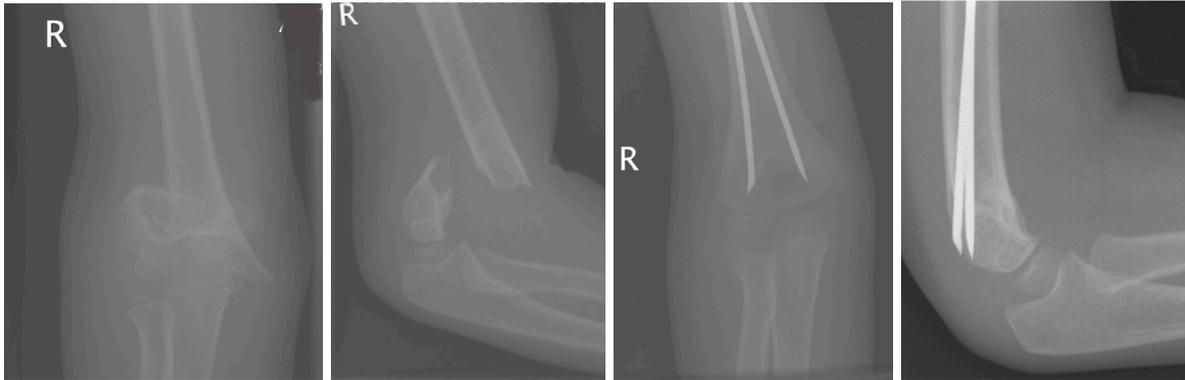


Abb. 8 5 jähriges Mädchen mit supracondylärer Humerusfraktur

- Der Patient befindet sich ebenfalls in Rückenlage. Initial erfolgt die Reposition. Die Nagelung erfolgt antegrad. Unterhalb des Musculus deltoideus an der lateralen Zirkumferenz des Humerus wird eine kurze Hautinzision vorgenommen. Der Musculus brachialis wird in Längsrichtung bis auf den Knochen gespalten. Nach Beiseitedrängen der Weichteile werden lateralseitig am Humerus zwei schräg absteigende Perforationen angelegt. Die entsprechend vorgebogenen Nägel werden eingeführt und nach distal vorgetrieben. In der Regel orientiert sich die Spitze des an der distalen Perforation eingebrachten Nagels nach lateral und leicht nach dorsal und kommt vor dem lateralen Pfeiler der distalen Metaphyse zu liegen. Entsprechend wird der proximal eingeführte Nagel durch Drehung im Markraum um 180° nach medial ausgerichtet und wird ebenfalls bis kurz vor die Fraktur vorgeschoben. Ihre Spitze zeigt auf den medialen Pfeiler der Metaphyse. Nach Durchleuchtungskontrolle erfolgt die Nachreposition der Fraktur und anschließend das Vorschlagen der beiden Nagelspitzen in das Gegenfragment. Nun erfolgt eine radiologische Kontrolle bei gestrecktem Arm zur Beurteilung der Stabilität, bevor die Nagelspitzen in der Epiphyse verankert werden. Die proximal überstehenden Nagelenden werden zunächst abgewinkelt und anschließend unter Hautniveau gekürzt. Schließlich erfolgt der Wundverschluss.

Radiuskopffrakturen



Abb. 9 8 jähriger Junge mit Radiuskopf- und Olecranonfraktur

- Hierzu wird der Patient in Rückenlage, der betroffene Arm gut zugänglich positioniert. Es sollte immer eine geschlossene Reposition angestrebt werden [30].

Die Hautinzision erfolgt radialseitig am distalen Unterarm proximal der distalen Wachstumsfuge. Nach Beiseitedrängen der Weichteile wird bis auf den Knochen vorpräpariert und dort ca. 1 bis 2cm proximal der Epiphysenfuge eine Perforation mittels Pfriem oder Bohrer angelegt. Der Durchmesser des Bohrkanals sollte ca. 1 mm größer als der des Implantats betragen [60]. Dann wird der Nagel eingeführt und unter Durchleuchtung so positioniert, dass die Nagelspitze in der Ebene der maximalen Fehlstellung des Radiuskopfes liegt. Nun wird der Nagel mit leichten Schlägen weiter nach proximal getrieben. Nach erfolgreichem „Auffädeln“ des Radiuskopfes erfolgt eine Rotation des Nagels um 180°, wodurch eine anatomisch korrekte Reposition gelingen soll. Sollte die Reposition bzw. das „Auffädeln“ scheitern, kann der verkippte Radiuskopf unter Umständen mittels „Joystick-Reposition“ aufgerichtet werden. Hierzu wird ein Kirschner-Draht unter den Radiuskopf geschoben. Durch vorsichtiges Hebeln kann der Radiuskopf aufgerichtet und der Nagel über die Frakturzone hinausgeschoben werden [61]. Die Spannung des Periosts

und die räumliche Nachbarschaft des Condylus radialis verhindern eine weitere Dislokation. Bei guter Stellung kann der Nagel verankert werden. Ab einer Abkipfung von über 80° ist das Auffädeln des Radiuskopfes oft nur mit Hilfe äußerer Manipulation möglich. Abschließend wird die Stellung radiologisch dokumentiert und die Hautinzision verschlossen.

ESIN bei Unterarmschafffrakturen

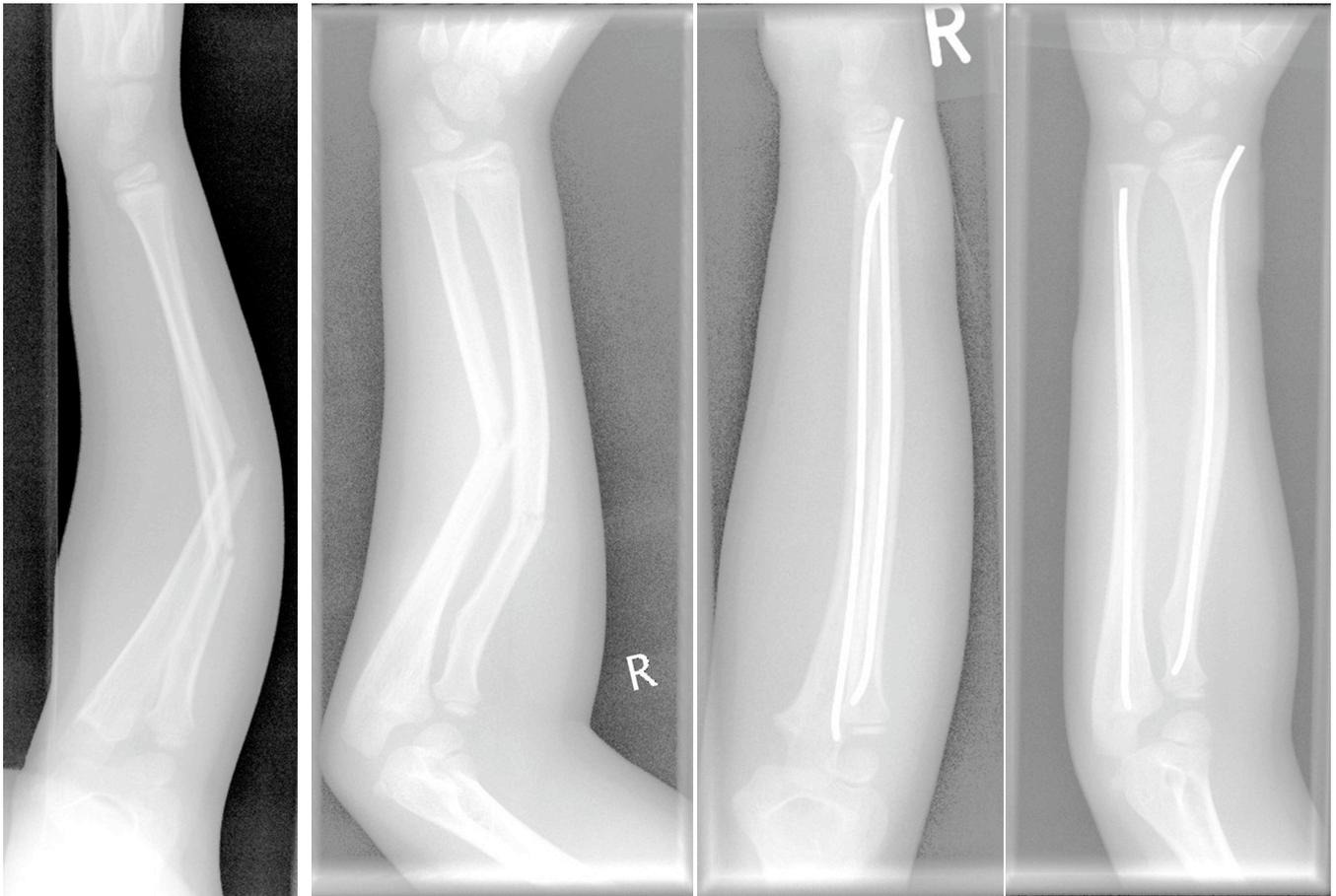


Abb. 10 6 jähriges Mädchen mit kompletter Unterarmfraktur

- Die Lagerung des Patienten entspricht der bei der Radiuskopffraktur beschriebenen. Zunächst werden mit Hilfe des Bildwandlers unter noch unsterilen Bedingungen mögliche Repositionsmöglichkeiten erwogen. Hierbei wird der schwieriger zu reponierende Knochen bestimmt. Dieser wird zuerst mit einem Implantat versorgt, da durch den frakturierten und noch ungeschienten zweiten Knochen unter Umständen eine größere Bewegungsfreiheit gegeben ist, welche die Reposition erleichtert.

Nach Markieren der distalen Radiusepiphysenfuge wählt man die Eintrittsstelle in den Knochen etwa 1-2cm proximal davon. Es erfolgt eine ca. 2-3 cm lange Hautinzision nach distal. Nun wird der Ramus superficialis des Nervus radialis dargestellt und zusammen mit den Sehnen beiseite gehalten. In den Knochen wird mit dem Pfriem oder einem Universalbohrer eingegangen. Beide werden zunächst senkrecht angesetzt und nach ausreichender Führung dann bis zu einem Winkel von 30°-45° geneigt. Über diese Perforation wird der erste Nagel eingebracht. Dabei ist darauf zu achten, dass seine Spitze die Gegenkortikalis nicht perforiert (Spitze zeigt zum Markraum hin). Ein generelles Vorbiegen des Nagels ist nicht notwendig, die bestmögliche Führung des Nagels gewährleistet ein knapp eingespannter Handgriff. Vor Erreichen des zweiten Fragments wird der Nagel so gedreht, dass ein Auffädeln möglich ist. Vor Passage des Frakturspalts erfolgt die bestmögliche Reposition, jedoch müssen die Flächen der Fragmente nicht absolut zur Deckung gebracht werden. Nachdem die Spitze des Nagels das proximale Fragment erreicht hat, wird die Drehung rückgängig gemacht und der Nagel weiter nach proximal bis zur Tuberositas radii vorangetrieben. Durch nochmaliges Drehen der Nagelspitze zur Ulna hin kommt es zu einer Aufspannung der Membrana interossea, danach erfolgt durch gezielte Hammerschläge die Verankerung des Nagels in der Spongiosa.

Die Nagelung der Ulna erfolgt im Normalfall retrograd, die Hautinzision erfolgt dorsomedial an der proximalen Ulna unter Schonung der Olecranonapophyse. Nach Anlage einer Perforation wird der Nagel bis zum Frakturspalt vorgeschoben und das Gegenfragment aufgefädelt, gegebenenfalls kann das Repositionsergebnis durch Drehen des Nagels weiter verbessert werden. Die Nagelspitze wird nach radial gedreht und in der Spongiosa verankert.

Auch hier erfolgt anschließend eine radiologische Kontrolle und Dokumentation der Stellung. Im Anschluss werden die Nagelenden gekürzt und die Wunde adaptiert. Bei weit distal gelegenen Radiusfrakturen kann es notwendig sein retrograd zu nageln. In Anbetracht drohender Komplikationen sollte hier die Indikation streng gestellt werden. Besonders der tiefe Ast des N. radialis ist bei diesem Zugang gefährdet. Sinnvoll hingegen ist die retrograde Ulnaschienung bei proximaler Lokalisation der Fraktur.

ESIN bei Femurfrakturen



Abb. 11 8-jähriger Junge mit Femurfraktur

- Der Patient wird in Rückenlage auf dem Extensionstisch gelagert. Zunächst erfolgt die Reposition der Fraktur, das Ergebnis wird mittels Bildwandler beurteilt. Danach erfolgt die übliche Desinfektion und Abdeckung des OP-Gebietes. Querfrakturen im mittleren und proximalen

Schaftbereich treten etwas häufiger auf, weshalb meist eine retrograde Nagelung durchgeführt wird. Dazu zeichnet man zunächst unter Berücksichtigung und Schonung der Epiphysenfugen die Insertionsstellen medial und lateral am distalen Oberschenkel an, wobei auf Symmetrie geachtet werden sollte. Die Hautinzision ist so weit distal zu wählen, dass der schräg eingeführte Nagel zu keiner Quetschung der Haut führen kann. Ebenso ist die Spaltung der Faszie nicht zu kurz zu halten, da dies im Verlauf durch Irritationen zu Knieschmerzen führen kann. Die Perforation sollte in einem Winkel von 45° erfolgen. Kommt ein Bohrer zum Einsatz, muss auf Gewebeschutz geachtet werden, ferner kann der Bohrer durch Verkanten brechen. Zuerst wird der Nagel auf der Seite mit dem besseren Kontakt der Kortikalis beider Fragmente eingebracht, was ein „Auffädeln“ erleichtert. Ein Vorbiegen des Nagels ist nicht zwingend erforderlich. Problemen beim Einführen kann mit einem flacher angelegten Bohrkanal oder einer entsprechenden Biegung der Nagelspitze begegnet werden. Der Handgriff sollte kurz nach der Spitze fixiert und gegebenenfalls öfter versetzt werden. Kurz vor Passage der Frakturzone wird die Position in beiden Ebenen mittels Bildwandler kontrolliert, gegebenenfalls wird der Nagel um bis zu 180° gedreht. Ist die Stellung zufriedenstellend, kann der Nagel in den Markraum des zweiten Fragments vorgeschoben und das Repositionsergebnis durch Drehen des Nagels weiter achsengerecht eingerichtet werden. Der zweite Nagel kann Seit-zu-Seit-Verschiebungen korrigieren. Beide Nagelspitzen zeigen am Ende zur Eintrittskortikalis hin. Nachdem die Extension reduziert wurde, können die Implantate in die Metaphyse vorgeschlagen und fixiert werden. Die Nägel werden bis 1cm über dem Knochen gekürzt. Kunststoffkappen können aufgesetzt werden. Der Wundverschluss erfolgt wie üblich.

Bei Schrägfrakturen kann sich die Reposition schwieriger gestalten. Zunächst wird der Nagel vorgeschoben, dessen Spitze im rechten Winkel auf die Frakturbene zeigt. Nach vorsichtigem Auffädeln des Gegenfragments kann die Fraktur durch Drehen des Nagels meist reponiert werden. Nun wird die Drehung des Nagels zurückgenommen und der zweite Nagel in den Markraum vorgeschoben und ggf. gedreht. Am Ende zeigen beide Spitzen zur Eintrittskortikalis.

Femur-Spiralfrakturen sind oft schwierig zu reponieren. Auch das Einbringen der Nägel erfordert besondere Erfahrung, da die Implantate leicht in die Weichteile abgleiten können. Zudem fehlt oft die Führung der Implantate durch die Gegenkortikalis. Unterstützt durch externe Manipulation wird zunächst ein möglichst gutes Repositionsergebnis angestrebt. Der erste Nagel wird auf der Seite der längeren intakten Kortikalis eingebracht, unter Drehbewegungen und Durchleuchtung wird das Gegenfragment aufgefädelt. Im Markraum des aufgefädelten Fragments wird die Spitze des Nagels auf die Seite der Eintrittskortikalis ausgerichtet. Der zweite Nagel kann nun eingeführt werden.

Sollte ein zusätzliches drittes Fragment vorliegen, ist trotzdem auf eine ausreichende Aufspannung und eine Dreipunktabstützung zu achten.

Liegt die Fraktur im distalen Drittel, wird unilateral subtrochantär antegrad vorgegangen. Hierzu wird eine ca. 4 cm lange Hautinzision vorgenommen und dann die Faszie gespalten. Es werden im Abstand von 2 cm zwei Bohrlöcher angelegt. Zuerst wird der untere Nagel eingebracht, dessen Spitze später wieder zur Eintrittskortikalis zeigt. Die Eintrittswinkel betragen 45° . Der zweite Nagel wird nach Einführen um 180° gedreht, seine Spitze zeigt am Ende nach medial.

Die Behandlung von Etagen- und Kettenfrakturen bedarf einer sorgfältigen Abwägung der zu wählenden Osteosynthesetechnik. Hier ist die ESIN unter Umständen nicht die Methode der Wahl.

