

AUS DEM LEHRSTUHL
FÜR CHIRURGIE
PROF. DR. MED. HANS J. SCHLITT
DER FAKULTÄT FÜR MEDIZIN
DER UNIVERSITÄT REGENSBURG

**DIE DISTALE DIAMETAPHYSÄRE RADIUSFRAKTUR IM KINDESALTER –
EIN VERGLEICH VERSCHIEDENER THERAPIEVERFAHREN**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der
Fakultät für Medizin
der Universität Regensburg

vorgelegt von
Laura Christine Ebert

2018

AUS DEM LEHRSTUHL
FÜR CHIRURGIE
PROF. DR. MED. HANS J. SCHLITT
DER FAKULTÄT FÜR MEDIZIN
DER UNIVERSITÄT REGENSBURG

**DIE DISTALE DIAMETAPHYSÄRE RADIUSFRAKTUR IM KINDESALTER –
EIN VERGLEICH VERSCHIEDENER THERAPIEVERFAHREN**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der
Fakultät für Medizin
der Universität Regensburg

vorgelegt von
Laura Christine Ebert

2018

Dekan: Prof. Dr. Dr. Torsten E. Reichert

1. Berichterstatter: Prof. Dr. Hans Jürgen Schlitt

2. Berichterstatter: PD Dr. Christian Knorr

Tag der mündlichen Prüfung: 08.05.2019

Inhalt

1. Einleitung	5
1.1. Distale Unterarmfrakturen beim Heranwachsenden.....	5
1.2. Der Röhrenknochen im Wachstumsalter	6
1.2.1. Entwicklung von Röhrenknochen.....	7
1.2.2. Umbaupotenzial und Korrekturfähigkeit des distalen Unterarms.....	8
1.3. Frakturarten beim Heranwachsenden	9
1.3.1.Grünholzfrakturen.....	9
1.3.2. Apophysenlösungen	11
1.3.3. Epiphysenlösungen (Salter- Harris I und II)	11
1.4. Klassifikationen für Frakturen der langen Röhrenknochen im Kindesalter	11
1.4.1. Die PAEG-Klassifikation (Klassifikation der AO Paediatric Expert Group)	12
1.4.2. Lokalisation.....	13
1.4.3. Morphologie	14
1.4.4. Die LiLa (Verein „Licht und Lachen für kranke Kinder e. V.“)- Klassifikation.....	14
1.5. Therapie.....	16
1.5.1. Geschlossene Reposition und konservative Therapie.....	17
1.5.2. Operative Therapie.....	20
1.6. Knochenheilung.....	26
2. Patienten & Methodik	28
2.1.Studiendesign	28
2.2. Einschlusskriterien der Studie	28
2.3. Ausschlusskriterien der Studie	29
2.4. Methodik	29
2.5.Beurteilung der Therapieergebnisse	31
2.6.Auswertung	31
3. Ergebnisse	33
3.1. Klassifikation der Frakturen.....	33
3.2. Alters- und Geschlechterverteilung.....	33
3.3. Frakturart und Altersstruktur	34
3.4. Lokalisation innerhalb der Diaphyse und deren Versorgung.....	35
3.5. Therapieverfahren.....	36
3.5.1. Konservative Therapie.....	37
3.5.2. Therapie mit bikortikaler Kirschner-Draht-Osteosynthese	39

3.5.3. Therapie mit intramedullärer Kirschner-Draht-Osteosynthese	41
3.5.4. Therapie mit elastisch-stabilem intramedullären Nagel (ESIN)	43
3.5.5. Therapie mit bikortikaler& intramedullärer Kirschner-Draht-Osteosynthese	45
3.6. Radiologische Ergebnisse in Übersicht.....	47
3.6.1. Übersicht radiologischer Therapieergebnisse in a. p. Projektion	47
3.6.2. Übersicht radiologischer Therapieergebnisse in seitlicher Projektion.....	49
3.6.3. Übersicht über die durchschnittlichen Werte der frontalen und sagittalen.....	51
Achsdeviation zu Therapiebeginn/Zeitpunkt des letzten Kontrollröntgens	51
3.7. Komplikationen	53
3.7.1. Sekundäre Wundinfektion.....	53
3.7.2. Sekundäre Dislokation.....	53
3.7.3. Nervenläsion.....	54
3.8. Analgetikabedarf	56
3.9. Operationsdauer	57
3.10. Strahlenbelastung (Dosisflächenprodukt).....	59
4. Diskussion	61
4.1. Schwächen der Studie	61
4.2. Geschlechtsverteilung	63
4.3. Interpretation der Therapieergebnisse.....	64
5. Schlussfolgerung.....	71
6. Literaturverzeichnis (References)	73
7. Abbildungsverzeichnis	77
8. Tabellenverzeichnis	77
9. Erklärung.....	3
10. Danksagung.....	4
11. Lebenslauf.....	5
Mai 2017 Dritter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung	5

1. Einleitung

1.1. Distale Unterarmfrakturen beim Heranwachsenden

Trotz unterschiedlicher Literaturangaben, stellt die Unterarmfraktur bei Kindern und Jugendlichen mit bis zu 38 %^{1 2} die häufigste Knochenverletzung im Wachstumsalter überhaupt dar. Hierbei betreffen, je nach Quelle, mehr als 50 % der Frakturen das distale Segment.² Unterschiedliche Häufigkeitsangaben in der Literatur dürften vor allem der schweren Abgrenzung zwischen diaphysärer und metaphysärer Fraktur geschuldet sein.³

Das knöcherne Skelett des Heranwachsenden ist dauerhaft Umbauvorgängen ausgesetzt und weist anatomisch erhebliche Abweichungen zum erwachsenen Skelett auf. Dies ist bei der Wahl der Therapie besonders zu berücksichtigen. So müssen die unterschiedlichen Therapieoptionen unter genauer Berücksichtigung der knöchernen Wachstumsphysiologie, der individuellen Patientenkonstitution sowie des Frakturtyps abgewogen werden. Primäres Behandlungsziel sollte die vollständig wiederhergestellte Funktionalität ohne Einbußen der Umwendbewegung sein.⁴

Frakturklassifikationssysteme wie die von Slongo et al.⁵ modifizierte AO-Klassifikation für Frakturen langer Röhrenknochen bei Kindern oder der LiLa Klassifikation (Licht und Lachen für Kranke Kinder; Effizienz in der Medizin e.V.)⁶ haben Zentren übergreifende Datenvergleiche ermöglicht. Dank der daraus resultierenden epidemiologischen Studien haben sich über die Jahre standardisierte Verfahren für die jeweilige Frakturart entwickelt. So stellt mittlerweile bei der Behandlung der distalen instabilen metaphysären Unterarmfraktur im Kindesalter die perkutane transepiphysäre bikortikale Kirschner-Draht-Osteosynthese (bikortikaler Kirschner-Draht) das Mittel der Wahl dar. Bei den Unterarmschaftfrakturen hingegen hat sich die elastisch-stabile intramedulläre Nagelung (ESIN) als Goldstandard etabliert.¹

Gesondert muss jedoch die Diametaphyse, also der Übergangsbereich von Schaft zu gelenksnaher Metaphyse, betrachtet werden. Da dieser Bereich bisher in keiner kindgerechten Klassifikation Berücksichtigung findet, erschwert sich auch der Vergleich zwischen den Kliniken und deren oftmals individuellem therapeutischem Vorgehen. Auch liegen keine klaren Korrekturgrenzen für diese Frakturlokalisation vor.¹ Diese mangelnde Vergleichsgrundlage und auch die wenigen Studien bezüglich Frakturen im diametaphysären Übergang erschweren letztlich das einheitlich, standardisierte Vorgehen bei der Frakturversorgung.^{1,7}

Durch einen fehlenden Therapiealgorithmus handelt es sich bei der Wahl des Therapieverfahrens um eine individuelle Entscheidung des behandelnden Arztes unter

Einbeziehung weiterer Faktoren (Alter, Frakturart, Dislokationsausmaß) abgesehen von der Lokalisation.¹

Das eigentliche Problem der diaphysären Fraktur stellen jedoch sicherlich die anatomischen Voraussetzungen in dieser Region und die Lokalisation an sich dar. Die Methode der bikortikalen Kirschner-Draht-Osteosynthese, die bei rein metaphysären Frakturen aufgrund ihres kurzen distalen Bruchfragmentes als technisch einfaches und komplikationsarmes Verfahren allgemeine Anwendung findet^{8,9}, ist bei weiter proximal gelegenen diaphysären Frakturen oft schwer durchzuführen. Einerseits gelingt es aufgrund der längeren, intramedullären Strecke des Drahtes im distalen Fragment nur schwer den Draht steil genug einzubringen, um die Frakturlinie zu kreuzen und dann im proximalen Segment die Gegenkortikalis zu fassen. Andererseits führen der sich in Schafrichtung verschmälernde Knochendurchmesser und die Dickenzunahme der Kortikalis nach diaphysär oft zu einer Ablenkung des Drahtes nach intramedullär.¹ Bei der Versorgung von diaphysären Frakturen hat der elastisch stabile intramedulläre Nagel (ESIN) als geeignetes Verfahren durchgesetzt.^{8,10} Auch dieses Verfahren birgt aber im diaphysären Übergang technische Schwierigkeiten und Komplikationen. Um das Prinzip der 3-Punkt-Abstützung zu gewährleisten, muss der inserierte Nagel an der kontralateralen Seite der Insertionsstelle an der Gegenkortikalis zum Liegen kommen.¹¹ Befindet sich die Frakturlinie jedoch so weit distal, dass der Nagel die Fraktur kreuzt ohne zuvor Kontakt mit der Kortikalis erlangt zu haben, droht ein rotationsinstabiles Ergebnis mit der Gefahr einer sekundären Dislokation.¹

In der vorliegenden Arbeit sollen die oben erwähnten therapeutischen Methoden sowie deren Modifikationen, desweiteren die klinischen und radiologischen Ergebnisse der distalen diaphysären Radiusfrakturen, welche in der Kinderchirurgischen Klinik St. Hedwig Regensburg in den Jahren 2010 bis 2013 behandelt wurden, ausgewertet und mit der bisher vorhandenen Literatur verglichen werden. Lassen sich für die distale diaphysäre Fraktur beim Heranwachsenden allgemeingültige Therapieempfehlungen ableiten?

Wie bei allen Frakturen des Unterarms sollte primäres Therapieziel sein, möglichst rasch die Funktionalität ohne Einbußen der Rotationsfähigkeit wiederherzustellen.^{1,12}

1.2. Der Röhrenknochen im Wachstumsalter

Da bei der Knochenstruktur des Heranwachsenden einige Besonderheiten bzw. Unterschiede zum adulten Knochengüst bestehen, ergeben sich z.T. auch spezielle Bruchformen, die in der Erwachsenentraumatologie nicht existieren. Um auf die einzelnen Frakturformen einzugehen, muss man sich vorab jedoch die anatomisch wesentlichen Merkmale des kindlichen/juvenilen Knochens vor Augen führen.

Wie auch beim Erwachsenen besteht der kindliche Röhrenknochen aus einem zylinderförmigen Schaftbereich, der Diaphyse, sowie den beiden gelenkbildenden Knochenenden, den Epiphysen. Zwischen Epiphysen und Diaphyse befindet sich eine Übergangszone, die Metaphyse, mit der jeweils nach proximal bzw. distal anschließenden Wachstumszone, der Epiphysenfuge.¹³ Dieser zunächst nicht ossifizierte Bereich besteht aus hyalinem Knorpel, weshalb er röntgenologisch nicht darstellbar aber als unterbrochenes Areal im Verlauf des Knochens erkennbar ist. Außerdem stellt die Epiphysenfuge durch ihre überwiegend knorpeligen Anteile beim Heranwachsenden einen guten Puffer gegenüber axialen Stauchungstraumata dar und schützt das Gelenk.¹³⁻¹⁵ Weiterhin gewinnt der kindliche Knochen durch das noch sehr weiche, wenn auch stabile, Periost zusätzlich an Flexibilität. Dies lässt wiederum spezielle Frakturformen, wie Grünholz- oder Wulstfrakturen, zu, welche durch Scher- oder Biegungskräfte und nur im Rahmen frühkindlicher Knochentraumata entstehen.

1.2.1. Entwicklung von Röhrenknochen

Dickenwachstum

Während das Längenwachstum postnatal von den Epiphysenfugen ausgeht und der enchondralen Ossifikation entspricht, geschieht das Dickenwachstum des Knochens über das periost-endostale System. Bei dieser Form der perichondralen Ossifikation verdichten sich embryonal angelegte Mesenchymzellen zu Chondroblasten, die bereits ein Knorpelmodell des späteren Knochens abgeben. Um dieses native Grundgerüst bildet sich zunächst ein Perichondrium, in dessen Innerem sich Chondroblasten zu Osteoblasten differenzieren und somit verknöchern. So entwickelt sich aus Teilen des Perichondriums durch desmale Ossifikation direkt eine kurze knöcherne Manschette. Diese gewinnt im Laufe der Entwicklung nach proximal und distal an Länge. Das die Knochenmanschette peripher umgebene Perichondrium wird schließlich zum Periost, der mechanisch sehr robusten und vorerst flexiblen Knochenhaut.¹³ In ihrem Inneren wird die Knochenmanschette von Endost ausgekleidet. Während nun der periostale Knochenanbau zu einer Dickenzunahme führt, wirkt ein synchroner endostaler Knochenabbau der kontinuierlichen Gewichtszunahme entgegen. So sind diese zeitlebens aktiven An- und Abbauprozesse einerseits für das physiologische Wachstum verantwortlich, ermöglichen aber auch Umbauvorgänge sowie Knochenheilung nach Frakturen.^{15,16}

Längenwachstum

Während die Diaphyse und Epiphyse durch enchondrale Ossifikation kontinuierlich an Länge zunehmen, wird die Epiphysenfuge immer schmaler, behält aber bis zum Eintritt der Geschlechtsreife weitgehend ihre hyaline Struktur bei. Die Chondrozyten in der Fuge proliferieren stetig während des Wachstums, sodass sie der Ossifikationsfront bzw. des sich ebenfalls verlängernden Schaft in Richtung Epiphyse folgen. Die Lokalisation der Wachstumsfuge wird dabei von proximal und distal, von der Schaftmitte ausgehend, verlagert.¹³ Das Längenwachstum gilt als abgeschlossen sobald die Teilungsrate der Knorpelzellen (Chondroblasten) in der Epiphysenfuge so sehr zurückgeht, dass der knorpelresorbierende Vorgang der Chondroklasten, ausgehend von diaphysär, schließlich überwiegt und die ehemals knorpelige Epiphysenfuge mineralisiert und somit verknöchert.^{13 15} Dies führt letztlich dazu, dass zwischen Epi- und Metaphyse eine knöcherne Verbindung besteht.

1.2.2. Umbaupotenzial und Korrekturfähigkeit des distalen Unterarms

Der distale Unterarm bei Heranwachsenden unter 10–12 Jahren besitzt ein erhebliches Korrekturpotenzial.² Zunächst ist die Möglichkeit der Spontankorrektur größten Teils vom Wachstumspotenzial der betroffenen Region abhängig. Dieses kann durch Lokalisation der Fraktur, Alter sowie Fugenentwicklung abgeschätzt werden. Da der distale Unterarm mit bis zu 80 %¹⁷ am gesamten Wachstum beider Unterarmknochen beteiligt ist, besitzt eine Fraktur im distalen Segment eine wesentlich bessere Prognose sich im Laufe des Wachstums wieder aufzurichten, als weiter proximal gelegene Brüche. Hier sind die Grenzen zum spontanen Ausgleich der Achsabweichung durch Längenwachstum geringer.¹⁸ Außerdem wird bei der Therapiewahl unterschieden zwischen der Altersgruppe der unter 12-Jährigen und den Patienten, die das 12. Lebensjahr bereits überschritten haben. So gilt bei der jüngeren Patientengruppe für metaphysäre Frakturen eine Achsabweichung von $< 30^\circ$ in der Sagittalebene und $< 10^\circ$ in der Frontalebene als Toleranzbereich für die Wahrscheinlichkeit einer Spontankorrektur. Je älter der Patient und je weiter das Knochenwachstum vorangeschritten ist, desto enger werden die Grenzen der noch zu tolerierenden Dislokation. Für den Patienten älter 12 Jahre gelten lediglich Achsabweichungen $< 10^\circ$ in beiden Ebenen und Seit-zu-Seit-Verschiebungen ≤ 1 Schaftbreite als noch tolerabel und somit einer konservativen Therapie zuführen.^{3,19} Bei diaphysären Frakturen liegt die Korrekturgrenze dagegen für jüngere Kinder (< 10 Jahre) bei lediglich 10° in der Sagittalebene und 5° in der Frontalebene, später (> 10 Jahre) nur noch bei 5° in beiden Ebenen. Manche Autoren setzen die Altersgrenzen zur Spontankorrekturfähigkeit etwas früher – bei ca. 10 Jahren – an.^{1,20} Auch anhand des Zeitfensters wie lange sich der Knochen noch etwa im Längenwachstum befindet lässt sich die Grenze des Korrekturpotenzials ziehen. Bis zu zwei Jahre vor Ab-

schluss des Wachstums hält man eine Spontankorrektur in den genannten Grenzen für wahrscheinlich.¹⁸ Im Falle einer Rotationsfehlstellungen sollte jedoch in keinem Alter in ihrer Fehlstellung belassen und stets reponiert werden, da bei dieser Dislokationsform kaum Potenzial zur Spontankorrektur besteht.²¹

Für den diaphysären Übergang fehlen bisher Beschreibungen hinsichtlich der Spontankorrekturgrenzen, weshalb man sich der oben erwähnten Dislokationsgrenzen zur Orientierung bedient. Lieber und Sommerfeld empfehlen deshalb bei Heranwachsenden, die das 10. Lebensjahr bereits überschritten haben und sich dem Ende des Wachstumsprozess annähern, die Korrekturgrenzen denen der diaphysären Frakturen zuzuordnen. Den jüngeren Patienten, die das 10. Lebensjahr noch nicht erreicht haben, hingegen könne man aufgrund der noch sehr ausgeprägten Wachstumspotenz der Knochen die Korrekturgrenzen der metaphysären Frakturen zuordnen.¹

1.3. Frakturarten beim Heranwachsenden

Unter einer Fraktur versteht man eine Kontinuitätsunterbrechung, die durch Deformierung oder Stabilitätsverlust entsteht und zu einer Funktionseinschränkung des betroffenen Skelettabschnitts führt.²² Die Krafteinwirkung und Bewegungsrichtung bei Unfallvorgängen bestimmen dabei den Frakturverlauf. Es können aber auch pathologische Brüche bei/in Form von ossären Metastasen oder knöchernen Erkrankungen entstehen. Letztere ereignen sich bei Kindern glücklicherweise jedoch nur sehr selten. Wie jedoch bereits erwähnt weist der kindliche Knochen als Charakteristikum ein elastisches, starkes und widerstandsfähiges Periost auf. Dies ermöglicht die Entstehung von Fraktursonderformen, die am adulten Skelett nicht vorkommen.⁴

1.3.1. Grünholzfrakturen

Wulstfrakturen & Biegungsfrakturen

Die „gestauchte“ Grünholzfraktur, auch Wulstfraktur genannt, kommt gehäuft und lediglich metaphysär bei jüngeren Kindern (< 5. Lebensjahr) vor. Durch axiale Stauchungstraumata kommt es v.a. im metaphysären und etwas proximaleren Abschnitten zu Wulstfrakturen. Hierbei gibt das relativ elastische Periost sowie die noch sehr dünne Kortikalis nach und durch Einstauchung der Spongiosa kommt es zur Wulstbildung.²³ Therapie der Wahl ist hier fast ausnahmslos die konservative Ruhigstellung.

Als sogenannte „bowing fractures“ werden Frakturen bezeichnet, die sich vor allem jenseits des 10. Lebensjahrs bei Kindern ereignen. Es kommt hierbei zu multiplen Einrissen auf Seiten

der überbogen, konvexen Kortikalis. Die Biegungsfraktur ist radiologisch kaum darstellbar und es kommt auch im Rahmen der Ausheilung zu keiner sichtbaren Kallusbildung.¹⁴

Bei beiden Bruchformen bleibt der Periostschlauch intakt.²² Sowohl bei den Biegungsbrüchen, wie auch den Stauchungsfrakturen besteht nicht die Gefahr einer Refraktur.

Diaphysäre Grünholzfraktur

Ist die Kortikalis an der Konvexseite der Achsabweichung komplett durchbrochen, auf der Konkavseite hingegen Periost und Kortikalis weitestgehend intakt, so spricht man von der klassischen Grünholzfraktur. Bildlich lässt sich dies anhand eines jungen Astes, der überbogen wird und schließlich unvollständig nur auf der konvexen Seite durchbricht, vorstellen. So banal die Bezeichnung diese Fraktur vermuten lässt, birgt die Grünholzfraktur allerdings mit 20–35 %¹⁴ Refrakturen im ersten posttraumatischen Jahr, wenn unter konservativer Therapie zuvor keine Durchbrechung der Gegenkortikalis erfolgt ist, eine erhebliche Komplikationsrate.

Die diaphysäre Grünholzfraktur kann neben Refrakturen auch erhebliche Komplikationen wie Pseudarthrose und verstärkte sekundäre Achsabweichung nach sich ziehen.²³ Deshalb sollten Frakturen mit einer Lokalisation in diesem Bereich entweder vor einer „Ruhigstellung in komplette Frakturen überführt werden“²³ oder mit einer Osteosynthese versorgt werden.

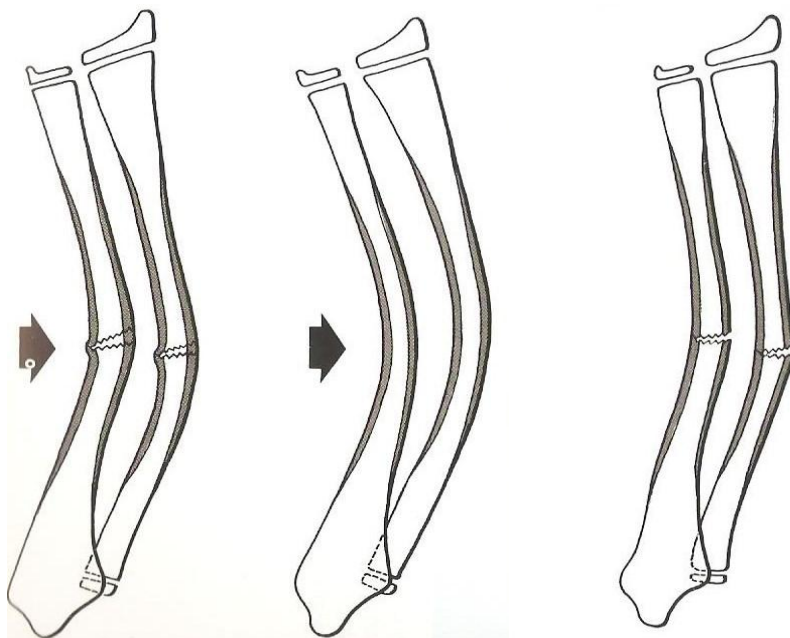


Abbildung 1

Die „bowing fractures“. Links: Einstauchung auf Konkavseite, Konvexseite leicht frakturiert Periost intakt; Mitte: Kortikalis auf beiden Seiten gebogen, ohne sichtbare Frakturzeichen; Rechts: Grünholzfraktur mit frakturierter Kortikalis auf Konvex-und Konkavseite, Periost auf Konkavseite noch intakt¹⁴

Metaphysäre Grünholzfrakturen

Auch an der Metaphyse kann es zu Grünholzfrakturen kommen. Diese sind jedoch im Gegensatz zu denen im Schaftbereich nicht von Refrakturen betroffen, da der Umfang des Knochens und der Anteil der Spongiosa eine ausreichende Abstützung ermöglichen. „Partielle Pseudarthrosen“ kommen jedoch auch im metaphysären Bereich vor, wenn keine regelmäßige Kompression beider Fragmente erfolgt.²⁰

1.3.2. Apophysenlösungen

Im Bereich der Metaphyse kommt es im Wachstumsalter oftmals zu ossären Muskelausrissen, den sog. Apophysenlösungen. Morphologisch ähnelt die Apophyse der Epiphyse ist jedoch nicht am Längenwachstum beteiligt und führt somit nicht zu posttraumatischen Wachstumsdefiziten.²⁰

1.3.3. Epiphysenlösungen (Salter-Harris I und II)

Zu den metaphysären Frakturen werden außerdem die Epiphysenlösungen gezählt. Die Epiphysenlösungen können entweder ohne (Salter I) oder mit metaphysärem Keil (Salter II) auftreten. Sie entstehen durch transversale Abscherkräfte im Bereich des Blasenknorpels, der sich durch geringe mechanische Festigkeit „locus minoris resistentiae“ auszeichnet.²⁴ Hormonelle Prozesse in der Pubertät führen zur Lockerung des Gewebes, was es anfälliger für Verletzungen macht. Sie treten an der oberen Extremität bis zu 4-mal häufiger auf als an der Unteren.³ Da Epiphysenlösungen besonders häufig um das 12./13. Lebensjahr auftreten, muss in der Regel mit keiner Wachstumsstörung mehr gerechnet werden. Außerdem liegt die Läsion nicht in der Region des wachsenden Epiphysenknorpels, dem stratum germinativum.²⁵

1.4. Klassifikationen für Frakturen der langen Röhrenknochen im

Kindesalter

Diverse Frakturklassifikationen ermöglichen in der Medizin eine schnelle, sichere und einheitliche Zuordnung von einfachen sowie komplexen Frakturen. So lassen sich epidemiologische und klinische Daten einfach sammeln und vergleichen. Außerdem können diagnostische sowie therapeutische Maßnahmen retrospektiv auf ihre Effektivität und Effizienz systematisch evaluiert und ebenfalls verglichen werden.⁷

Lange Zeit erfolgte die Einteilung von Frakturen der langen Röhrenknochen in der pädiatrischen Traumatologie anhand der AO (Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen) Klassifikation für Frakturen des ausgereiften Skeletts.

Der kindliche Knochen unterscheidet sich in seiner Morphologie jedoch in einigen entscheidenden Faktoren deutlich vom adulten Knochen. Daraus ergibt sich auch eine Frakturgeometrie, die im Gegensatz zu Frakturen beim Erwachsenen, deren Verletzungsmuster vor allem durch den Unfallmechanismus bestimmt wird, beim Heranwachsenden vor allem vom Alter und Reifegrad der Epiphysenfuge abhängt.⁷

Um jedoch auch bei Kindern und Jugendlichen passende Qualitätskontrollen, sowie pro- und retrospektive Studien durchführen zu können, musste eine speziell auf den kindlichen Knochen abgestimmte Klassifikation entwickelt werden. Im Jahr 2007 wurde von der *AO Pediatric Expert Group (PAEG)*, der *AO Pediatric Classification Group*, in Zusammenarbeit mit der *AO Investigation and Documentation (AOCID) Group* die erste umfassende AO-Klassifikation für Frakturen im Wachstumsalter (PCCF, „Pediatric Comprehensive Classification of Long-Bone Fractures“) vorgestellt.²⁶⁻²⁸

Diese und die inzwischen ebenfalls validierte LiLa-Klassifikation der Mitglieder der Sektion der Kindertraumatologie der DGU und LiLa (Licht und Lachen für Kranke Kinder; Effizienz in der Medizin e.V.)⁶ dienen dem Zweck pro- und retrospektiv Daten zu erheben, zu sammeln und zu vergleichen um daraus evidenzbasierte Therapieempfehlungen ableiten zu können.⁷

1.4.1. Die PAEG-Klassifikation (Klassifikation der AO Paediatric Expert Group)

Die PAEG-Klassifikation wurde in Anlehnung an die Müller-AO-Klassifikation²⁹ für Erwachsene erstellt. Durch zusätzliche Kodierungsmuster wird es jedoch ermöglicht kindheitsspezifischen Fraktureigenschaften mit zu verschlüsseln.⁷

Das Prinzip der Klassifikation orientiert sich an dem anatomischen und morphologischen Aufbau, der wiederum in drei Abschnitte unterteilt wird bzw. je nach Schweregrad unterteilt werden kann.^{27,28}

Entsprechend der AO-Klassifikation bezeichnet der erste Teil der Kodierung der PAEG-Klassifikation die Frakturlokalisierung, der zweite hingegen beschreibt die Morphologie.