ESIN bei Tibiafrakturen

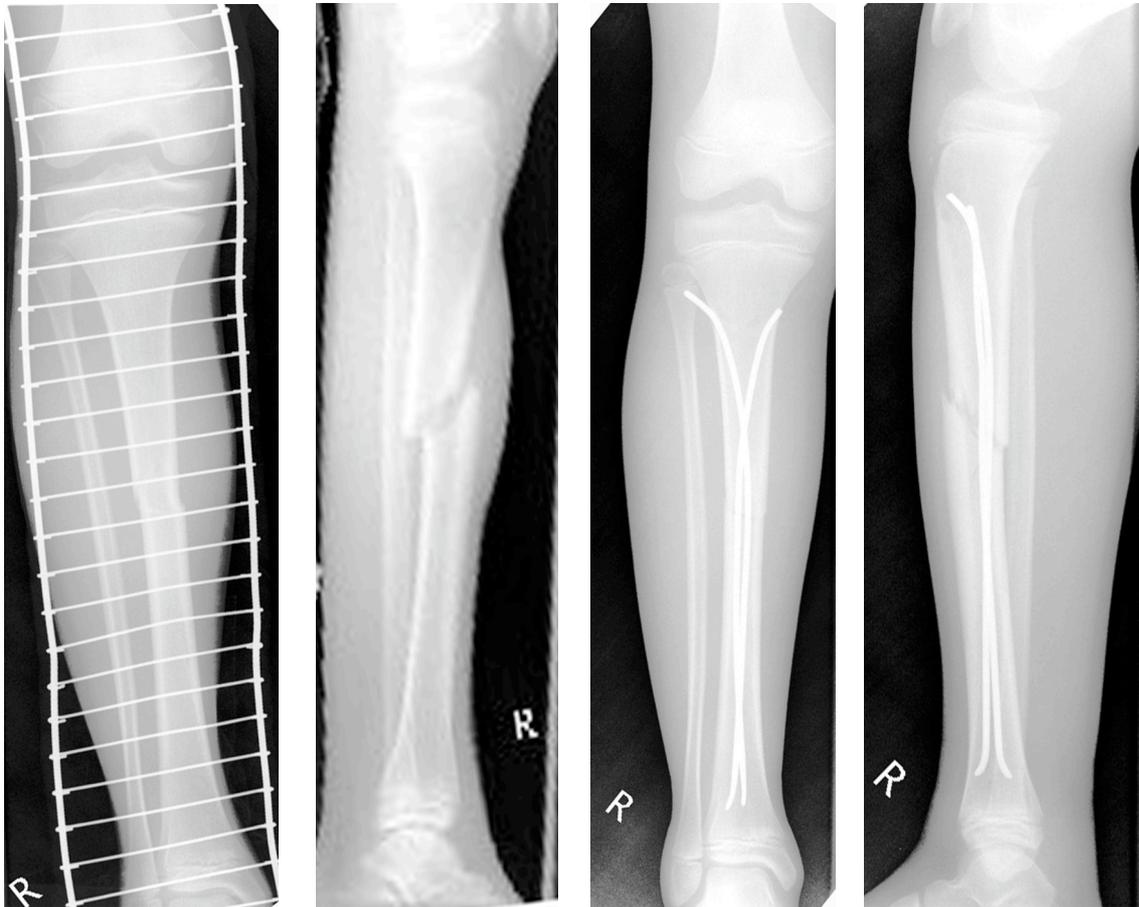


Abb. 12 12-jähriger Junge mit Tibiaschaftfraktur

- Die Operation findet in Rückenlage des Patienten statt. Das Kniegelenk bildet einen Winkel von ca. 120° . Im Normalfall erfolgt die Nagelung antegrad durch je einen an der lateralen und einen an der medialen Tibiakante eingebrachten Nagel. Die 1-2 cm langen Hautinzisionen liegen etwa 1 cm proximal der geplanten Perforationen des Knochens. Es erfolgt eine stumpfe Präparation auf die Kortikalis. Die Bohrlöcher werden nicht zu weit proximal (unterhalb der Tuberositas tibiae) in einem Eintrittswinkel von ca. 45° - 60° angelegt. Eine grundsätzliche Vorbiegung der Nägel ist nicht notwendig. Die Nägel werden bis zur Frakturzone vorgetrieben und nach Reposition über den Frakturspalt hinaus geschoben. Auch hier ist besonders bei erforderlichen Drehbewegungen auf ein Korkenzieherphänomen zu achten. Nach Passage der Frakturzone wird die Stellung mittels Bildwandler dokumentiert. Dann können die Spitzen in

die distale Tibiametaphyse eingeschlagen und nach Kürzen der Nägel Kunststoffkappen aufgesetzt werden. Anschließend wird die Hautinzision verschlossen.

3 Ergebnisse

Insgesamt wurden 271 Fälle mit ESIN versorgter Frakturen bei 267 Patienten ausgewertet, darunter 106 Mädchen und 165 Jungen. Die mittlere Follow-Up-Zeit betrug 6 Monate (Range 0 Tage – 4721 Tage). Der jüngste Patient war ein zum Zeitpunkt der Behandlung 1,4 Jahre alter Junge, der älteste Patient war 17,9 Jahre alt. Das mittlere Alter der Kinder betrug 8,4 Jahre. Einen Überblick über die Häufigkeitsverteilung der Frakturen, Geschlechts- und Altersverteilung gibt Tab. 8.

Frakturlokalisierung	Anzahl (n)	Geschlechterverteilung (w:m)	Altersspanne (Jahre)	Durchschnittsalter (Jahre)
Humerusschaft	8	5:3	4,8-17,9	11,1
Supracondylärer Humerus	91	51:40	1,7-12,3	6,2
Unterarm	153	47:106	1,4-16,3	9,4
Femurschaft	8	0:8	4,2-13,8	7,6
Unterschenkelschaft	11	3:8	8,3-13,9	11,7

Die Unfallursache und Angaben zu primären Nervenläsionen finden sich im folgenden Teil bei den jeweiligen Frakturen. Die Operationsdauer variiert je nach Lokalisation und Komplexität der Frakturen. Die durchschnittliche OP-Zeit betrug 53,41 Minuten, wobei sie bei den Humerusschaftfrakturen am kürzesten und am längsten bei den Femurschaftfrakturen war. Zur Orientierung werden die Zeiten in Tab. 9 zusammengefasst, detaillierte Angaben finden sich bei den Ergebnissen der jeweiligen Frakturlokalisierung.

Frakturlokalisierung	Minimum (min.)	Mittelwert (min.)	Modalwert (min.)	Maximum (min.)
Humerusschaft*	20	25		30
Supracondylärer Humerus	20	50,42	45	140
Unterarm	15	53,28	45	260
Femurschaft*	60	135		345
Unterschenkelschaft	30	55	30	105

* ohne Berücksichtigung der pathologischen Frakturen.

Die Parameter zur Darstellung des zeitlichen Verlaufs sind in Tab. 10 dargestellt. Die pathologischen Frakturen werden hier nicht berücksichtigt, da die Dauer bis zur Vollbelastung meist länger ist und die Nägel in diesen Fällen oft deutlich länger belassen werden.

Tab. 10: Hospitalisationsdauer, Dauer bis zur Sportfreigabe, Dauer bis zur Metallentfernung (Durchschnittswerte in Tagen)			
Frakturlokalisation	Hospitalisationsdauer	Dauer bis Sportfreigabe	Dauer bis Metallentfernung
Humerusschaft	1,5	30	158
Supracondylärer Humerus	3	31	104
Unterarm	3,7	41	153
Femurschaft*	9	68	140
Unterschenkelschaft	12,6	60	228

* ohne Berücksichtigung der pathologischen Frakturen.

Bei 10 Kindern fand die komplette Nachbehandlung in anderen Kliniken statt. Bei diesen Kindern liegen keine Angaben zum weiteren Verlauf vor.

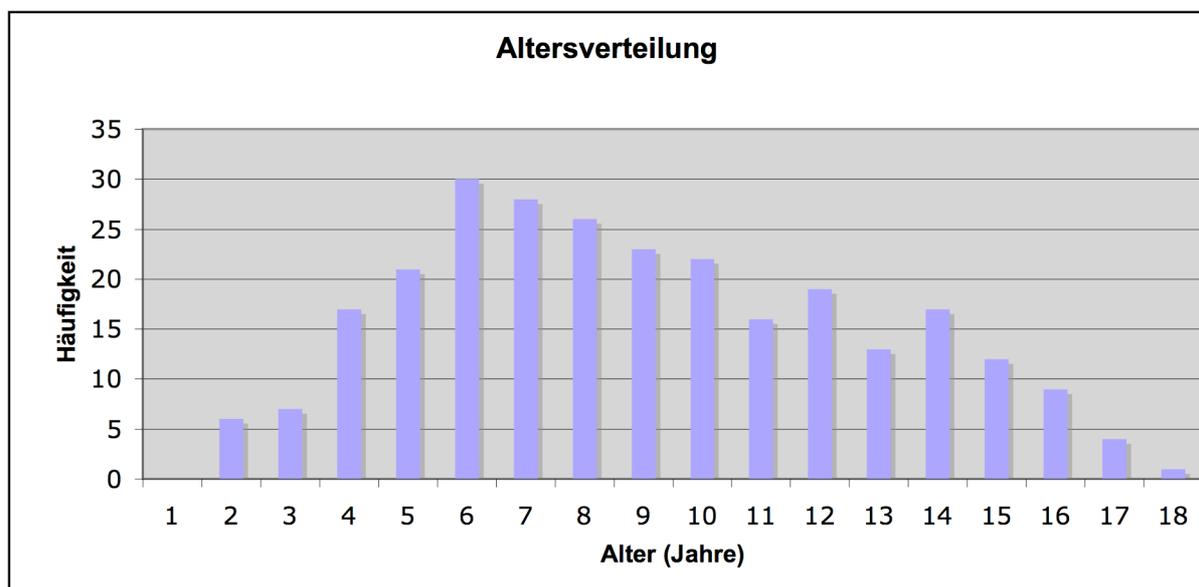


Abb. 13 Altersverteilung aller mit ESIN versorgter Patienten

Aufgrund der unterschiedlichen Verletzungsmuster und Verläufe ist eine Unterteilung nach der Verletzungslokalisation sinnvoll.

Im Kollektiv enthalten waren 154 Frakturen im Bereich des Unterarms, davon 124 komplette Unterarmfrakturen, 10 isolierte Ulnafrakturen und 10 Monteggiafrakturen sowie ein Monteggiaäquivalent. Es wurden 10 isolierte Radiusfrakturen ausgewertet,

darunter 4 Radiuskopffrakturen. Die Humerusfrakturen (n=100) unterteilen sich in 91 supracondyläre, 8 diaphysäre und 1 subcapitale Fraktur. Die 8 Femurfrakturen enthalten 2 bei juvenilen Knochenzysten und 1 bei fibröser Dysplasie. Die Unterschenkelfrakturen lassen sich in 12 komplette Unterschenkelfrakturen und eine isolierte Tibiafraktur unterteilen. Im Folgenden werden die Ergebnisse unter Berücksichtigung der Lokalisation der Frakturen dargestellt.

3.1 Frakturen des Oberarms

Humerusfrakturen

Ausgewertet wurden 99 mit ESIN in den Jahren 1998 bis 2007 in der Kinderchirurgischen Klinik geschiente Humerusfrakturen. Betroffen waren 45 Mädchen (45,5%) und 54 Jungen (54,5%). Das Alter der Patienten am Tag der Operation lag zwischen 1,7 Jahren und 17,9 Jahren. Der Häufigkeitsgipfel lag bei sechs Jahren. Im Folgenden werden die supracondylären Humerusfrakturen, da sie mit 92% den größten Anteil aller Humerusfrakturen stellten, von den sonstigen Humerusfrakturen gesondert behandelt.

Proximale Humerusfrakturen und Humerusschaftfrakturen

Die Daten von 7 Patienten mit Frakturen des proximalen Humerus wurde analysiert. Dabei handelt es sich in 6 Fällen um pathologische Frakturen bei bekannten und radiologisch dokumentierten juvenilen Knochenzysten

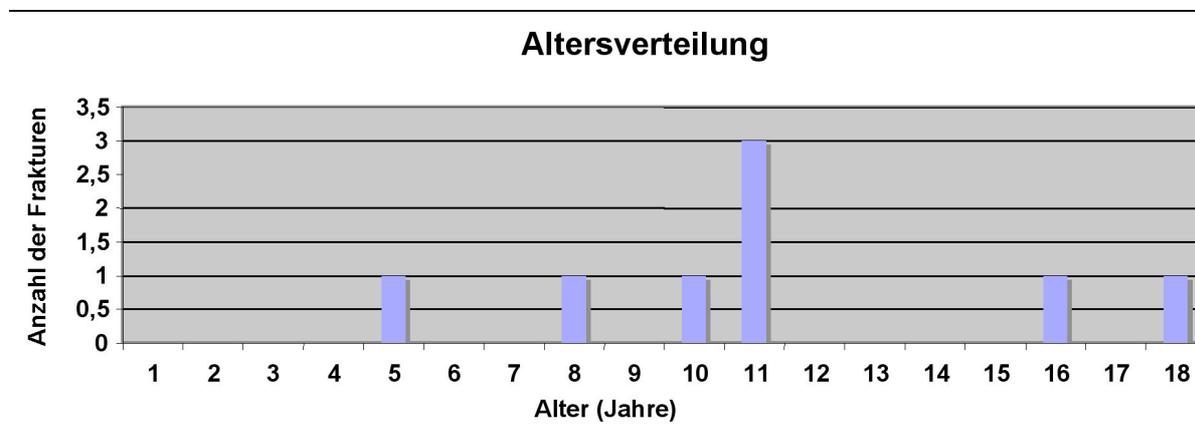


Abb. 14 Altersverteilung der juvenilen Knochenzysten am Humerus

Zwei 10- bzw. 15-jährige Mädchen zogen sich im Rahmen sportlicher Betätigung Humerusschaftfrakturen zu. Die Altersspanne der 5 Kinder (3 Jungen, 2 Mädchen) mit juvenilen Knochenzysten lag zwischen 4 und 17 Jahren.

Bei den Sportunfällen handelte es sich um eine rechtsseitige subkapitale bzw. um eine metaphysäre rechtsseitige proximale Humerusfraktur. Die Frakturen bei juvenilen Knochenzysten lagen im metaphysären Bereich des proximalen Humerus, dabei war viermal der linke Arm und zweimal der rechte betroffen. Begleitende Nervenläsionen oder Gefäßverletzungen traten bei keiner der Frakturen auf. In drei Fällen ereigneten sich bei juvenilen Knochenzysten Refrakturen.

Alle 7 Frakturen sowie die Refraktur wurden in retrograder Technik mit ESIN versorgt. Die durchschnittliche Operationszeit betrug 41,4 Minuten, die mittlere Durchleuchtungszeit lag bei 302,7 Sekunden (Range: 139s.-560s.). Vorwiegend wurden Titannägel (6 von 8 Fällen) der Stärke 2,5 mm bis 3,5 mm eingesetzt. Kappen wurden in einem Fall aufgesetzt. Die Metallentfernung erfolgte bei den nicht pathologischen Frakturen nach 155 und 161 Tagen in Allgemeinnarkose. Bei den juvenilen Knochenzysten wurden die Implantate mit einer Ausnahme (Metallentfernung nach 185 Tagen, nach zweieinhalb Jahren Refraktur, Nägel in situ) bis zum Tag der Auswertung belassen. In einem Fall war ein Nagelwechsel nach Refraktur erforderlich, bei einem Kind wurden die Nägel zweimal gewechselt.

Der stationäre Aufenthalt belief sich durchschnittlich auf 2,5 Tage. Die Sportfreigabe der beiden nichtpathologischen Frakturen erfolgte nach 30 Tagen, bei den juvenilen Knochenzysten dauerte es durchschnittlich 42,4 Tage bis zur möglichen Vollbelastung.

Röntgenkontrollen fanden bei den Patientinnen nach Sportverletzung 3 bzw. 4mal statt. Aufgrund von notwendigen Nagelwechseln und teils langwierigen Verläufen wurden die Kinder mit juvenilen Knochenzysten durchschnittlich 5,5 mal, ein Junge 12mal radiologisch untersucht (in der Regel in halb- bzw. jährlichen Abständen). Die Zahl ambulanter Kontrollen lag zwischen 3 und 17 wahrgenommenen Terminen.

Sensibilitätsstörungen oder motorische Ausfälle wurden bei diesem Patientengut weder initial noch perioperativ beobachtet. Blutungen, Infektionen oder Pinperforationen der Haut traten ebenfalls nicht auf.

Die beiden Sportverletzungen heilten komplikationslos aus. Bei den juvenilen Knochenzysten stellten die Refrakturen in drei Fällen die einzige Komplikation dar.

Zwei der Kinder erlitten die Refrakturen bei liegenden Nägeln, bei einem Mädchen wurde nach Refraktur nochmals ein weiterer Nagelwechsel wegen Materiallockerung im Verlauf notwendig. Ein Mädchen mit juveniler Knochenzyste erlitt knapp zweieinhalb Jahre nach Metallentfernung eine Refraktur. Ein Junge wurde in Japan weiterbehandelt, bei den übrigen Patienten verblieben die intramedullären Nägel bis zum Tag der Auswertung.

Supracondyläre Humerusfrakturen

Supracondyläre Humerusfrakturen wurden bei 91 Kindern mit ESIN behandelt. Das durchschnittliche Alter betrug 6,2 Jahre, der jüngste Patient war am Tag der Operation 1,7 Jahre, das älteste Kind 12,3 Jahre alt.

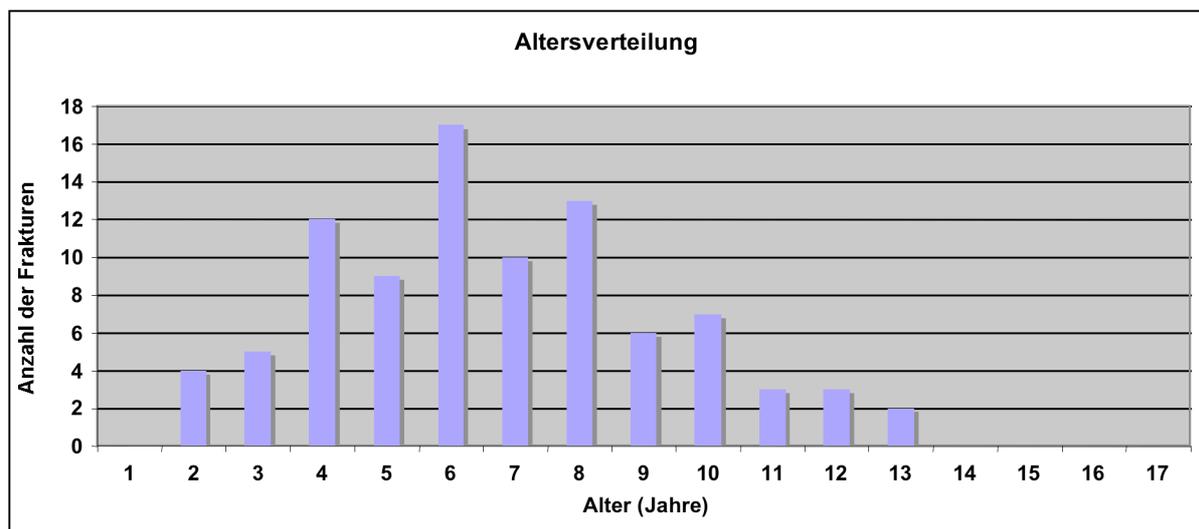


Abb. 15 Altersverteilung supracondyläre Humerusfrakturen

Die linke Seite war mit 60,4% etwas häufiger betroffen als die rechte.

Der häufigste Unfallmechanismus, der zu den 91 supracondylären Humerusfrakturen führte, war ein Sturz auf die Hand bei ausgestrecktem Ellbogen. Die Unfälle ereigneten sich in 45% beim Spielen oder bei sportlichen Aktivitäten. Häufig wurde insbesondere ein Sturz vom Klettergerüst oder ähnlichen Spielgeräten angegeben. Unfälle in der Schule hatten einen Anteil von 16,5%. Ein Kind erlitt die Fraktur im Rahmen eines Verkehrsunfalls. Die Unfallursachen der verbleibenden 34 Kinder wurden als „sonstige Unfallursache“ dokumentiert oder nicht näher angegeben.

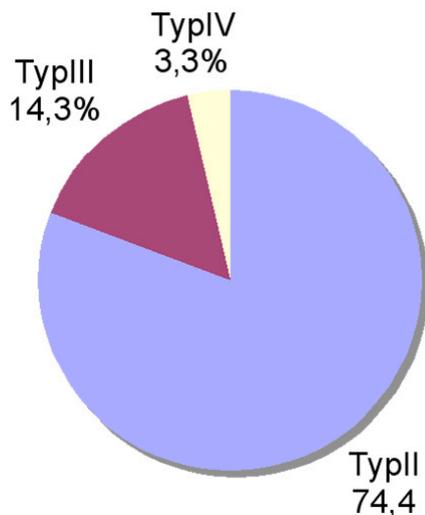


Abb. 16 Verteilung der Frakturtypen bei supracondylären Humerusfrakturen

Die supracondylären Humerusfrakturen wurden anhand der Klassifikation der Pediatric Expert Group (siehe Kapitel Indikationen) eingeteilt. Beobachtet wurden dementsprechend 68 Frakturen (74,7%) vom Typ II, 13 Frakturen (14,3%) vom Typ III und 7 (7,7%) vom Typ IV (Abb. 16).

Drei Frakturen (3,3%) wurden primär zunächst als Typ I Frakturen klassifiziert und konservativ behandelt, nach sekundärer Dislokation war jedoch eine Stabilisierung mit ESIN notwendig, ebenso bei zwei weiteren, ursprünglich in anderen Kliniken konservativ behandelten Frakturen des Typ II infolge einer weiteren Dislokation. Nach vorhergegangener Osteosynthese mittels Kirschnerdraht stellte man nach unzureichender Stabilität bei einem Kind die Indikation zur ESIN. Ein sechsjähriges Kind zog sich ipsilateral zusätzlich eine nicht dislozierte Fraktur des Condylus radialis zu. Initiale Sensibilitätsstörungen im Versorgungsgebiet des Nervus ulnaris gaben zwei Kinder an, bei einem fünfjährigen Mädchen war der Radialispuls präoperativ im Seitenvergleich schwächer tastbar.

Alle hier ausgewerteten supracondylären Humerusfrakturen wurden, wie ausführlich im Methodenteil besprochen, mittels zweier intramedullärer Nägel in antegrader Richtung geschient. Verwendet wurden vorwiegend Stahlnägel (83,5%) mit einer Implantatstärke von 1,8mm bis 3,0mm. Die durchschnittliche Operationszeit betrug 50,42 Minuten (Range: 20 min.-140 min.), die durchschnittliche Durchleuchtungszeit 370 Sekunden (Range: 73 s.-1397 s.).

Aufgrund einer Instabilität nach Refraktur erfolgte bei einem fünfjährigen Mädchen ein Nagelwechsel. Bei drei Kindern wurde der verletzte Ellbogen postoperativ noch in einer Oberarmgipsschiene ruhig gestellt, davon in zwei Fällen aufgrund intraoperativ beurteilter Instabilität und in einem Fall im Rahmen der konservativen Behandlung

einer ipsilateralen distalen Radiusfraktur. Nachdem bei einem Jungen mit relativ breitem Frakturspalt die Stabilität mittels K-Draht-Osteosynthese nicht ausreichend war, entschied man sich zur intramedullären Nagelung.

Die Nagelung erfolgte bei 27 Kindern am Tag des Unfalls (29,7%), meist jedoch am Folgetag (41,8%). Durchschnittlich verließen die Kinder am dritten postoperativen Tag die Klinik, der längste Aufenthalt dauerte acht Tage. Dieser Junge hatte sich beim Sturz zusätzliche Verletzungen zugezogen. Abgesehen von den beiden Patienten mit Oberarmgipsschiene bei nicht sicherer Stabilität waren alle Frakturen am Tag nach der Operation übungstabil, sodass die Patienten von Beginn an nach Maßgabe ihrer Beschwerden frei bewegen konnten. Man erteilte durchschnittlich nach 30 Tagen auch die Sportfreigabe. Die Metallentfernung fand nach durchschnittlich 100 Tagen (Range: 36 Tage-247 Tage) statt, dies erfolgte in Allgemeinnarkose im Rahmen eines tageschirurgischen Aufenthalts.

Routinemäßig wurde nach osteosynthetischer Versorgung eine Röntgenaufnahme des gesamten Oberarms mit angrenzenden Gelenken zur Dokumentation der korrekten Lage des Osteosynthesematerials durchgeführt. Weitere Kontrollen fanden nach ca. 4 und 12 Wochen postoperativ statt. Durchschnittlich wurden postoperativ 1,92 radiologische Untersuchungen durchgeführt. Die Kinder stellten sich im Verlauf bis zur Metallentfernung 1,9mal (Modalwert 2,0) ambulant vor.

Intraoperativ kam es während der Metallentfernung zu zwei stärkeren Blutungen aus dem Markraum, woraufhin eine Drainage eingelegt und die Patienten zwei Tage postoperativ bis zur Entfernung der Drainage stationär behalten wurden.

Im Rahmen der Nagelung kam es zu keinen Nervenläsionen, die initial bei 2 Patienten angegebenen Sensibilitätsstörungen besserten sich rasch und waren am Tag der Metallentfernung in beiden Fällen nicht mehr vorhanden.

Zwei Kinder zogen sich während der Behandlung eine erneute Fraktur des betroffenen Humerus zu. Hierbei handelte es sich um eine Schaftfraktur und eine Refraktur. Von Seiten der Funktionalität zeigten sich bei drei (3,3%) der Kinder Einschränkungen. Einem Jungen blieb nach sekundärer Dislokation bei anfänglich konservativer Behandlung eine Flexions- und Extensionseinschränkung von jeweils 10°. Die Extension war bei einem siebenjährigen Mädchen mit einem Bewegungsausmaß von 0° - 40° - 110° für Extension / Flexion stark limitiert. Bei einem anderen Mädchen war die Typ II-Fraktur in der Türkei zunächst übersehen

worden, Behandlungsbeginn war somit erst acht Tage nach dem Unfall. Hier resultierte letztlich eine geringfügige Flexionseinschränkung von 10° im Vergleich zur Gegenseite, die jedoch klinisch nicht relevant war.

Infektionen oder Nagelperforationen wurden bei den supracondylären Humerusfrakturen nicht beobachtet.

Bei einem Patienten musste man das Ergebnis bei hypertropher Narbenbildung als kosmetisch unzureichend bezeichnen. Sonstige Wundheilungsstörungen traten jedoch nicht auf.

3.2 Frakturen des Unterarms

Als häufigste Fraktur am Unterarm zeigte sich die gleichzeitige Fraktur von Radius- und Ulnaschaft (81%) bei 123 von 153 Kindern, gefolgt von der isolierten Ulnaschaftfraktur bei 20 Patienten. Die isolierte Radiusfraktur war mit 10 Fällen am seltensten.

Unterarmschaftfrakturen

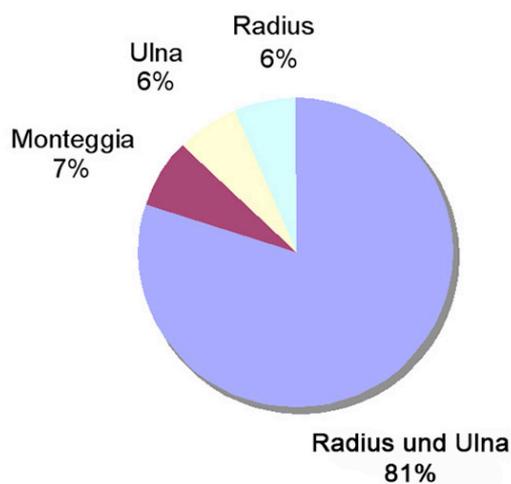


Abb. 17. Verteilung der Unterarmfrakturen

Bei 120 Kindern lag eine gleichzeitige Fraktur von Radius- und Ulnaschaft vor, zwei Jungen erlitten bei liegenden Nägeln eine Refraktur, ein Junge zog sich auf der Gegenseite zusätzlich eine Unterarmfraktur zu. Die Fallzahl beträgt somit 123. Davon betroffen waren 36 Mädchen (29,3%) und 87 Jungen (70,7%). Der jüngste Patient war am Tag der Operation 1,4 Jahre alt, der älteste 16,4 Jahre. Das mittlere Alter lag bei 9,9 Jahren.

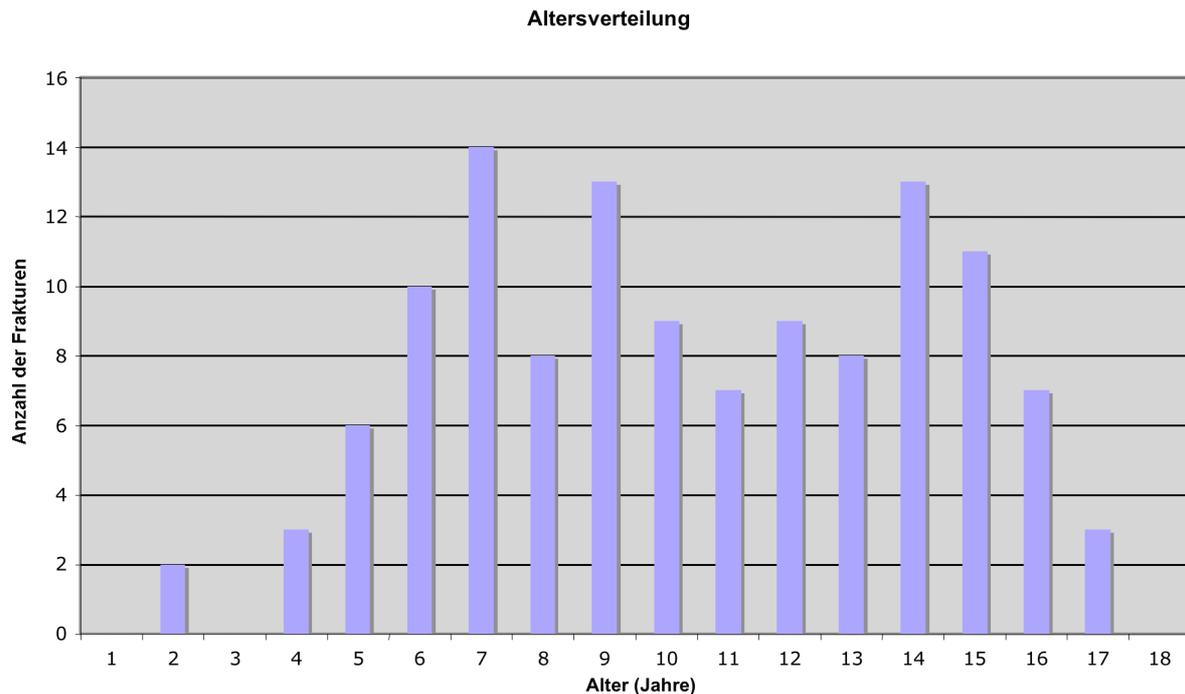


Abb. 18 Altersverteilung Unterarmschaftfrakturen

Der den Unterarmfrakturen zugrunde liegende Unfallmechanismus war größtenteils ein Sturz auf die ausgestreckte Hand beim Spielen oder Sport in der Freizeit, gefolgt von Verkehrs- (7%) oder Schulsportunfällen (6%). In zwei Fällen erfolgte ein Verfahrenswechsel auf ESIN aufgrund unter konservativer Therapie entwickelter Pseudarthrosen nach Stürzen und anschließender Heilungsstörung. In zehn Fällen (8,1%) kam es im Rahmen der konservativen Frakturbehandlung zu sekundärer Dislokation, in der Folge wurden diese mit ESIN versorgt.

Die linke Seite war mit 76 (61,8%) von 123 Frakturen etwas häufiger betroffen als die rechte. Es lagen sieben Refrakturen vor, davon ereigneten sich zwei bei liegenden intramedullären Nägeln. Fünf Frakturen lagen im proximalen, 108 im mittleren und 10 im distalen Drittel. In 97,5% zeigten sich komplette Schaftfrakturen, drei Kinder präsentierten sich mit einer Grünholzfraktur. Ein achtjähriges Mädchen erlitt eine Unterarmluxationsfraktur im Sinne eines Monteggia-Äquivalents. Im Kollektiv enthalten ist eine pathologische Fraktur bei bekannter Osteogenesis imperfecta. Primäre Sensibilitätsstörungen wurden zwölfmal (9,8%) angegeben, normalisierten sich aber alle im weiteren Verlauf.

Alle in die Beobachtung einbezogenen Unterarmfrakturen wurden mit ESIN versorgt. In der Regel wurden zwei intramedulläre Nägel, je einer radial und einer ulnar eingebracht. Bei zwei Kindern wurde jedoch lediglich die Ulna intramedullär geschient, der Radius wurde bei weit distal gelegener Fraktur mit zwei gekreuzten Kirschnerdrähten versorgt. Eine Fraktur wurde radial bei bekannter Rachitis zusätzlich mit zwei gekreuzten Kirschnerdrähten fixiert. Die Operation fand in 65% der Fälle am Tag des Unfalls statt. In 73 Fällen (59,3%) wurde die Ulna antegrad und der Radius retrograd genagelt. Bei 43 Kindern (34,9%) wurden die intramedullären Nägel ulnar wie radial retrograd eingebracht. Die seltenere Technik des beidseitigen antegraden Vorgehens wurde siebenmal (5,8%) angewandt. Der Zugang am Radius wurde in 60,2% der Fälle streng radialseitig gewählt, in 39,8% lagen die Eintrittsstellen dorsal. Bei 85,4% der Frakturen wurden Titannägel verwendet, die Nageldurchmesser wurden zwischen 1,5mm und 3,0mm gewählt. Die Operationszeit belief sich durchschnittlich auf 53 Minuten (Range: 15min-150min), die mittlere Durchleuchtungszeit 392 Sekunden (Range: 52s-1937s).

Zwei Kinder erlitten eine Refraktur bei liegenden Implantaten. Eine Fraktur ereignete sich am 32. post-Op-Tag. Nachdem eine Dislokation und Instabilität ausgeschlossen werden konnten, wurden die Nägel belassen. Der andere Junge zog sich die Refraktur am 97. post-Op-Tag zu, hierauf erfolgte bei Instabilität ein Nagelwechsel. Bei einem weiteren Jungen gab es radiologische Hinweise auf eine Pseudarthrose, so dass die Nägel entfernt wurden und stattdessen eine Ruhigstellung im Hardcast bzw. im Verlauf im Softcast erfolgte. Bei der Fraktur mit Monteggiaäquivalent zeigte sich eine persistierende Fehlstellung und eine Bewegungseinschränkung, woraufhin man sich zu einer angulierenden Umstellungsosteotomie der Ulna entschied. Die zur Stabilisierung eingesetzte Platte wurde nach 210 Tagen bei guter Stellung und freier Beweglichkeit entfernt.

Die Hospitalisationsdauer belief sich durchschnittlich auf 4 Tage, bei einem Modalwert von 2 Tagen, 11 Tage waren bei einem Mädchen mit Begleitverletzungen die maximale Verweildauer in der Klinik. Im Normalfall war post operationem keine weitere Immobilisation notwendig. Lediglich drei anschließend mit gekreuzten K-Drähten gepinnte Radiusfrakturen wurden zusätzlich im Oberarmgips ruhig gestellt.

Zusätzlich zur ESIN wurde 4 Kindern (3,3%) bei fraglicher Instabilität für durchschnittlich 15 Tage eine Oberarmgipsschiene angelegt, im Rahmen einer Refraktur wurde bei einem 3jährigen Jungen zuvor der enge radiale Markraum aufgebohrt und der Arm für acht Tage ruhig gestellt.

Nach Umstellungsosteotomie bei subluxiertem Radiuskopf wurde die Ulna mit einer Plattenosteosynthese korrigiert und der Arm für 13 Tage im Oberarmgips ruhig gestellt. Die übrigen Frakturen waren am ersten postoperativen Tag übungstabil, so dass die Patienten sofort nach Maßgabe ihrer Beschwerden frei bewegen durften. Die mittlere Dauer bis zur Vollbelastung betrug ca. 44 Tage. Die Metallentfernung erfolgte durchschnittlich nach 160 Tagen (Range: 55 Tage - 390 Tage) in Allgemeinanästhesie im Rahmen eines tagesstationären Aufenthalts. Bei einer verzögerten Durchbauung der Frakturzone erfolgte die Materialentfernung bei einem Jungen erst nach 371, bei einem weiteren Jungen aus gleichem Grund nach 390 Tagen.

Bei den meisten Kindern wurde im Rahmen des Klinikaufenthalts die achsengerechte Stellung unmittelbar postoperativ radiologisch dokumentiert. Durchschnittlich wurden im Verlauf bei jedem Kind insgesamt drei postoperative Aufnahmen zur Beurteilung der Stellung und des Grads der knöchernen Durchbauung angefertigt. Durchschnittlich erfolgten drei ambulante Kontrolltermine zur Stellungskontrolle, Dokumentation des Bewegungsumfangs, eventuelle Gipsabnahme, Sportfreigabe und Planung der Materialentfernung.

Folgende Komplikationen traten auf: In zwei Fällen wurde nach lokaler Infektion im Bereich der Nagelenden bzw. bei drohender Pseudarthrose auf die konservative Behandlung zurückgegriffen: nach Materialentfernung (55. post-Op-Tag) aufgrund der Infektion wurde bei einem Kind für 14 Tage eine Oberarmgipsschiene angelegt; im Anschluss an die Materialentfernung (59. post-Op-Tag) bei einem 14-jährigen Patienten angesichts drohender Pseudarthrose der Ulna erfolgte die Anlage eines Hardcasts für 47 Tage. Im Rahmen der Operation kam es bei einem Patienten zu einer bleibenden partiellen Läsion des Nervus ulnaris. Ein weiterer zeigte Zeichen einer sekundären Medianusparese, diese besserte sich jedoch im Verlauf und der Patient gab bei Metallentfernung keine Defizite mehr an. Postoperativ wurden von einem Jungen Parästhesien im Bereich des Versorgungsgebiets des Nervus ulnaris angegeben, die Beschwerden waren jedoch am Tag der Metallentfernung bereits nicht mehr vorhanden. Eine Patientin gab postoperativ Kribbelparästhesien in

Digitus I-IV an, welche sich im Verlauf aber zunehmend besserten und bei den Nachkontrollen nicht mehr vorhanden waren. Eine passagere Hyposensibilität im Bereich des Ramus superficialis des Nervus radialis wurde von einem Mädchen angegeben.