So ergibt sich ein Schema ähnlich dem für Erwachsene.⁵

Lokalisation	Morphologie
Knochen; Knochensegment; Subsegment	Frakturart; ggf. Zusatzcode

Tabelle 1
Aufbau der AO-Klassifikation für lange Röhrenknochen⁵

1.4.2. Lokalisation

Extremität

Die erste Zahl entspricht der Lokalisation der Frakturen und orientiert sich an den vier langen Röhrenknochen: 1 = Humerus, 2 = Radius/Ulna, 3 = Femur, 4 = Tibia/Fibula.⁵ Bei paarigen Knochen kann dann der ersten Zahl noch der Anfangsbuchstabe des traumatisierten Knochens (r = Radius, u = Ulna, t = Tibia, f = Fibula) folgen. Sind beide Knochen betroffen, muss jeder einzeln kodiert werden. Im Sonderfall einer Monteggia- oder Galeazzifraktur wird nur der frakturierte Knochen klassifiziert⁵.

Knochensegment

An zweiter Stelle wird noch genauer unterteilt in die drei Abschnitte: 1 = proximal, 2 = diaphysär und 3 = distal.

Subsegment

Anders als beim Erwachsenen werden jedoch das proximale und distale Segment nochmal in die beiden Subsegmente Metaphyse (M) und Epiphyse (E) untergliedert. Zur Bestimmung der Metaphyse behilft man sich hierbei eines Quadrats mit der Seitenlänge, die der gesamten Länge der Epiphysenfuge entspricht. Dieses wird dann im Röntgenbild in der anterior-posterioren-Ebene über die Epiphysenlänge gelegt.⁵

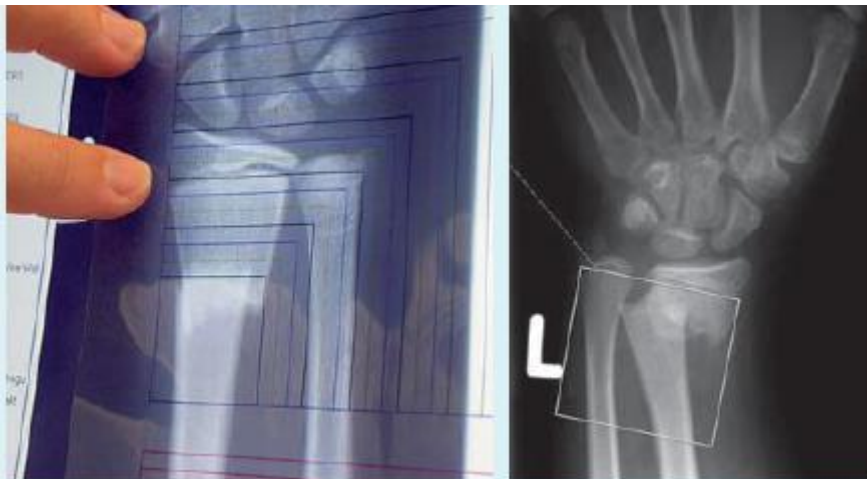


Abbildung 2

Möglichkeiten in anterior-posterior Ebene im Röntgenbild die Metaphyse am Knochen festzulegen: jeweils mittels eines Quadrats mit der Seitenlänge, die der gesamten Breite der Epiphysenfuge entspricht und proximal der Epiphysenfuge gelegt wird. Dies kann mittels einer transparenten Quadratschablone (linke Abbildung) oder mit Hilfe eines Winkelmessungsprogramms am Computer (rechte Abbildung) geschehen.⁵

1.4.3. Morphologie

Frakturmuster

Die vierte Zahl entspricht der Frakturart, das für das jeweilige Subsegment E, M oder D spezifisch ist.

Unter den epiphysären Frakturen (E) können die Salter-Harris-Frakturen I-IV (jeweils E/1-4) näher definiert werden. Auch Übergangsfrakturen wie Tillaux Two (ohne metaphysärem Keil)- und Triplane (mit metaphysärem Keil) (E5/6), epiphysäre Bandausrisse (E/7), sowie Abscherfrakturen (E/8) werden berücksichtigt. Sonstige epiphysäre Frakturmuster werden unter E/9 subsumiert.⁵

Für die Unterteilung metaphysärer Frakturmuster (M) bietet die Klassifikation Verschlüsselung für Wulst-, Spiral- und Grünholzfrakturen (M/2), komplette Frakturen (M/3), sowie Avulsionsfrakturen (M/7).⁵ Gelingt keine passende Zuordnung, wird dies unter „sonstige metaphysäre Frakturen“ (M/9) kodiert.

Ist die Fraktur im diaphysären Abschnitt (D) des Knochens lokalisiert kann näher unterteilt werden in Biegungsfrakturen (D/1), Grünholzfrakturen (D/2) und „toddler fractures“ (D/3). Komplette Frakturen können untergliedert werden in Querfrakturen (D/4) mit einem Winkel zwischen Frakturlinie und Senkrechter zum Knochen $< 30^\circ$ und Spiral- oder Schrägfrakturen (D/5) mit eben diesem Winkel $> 30^\circ$. Außerdem fließen noch die beiden Sonderformen der Schaftfrakturen *Monteggia* (D/6) und *Galeazzi* (D/7) in die Klassifikation mit ein.⁵

Schweregrad

An fünfter Stelle wird der Schweregrad der Fraktur angegeben. Hier unterscheidet man lediglich zwischen einfacher (1) und komplexer (2) Fraktur. Unter letztere fallen somit sowohl teilweise stabile Keilfrakturen mit drei Fragmenten, als auch instabile Trümmerfrakturen.²⁹

Zusatzcode

Die letzte Stelle dient der Spezifizierung von zwei bestimmten Frakturen und findet deshalb auch nur bei diesen Verwendung. Sie wird einerseits bei supracondylären Humerusfrakturen (13-M/3) verwendet um das Ausmaß der Dislokation zu graduieren (I–III), andererseits werden Radiuskopffrakturen (21-M/2 oder /3 sowie 21-E/1 oder /2) gemäß ihrer axialen Abweichung und ihrem Dislokationsausmaß näher beziffert (I–IV).⁵

1.4.4. Die LiLa (Verein „Licht und Lachen für kranke Kinder e. V.“)- Klassifikation

Der Verein „Licht und Lachen für kranke Kinder e.V.“ wurde gegründet mit der Zielsetzung die Kompetenz von Ärzten sämtlicher pädiatrischer Fächer zu verbessern. Durch gezielte

Fortbildungen, multizentrisch durchgeführte Studien, Klassifikations- und Dokumentationssysteme wird versucht Therapieoptionen zu evaluieren und somit bestmögliche und standardisierte Behandlungskonzepte zu erstellen.³⁰

In Zusammenarbeit mit dem Institut für Evaluative Forschung in Orthopädischer Chirurgie (IEFO) wurde deshalb im Jahr 2000 die „LiLa-Klassifikation für Frakturen der langen Röhrenknochen im Wachstumsalter“ vorgestellt³¹ und im Verlauf abgeändert.³²

Der Aufbau der Klassifikation gestaltet sich ähnlich der AO-Klassifikation nach Slongo et al. in einen ersten Abschnitt mit genaueren Angaben zur Lokalisation und einen Zweiten, der die Frakturmorphologie näher beschreibt. Außerdem wird das Dislokationsausmaß sowie ggf. – im Falle einer alleinigen Fraktur der Ulna bzw. Fibula – eine genauere Spezifizierung mit angegeben.

Lokalisation			Morphologie		
1. Stelle	2. Stelle	3. Stelle	4. Stelle	5. Stelle	6.Stelle
Lokalisation im Skelett (1–4)	Lokalisation im Knochen-segment (1–3)	Lokalisation – Gelenk (a) – Schaft (s)	Spezifizierung Morphologie – Gelenk (1–5) – Schaft (1–5)	Dislokationsausmaß – Undisloziert (0) – Tolerabel (1) – Nicht tolerabel (2)	(Ausnahme) Paarige Knochen – Ulna (U) – Fibula (F)

Tabelle 2
Aufbau der LiLa-Klassifikation^{31,32}

Dabei entspricht die erste Zahl der des frakturierten Knochens (1 = Humerus, 2 = Radius/Ulna, 3 = Femur, 4 = Tibia/Fibula).

Mit der der zweiten Ziffer wird die Lokalisation am Knochen definiert (1 = proximale Epiphyse/Metaphyse, 2 = Diaphyse, 3 = distale Epiphyse/Diaphyse). Ähnlich der AO-Klassifikation nach Slongo behilft man sich hierbei zur Bestimmung der Metaphyse eines Quadrates mit Seitenlänge der Länge Epiphysenfuge. Ausgehend von der Epiphysenfuge zur Knochenmitte hin erhält man somit die Grenze von Dia- zu Metaphyse. Allerdings wird bei paarigen Knochen lediglich der tragende Knochen (Radius, Tibia) in die Messung mit eingeschlossen.

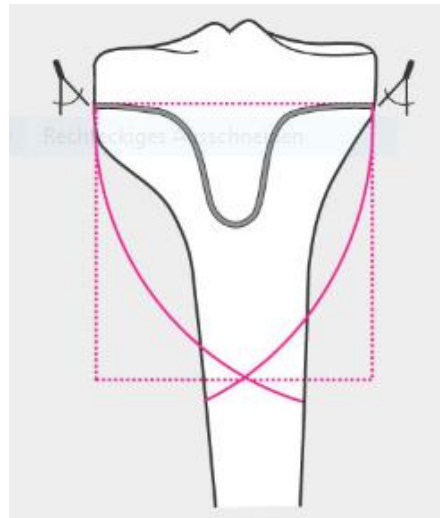


Abbildung 3
Definiertes Areal der Metaphyse mit Hilfe eines Quadrats mit Seitenlänge der Epiphysenfugenlänge. (von Laer L., Kraus R.)

An dritter Stelle wird angegeben ob es sich um eine Gelenk- oder Schaftfraktur handelt. Da nur Frakturen mit Beteiligung der Gelenkfläche als Gelenkfrakturen gewertet werden, wird die Epiphysenlösung hier beispielsweise zu den periphersten Schaftfrakturen gezählt.³²

Die vierte Ziffer beschreibt die Frakturmorphologie näher und unterteilt in 4 Frakturarten und einer letzten Gruppe mit seltenen bzw. sonstigen Frakturen.³²

Das Ausmaß der Dislokation wird mit der 5. Stelle angegeben. Wichtig ist diese Angabe insofern als, dass der kindliche Knochen bis zu einem erstaunlichen Ausmaß die Fähigkeit zur Spontankorrektur besitzt.³²

Von der sechsten Stelle wird lediglich Gebrauch gemacht, wenn eine isolierte Fraktur der Ulna oder Fibula vorliegt. Sind bei paarigen Knochen jedoch beide frakturiert, so wird nur der haupttragende, sprich Radius oder Tibia, codiert und die sechste Stelle entfällt.

1.5. Therapie.

Für die Therapie der distalen diaphysären Radiusfrakturen stehen sowohl konservative als auch operative Behandlungen zur Auswahl. Da es bis dato keinen einheitlichen Therapiealgorithmus für die Fraktur des Übergangs von Dia- zu Metaphyse gibt¹, muss der Behandler bei jedem Patienten sowohl den Grad der ursprüngliche Dislokation, das Patientenalter bzw. die Knochenreife, die Frakturlokalisierung und die Stabilität der Fraktur berücksichtigen.^{8,34}

Auch sollten die oben erwähnten Grenzen der Spontankorrekturfähigkeit, in Anlehnung an die der Dia- und Metaphyse, abhängig vom Alter mit in die Entscheidungsfindung einfließen.

Durch ihre Lage im Übergang von Dia-zu Metaphyse stellen auch die Verfahren, die jeweils bei metaphysären bzw. diaphysären Frakturen zur Anwendung kommen, eine Therapieoption für diametaphysäre Frakturen dar.

Bei instabilen metaphysären Frakturen gilt heute die perkutane transepiphysäre bikortikale Kirschner-Draht Osteosynthese (bikortikale Kirschner-Draht-Osteosynthese) als Mittel der Wahl.^{8,9} Diese Methode erweist sich bei diametaphysären Frakturen jedoch oft als technisch schwierig. Ursächlich hierfür ist das für diese Technik relativ lange distale Fragment und die dadurch lange Strecke, die der Kirschner-Draht zurücklegen muss bevor er in der Gegenkortikalis des proximalen Fragments verankert werden kann. Hierdurch trifft der Draht in einem steilen Winkel auf die Gegenkortikalis und kann unter Umständen nicht in dieser verankert werden. Außerdem erschweren auch der nach diaphysär schmaler werdende Knochendurchmesser sowie die dicker werdende Kortikalis die korrekte Spickung der Kortikalis im proximalen Fragment und führen oftmals noch zusätzlich zu einer intramedullären Ablenkung des Kirschner-Drahtes.¹

Liegt eine Fraktur im diaphysären Bereich gilt heute die elastisch stabile intramedulläre Nagelung (ESIN) als Goldstandard, um die Fraktur zu fixieren.³⁵ Obligat zur Frakturfixierung ist hier das Prinzip der 3-Punkt Abstützung⁸. Technisch schwierig ist die Umsetzung dieses Verfahrens jedoch bei diametaphysären Frakturen. In diesem Bereich kreuzt der Nagel oft die Fraktur ohne zuvor Kontakt mit der Kortikalis des distalen Fragments erlangt zu haben. Dadurch ist die Osteosynthese oft nicht stabil und es droht die Abkippung des distalen Fragments mit der Folge sowohl kosmetischer als auch funktioneller Einbußen.

Da sich die distale diametaphysäre Radiusfraktur also für die metaphysäre Frakturbehandlung, im Sinne einer bikortikalen Kirschner-Draht-Osteosynthese, oft als zu weit proximal und für die Therapie diaphysärer Frakturen durch einen ESIN oft als zu weit distal erwiesen hat, führte diese Problematik schließlich zu technischen Modifikationen dieser Verfahren. Diese finden heute Anwendung in der Therapie diametaphysärer Frakturen.^{1,36} Bisher gibt jedoch noch keine Studie, die eine Überlegenheit eines bestimmten Verfahrens oder deren Modifikation in dieser Lokalisation bestätigt.

1.5.1. Geschlossene Reposition und konservative Therapie

Nach wie vor stellt die nichtinvasive Behandlung im Wachstumsalter die häufigste Therapieform dar.³ In jüngster Vergangenheit ergibt sich jedoch ein Trend zur operativen Versorgung. Diese Entwicklung ist nicht zuletzt den immer sichereren, minimal invasiven Techniken zu verdanken, sondern auch den Vorzügen der schnelleren Mobilität und Vermeidung sonstiger Unannehmlichkeiten, wie z.B. pflegerische Versorgung etc.³⁷

Undislozierte Frakturen oder solche mit einer tolerablen Dislokation können und werden aber meist konservativ behandelt. Von einer noch tolerierbaren Dislokation spricht man bei Frakturen, die durch das noch erfolgende Längen- und Dickenwachstum des betroffenen Knochens – sein wachstumsassoziiertes Spontankorrekturpotenzial – ausgeglichen werden können.³⁴ Wie eingangs bereits erwähnt, gibt es hierfür bei bestimmter Lokalisation und bestimmten Patientenalter einige Grenzen zu berücksichtigen.

Eine Indikation zur konservativen Behandlung kann sowohl für stabilen Frakturen als auch instabile Frakturen bestehen. Bei stabilen Frakturen kann es sich u.a. um Grünholzfrakturen, metaphysäre Wulst- oder Stauchungsfrakturen handeln. Trotz relativer Instabilität können Frakturen nach Reposition und ausreichender Stabilität auch einer konservativen Therapie unterzogen werden.³

Unter einer Reposition versteht man eine Manipulation mit dem Ziel, die beiden Frakturfragmente in eine tolerable Position zu überführen. Entscheidend für eine erfolgreiche Knochenbruchbehandlung ist die Kenntnis dieser Technik.¹⁸ Außerdem sollte als Grundvoraussetzung für eine gute Reposition und Retention eine ausreichende Analgesie gegeben sein.³⁴ Außer der Schmerzausschaltung, ist auch die Beruhigung und Anxiolyse gewünscht. Lange Zeit ist man davon ausgegangen Kinder seien immer einer Vollnarkose zu unterziehen. Heute wird Regionalanästhesie sowohl als alleinige Anästhesieform als auch in Kombination mit der Allgemeinnarkose zur Schmerzbehandlung angeboten.²⁰

Besteht bei einer Fraktur eine Achsabweichung, die man weder sekundär durch Gipskeilung, noch durch die Fähigkeit zur Spontankorrektur beheben kann, ist eine Reposition indiziert.

Schon in den 1940er Jahren postulierte Lorenz Böhler die allgemein gültige „3R-Regel“ „Retention, Reposition und Rehabilitation.“ zur korrekten Versorgung von Frakturen.³⁸

Reposition

Bei der Art der Reposition unterscheidet man zwischen direkter und indirekter Reposition. Wobei die direkte nur offen also operativ erfolgen kann, wohingegen die indirekte Reposition sowohl offen als auch geschlossen durchgeführt werden kann. Beiden Verfahren ist, wie bereits erwähnt, eine ausreichende Analgesie ggf. Anästhesie vorauszusetzen.³⁴ Je nach Alter und Dislokationsgrad kann dies durch Analgosedierung oder Vollnarkose erfolgen.²¹

Manuelle Repositionsmanöver richten sich nach der Dislokationsrichtung der Fraktur. Liegt eine Dislokation nach dorsal vor, wird zuerst die Radialverschiebung wieder reponiert. Dies kann beispielsweise durch Zug an der Hand unter Kippung nach ulnar und Gegenzug am Unterarm erreicht werden. In einem zweiten Schritt wird die dorsale Dislokation reponiert. Hierzu umgreift der Arm des behandelnden Arztes von palmar den distalen Unterarm, mit der

anderen Hand wird auf das distale Fragment von dorsal Druck ausgeübt. Um einer Abkipfung nach palmar vorzubeugen, sollte der Druck dabei nicht zu stark erfolgen.³⁹

Bei Dislokation nach palmar werden die beiden Frakturfragmente durch Zug und Gegenzug des Unterarms initial in der Frontalrichtung wieder aufgerichtet. Anschließend erfolgt die Reposition in der Sagittalebene durch eine Hand die von dorsal das proximale Fragment umgreift und somit als Gegenlager dient. Die zweite Hand des Behandlers liegt palmarseitig quer über der Handwurzel des distalen Fragments. Durch Druck der Hand am distalen Ende gelingt es das verschobene Fragment nach dorsal in die korrekte Position zu überführen.³⁹

Retention

Nach erfolgreicher Reposition und Kontrolle auf Stabilität und Position mittels Bildwandler erfolgt die Ruhigstellung. Bei der einfachen Retention werden die angrenzenden Gelenke miteinbezogen, um falsche Bewegungen und somit eine sekundären Dislokation zu vermeiden.² Unter konservativer Retention werden hierbei alle fixierenden Maßnahmen subsummiert, die keinen operativen Zugang zur Frakturstabilisierung benötigen. Darunter fallen Verbände, Stützverbände und Extensionen. Diese können je nach Frakturart einer Reposition vorweg bedürfen, meist wird dann zusätzlich entweder eine Lokal-, Leitungs-, oder Allgemeinnarkose mit Analgesie durchgeführt.⁴⁰

Gips

Die konventionelle Gipsanlage erfolgt in hängender oder gehaltener Position des Armes mit ca. 10–20 Grad dorsalflektiertem Handgelenk die Anlage einer dorsalen Gippschiene oder eines komplett gespaltenen Gipsverbandes. Von einem zirkulärem Gips zur Primärversorgung einer Fraktur ist jedoch wegen der in den ersten Tagen vorherrschenden Schwellung abzusehen.⁴¹ Wurde primär ein gespaltenen Gipsverband angelegt, wird etwa am 4.-7. Tag, nach Abschwollen der Weichteile, der Gips zirkuliert geschlossen und eine röntgenologische Stellungskontrolle durchgeführt. In der Regel ist ein Unterarmgips bei stabilen Frakturverhältnissen ausreichend, bei jüngeren Patienten unter 10 Jahren kann ggf. auf eine Oberarmgippschiene zur Analgesie durch Schutz vor Umwendbewegungen und Gipsverlust erweitert werden.^{1,42} Es sollte stets eine Hyperextension im Handgelenk vermieden werden, um einer Medianuskompression vorzubeugen. Auf Seiten der Ulna wird dabei bis zur Handkante gegipst, auf der Seite des Radius wird bis einschließlich des Daumenballens gegipst. Anschließend erfolgt eine erneute Stellungskontrolle. Am folgenden Tag sollte neben der Gipskontrolle auch die Motorik, Sensibilität und Durchblutung der Finger überprüft werden.⁴³ Auch sollte der Patient bzw. dessen Eltern neben den Pflegehinweisen für den Gips

auch auf mögliche Komplikationen im Sinne eines Kompartmentsyndroms hingewiesen werden. So sollte bei zunehmenden Schmerzen, Kribbeln, Taubheits- oder Kältegefühl sowie Blauverfärbung der Finger umgehend eine Wiedervorstellung erfolgen. Die lange Konsolidierungszeit und damit verbundene Sportkarenzperiode von ca. 6–7 Wochen stellen einen nicht unerheblichen Nachteil dieser Therapieoption dar.¹ Der Gips kann nach ca. 3–3,5 Wochen nach klinischer Kontrolle und druckschmerzfreiem Kallus entfernt werden. Auch bedarf es i. d. R. keiner weiteren Nachkontrollen.⁴²

1.5.2. Operative Therapie

Kann durch das alleinige Repositionsmanöver keine ausreichende Stabilität erreicht werden muss ein operatives Vorgehen zur Frakturversorgung gewählt werden. Mangels eines allgemein gültigen Behandlungsalgorithmus bei der diaphysären Fraktur im Wachstumsalter⁴⁴ stehen unterschiedliche operative Verfahren zur Auswahl. Wichtig ist, dass bereits in der ersten Narkose die primär definitive Therapie gewählt wird. Spätere Revisionen mit ggf. erneuter Kreuzung der Epiphysenfugen bergen ein erhöhtes Komplikationspotenzial im Sinne einer Wachstumsstörung oder -verzögerung. Außerdem sollte die Osteosynthese technisch einfach und schnell durchführbar sein und so wenig invasiv wie nötig. Idealerweise sollte unter der Osteosynthese für den Patienten eine übungs- und bewegungsstabile Situation geschaffen werden, die keiner zusätzlichen Ruhigstellung bedarf und eine möglichst schmerzfreie Beübung zulässt.¹

1.5.2.1. Kirschner-Drahtosteosynthesen

Da bei metaphysären Frakturen dieser Altersgruppe die bikortikale Kirschner-Draht-Osteosynthese Therapie der Wahl darstellt^{8,9} liegt auch der Gedanke einer Ruhigstellung mittels ebenderselben Osteosynthese bei etwas weiter proximal liegenden diaphysären Frakturen nahe. Von Laer et al.²⁰ sieht die Indikation vor allem bei denjenigen Frakturen, die zwar „gut zu reponieren, aber schlecht zu retinieren“ sind und deren peripheres Fragment sehr kurz ist. Da die Retention mittels bikortikaler Kirschner-Drähte nach wie vor einer Ruhigstellung im Gips- oder Softcast bedarf wird die Therapie gewissermaßen als Bindeglied zwischen operativem und konservativem Vorgehen angesehen.⁴⁵

Bikortikale Kirschner-Drahtosteosynthese

Bei der 1920 von Martin Kirschner entwickelten bikortikalen Kirschner-Draht-Stabilisierung verwendet man Drähte aus Edelstahl oder Titan mit variabler Dicke von 0,5–2 mm.⁴⁶ Bei der klassischen bikortikalen Kirschner-Drahtspickung wird die Fraktur zunächst, wie bei rein konservativer Vorgehensweise, reponiert. Anschließend werden über einen kleinen

Inzisionsschnitt an der Tabatiere die Drähte (mit 1,6–1,8 mm Dicke) über den Proc. Styloideus radii möglichst seitlich nach proximal ulnar eingeführt. Der Schnitt sollte dabei möglichst klein gehalten werden, um das Risiko einer Sehnen- oder Nervenirritationen möglichst zu minimieren.⁴⁷ Hilfreich kann hierbei eine Stichinzision zur Darstellung des Ramus superficialis des N. radialis sein.²¹ Die Stabilisierung der beiden Frakturfragmente erfolgt schließlich über einen oder zwei – unter Umständen auch mehrere – sich kreuzender Drähte, die in der Gegenkortikalis verankert werden bzw. die Gegenkortikalis perforieren.^{3,21} Somit werden die Frakturfragmente überbrückt und adaptiert ohne dabei komprimiert zu werden. Die Anzahl der fixierenden Drähte hängt dabei von der Stabilität in der der Fraktur ab. Ist diese in der Frontalebene stabil und redisloziert nur in der Sagittalen ist ein Draht ausreichend. Bei Mehrsegmentfrakturen oder Frakturen die in der Frontalebene instabil erscheinen sollten zwei oder mehr Drähte zur Stabilisierung verwendet werden.⁴⁸ Jeder weitere Draht dient hierbei zur Verbesserung der Rotationsstabilität. Da jedoch allein durch die Drähte keine übungstabile Situation geschaffen werden kann, ist eine additive Gipsruhigstellung bis zur knöchernen Konsolidierung notwendig.²⁰ Aus Gründen der Rotationsstabilität sollte auch darauf geachtet werden, dass bei mehreren Drähten die Kreuzung nicht über der eigentlichen Fraktur erfolgt. Nach abgeschlossener Positionierung erfolgt das Umbiegen, Kürzen und weiteres Vorschieben der Drähte. Auch können die Drahtenden über Hautniveau bestehen bleiben, um die spätere Metallentfernung zu erleichtern. In beiden Fällen erfolgt unmittelbar die Anlage einer dorsovolaren Unterarmgipsschiene.^{20,21} Mittels Bildwandler wird abschließend die korrekte Position der Drähte und somit ein gelungenes Repositions- und Retentionsergebnis kontrolliert.⁴⁹ Die Kischner-Drähte werden, je nach Alter, ca. 3–5 Wochen in situ belassen. Die Metallentfernung kann unter Lokalanästhesie in einem kleinen Eingriff im ambulanten Setting stattfinden.



Abbildung 4

Kontrollröntgenaufnahmen einer distalen diaphysären Radiusfraktur im distalen Drittel nach Versorgung mit zwei perkutanen transepiphysären bikortikalen Kirschner-Drähten (PTBKD) in sagittaler und frontaler Projektion. Die Fraktur liegt soweit distal, dass es gelingt mit den Drähten die Frakturlinie zu kreuzen, um diese dann anschließend in der Gegenkortikalis zu fixieren. Je weiter proximal die Frakturlinie verläuft, desto schwieriger gelingt dies und desto steiler müssen die Drähte eingebracht werden mit der Gefahr, dass sie nach intramedullär abrutschen.

Intrafokale Kirschner-Draht-Osteosynthese nach Kapanji

Eine Abwandlung dieser Frakturbehandlung bietet die intrafokale Methode nach Kapanji. Bei dieser Technik werden die Drähte direkt über den Bruchspalt eingeführt, sodass das distale Fragment nicht angebohrt werden muss. Von radial wird der erste Draht durch den Bruchspalt in den Markraum vorgeschoben, um 45° umgelegt und proximal in der Gegenkortikalis verankert. Weitere Drähte werden von ulnar und mittig durch den Bruchspalt eingeführt und in der Kortikalis des proximalen Hauptfragments fixiert.⁴⁸ Bei dieser Methode kann die Reposition durch Aufhebeln des distalen Fragments geschehen und bedarf keines vorangehenden Repositionsmanövers. Da auch bei dieser Technik keine Übungsstabilität im Handgelenk erreicht werden kann, muss ebenfalls eine Gipsschiene angelegt werden bzw. eine additive Retention erfolgen.⁴⁵

1.5.2.2. Elastische stabile intramedulläre Nagelung

Die ESIN gilt heute als bevorzugtes Verfahren der Therapie von diaphysären Frakturen langer Röhrenknochen im Wachstumsalter. Durch zwei gegenläufig eingebrachte, flexible Stahl- oder Titandrähte behilft man sich des Prinzips der 3-Punkt-Abstützung und wandelt somit Scherkräfte in Kompressions- und Zugkräfte um. Außerdem ermöglicht die Elastizität der

Nägel Mikrobewegungen entlang des Frakturverlaufes, was die Kallusbildung stimuliert und somit die knöcherne Konsolidierung fördert.^{10,11,46}

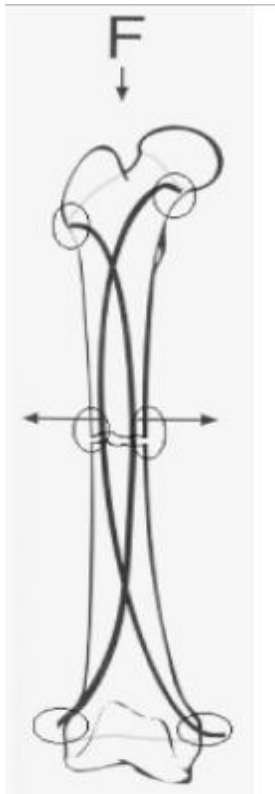


Abbildung 5
Abstützpunkte und
Rückstellkräfte bei elastischen
Markraumnägeln (Intrameduläre
Stabilisierung von
Schaftfrakturen im
Wachstumsalter Rether, J.R.)