Bei Durchführung der Metallentfernung kam es einmalig zu einer Blutung mit anschließender Serombildung und einmalig konnte eine ulnar aufgesetzte Plastikkappe nicht mehr aufgefunden werden.

Bei zwei Patienten wurde die Sehne des Musculus extensor pollicis longus intraoperativ verletzt, einmal im Rahmen der Implantation der ESIN sowie einmal bei der Metallentfernung. Die bei Implantation erworbene Arrosion bedurfte einer Tenolyse und einer Sehnenverlängerungsplastik im Anschluss an die Metallentfernung, im weiteren Verlauf wurden keine Beschwerden beobachtet. Bei einem Patienten rupturierte die Sehne des Musculus extensor pollicis longus am 246. post-Op-Tag während des Schuhebindens. Daraufhin erfolgte im Rahmen einer Sehnenplastik die Metallentfernung und die Anlage eines Softcasts (s. auch Abb. 19). Eine Perforation des ulnaren Pins beim Turnen machte in einem Fall eine vorzeitige Metallentfernung (56. post-Op-Tag) notwendig. Ebenfalls zur vorzeitigen Metallentfernung entschied man sich bei einem Jungen bei verzögerter Frakturheilung und Verdacht auf eine beginnende Pseudarthrose (59. Post-Op-Tag). Der Patient erhielt anschließend zunächst einen Hardcast für 47 Tage und daraufhin für weitere drei Wochen einen Softcast. Ein Junge gab postoperativ an der betroffenen Extremität eine verminderte Flexion der Finger 4/5 an. Nachdem die Ursache der Beschwerden klinisch nicht erklärt werden konnten, wurde abschließend eine MRT-Untersuchung durchgeführt, welche ebenfalls keine erkennbare Ursache zeigte. Die Beschwerden besserten sich schließlich unter krankengymnastischer Beübung rasch. Bleibende funktionelle Einschränkungen wurden dreimal beobachtet. Bei einem Jungen zeigte sich ein Pronationsdefizit von 10° , bei einem Mädchen eine verminderte Supination von 45° . Das Mädchen mit Monteggiaäquivalent wies ein Flexionsdefizit von 20° und eine Einschränkung der Pronation von 75° auf. Somit traten persistierende funktionelle Einschränkungen bei 2,4% aller Kinder mit Unterarmschaftfrakturen nach ESIN auf.

Es wurden zwei (1,6%) Wundinfektionen beobachtet: Bei einem Kind musste die Metallentfernung aufgrund einer Staph. aureus-Infektion im Bereich der Nagelenden vorgezogen werden (55. post-Op-Tag). Bei einer weiteren Wundinfektion fand sich

radiologisch kein Hinweis auf eine knöcherne Beteiligung, so dass die Nägel belassen werden konnten.

Die in Abb. 19 dargestellte hypertrophe Narbe nach Sehnenplastik wurde als kosmetisch unbefriedigend angegeben, ebenso ein Narbenkeloid bei einem 8-jährigen Jungen, welches im Zuge der Metallentfernung durch eine Narbenkorrektur verbessert werden konnte. Ansonsten wurden bei allen Patienten kosmetisch zufrieden stellende Ergebnisse erzielt.

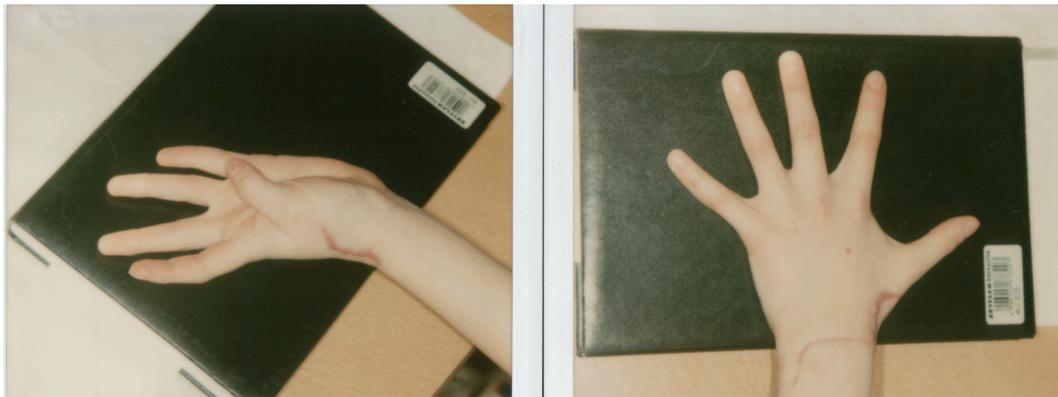


Abb. 19 hypertrophe Narbe nach Sehnenplastik

Radiusfrakturen

10 Kinder wurden bei einer isolierten Radiusfraktur mit ESIN versorgt, darunter 4 Mädchen und 6 Knaben. Das durchschnittliche Alter am Tag der Operation lag bei 9,4 Jahren.

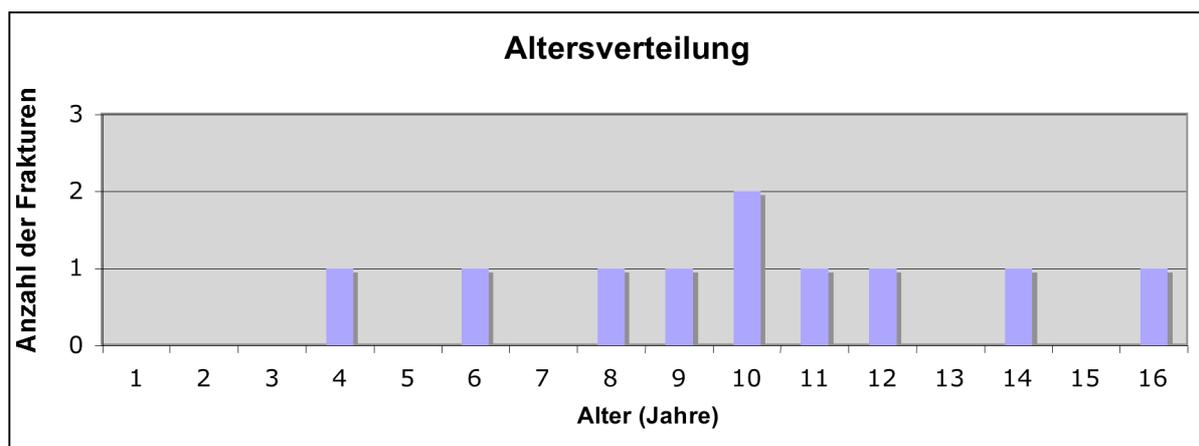


Abb. 20 Altersverteilung Radiusfrakturen

Sieben Kinder zogen sich die Fraktur im Rahmen sportlicher Betätigung in der Freizeit zu, 2 Kinder bei Stürzen in der Schule sowie ein Mädchen beim Sport in der Schule.

Bei 6 Patienten war die linke Seite, bei 4 Kindern die rechte betroffen. In 3 Fällen handelte es sich um distale Schaftbrüche, in 3 Fällen um Frakturen im mittleren Schaftdrittel und in 4 Fällen um Radiuskopffrakturen. Zusätzlich zur distalen Radiusfraktur hatte sich ein 3-jähriger Knabe eine supracondyläre Humerusfraktur zugezogen, welche mit Kirschnerdrähten versorgt wurde. Bei einem 7-jährigen Mädchen erfolgte bei Radiuskopffraktur zusätzlich eine Zuggurtungsosteosynthese des Olecranon. Ein 9-jähriger Junge mit einer Radiusfraktur rechts zog sich am 33. postoperativen Tag zusätzlich eine supracondyläre Humerusfraktur links zu, die ebenfalls mit ESIN versorgt wurde. Primäre Gefäß- oder Nervenläsionen wurden nicht beobachtet. Die Frakturen wurden in der Regel am Tag des Unfalls mit ESIN versorgt. Der Zugang erfolgte in 8 Fällen von radial und zweimal dorsoradial am distalen Radius. Die Operation wurde nach zuvor beschriebener Technik durchgeführt. (Siehe Teil: Material und Methoden). Es wurden 7 Titan- und 3 Stahlnägel der Stärke 2mm oder 2,5mm verwendet. Die durchschnittliche Operationszeit belief sich auf 67 min (Range 20min – 260min), die mittlere Durchleuchtungszeit lag bei 165 Sekunden (Range 45s - 1088s).

Die durchschnittliche Hospitalisationsdauer betrug 4 Tage (Range 1Tag – 13 Tage). In den meisten Fällen erfolgte je eine postoperative Röntgenaufnahme. Die Schaftfrakturen waren übungsstabil versorgt und wurden nach durchschnittlich 35 Tagen zur Vollbelastung freigegeben. Die Radiuskopffrakturen wurden durchschnittlich für 17 Tage in einem Oberarmgips ruhig gestellt. Die Metallentfernung erfolgte durchschnittlich nach 109 Tagen, auf Wunsch der Mutter in einem Fall erst nach 312 Tagen. Beide Metallentfernungen erfolgten während eines tageschirurgischen Aufenthalts in Allgemeinnarkose.

Bei den Radiusfrakturen sahen wir folgende Komplikationen: Ein Junge stürzte am 5. post-OP-Tag vom Bobby Car worauf es zu einer sekundären Dislokation kam. Nach erneuter Revision wurde zudem eine Oberarmgipsschiene angelegt. In diesem Fall resultierte eine Extensionseinschränkung im Ellbogengelenk von 10°. Bei einem

Jungen zeigte sich nach Radiuskopffraktur eine verminderte Flexion von 10° sowie ein Pro-/Supinationsdefizit. Kosmetisch waren beide Ergebnisse zufrieden stellend.

Ulnaschaftfrakturen

Insgesamt hatten sich im Beobachtungszeitraum 20 Kinder eine isolierte Ulnaschaftfraktur zugezogen, darunter 13 Jungen (65%) und 7 Mädchen (35%). Die Altersspanne lag zwischen 2,6 und 14,1 Jahren, das durchschnittliche Alter bei 7,1 Jahren.

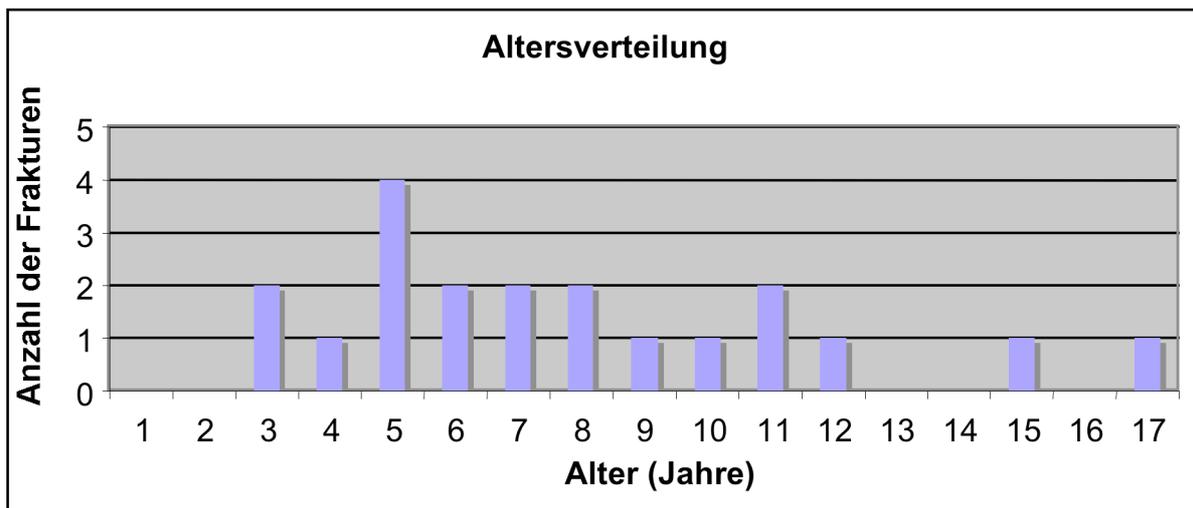


Abb. 21 Altersverteilung Ulnafrakturen

Ein Sturz beim Spielen bzw. Sport stellte die häufigste Unfallursache (75%) der isolierten Ulnaschaftfrakturen dar. Vier Kinder zogen sich die Verletzung bei einem Verkehrsunfall zu, darunter ein 10jähriger polytraumatisierter Junge. Die linke Seite war bei 12 von 20 Frakturen (60%) betroffen. 12 Frakturen waren im proximalen, fünf im mittleren und drei im proximalen Drittel der Ulna lokalisiert.

Unter den ausgewerteten Ulnaschaftfrakturen befanden sich 11 Monteggiafrakturen. Pathologische Frakturen sowie Grünholzfrakturen lagen nicht vor.

Bei einem Kind erfolgte die intramedulläre Schienung aufgrund einer Pseudarthrose, die sich im Rahmen einer sechswöchigen konservativen Behandlung mittels Oberarmgipsschiene gebildet hatte. Ein weiteres Kind wurde nach außer Haus übersehener Monteggiafraktur sekundär osteotomiert. Ein Junge wurde nach sekundärer Dislokation über 10 Grad mit ESIN versorgt. Primäre Gefäß- oder Nervenläsionen wurden nicht beobachtet. Bei einem Kind handelte es sich um eine Refraktur.

Alle zu dieser Auswertung vorliegenden isolierten Ulnaschaftfrakturen wurden mit ESIN versorgt. Die Operation fand in 14 Fällen (70%) am Tag des Unfalls statt, die restlichen am Folgetag. 70% der Frakturen wurden antegrad genagelt. Die Operationen wurden gemäß der Beschreibung im Methodenteil durchgeführt. Bei retrogradem Vorgehen wählte man einen dorsalen Zugang über der distalen Ulna. 65% der Frakturen wurden mit Titannägeln versorgt, die Implantatdurchmesser betragen zwischen 1,5mm und 3,0mm. Zusätzliche Osteosyntheseverfahren kamen nicht zur Anwendung. Die durchschnittliche OP-Zeit betrug 50,5 Minuten (Range: 20min.-130min.), die mittlere Durchleuchtungszeit 248 Sekunden (Range: 30 sek.-857 sek.).

Der perioperative Klinikaufenthalt belief sich durchschnittlich auf vier Tage bei einem Modalwert von 1 Tag, die längste Hospitalisationsdauer betrug 25 Tage. Dabei handelte es sich um einen polytraumatisierten Patienten. In der Regel war nach der Operation keine weitere Immobilisation erforderlich, eine Ausnahme bilden hier die Monteggiafrakturen, welche im Mittel für 14 Tage mit einer Oberarmgipsschiene ruhig gestellt wurden. Die übrigen Frakturen waren sofort übungstabil, die mittlere Dauer bis zur Vollbelastung betrug 30 Tage. Die Metallentfernung erfolgte durchschnittlich nach 127 Tagen (Range: 49 Tage -212 Tage) in Allgemeinnarkose als tagesstationärer Eingriff. Nach erfolgter Umstellungsosteotomie aufgrund einer Radiuskopfluxation wurde ein Junge zunächst für 114 Tage mit einem Fixateur externe versorgt. Bei verzögerter Kallusbildung und Frakturkonsolidierung entschied man sich im Verlauf, die Ulna zusätzlich zum bestehenden Fixateur externe intramedullär zu schienen.

In der Regel (75%) erfolgte eine postoperative Dokumentation der Stellung während des stationären Aufenthalts. Im weiteren Verlauf wurden durchschnittlich ergänzend zwei Röntgenbilder zur Stellungskontrolle und Planung der Metallentfernung angefertigt. Durchschnittlich wurden die Kinder zu drei ambulanten Untersuchungsterminen vorgestellt.

Bei den beobachteten Verläufen der isolierten Ulnafrakturen traten insgesamt zwei Komplikationen (10%) auf. Dies waren im Einzelnen eine passagere Radialisparese nach 11-tägiger Ruhigstellung in einer Oberarmgipsschiene nach fraglicher Instabilität mit persistierender leichter Heberschwäche bei Metallentfernung und eine

Wundheilungsstörung, welche jedoch mit einem Hydrokolloidverband (z.B. Varihesive®) nach fünf Tagen zur Heilung gebracht wurde.

Die im Rahmen der Frakturbehandlung mit Fixateur externe und zusätzlicher intramedullärer Schienung dokumentierten Bewegungseinschränkungen (Flexionsdefizit von 10°, Pronationsdefizit von 10°, Supinationsdefizit von 40°), sowie die Valgusfehlstellung von 20° ließen sich nicht auf die Behandlung mit ESIN zurückführen, da diese schon vorher bestanden und sich im Verlauf tendenziell gebessert hatten.

3.3 Frakturen des Oberschenkels

Frakturen des Femurs

Femurfrakturen wurden im Beobachtungszeitraum bei 8 Patienten, ausschließlich Knaben, mit ESIN genagelt. Die Kinder waren am Tag der Operation zwischen 4,8 und 13,8 Jahre alt, im Mittel 7,6 Jahre.

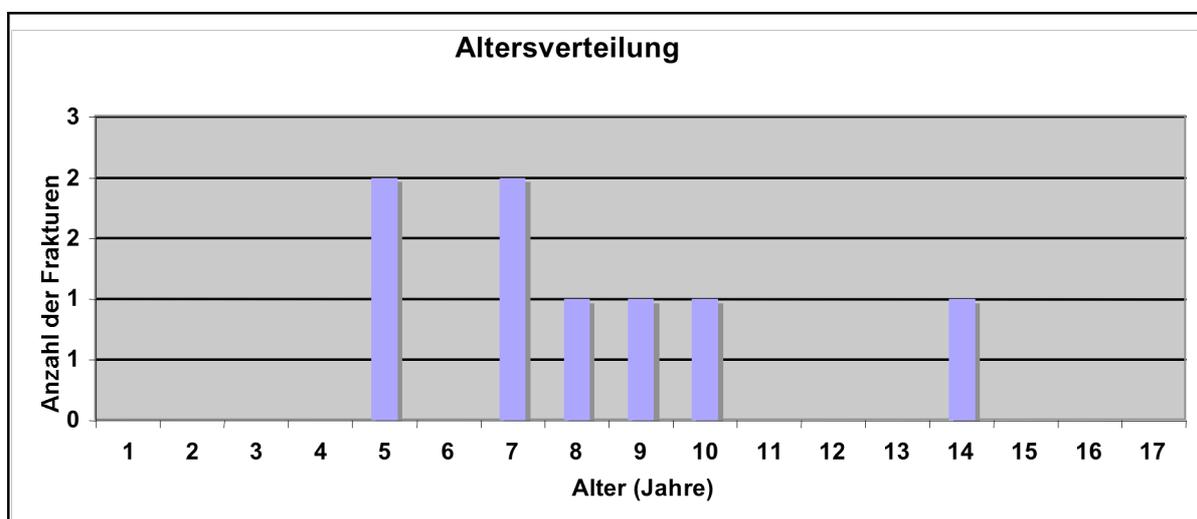


Abb. 22 Altersverteilung Femurfrakturen

Ursächlich führten ein Sturz aus dem Stockbett, ein Verkehrsunfall und sonstige Unfälle im Rahmen der Freizeit zu den beobachteten Femurfrakturen. Dabei handelte es sich in 3 Fällen um pathologische Frakturen. Zugrunde lagen juvenile Knochenzysten (n=2), bzw. bei einem neunjährigen Jungen eine fibröse Dysplasie.