Die Elastizität der Nägel birgt zusätzlich den Vorteil, dass der Knochen nach exzentrischer Krafteinwirkung stets wieder in seine ursprüngliche Form zurückgestellt wird. Die Rückstellkräfte der ESIN machen dieses Verfahren somit zur bewegungs- und teilbelastungsstabilen Osteosyntheseform, welches keiner additiven Ruhigstellung bedarf.³

Das biomechanische Prinzip beruht auf dem Aufspreizen zweier elastischer Markraumschienen aus Titan oder Stahl, die von metaphysär eingebracht werden. Durch die Achsensymmetrie entstehen dadurch innerhalb des Markraums drei Abstützpunkte.

Einer dieser Punkte befindet sich an der Insertionsstelle am Knochen, ein weiterer an der jeweiligen Gegenkortikalis auf Frakturhöhe, außerdem finden die Nägel Verankerung in der metaphysären Spongiosa des Gegenfragments.¹¹ Die bereits

erwähnten Rückstellkräfte bewirken somit, dass die Nägel, z.B. nach axialer Stauchung, wieder in ihre ursprüngliche Position überführt werden. Durch entsprechendes Vorbiegen der Nägel kann die Nullposition, der Kreuzungspunkt der Nägel und somit der Abstützpunkt auf Frakturhöhe variiert

werden. Dies macht man sich bei Brüchen, deren Frakturverlauf außerhalb der Diaphyse verläuft zu Nutzen. So kann diese Osteosyntheseform auch bei weiter metaphysär gelegenen Frakturen, wie der diametaphysären, durch entsprechend stärkeres Vorbiegen zur Retention genutzt werden.¹¹

Der Unterarm unterscheidet sich in der Frakturbehandlung mittels ESIN von denen der größeren Röhrenknochen insofern, als dass hier jeweils nur ein Implantat in den entsprechenden Knochen eingebracht wird. Eine Fixierung mittels ESIN am Unterarm erfordert das kombinierte Einbringen jeweils eines Nagels einerseits retrograd am Radius sowie meist antegrad über den posterolateralen Teil des Olecranon an der Ulna.¹⁰ Dementsprechend wird auch die Dicke der Nägel anders gewählt. Gilt bei Humerus, Femur und Tibia je 1/3 des Markdurchmessers an der engsten Stelle als Richtwert für den Nageldurchmesser, beträgt dieser bei Radius- und Ulnafrakturen jeweils 2/3 des Markraumdurchmessers an engster

Stelle. Auch erfolgt im Gegensatz zum Vorgehen bei den größeren Röhrenknochen bei Unterarmfrakturen in der Regel keine Vorbiegung der Nägel. Dies erhöht zwar die Stabilität und verlagert den inneren Anpresspunkt in Richtung Metaphyse, erschwert jedoch das Einbringen des Nagels.¹¹ Ge et al.⁵⁰ konnten mit dem Vorbiegen des elastischen Nagels um ca. 30° in einer 2010 veröffentlichten Studie jedoch gute Ergebnisse bei distalen Radiuschaftfrakturen erzielen.

Ist nur einer der beiden paarigen Knochen am Unterarm frakturiert, so reicht die Versorgung dieses Knochens aus.

Das Einbringen am Radius erfolgt, indem unter Bildwandlerkontrolle ca. 2 cm proximal der distalen Fuge von mittig dorsal inseriert wird. Anschließend wird ein Kanal in etwa 45° zur Längsachse angelegt. So kann der Nagel manuell bis auf Frakturhöhe vorgeschoben, das Gegenfragment aufgefädelt und dann unter leichter Drehbewegung die Fraktur in Position reponiert werden. Gelegentlich können jedoch knöcherne Interponate oder Frakturfragmente die geschlossene Reposition am Unterarm erschweren und es muss unter Umständen eine offene Reposition mit kurzstreckigem Zugangsweg auf Frakturhöhe erfolgen. Die Nagelspitzen von Radius und Ulna sollten aufeinander zuweisend in der metaphysären Spongiosa verankert werden, um die optimale Spannung der Membrana interossea zu gewährleisten und somit eine uneingeschränkte Unterarmrotation zu ermöglichen.¹¹ Somit ist der Unterarm bereits nach der Frakturversorgung übungsstabil. Nach 4 Wochen erfolgt ein Kontrollröntgen, nach weiteren 1–2 Monaten kann schließlich die Metallentfernung erfolgen.¹¹

Als schwierig erwies sich jedoch in vergangener Zeit die korrekte Platzierung und ausreichende Stabilität der ESIN bei Frakturen im distalen diaphysären Bereich. Da der Frakturspalt distal und somit nahe der Insertionsstelle liegt, verläuft der Nagel oft ohne zuvor Kontakt und somit einen Abstützpunkt an der Gegenkortikalis erlangt zu haben. Daraus kann schließlich eine mangelnde Rotationsstabilität resultieren, mit der Folge möglicher sekundärer Dislokationen und/oder eingeschränkter Umwendbewegungen bis hin zu kosmetisch unzufriedenstellenden Ergebnissen.⁵¹ Abgesehen vom bereits erwähnten Vorbiegen der Nägel versucht man diese Problematik zu umgehen, indem man die Nägel soweit distal wie möglich inseriert.⁵⁰ Lieber et al.¹ schlagen hierzu vor bei sehr kurzen distalen Fragmenten die Nägel über die Epiphyse hinweg einzubringen. Bisher lägen zwar keine Ergebnisse für transepiphysär eingebrachte ESIN vor, sie verweisen jedoch auf das transepiphysäre Einbringen von PTBKD von 2 mm Dicke und die guten Resultate, die damit erzielt werden. Die Bewegungsstabilität und die damit verbundenen Mikrobewegungen in der Fuge, die bei

der starren Fixierung durch K-Drähte nicht gegeben sind, würden bei dieser Überlegung jedoch außer Acht gelassen werden.

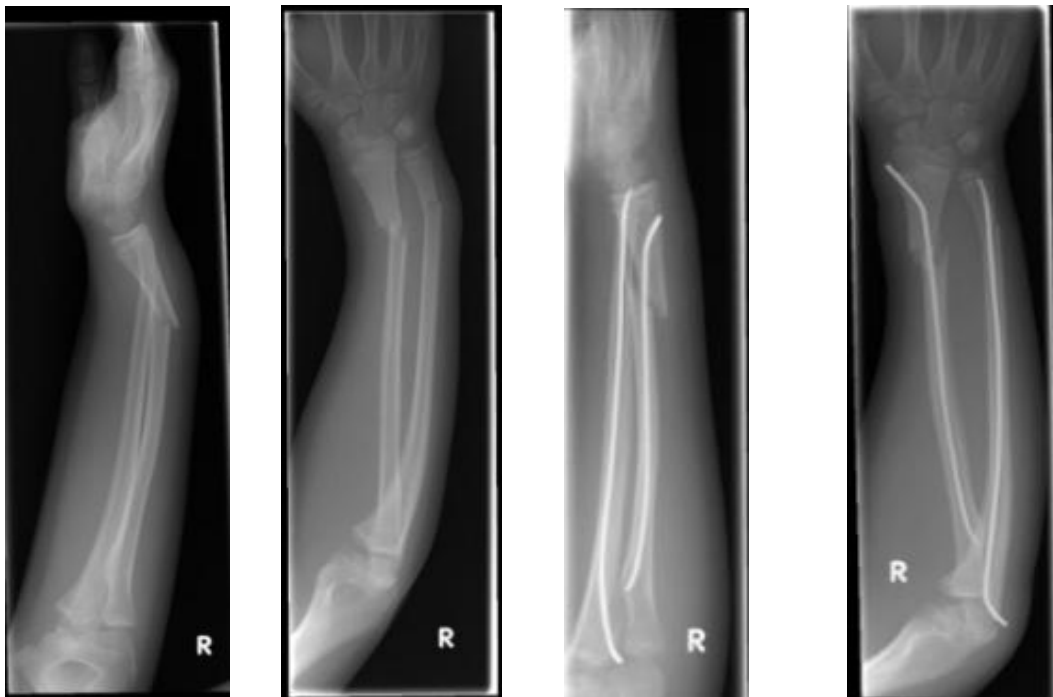


Abbildung 6

Links Röntgenbild zum Unfallzeitpunkt in sagittaler und frontaler Projektion; das distale Radiusfrakturfragment ist sowohl nach palmar als auch nach radial disloziert. Rechts: in den Kontrollröntgenaufnahmen zeigt sich ein häufiges Problem bei Anwendung eines ESINs im diaphysären Übergang. Das proximale Frakturfragment verlagert sich nach kontralateral ausgehend von der Insertionsstelle. Dies konnte selbst durch die zusätzliche Biegung des Nagels nicht verhindert werden.

1.5.2.3. Transepiphysäre, intramedulläre Kirschner-Draht-Osteosynthese nach Py und Desmanet

Wie oben bereits erwähnt, erweist sich das Einbringen von bikortikalen Kirschner-Drähten, aufgrund der Lage und anatomischen Beschaffenheit der Diaphyse, in diesem Bereich oftmals als technisch schwierig.⁵² Auch kann bei der Frakturversorgung des Übergangs von Dia- zu Metaphyse durch die klassisch bikortikale Kirschner-Draht-Osteosynthese oftmals keine ausreichende Stabilität erreicht werden. Aus dieser Problematik hat sich in der Vergangenheit eine Modifikation des bikortikalen Kirschner-Draht-Osteosyntheseverfahrens entwickelt.^{1,21} Bei der osteosynthetischen Versorgung isolierter diaphysärer Radiusfrakturen durch intramedullär verlaufende Kirschner-Drähte werden die Methoden der operativen Verfahren von bikortikalem Kirschner-Draht und ESIN kombiniert. Man inseriert, wie bei der klassischen bikortikalen Kirschner-Drahtfixierung, am Processus styloideus radii. Dadurch ergibt sich nicht das Problem der mangelnden Rotationsstabilität, da der Draht eine

längere Strecke im distalen Fragment verläuft. Auch ein Schaden an der Epiphysenfuge, die wie bei der bikortikalen Kirschner-Draht-Osteosynthese gekreuzt wird, wurde bisher nicht nachgewiesen.¹ Nach dem Prinzip der ESIN werden die Nägel in den Markraum vorgeschoben und im proximalen Fragment verankert. Somit erlangt auch die intraossäre Stabilisierung durch Kirschner-Drähte jeweils drei Abstützpunkte in ihrem Verlauf. Zum einen erfährt der Nagel Abstützung im epiphysären Markraum, zwei weitere Punkte liegen jeweils an der Kortikalis des distalen und proximalen Fragments. Um weiteres Abgleiten der Drähte nach intraossär zu verhindern werden die Drähte an der Insertionsstelle gebogen, gekürzt und schließlich unter Hautniveau versenkt. Wie die perkutane und die intrafokale Kirschner-Draht-Osteosynthese erfordert auch die intraossäre Kirschner-Drahtfixierung eine additive Ruhigstellung in Gipsruhigstellung für ca. 4 Wochen.¹

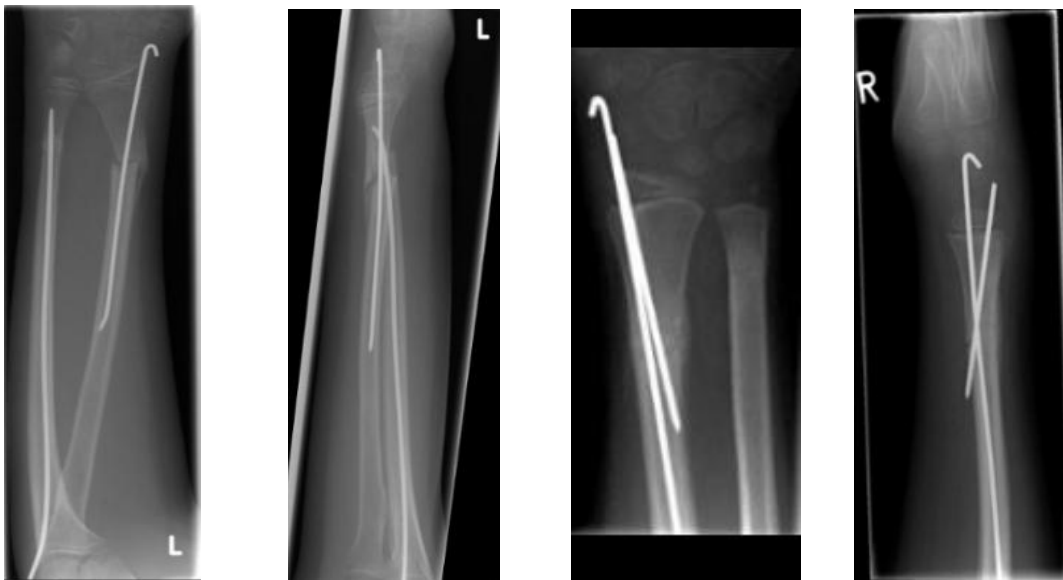


Abbildung 7

Links: Frakturversorgung einer distalen diaphysären Radiusfraktur mittels transepiphysärer intramedullärer Kirschner-Draht-Osteosynthese. Rechts: Zusätzliche Fixierung eines transepiphysären intramedullären Kirschner-Drahts mittels eines bikortikalen Kirschner-Drahts.

1.6. Knochenheilung

Bei der Frakturheilung muss man zwischen primärer (direkter) und sekundärer (indirekter) Knochenbruchheilung unterscheiden.

Primäre Knochenheilung

Bei der primären Frakturheilung findet direkte Knochenbildung zwischen zwei stabil fixierten Knochenfragmenten mit guter Durchblutung statt. Besteht innerhalb des Frakturspalts sowohl

makroskopisch, als auch mikroskopisch ein direkter Kontakt beider Knochenfragmente, so spricht man von einer Kontaktheilung. Typischerweise kommt diese bei nicht dislozierten Brüchen und nach Zugschraubenosteosynthesen, aber auch bei anderen osteosynthetischen Verfahren vor.²²

Sekundäre Knochenheilung

Die Knochenheilung im Wachstumsalter erfolgt jedoch meist sekundär via Kallusbildung. Dabei entsteht im Frakturspalt durch Austritt geschädigter Blutgefäße zunächst ein Frakturhämatom, welches zunächst von Fibroblasten bindegewebig durchsetzt wird. Durch Einsprossen von Blutgefäßen, gefolgt von der Einwanderung mesenchymalen Stammzellen und Osteoblasten erfolgt die Umwandlung des bindegewebigen Kallus in einen Fixationskallus.^{14,15,23} Bei zunehmender Ossifikation und Kalzifizierung ist schließlich auch im Röntgenbild der Kallus zu erkennen und garantiert die mögliche Bewegungsstabilität. Bis zur vollständigen Durchbauung des Frakturspalt es vergehen oft Monate bis Jahre nach Belastungsbeginn. Bei metaphysären Frakturen erfolgt die Heilung dabei etwa doppelt so schnell wie bei diaphysären Frakturen, auch heilen Querfrakturen langsamer verglichen mit Schrägfrakturen.²⁰

2. Patienten & Methodik

2.1. Studiendesign

Bei der vorliegenden Studie handelt es sich um eine retrospektive Nachbeobachtungsstudie. Ziel der Studie war die Gegenüberstellung der verschiedenen operativen und konservativen Verfahren bei distalen Radiusfrakturen im diametaphysären Übergang bei sich noch im Wachstum befindenden Kindern bzw. Jugendlichen.

Die gewonnenen Daten wurden analysiert, diskutiert und in Bezug zur aktuellen Literatur gesetzt.

2.2. Einschlusskriterien der Studie

Als Einschlusskriterium galten alle diametaphysären Unterarm- bzw. Radiusfraktur mit denen Kinder und Jugendliche (Alter < 16 Jahre) von 01.01.2010 bis 31.12.2013 in der Klinik für Kinderchirurgie und Kinderorthopädie, Klinik St. Hedwig, Krankenhaus Barmherzige Brüder Regensburg ambulant oder stationär versorgt wurden. Der diametaphysäre Übergang wurde hierzu definiert als Quadrat über der Radiusmetaphyse (Abb.1. rote Fläche) subtrahiert von einem Quadrat über beiden distalen Unterarmfugen (Abb.1. grüne Fläche) und der sich daraus ergebenden Übergangszone (Abb.1 oranger Pfeil).¹

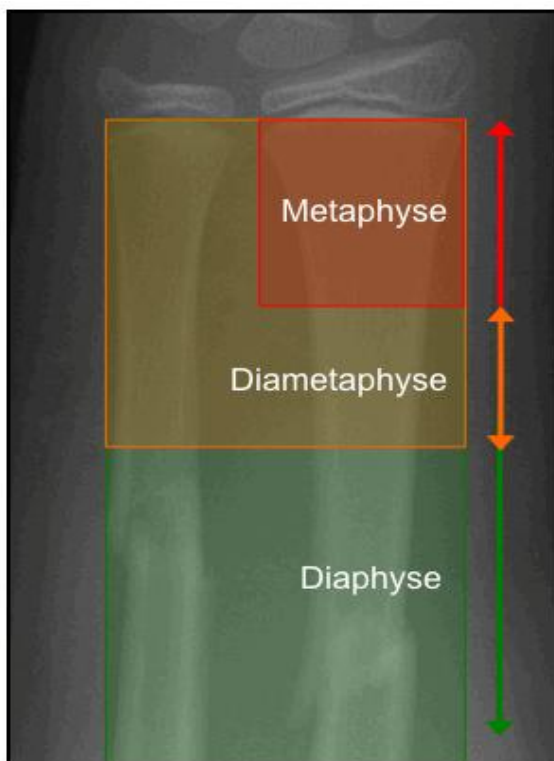


Abbildung 8

Definition des diametaphysären Übergangs am Unterarm. Von dem Quadrat über beiden distalen Unterarmfugen wird das Quadrat über der Radiusfuge allein subtrahiert. Es bleibt eine Übergangszone. (Der Unfallchirurg 2011;114 (4):292-299

Auch distale Unterarmfrakturen mit jeglicher Beteiligung der Ulna wurden mit aufgenommen, sofern die Fraktur am Radius den oben genannten Kriterien entsprach.

Die unterschiedlichen Behandlungsverfahren umfassten neben Reposition mit anschließender Gipsschienung, perkutaner transepiphysärer bikortikaler Kirschner-Draht-Osteosynthese (bikortikaler Kirschner-Draht), perkutaner transepiphysärer intramedullär versenkter Kirschner-Draht-Osteosynthese (intramedullärer Kirschner-Draht), elastischer stabiler intramedullärer Nagelung (ESIN) auch ein kombiniertes Verfahren aus bikortikaler und intramedullärer Kirschner-Draht-Osteosynthese (bikortikaler & intramedullärer Kirschner-Draht). Im Falle eines Therapiewechsels oder notwendigen Zweiteingriffes wurden diese Fälle in gleicher Weise einzeln erfasst und aufgenommen. So wurden letztlich 88 Fälle von Frakturen am diaphysären Übergang aus insgesamt allen 547 Patienten mit distalen Unterarmfrakturen im oben genannten Zeitraum in der Klinik St. Hedwig in die Studie eingeschlossen.

2.3. Ausschlusskriterien der Studie

Ausschlusskriterium stellten Wulstfrakturen dar. Außerdem wurden all jene Patienten aus der Studie ausgeschlossen, die nicht zur Kontrolluntersuchung in 4 wöchigem Abstand zur Erstversorgung erschienen waren. Für letztere Patienten lag somit auch kein Kontrollröntgenbild vor und es konnten keine radiologischen Ergebnisse ermittelt werden.

2.4. Methodik

Initial wurden die Patienten, die mittels der ICD10-Kodierung S52.5. (= distale Radiusfraktur, nicht näher bezeichnet) im Zeitraum 01. 01. 2010 bis 31. 12. 2013 in einer Excel-Tabelle (Version „Microsoft-Excel 2003“, Microsoft Corp., Redmond, USA) aufgenommen wurden, auf ihre genaue Lokalisation überprüft. Hierzu wurden über das klinikintern angewandte radiologische Programm „JiveX“-Röntgenbilder und deren Befunde aufgerufen und Frakturen gemäß den genannten Ein- und Ausschlusskriterien erfasst bzw. aussortiert. Um präzisere Aussagen treffen zu können, wurde anhand der Röntgenaufnahmen noch weiter in jeweils drei gleich große Abschnitte unterteilt. Dadurch ergab sich eine weitere eigene Einteilung der diaphysären Frakturlokalisierung in proximales, mediales und distales Drittel. Um die Frakturen besser zuordnen zu können und später Tendenzen in der therapeutischen Behandlung zu erkennen, wurde die Frakturart in Anlehnung an die „AO-Klassifikation für lange Röhrenknochen im Wachstumsalter“⁵ kodiert. Da in keiner Klassifikation der Bereich des diaphysären Übergangs als eigenständige Lokalisation Berücksichtigung findet,

musste eine Abwandlung bzw. Kombination aus meta- und diaphysärem Bereich erfolgen. Es wurde als eigene Einteilung und vereinfacht wurde festgelegt:

2 (Radius) 3 (distal) D/M (diametaphysär) mit entsprechender Frakturart 1 (= Wulstfraktur – in diesem Fall folgte der Ausschluss aus der Studie), 2 (= Grünholzfraktur), 3 (= Spiral-/Schrägfraktur), 4 (= Querfraktur). Auf die fünfte Stelle zur Einteilung des Schweregrades wurde verzichtet, da sich unter den untersuchten Frakturen keine komplexen Frakturen oder Trümmerfrakturen befanden. Auch die sechste Stelle als Zusatzcode wurde nicht zur weiteren Spezifizierung benötigt, da bei den Frakturen kein entsprechendes Frakturmuster vorlag.



Abbildung 9

Beispiel der eigenen Einteilung einer distalen diametaphysären Radiusgrünholzfraktur: 2/3D/M2

In einem weiteren Schritt wurden die archivierten Krankenakten der Patienten, welche den Einschlusskriterien genügten, im krankenhausinternen SAP-System recherchiert und die notwendigen Daten aus den Patientenakten, Ambulanzberichten und Operationsberichten retrospektiv herausgearbeitet.

Erfasste Daten

Es wurden röntgenologische Bilddaten in a. p. Projektion gewählt, um diese mittels dem Softwareprogramm „JiveX“ zu vermessen. So wurden neben Geschlecht, Alter bei Fraktur auch die Achsabweichung (in Winkel°) sagittal/a. p. vor Reposition und/oder Operation und vier Wochen nach Therapie, der Seitversatz (in mm) sagittal/a. p. vor Reposition und/oder Operation und vier Wochen nach Therapie, sowie der Längsversatz (frakturbedingte Verkürzung/Verlängerung, kein Längsversatz) vor und nach vier Wochen Therapie erfasst. Außerdem wurden zeitliche Aspekte der Therapie, wie OP-Dauer (in Minuten), Zeit der

Immobilisierung (in Tagen) und Zeit bis zur Materialentfernung (in Tagen) erfasst. Auch wurden Komplikationen, wie Bewegungseinschränkungen, sekundäre Wundinfektionen, Parästhesien prä- und postoperativ, sekundäre Dislokationen mit und ohne Verfahrenswechsel und ggf. nochmaliges Kontrollröntgen dokumentiert. Zuletzt wurden noch Störfaktoren während der Therapie aufgenommen. Hierunter fielen sowohl die bei intraoperativer Durchleuchtung anfallende Strahlenbelastung (Dosisflächenprodukt gemessen in Grey*cm²) als auch der Analgetikabedarf stationärer Patienten. Da sich bei Kindern und Jugendlichen die Dosierung der Medikamente nach dem Körpergewicht richtet, lässt sich durch Kenntnis der Gesamtmenge (in Milligramm) an verabreichten Analgetika während des Klinikaufenthaltes kein Rückschluss auf das Ausmaß der Schmerzintensität postoperativ ziehen. Deshalb wurden retrospektiv die Anzahl der Verabreichungen verschiedener Analgetika als Maß für den Schweregrad der Schmerzen herangezogen. Außerdem wurden als weitere zwei Variablen aufgenommen, ob es sich um eine offene Fraktur handelte und wenn ja, welcher Grad eines Weichteilschadens vorlag.

2.5. Beurteilung der Therapieergebnisse

Für die Frakturen im diaphysären Übergang sind bis dato noch keine Spontankorrekturgrenzen veröffentlicht worden. Es liegen lediglich grobe Richtwerte an die altersentsprechenden Grenzen der Spontankorrekturfähigkeit der meta- und diaphysären Frakturen vor.¹ Dies erschwerte die Erstellung eines „primary measure outcomes“ im Sinne der noch verbliebenen Achsabweichung vier Wochen nach Erstversorgung. Vereinfacht wurden die röntgenologischen Ergebnisse schließlich unterteilt in:

- Gutes Behandlungsergebnis: Achsdeviation < 5° in a. p. und sagittaler Projektion
- Mäßiges Behandlungsergebnis: Achsdeviation 5°–10° in a. p. und sagittaler Projektion
- Schlechtes Behandlungsergebnis: Achsdeviation > 10° in a. p. und sagittaler Projektion

Nach dieser primären Beurteilung wurden schließlich die Ergebnisse noch nach ihrer Lokalisation innerhalb der Diaphyse (proximal – medial – distal) untersucht und dabei danach untersucht welches Verfahren verstärkt und mit welchem Ergebnis Anwendung fand. Außerdem wurde in einem weiteren Schritt untersucht ob sich Tendenzen bei Beteiligung der Ulna mit oder ohne osteosynthetische Versorgung auf die Behandlungsergebnisse zeigten.

2.6. Auswertung

Die anonymisierten Daten wurden in einer SPSS-Datenmaske (IBM SPSS Statistics Version 21, IBM Corp., Armonk, USA) zusammengeführt.

Deskriptive Daten wurden mittels absoluter und relativer Häufigkeitsverteilung sowie Mittelwert und Median dargestellt. Um Unterschiede in der Grundgesamtheit aller Therapiegruppen auszumachen wurden jeweils Varianzanalysen mittels one way ANOVA durchgeführt. Unterschiede der jeweils einzelnen Gruppenmittelwerte in der Grundgesamtheit wurden mit Hilfe von Post-hoc-Mehrfachvergleichen erarbeitet.

3. Ergebnisse

In dem Zeitraum von 01.01.2010 bis 31.12.2010 wurden 88 Patientinnen und Patienten mit Radiusfraktur im diaphysären Übergangsbereich therapiert.

3.1. Klassifikation der Frakturen

Die in der vorliegenden Studie beschriebene, abgewandelte AO-Klassifikation von Frakturen der langen Röhrenknochen im Wachstumsalter konnte bei 88 Frakturen angewandt werden.

Die meisten Frakturen am diaphysären Übergang konnten der Gruppe der Grünholzfrakturen (23rD/M2) mit 48 Fällen (54,5 %) zugeordnet werden. Unter den 48 Grünholzfrakturen wiederum waren 35 (73 %) mit Beteiligung der Ulna, von denen wiederum 24 Frakturen (69 %) konservativ und die übrigen 11 (31 %) mit ESIN versorgt wurden. Bei den übrigen 13 Frakturen (27 %) handelte es sich um isolierte Radiusfrakturen.

Der Gruppe der Spiral- und Schrägfrakturen (23rD/M3) konnte lediglich ein Fall (1 %) zugeteilt werden. Bei dieser Fraktur lag eine Beteiligung der Ulna vor, die mit ESIN stabilisiert wurde.