Das linke Bein war häufiger (62,5%) betroffen als das rechte. Bei Vorliegen einer juvenilen Knochenzyste ereignete sich eine Refraktur. 4 der Frakturen lagen im proximalen, 3 im mittleren und eine im distalen Drittel des Femurs. Begleitende Verletzungen von Nerven oder Gefäßen kamen nicht vor.

Alle in die Auswertung einbezogenen Femurfrakturen wurden primär mit ESIN versorgt. Operiert wurde in 5 Fällen am Tag des Unfalls (65,5%), die anderen am Folgetag. 6 Frakturen konnten mittels zweier intramedullärer Nägel stabil versorgt werden, zweimal wurde bei Instabilität ein zusätzlicher dritter Nagel gegenläufig implantiert.

Bei den im proximalen oder im oberen mittleren Drittel lokalisierten Frakturen lagen die Insertionsstellen lateral und medial oberhalb der distalen Epiphysenfuge. Antegrad genagelt wurden Frakturen im mittleren Drittel des Femurs sowie die distale Femurfraktur. Diese distale Femurfraktur konnte auch nach Einbringen eines dritten Nagels nicht ausreichend stabilisiert werden.

Implantate aus Titan kamen bevorzugt (66,7%) zur Anwendung, zweimal wurden Kunststoff-Kappen aufgesetzt. Der Durchmesser der Nägel bewegte sich zwischen 2,5mm und 4mm. Die Operation dauerte durchschnittlich 100 Minuten (Range: 45min.-345min.). Die mittlere Durchleuchtungszeit belief sich auf 776,6 Sekunden (Range: 222s.-1670s.).

Durchschnittlich konnten die Kinder die Klinik nach 7,9 Tagen verlassen (Range: 4 Tage - 13 Tage). Übungsstabilität war am ersten postoperativen Tag gegeben. Zur Vollbelastung wurden die Frakturen in den meisten Fällen nach 60 Tagen freigegeben. Die Metallentfernung erfolgte durchschnittlich nach 140,2 Tagen (Range: 10 Tage, nach Materiallockerung -255 Tage). Ausgenommen hiervon waren die Patienten mit pathologischen Frakturen mit einer durchschnittlich deutlich längeren Verweildauer (5 Jahre im beobachteten Kollektiv) der intramedullären Nägel.

Eine radiologische Kontrolle wurde im Mittel 2,1 Tage nach der Nagelung durchgeführt (Range: 1.Tag - 4.Tag). Es folgten durchschnittlich 5,1 weitere Röntgenaufnahmen zur Beurteilung der Konsolidierung. Die meisten Kinder wurden im weiteren Verlauf bis zur Metallentfernung 5-7 mal ambulant vorgestellt.

In 3 von 8 Fällen (37,5%) konnte durch die ESIN primär keine ausreichende Stabilität erzielt werden, es bedurfte daher einer operativen Revision (insgesamt waren hiervon zwei Kinder betroffen, in einem Fall musste zweimal revidiert werden) bzw.

musste bei einem Kind ein zusätzliches Osteosyntheseverfahren angewandt werden: am vierten postoperativen Tag wurde bei einem Jungen eine Achsfehlstellung im Sinne einer zunehmenden Valgisierung sowie eine Verkürzung um eine halbe Schaftbreite und Außenrotationsfehlstellung revidiert. Hier erfolgte die Revision durch Einbringen zweier retrograder 3,0mm Titannägel unter gleichzeitigem Zurückziehen der antegrad eingebrachten 2,5mm Stahlnägel, am Ende erfolgte zusätzlich eine neue antegrade Nagelung mit einem 2,5mm Titannagel. Bei einem weiteren Patienten wurde eine erneute Nagelung mit 4,5mm Nancy-Nägeln nach Valgusfehlstellung von 10° durchgeführt. In einem weiteren Fall konnte auch nach Einbringen eines dritten Nagels keine ausreichende Stabilität erlangt werden, es erfolgte daher die Anlage eines Fixateur externe für 57 Tage.

Bei zwei Patienten zeigten sich nach Metallentfernung Innenrotationsdefizite: Bei dem Patienten mit fibröser Dysplasie fiel bei den ambulanten Kontrollterminen ein bleibendes Innenrotationsdefizit von 10° auf, bei einem weiteren Jungen mit juveniler Knochenzyste verblieb ein Innenrotationsdefizit von 30°. Infektionen oder Pinperforationen der Haut wurden nicht beobachtet, ebenso war das kosmetische Ergebnis bei allen Patienten zufrieden stellend.

3.4 Frakturen des Unterschenkels

Tibia und Fibula

Die ausgewerteten Unterschenkelfrakturen betrafen 9 Kinder, darunter 3 Mädchen (33,3%) und 6 Jungen (66,7%). Ein Junge zog sich bei einem Verkehrsunfall eine beidseitige Unterschenkelschaftfraktur zu, insgesamt ergibt sich daher eine Fallzahl von n=10. Das durchschnittliche Alter der Kinder am Tag der Operation lag bei 11,6 Jahren, die jüngste Patientin war dabei 8,3, der älteste 13,9 Jahre alt.

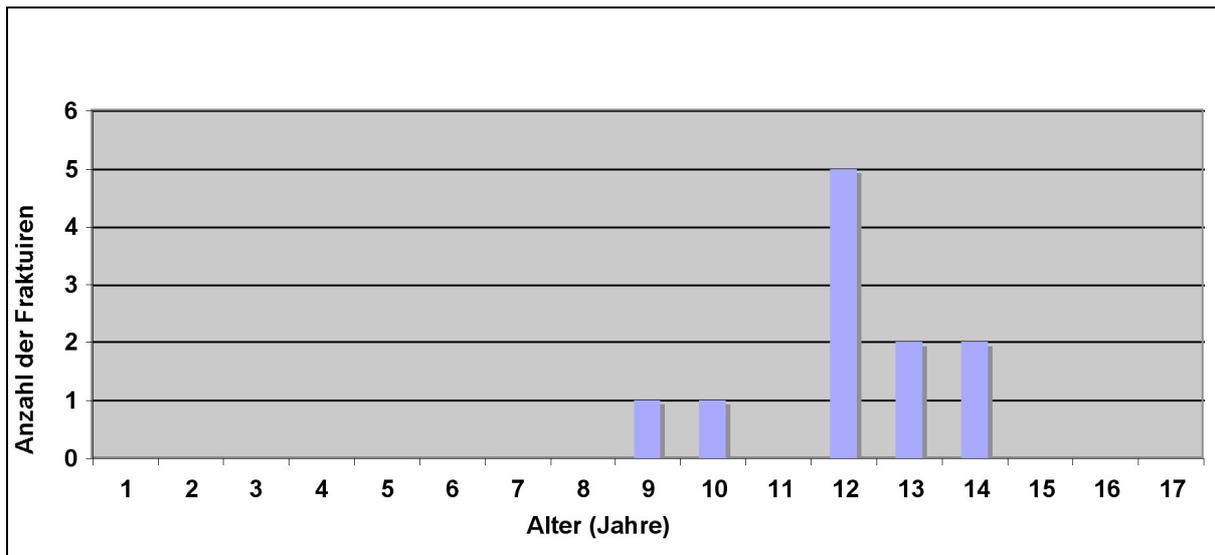


Abb. 23 Altersverteilung komplette Unterschenkelfrakturen

Die Frakturen ereigneten sich je zur Hälfte im Rahmen von Verkehrsunfällen, bzw. bei sportlicher Betätigung.

Beide Seiten waren zu gleichen Teilen betroffen. In 9 Fällen lagen komplette quere Schaftfrakturen im mittleren Drittel des Unterschenkels vor, in einem Fall handelte es sich um eine Mehrfragmentfraktur. Grünholzfrakturen oder pathologische Frakturen wurden nicht beobachtet. Primäre Gefäß- oder Nervenschäden lagen ebenfalls keine vor.

Die ausgewerteten Frakturen wurden mit je einem medial und einem lateral eingebrachten intramedullären Implantat antegrad genagelt. 7 Fälle wurden am Unfalltag operiert, 2 am Folgetag und jeweils einer am 3. bzw. am 8. Tag nach dem Unfall. Die Operationsdauer belief sich im Mittel auf 54,6 Minuten (Range: 30 min.-105 min.). Die längste Operation dauerte 105 Minuten, allerdings bei beidseitiger Unterschenkelfraktur. In drei Fällen wurden Kappen auf die Nagelenden aufgesetzt. Die durchschnittliche Durchleuchtungszeit betrug 335,8 Sekunden (Range: 170 s.-394 s.). Bei allen Patienten wurden primär Titanimplantate der Stärken 3,0mm bis 4,0mm verwendet, im Rahmen eines Nagelwechsels wurde auf Stahlnägel gewechselt. Einem Jungen wurde für 22 Tage eine zusätzliche Gipsschiene angelegt.

Durchschnittlich wurden die Kinder 13,4 Tage stationär betreut, die kürzeste Verweildauer in der Klinik belief sich auf 4 Tage, der längste Aufenthalt betrug 26 Tage (der Patient hatte weitere Verletzungen nach einem Verkehrsunfall, die einen längeren Aufenthalt notwendig machten). Die durchschnittlich relativ lange

Verweildauer kam durch die Begleitverletzungen der Kinder nach Verkehrsunfällen zustande. Die Patienten konnten bis auf zwei Kinder am ersten postoperativen Tag mobilisiert werden. Ein Mädchen versorgte man zur zusätzlichen Stabilisierung mit einer Gipsschiene, ein Junge konnte bei vorliegendem Polytrauma aufgrund der entsprechenden Begleitverletzungen erst am 7. postoperativen Tag nach ESIN-Versorgung mobilisiert werden. Die Freigabe zur Vollbelastung erteilte man durchschnittlich nach 69 Tagen. Die Metallentfernung fand durchschnittlich nach 240,8 Tagen (Range: 170 Tage - 394 Tage) in Allgemeinnarkose im Rahmen eines tagesstationären Aufenthalts statt. Bei sehr guter knöcherner Durchbauung konnte die Metallentfernung bei einem Jungen bereits nach 170 Tagen durchgeführt werden. Bei allen Kindern wurde am ersten Tag nach der Operation eine radiologische Stellungskontrolle durchgeführt. Im Verlauf bis zur Metallentfernung wurden weitere 2-6 Aufnahmen angefertigt. Im Normalfall erschienen die Patienten zu 5,1 ambulanten Kontrollen. Ein Kind erschien nach der zweiten ambulanten Kontrolle nicht wieder, so dass über den weiteren Verlauf in diesem Fall keine Daten vorliegen.

Aufgrund zu erwartender Instabilität wurde bei einem Jungen zusätzlich zur ESIN ein Fixateur externe montiert. Bei einem 8-jährigen Mädchen drohte bei geringgradiger Wundinfektion am 25. Tag nach der Operation der laterale Nagel die Haut zu perforieren. Daraufhin erfolgte die Kürzung des lateralen Nagelendes. Bei diesem Mädchen kamen im weiteren Verlauf leider erneut Komplikationen hinzu. So trat eine Beinlängenzunahme von ca. 1cm am frakturierten Bein auf, weiter bildete sich eine Exostose. Die Exostose wurde als kosmetisch unbefriedigend dokumentiert. Sie wurde bisher nicht operativ beseitigt da sie keine funktionelle Beeinträchtigung verursacht. Es kam bei den 8 Patienten zu keinen Nerven- oder Gefäßläsionen. Refrakturen ereigneten sich im Beobachtungszeitraum ebenfalls keine. Nach einer Wundheilungsstörung war bei einem Jungen am 26. postoperativen Tag ein Debridement und ein Nagelwechsel erforderlich. Funktionelle Beeinträchtigungen wurden nicht beobachtet.

Isolierte Tibiafrakturen

Im gesamten Beobachtungszeitraum wurde nur eine isolierte Tibiafraktur mit ESIN versorgt. Ein 12 jähriger Junge zog sich diese Verletzung beim Sport zu. Die Fraktur

wurde am Tag des Unfalls in einer 65minütigen Operation mit zwei 3mm Stahlnägeln versorgt. Die Durchleuchtungszeit betrug 620 Sekunden. Der stationäre Aufenthalt belief sich auf 6 Tage. Im Verlauf wurden 3 Röntgenaufnahmen angefertigt, eine am ersten postoperativen Tag, eine nach 34 Tagen sowie eine vor Metallentfernung am 223. postoperativen Tag. Die Fraktur war durch die Operation übungsstabil versorgt, die Freigabe zum Sport erteilte man nach 34 Tagen bei guter Konsolidierung. Nach 258 Tagen konnte die Metallentfernung im Rahmen eines tageschirurgischen Aufenthaltes in Allgemeinnarkose durchgeführt werden. Aus funktioneller und kosmetischer Sicht ist das Ergebnis zufrieden stellend, Komplikationen wurden keine beobachtet.

4 Diskussion

Ein Unfall wie zum Beispiel ein Knochenbruch, ereignet sich per Definition unerwartet und stellt daher für das betroffene Kind und sein soziales Umfeld eine Stresssituation und Belastung dar. Der Schmerz steht anfangs im Vordergrund, in der Folgezeit muss sich das Kind mit dem Kontrollverlust und den veränderten Alltagsbedingungen zurechtfinden [8]. Daher besteht die Notwendigkeit, den Patienten und den Eltern, wenn notwendig, ein diese Umstände berücksichtigendes kindgerechtes Osteosyntheseverfahren anbieten zu können. Um dem Kind gleichzeitig unnötige und langwierige Behandlungen zu ersparen, sollte stets initial eine definitive Versorgung angestrebt werden. Dies auch, da grundsätzlich die Korrektur posttraumatischer Deformitäten weitaus aufwändiger als eine definitive primäre Behandlung wäre [50]. Darüber hinaus stellt ein schnelles Erreichen der Spielfähigkeit ein wichtiges Ziel dar [24]. Auch eine rasche Beschwerdefreiheit im Alltag wird von Kindern und Eltern sehr begrüßt. Weiterhin sollte die Osteosyntheseform besonders im häuslichen Umfeld komfortabel in der Handhabung und Pflege sein. Immobilisierende (z.B. Gips) oder pflegeaufwändige (z.B. Fixateur externe) Verfahren erfüllen diese Faktoren unzureichend. Diese Forderungen erfüllt jedoch bei Frakturen der langen Röhrenknochen im Kindesalter die relativ neue Methode der ESIN, die ab einem Alter von etwa 3 Jahren angewandt werden kann [2]. Die wesentlichen biomechanischen Aspekte der Achsenstabilität sowie der möglichen und auf die Heilung beschleunigend wirkenden Mikrobewegungen erfüllen zudem die Kriterien einer „biologischen“ Osteosyntheseform. Die genannten Eigenschaften zeigen, dass die ESIN in allen wesentlichen Punkten den modernen Anforderungen der Versorgung von Frakturen gerecht wird.

Als ein weiterer zunehmend wichtiger Aspekt soll die Effektivität der Methode der ESIN angesprochen werden. Ein 2006 veröffentlichter Bericht der *Deutschen Agentur für Health Technology Assessment des Deutschen Instituts für medizinische Dokumentation und Information* lastet der Behandlungsstrategie der ESIN verglichen mit konservativen Behandlungsansätzen zwar primär relativ hohe Kosten an, bestätigt der ESIN jedoch in der Gesamtschau aufgrund häufig auftretender Komplikationen bzw. notwendiger Interventionen nach konservativem Vorgehen auch wirtschaftliche Vorzüge [62].

In den vergangenen 5-10 Jahren konnten die Indikationen für die Behandlung mit intramedullärer Nagelung erweitert werden. Einerseits liegt diese Entwicklung in der zunehmenden Beherrschung dieser Methode begründet, andererseits sprechen auch die kindgerechten und vor allem positiven biomechanischen Eigenschaften für eine Ausweitung der Einsatzgebiete dieser Form der Osteosynthese. Durch frühe Mobilisation, kurze Hospitalisationszeiten sowie geringe Einschränkungen im Alltag wird diese Technik gut akzeptiert. Durch minimalinvasives, frakturfernes Vorgehen wird der für die rasche Heilung verantwortliche Periostschlauch maximal geschützt. Die Epiphysenfuge kann in den meisten Fällen geschont werden. Aufgrund der wenig traumatisierenden Operationstechnik kommt es verglichen mit anderen gängigen Osteosyntheseverfahren seltener zu perioperativen Komplikationen und kosmetisch unzureichenden Ergebnissen. Anfällig für Pitfalls ist die ESIN vor allem bei nicht fachgerechter Montage durch den unerfahrenen Operateur, weniger die Methode selbst. Zunächst ist die Beurteilung der vorliegenden Fraktur und die korrekte Indikationsstellung entscheidend. Im Folgenden ist das Vorgehen genau zu erwägen: Richtung der Nagelung, Insertionsstellen der Nägel, Implantatdurchmesser und evtl. zusätzlich erforderliche Maßnahmen. Der wichtigste Grundsatz dieser Technik ist die Dreipunktstützung der Nägel intramedullär, die Osteosynthese muss achsenstabil sowie rotationsstabil sein und Mikrobewegungen zulassen.

Wie bei jeder operativen Methode können auch bei der Versorgung mit ESIN Komplikationen auftreten. Im Folgenden werden die Beobachtungen frakturspezifisch diskutiert. In Anbetracht der dieser Arbeit zugrunde liegenden relativ kleinen Fallzahlen sind nur bedingt allgemeingültige Rückschlüsse zu ziehen, trotzdem sollen die ausgewerteten Parameter dargestellt und diskutiert werden.