In die Gruppe der Querfrakturen (23rD/M4) wurden insgesamt 39 der Frakturen (44,3 %) (n = 39) eingeteilt. Unter diesen lag in 28 Fällen (72 %) eine Mitbeteiligung der Ulna vor, von denen wiederum acht Frakturen (29 %) konservativ und weitere 20 Frakturen (71 %) mit ESIN versorgt wurden. Die übrigen elf Querfrakturen (28 %) beschränkten sich auf den Radius.

Distale diaphysäre Radiusfrakturen (n = 88)	Anzahl	Ulna beteiligt	Isolierte Radiusfraktur (Ulna intakt)	Ulna mit ESIN versorgt	Ulna konservativ belassen
Grünholzfraktur	48	35	13	11	24
Spiralfraktur	1	1	-	1	-
Querfraktur	39	28	11	20	8

Tabelle 3

Übersicht über die Frakturarten sowie über die Beteiligung und entsprechende Versorgung der Ulna

3.2. Alters- und Geschlechterverteilung

Von allen 88 zu untersuchenden Patienten waren 24 (27,3 %) Mädchen und 64 (72,7 %) Jungen. Der älteste Patient war zum Unfallzeitpunkt 15 Jahre alt, der jüngste 2 Jahre. Der

Altersdurchschnitt lag bei 9,36 (SD \pm 3,49; range: 2–15 Jahre) Jahren, der Median bei 10 Jahren. Für weibliche Patientinnen lag das durchschnittliche Alter bei 8,83 (SD \pm 3,06; range:3–15 Jahre) Jahren. Männliche Patienten waren gemittelt 9,56 (SD \pm 3,64; range: 2–15 Jahre) Jahre alt.

Das Histogramm zur Altersverteilung bezogen auf das Geschlecht der gesamten Studienpopulation ist in Abbildung 10 zu entnehmen.

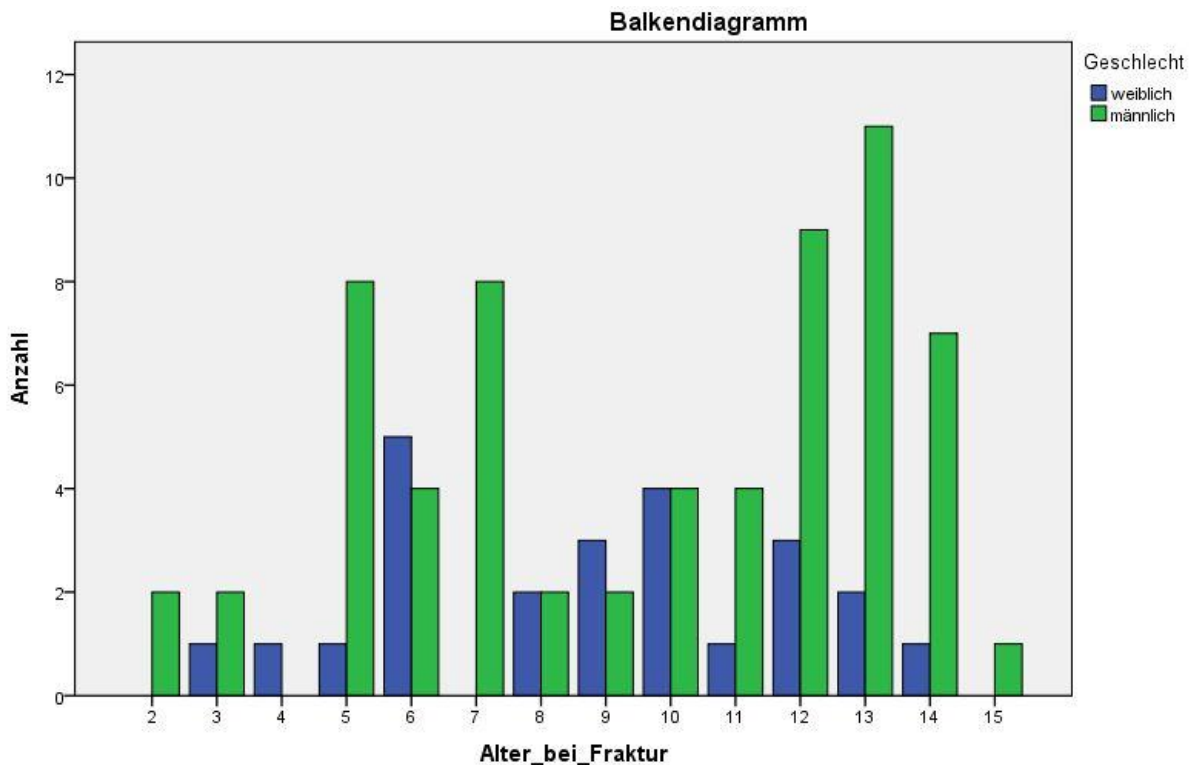


Abbildung 10
Histogramm zur Altersverteilung der gesamten Studienpopulation

Bei der Altersverteilung zeigten sich sowohl bei den weiblichen als auch den männlichen Patienten jeweils zwei Altersgipfel. Der erste lag bei den weiblichen Studienpatienten um das 6. Lebensjahr, bei den männlichen Studienpatienten um das 5./7. Lebensjahr. Den zweiten Gipfel erreichten die weiblichen Patientinnen um das 10. Lebensjahr, die männlichen Patienten um das 13. Lebensjahr.

3.3. Frakturart und Altersstruktur

Das Alter der Patienten zum Zeitpunkt der Fraktur betrug bei den Grünholzfrakturen durchschnittlich 8,79 (SD \pm 3,44) Jahre, der Patient mit Schrägfraktur war 12 Jahre alt. Die Patienten, die eine Querfraktur erlitten wiesen zum Zeitpunkt der Fraktur ein Durchschnittsalter von 10 (SD \pm 3,49) Jahren auf.

3.4. Lokalisation innerhalb der Diaphyse und deren Versorgung

Von den behandelten 88 Frakturen waren 20 (22,7 %) im proximalen Drittel gelegen, weitere 26 (29,5 %) befanden sich in der medialen Diaphyse und die übrigen 42 (47,7 %) waren im distalen Drittel lokalisiert. Abbildung 11 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Therapieverfahren unter den jeweiligen Frakturlokalisationen.

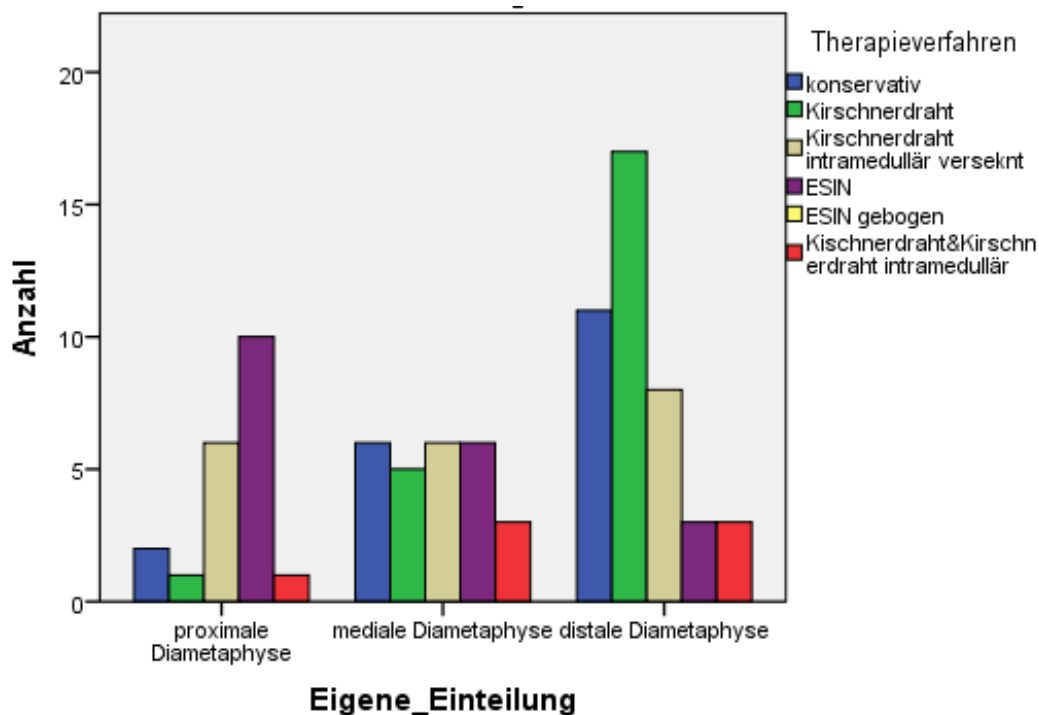


Abbildung 11
Balkendiagramm zur Verteilung der Therapieverfahren auf die Frakturlokalisation innerhalb der Diaphyse

Proximale Diaphyse

Von den 20 Frakturen im proximalen Drittel wurde mit 10 (50 %) die Mehrheit mittels ESIN versorgt. Weitere sechs der Frakturen (30 %) wurden mit einem intramedullär versenkten Kirschner-Draht versorgt. Eine konservative Therapie erhielten zwei Patienten (10 %). Jeweils eine der Frakturen (5 %) im proximalen Drittel wurde mit bikortikalem Kirschner-Draht bzw. einer kombinierten Osteosynthese aus bikortikalem und intramedullärem Kirschner-Draht fixiert.

Mediale Diaphyse

Von den 26 Frakturen des medialen diaphysären Überganges wurden jeweils sechs der Fälle mit ESIN (23 %), weitere sechs (23 %) mit intramedullärem Kirschner-Draht und ebenfalls sechs (23 %) konservativ versorgt. Weitere fünf Patienten (19,2 %) wurden mit

bikortikalem Kirschner-Draht versorgt, die übrigen drei Patienten (11,5 %) erhielten eine kombinierte Osteosynthese aus bikortikalem und intramedullärem versenktem Kirschner-Draht.

Distale Diametaphyse

Von den 42 Frakturen am distalen Drittel der Diametaphyse wurde mit 17 Patienten (40,5 %) ein Großteil mit bikortikalem Kirschner-Draht versorgt, weitere elf Frakturen (26,2 %) erhielten eine konservative Therapie. Bei acht Fällen (19 %) wurde die Fraktur mit einem intramedullärem Kirschner-Draht fixiert. Von den Übrigen wurden jeweils drei Patienten (7 %) mit ESIN und drei Patienten (7 %) mit einer kombinierten Osteosynthese aus bikortikalem und intramedullärem Kirschner-Draht versorgt.

Diametaphysäre Frakturen (n = 88)	Konservativ	Bikortikaler K-Draht	Intramedullärer K-Draht	ESIN	Bikortikaler & Intramedullärer K-Draht
Proximal (n = 20)	2	1	6	10	1
Medial (n = 26)	6	5	6	6	3
Distal (n = 42)	11	17	8	3	3

Tabelle 4
Übersicht über die angewandten Verfahren im jeweiligen Drittel der distalen Radiusdiametaphyse

3.5. Therapieverfahren

Von den gesamten 88 Frakturen wurden 19 Patienten (21,6 %) konservativ versorgt, weitere 23 Patienten (26 %) wurden mittels eines bikortikalen Kirschner-Drahts behandelt. Bei 20 Patienten (23 %) bediente man sich therapeutisch eines intramedullär versenkten Kirschner-Drahtes. Von 19 Patienten (21,6 %) wurde die Radiusfraktur mithilfe eines ESIN stabilisiert. Eine Kombination aus intramedullär versenktem Kirschner-Draht und bikortikalem Kirschner-Draht kam bei sieben Patienten (8 %) zur Anwendung. Die durchschnittliche Gruppengröße der Therapieverfahren lag bei 15,6 Patienten.

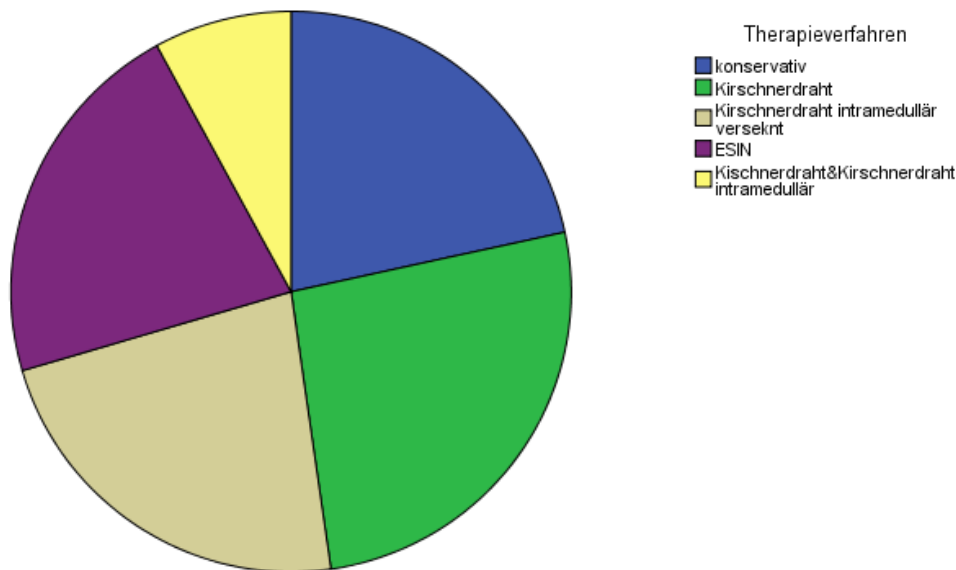


Abbildung 12
Verteilung der Therapieverfahren auf die gesamte Studienpopulation

Diametaphyse	Anzahl	konservativ	Bikortikaler K-Draht	Intramedullärer K-Draht	ESIN	Kombination bikortikaler & intramedullärer K-Draht
Proximal	20	2	1	6	10	1
Medial	26	6	5	6	6	3
Distal	42	11	17	8	8	3

Tabelle 5
Übersicht über die angewandten Verfahren in dem jeweiligen Drittel der Diametaphyse

3.5.1. Konservative Therapie

Von den 19 Frakturen, die einer konservativen Therapie zugeführt wurden, waren 16 (84 %) als Grünholzfrakturen und drei (16 %) als Querfrakturen klassifiziert worden.

In den Röntgenaufnahmen am Unfalltag fand sich eine durchschnittliche Achsabweichung von 5,2° (SD ± 4,35°; range: 0,3°–17,2°) in der a. p. und 13,95° (SD ± 4,59°; range: 3,0°–21,0°) in der sagittalen Ebene; der durchschnittliche Seitversatz belief sich auf 4,68 mm (SD ± 10,50 mm; range: 0,0–39,0 mm) in a. p. und 8,68 mm (SD ± 17,0 mm; range: 0,0–64,0 mm) in der sagittalen Projektion. Für die Fraktur mit der geringsten Dislokation aus der Gruppe der konservativ Therapierten lag vor Therapiebeginn die Achsabweichung bei 0,3° a. p./3,0° sagittal. Die Fraktur mit der größten Achsabweichung, die noch einer konservativen Therapie zugeführt wurde betrug die Achsdeviation vor Therapiebeginn 7,4° a. p./21° sagittal.

Sekundäre Dislokation

Beim Kontrollröntgen wurde bei acht Patienten (42 %) eine sekundäre Achsabweichung diagnostiziert. Sechs von acht Dislokationen (75 %), die alle im distalen Drittel der Diametaphyse lokalisiert waren, wurden in einem Verfahrenswechsel mittels eines bikortikalen Kirschner-Drahtes fixiert. Eine weitere dislozierte Fraktur im medialen Bereich der Diametaphyse wurde erneut geschlossen reponiert, es folgte kein Verfahrenswechsel. Außerdem wurde eine Fraktur, die im proximalen Drittel nach konservativer Therapie disloziert war, durch einen Verfahrenswechsel mit ESIN stabilisiert. Nach Verfahrenswechsel bzw. erneuter Reposition ergaben sich keine weiteren Komplikationen im Sinne einer erneuten Dislokation.

Röntgenologische Ergebnisse

Wie bereits erwähnt, ereignete sich bei acht von 19 Patienten (42 %) im Verlauf der Behandlung eine erneute Dislokation. Dabei erfolgte in sieben Fällen (36,8 %) ein Verfahrenswechsel. Bei einem weiteren erfolgte eine erneute Reposition, jedoch wurde das konservative Verfahren beibehalten. Somit wurde die Zahl der Patienten, bei denen es zur Ausheilung unter konservativer Therapie kam auf zwölf Patienten (63,2 %) reduziert.

Zum Zeitpunkt des Therapieendes lag die durchschnittliche Achsabweichung bei $4,1^\circ$ ($SD \pm 4,1^\circ$; range: $0,4-13,3^\circ$) in a. p. und $7,7^\circ$ ($SD \pm 6,5^\circ$; range: $0,0 - 6,8^\circ$) in sagittaler Ebene, der durchschnittliche Seitversatz belief sich auf 3,7mm ($SD \pm 6,9$ mm; range: $0,0-20,0$ mm) in a. p. und 1,7 mm ($SD \pm 5,8$ mm; range: $0,0-20,0$ mm) in seitlicher Projektion.

Von den 12 Patienten, die ohne Osteosynthese behandelt wurden, konnte zum Zeitpunkt des Kontrollröntgens nach ca. vier Wochen bei fünf Patienten (41,7 %) ein gutes Ergebnis in a. p. und sagittaler Projektion erzielt werden. Bei einem Patienten (8,3 %) wurde ein mäßiges Ergebnis in a. p. oder sagittaler Ebene dokumentiert. Bei den übrigen sechs Patienten (50 %) wurde ein schlechtes Ergebnis in a. p. oder sagittaler Projektion erreicht. Bei vier der sechs Patienten mit schlechtem Ergebnis war jedoch lediglich in der sagittalen Röntgenaufnahme eine Achsabweichung $> 10^\circ$ dokumentiert, die a. p. Aufnahme hatte Werte $< 10^\circ$ bzw. z. T. $< 5^\circ$.

Ergebnisse abhängig von der Lokalisation

Aus der Gruppe aller konservativ versorgten Patienten ohne Verfahrenswechsel ($n = 12$) war eine Fraktur (8,3 %) im proximalen Bereich der Diametaphyse lokalisiert und konnte ein mäßiges Ergebnis erzielen.

Eine konservative Therapie wurde im medialen Bereich der Diametaphyse in sechs Fällen

(50 %) aller konservativ therapierten Patienten ohne Verfahrenswechsel durchgeführt. Davon war in drei Fällen (50 %) ein gutes Behandlungsergebnis erreicht worden, die übrigen drei Frakturen (50 %) in diesem Bereich wiesen ein schlechtes Ergebnis auf.

Ein konservatives Verfahren ohne Verfahrenswechsel im Verlauf kam in der distalen Diaphyse in fünf Fällen (41,7 %) zum Einsatz. Dabei wurde in zwei Fällen (40 %) ein gutes Ergebnis, in den weiteren drei Fällen (60 %) ein schlechtes Ergebnis erzielt.

Ergebnisse abhängig von der Ulnabeteiligung

Unter den 12 Patienten, die konservativ zu Ende therapiert wurden, war in sieben Fällen (58,3 %) auch die Ulna frakturiert und wurde ebenfalls konservativ behandelt. Die übrigen fünf Patienten (41,7 %) wiesen isolierte Radiusfrakturen auf.

Von den sieben Patienten mit Beteiligung der Ulna wurden bei zwei (28,6 %) gute, bei einem (14,3 %) mäßige und bei vier Patienten (58,3 %) schlechte Ergebnisse erzielt.

Von den fünf Patienten ohne Beteiligung der Ulna wurden in drei Fällen (60 %) gute und in zwei Fällen (40 %) schlechte Ergebnisse erzielt.

Konservative Therapie ohne Repositionsmanöver

Unter allen 19 Patienten, die der konservativen Therapiegruppe zugeteilt wurden befanden sich acht Patienten (42,11 %), deren Frakturen aufgrund ihrer Morphologie als stabil eingestuft wurden und denen aufgrund ihres Alters bzw. dem Zustand der Epiphysenfugen ein noch suffizientes Korrekturpotenzial durch bevorstehenden Längenwachstum prognostiziert wurde. Diese Patientengruppe wurde zunächst lediglich durch Immobilisation im Gipsverband therapiert. Unter diesen konnte in drei Fällen (37,5 %) in Gipschiene zu Ende therapiert werden. Bei den übrigen fünf Patienten (62,5 %) ereignete sich während der Ruhigstellungsperiode im Gips eine Dislokation, die schließlich doch einer Reposition bedurfte. Bei drei (60 %) der fünf Fälle mit Dislokation und anschließender Reposition wurde das Ergebnis mit bikortikalen Kirschner-Drähten fixiert, in einem Fall (20 %) wurde mittels eines ESINs fixiert und in einem weiteren Fall (20 %) wurde das Repositionsergebnis konservativ in Gipschiene in Position zu halten.

3.5.2. Therapie mit bikortikaler Kirschner-Draht-Osteosynthese

Von den 23 Frakturen, die operativ mit bikortikalem Kirschner-Draht fixiert wurden, waren elf (47,8 %) als Grünholzfrakturen und zwölf (52,2 %) als Querfrakturen klassifiziert worden. In den Röntgenaufnahmen bei Erstversorgung fand sich eine durchschnittliche Achsabweichung von $9,05^\circ$ ($SD \pm 7,2^\circ$; range: $0,2\text{--}24,4^\circ$) in der a. p. und $17,31^\circ$ ($SD \pm 8,8^\circ$; range: $2,7\text{--}34,2^\circ$) in der sagittalen Ebene; der durchschnittliche Seitversatz belief sich auf

20,0 mm (SD \pm 31,4 mm; range: 0,0–128,0 mm) in a. p. und 39,9 mm (SD \pm 51,1 mm; range: 0,0–159 mm) in der sagittalen Projektion. Für die Fraktur mit der geringsten Dislokation aus dieser Gruppe lag vor Therapiebeginn die Achsabweichung bei 0,3° a. p./3,0° sagittal. Die Fraktur mit der größten Achsabweichung, die mittels bikortikalem Kirschner-Draht fixiert wurde, betrug vor Therapiebeginn die Achsdeviation 12,8° a. p./34,2° sagittal.

Sekundäre Dislokation

Beim Kontrollröntgen der mit bikortikalem Kirschner-Draht versorgten Patienten konnte in keinem der Fälle eine sekundäre Achsabweichung nachgewiesen werden. Unter den 23 mittels bikortikalem Kirschner-Draht therapierten Frakturen handelte es sich bei fünf (21,8 %) um Verfahrenswechsel. In allen fünf Fällen war zuvor im medialen oder distalen Drittel der Diametaphyse eine konservative Therapie erfolgt. Bei sämtlichen Verfahrenswechsel ergab sich unter bikortikaler Kirschner-Draht-Fixierung keine weitere Indikation zur Revision.

Röntgenologische Ergebnisse

Zum Zeitpunkt des letzten Kontrollröntgens lag die durchschnittliche Achsabweichung bei 3,7° (SD \pm 2,5°; range: 0,6–9,2°) in a. p. und 4,7° (SD \pm 3,6°; range: 0,2–12,6°) in sagittaler Ebene, der durchschnittliche Seitversatz belief sich auf 2,0 mm (SD \pm 6,0 mm; range: 0,0–26,0 mm) in a. p. und 3,70 mm (SD \pm 6,6 mm; range: 0,0–18,0 mm) in seitlicher Projektion. Ein gutes Ergebnis konnte bei zehn Patienten (43,5 %) erzielt werden. Bei weiteren zehn Patienten (43,5 %) konnte ein mäßiges Therapieergebnis erreicht werden. Bei den übrigen drei Patienten (13 %) wurde ein schlechtes Ergebnis dokumentiert. Bei allen drei Patienten mit schlechtem Ergebnis war jedoch lediglich in der sagittalen Röntgenaufnahme eine Achsabweichung $> 10^\circ$ dokumentiert, die a. p. Aufnahmen hatten stets Werte $< 5^\circ$.

Ergebnisse abhängig von der Lokalisation

In der Gruppe der mittels bikortikalem Kirschner-Draht stabilisierten Frakturen (n = 23) kam das Verfahren in der proximalen Diametaphyse lediglich in einem Fall (4,4 %) zur Frakturstabilisierung zum Einsatz und resultierte in einem schlechten Ergebnis (Achsabweichung $> 10^\circ$ a. p. oder sagittal).

Im medialen Bereich der Diametaphyse kam der bikortikale Kirschner-Draht in fünf Fällen (21,7 %) zum Einsatz und konnte dabei in einem dieser Fälle (20 %) ein gutes Behandlungsergebnis, in drei der Fälle (60 %) ein mäßig gutes Ergebnis und in einem weiteren der fünf Fälle (20 %) ein schlechtes Therapieergebnis erzielen.

Die bikortikale Kirschner-Drahtspickung wurde im distalen Bereich der Diametaphyse in 17 Fällen (73,9 %) genutzt. Gute Ergebnisse konnten unter diesen in neun Fällen (52,9 %),

mäßige Ergebnisse in sieben Fällen (41,2 %) und ein schlechtes Ergebnis in einem der 17 Fälle (5,9 %) erzielt werden.

Ergebnisse abhängig von der Ulnabeteiligung

Unter den 23 Patienten, die operativ mittels eines bikortikalen Kirschner-Drahts versorgt wurden, war in 15 Fällen (65,2 %) auch die Ulna frakturiert. Unter diesen wurde die Ulna in zehn Fällen (66,6 %) konservativ belassen. Weitere fünf Patienten (von 15 = 33,3 %) erhielten zur Stabilisierung der gebrochenen Ulna einen ESIN. Bei den übrigen acht Frakturen aus der Gruppe (34,8 %) handelte es sich um isolierte Radiusfrakturen.

Von den 10 Patienten mit kombinierter Fraktur von Radius und Ulna, ohne osteosynthetische Versorgung der Ulna, wurden in sieben der Fälle (70 %) gute, in zwei (20 %) mäßige und in einem Fall (10 %) schlechte Ergebnisse erzielt.

Bei den fünf Frakturen mit osteosynthetischer Stabilisierung der Ulna mittels ESIN konnten in einem Fall (von 5 = 20 %) ein gutes, in drei Fällen (von 5 = 60 %) ein mäßig gutes und in einem weiteren Fall (von = 20%) ein nur schlechtes Ergebnis erzielt werden.

Von den acht Patienten ohne Beteiligung der Ulna wurden in zwei Fällen (25 %) gute, in fünf Fällen (62,5 %) mäßige und in einem Fall (12,5 %) lediglich ein schlechtes Ergebnis erzielt.

3.5.3. Therapie mit intramedullärer Kirschner-Draht-Osteosynthese

Von den 20 Frakturen, die operativ mit intramedullärem Kirschner-Draht und Gipsschiene fixiert wurden, handelte es sich bei sechs (30 %) um Grünholzfrakturen, weitere 14 (70 %) wurden als Querfrakturen klassifiziert.

In den Röntgenaufnahmen bei Erstversorgung fand sich eine durchschnittliche Achsabweichung von $9,5^\circ$ ($SD \pm 7,2^\circ$; range: $0,3\text{--}27,8^\circ$) in der a. p. und $16,9^\circ$ ($SD \pm 10,1^\circ$; range: $0,5\text{--}33,5^\circ$) in der sagittalen Ebene; der durchschnittliche Seitversatz belief sich auf 17,7 mm ($SD \pm 28,6$ mm; range: $0,0\text{--}102,0$ mm) in a. p. und 35,4mm ($SD \pm 41,0$ mm; range: $0,0\text{--}115$ mm) in der sagittalen Projektion. Für die Fraktur mit der geringsten Dislokation aus dieser Gruppe lag vor Therapiebeginn die Achsabweichung bei $0,3^\circ$ a. p./ $0,5^\circ$ sagittal. Die Fraktur mit der größten Achsabweichung, die mittels eines intramedullären Kirschner- Drahts fixiert wurde, wies vor Therapiebeginn eine Deviation von $12,8^\circ$ a. p./ $34,2^\circ$ sagittal auf.