Die Methode der ESIN gilt bei instabilen und konservativ nicht zu versorgenden Humerusfrakturen als sehr komplikationsarme Technik, wenn der Operateur erfahren ist und der N. radialis geschont wird [14, 29, 63, 64]. Dementsprechend verheilten auch die im Rahmen der vorliegenden Studie betrachteten Frakturen des Humerusschaftes.

Bedingt durch die anatomischen Verhältnisse im Bereich des Ellbogens stellt die Therapie supracondylärer Humerusfrakturen spezielle Herausforderungen an den Operateur [24]. Es handelt sich um eine der häufigsten Verletzungen im Bereich des

Ellbogens im Kindesalter [65]. Die bisherige Standardmethode, die Kirschnerdrahtosteosynthese mit dem Nachteil der erforderlichen postoperativen Ruhigstellung im Gips wurde in den vergangenen Jahren durch die Technik der ESIN bei dislozierten Frakturen zunehmend in Frage gestellt. Die Methode der Kirschnerdraht-Pinnung gewährt als reine Adaptationsosteosynthese jedoch keine Belastungsstabilität und weist zudem ein erhöhtes Risiko (2-20%) der intraoperativen Ulnarisläsion auf [4, 24, 25, 66, 67]. Als alternative Methode kann ein Fixateur externe in Betracht gezogen werden, jedoch bringt die Methode einen erheblich höheren operativen Aufwand mit sich und ist vor allem in der Nachbehandlung wenig komfortabel. Weiterhin besteht durch die außen liegende Montage meist eine Einschränkung der Beweglichkeit. Demgegenüber stehen die im Rahmen dieser Arbeit präsentierten hervorragenden Ergebnisse nach ESIN. Es kam bei keinem der behandelten Kinder zu einer Nervenläsion, initial berichtete Sensibilitätsstörungen normalisierten sich im Verlauf. Ebenso wurden die in der Literatur beschriebenen Varusfehlstellungen, die in einem Prozentsatz zwischen 12 % [33] und 21 % [68] auftreten, nicht beobachtet. Nach ESIN können die Kinder das Ellbogengelenk nach Maßgabe der Beschwerden sofort frei bewegen, was ihnen die sofortige Spielfähigkeit und damit eine enorme Zufriedenheit bringt. Zweimal kam es im Rahmen der Metallentfernung zu Blutungen, die eine eintägige Einlage von Drainagen erforderten. Bleibende funktionelle Einschränkungen wurden nach ESIN dreimal beobachtet. In zwei Fällen mag dies auch daran liegen, dass erst nach konservativen Behandlungsversuchen auf ESIN umgestellt wurde. Bei korrekter Anwendung garantiert die Technik der ESIN eine nahezu anatomische Stellung der Fragmente, die Stabilität verhindert eine sekundäre Dislokation bzw. Rotation der Frakturfragmente. Bei der Interpretation berücksichtigt werden muss, dass im Hause überwiegend Typ II und damit wenig dislozierte Frakturen versorgt wurden. Dies gilt insbesondere, als die Methode neu eingeführt wurde. Im weiteren Verlauf wurde sie dann jedoch entsprechend der zunehmenden Erfahrung der Operateure auch auf Frakturen vom Typ III (14,3%) und Typ IV (7,7%) ausgedehnt und sicher beherrscht. Es wurden durchwegs gute bis sehr gute Ergebnisse dokumentiert. Die bisher veröffentlichten positiven Erfahrungen [24, 46, 69] mit der Technik der ESIN werden somit durch die Beobachtungen am Dr. von Haunerschen Kinderspital bestätigt. Einwände, die Kinder müssten sich zweimal einer Narkose unterziehen, sind kritisch zu beurteilen, da die Metallentfernungen bei alternativen Osteosyntheseverfahren

ebenfalls in Kurznarkose stattfinden sollten. Kosmetisch unzureichende Ergebnisse traten mit 1,1% selten auf. Die etwas längere Narbe am Oberarm wird demnach im Vergleich zu den Pin-Eintrittsstellen bei K-Draht nicht als Nachteil gewertet. Die Eltern sollten jedoch immer auch diesbezüglich aufgeklärt und informiert werden.

Als nächstes zu den Unterarmschaftfrakturen, welche eine häufige Verletzung im Kindesalter darstellen: Dementsprechend werden in der Literatur Studien mit größeren Fallzahlen besprochen. Zwar weist der wachsende Knochen bei konservativer Behandlung ein hohes Korrekturpotenzial auf, dieses ist jedoch schwer kalkulierbar und bleibt mitunter sogar aus [4, 48]. Notwendige Nachrepositionen, Therapiewechsel und daraus resultierende mögliche Funktionsdefizite stellen die konservative Behandlung dieser Frakturen zunehmend in Frage. Demnach wird die konservative Behandlung von Unterarmschaftfrakturen im Kindesalter heute insgesamt als komplikationsträchtig eingestuft (bis 50%) [70-72]. Die Indikation zu operativen Vorgehen wird zunehmend großzügiger gestellt [48]. Als operative Versorgungsmöglichkeiten bei Unterarmschaftfrakturen stehen derzeit vor allem die Plattenosteosynthese und die ESIN zur Verfügung. Erstere Technik führt zum Verlust des sich auf die Frakturheilung positiv auswirkenden Frakturhämatoms bzw. zur Schädigung des Periostschlauches. Weiterhin werden durch die rigide Plattenosteosynthese die erwünschten Mikrobewegungen unterbunden, außerdem ist die Metallentfernung mit einem erneuten relativ aufwändigen Eingriff verbunden [8, 71]. Vor diesem Hintergrund hat die intramedulläre Nagelung die Plattenosteosynthese seit ca. 1998 abgelöst und somit gilt die ESIN heute als Behandlung der Wahl [48, 49, 51, 52]. Somit gewährt die ESIN als definitive Frakturversorgung bei instabilen und fraglich instabilen Schafffrakturen durch ihre biomechanischen Eigenschaften eine sichere und gut beherrschbare Retention der Frakturen [8, 12, 26, 71, 73, 74]. und ist daher die Methode der Wahl. Schmittbecher berichtet 2008 von einem beobachteten Kollektiv bei 532 mit ESIN versorgter Kinder von 1,9% mit verzögerter Heilung [52]. Im untersuchten Kollektiv der vorliegenden Arbeit zeigte sich bei einem 15 - und einem 16 jährigen Jungen (1,4%) eine verzögerte Frakturheilung, woraufhin am 59. postoperativen Tag die Implantate entfernt wurden und auf eine Ruhigstellung im Hardcast gewechselt wurde. Bei Adoleszenten besteht ein etwas erhöhtes Risiko (2%) für Heilungsverzögerungen besonders bei Ulnaschaftfrakturen im mittleren Drittel.

Ursache ist vermutlich einerseits die im Vergleich zu Kindern verzögerte Knochenheilung, andererseits die mäßige Gefäßversorgung dieser Region [52]. Hauptverantwortlich für die nach Behandlung mit ESIN auftretenden Refrakturen macht man die zu frühe Metallentfernung. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden keine Refrakturen nach Versorgung mit ESIN dokumentiert. Durch eine vorherige Kontrolle der knöchernen Durchbauung kann diese Komplikation weitgehend vermieden werden [8]. Generell wird zu einer Metallentfernung bei Unterarmfrakturen nicht vor vier bis sechs Monaten postoperativ geraten [14, 40, 73]. Im Dr. von Haunerschen Kinderspital erfolgte die Metallentfernung durchschnittlich nach 5,3 Monaten. Drei Refrakturen ereigneten sich bei liegenden Nägeln, die Ergebnisse waren auch in diesen Fällen zufrieden stellend. In manchen Kliniken werden komplette Frakturen des Unterarms mit nur einem Implantat im stärker dislozierten Knochen stabil versorgt, wodurch Operationszeit und Durchleuchtungsdauer erheblich reduziert werden konnten. [31, 75-78]. Hier bleibt zu bedenken, ob die biomechanischen Eigenschaften der ESIN in vollem Umfang zum Tragen kommen. Dies wird sich nach Auswertung größerer Fallzahlen zeigen.

Aus dem vorliegenden Patientenkollektiv wurden 123 komplette Unterarmschaftfrakturen ausgewertet. In der Literatur wird häufig über Infektionen sowie Hautirritationen im Bereich der Nagelenden berichtet. Dieser Problematik kann jedoch in der Regel durch korrektes Kürzen der Nägel und ggf. durch Aufsetzen von Schutzkappen begegnet werden [8, 12, 26, 49, 52, 71, 74]. Infektionen im Bereich der Nagelenden wurden bei den in der vorliegenden Arbeit beobachteten Kindern zweimal (1,6%) beobachtet, einmal war daraufhin eine vorgezogene Metallentfernung notwendig. Die vorzeitig notwendig gewordene Metallentfernung nach Perforation des ulnaren Pins bei einem Jungen könnte an zu lang belassenen Nagelenden gelegen haben.

Nervenläsionen gehören zu den gefürchteten intraoperativ auftretenden Komplikationen der ESIN. Deshalb empfiehlt sich die Darstellung des R. superficialis des N. radialis vor dem Setzen der Perforation am distalen Radius zur Insertion des Nagels [8, 12]. Wird konsequent stumpf präpariert, kann von einem geringen Verletzungsrisiko ausgegangen werden [71]. Dieses Vorgehen ist im Dr. von Haunerschen Kinderspital obligat, weswegen auch keine Nervenausfälle dieser Art auftraten.

Das in unseren Beobachtungen aufgetretene bleibende neurologische Defizit bei Läsion des N. ulnaris wird als Komplikation angesehen, die bei Eingriffen dieser Art leider auftreten kann. Klinisch relevant war lediglich die intraoperativ erworbene Ulnarisläsion, eine Radialisparese mit geringgradiger persistierender Heberschwäche am Ende der Behandlung wurde als klinisch nicht relevant dokumentiert.

Als Komplikation der ESIN bei Frakturversorgung in dieser Region treten intraoperative Sehnenverletzungen auf, welche sich sowohl im Rahmen der Implantation als auch bei der Metallentfernung ereignen können. Betroffen ist meist die Sehne des M. extensor pollicis brevis und die Sehne des M. extensor pollicis longus. Cumming berichtet über eine erhöhte Komplikationsrate bei dorsalem Zugang auf den Radius [49]. Im beobachteten vorliegenden Kollektiv kam es zu zwei (1,6%) Arrosionen der Sehnen des M. Extensor pollicis longus, in der Folge wurde in einem Fall im Rahmen der Metallentfernung eine Tendolyse mit Sehnenverlängerungsplastik durchgeführt. In beiden Fällen wurde auf den Radius von dorsal eingegangen. Betrachtet man jedoch das gesamte Kollektiv, so kann keine signifikant erhöhte Komplikationsrate (3,3%) bei dorsalem Zugang (39,8%) bestätigt werden. Der dorsale Zugang kann also bei entsprechender Indikationsstellung empfohlen werden [79]. Eine dritte Sehnenruptur ereignete sich beim Binden der Schuhe am 246. post-Op-Tag. Somit sehen wir diese Komplikation als fraktur- bzw. unter Umständen als manipulationsbedingt an, sie kann jedoch nicht ursächlich in Zusammenhang mit der Methode der ESIN gesehen werden.

Insgesamt wurden dreimal (2,4%) funktionelle Einschränkungen bei der Umwendbewegung dokumentiert. Die bei einem Jungen mit Fixateur externe nach zusätzlicher intramedullärer Schienung dokumentierten Bewegungseinschränkungen (Flexionsdefizit von 10°, Pronationsdefizit von 10°, Supinationsdefizit von 40°), sowie die Valgusfehlstellung von 20° lassen sich nicht auf die Behandlung mit ESIN zurückführen, da diese schon vorher bestanden und sich im Verlauf tendenziell besserten. Eine Revision war bei drohender Bildung einer Pseudarthrose und vorliegender Instabilität erforderlich. Die beiden beobachteten Refrakturen können nicht als Komplikation der ESIN angesehen werden. Ein Junge zog sich die Refraktur durch einen Sturz beim Snowboarden zu, die Fraktur zeigte sich auch im Nachhinein als stabil und undisloziert. Eine weitere Refraktur erlitt ein Junge mit bekannter Osteomalazie. Die beiden kosmetisch als unzureichend bezeichneten Ergebnisse lassen sich ebenfalls nicht unmittelbar auf die Methode der ESIN zurückführen.

Insgesamt wird von Mann [71] bei Unterarmfrakturen eine Komplikationsrate von 7,7% angegeben. Fasst man alle im Rahmen der vorliegenden Arbeit beobachteten Komplikationen bei kompletten Unterarmschaftfrakturen zusammen, so ergibt sich eine Komplikationsrate von 8,1%. Folgernd kann bestätigt werden, dass bei adäquater Indikationsstellung und korrekter Beherrschung der Technik mit ESIN bei Frakturen des Unterarms regelhaft gute bis sehr gute Ergebnisse erzielt werden [48]. Die relativ seltenen Radiushalsfrakturen können bei guter Stellung konservativ behandelt werden, bei Kindern bis zum 10. Lebensjahr haben sogar Fehlstellungen von bis zu 45° eine relativ gute Prognose [30, 80]. Die Indikation sollte jedoch besonders bei älteren Kindern sorgfältig gestellt werden, um Spätfolgen zu vermeiden und um eine maximale Gelenkfunktion zu erhalten [8, 61]. Die nach Radiuskopffrakturen gefürchtete Komplikation der avaskulären Nekrose oder einer Verplumpung des Radiuskopfes wird bei der Versorgung mit ESIN selten beobachtet, da frakturfern in den Knochen eingegangen wird und die Frakturzone so maximal geschont werden kann [12, 60, 81]. Dislozierte, abgekippte Frakturen des Radiusköpfchens können minimalinvasiv mit Hilfe der Joystick-Technik aufgerichtet und mittels ESIN stabil versorgt werden [12, 61], was in vorliegendem Kollektiv auch einmal angewandt wurde. In der Literatur wird sporadisch berichtet, der Nagel könne nach erfolgreicher Reposition unmittelbar wieder entfernt werden, da die knöchernen Strukturen der Radiusmetaphyse, und des capitulum humeri, sowie der umgebende Weichteilmantel ausreichend stabilisierend wirken. Dies ist jedoch nicht ausreichend dokumentiert und sollte aufgrund der Gefahr einer erneuten Dislokation in Frage gestellt werden [61]. Klar zu stellen ist, dass auch diese Technik Komplikationen mit sich bringen kann [49, 73]. In der vorliegenden Studie ergaben sich bei 2 von 10 Kindern mit Radiusfrakturen persistierende Flexionsdefizite von jeweils 10°, in einem Fall kombiniert mit einem geringgradigen Pro-/Supinationsdefizit nach Radiuskopffraktur.

Insgesamt erfolgte die Auswertung von 20 isolierten Ulnafrakturen. Bis auf eine persistierende geringgradige Heberschwäche nach passagerer Radialisparese und einer gut beherrschbaren Wundheilungsstörung traten keine Komplikationen auf.

Die Indikation konnte in den letzten Jahren auch auf die sich in manchen Fällen komplex darstellenden Monteggiafrakturen und –Äquivalente ausgeweitet werden. Auch hier wurden nach Schmidt gute Ergebnisse erzielt [29]. Unter den in der vorliegenden Arbeit beobachteten 20 isolierten Ulnafrakturen befanden sich 11

Monteggiafrakturen und ein Monteggiaäquivalent, welche allesamt gute bis sehr gute Ergebnisse zeigten.

Übergehend zur unteren Extremität werden zunächst die Femurfrakturen besprochen, die eine seltene Verletzung im Kindesalter darstellen. Dementsprechend klein sind die für die meisten Studien vorliegenden Fallzahlen (Ligier [10] und Lascombes [82]). Die von Schmittenebecher 2001 veröffentlichte AO-Sammelstudie berichtet allerdings über 400 ausgewertete Femurfrakturen [6]. Diese Zahl ermöglicht es, einige typische Komplikationen dieser Frakturen abzulesen. Die gefürchtete Komplikation der Aussprengung eines Kortikalisfragments sowie das Problem des „Telescoping-Effekts“ wurden in dem vorliegenden Kollektiv in keinem Fall beobachtet. Von „Telescoping“ spricht man, wenn sich die Frakturfragmente gegeneinander verschieben, was zu einer Verkürzung des Knochens führt. Bei stark adipösen Kindern ist generell abzuwägen, ob diese von der Methode der ESIN profitieren können. In der Literatur werden Komplikationsraten von bis zu 46% angegeben [19-21].

Ein typisches postoperatives Problem stellen Weichteilirritationen dar. Sie werden entsprechend in den meisten Studien angegeben [10] [83] [84] [85]. Weder Weichteilirritationen noch Infektionen oder Pinperforationen wurden im Dr. von Haunerschen Kinderspital beobachtet.

Weitere Probleme stellen bei den Femurfrakturen Materiallockerung und Instabilität dar. Sie werden in der Literatur mit insgesamt 2,9% angegeben [83]. Im vorliegenden Kollektiv stellte die Instabilität bei 3 von 8 Kindern das häufigste Problem dar. Die Notwendigkeit von Korrekturingriffen wurde in den oben angeführten Studien zwischen 1% [83] und 3,6% [82] dokumentiert, im beobachteten Patientengut mussten zwei Valgusfehlstellungen revidiert werden. Geringgradige Defizite der Innenrotation wurden bei zwei Kindern beobachtet, bergen jedoch ein Potenzial sich selbst zu korrigieren. Klinisch relevante Beinlängenunterschiede wurden nicht dokumentiert und werden nach Angaben anderer Studien nach Behandlung mit dieser Form der Osteosynthese auch nicht signifikant öfter beobachtet [15] [14].