Sekundäre Dislokation

Beim Kontrollröntgen der 20 mit intramedullärem Kirschner-Draht versorgten Patienten konnte in zwei Fällen (10 %) eine sekundäre Achsabweichung nachgewiesen werden. Bei einer der beiden Fälle handelte es sich um eine Fraktur im proximalen Drittel des diaphysären Übergangs, die nach gescheiterter Therapie mit intramedullärem Kirschner-

Draht auf ein osteosynthetisches Verfahren mittels ESIN gewechselt wurde. Bei der zweiten Fraktur mit sekundärer Dislokation im mittleren Bereich der Diaphyse wurde das Verfahren beibehalten und lediglich erneut unter Bildwandlerkontrolle reponiert. Bei der Revision von intramedullärem Kirschner-Draht auf ESIN musste im Verlauf erneut ein weiterer Verfahrenswechsel auf ein fixateur externe erfolgen, um mit diesem schließlich die Therapie zu beenden. Die erneute Reposition mit wiederholter Fixierung durch intramedullären Kirschner-Draht erbrachte hingegen ein zufriedenstellendes Ergebnis.

Röntgenologische Ergebnisse

Wie bereits erwähnt, ereignete sich bei zwei der 20 Patienten (10 %) im Verlauf der Behandlung mit intramedullärem Kirschner-Draht eine erneute Dislokation. Bei einem Patienten kam es zu einer Revision mit Verfahrenswechsel. Bei dem anderen wurde erneut reponiert, das Verfahren allerdings bis Therapieende beibehalten. Die Zahl der Patienten, die mit intramedullärem Kirschner-Draht bis zur Ausheilung zu Ende therapiert wurden, reduzierte sich somit um einen Fall auf 19 Patienten. Zum Zeitpunkt des Therapieendes lag die durchschnittliche Achsabweichung der 19 Fälle bei $5,7^\circ$ ($SD \pm 4,6^\circ$; range: $0,0-17,0^\circ$) in a. p. und $3,1^\circ$ ($SD \pm 2,3^\circ$, range: $0,0-6,9^\circ$) in sagittaler Ebene, der durchschnittliche Seitversatz belief sich auf 4,5 mm ($SD \pm 8,1$ mm; range: $0,0-23,0$ mm) in a. p. und 4,2 mm ($SD \pm 8,2$ mm; range: $0,0-32,0$ mm) in seitlicher Projektion.

Ein gutes Ergebnis konnte bei acht Patienten (42,1 %) erzielt werden. Bei neun Patienten (47,4 %) konnte ein mäßiges Therapieergebnis erreicht werden. Bei den übrigen zwei Patienten (10,5 %) wurde ein schlechtes Ergebnis dokumentiert.

Ergebnisse abhängig von der Lokalisation

Von allen 19 mit intramedullärem Kirschner-Draht stabilisierten Frakturen wurde das Osteosyntheseverfahren in fünf Fällen (30 %) zur Fraktur stabilisierung im proximalen Bereich der Diaphyse eingesetzt. In einem dieser Fälle (20 %) wurde dabei ein gutes Ergebnis erreicht. In drei weiteren Fällen (60 %) konnte im proximalen Bereich ein mäßiges Ergebnis und in einem Fall (20 %) ein schlechtes Ergebnis erzielt werden.

Im medialen Bereich der Diaphyse wurde der intramedulläre Kirschner-Draht in sechs der 19 Fälle (31,6 %) eingesetzt. Dabei konnten in drei der Fälle (50 %) gute Behandlungsergebnisse, in zwei Fällen (33,3 %) mäßig gute Ergebnisse und in einem Fall der sechs Fälle (16,7 %) ein schlechtes Therapieergebnis erreicht werden.

Ohne Verfahrenswechsel wurde die intramedulläre Kirschner-Drahtspickung in der distalen Diaphyse in acht Fällen der 19 Fälle (42,1 %) eingesetzt. Dabei wurde bei vier Patienten

(50 %) ein gutes Ergebnis und bei weiteren vier Patienten (50 %) ein mäßiges Ergebnis erreicht.

Ergebnisse abhängig von der Ulnabeteiligung

Unter den 19 Patienten, die bis zur knöchernen Konsolidierung mittels eines intramedullären Kirschner-Draht fixiert wurden, war in 15 Fällen (78,9 %) die Ulna ebenfalls frakturiert. Die Ulna wurde in sechs dieser Fälle (von 15 = 40 %) mit kombinierter Fraktur konservativ belassen. Bei den übrigen neun der 15 kombinierten Frakturen (60 %) wurde die Ulna operativ mittels eines ESINs stabilisiert. Bei vier Patienten der 19 Frakturen (21,1 %) lag eine isolierte Fraktur des Radius vor.

Aus den sechs Fällen kombinierter Fraktur ohne osteosynthetische Versorgung der Ulna wurden in zwei Fällen (33,3 %) gute, in drei Fällen (50 %) mäßige Ergebnisse und in einem weiteren Fall (16,7 %) ein schlechtes Ergebnis erzielt. Bei den neun kombinierten Frakturen mit osteosynthetischer Stabilisierung der Ulna mittels ESIN konnte in drei Fällen (33,3 %) ein gutes, in fünf Fällen (55,6 %) ein mäßig gutes und in einem der neun Fälle (11,1 %) ein nur schlechtes Ergebnis erzielt werden.

Von den vier Patienten ohne Beteiligung der Ulna wurden in drei Fällen (75 %) ein gutes und in einem Fall (25 %) ein mäßiges Ergebnisse erzielt.

3.5.4. Therapie mit elastisch-stabilem intramedullären Nagel (ESIN)

Von den 19 Frakturen, die operativ mittels ESIN fixiert wurden, waren elf (57,9 %) als Grünholzfrakturen, eine (5,3 %) als Schrägfraktur und sieben (36,8 %) als Querfrakturen klassifiziert worden.

In den Röntgenaufnahmen bei Erstversorgung fand sich eine durchschnittliche Achsabweichung von $11,0^\circ$ ($SD \pm 7,9^\circ$; range: $3,6\text{--}36,6^\circ$) in der a. p. und $26,4^\circ$ ($SD \pm 14,5^\circ$; range: $1,5\text{--}55,1^\circ$) in der sagittalen Ebene; der durchschnittliche Seitversatz belief sich auf 24,0 mm ($SD \pm 51,06$ mm; range: $0,0\text{--}87,0$ mm) in a. p. und 21,0 mm ($SD \pm 37,2$ mm; range: $0,0\text{--}124,0$ mm) in der sagittalen Projektion. Für die Fraktur mit der geringsten Dislokation aus dieser Gruppe lag-vor Therapiebeginn-die Achsabweichung bei $12,5^\circ$ a. p./ $1,5^\circ$ sagittal. Die Fraktur mit der größten Achsabweichung, die mittels eines ESINs fixiert wurde, wies vor Therapiebeginn eine Deviation von $5,5^\circ$ a. p./ $55,5^\circ$ sagittal auf. Der Fall mit der geringsten Achsabweichung erforderte keine Revision. Bei dem Fall mit der größten Achsabweichung war im Vorfeld bereits ein Verfahrenswechsel von intramedullärem Kirschner-Draht auf ESIN erfolgt und im Verlauf war eine erneute Revision von ESIN zu einem Fixateur-externe erforderlich.

Sekundäre Dislokation

Beim Kontrollröntgen der 19 mit ESIN versorgten Patienten ereignete sich in vier Fällen (21 %) eine sekundäre Achsabweichung. Bei einer der Revisionen (25 %) handelte es sich um eine Fraktur im proximalen Drittel des diaphysären Übergangs, bei der zuvor bereits ein Wechsel von intramedullärem Kirschner-Draht auf ein osteosynthetisches Verfahren mittels ESIN erfolgt war. Im Verlauf musste erneut ein Verfahrenswechsel von ESIN auf einen Fixateur externe erfolgen. Eine der Redislokationen (25 %) unter ESIN ereignete sich im medialen Bereich der Diaphyse und es wurde zur osteosynthetischen Fixierung auf einen intramedullären Kirschner-Draht gewechselt. Im Bereich der distalen Diaphyse wurde in zwei Fällen (50 %) nach sekundärer Achsdeviation unter ESIN das Verfahren beibehalten und lediglich erneut unter Bildwandlerkontrolle reponiert.

Röntgenologische Ergebnisse

Wie bereits erwähnt, trat im Verlauf der Therapie mit ESIN bei drei der 19 Patienten (15,8 %) eine erneute Dislokation auf. In zwei dieser Fälle kam es zu einer Revision mit Verfahrenswechsel. In dem anderen der drei Fälle wurde das Verfahren, nach erneutem Repositionsmanöver, beibehalten. Somit reduziert sich die Anzahl der Patienten, deren Frakturen bis zur knöchernen Konsolidierung mittels eines ESINs stabilisiert wurden um zwei Fälle auf 17 Patienten. Zum Zeitpunkt des letzten Kontrollröntgens lag die durchschnittliche Achsabweichung bei $4,5^\circ$ ($SD \pm 4,6^\circ$; range: $0,0-15,4^\circ$) in a. p. und $5,8^\circ$ ($SD \pm 6,5^\circ$; range: $0,2-24,6^\circ$) in sagittaler Ebene, der durchschnittliche Seitversatz belief sich auf 5,1mm ($SD \pm 13,9$ mm; range: $0,0-57,0$ mm) in a. p. und 0,0mm ($SD \pm 0,0$ mm; range: $0,0$ mm) in seitlicher Projektion.

Ein gutes Ergebnis konnte bei elf der 17 Patienten (64,7 %) erzielt werden. Bei einem Patienten (5,9 %) konnte ein mäßiges Therapieergebnis erreicht werden. Bei den übrigen fünf der 17 Patienten (29,4 %) wurde ein schlechtes Ergebnis dokumentiert.

Ergebnisse abhängig von der Lokalisation

Unter allen 17 bis zur Konsolidierung mittels ESIN versorgten Frakturen kam der elastisch stabile intramedulläre Nagel im proximalen Bereich in neun Fällen (52,9 %) zur Frakturstabilisierung zum Einsatz. Davon wurden in fünf Fällen (55,6 %) gute Ergebnisse, in einem Fall (11,1 %) ein mäßiges Ergebnis und in drei Fällen (33,3 %) schlechte Ergebnisse erzielt.

Aus allen 17 durchgehend mittels ESIN therapierten Frakturen kam das Verfahren im medialen Bereich der Diaphyse in fünf Fällen (29,4 %) zur Anwendung und konnte in allen fünf Fällen (100 %) ein gutes Ergebnis erzielen.

Von den 17 mit ESIN versorgten Frakturen befanden sich außerdem drei (17,7 %) im distalen Bereich der Diaphyse. In einem dieser Fälle (33,3 %) konnte dabei ein gutes Ergebnis erzielt werden. Für die beiden anderen Frakturen (66,7 %) wurden lediglich schlechte Ergebnisse dokumentiert.

Ergebnisse abhängig von der Ulnabeteiligung

Unter allen 17 Frakturen, die mit durchgängig mit ESIN therapiert wurden, war in 14 Fällen (84,2 %) auch die Ulna frakturiert und wurde mittels eines ESIN stabilisiert. Bei den übrigen drei der 17 Fälle (17,6 %) aus der Verfahrensgruppe handelte es sich um isolierte Radiusfrakturen.

Von den 14 Patienten mit kombinierter Fraktur von Ulna und Radius wurde bei acht Patienten (57,1 %) ein gutes, bei einem Patienten (7,1 %) ein mäßig gutes und bei fünf Patienten (35,7 %) ein schlechtes Ergebnis erzielt.

Von den drei Patienten dieser Therapiegruppe mit reiner Radiusfraktur konnte in allen drei Fällen (100 %) ein gutes Ergebnis erreicht werden.

3.5.5. Therapie mit bikortikaler & intramedullärer Kirschner-Draht-Osteosynthese

Von den 7 Frakturen, die operativ mittels einer kombinierten Osteosynthese aus bikortikalem und intramedullärem Kirschner-Draht fixiert wurden, handelte es sich bei vier (57,1 %) um Grünholzfrakturen, die übrigen drei (42,9 %) wurden als Querfrakturen klassifiziert.

In den Röntgenaufnahmen bei Erstversorgung fand sich eine durchschnittliche Achsabweichung von $8,04^\circ$ ($SD \pm 3,5^\circ$; range: $3,7-14,5^\circ$) in der a. p. und $18,94^\circ$ ($SD \pm 8,9^\circ$; range: $3,0-26,6^\circ$) in der sagittalen Ebene, der durchschnittliche Seitversatz belief sich auf 16,0 mm ($SD \pm 21,5$ mm; range: 0,0–52 mm) in a. p. und 41,0 mm ($SD \pm 54,3$ mm; range: 0,0–125,0 mm) in der sagittalen Projektion. Für die Fraktur mit der geringsten Dislokation aus dieser Gruppe lag vor Therapiebeginn die Achsabweichung bei $8,8^\circ$ a. p./ $3,0^\circ$ sagittal. Die Fraktur mit der größten Achsabweichung, die mittels bikortikaler und intramedullärer Kirschner-Draht-Osteosynthese fixiert wurde, wies vor Therapiebeginn eine Deviation von $14,5^\circ$ a. p./ $26,6^\circ$ sagittal auf. In beiden Fällen erfolgte kein Verfahrenswechsel.

Sekundäre Dislokation

Beim Kontrollröntgen der sowohl mit bikortikalem als auch intramedullärem Kirschner-Draht versorgten Patienten ereignete sich in keinem der Fälle eine sekundäre Achsabweichung.

Röntgenologische Ergebnisse

Zum Zeitpunkt des Therapieendes bzw. nach Abnahme des Gipses lag die durchschnittliche Achsabweichung bei $3,6^\circ$ ($SD \pm 2,4^\circ$; range: $0,8-7,2^\circ$) in a. p. und $1,8^\circ$ ($SD \pm 1,4^\circ$; range: $0,0-4,2^\circ$) in sagittaler Ebene, der durchschnittliche Seitversatz belief sich auf $3,0$ mm ($SD \pm 7,9$ mm; range: $0,0-21,0$ mm) in a. p. und $7,0$ mm ($SD \pm 8,9$ mm; range: $0,0-20,0$ mm) in seitlicher Projektion.

Ein gutes Ergebnis konnte bei fünf der sieben Patienten (71,4 %) erzielt werden. Bei den übrigen zwei Patienten (von 7 = 28,6 %) konnte ein mäßiges Therapieergebnis erreicht werden. Keines der Behandlungsergebnisse war im Sinne der oben genannten Grenzen als schlecht zu bewerten.

Ergebnisse abhängig von der Lokalisation

Von allen sieben mittels Kombination aus bikortikalem und intramedullärem Kirschner-Draht stabilisierten Frakturen wurde das Osteosyntheseverfahren in einem der Fälle (14,3 %) zur Frakturstabilisierung im proximalen Bereich der Diametaphyse eingesetzt und erzielte dabei ein gutes Ergebnis.

Im medialen Bereich der Diametaphyse wurde das kombinierte Verfahren aus bikortikalem und intramedullärem Kirschner-Draht in drei der insgesamt sieben Fälle (42,9 %) eingesetzt und erzielte dort in einem der drei Fälle (33,3 %) ein gutes Ergebnis. Bei den anderen beiden Frakturen (66,6 %) wurde ein mäßiges Ergebnis erreicht.

Ebenfalls in drei der insgesamt sieben Fälle (42,8 %) kam die Kombination aus bikortikaler und intramedullärer Kirschner-Drahtosteosynthese im Bereich der distalen Diametaphyse in zum Einsatz und lieferte in allen dreien gute Ergebnisse.

Ergebnisse abhängig von der Ulnabeteiligung

Unter den 7 Frakturen, die operativ mittels kombinierter Osteosynthese aus bikortikalem sowie intramedullärem Kirschner-Draht versorgt wurden, war in sechs Fällen (85,7 %) auch die Ulna betroffen. In vier der sechs Fälle (66,6 %) mit kombinierter Fraktur beider Unterarmknochen wurde die Ulna konservativ therapiert. Bei den übrigen zwei der sechs kombinierten Frakturen (33,3 %) wurde die Ulna operativ mittels eines ESIN stabilisiert. Bei einer Fraktur (14,3 %) dieser Verfahrensgruppe war lediglich der Radius gebrochen.

Von den vier Patienten mit kombinierter Fraktur ohne osteosynthetische Versorgung der Ulna wurde in drei Fällen (75 %) ein gutes und in einem Fall (25 %) ein mäßiges Ergebnis erzielt. Bei den zwei kombinierten Frakturen mit osteosynthetischer Stabilisierung der Ulna mittels

ESIN konnten in einem Fall (50 %) ein gutes und ebenfalls in einem Fall (50 %) ein mäßig gutes Ergebnis erzielt werden.

Von dem Patienten ohne Beteiligung der Ulna wurde ein gutes Ergebnis erreicht.

3.6. Radiologische Ergebnisse in Übersicht

3.6.1. Übersicht radiologischer Therapieergebnisse in a. p. Projektion

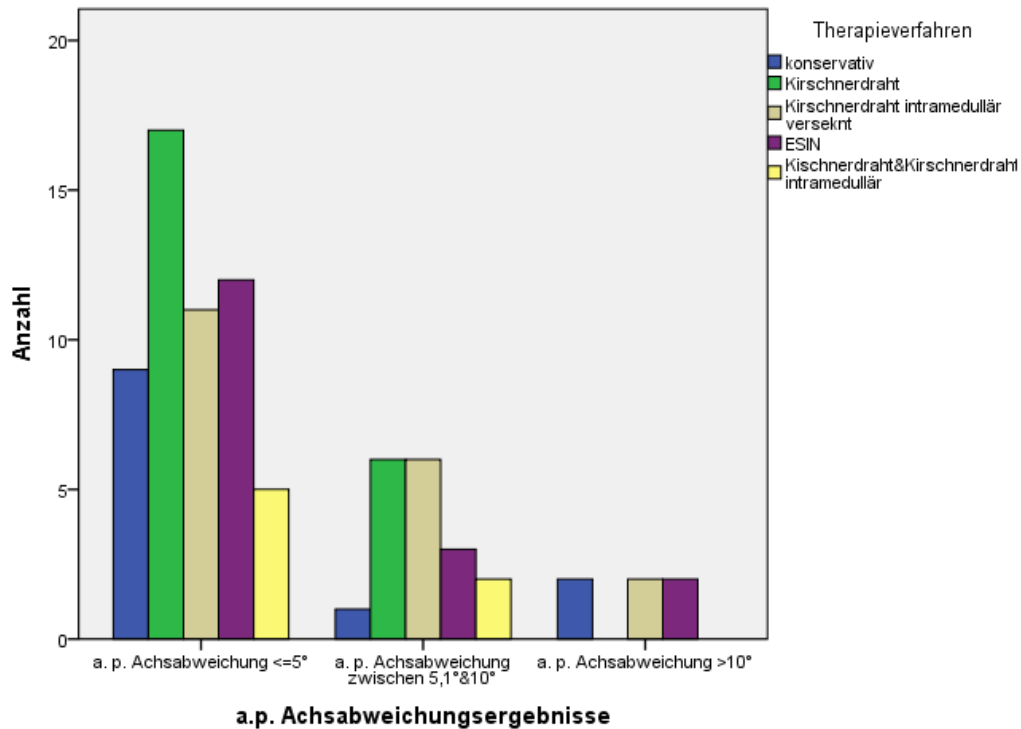


Abbildung 13
Übersicht über die Therapieergebnisse in der a. p. Röntgenaufnahme

Deutlich zeigt sich, dass in der a. p. Projektion mehrheitlich gute Ergebnisse erzielt wurden. Die Patienten aus den Gruppen, die mittels bikortikaler Kirschner-Drähte und kombinierter Osteosynthese aus bikortikalen und intramedullären Kirschner-Drähten behandelt wurden, erzielten bei isolierter Betrachtung des Röntgenbildes in a. p. Projektion in keinem der Fälle schlechte Ergebnisse.

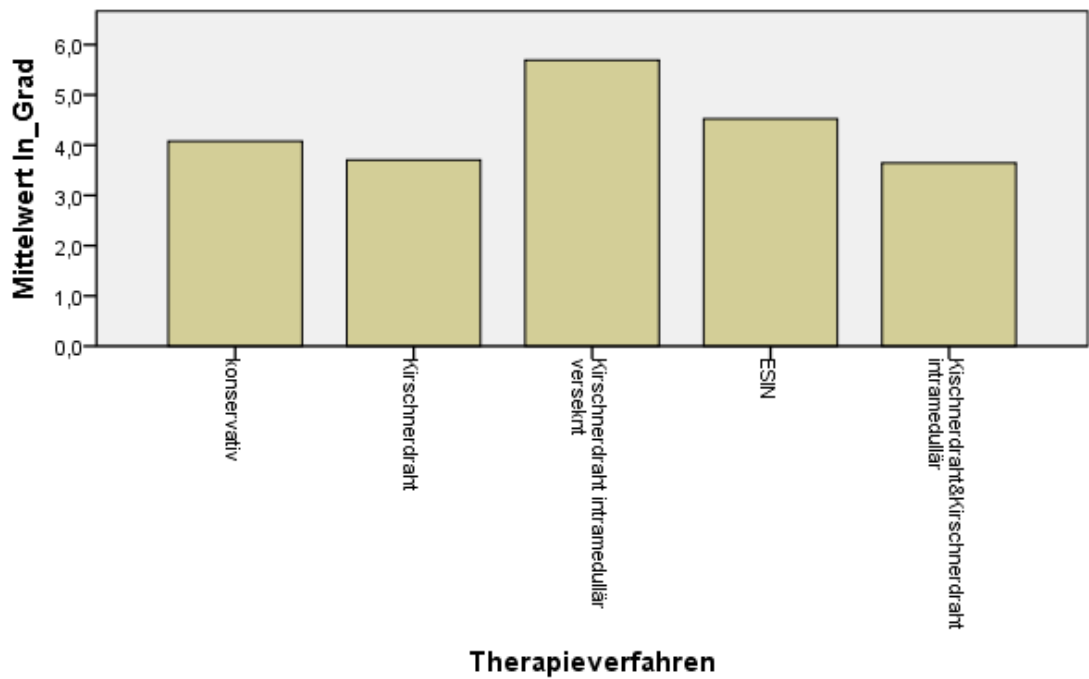


Abbildung 14
Übersicht über die durchschnittliche Achsabweichung in a. p. Projektion beim zuletzt erfolgten Kontrollröntgen (ca. 4 Wochen nach Erstversorgung)

Mit der Varianzanalyse „ANOVA“ konnte bestätigt werden, dass nach Abschluss der Therapie kein signifikanter Unterschied in der durchschnittlichen a. p. Achsabweichung der einzelnen Gruppen, verglichen mit der durchschnittlichen a. p. Achsabweichung der gesamten Studienpopulation, besteht ($p = 0,52$). Auch der anschließend durchgeführte Mehrfachvergleich „post-hoc“ lieferte keine signifikanten Unterschiede in den durchschnittlichen a. p. Achsabweichungen zwischen den einzelnen Gruppen untereinander (kleinstes $p = 0,67$; größtes $p = 1,0$).

3.6.2. Übersicht radiologischer Therapieergebnisse in seitlicher Projektion

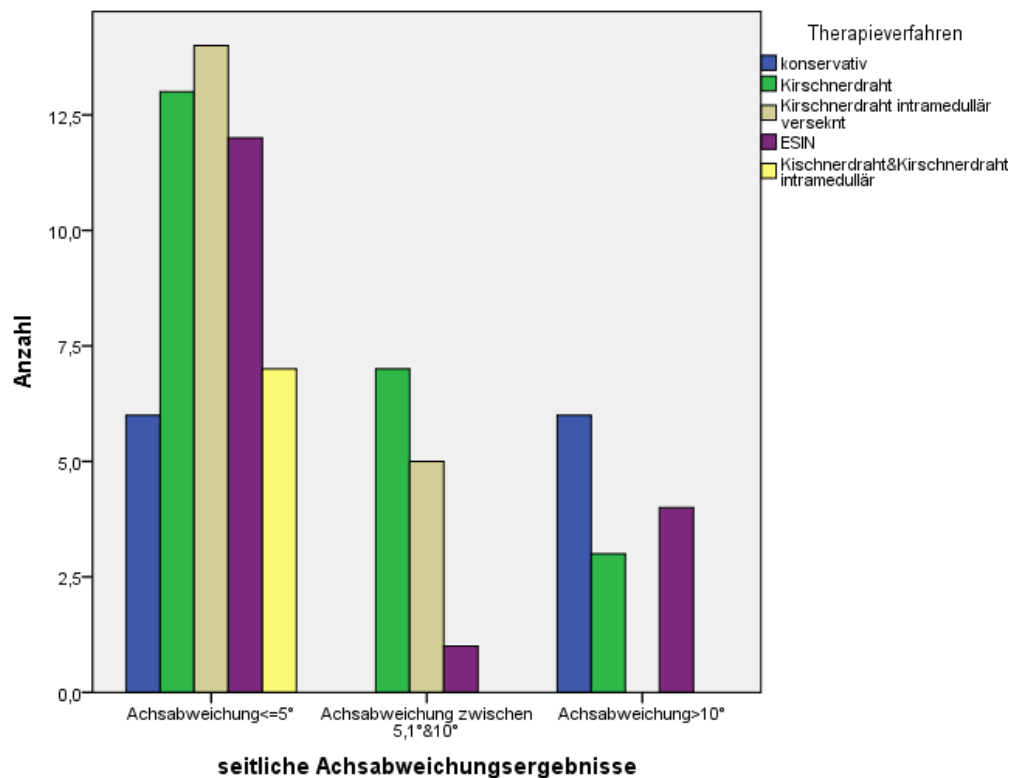


Abbildung 15
Übersicht über die Therapieergebnisse in der seitlichen Röntgenaufnahme

Verglichen mit den Röntgenbildern in a. p. Projektion zeigt sich in den seitlichen Röntgenaufnahmen deutlich häufiger eine noch verbliebene Achsabweichung von $> 10^\circ$. Bei den seitlichen Röntgenaufnahmen der beiden Gruppen, die mittels intramedullären Kirschner-Drähten und Kombination aus intramedullärem und bikortikalem Kirschner-Draht behandelt wurden, wurde kein schlechtes Ergebnis erzielt. Die hohe Anzahl an schlechten Ergebnissen der konservativ therapierten Frakturen, ist wahrscheinlich der Tatsache geschuldet, dass eine Achsabweichung von unter 10° bei diesen Patienten primär als akzeptabel eingestuft wurde, da das noch ausstehende Spontankorrekturpotenzial als ausreichend zum Ausgleichen der Fehlstellung erschien. Infolge der strikten Einteilung in dieser Studie, bei der ein Konsolidationsergebnis mit mehr als 10° Achsabweichung bereits als „schlecht“ gewertet wurde, kommt es also bei diesen konservativ versorgten Frakturen zu solchen Ergebnissen, obwohl der Verlauf vom Behandler genau so geplant war.

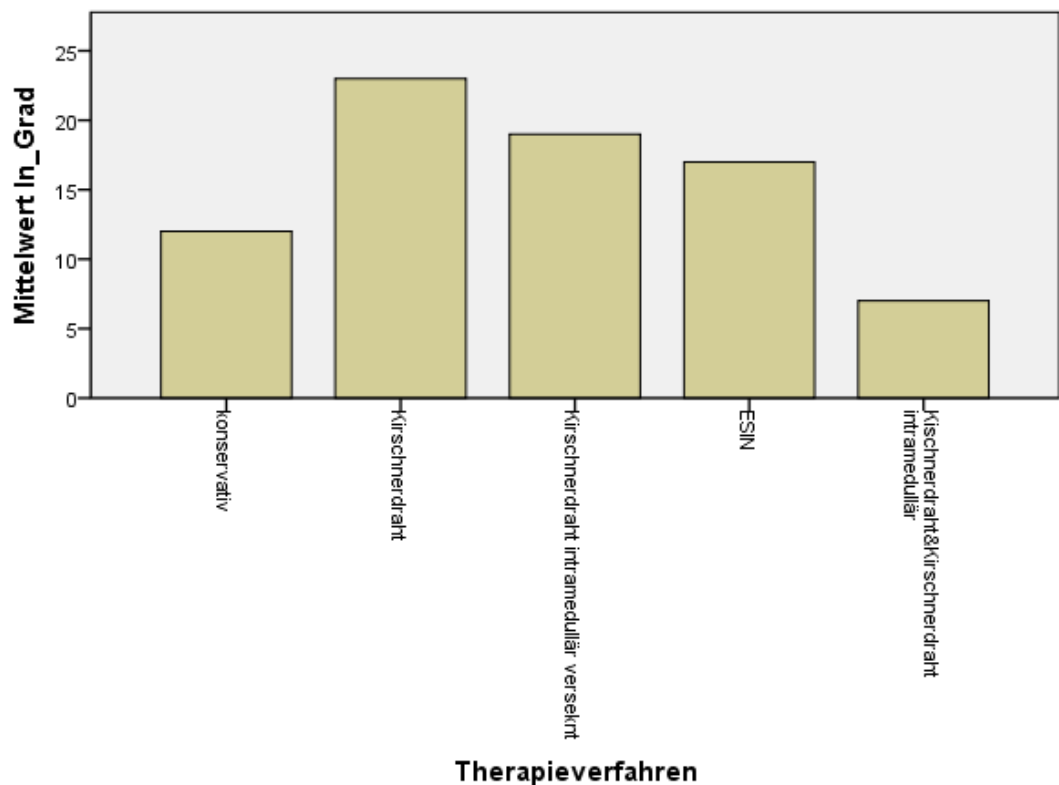


Abbildung 16

Übersicht über die durchschnittliche Achsabweichung in seitlicher Projektion beim letzten Kontrollröntgen (ca. 4 Wochen nach Erstversorgung)

Mit der Varianzanalyse „ANOVA“ konnte ein signifikanter Unterschied in der durchschnittlichen seitlichen Achsabweichungen einzelner Therapiegruppen, verglichen mit der durchschnittlichen seitlichen Achsabweichung der gesamten Studienpopulation, nachgewiesen werden ($p = 0,04$). Der anschließend durchgeführte „post-hoc“ Mehrfachvergleich konnte einen signifikanten Unterschied ($p = 0,012$) zwischen den Ergebnissen der mittels bikortikaler Kirschner-Draht-Osteosynthese versorgten Frakturen und der mittels kombinierter Osteosynthese aus bikortikalem und intramedullärem Kirschner-Draht versorgten Frakturen bestätigen. Beim Vergleich der übrigen Gruppen untereinander konnten keine signifikanten Unterschiede bezüglich ihrer sagittalen Achsabweichung festgestellt werden (kleinstes $p = 0,07$; größtes $p = 1,0$).

3.6.3. Übersicht über die durchschnittlichen Werte der frontalen und sagittalen Achsdeviation zu Therapiebeginn/Zeitpunkt des letzten Kontrollröntgens

Vor Therapiebeginn a. p.

Therapieverfahren	Mittelwerte	Anzahl	Standardabweichung	Minimum	Maximum
Konservativ	5,2°	19	4,4°	0,3°	17,2°
Bikortikaler Kirschner-Draht	9,1°	23	7,2°	0,2°	24,4°
Intramedullärer Kirschner-Draht	9,5°	20	7,2°	0,3°	27,8°
ESIN	11,0°	19	7,9°	3,6°	36,6°
Bikortikaler & intramedullärer Kirschner-Draht	8,0°	7	3,5°	3,7°	14,5°
Gesamtsumme	8,7°	88	6,8°	0,2°	36,6°

Tabelle 6
Werte der durchschnittlichen Achsabweichung in der a. p. Ebene vor Frakturversorgung

Die höchste durchschnittliche Achsdeviation in a. p. Projektion weisen die mittels ESIN versorgten Frakturen auf. Auch ist diese Therapiegruppe die einzige deren Durchschnittswert in frontaler Projektion > 10° aufweist.

Vor Therapiebeginn seitlich

Therapieverfahren	Mittelwert	Anzahl	Standardabweichung	Minimum	Maximum
Konservativ	13,9°	19	4,6°	3,0°	21,0°
Bikortikaler Kirschner-Draht	17,3°	23	8,8°	2,7°	34,2°
Intramedullärer Kirschner-Draht	16,9°	20	10,1°	0,5°	33,5°
ESIN	26,4°	19	14,5°	1,5°	55,1°
Bikortikaler & intramedullärer Kirschner-Draht	18,9°	7	8,9°	3,0°	26,6°
Gesamtsumme	18,6°	88	10,7°	0,5°	55,1°

Tabelle 7
Werte der durchschnittlichen Achsabweichung in der sagittalen Ebene vor Frakturversorgung

In der sagittalen Projektion zeigen alle Verfahrensgruppen eine durchschnittliche Achsdeviation > 10°. Auch in sagittaler Projektion weisen die Frakturen aus der Behandlungsgruppe der ESIN die höchste durchschnittliche Achsabweichung auf.

Zeitpunkt des letzten Kontrollröntgens a. p.

Therapieverfahren	Mittelwert	Anzahl	Standardabweichung	Minimum	Maximum
Konservativ	4,1°	12	4,1°	0,4°	13,3°
Bikortikaler Kirschner-Draht	3,7°	23	2,5°	0,6°	9,2°
Intramedullärer Kirschner-Draht	5,7°	19	4,6°	0,0°	17,0°
ESIN	4,5°	17	4,6°	0,0°	15,4°
Bikortikaler & intramedullärer Kirschner-Draht	3,6°	7	2,4°	0,8°	7,2°
Gesamtsumme	4,4°	78	3,8°	0,0	17,0°

Tabelle 8

Werte der durchschnittlichen Achsabweichung in der a. p. Ebene zum Zeitpunkt des letzten Kontrollröntgens

Zum Zeitpunkt des letzten Kontrollröntgens liegt lediglich der durchschnittliche Wert der mittels intramedullär versenktem Kirschner-Draht in a.p. Projektion $> 5^\circ$.

Zeitpunkt des letzten Kontrollröntgens

Therapieverfahren	Mittelwert	Anzahl	Standardabweichung	Minimum	Maximum
Konservativ	7,7°	12	6,5°	0,0°	16,8°
Bikortikaler Kirschner-Draht	4,7°	23	3,6°	0,2°	12,6°
Intramedullärer Kirschner-Draht	3,1°	19	2,2°	0,0°	6,9°
ESIN	5,8°	17	6,5°	0,2°	24,6°
Bikortikaler & intramedullärer Kirschner-Draht	1,8°	7	1,4°	0,0°	4,2°
Gesamtsumme	4,8°	78	4,8°	0,0°	24,6°

Tabelle 9

Werte der durchschnittlichen Achsabweichung in der sagittalen Ebene zum Zeitpunkt des letzten Kontrollröntgens

Den größten Durchschnittswert der sagittalen Achsdeviation zum Zeitpunkt des letzten Kontrollröntgens weist die Gruppe der konservativ versorgten Patienten auf. Auch bei der Gruppe der mittels ESIN versorgten Patienten liegt der Wert $> 5^\circ$.

	Ergebnis					
	gut		mäßig		schlecht	
Diametaphyse (n=78)	Radius isoliert	Ulna beteiligt	Radius isoliert	Ulna beteiligt	Radius isoliert	Ulna beteiligt
Proximal (n=17)	2	5	0	5	0	5
Medial (n=25)	3	10	3	4	2	3
Distal (n=36)	7	12	3	8	1	5

Tabelle 10

Überblick der radiologischen Ergebnisse aller Frakturen, die ohne Verfahrenswechsel bis zum Zeitpunkt des letzten Kontrollröntgens therapiert werden konnten

3.7. Komplikationen

3.7.1. Sekundäre Wundinfektion

Zu einer postoperativen Wundinfektion kam es in einem Fall (1,1 %) der Fälle 2 Wochen nach Materialentfernung bei Therapie mit einem ESIN. Unter einer antibiotischen Therapie mit Clindamycin war diese jedoch innerhalb von 3 Tagen rückläufig und konnte hierdurch folgenlos ausbehandelt werden.

3.7.2. Sekundäre Dislokation

Bei 14 Fällen (15,7 %) kam es im Verlauf der Behandlung zu einer Dislokation.

Von diesen entfielen acht (57 %) auf Patienten, die zuvor eine konservative Behandlung erhalten hatten. So dislozierte aus der Gruppe der 19 konservativ therapierten Patienten in insgesamt acht Fällen (42 %) die Fraktur im Verlauf der Behandlung. Dabei war unter diesen bei drei Frakturen (37,5 %) zuvor eine Reposition erfolgt, bei den übrigen fünf Frakturen (62,5 %) war lediglich mittels einer Gipsschiene retiniert worden.

Weitere zwei der 14 Dislokationen (14 %) ereigneten sich unter den Patienten, die mittels eines intramedullär verlaufendem Kirschner-Draht versorgt wurden; dies entspricht 10,5 % an allen 19 Patienten, die so therapiert wurden.

Außerdem ereignete sich drei der sekundären Dislokationen (21 %) bei Patienten, die via ESIN versorgt wurden, was 17,7 % von allen 17 so versorgten Fällen ausmacht.

Unter den gesamten 14 Revisionen kam es in elf der Fälle (78,6 %) zu einem Verfahrenswechsel, die übrigen drei Frakturen (21,4 %) wurden reponiert/erneut reponiert, das Behandlungsverfahren jedoch beibehalten.

Weder bei der Gruppe die mittels eines bikortikalen Kirschner-Draht Verfahren (n = 23) versorgt wurde noch bei der Gruppe, die durch eine kombinierten Therapie aus bikortikalem und intramedullärem Kirschner-Draht (n = 7) versorgt wurde ergab sich ein Fall einer Dislokation. Auch bei dem einzigen Fall, der nach Verfahrenswechsel schließlich mit Fixateur externe versorgt wurde ergab sich im Anschluss keine weitere Dislokation mehr.

Die Varianzanalyse „ANOVA“ zeigte, dass signifikante Unterschiede bezüglich der sekundären Dislokation einzelner Verfahrensgruppen verglichen mit der gesamten Studienpopulation bestehen (p = 0,002). Vergleicht man die Gruppen mittels Mehrfachvergleich „post-hoc“ untereinander konnte ein signifikanter Unterschied der erfolgten sekundären Dislokationen zwischen den Gruppen der konservativ versorgten und der mit bikortikalem Kirschnerdraht bzw. mit kombiniertem Verfahren aus intramedullärem und bikortikalem Kirschner-Draht bestätigt werden (jeweils p = 0,02). Bei letzteren waren keine Dislokationen erfolgt. Die Unterschiede bezüglich der sekundären Dislokation der anderen Therapiegruppen untereinander waren im Vergleich nicht als signifikant zu werten (kleinstes p = 0,22; größtes p = 0,99).

Es konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen sekundären Achsabkippung bei Beteiligung der ipsilateralen Ulna nachgewiesen werden (p = 0,6).

3.7.3. Nervenläsion

Sensibilität

Präoperativ bzw. vor Therapiebeginn hatte man bei zwei Patienten (von 88 = 2,27 %) Parästhesien dokumentiert. Ein Patient, der anschließend mit intramedullärem Kirschnerdraht versorgt wurde hatte an der dorsalen Hand des betroffenen Armes Taubheitsgefühl angegeben. Ein weiterer Patient, der zur Fixierung der Frakturfragmente einen bikortikalen Kirschner-Draht erhielt, litt unter Missempfindungen an den volaren Mittel- und Endgliedern an der Hand des betroffenen Arms. In beiden Fällen waren diese Missempfindungen postoperativ nicht mehr vorhanden.

Postoperativ ergaben sich ebenfalls bei zwei Fällen (von 88 = 2,27 %) Parästhesien. Beide waren zuvor mittels intramedullär verlaufenden Kirschner- Draht operativ versorgt worden. Ein Patient litt unter disseminierten Gefühlsstörungen im Bereich des betroffenen Arms, bei dem anderen Patienten manifestierten sich Missempfindungen im Bereich des

Inervationsgebiets des Nervus ulnaris. Bei Letzterem manifestierte sich auch eine motorische Ulnarisaffektion mit Ausbildung einer Krallenhand.

Motorik

Bei insgesamt sechzehn Fällen (von 88 = 18,2 %) kam es vor bzw. im Verlauf der Behandlung zur Einschränkung der Motorik an der betroffenen Hand.

Aus der Gruppe der konservativ versorgten Patienten (n = 19) lag zu Behandlungsbeginn bei zwei Fällen (10,5 %) ein Supinationsdefizit vor. Gegen Behandlungsende war in beiden Fällen keine Einschränkung mehr nachweisbar.

Bei den Patienten, die mit bikortikalem Kirschner-Draht versorgt wurden (n = 23), lag zum Unfallzeitpunkt in einem Fall (4,4 %) ein Pronationsdefizit vor, bei einem weiteren Patienten (4,4 %) wurde ein Supinationsdefizit festgestellt und zwei Patienten (8,8 %) litten unter Bewegungseinschränkungen, die jedoch in den Ambulanzdokumenten nicht näher definiert wurden. Rückläufig waren das Pronationsdefizit und die beiden nicht näher definierten Bewegungseinschränkungen der Patienten Zum Zeitpunkt der letzten Kontrolluntersuchung. Einzig das Supinationsdefizit eines Patienten dieser Gruppe war bei Therapieende noch immer vorhanden. Außerdem trat in eben derselben Gruppe ein Supinationsdefizit nach Materialentfernung neu auf.

Aus der Gruppe der Fälle, die mit einem intramedullär versenktem Kirschner-Draht versorgt wurden (n = 20) war vor Behandlungsbeginn in einem Fall (5 %) ein kombiniertes Pro- und Supinationsdefizit festgestellt worden, bei einem weiteren Patienten (5 %) wurde eine nicht näher definierte Bewegungseinschränkung präoperativ in den Ambulanzakten dokumentiert und bei zwei Fällen (10 %) war vor Therapiebeginn nur erschwert eine Supination der betroffenen Hand möglich. Hier war gegen Therapieende die Unfähigkeit der vollständigen Pro- und Supination eines Patienten rückläufig, ebenso wurde bei dem Patienten mit undefinierter Einschränkung der Motorik keine Bewegungseinschränkung mehr dokumentiert. Bei den zwei Fällen mit reinem Supinationsdefizit blieb diese bis Behandlungsende bestehen. Zu neu aufgetretenen Komplikationen nach Materialentfernung bezüglich der Motorik kam es in dieser Gruppe bei zwei Fällen. Ein Patient erlitt im Verlauf der Therapie eine Ulnarisschwäche mit Ausbildung einer Krallenhand, bei einem weiteren kam es gegen Therapieende zu Problemen sowohl bei der Pro-als auch bei der Supination. Außerdem kam es zu einem Fall von neu aufgetretener Einschränkung bei Extension im Handgelenk.

Unter den mittels ESIN versorgten Patienten (n = 17) kam es in zwei Fällen (11,8 %) im Verlauf der Behandlung zu einem Supinationsdefizit, welches auch gegen Behandlungsende vorhanden war. Weitere zwei Patienten (11,8 %) aus der Behandlungsgruppe wiesen vor

Therapiebeginn ein kombiniertes Pro- und Supinationsdefizit auf. Aus beiden Fällen bildete sich im Verlauf der Behandlung bei einem die Bewegungseinschränkung vollständig zurück, der zweite Patient wies auch nach Ablauf der Therapie nach wie vor Komplikationen bei der Umwendbewegung auf. Außerdem kam es bei letzterem Patient zusätzlich zu Schwierigkeiten beim Ausüben der Flexion und Extension. Mit Therapieende wurde in einem Fall (5,9 %) ein neu aufgetretenes Supinationsdefizit diagnostiziert.

Unter einer unvollständigen Umwendbewegung – im Sinne eines kombinierten Pro- und Supinationsdefizits – litten zwei Patienten (von 7 = 28,5 %) aus der Gruppe, die eine Kombinationstherapie aus intramedullär versenktem und bikortikalem Kirschner-Draht (n = 7) erhalten hatte. In einem der beiden Fälle mit gestörter Pro- und Supination waren die Beschwerden rückläufig, bei dem anderen Patienten kam es bis zur letzten Kontrolluntersuchung nicht zu einer Ausheilung. Zusätzlich manifestierte sich bei Letzterem ebenfalls eine Unfähigkeit der Ulnar- und Radialabduktion.

Insgesamt lassen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen Therapiemethoden und der Bewegungseinschränkung vor ($p = 0,58$) oder nach ($p = 0,4$) Therapieende feststellen.

3.8. Analgetikabedarf

Von allen 88 Patienten hat in 80 Fällen (91 %) eine Verabreichung von Analgetika (Paracetamol, Novalgin, Diclofenac) stattgefunden. Bei den acht Patienten, von denen keine Schmerzmedikation dokumentiert wurde, handelt es sich um Patienten deren Frakturen ohne Reposition mittels Gipsschienung versorgt wurden. Die Analgetikaeinnahmen dieser Patienten erfolgte anschließend im häuslichen Umfeld und konnte somit nicht nachvollzogen werden.

Von den 80 Patienten lag der Mittelwert aller Analgetikaverabreichungen insgesamt bei 5,6 Gaben, der Median bei 6 Applikation. Den höchsten Schmerzmittelbedarf wies die Gruppe, der mit ESIN versorgten Patienten mit durchschnittlich 6,7 Gaben auf. Streng genommen weist der einmalige Fall eines Patienten, der ein Fixateur externe zur Stabilisierung seiner Fraktur erhielt mit durchschnittlich 8 Gaben den höchsten Bedarf an Analgetika auf. Es handelt sich aber bei diesem Fall um die zweite Revision und auch um einen Einzelfall, weshalb es sich hier nicht um einen Mittelwert handelt. Den geringsten Bedarf an Analgetika verzeichneten die konservativ therapierten Fälle mit durchschnittlich 2,8 Darreichungen. Die minimale Anzahl an Verabreichungen erhielt ein Patient aus der Gruppe der Patienten, die mittels eines perkutanen Kirschner-Drahts versorgt wurden. In diesem Fall war eine

Einmalgabe zur Analgesie ausreichend. Am höchsten war der Analgetikabedarf bei einem Patienten aus der Gruppe, die mittels eines intramedullär versenkten Kirschner-Drahtes therapiert wurde. Hier mussten 14 Einzeldosen zur postoperativen Schmerztherapie verabreicht werden.

Die Varianzanalyse „ANOVA“ ergab einen signifikante Unterschied ($p = 0,00$) aller Patienten bezüglich ihres Analgetikabedarfs. Im Mehrfachvergleichstest „post-hoc“ konnten im Vergleich der konservativ versorgten Patienten mit allen operativ versorgten Patienten ein signifikante Unterschiede (kleinster p -Wert = $0,00$; größter p -Wert = $0,021$) gemessen werden. Der Vergleich der operierten Patienten untereinander ergab keine signifikanten Unterschiede in der Analgetikaapplikation (kleinster p -Wert = $0,80$; größter p -Wert = $1,00$).

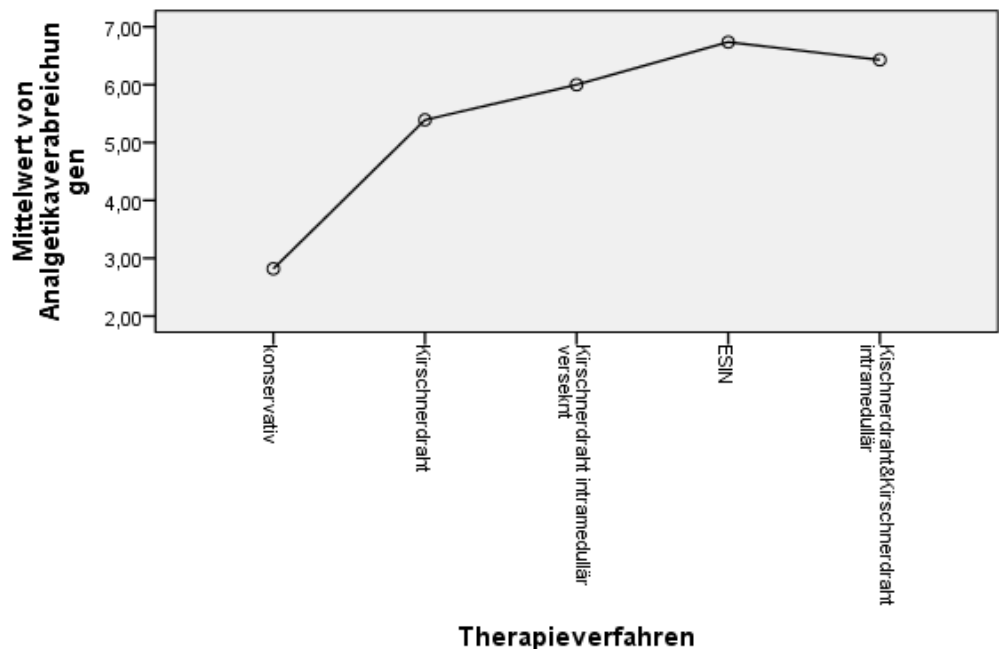


Abbildung 17

Durchschnittliche Gabe von Schmerzmitteln in den einzelnen Therapiegruppen.

Erkennbar ist, dass die Gruppe der konservativ therapierten Patienten durchschnittlich signifikant geringere Analgetikaverbreichungen benötigten. Bei den operativ versorgten Patienten lag kein signifikanter Unterschied in den Schmerzmittelgaben vor.

3.9. Operationsdauer

Insgesamt wurden 80 Patienten (91 % von 88) operativ versorg. Die übrigen acht Patienten (9% von 88) wurden konservativ, ohne Repositionsmanöver, in Gipsschienung retiniert.

Von den 80 Operationen lag der Mittelwert der Dauer bei ca. 24, 27 min. (SD ± 80 min.). Am längsten dauerte durchschnittlich mit 34,29 min. der Eingriff der Patienten mit kombinierter Osteosynthese aus bikortikalem Kirschner-Draht und intramedullär versenktem Kirschner-Draht. Die durchschnittlich kürzeste OP-Dauer mit 13,18 min. hingegen wiesen die Patienten, die lediglich einer Reposition im operativen Setting unterzogen wurden und anschließend mit Gipsschiene versorgt wurden, auf. Die maximale OP-Zeit von 69 min. wurde bei einem Patienten, der eine Kombination aus bikortikalem Kirschner-Draht und intramedullärem Kirschner-Draht erhielt, dokumentiert. Als der operativ kürzeste Eingriff wurde eine konservative Therapie bzw. ein Repositionsmanöver im Operationssaal mit 2 min. dokumentiert. In der „ANOVA“ Varianzanalyse konnte bezüglich Operationsdauer nachgewiesen werden, dass kein signifikanter zeitlicher Unterschied ($p = 0,76$) zwischen den operativen Therapien besteht. Im „post-hoc“-Mehrfachvergleichstest, der die zeitlichen Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen auf ihre Signifikanz überprüft, konnte das Ergebnis des „ANOVA“ Test (kleinstes $p = 0,94$, größtes $p = 1,00$) bestätigt werden.

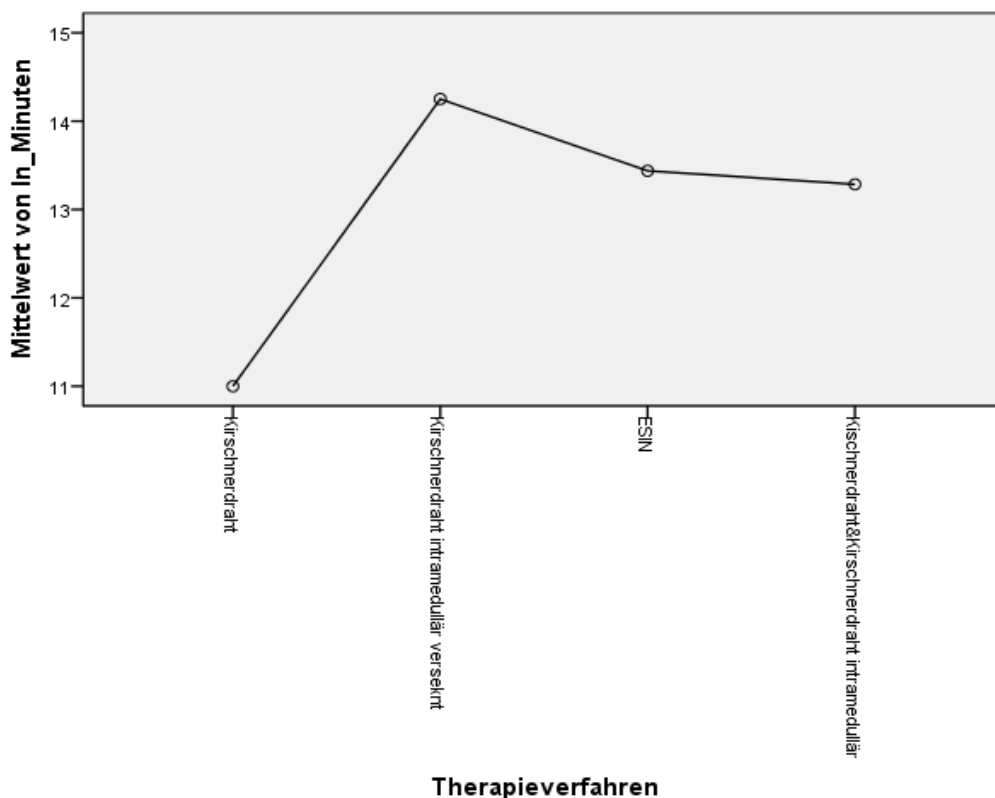


Abbildung 18
Durchschnittliche Dauer der Operation/Reposition der einzelnen operativen Therapiegruppen

3.10. Strahlenbelastung (Dosisflächenprodukt)

Ebenso wie die Operationszeit wurde bei 80 Patienten (91% von 88) das Dosisflächenprodukt, abgekürzt DFP, während der Bildwandlerkontrollen im OP dokumentiert. Hierbei ergab sich für die Grundgesamtheit ein Durchschnittswert von $37,5 \text{ Gy} \cdot \text{cm}^2$. Von den einzelnen Therapiegruppen wiesen die mit ESIN mit $59,3 \text{ Gy} \cdot \text{cm}^2$ das durchschnittlich höchste DFP auf. Das geringste durchschnittliche DFP konnte hingegen bei der Gruppe der konservativ behandelten Patientengruppe verzeichnet werden. Aus der Gesamtheit der 80 Fälle wurde der höchsten Strahlung mit $211,7 \text{ Gy} \cdot \text{cm}^2$ ein Patient während der osteosynthetischen Versorgung mit einem ESIN ausgesetzt. Die geringste Strahlenexposition perioperativ mit $0,7 \text{ Gy} \cdot \text{cm}^2$ wurde in einem Fall, der mit kombiniertem Verfahren aus perkutanem K-Draht und intramedullär versenktem K-Draht gemessen.

In der Varianzanalyse „ANOVA“ konnte ein signifikanter Unterschied bezüglich der durchschnittlich ausgesetzten Strahlendosis aller Patienten festgestellt werden ($p = 0,004$). Im Mehrfachvergleichstest „post-hoc“ konnte nachgewiesen werden, dass ein signifikanter Unterschied bezüglich des DFP zwischen der Gruppe der konservativ versorgten Patienten und der Gruppe der mittels bikortikalem K-Drahtosteosynthese ($p = 0,006$) versorgten Patienten besteht. Ebenfalls signifikant unterscheidet sich die Gruppe der konservativ behandelten Patienten von der Gruppe, die mit intramedullär versenktem Kirschner-Draht therapiert wurde ($p = 0,002$) bezüglich der ihr ausgesetzten Strahlendosis. Auch im Vergleich der konservativ therapierten Gruppe zu der mittels ESIN versorgten Gruppe ergab sich ein signifikanter Unterschied ($p = 0,003$) in der durchschnittlich ausgesetzten Strahlendosis. Für die übrigen Therapiegruppen untereinander ergaben sich keine signifikanten Unterschiede bezüglich ihrer Strahlenexposition bzw. des DFP (kleinster p-Wert = $0,28$; größter p-Wert = $1,0$).