Unterschenkelfrakturen zählten mit 4,2% des beobachteten Kollektivs zu den eher seltener mit ESIN versorgten Verletzungen. Diese Frakturen sollten nach heutiger Ansicht primär konservativ behandelt werden [4, 8, 12, 14]. Aufgrund der besonderen Kräfteverhältnisse bedingt durch die Anatomie des triangulären Knochens und der einseitig inserierenden Muskulatur können die Vorteile der ESIN nicht immer genutzt

werden [12, 14]. Kleine Fehler in der Behandlung haben leider oft große funktionale Auswirkungen zur Folge [36]. Der Einsatz dieser Technik ist jedoch gerade bei Schafffrakturen im mittleren Drittel des Unterschenkels gerechtfertigt und zeitgemäß [11, 86, 87]. Die im Dr. von Haunerschen Kinderspital vorwiegend beobachteten Komplikationen waren Weichteilinfektionen, die je einmal eine laterale Pinkürzung sowie in einem Fall einen Nagelwechsel erforderlich machten. Die in der Literatur häufig beschriebenen und vor allem bei Kindern unter 10 Jahren auftretenden Beinlängendifferenzen [11, 88] wurden in der vorliegenden Untersuchung mit einer Beinlängenzunahme von ca. 1 cm bei einem von 11 Kindern und somit wesentlich seltener beobachtet. Dies mag unter Umständen in der relativ kurzen Follow-Up-Zeit begründet sein, möglicherweise können über einen längeren Zeitraum betrachtet mehr Kinder betroffen sein. Beinlängendifferenzen wurden jedoch auch im weiteren Verlauf nicht dokumentiert. Funktionelle Beeinträchtigungen wurden keine verzeichnet. Die von Goodwin [56] beschriebenen Achsfehlstellungen (Valgus- bzw. Varusdeformitäten) traten bei keinem der Kinder auf. O'Brien et al. bestätigen der ESIN bei korrekter Montage positive Eigenschaften der Achsen- und Bewegungsstabilität bei Tibiaschafffrakturen [89]. Verantwortlich für die relativ lange durchschnittliche Hospitalisationsdauer von 13,4 Tagen unserer hier ausgewerteten Patientendaten waren erhebliche Begleitverletzungen vor allem nach Verkehrsunfällen bei einzelnen Patienten und nicht etwa die Methode der ESIN.

Fasst man alle bei 271 Fällen aufgetretenen Komplikationen der ESIN zusammen, so ergibt sich eine Komplikationsrate von 11,1%.

Im Folgenden werden einige Bemerkungen und Diskussionspunkte zum Thema Strahlenbelastung angeführt. Die ESIN erfordert einen gezielten Einsatz der Röntgentechnik. Die Strahlenbelastung ist jedoch nicht signifikant höher als bei der alternativen Behandlung mit z.B. einem Fixateur externe [47, 90, 91]. Es liegt im Interesse des Patienten und des Operationsteams, die Strahlenbelastung möglichst gering zu halten. Dies erfordert entsprechende Erfahrung des Operateurs, einen bestmöglichen Strahlenschutz sowie den Einsatz moderner Durchleuchtungstechnik [91]. Neben der Schutzbekleidung sollte dem Einsatz von Filtern, Blenden und einer gepulsten Durchleuchtungstechnik besonderes Interesse gelten. Eine niedrige intraoperative Strahlenbelastung muß als Qualitätsmerkmal angesehen werden [39].

Aussagen über die im Rahmen einer Operation auftretende Strahlenbelastung sind schwierig zu treffen und lassen sich auf keinen Fall lediglich über die Durchleuchtungszeit definieren und vergleichen. Aussagekräftige, vergleichende Untersuchungen liegen derzeit noch keine vor. Die in dieser Arbeit angegebenen Zeiten dienen daher nur zur Orientierung. Die reine Durchleuchtungszeit ist bei der Nagelimplantation tatsächlich länger als beispielsweise bei Anlage eines Fixateur externe, allerdings sind bei diesem Verfahren die Röntgenuntersuchungen bei Nachkontrollen signifikant häufiger notwendig [6]. Durchleuchtungszeiten werden in der Literatur mit einer weiten Spanne angegeben. Knorr et al. dokumentierten bei 123 ausgewerteten Frakturen des Humerus unterschiedlicher Lokalisation Zeiten zwischen 0,24 und 13,0 min. [39, 92]. Im Dr. von Haunerschen Kinderspital betrug die durchschnittliche Durchleuchtungszeit bei Frakturen des Humerus 6,03 Minuten. Wichtig ist daher vor allem eine umfassende und detaillierte Aufklärung der Eltern. Die bei den diskutierten Frakturformen alternativ zur Verfügung stehenden Osteosyntheseformen wie Plattenosteosynthesen, Fixateur externe bzw. Kirschnerdrähte bei supracondylären Humerusfrakturen, weisen im Vergleich zur ESIN deutliche Nachteile auf. Dies sollte bei der Indikationsstellung berücksichtigt werden. Damit jedoch die genannten Vorteile dieser Methode zum Tragen kommen können, ist ein genaues Verständnis der Prinzipien der ESIN sowie das Beherrschen der Technik Voraussetzung. Wie bei allen Osteosyntheseformen ist auch bei der ESIN eine organisierte Nachsorge für eine komplikationsarme Heilung notwendig. Hierbei ist neben der klinischen Kontrolle besonders der Grad der Durchbauung zu beurteilen, um mögliche auftretende Heilungsverzögerungen rechtzeitig zu erkennen und die Metallentfernung gezielt planen zu können.

Die vorliegende Arbeit umfasst eine Fallzahl von 271 mit ESIN versorgter Knochenbrüche. Die Ergebnisse ermöglichen es, einen Überblick der Indikationen und Möglichkeiten zu geben sowie die zu erwartenden Komplikationen darzustellen. Somit ist die Arbeit trotz ihres retrospektiven Ansatzes klinisch sehr relevant.

5 Zusammenfassung

Frakturen der langen Röhrenknochen treten im Kindesalter häufig auf, somit besteht Bedarf an modernen und kindgerechten Versorgungsmöglichkeiten. Neben konservativen Behandlungsmöglichkeiten, die bei der Indikationsstellung stets zu bedenken sind, stehen heute neue und moderne Osteosyntheseverfahren zur Verfügung. Im Vordergrund der Behandlung stehen zunächst die Schmerzfreiheit und die umgehende stabile und definitive Versorgung der Fraktur unter adäquatem Aufwand. Gerade bei Kindern ist eine möglichst kurz dauernde Funktionseinschränkung anzustreben, weiter soll die Osteosynthese im Alltag praktisch und komfortabel sein. Ziel ist eine möglichst rasche Heilung unter Erhaltung des vollen Bewegungs- und Funktionsumfanges sowie das Vermeiden von Wachstumsstörungen. Bis in die 1990er Jahre galt beispielsweise die Plattenosteosynthese bei Unterarmfrakturen als Mittel der Wahl [71], heute setzt man zunehmend intramedulläre Versorgungstechniken wie die seit knapp 30 Jahren weiterentwickelte „Elastisch-Stabile-Intramedulläre-Nagelung“ (ESIN) ein. Haupteinsatzgebiete der ESIN sind transversale Frakturen der langen Röhrenknochen, kurze Schräg- oder Querfrakturen mit Ausbruchkeilen, lange Schrägfrakturen mit gegebener Möglichkeit der kortikalen Abstützung, Spiralfrakturen, multifragmentäre oder bifokale Frakturen sowie pathologische Frakturen beispielsweise bei juvenilen Knochenzysten oder Osteogenesis imperfecta. Kontraindiziert ist die Technik der ESIN bei Gelenkfrakturen, bei total instabilen Femur- und Tibiafrakturen und generell in Fällen mit fehlender Möglichkeit der kortikalen Abstützung. Wichtigstes biomechanisches Prinzip stellt die achsen- und rotationsstabile Montage der Dreipunktstützung dar, welche zudem Mikrobewegungen zulässt und somit den Heilungsprozess positiv beeinflusst. Ziel dieser Arbeit war eine retrospektive Analyse der Daten von 271 im Zeitraum von Juli 1998 bis August 2007 im Dr. von Haunerschen Kinderspital der Ludwig–Maximilians–Universität München mit ESIN versorgten Frakturen. Neben den heute geltenden Indikationen sollen auch die bei diesem Verfahren auftretenden Komplikationen dargestellt und anhand der Ergebnisse diskutiert werden. Mit ESIN versorgt wurden vorwiegend Schaftfrakturen der langen Röhrenknochen an Oberarm, Unterarm, Oberschenkel und Unterschenkel. Dabei handelte es sich um 106 Mädchen und 165 Jungen mit einem Durchschnittsalter von 8,4 Jahren. Ein wichtiges Einsatzgebiet

dieser Technik stellen im Dr. von Haunerschen Kinderspital zudem die supracondylären Humerusfrakturen dar. Zur Anwendung kam ESIN auch im Rahmen pathologischer Frakturen im Bereich juveniler Knochenzysten bzw. bei Osteogenesis imperfecta sowie zur prophylaktischen Stabilisierung von Knochenzysten.

Ursächlich für die Frakturen wurden meist Stürze im Rahmen von Sport und Spiel angegeben, gefolgt von Verkehrsunfällen. In der Regel wurden die Frakturen am Tag des Unfalls bzw. am Folgetag operativ versorgt; später mit ESIN versorgte Frakturen waren meist sekundär disloziert. Bevorzugt wurden Implantate aus Titan eingesetzt (62%). Durchschnittlich wurden die Kinder 3,9 Tage stationär betreut. Im Normalfall konnten die Kinder am ersten postoperativen Tag mobilisiert werden, ausgenommen hiervon waren Kinder mit zusätzlich angelegten Oberarmgipsschienen oder weiteren Osteosynthesen sowie nach erlittenem Polytrauma. Die mittlere Follow-Up-Zeit betrug ca. 6 Monate (184,15 Tage). Die Patienten wurden im Mittel zu 3 ambulanten Nachkontrollen vorgestellt. Frakturen der oberen Extremität konnten durchschnittlich nach 38 Tagen zur Vollbelastung freigegeben werden, bei Frakturen der unteren Extremität erfolgte die Freigabe nach durchschnittlich 59 Tagen. Nicht berücksichtigt wurden hier die pathologischen Frakturen. Die Metallentfernung fand im Rahmen eines tageschirurgischen Aufenthalts durchschnittlich nach 155 Tagen in Allgemeinnarkose statt. Lediglich in 3 Fällen mussten die Kinder nach stärkeren Blutungen bei der Materialentfernung stationär aufgenommen werden. Fasst man alle aufgetretenen Komplikationen, die mit der elastisch stabilen Markraumschienung in Zusammenhang gebracht werden können zusammen, so ergibt sich bei dem beobachteten Kollektiv eine allgemeine Komplikationsrate von 11,1%. Als kosmetisch unzureichend wurden 4 Ergebnisse beurteilt (1,5%). Materiallockerung wurde 3mal beobachtet, Verfahrenswechsel wurden bei 3 Patienten notwendig. Dreimal kam es während der Metallentfernung zu Blutungen, welche jeweils mit einer Drainage versorgt wurden. Bei Frakturen des Unterarms kam es einmal intraoperativ und bei einem Kind infolge mechanischer Reizung durch das Implantat zu Sehnenarrosionen des Musculus extensor pollicis longus. Funktionelle Komplikationen, die nach Metallentfernung weiter bestanden, traten insgesamt 10 mal (6,2%) auf. Meist handelte es sich um Flexions- oder Extensionsdefizite, nach Unterarmfrakturen traten zudem Pronations- und Supinationsdefizite auf (siehe Ergebnisteil). Klinisch relevante Beinlängendifferenzen wurden lediglich in einem Fall dokumentiert.

Mit der vorliegenden Arbeit konnte somit gezeigt werden, dass die Methode der ESIN ein elegantes und patientenfreundliches Verfahren darstellt. Bei präziser Indikationsstellung, Verständnis der biomechanischen Prinzipien sowie Beherrschen der Methode führt die ESIN bei dislozierten oder instabilen Frakturen der langen Röhrenknochen bei Kindern und Jugendlichen regelhaft zu guten bis sehr guten Ergebnissen, was auch mit vorliegender Arbeit bestätigt werden konnte.

6 Literaturverzeichnis

1. Schlickewei, W., Seif el Nasr, M., and Friedl, H.P., [*Fracture management during bone growth*]. Langenbecks Arch Chir Suppl Kongressbd, 1998. **115**: p. 577-80.
2. Heinrich, M., Schäffer, K., *Kinderchirurgie - Basiswissen und Praxis*, ed. Zuckschwerdt. Vol. 1. 2008, München: Von Schweinitz, D.
3. Marzi, I. and Maier, M., *Femurfrakturen im Kindesalter*, in *Unfallmedizinische Tagung*. 2004: Mainz.
4. Marzi, I., Schneidmüller, D., Audigé, L., Bühren, V., Castellani, C., Dietz, H.G., Frank, J., Kraus, R., Kurth, A.A., von Laer, L., Linhart, L., Maier, W.E., Ploss, C., Rose, S., Schlickewei, W., Schmittenebecher, P.P., Schneider, F.J., Schneidmüller, D., Seif El Nasr, M., Slongo, T., Thannheimer, A., Vogl, T.J., Weinberg, A., Wessel, L.M., Wetter, A., and Worel, A.M., *Kindertraumatologie*. 2006, Darmstadt.
5. Slongo, T.F. and Audige, L., *Fracture and dislocation classification compendium for children: the AO pediatric comprehensive classification of long bone fractures (PCCF)*. J Orthop Trauma, 2007. **21**(10 Suppl): p. S135-60.
6. Maier, M., Maier-Heidkamp, P., Lehnert, M., Wirbel, R., and Marzi, I., [*Results of femoral shaft fractures in childhood in relation to different treatment modalities*]. Unfallchirurg, 2003. **106**(1): p. 48-54.
7. Kanlic, E. and Cruz, M., *Current concepts in pediatric femur fracture treatment*. Orthopedics, 2007. **30**(12): p. 1015-9.
8. Dietz, H.G., Schmittenebecher, P.P., and Illing, P., *Intramedulläre Osteosynthese im Wachstumsalter*. 1997, München.
9. Ligier, J.N., Métaizeau, J.P., Prevot, J., and Lascombes, P., *Elastic stable intramedullary pinning of long bone shaft fractures in children*. Z Kinderchir, 1985. **40**(4): p. 209-12.
10. Ligier, J.N., Métaizeau, J.P., and Prévot, J.e.a., *Elastic stable intramedullary nailing of femoral shaft fractures in children*. J Bone Joint Surg Br, 1998. **70**: p. 70-74.
11. Srivastava, A.K., Mehlman, C.T., Wall, E.J., and Do, T.T., *Elastic stable intramedullary nailing of tibial shaft fractures in children*. J Pediatr Orthop, 2008. **28**(2): p. 152-8.
12. Dietz, H.G., Schmittenebecher, P.P., Slongo, T., and Wilkins, K.E., *AO Manual of Fracture Management " Elastic Stable Intramedullary Nailing (ESIN) In Children*. 2006, Stuttgart.
13. Mehlman, C.T., Nemeth, N.M., and Glos, D.L., *Antegrade versus retrograde titanium elastic nail fixation of pediatric distal-third femoral-shaft fractures: a mechanical study*. J Orthop Trauma, 2006. **20**(9): p. 608-12.

14. Lascombes, P., Haumont, T., and Journeau, P., *Use and abuse of flexible intramedullary nailing in children and adolescents*. J Pediatr Orthop, 2006. **26**(6): p. 827-34.
15. Mutimer, J., Hammett, R.D., and Eldridge, J.D., *Assessing leg length discrepancy following elastic stable intramedullary nailing for paediatric femoral diaphyseal fractures*. Arch Orthop Trauma Surg, 2007. **127**(5): p. 325-30.
16. Weinberg, A.M., Castellani, C., Arzdorf, M., Schneider, E., Gasser, B., and Linke, B., *Osteosynthesis of supracondylar humerus fractures in children: a biomechanical comparison of four techniques*. Clin Biomech (Bristol, Avon), 2007. **22**(5): p. 502-9.
17. Kanellopoulos, A.D., Mavrogenis, A.F., Papagelopoulos, P.J., and Soucacos, P.N., *Elastic intramedullary nailing and DBM-bone marrow injection for the treatment of simple bone cysts*. World J Surg Oncol, 2007. **5**: p. 111.
18. Maier, M. and Marzi, I., *[Elastic stable intramedullary nailing of femur fractures in children]*. Oper Orthop Traumatol, 2008. **20**(4-5): p. 364-72.
19. Weiss, J.M., Choi, P., Ghatan, C., Skaggs, D.L., and Kay, R.M., *Complications with flexible nailing of femur fractures more than double with child obesity and weight >50 kg*. J Child Orthop, 2009. **3**(1): p. 53-8.
20. McKee, M.D. and Waddell, J.P., *Intramedullary nailing of femoral fractures in morbidly obese patients*. J Trauma, 1994. **36**(2): p. 208-10.
21. Leet, A.I., Pichard, C.P., and Ain, M.C., *Surgical treatment of femoral fractures in obese children: does excessive body weight increase the rate of complications?* J Bone Joint Surg Am, 2005. **87**(12): p. 2609-13.
22. Slongo, T., Audige, L., Schlickewei, W., Clavert, J.M., and Hunter, J., *Development and validation of the AO pediatric comprehensive classification of long bone fractures by the Pediatric Expert Group of the AO Foundation in collaboration with AO Clinical Investigation and Documentation and the International Association for Pediatric Traumatology*. J Pediatr Orthop, 2006. **26**(1): p. 43-9.
23. von Laer, L., *supracondyläre Humerusfrakturen. Frakturen und Luxationen im Wachstumsalter*. Vol. 4. 2001, Stuttgart. 126-142.
24. Schäffer, K., Böhm, R., and Dietz, H.G., *[Elastic stable intramedullary nailing (ESIN) of supracondylar fractures of the humerus in children]*. Unfallchirurg, 2007. **110**(10): p. 852-8.
25. Weinberg, A.M., Marzi, I., Gunter, S.M., Wessel, L., Riedel, J., and von Laer, L., *[Supracondylar humerus fracture in childhood--an efficacy study. Results of a multicenter study by the Pediatric Traumatology Section of the German Society of Trauma Surgery--I: Epidemiology, effectiveness evaluation and classification]*. Unfallchirurg, 2002. **105**(3): p. 208-16.
26. Fitze, G., Karatas, A., and Roesner, D., *Die diaphysäre Unterarmschaftfraktur im Kindesalter - Indikation zur elastisch-stabilen intramedullären Nagelung im Kindesalter*. Z Kinderchir, 2000. **9**: p. 110-116.
27. Krüger, A., Mann, D., and Schnabel, M., *Ergebnisse der elastischen stabilen intramedullären nagelung (ESIN) bei Unterarmfrakturen im Kindesalter*. 123. Kongress der deutschen Gesellschaft für Chirurgie, 2006.
28. Schmittenebecher, P.P., Blum, J., David, S., Knorr, P., Marzi, I., Schlickewei, W., and Schonecker, G., *[Treatment of humeral shaft and subcapital fractures in children. Consensus report of the child trauma section of the DGU]*. Unfallchirurg, 2004. **107**(1): p. 8-14.