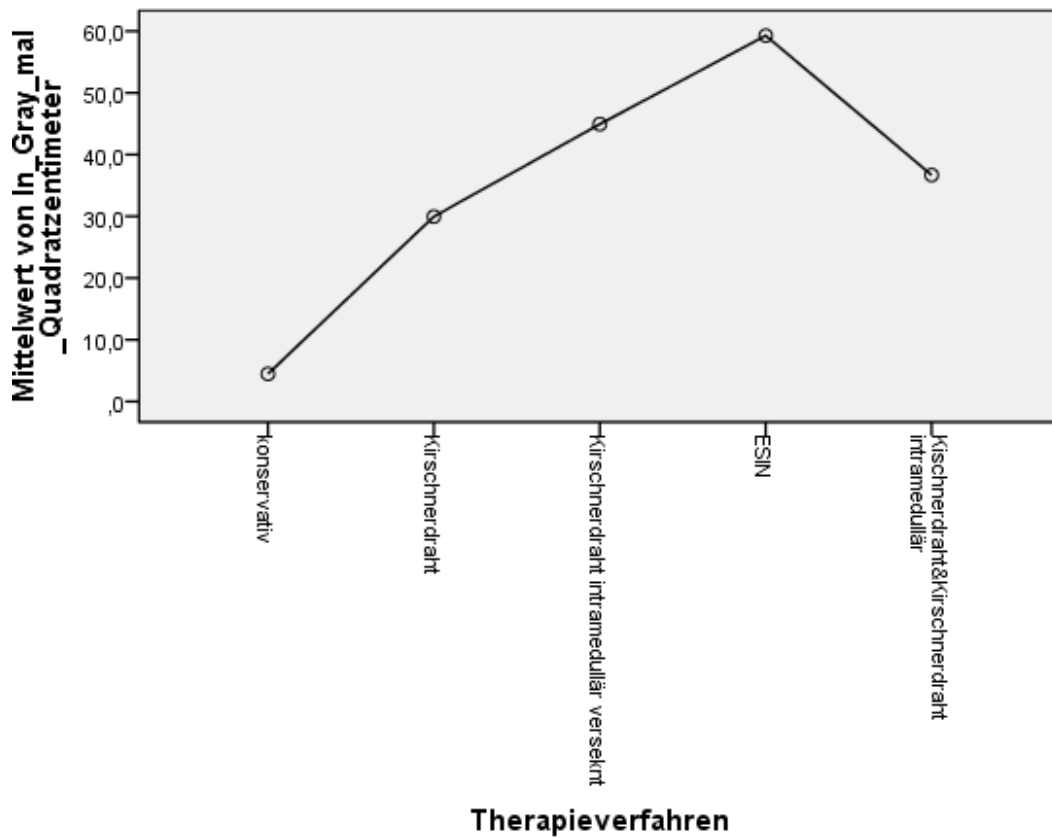


Abbildung 19
Mittelwerte des Dosisflächenproduktes in Gy+cm² der einzelnen Therapiegruppen.

Deutlich wird, dass die Patienten, die einer konservativen Therapie zugeführt wurden, einer signifikant geringeren durchschnittlichen Strahlenexposition ausgesetzt waren als die Patienten, die operativ versorgt wurden.

4. Diskussion

Das Ziel der retrospektiv angelegten Studie bestand vornehmlich in der Identifikation einer kindgerechten, adäquaten Frakturversorgung diaphysärer Radiusfraktur unter Verwendung einer exakten, reproduzierbaren Klassifikation und unter Berücksichtigung der Lokalisation innerhalb der Diaphyse um gute funktionelle, radiologische sowie kosmetischen Ergebnisse zu erzielen.

Leitlinien in der Kindertraumatologie sind nur schwer zu erstellen, da neben der Frakturart, der Stabilität auch des Dislokationsausmaßes unter Beachtung des altersabhängigen Spontankorrekturpotenzials und zusätzlich die soziale Situation mit in die Therapieentscheidung einfließen sollten. Da sich bisher kein Therapiealgorithmus für die diaphysäre Fraktur etabliert hat, fußt die Entscheidung für die jeweilige Frakturversorgung oft auf dem individuellen Erfahrungswert des behandelnden Arztes unter Berücksichtigung der oben genannten beeinflussenden Faktoren.¹ Die jungen Patienten können zwar oft aufgrund des ausgesprochen guten Spontankorrekturpotenzials im Wachstumsalter mittels konservativer Behandlung therapiert werden, dennoch zeigen sich vor allem bei älteren Kindern jenseits des 10. Lebensjahres oft weniger zufriedenstellende Ergebnisse.⁵³ Deshalb ist es heute durchaus etabliert Frakturen, die entweder nach Wiedereinrichten eine Achsabweichung $> 10^\circ$ aufweisen, oder solchen, die von vornherein eine Achsabweichung außerhalb des noch bestehenden Korrekturpotenzials aufweisen, operativ zu versorgen.^{54,55}

In der Gegenüberstellung von bisherigen Studien bzw. der aktuellen Literatur und den Ergebnisse dieser Studie sollen Ansätze zur Vereinheitlichung der Versorgung diaphysärer Radiusfrakturen gesucht werden.

4.1. Schwächen der Studie

Retrospektive Datenerhebung

Als Defizit der Studie muss vor allem die retrospektive Datenerhebung erwähnt werden. Da die Dokumentation bei den Nachuntersuchungen bzw. bei der Erstellung von Ambulanz- oder Operationsberichten nicht einheitlich von jedem Behandler durchgeführt wurde, konnten nachträglich keine wesentlichen Scores zur Beurteilung des klinischen Ergebnisses erhoben werden. Zwar wurden bei der Überprüfung von Motorik, Kraft und Sensibilität Bewegungseinschränkungen dokumentiert, oft jedoch ohne genaue Angaben von Bewegungsumfängen in Winkelgrad, wie es sie beispielsweise zur Erhebung des *Mayo Wrist Scores* oder des Scores nach Gartland und Warley^{56,57} benötigt hätte. Auch andere Parameter, wie Griffstärke, allgemeine Patientenzufriedenheit oder Einschränkungen im Alltag hätten bei prospektiv

angelegten Studien zuverlässiger und einheitlicher dokumentiert werden können. Somit hätte sich im Anschluss anhand von etablierten Beurteilungssystemen, wie des DASH-Scores, das klinische aber auch subjektiv empfundene Ergebnis besser beurteilen lassen.⁵⁸

Außerdem endet der Nachbeobachtungszeitraum, in dem Komplikationen auftreten hätten können oder sich die Frakturen durch ihre Spontankorrekturefähigkeit aufrichten hätte können mit dem Zeitpunkt der Materialentfernung/Abnahme des Gipses bzw. im Falle der ESIN mit dem Kontrollröntgen 4 Wochen postoperativ. Da dem distalen Bereich der langen Röhrenknochen jedoch eine beachtliche Fähigkeit zur spontanen Wiederaufrichtung zugeschrieben wird^{11,32} müssten Nachuntersuchungen in einem größeren Zeitraum, wie beispielsweise bei der retrospektiven Studie von Cai, Wang et al.⁵⁹ mit einem follow-up von mind. 12 Monaten oder der Studie von Schneiders et al.⁶⁰ mit einem durchschnittlichen Nachuntersuchungszeitpunkt von 16 Monaten erfolgen. Bei der Studie von Hove et al. zeigte sich nach einem 7-jährigen follow-up sogar, dass keine Achsabweichung sowie keine eingeschränkte Funktion des ehemals frakturierten Knochens mehr vorlag.⁶¹ Ähnliche Ergebnisse lieferte auch Zimmermann et al., indem er in seiner Studie nachweisen konnte, dass verbleibende Fehlstellungen während der Heilung bei Patienten < 10 Jahren die Langzeitergebnisse nicht beeinflusst hätten. Wahrscheinlicher wären jedoch unzufriedenstellende Ergebnisse bei Achsabweichungen > 20°, einer Dislokation > einer halben Schaftbreite und Patienten jenseits des 10. Lebensjahres.⁶² Diverse Studien mit längerem follow-up konnten also die gute Korrekturfähigkeit distaler Radiusfrakturen nachweisen und somit die Notwendigkeit eines längeren Nachuntersuchungszeitraumes nahelegen.

Selektionsbias

Als weiterer Störfaktor der Studie, muss außerdem der Selektionsbias bei der Zuteilung der Patienten zu den jeweiligen Behandlungsverfahren genannt werden. In einer prospektiv angelegten Studie mit randomisierter Zuteilung zu den einzelnen Therapiegruppen hätte dies verhindert werden können. Die Zuteilung mittels Losverfahren wäre z.B. denkbar, würde jedoch nur bei ausreichend großer Studienpopulation zu einer Gleichverteilung bezüglich Größe, Frakturart, Durchschnittsalter etc. führen. Es macht wenig Sinn Frakturen, bei denen die Fähigkeit zur Spontankorrektur lediglich durch Reposition und anschließender Gipsschienung oder gar nur Gipsschienung gegeben ist, von vornherein einer operativen Therapie zu unterziehen. Auch dafür hätte man sich allerdings Abhilfe verschaffen können, indem man die verschiedenen Frakturformen in diaphysärer Lokalisation gruppiert mit den jeweils durchgeführten Therapien untereinander vergleicht. Bisherige Studien waren

darauf ausgelegt einen Behandlungserfolg bzw. eine geringe Komplikationsrate eines bestimmten Therapieverfahrens im diaphysären Übergang des Radius zu bestätigen^{63,64} oder zwei Methoden miteinander zu vergleichen.⁵⁹ Der Vergleich von verschiedenen Frakturformen mit unterschiedlichen Therapiemethoden, wie es in der vorliegenden Studie erfolgt ist, gestaltet sich auch in der statistischen Auswertung als schwierig. Die Populationsvariationen bezüglich Frakturform beeinträchtigt hier vor allem die Vergleichbarkeit.

Mangelnde Stratifikation

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie sind aufgrund einer mangelnden Stratifikation der untersuchten Patientengruppe bezüglich des Patientenalters nur bedingt generalisierbar. Bei Patienten, welche jünger als 10–12 Jahre sind besteht, bedingt durch die noch offenen und aktiven Wachstumsfugen, ein erhebliches Potenzial zur Spontankorrektur.^{2,20} Haben die Patienten das 10./12. Lebensjahr jedoch überschritten muss mit einer geringeren Spontanwiederaufrichtung bzw. -korrektur gerechnet werden. Der Gedanke, dass Frakturen der jüngeren Patienten unabhängig von der jeweiligen Behandlungsmethode bessere – sowohl kosmetische als auch funktionelle – Ergebnisse liefern ist also naheliegend. Es scheint deshalb sinnvoll die Patienten bezüglich ihres Alters zu gruppieren. Denkbar wäre beispielsweise eine Einteilung der Studienkohorte in zwei Gruppen über sowie unter 10 Jahren gewesen. Auch hätte man aber ein cut-off bei 10/12 Jahren des Alters als Einschluss bzw. Ausschlusskriterium wählen können.

Mangelnde Vergleichsgrundlage

Die Tatsache, dass kaum vergleichbare Studien existieren bzw. es an Studien mangelt, die speziell die Diaphyse als therapeutisch komplizierte Lokalstation beleuchten, erschwert die Einordnung der Studienergebnisse in die aktuelle Literatur. Um die Studie mit ihren Ergebnissen dennoch beurteilen zu können, erfolgten Vergleiche mit Studien distaler Radiusfrakturen, teilweise auch diaphysärer Frakturen.

4.2. Geschlechtsverteilung

Das Untersuchungskollektiv aus 88 Patienten setzte sich zu 27,4 % aus weiblichen Patientinnen und zu 72,7 % aus männlichen Patienten zusammen. Die Ergebnisse der Geschlechterverteilung mit der erhöhten Inzidenz männlicher versus weiblicher Patienten/-innen entsprechen auch der erhöhten Prävalenz von Frakturen bei Jungen in der Literatur. Als Ursache werden geschlechterspezifische Unterschiede in der Risikowahrnehmung und –

bereitschaft verantwortlich gemacht. Zudem wird in einigen Studien eine unterschiedliche Exposition gegenüber unfallträchtigen Situationen wie z.B. körperlicher Aktivität, Sport etc. für die ungleichmäßige Geschlechtsverteilung verantwortlich gemacht.⁶⁵⁻⁶⁷ Die Zahlen der Geschlechtsverteilung legen nahe, dass die Stichprobe in etwa der Prävalenz distaler Radiusfrakturen im Kindesalter entspricht.

4.3. Interpretation der Therapieergebnisse

Zur Beurteilung der therapeutischen Resultate müssen unterschiedliche Parameter jeweils separat beleuchtet werden, da jedes Verfahren Vorteile aber auch Nachteile bzw. Einschränkungen mit sich bringt.

Generell sollte wie bei anderen Frakturlokalisationen die kindgerechte Frakturversorgung im diaphysären Übergangsbereich folgende Ansprüche erfüllen: Allem voran muss das Ziel stehen die Funktionalität und die ursprüngliche anatomische Stellung oder zumindest eine tolerable Fehlstellung mit der Fähigkeit zur Spontankorrektur durch Wachstum wiederherzustellen. Die Therapie sollte im Falle einer Osteosynthese, wenn möglich, bewegungs- und früh belastungsstabil sein und nach Möglichkeit keiner zusätzlichen Ruhigstellungsmaßnahme (z.B. Gippschienung) bedürfen, auch sollte ein vernachlässigbar geringes Risiko bestehen Wachstumsstörungen zu verursachen. Zudem sollte das Verfahren so gering invasiv wie nur möglich sein und auch zu einem kurzen Krankenhausaufenthalt beitragen. Auch sollte ein invasiver Zweiteingriff vermieden werden und natürlich sollte das Verfahren für den kleinen Patienten einen möglichst hohen Tragekomfort gewährleisten.

Radiologische Ergebnisse

Bei isolierter Betrachtung der radiologischen Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigt sich das kombinierte Verfahren aus bikortikalem und intramedullärem Kirschner-Draht mit 71,4 % (siehe 3.5.5.) guten Ergebnissen und keinem schlechten Ergebnis als überlegen gegenüber den übrigen Verfahrensgruppen. Zudem weist die kombinierte Osteosynthese aus bikortikaler und intramedullärer Kirschner-Drahtspickung beim zuletzt durchgeführten Kontrollröntgen die geringste durchschnittliche Achsdeviation sowohl in a. p. Projektion (siehe 3.6.3.; Tabelle 8; $3,6^\circ \pm 2,4^\circ$) als auch im seitlichen Strahlengang (siehe 3.6.3., Tabelle 9; $1,8^\circ \pm 1,4^\circ$) auf. Zusätzlich zeigen sich bei Betrachtung der radiologischen Ergebnisse des kombinierten Osteosyntheseverfahrens keine Zusammenhänge zwischen guten/mäßigen Ergebnissen und der Lokalisation proximale/mediale oder distale Diaphyse. Diese Beobachtung scheint auch naheliegend wenn man sich, wie oben beschrieben (siehe 1.5.2.3.), vor Augen hält, dass bereits die intramedulläre Kirschner-Draht-Osteosynthese an sich gewissermaßen eine Art

Kombination aus dem gängigen Verfahren metaphysärer Frakturversorgung mittels bikortikaler Kirschner-Draht-Osteosynthese und dem diaphysärer Frakturversorgung mittels ESINs darstellt¹. Somit könnte man annehmen, dass es sich bei dem Verfahren der intramedullären Kirschner-Draht-Osteosynthese um eine weitestgehend geeignete Methode zur sicheren Retention speziell des Übergangs von Dia-zu Metaphyse unabhängig der genauen Lokalisation innerhalb dieses Bereichs handelt. Auch in der 2010 veröffentlichten Studie von Lieber J. et al.⁴⁴ erweist sich die singuläre intramedulläre Kirschner-Draht-Osteosynthese als geeignetes minimal-invasives, schnelles und technisch einfaches Verfahren zur Versorgung von Frakturen der Diametaphyse, lediglich die zusätzlich nötige Immobilisation im Gips wird als Nachteil des Verfahrens genannt. Die radiologischen Ergebnisse der vorliegenden Studie lassen vermuten, dass sich durch zusätzliche bikortikale Kirschner-Drahtfixierung des Repositionsergebnisses der verhältnismäßig geringe 10,5 %- ige Anteil an schlechten Ergebnissen der alleinigen intramedullären Kirschner-Drahtfixierung (siehe 3.5.3.) weiter reduzieren ließe. Jedoch liegt die Anzahl der Patienten, die eine kombinierte Osteosynthese aus bikortikalen und intramedullären Kirschner-Drähten erhielten, mit 7 Patienten deutlich unter der durchschnittlichen Gruppengröße von 15,6 Patienten. Fraglich bleibt ob sich die Ergebnisse auch bei größeren Studienpopulationen reproduzieren lassen. Mit Sicherheit sollte aber bei weiteren Untersuchungen ein längerer Nachbeobachtungszeitraum – wie beispielsweise bei der Studie von Lieber J. et al.⁴⁴ mit durchschnittlich 17 Monaten – gewählt werden. Des Weiteren stellt ja genau die bikortikale Verankerung des Kirschner-Drahtes im Bereich der Diametaphyse das wesentliche technische Problem dar, sodass dieses Verfahren für diese Lokalisation nicht allgemein empfohlen werden kann.

In Anbetracht der zahlreichen schlechten radiologischen Ergebnisse (50 %, siehe 3.5.1.) der konservativ ohne Reposition versorgten Frakturen, scheint dieses Verfahren auf den ersten Blick nur bedingt für die Versorgung der distalen Radiusdiametaphyse geeignet zu sein. Der Nachbeobachtungszeitraum von ca. vier Wochen ist jedoch sehr kurz gewählt und ermöglicht dem kindlichen/juvenilen Knochen mit seiner ausgesprochenen Fähigkeit zur Spontankorrektur nur bedingt die Möglichkeit die verhältnismäßig starke Achsabweichung (siehe 3.6.3.; Tabelle 8 & 9) auszugleichen. Die große Anzahl an schlechten radiologischen Ergebnissen könnte also auch der streng gewählten Korrekturgrenzen dieser Studie geschuldet sein. So hatte Lieber et al.^{1,1} für Frakturen im diaphysären Übergang empfohlen bei den unter 10-Jährigen stets die Grenzen zur Spontankorrekturfähigkeit der metaphysären Frakturen (sagittal < 30°; frontal < 10°) zu wählen und die Frakturen der über 10-Jährigen den Grenzen der

diametaphysären Frakturen (sagittal $< 10^\circ$; frontal $< 5^\circ$) zuzuordnen. Da in der vorliegenden Studie keine Subgruppeneinteilung bezüglich des Patientenalters erfolgt ist, könnten speziell für die jüngeren Patienten mit noch ausgeprägtem Potenzial zur spontanen Wiederaufrichtung die Ergebnisse zu streng bewertet worden sein. Wohl haben jedoch die primären Behandler teils diese Korrekturgrenzen für die Entscheidung zur konservativen Therapie zugrunde gelegt. Wenn die Achsabweichung also bereits vor Beginn der Therapie $> 10^\circ$ betrug, kann sie bei reiner Ruhigstellung ohne Reposition am Therapieende nicht geringer sein. In der vorliegenden Studie wäre dies als schlechtes Ergebnis gewertet worden, obwohl dies keinerlei Rückschlüsse auf die Therapie erlaubt.

Die radiologischen Ergebnisse der mittels ESIN therapierten Frakturen zeigen mit 29,4 % (siehe 3.5.4.) ebenfalls einen relativ hohen Anteil an schlechten Therapieergebnissen verglichen mit den übrigen osteosynthetischen Behandlungsverfahren. Betrachtet man jedoch die radiologischen Daten zu Therapiebeginn, so fällt auf, dass sowohl in der a. p. Projektion ($11,02^\circ$; siehe Tabelle 6) als auch in der seitlichen Projektion ($26,4^\circ$; siehe Tabelle 7) in der ESIN Gruppe anfangs jeweils der höchste durchschnittliche Grad an Achsabkippung gemessen wurde. Angesichts der Tatsache, dass auch durch ein Repositionsmanöver mit anschließender osteosynthetischer Fixierung keine anatomische Stellung ohne verbleibende Achsabweichung erlangt werden kann, verwundert es nicht, dass in der Gruppe mit den zunächst am gravierendsten dislozierten Frakturen auch beim letzten Kontrollröntgen nach wie vor stärkere Achsdeviationen bestehen als bei den übrigen Osteosynthesegruppen. Zusätzlich ist auch hier davon auszugehen, dass sich die Ergebnisse im Laufe der Zeit noch durch die Korrekturfähigkeit des juvenilen Knochens verbessern bzw. denen der übrigen Osteosyntheseverfahren angleichen werden.

Ergebnisse in Abhängigkeit der Lokalisation

Betrachtet man die radiologischen Ergebnisse aller Therapiegruppen hinsichtlich ihrer Lokalisation innerhalb der Diaphyse zeigt sich deutlich der Selektionsbias (siehe 4.1.) bezüglich der Zuteilung der Frakturen zu ihrem jeweiligen Behandlungsregime. So fällt auf, dass unter den mit bikortikalem Kirschner-Draht fixierten Frakturen vorwiegend Brüche im distalen diaphysärem Übergang (73,9 %) therapiert wurden und die Osteosynthese an dieser Lokalisation auch größtenteils gute (52,9 %) oder mäßige (41,2 %) Ergebnisse erzielen konnte. Dies ist auch nicht weiter verwunderlich, da diese Lokalisation für die bikortikale Kirschner-Drahtosteosynthese technisch am Einfachsten ist.

Bei der Therapiegruppe der mittels ESIN fixierten Frakturen hingegen zeigt sich ein gehäufte

Einsatz bei Brüchen im proximalen Drittel der distalen diaphysären Übergangszone (52,9 %), die auch hier überwiegend in guten (55,2 %) oder mäßigen (11,1 %) Ergebnissen resultierte. Entsprechend schneidet der bikortikale Kirschner-Draht, bei einmaligem Einsatz in proximaler Diaphyse mit schlechtem Ergebnis (100 %) bzw. der ESIN, bei nur dreimaligem Einsatz in distaler Diaphyse (17,7 %) mit überwiegend schlechten Ergebnissen (66,7 %) ab. Die Einteilung der diaphysären Übergangszone in proximal, medial und distal scheint also durchaus sinnvoll bei der Therapiewahl. So könnte sich die präoperative Therapieentscheidung letztlich, je nach Lokalisation innerhalb der Diaphyse, nach dem Behandlungsalgorithmus entweder metaphysärer Frakturen oder diaphysärer Frakturen richten. Um jedoch tatsächlich die Überlegenheit eines der beiden Verfahren in der jeweiligen Region zu beweisen, müsste man in einer prospektiv angelegten Studie die Verfahren bei gleich großer Fallzahl und ähnlichem Frakturtypus in der entsprechenden Lokalisation vergleichen. Ähnliche Ansätze zur Optimierung der Behandlungsentscheidung im diaphysären Übergang werden von Lieber et al.¹ erwähnt. Als Methode schlägt er vor die distale Fragmentlänge (DFL) zur gesamten Radiuslänge (TRL) ins Verhältnis zu setzen und bei einem DFL/TRL Quotienten $> 0,3$ auf die konventionelle Technik des ESIN zu setzen. Bei einem DFL/TRL Quotienten zwischen 0,25 und 0,3 erbrachte im Rahmen einer Studie¹ der Einsatz eines ESINs – wenn durch erfahrene Operateure durchgeführt und unter entsprechender Vorbiegung des Osteosynthesematerials – gute Ergebnisse. Für DFL/TRL $< 0,25$ sollte ein anderes geeigneteres Verfahren dem der elastischen stabilen intramedullären Nagelung vorgezogen werden. Auch bei dieser Methode trägt also die exakte Lokalisation innerhalb der Diaphyse erheblich zur schlussendlichen Therapieentscheidung bei.

Den technischen Schwierigkeiten bei Anwendung eines elastischen intramedullären Nagels im diaphysären Übergang und auch dem erhöhte Risiko einer Verschiebung des proximalen Fragments nach Kontralateral⁶⁴, der Erschlaffung der Membrana interossea und folglich einer Einschränkung der Unterarmrotation könnte durch das Vorbiegen des Nagels entgegengewirkt werden. Ge et al.⁵⁰ konnten in ihrer 2010 vorgelegten Veröffentlichung bei einer der vorliegenden Studie vergleichbar großen Studienpopulation (n = 18) bei jeweils mit um ca. 30° vorgebogenem ESIN versorgten distalen Schaftfrakturen nach mindestens 12 Monaten fast ausschließlich gute funktionelle Ergebnisse (94,4 %) und ausschließlich gute radiologische Ergebnisse erzielen. In einer weiteren Studie aus dem Jahr 2014 konnten Cai et al.⁶⁴ durch Vorbiegen des distalen Nagels um ca. 90° bei ihrer Studienpopulation von 52 pädiatrischen Patienten mit distalen diaphysären Radiusfrakturen nach 12–15 Monaten durchwegs gute funktionelle Ergebnisse trotz verbliebener Dislokation erzielen. Die

verbliebene Achsabweichung scheint also vor allem bei längerem Nachbeobachtungszeitraum kaum die Prognose bzw. Funktionalität des Unterarms zu beeinträchtigen. Auch in der vorliegenden Studie ereigneten sich unter den 17 mit ESIN therapierten Patienten in vier Fällen (siehe 3.7.3; 23,5 %) funktionelle Einbußen im Sinne eines Pro- oder Supinationsdefizit. Ob sich die größere Anzahl an diesen funktionell unbefriedigenden Ergebnissen durch das konsequente Vorbiegen der elastischen Nägel – wie von Ge oder Cai et al. praktiziert – reduzieren ließe bleibt fraglich. Die besseren funktionellen als auch radiologischen Ergebnisse könnten aber durchaus der Tatsache geschuldet sein, dass in beiden Studien^{50,64} das Repositionsergebnis zusätzlich für 4 Wochen im Gips immobilisiert wurde, wohingegen in der vorliegenden Studie der ESIN als bewegungsstabile Osteosynthese angesehen wurde und über den gesamten Nachbeobachtungszeitraum ohne zusätzliche Immobilisierung blieb. Mit Sicherheit trägt aber der längere Nachbeobachtungszeitraum (ca. 4 Wochen vs. mind. 12 Monate) zu den besseren sowohl funktionellen als auch radiologischen Ergebnissen bei.

Sekundäre Dislokation

Betrachtet man die Rate an sekundären Dislokationen der einzelnen Behandlungsgruppen (siehe 3.7.2.), fällt auf, dass sich keine sekundäre Achsabkippung unter den mittels bikortikalem Kirschner-Draht behandelten Frakturen und denen mit kombinierter Osteosynthese aus bikortikalem und intramedullärem Kirschner-Draht ergeben hat. Da die sekundäre Abkippung bekanntlich eine häufige Komplikation in der konservativen Therapie distaler Radiusfrakturen darstellt^{53,68,33}, verwundert auch nicht die hohe Rate an sekundären Achsdeviationen (42 %) der konservativ therapierten Patienten der vorliegenden Studie. Miller et al.⁶⁹ konnten in einer prospektiv angelegten Studie zum Vergleich konservativ therapierter Patienten zu Patienten, die eine bikortikale Kirschner-Draht-Osteosynthese erhielten, eine vergleichbar hohe Rate an sekundären Dislokationen von 39 % bei der konservativen Therapiegruppe nachweisen. Bei der Gruppe der mittels bikortikaler Kirschner-Drähte behandelten Patienten ereigneten sich auch bei ihrer Studie keine Fälle von sekundären Achsdeviation.⁶⁹ Da die Einschlusskriterien bei der Studie von Miller et al. bezüglich Patientenalter (> 10 Jahre) und Grad der Achsdeviation bei Erstversorgung (> 30°) strenger gewählt wurden, stellt sie eine nur unbefriedigende Vergleichsgrundlage zur vorliegenden Studie dar. Diese erhöhte Komplikationsrate führt jedoch dazu, dass einige Autoren für den Einsatz bikortikaler Kirschner-Drähte plädieren ohne dabei auf das altersabhängige Korrekturpotenzial einzugehen.^{43,33} Für sie stellen lediglich nicht dislozierte, gering dislozierte oder ein „perfektes“ Repositionsergebnis eine Situation dar, in der auf

zusätzliche bikortikale Kirschner-Drahtfixierung verzichtet werden kann. Auch Zamzam et al.⁷⁰ untersuchten in einer Studie die Wahrscheinlichkeit einer sekundären Achsabkippung nach zunächst akzeptablem Repositionsergebnis und schlussfolgerten, dass im Falle einer komplett dislozierten Fraktur ohne verbliebene knöcherne Verbindung stets eine osteosynthetische Versorgung mittels Kirschner-Drähten erfolgen sollte. Der Einsatz von Kirschner-Drähten zur Frakturstabilisierung sollte auch im Falle eines initial zufriedenstellenden Ergebnis des Repositionsvorgangs erfolgen. Ähnlich lauten die Empfehlungen von Mc Lauchlan et al.⁷¹ in ihrer Studie zu dislozierten distalen Radiusfrakturen im Kindesalter und deren Wahrscheinlichkeit zur sekundären Dislokation nach erfolgter Reposition. Auch sie halten im Falle einer komplett dislozierten Fraktur eine Fixierung mittels Kirschner-Drähten für sinnvoll, um Redislokationen im Therapieverlauf zu vermeiden. Unter diesen geforderten Bedingungen wären in der vorliegenden Studie somit drei komplett dislozierte Querfrakturen, 16 % der konservativen Verfahrensgruppe (siehe 3.5.1.) einer anderen operativen Therapiegruppe zugeteilt worden. Ob dadurch die hohe Rate an Dislokationen geringer ausgefallen wäre, bleibt unklar. Auch die Tatsache, dass in die konservative Verfahrensgruppe diejenigen acht Patienten eingeschlossen wurden, deren Frakturen ohne vorangegangenes Repositionsmanöver lediglich im Gips immobilisiert wurden und sich unter diesen fünf Dislokationen ereigneten, legt nahe, dass sich unter strengerer Indikationsstellung zur geschlossenen Reposition bzw. konservativen Therapie die Anzahl an Achsdeviationen hätte verringern lassen können.