29. Schmidt, C.M., Mann, D., and Schnabel, M., [*Elastic stable intramedullary nailing as alternative therapy for pediatric Monteggia fractures.*]. Unfallchirurg, 2008. **111**(5): p. 350-7.
30. Metaizeau, J.P., *Reduction and osteosynthesis of radial neck fractures in children by centromedullary pinning.* Injury, 2005. **36 Suppl 1**: p. A75-7.
31. Houshian, S. and Bajaj, S.K., *Forearm fractures in children. Single bone fixation with elastic stable intramedullary nailing in 20 cases.* Injury, 2005. **36**(12): p. 1421-6.
32. Walz, M., Kolbow, B., and Mollenhoff, G., [*Fracture of the distal ulna accompanying fracture of the distal radius. Minimally invasive treatment with elastic stable intramedullary nailing (ESIN)*]. Unfallchirurg, 2006. **109**(12): p. 1058-63.
33. AWMF, L.d.A.d.W.M.F. (2008),
34. Weinberg, A.M., Amerstorfer, F., Fischerauer, E.E., Pearce, S., and Schmidt, B., *Paediatric diaphyseal forearm refractures after greenstick fractures: operative management with ESIN.* Injury, 2009. **40**(4): p. 414-7.
35. Illing, P., *Tibiafrakturen*, in *Unfallmedizinische Tagung*. 2004: Mainz.
36. Langanke, K. and Slongo, T., *Probleme der ESIN am Unterschenkel beim Kind*, in *Deutscher Kongress für Orthopädie und Unfallchirurgie*. 2006: Berlin.
37. Horn, Linke, Höntzsch, Gueorguiev, and Schwieger, *Ange stable interlocking screws improve construct stability of intramedullary nailing of distal tibia fractures: A biomechanical study.* Injury, 2009. **40**: p. 767-771.
38. Nectoux, E., Giacomelli, M.C., Karger, C., Gicquel, P., and Clavert, J.M., *Use of end caps in elastic stable intramedullary nailing of femoral and tibial unstable fractures in children: preliminary results in 11 fractures.* J Child Orthop, 2008. **2**(4): p. 309-14.
39. Kraus, R., Meyer, C., Heiss, C., Stahl, J.P., and Schnettler, R., [*Intraoperative radiation exposure in elastic stable intramedullary nailing (ESIN) during the growth period. Observations in 162 long bone shaft fractures*]. Unfallchirurg, 2007. **110**(1): p. 28-32.
40. Slongo, T., *Complications and failures of the ESIN Technique.* Injury, 2005. **36**: p. A78-85.
41. Do, T. and Herrera-Soto, J., *Elbow injuries in children.* Curr Opin Pediatr, 2003. **15**(1): p. 68-73.
42. de las Heras, J., Duran, D., de la Cerda, J., Romanillos, O., Martinez-Miranda, J., and Rodriguez-Merchan, E.C., *Supracondylar fractures of the humerus in children.* Clin Orthop Relat Res, 2005(432): p. 57-64.
43. Ashcraft, K.W., Rohmiller, M.T., Mencio, G.A., and Green, N.E., *Pediatric Surgery*. 2005, Philadelphia. 237-242.
44. Reynolds, R.A. and Jackson, H., *Concept of treatment in supracondylar humeral fractures.* Injury, 2005. **36 Suppl 1**: p. A51-6.
45. Jester, A., Flugel, A., Germann, G., and Oestreich, K., [*Ulnar nerve lesions after osteosynthesis of a supercondylar humerus fracture during childhood. Indications for revision*]. Unfallchirurg, 2006. **109**(12): p. 1090-3.
46. Weinberg, A.M., von Bismarck, S., Castellani, C., and Mayr, J., [*Descending intramedullary nailing for the treatment of displaced supracondylar humeral fractures in children*]. Chirurg, 2003. **74**(5): p. 432-6.
47. Johnson, K.J. and Bache, E., *Imaging in Pediatric Skeletal Trauma*. 2008, Heidelberg. 275-276.

48. Mann, D. and Schnabel, M., *Möglichkeiten und Grenzen der elastisch-stabilen Markraumschienung (ESIN)*, in *122. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Chirurgie*. 2005: Munich.
49. Cumming, D., Mfula, N., and Jones, J.W., *Paediatric forearm fractures: the increasing use of elastic stable intra-medullary nails*. *Int Orthop*, 2008. **32**(3): p. 421-3.
50. von Laer, L., *Korrekturingriffe am kindlichen Ober - und Unterarm*, in *Unfallchirurg*. 2004. p. 552-562.
51. Garg, N.K., Ballal, M.S., Malek, I.A., Webster, R.A., and Bruce, C.E., *Use of elastic stable intramedullary nailing for treating unstable forearm fractures in children*. *J Trauma*, 2008. **65**(1): p. 109-15.
52. Schmitzenbecher, P.P., Fitze, G., Godeke, J., Kraus, R., and Schneidmuller, D., *Delayed healing of forearm shaft fractures in children after intramedullary nailing*. *J Pediatr Orthop*, 2008. **28**(3): p. 303-6.
53. Adamczyk, M.J. and Riley, P.M., *Delayed union and nonunion following closed treatment of diaphyseal pediatric forearm fractures*. *J Pediatr Orthop*, 2005. **25**(1): p. 51-5.
54. Fernandez, F.F., Eberhardt, O., Langendorfer, M., and Wirth, T., *Nonunion of forearm shaft fractures in children after intramedullary nailing*. *J Pediatr Orthop B*, 2009.
55. Jubel, A., Andermahr, J., Prokop, A., Bergmann, H., Isenberg, J., and Rehm, K.E., *[Pitfalls and complications of elastic stable intramedullary nailing (ESIN) of femoral fractures in infancy]*. *Unfallchirurg*, 2004. **107**(9): p. 744-9.
56. Goodwin, R.C., Gaynor, T., Mahar, A., Oka, R., and Lalonde, F.D., *Intramedullary flexible nail fixation of unstable pediatric tibial diaphyseal fractures*. *J Pediatr Orthop*, 2005. **25**(5): p. 570-6.
57. Slongo, T., *Complications and failures of the ESIN Technique*. *Injury*, 2004. **36**: p. A78-85.
58. McQueen, M.M., Christie, J., and Court-Brown, C.M., *Acute compartment syndrome in tibial diaphyseal fractures*. *J Bone Joint Surg Br*, 1996. **78**(1): p. 95-8.
59. Bhatnagar, R., Nzegwu, N.I., and Miller, N.H., *Diagnosis and treatment of common fractures in children: femoral shaft fractures and supracondylar humeral fractures*. *J Surg Orthop Adv*, 2006. **15**(1): p. 1-15.
60. Prathapkumar, K.R., Garg, N.K., and Bruce, C.E., *Elastic stable intramedullary nail fixation for severely displaced fractures of the neck of the radius in children*. *J Bone Joint Surg Br*, 2006. **88**(3): p. 358-61.
61. Yarar, S., Sommerfeldt, D.W., Gehrman, S., and Rueger, J.M., *[Severely displaced radial neck fractures after minimally invasive joystick reduction and Prevot nailing: long-term course in childhood]*. *Unfallchirurg*, 2007. **110**(5): p. 460-6.
62. Aidelsburger, K., Grablein, K., Huber, A., Hertlein, H., and Wasem, J., *Die elastisch stabile intramedulläre Nagelung bei instabilen kindlichen Unterarmschaftfrakturen*. *Health technology Assessment*, 2006. **45**(ISSN 1864-9645).
63. Williams, P.R. and Shewring, D., *Use of an elastic intramedullary nail in difficult humeral fractures*. *Injury*, 1998. **29**(9): p. 661-70.
64. Zatti, G., Teli, M., Ferrario, A., and Cherubino, P., *Treatment of closed humeral shaft fractures with intramedullary elastic nails*. *J Trauma*, 1998. **45**(6): p. 1046-50.

65. Beaty, J.H., *Elbow fractures in children and adolescents*. Instr Course Lect, 2003. **52**: p. 661-5.
66. Lyons, J.P., Ashley, E., and Hoffer, M.M., *Ulnar nerve palsies after percutaneous cross-pinning of supracondylar fractures in children's elbows*. J Pediatr Orthop, 1998. **18**(1): p. 43-5.
67. Royce, R.O., Dutkowsky, J.P., Kasser, J.R., and Rand, F.R., *Neurologic complications after K-wire fixation of supracondylar humerus fractures in children*. J Pediatr Orthop, 1991. **11**(2): p. 191-4.
68. Dallek, M., Mommsen, U., Jungbluth, K.H., and Kahl, H.J., *[Supracondylar humerus fracture in childhood, its treatment and results following Blount's method]*. Unfallchirurgie, 1985. **11**(4): p. 192-6.
69. Prevot, J., Lascombes, P., Metaizeau, J.P., and Blanquart, D., *[Supracondylar fractures of the humerus in children: treatment by downward nailing]*. Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot, 1990. **76**(3): p. 191-7.
70. Oestern HJ, R.G., Jansen T, *Intramedulläre Osteosynthesen beim Kind*. Unfallchirurg 103: 2-11, 2000.
71. Mann, D., Schnabel, M., Baacke, M., and Gotzen, L., *[Results of elastic stable intramedullary nailing (ESIN) in forearm fractures in childhood]*. Unfallchirurg, 2003. **106**(2): p. 102-9.
72. Schmittenebecher, P.P., Dietz, H.G., and Uhl, S., *[Late results of forearm fractures in childhood]*. Unfallchirurg, 1991. **94**(4): p. 186-90.
73. Lascombes, P., Prevot, J., Ligier, J.N., Metaizeau, J.P., and Poncelet, T., *Elastic stable intramedullary nailing in forearm shaft fractures in children: 85 cases*. J Pediatr Orthop, 1990. **10**(2): p. 167-71.
74. Schmittenebecher, P.P., *Unterarmschaftfrakturen im Kindesalter*, in *Unfallmedizinische Tagung*. 2004: Mainz.
75. Flynn, J.M. and Waters, P.M., *Single-bone fixation of both-bone forearm fractures*. J Pediatr Orthop, 1996. **16**(5): p. 655-9.
76. Myers, G.J., Gibbons, P.J., and Glithero, P.R., *Nancy nailing of diaphyseal forearm fractures. Single bone fixation for fractures of both bones*. J Bone Joint Surg Br, 2004. **86**(4): p. 581-4.
77. Kirkos, J.M., Beslikas, T., Kapras, E.A., and Papavasiliou, V.A., *Surgical treatment of unstable diaphyseal both-bone forearm fractures in children with single fixation of the radius*. Injury, 2000. **31**(8): p. 591-6.
78. Yung, P.S., Lam, C.Y., Ng, B.K., Lam, T.P., and Cheng, J.C., *Percutaneous transphyseal intramedullary Kirschner wire pinning: a safe and effective procedure for treatment of displaced diaphyseal forearm fracture in children*. J Pediatr Orthop, 2004. **24**(1): p. 7-12.
79. Barry, M. and Paterson, J.M., *A flexible intramedullary nails for fractures in children*. J Bone Joint Surg Br, 2004. **86**(7): p. 947-53.
80. Metaizeau, J.P., Lascombes, P., Lemelle, J.L., Finlayson, D., and Prevot, J., *Reduction and fixation of displaced radial neck fractures by closed intramedullary pinning*. J Pediatr Orthop, 1993. **13**(3): p. 355-60.
81. Schmittenebecher, P.P., Haevernick, B., Herold, A., Knorr, P., and Schmid, E., *Treatment decision, method of osteosynthesis, and outcome in radial neck fractures in children: a multicenter study*. J Pediatr Orthop, 2005. **25**(1): p. 45-50.
82. Lascombes, P., Prevot, J., Poncelet, T., Ligier, J.N., and Blanquart, D., *[Complications of stable flexible wiring in the treatment of femoral fractures in children]*. Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot, 1988. **74 Suppl 2**: p. 293-6.

83. Schmittenebecher, P.P., [*Complications and errors in use of intramedullary nailing in shaft fractures in childhood*]. Kongressbd Dtsch Ges Chir Kongr, 2001. **118**: p. 435-7.
84. Prevot, J., Lascombes, P., and Ligier, J.N., [*The ECMES [Centro-Medullary Elastic Stabilising Wiring] osteosynthesis method in limb fractures in children. Principle, application on the femur. Apropos of 250 fractures followed-up since 1979*]. Chirurgie, 1993. **119**(9): p. 473-6.
85. Rehli, V. and Slongo, T., [*Prevot's method of elastic-stable endomedullary fixation--an ideal method for the management of juvenile shaft fractures*]. Z Unfallchir Versicherungsmed, 1991. **84**(3): p. 177-81.
86. Huber, R.I., Keller, H.W., Huber, P.M., and Rehm, K.E., *Flexible intramedullary nailing as fracture treatment in children*. J Pediatr Orthop, 1996. **16**(5): p. 602-5.
87. Vallamshetla, V.R., De Silva, U., Bache, C.E., and Gibbons, P.J., *Flexible intramedullary nails for unstable fractures of the tibia in children. An eight-year experience*. J Bone Joint Surg Br, 2006. **88**(4): p. 536-40.
88. Wessel, L., Seyfriedt, C.S., Hock, S., and Waag, K.L., [*Pediatric tibial fractures: is conservative therapy still currently appropriate?*]. Unfallchirurg, 1997. **100**(1): p. 8-12.
89. O'Brien, T., Weisman, D.S., Ronchetti, P., Piller, C.P., and Maloney, M., *Flexible titanium nailing for the treatment of the unstable pediatric tibial fracture*. J Pediatr Orthop, 2004. **24**(6): p. 601-9.
90. Kraus, R., Pavlidis, T., Szalay, G., Meyer, C., and Schnettler, R., [*Elastic stable intramedullary nailing (ESIN) in pediatric forearm shaft fractures: intraoperative image intensifier times*]. Z Orthop Unfall, 2007. **145**(2): p. 195-8.
91. Kraus, R., Schiefer, U., Schafer, C., Meyer, C., and Schnettler, R., *Elastic stable intramedullary nailing in pediatric femur and lower leg shaft fractures: intraoperative radiation load*. J Pediatr Orthop, 2008. **28**(1): p. 14-6.
92. Knorr, P., Joeris, A., and Lieber, J., *The Use of ESIN in Humerus Shaft Fractures*. Europ J Trauma, 2005. **31**: p. 12-18.

7 Anhang

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 Wachstumspotenz der Epiphysen	4
Abb. 2 Einteilung der Frakturen nach Salter bzw. Aitken.....	5
Abb. 3 Tri plane fracture	5
Abb. 4 Häufigkeitsverteilung der Unfallursachen	7
Abb. 5 Rogers-Hilfslinie	20
Abb. 6 Korkenzieher-Phänomen.....	30
Abb. 7 proximale Humerusfraktur	41
Abb. 8 supracondyläre Humerusfraktur	43
Abb. 9 Radiuskopf / Olecranonfraktur.....	44
Abb. 10 komplette Unterarmfraktur.....	45
Abb. 11 Femurfraktur.....	47
Abb. 12 Tibiafraktur	50
Abb. 13 Altersverteilung aller mit ESIN versorgter Patienten.....	53
Abb. 14 Altersverteilung der juvenilen Knochenzysten am Humerus	54
Abb. 15 Altersverteilung supracondylärer Humerusfrakturen	56
Abb. 16 Verteilung der Frakturtypen bei supracondylären Humerusfrakturen	57
Abb. 17 Verteilung der Unterarmfrakturen.....	59
Abb. 18 Altersverteilung der Unterarmschaftfrakturen.....	60
Abb. 19 hypertrophe Narbe nach Sehnenplastik	64
Abb. 20 Altersverteilung Radiusfrakturen	64
Abb. 21 Altersverteilung Ulnafrakturen	66
Abb. 22 Altersverteilung Femurfrakturen	68
Abb. 23 Altersverteilung komplette Unterschenkelfrakturen	71

Tabellenverzeichnis

Tab.1: Indikationen der ESIN bei Oberarmschaftfrakturen	18
Tab.2: Einteilung der supracondylären Humerusfrakturen (nach der AO Pediatric Comprehensive Classification)	19
Tab.3: Indikationen der ESIN bei supracondylären Humerusfrakturen	21
Tab.4: Indikationen der ESIN bei Unterarmschaftfrakturen	23
Tab.5: Indikationen der ESIN bei Radiuskopffrakturen	25
Tab.6: Indikationen der ESIN bei Femurschaftfrakturen	26
Tab.7: Indikationen der ESIN bei Unterschenkelschaftfrakturen	28
Tab.8: Häufigkeitsverteilung der Frakturen, Geschlechts- und Altersverteilung	52
Tab.9: Operationsdauer	52
Tab.10: Hospitalisationsdauer, Dauer bis zur Sportfreigabe, Dauer bis zur Metallentfernung (Durchschnittswerte in Tagen)	53

8 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denen bedanken, die es mir ermöglichten meine Arbeit erstellen zu können und mir stets mit Rat und Tat zur Seite standen.

Mein Dank gilt Prof. Dr. med. D. von Schweinitz für die Möglichkeit, vorliegende Arbeit in seinem Hause durchführen zu können.

Prof. Dr. med. Hans-Georg Dietz danke ich für die Bereitstellung des Themas und für seine Hilfe, die ich stets in Anspruch nehmen durfte.

Besondes danken möchte ich Dr. Kathrin Schäffer für die hervorragende Betreuung bei der Durchführung der Recherchen wie auch bei der Umsetzung der Arbeit. Bei der Ausarbeitung stand sie mir stets mit Anregungen und Ratschlägen zur Seite.

Herzlicher Dank gilt meinen Eltern sowie meiner Patentante Dr. med. Ursula Langen, welche mir meine Ausbildung mit tatkräftiger Unterstützung ermöglicht haben.

9 Lebenslauf

NAME: Johannes Müßig

GEBURTSDATUM: 26. Juni 1979

GEBURTSORT: Garmisch-Partenkirchen

FAMILIENSTAND: ledig

AUSBILDUNG:

1986-1990 Emanuel von Seidl Grundschule Murnau

1990-1999 Staffelsee-Gymnasium Murnau

1999 Abitur

1999-2000 Zivildienst Bayer. Landesamt für Umweltschutz

2001-2007 Studium der Humanmedizin an der LMU München

2007 Approbation als Arzt

BERUFLICHER WERDEGANG:

2007 Prakt. Jahr: SRO Niederbipp, Inselspital Universität CH-Bern,
Abt. für Innere Medizin
Dr. von Haunersches Kinderspital, LMU München,
Pädiatrie
Dr. von Haunersches Kinderspital, LMU München,
Kinderchirurgie

Seit 2008 Assistenzarzt Kinderklinik Hochried Murnau
Chefarzt Dr. H. Mayer