Bezüglich der Achsabkippungen konservativ behandelter Frakturen fällt weiterhin auf, dass sich unter allen acht Fällen (42 %) eine auffallend hohe Rate ($n = 6$; 75 %) im distalen Drittel der Diaphyse ereignete. Unter einem anschließenden Verfahrenswechsel und Fixierung mit bikortikalem Kirschner-Draht traten in den besagten Fällen keine erneuten Komplikationen im Sinne einer sekundären Dislokation auf. Vor Allem im distalen Bereich der Diaphyse, scheint es, behält das Repositionsergebnis, nach Abschwollen der Weichteile, nur ungenügend Halt im Gipsverband wodurch das relativ kurze distale Fragment abzurutschen tendiert. In der vorliegenden Studie wurde die bikortikale Kirschner-Draht-Spickung in 40,5 % (siehe 3.4.) am häufigsten im distalen Drittel der untersuchten Region eingesetzt und es ereignete sich dabei kein Fall einer sekundären Achsdeviation. Ähnliche Beobachtungen machten auch Ozcan et al.⁷² in einer Gegenüberstellung der konservativen Therapie mit der Therapie durch bikortikale Kirschner-Draht-Spickung bei distalen metaphysären Frakturen. Aus der signifikant geringeren Rate an Dislokationen unter bikortikaler Kirschner-Drahtfixierung gegenüber konservativer Retention, schlussfolgerten sie

könne man das Risiko durch den Einsatz von Kirschner-Drähten zur Sicherung des Repositionsergebnisses verringern. Diese Tatsache lässt, wie bereits erwähnt, vermuten, dass sich dieses Verfahren, das üblicherweise zur Versorgung distaler metaphysärer Radiusfrakturen eingesetzt wird, auch außerordentlich gut zur Versorgung distaler Radiusfrakturen des distalen diaphysären Übergangs eignet.

Erneute Achsabkippungen, die sich unter der Therapie mittels ESIN ereigneten, zeigten keine Tendenzen bezüglich ihrer Lokalisation innerhalb der Diaphyse. Es erfolgte jeweils eine sekundäre Dislokation im proximalen, mittleren und distalen Teil. Da es sich bei der im proximalen Teil der Diaphyse jedoch um eine kompliziertere Fraktur mit zweimaliger Revision handelte, ist davon auszugehen, dass sich das Verfahren des ESIN – speziell im proximalen Bereich der Diaphyse – äußerst gut zur Retention nach erfolgter Reposition eignet.

Beteiligung der Ulna

In der vorliegenden Studie erzielten isolierte distale diaphysäre Radiusfraktur tendenziell bessere radiologische Ergebnisse als kombinierte Frakturen von Radius und Ulna. So konnte unter allen Therapiegruppen insgesamt nur ein schlechtes Ergebnis (siehe 3.5.2.) bei alleiniger Radiusfraktur in der Gruppe der mittels bikortikaler Kirschner-Drähte behandelter Frakturen beobachtet werden. Zudem wurden bei allen Behandlungsgruppen isolierter Radiusfrakturen überwiegend gute oder mäßig gute radiologische Ergebnisse erzielt. Bezüglich der Dislokationsrate konnte kein signifikanter Unterschied (siehe 3.7.2.; $p = 0,6$) zwischen isolierten Radiusfrakturen und jenen Frakturen mit Beteiligung der Ulna nachgewiesen werden. Dieses Ergebnis spiegelt nicht die Ergebnisse manch anderer Autoren wieder, die eine begleitende Fraktur der Ulna in Zusammenhang mit einer erhöhten Rate an Achsabkippungen im Therapieverlauf setzen⁷⁰ oder wieder anderer Autoren, die gar die unversehrte Ulna als Faktor erachten, die eine Abkippung des distalen Frakturfragments wahrscheinlicher machen.⁵³

5. Schlussfolgerung

Anhand des Patientenkollektivs, das im Zeitraum vom 01.01.2010 bis 31.12.2013 mit distalen diaphysären Unterarm- bzw. Radiusfrakturen in der Klinik für Kinderchirurgie und Kinderorthopädie, Klinik St. Hedwig, Krankenhaus der Barmherzigen Brüder Regensburg therapiert wurde, erfolgte ein retrospektiver Vergleich der unterschiedlichen hausintern angewandten Therapieverfahren bezüglich ihrer Behandlungsergebnisse. Die Ergebnisse sind vor allem deshalb relevant, da speziell die Übergangzone von Diaphyse zu Metaphyse bisher kaum in Veröffentlichungen Erwähnung gefunden hat und bis dato auch keine allgemeine Therapieempfehlung existiert.

Die verhältnismäßig große Anzahl an guten Ergebnissen im distalen diaphysären Bereich durch bikortikale Kirschner-Draht-Osteosynthese sowie im proximalen diaphysären Bereich durch elastisch stabile intramedulläre Nagelung legt nahe, neben der generell durchgeführten posttraumatischen Wachstumsprognose zusätzlich eine Unterteilung des versorgungstechnisch anspruchsvollen Übergangsbereichs von Dia- zu Metaphyse in proximal, medial und distal zu unternehmen. So ließe sich mit Hilfe dieser Einteilung das therapeutische Vorgehen dem der gängigen Therapiealgorithmen metaphysärer bzw. diaphysärer Frakturen angleichen.

Gegen ein konservatives Vorgehen zur Frakturversorgung diaphysärer Radiusfrakturen sprechen vor allem die hohe Rate an Achsabkippungen während der Ruhigstellungsperiode und auch die überwiegend schlechten radiologischen Ergebnisse verglichen mit den übrigen Verfahrensgruppen. Es muss jedoch davon ausgegangen werden, dass sich bei längerem Nachbeobachtungszeitraum als dem der vorliegenden Studie, die hohe Anzahl an schlechten radiologischen Ergebnissen im Rahmen der altersabhängigen Korrekturgrenzen durch Längenwachstum reduzieren ließe.

Die vorliegenden Ergebnisse legen nahe, dass sich zur Versorgung distaler diaphysärer Radiusfrakturen das kombinierte osteosynthetische Verfahren aus bikortikalem und intramedullär versenktem Kirschner-Draht, wann immer technisch möglich, gut eignet. Einerseits resultierte die Anwendung des Verfahrens, anders als durch ESIN oder bikortikalen Kirschner-Draht, unabhängig von der genauen Lokalisation innerhalb der untersuchten Region in nahezu allen Fällen in guten radiologischen Ergebnissen. Zudem ereignete sich unter dem genannten Verfahren kein Fall einer sekundären Dislokation. Allerdings sollten die Ergebnisse in einer prospektiv randomisierten Studie mit größerer Fallzahl und unter Beleuchtung der Funktionalität durch Erhebung von Scores auf ihre Reproduzierbarkeit überprüft werden.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie lassen annehmen, dass sich das kombinierte Verfahren aus bikortikalem und intramedullär verlaufendem Kirschner-Draht als minimal-invasive, komplikationsarme Methode zur Retention distaler diaphysärer Radiusfrakturen gut eignet. Sollte dies technisch nicht möglich sein, so ist insbesondere im Bereich der mittleren Diaphyse ein alternatives Therapieverfahren (z.B. Plattenosteosynthese, Fixateur externe) zu erwägen. Zur uneingeschränkten Empfehlung bedarf es allerdings weiterer prospektiv, randomisierter Studien.

6. Literaturverzeichnis (References)

1. Lieber J, Sommerfeldt DW. Die diaphysäre Unterarmfraktur im Kindesalter Pitfalls und Empfehlungen in der Behandlung [Diaphyseal forearm fracture in childhood. Pitfalls and recommendations for treatment]. *Der Unfallchirurg*. 2011;114(4):292–9. ger. doi:10.1007/s00113-011-1962-5
2. Marzi I, Schneidmüller D, Audigé L, editors. *Kindertraumatologie: Mit 43 Tabellen*. Darmstadt: Steinkopff; 2006. 475 p. ger.
3. Marzi I. *Kindertraumatologie*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2016.
4. Benson M, Fixsen J, Macnicol M, Parsch K. *Children`s Orthopaedics and Fractures*. 3rd ed. London: Springer-Verlag; 2010.
5. Slongo T, Audigé L, Schlickewei W, Clavert J, 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):43–9. eng. doi:10.1097/01.bpo.0000187989.64021.ml
6. Kamphaus A, Rapp M, Wessel LM, Buchholz M, Massalme E, Schneidmüller D, Roeder C, Kaiser MM. LiLa-Klassifikation für Frakturen der langen Röhrenknochen im Wachstumsalter. Intra- und Interobserverreliabilität [LiLa classification for paediatric long bone fractures. Intraobserver and interobserver reliability]. *Der Unfallchirurg*. 2015;118(4):326–35. ger. doi:10.1007/s00113-013-2496-9
7. Fernandez FF, Eberhardt O. Klassifikationen von Frakturen im Kindesalter. *Trauma Berufskrankh*. 2010;12(S3):323–8. doi:10.1007/s10039-009-1586-y
8. Slongo TF. The choice of treatment according to the type and location of the fracture and the age of the child. *Injury*. 2005;36 Suppl 1A12-9. eng. doi:10.1016/j.injury.2004.12.008
9. Voto SJ, Weiner DS, Leighley B. Use of pins and plaster in the treatment of unstable pediatric forearm fractures. *J Pediatr Orthop*. 1990;10(1):85–9. eng.
10. Lascombes P, Haumont T, Journeau P. Use and abuse of flexible intramedullary nailing in children and adolescents. *J Pediatr Orthop*. 2006;26(6):827–34. eng. doi:10.1097/01.bpo.0000235397.64783.d6
11. Rether JR. Intramedulläre Stabilisierung von Schaftfrakturen im Wachstumsalter. *Trauma Berufskrankh*. 2005;7(2):112–7. doi:10.1007/s10039-005-1004-z
12. Ogden JA. *Skeletal injury in the children*. 3rd ed. New York: Springer Verlag New York; 2000.
13. Lüllmann-Rauch R, Asan E. *Taschenlehrbuch Histologie: Esther Asan*. 5th ed. Georg Thieme Verlag KG. Stuttgart: Thieme; 2015. 700 p. ger.
14. Laer Lv. *Frakturen und Luxationen im Wachstumsalter: 5 Tabellen*. 4th ed. Stuttgart: Thieme; 2001. 500 p. ger.
15. Junqueira LCU, Carneiro J, Gratzl M. *Histologie*. 6th ed. Heidelberg: Springer Medizin Verlag; 2005.
16. Heinrich M, Schäffer KK, editors. *Kinderchirurgie: Basiswissen und Praxis*. München: Zuckschwerdt; 2008. 392 p. ger.
17. Pritchett JW. Growth plate activity in the upper extremity. *Clin Orthop Relat Res*. 1991;(268):235–42. eng.
18. Dietz HG, Illing P, Schmittbecher PP, Slongo T, Sommerfeldt DW. *Praxis der Kinder- und Jugendtraumatologie*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg; 2011. ger.

19. Larsen E, Vittas D, Torp-Pedersen S. Remodeling of angulated distal forearm fractures in children. *Clin Orthop Relat Res.* 1988;(237):190–5. eng.
20. Laer Lvv, Kraus R, Linhart WE. *Frakturen und Luxationen im Wachstumsalter.* 6th ed. Stuttgart: Thieme; 2013. 505 p. ger.
21. Dietz HG, Illing P, Schmittbecher PP, Slongo T, Sommerfeldt DW, editors. *Praxis der Kinder- und Jugendtraumatologie: Unterarm.* Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2011.
22. Berchtold R, Bruch H, Keller R. *Chirurgie: 335 Tabellen und 343 Praxisfragen ; [nach neuer AO ; plus DVD].* 6th ed. München: Elsevier Urban & Fischer; 2008. ger.
23. Matzen P, editor. *Kinderorthopädie: Mit 73 Tabellen ; [mit 1150 diagnostischen Abbildungen].* 1st ed. München: Elsevier Urban & Fischer; 2007. 675 p. ger.
24. Steinert V. Epiphysenlösung und Epiphysenfrakturen. *Arch orthop Unfall-Chir (Archiv für Orthopädische und Unfall-Chirurgie).* 1965;58-58(2-3):200–20. doi:10.1007/BF00416128
25. Siewert JR, Allgöwer M, Bartels H, Becker HD, Becker H, Biemer E, Bumm R, Coerper S, Daschner F, Detter B, Encke A, Feussner H, Flühe M, Frey L, Göhl J, Gratzl O, Haas NP, Hempel K, Herfarth C, Hermanek P, Herzog U, Hölscher A, Hohenberger W, Horch H, Kappstein I, Kaufmann M, Koller M, Kremer B, Kriegelstein CF, Lange R, Lehr L, Lorenz W, Meßmer K, Miethke T, Neuhaus P, Pfitzmann R, Raschke MJ, Rem JA, Röher H, Roder JD, Rothmund M, Schackert H, Scheidegger D, Schweizer P, Sandler A, Senninger N, Siewert JR, Simon D, Sunder-Plassmann L, Stein H, Stübinger B, Teichmann A, Tondelli P, Urwyler A, Vogelsang H, Wagner H, Wasner M, Wittekind C. *Chirurgie.* Berlin, Heidelberg, s.l.: Springer Berlin Heidelberg; 2001. 1060 p. (Springer Lehrbuch). ger.
26. Slongo T, Audigé L, Lutz N, Frick S, Schmittbecher P, Hunter J, Clavert J. Documentation of fracture severity with the AO classification of pediatric long-bone fractures. *Acta Orthop.* 2007;78(2):247–53. eng. doi:10.1080/17453670710013753
27. Slongo TF. The AO comprehensive classification of pediatric long bone: A Web-Based Multicenter Agreement Study. *Journal of Pediatric Orthopaedics.;MAR 2007(27(2)):*171–80.
28. Slongo T, Audigé L, Clavert J, Lutz N, Frick S, Hunter J. The AO comprehensive classification of pediatric long-bone fractures: a web-based multicenter agreement study. *J Pediatr Orthop.* 2007;27(2):171–80. eng. doi:10.1097/01.bpb.0000248569.43251.f9
29. Müller ME. *The comprehensive classification of fractures of long bones.* Berlin: Springer; 1990. 201 p. eng.
30. Prof. Dr. med. Wolfgang Linhart. *Licht und Lachen für kranke Kinder. Effizienz in der Medizin e.V.* [Internet]. Available from: <http://www.li-la.org/content/index.php?id=2>
31. von Laer L., Gruber R., Dallek M., Dietz H.G., Kurz W., Linhart W., Marzi I. Classification and Documentation of Children's Fractures. In: *European Journal of Trauma* 2000. p. S. 2-14. (.26.) [cited 2017 Aug 2].
32. von Laer L., Kraus R. Die konservative Behandlung von Frakturen der langen Röhrenknochen im Wachstumsalter. In: *Unfallchirurg.* p. S. 811-823. (2007, 110). Available from: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/PL00002434.pdf>
33. Kraus R, Wessel L. The treatment of upper limb fractures in children and adolescents. *Dtsch Arztebl Int.* 2010;107(51-52):903–10. eng. doi:10.3238/arztebl.2010.0903
34. Schmittbecher PP. State-of-the-art treatment of forearm shaft fractures. *Injury.* 2005;36 Suppl 1A25-34. eng. doi:10.1016/j.injury.2004.12.010
35. Kraus R. Distale Radiusfraktur im Wachstumsalter. *Trauma Berufskrankh.* 2014;16(S1):53–60. doi:10.1007/s10039-013-1932-y
36. Illian C, Veigel B, Chylarecki C. Osteosyntheseverfahren in der Kinder- und Jugendtraumatologie. *2013;(12):*578–83.

37. Böhler L. Die Technik der Knochenbruchbehandlung. 12th ed. Wien: Maudrich; 1953.
38. Towfigh H, Hierner R, Langer M, Friedel R. Handchirurgie. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg; 2011. ger.
39. Dietz HG. Grundlagen der konservativen Frakturbehandlung. In: Dietz HG, Illing P, Schmitzenbecher PP, Slongo T, Sommerfeldt DW, editors. Praxis der Kinder- und Jugendtraumatologie, Unterarm. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2011. p. 55–65.
40. PP Schmitzenbacher. "Frakturen". Pädiatrie up2date. 2008;(vol.1):45–60.
41. Weigel B, Nerlich M. Praxisbuch Unfallchirurgie (German Edition). Dordrecht: Springer; 2007. 1618 p. ger.
42. Schneiders W, Rammelt S, Zwipp H. Die distale Radiusfraktur Konservative Behandlung: Indikation und Durchführung. OP-JOURNAL. 2013;28(03):240–2. doi:10.1055/s-0032-1327994
43. Lieber J, Schmid E, Schmitzenbecher PP. Unstable diametaphyseal forearm fractures: transepiphyseal intramedullary Kirschner-wire fixation as a treatment option in children. Eur J Pediatr Surg. 2010;20(6):395–8. eng. doi:10.1055/s-0030-1262843
44. Hotz T. Osteosynthese distaler Radiusfrakturen mit der Kirschner-Draht-Osteosynthese. OP-JOURNAL. 2003;19(1):21–7. doi:10.1055/s-2007-977610
45. Illian CH, Veigel B, Rixen D. Versorgungsmöglichkeiten kindlicher Frakturen. Trauma Berufskrankh. 2012;14(4):232–8. doi:10.1007/s10039-012-1920-7
46. Flynn JM, Skaggs DL, Waters PM. Rockwood and Wilkins' Fractures in Children. 8th ed. Philadelphia: Wolters Kluwer Health; 2015. 1304 p. eng.
47. Sommerfeldt D. Versorgungsstrategien bei distalen Radiusfrakturen im Kindes- und Jugendalter. OP-JOURNAL. 2013;28(03):246–51. doi:10.1055/s-0032-1328026
48. Tscherne H, Jähne J. Aktueller Stand der Therapie der distalen Radiusfraktur [Current status of the treatment of distal radius fracture]. Der Unfallchirurg. 1990;93(4):157–64. ger.
49. Ge Y, Wang Z, Cai H, Yang J, Xu Y, Li Y, Zhang Y, Chen B. Pre-bent elastic stable intramedullary nail fixation for distal radial shaft fractures in children. Orthop Surg. 2010;2(3):229–33. eng. doi:10.1111/j.1757-7861.2010.00092.x
50. Lieber J, Joeris A, Knorr P, Schalamon J, Schmitzenbecher PP. ESIN in Forearm Fractures. Eur J Trauma. 2005;31(1):3–11. doi:10.1007/s00068-005-1071-7
51. J. Lieber, D.W. Sommerfeldt. Unfallchirurg.: Die diametaphysäre Unterarmfraktur im Kindesalter: Pitfalls und Empfehlungen in der Behandlung. 2011;292–9.
52. Gibbons CL, Woods DA, Pailthorpe C, Carr AJ, Worlock P. The management of isolated distal radius fractures in children. J Pediatr Orthop. 1994;14(2):207–10. eng.
53. Walz M, Kolbow B, Möllenhoff G. Distale Ulnafraktur als Begleitverletzung des körperfernen Speichenbruchs. Minimal-invasive Versorgung mittels elastisch-stabiler intramedullärer Nagelung (ESIN) [Fracture of the distal ulna accompanying fracture of the distal radius. Minimally invasive treatment with elastic stable intramedullary nailing (ESIN)]. Der Unfallchirurg. 2006;109(12):1058–63. ger. doi:10.1007/s00113-006-1185-3
54. Garg NK, Ballal MS, Malek IA, Webster RA, Bruce CE. Use of elastic stable intramedullary nailing for treating unstable forearm fractures in children. J Trauma. 2008;65(1):109–15. eng. doi:10.1097/TA.0b013e3181623309
55. Lamey DM, Fernandez DL. Results of the modified Sauvé-Kapandji procedure in the treatment of chronic posttraumatic derangement of the distal radioulnar joint. J Bone Joint Surg Am. 1998;80(12):1758–69. eng.
56. GARTLAND JJ, WERLEY CW. Evaluation of healed Colles' fractures. J Bone Joint Surg Am. 1951;33-A(4):895–907. eng.

57. Hudak PL, Amadio PC, Bombardier C. Development of an upper extremity outcome measure: the DASH (disabilities of the arm, shoulder and hand) corrected. The Upper Extremity Collaborative Group (UECG). *Am J Ind Med.* 1996;29(6):602–8. eng. doi:10.1002/(SICI)1097-0274(199606)29:6<602:AID-AJIM4>3.0.CO;2-L
58. Cai H, Wang Z, Cai H. Fixation of distal radial epiphyseal fracture: Comparison of K-wire and prebent intramedullary nail. *J Int Med Res.* 2016;44(1):122–30. eng. doi:10.1177/0300060514566650
59. Schneiders W, Biewener A, Rammelt S, Rein S, Zwipp H, Amlang M. Die distale Radiusfraktur. Korrelation zwischen radiologischem und funktionellem Ergebnis [Distal radius fracture. Correlation between radiological and functional results]. *Der Unfallchirurg.* 2006;109(10):837–44. ger. doi:10.1007/s00113-006-1156-8
60. Hove LM, Brudvik C. Displaced paediatric fractures of the distal radius. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2008;128(1):55–60. eng. doi:10.1007/s00402-007-0473-x
61. Zimmermann R, Gschwentner M, Kralinger F, Arora R, Gabl M, Pechlaner S. Long-term results following pediatric distal forearm fractures. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2004;124(3):179–86. eng. doi:10.1007/s00402-003-0619-4
62. Joulié S, Laville JM, Salmeron F. Posteromedial elastic stable intra-medullary nailing (ESIN) in volarly displaced metaphyso-diaphyseal distal radius fractures in child. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2011;97(3):330–4. eng. doi:10.1016/j.otsr.2011.01.008
63. Cai H, Wang Z, Cai H. Prebending of a titanium elastic intramedullary nail in the treatment of distal radius fractures in children. *Int Surg.* 2014;99(3):269–75. eng. doi:10.9738/INTSURG-D-13-00065.1
64. Brudvik C, Hove LM. Childhood fractures in Bergen, Norway: identifying high-risk groups and activities. *J Pediatr Orthop.* 2003;23(5):629–34. eng.
65. Jonasch E, Bertel E. Verletzungen bei Kindern bis zum 14. Lebensjahr: Medizinisch-statistische Studie über 263166 Verletzte ; mit 188 Tabellen. Berlin: Springer; 1981. 146 p. (Hefte zur Unfallheilkunde; vol. 150). ger.
66. Morrongiello BA, Lasenby-Lessard J. Psychological determinants of risk taking by children: an integrative model and implications for interventions. *Inj Prev.* 2007;13(1):20–5. eng. doi:10.1136/ip.2005.011296
67. van Leemput W, Ridder K de. Distal metaphyseal radius fractures in children: reduction with or without pinning. *Acta Orthop Belg.* 2009;75(3):306–9. eng.
68. Proctor MT, Moore DJ, Paterson JM. Redisplacement after manipulation of distal radial fractures in children. *J Bone Joint Surg Br.* 1993;75(3):453–4. eng.
69. Miller BS, Taylor B, Widmann RF, Bae DS, Snyder BD, Waters PM. Cast immobilization versus percutaneous pin fixation of displaced distal radius fractures in children: a prospective, randomized study. *J Pediatr Orthop.* 2005;25(4):490–4. eng.
70. Zamzam MM, Khoshhal KI. Displaced fracture of the distal radius in children: factors responsible for redisplacement after closed reduction. *J Bone Joint Surg Br.* 2005;87(6):841–3. eng. doi:10.1302/0301-620X.87B6.15648
71. McLauchlan GJ, Cowan B, Annan IH, Robb JE. Management of completely displaced metaphyseal fractures of the distal radius in children. A prospective, randomised controlled trial. *J Bone Joint Surg Br.* 2002;84(3):413–7. eng.
72. Ozcan M, Memisoglu S, Copuroglu C, Saridogan K. Percutaneous Kirschner Wire fixation in distal radius metaphyseal fractures in children: does it change the overall outcome? *Hippokratia.* 2010;14(4):265–70. eng.

7. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	10
Abbildung 2	13
Abbildung 3	16
Abbildung 4	22
Abbildung 5	23
Abbildung 6	25
Abbildung 7	26
Abbildung 8	28
Abbildung 9	30
Abbildung 10	34
Abbildung 11	35
Abbildung 12	37
Abbildung 13	47
Abbildung 14	48
Abbildung 15	49
Abbildung 16	50
Abbildung 17	57
Abbildung 18	58
Abbildung 19	60

8. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	12
Tabelle 2	15
Tabelle 3	33
Tabelle 4	36
Tabelle 5	37
Tabelle 6	51
Tabelle 7	51
Tabelle 8	52
Tabelle 9	52
Tabelle 10	53

9. Erklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus anderen Quellen direkt oder indirekt übernommenen Daten und Konzepte sind unter Angabe der Quelle gekennzeichnet.

Insbesondere habe ich nicht die entgeltliche Hilfe von Vermittlungs- beziehungsweise Beratungsdiensten (Promotionsberater oder andere Personen) in Anspruch genommen.

Niemand hat von mir unmittelbar oder mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeit erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen. Die Arbeit wurde bisher weder im In- noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Regensburg, Mai 2018

Laura Christine Ebert

10. Danksagung

Ich möchte mich herzlich bei allen Personen bedanken, die diese Arbeit ermöglicht und mich dabei unterstützt haben.

Herrn PD. Dr. Christian Knorr danke ich für die Überlassung des Themas dieser Dissertation, die Möglichkeit diese Arbeit in der Klinik für Kinderchirurgie und Kinderorthopädie anfertigen zu dürfen und für seine langjährige geschätzte Betreuung. Er war mir immer ein sehr freundlicher Ansprechpartner und ich danke ihm für die gute Zusammenarbeit.

Herrn Dr. med. Michael Kertai danke ich für seine große Unterstützung beim Verfassen der Doktorarbeit und dafür, dass er mir bei allen Fragen ein aufmerksamer und sehr hilfsbereiter Ansprechpartner war.

Herrn Dr. med. Roland Brandl möchte ich für die vielen Erklärungen und seine beachtliche Geduld bei allen radiologischen Fragestellungen danken.

Auch meiner Familie und meinen Freunden möchte ich von Herzen für ihre Unterstützung und Motivation danken.

Ganz besonderer Dank gilt auch meinen Pateneltern, Frau Lieselotte Lang und Frau Ingund Krasser, die mich immer wieder aufs Neue zu motivieren wussten und mir stets mit mütterlichem Rat zur Seite stehen!

11. Lebenslauf

Persönliche Daten

Name Laura Christine Ebert
Geburtstag 01.04.1991
Staatsangehörigkeit deutsch
Familienstand ledig
Konfession römisch-katholisch

Schulbildung

2001-2010 Werner-von-Siemens-Gymnasium Regensburg

Hochschulstudium

2010-2017 Studium der Humanmedizin, Universität Regensburg

2010-2011 Krankenpflegedienst

-Krankenhaus der Barmherzigen Brüder, Regensburg
Neurologie
-Krankenhaus der Barmherzigen Brüder, Regensburg
Unfallchirurgie
-Krankenhaus der Barmherzigen Brüder, Regensburg
Viszeralchirurgie

März 2013 Erster Abschnitt der Ärztlichen Prüfung

2013-2015 Famulaturen

-Praxis für Innere Medizin und Diabetologie, Nittendorf
(Dr. med R. Rischbeck)
-Praxis für Innere Medizin, Berlin (Dr. med. K. Hassas)
-St. Elisabeth Spital, Wien, Innere Medizin und
Palliativmedizin
-Kathmandu University Hospital, Dhulikhel, HNO

April 2016 Zweiter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung

2016-2017 Praktisches Jahr

-Spital Rorschach, Rorschach, Innere Medizin
-Hospital Virgen de las Nieves, Granada, Chirurgie
-Universitätsklinikum, Regensburg, Dermatologie

Mai 2017 Dritter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung