

Aus der Klinik und Poliklinik für Allgemein-, Viszeral-, Transplantations-, Gefäß-
und Kinderchirurgie
der Universität Würzburg

Direktor: Professor Dr. med. Christoph-Thomas Germer

Hält doppelt besser?

Retrospektiver Vergleich zweier operativer Therapiestrategien kindlicher
Unterarmfrakturen

Inauguraldissertation
zur Erlangung der Doktorwürde der
Medizinischen Fakultät
der
Julius-Maximilians-Universität Würzburg

vorgelegt von
Nicolas Robin Fink
aus Würzburg

Würzburg, August 2022

Referent: Universitätsprofessor Dr. med. Thomas Meyer

Koreferent: Außerplanmäßiger Professor Dr. rer. nat. Christoph Otto

Dekan: Universitätsprofessor Dr. med. Matthias Frosch

Tag der mündlichen Prüfung: 21.12.2022

Der Promovend ist Arzt

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Epidemiologie distaler Unterarmfrakturen im Kindesalter	1
1.2	Klinische und radiologische Frakturklassifikation	1
1.2.1	AO-PAEG-Klassifikation	1
1.2.2	Unfallmechanismus	3
1.2.3	Klassifikation offener Frakturen	4
1.2.4	Klassifikation geschlossener Frakturen	4
1.3	Besondere kindliche Frakturtypen	5
1.3.1	Grünholzfrakturen.....	6
1.3.2	Wulstfrakturen	6
1.3.3	Epiphysenverletzungen	7
1.4	Therapiemöglichkeiten kindlicher Unterarmfrakturen	8
1.4.1	Tolerierungsgrenzen von Achsabweichungen und Translationen	8
1.4.2	Konservatives Therapieregime	9
1.4.3	Operatives Therapieregime	10
1.4.4	Verlaufskontrollen und Nachsorgemaßnahmen.....	16
1.4.5	Therapie- und verletzungsassoziierte Komplikationen	17
1.5	Zielsetzung.....	18
2	Material und Methoden	20
2.1	Ethikvotum	20
2.2	Untersuchungskollektiv.....	20
2.3	Einschlusskriterien und Ausschlusskriterien	20
2.4	Datenerfassung und statistische Auswertung	21
3	Ergebnisse	23
3.1	Epidemiologie des Untersuchungskollektivs	24
3.1.1	Geschlechterverhältnis	24
3.1.2	Altersverteilung	25
3.1.3	Jahreszeitliche Verteilung.....	27
3.1.4	Frakturierte Körperseite.....	27
3.1.5	Unfallhergang.....	28
3.1.6	Frakturklassifikation und Frakturlokalisierung	29

3.1.7	Dislokationsausmaß und Achsabweichung.....	32
3.1.8	Begleitverletzungen.....	34
3.2	Therapieregime	36
3.2.1	Zeitliche Entwicklung und Anwendung der verschiedenen Therapieverfahren	36
3.2.2	Häufigkeit sekundär dislozierter Frakturen nach Gipstherapie	37
3.2.3	Betrachtung der Osteosyntheseverfahren	37
3.2.4	Operationsdauer in Abhängigkeit von der gewählten Osteosynthesetechnik	38
3.2.5	Hospitalisierungsdauer für Frakturversorgung und Metallentfernung.....	39
3.2.6	Verweildauer des Osteosynthesematerials in Abhängigkeit von der gewählten Operationstechnik	41
3.3	Postoperative Therapiekomplicationen	41
3.4	Therapieerfolg	44
3.4.1	Dislokation nach Entfernung des Osteosynthesematerials	45
3.4.2	Achsabweichung nach Entfernung des Osteosynthesematerials.....	46
3.4.3	Differenz der Achsabweichung vor Osteosynthese und nach Entfernung des Materials.....	47
4	Diskussion.....	49
4.1	Epidemiologie des Untersuchungskollektivs	49
4.2	Therapieregime	55
4.3	Therapieassoziierte Komplikationen	62
4.4	Therapieerfolg	64
4.5	Stärken und Schwächen der Untersuchung.....	66
4.6	Ausblick.....	67
5	Zusammenfassung.....	69
6	Literaturverzeichnis	70

1 Einleitung

1.1 Epidemiologie distaler Unterarmfrakturen im Kindesalter

Verletzungen und Frakturen stellen einen häufigen ärztlichen Behandlungsanlass im Kindesalter dar [1]. Etwa 40 % aller kindlichen Frakturen betreffen den Unterarm, wobei der distale Unterarm dabei in etwa 50 % der Fälle verletzt ist [2].

Frakturen der Metaphyse des distalen Unterarmes stellen unter allen Frakturen im Kindesalter den größten Anteil dar [3]. 20 bis 40 % der Frakturen betreffen diesen Abschnitt des kindlichen Skeletts [4, 5]. Ein Altersgipfel zeigt sich im Alter von acht bis 15 Jahren, wobei Mädchen insgesamt früher betroffen sind als Jungen. Die Inzidenz distaler Unterarmfrakturen ist bei Jungen im Vergleich zum weiblichen Geschlecht jedoch etwa 1,5-mal höher. [4–8] Im klinischen Alltag finden sich bei den Kindern verschiedene Frakturformen, die in den folgenden Abschnitten näher erläutert werden.

1.2 Klinische und radiologische Frakturklassifikation

Zur Klassifikation der unterschiedlichen kindlichen Frakturen bestehen verschiedene Möglichkeiten, die sich nach Alter, Lokalisation und Frakturmorphologie richten. Diese werden im Folgenden näher beschrieben, auch im Hinblick auf kinderspezifische Besonderheiten.

1.2.1 AO-PAEG-Klassifikation

Zur Klassifikation der genauen Frakturlokalisierung und Frakturmorphologie ist weltweit die Klassifikation der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen (AO-Klassifikation) anerkannt. Die spezielle Berücksichtigung kindlicher Frakturen erfolgt in der AO-PAEG-Klassifikation, die an die AO-Klassifikation von Müller für Frakturen des Erwachsenenalters angelehnt ist und von der *Paediatric Expert Group (PAEG)* der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen erarbeitet wurde [9]. Die Klassifikation setzt sich, je nach Ausnahme- oder Zusatzcode, aus fünf bis sechs Stellen (Codes) zusammen und beschreibt die Fraktur nach Lokalisation (Code 1-3) und Morphologie (Code 4-6). Für die Anwendung der Klassifikation sind Röntgenaufnahmen in anterior-posterior-Strahlengang und lateralem Strahlengang notwendig. [9, 10]

Für distale Unterarmfrakturen ist entsprechend der Einzelcodes der AO-PAEG-Klassifikation folgende Beschreibung möglich (modifiziert nach [11]):

1. Knochencode: Bezeichnung des betroffenen Röhrenknochens, hier gilt: 1=Humerus, 2=Radius und Ulna, 3=Femur, 4= Tibia und Fibula
2. Segmentcode: Codierung des frakturierten Knochenabschnitts (1=proximal, 2=Schaft, 3=distal). Im Falle dieser Arbeit werden Frakturen im distalen Segment betrachtet und somit durch die Zahl 3 codiert.
3. Typcode: Unterscheidung in Epiphyse (=E), Metaphyse (=M) und Diaphyse (=D). Der Metaphysenbereich wird durch ein Quadrat über der gesamten Breite der Epiphysenfuge ermittelt. Im Falle einer distalen Unterarmfraktur werden die Epiphysen von Radius und Ulna in dieses Quadrat einbezogen. Um eine Fraktur als metaphysär zu klassifizieren, sollte sie etwa im mittleren Abschnitt des Quadrates liegen (siehe Abbildung 1).
4. Kindercode: In diesem Code werden kinderspezifische Frakturbesonderheiten je nach frakturiertem Knochensegment festgehalten. So ergibt sich beispielsweise für eine vollständige metaphysäre Fraktur der Code M/3 und für eine Aitken-I-Fraktur der Code E/2.
5. Schweregradcode: Hier erfolgt eine Unterscheidung in Grad 1 (einfache Frakturen mit bis zu 3 Segmenten) und Grad 2 (komplexe, instabile Frakturen mit mehr als 3 Segmenten).
6. Ausnahme- und Zusatzcodes: Für Frakturen, die in den bisherigen 5 Codes nicht ordnungsgemäß abgebildet werden können, existieren Ausnahme- und Zusatzcodes. Diese finden beispielsweise bei Radiushalsfrakturen, Schenkelhalsfrakturen und suprakondylären Humerusfrakturen Anwendung. Im Fall der hier betrachteten distalen Unterarmfrakturen sind die Zusatzcodes nicht von Bedeutung. [9–11]

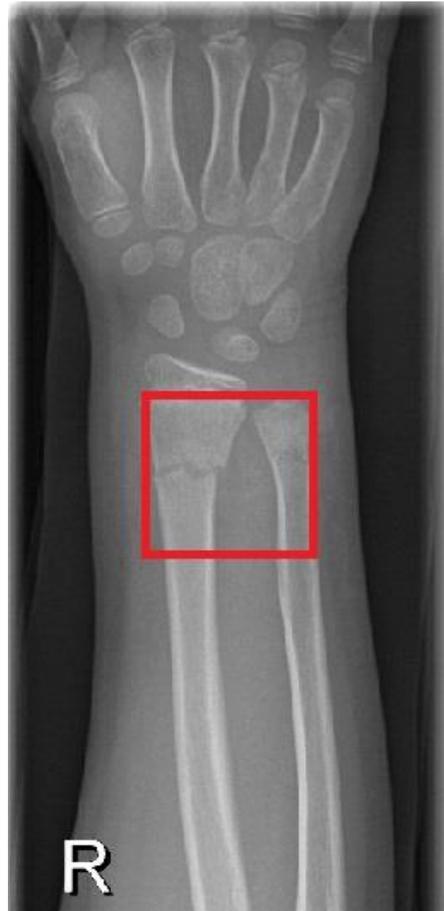


Abbildung 1: Röntgenaufnahme des distalen Unterarms, Festlegung der distalen Unterarmmetaphyse als Quadrat der beiden distalen Epiphysen bei abgebildeter kompletter distal-metaphysärer Unterarmfraktur, Quelle: Universitätsklinikum Würzburg, Institut für diagnostische und interventionelle Radiologie, Abdruck mit freundlicher Genehmigung. Darstellung in Anlehnung an Joeris et al., 2017, S. 124 [10]

1.2.2 Unfallmechanismus

Eine weitere Möglichkeit stellt die Klassifikation der Radiusfraktur anhand des Unfallmechanismus und der Dislokationsrichtung des distalen Knochenfragmentes in Flexions- oder Extensionsfrakturen dar.

Am häufigsten findet sich die Extensionsfraktur (Colles-Fraktur), der meist ein indirektes Trauma durch einen Sturz auf die nach dorsal ausgestreckte Hand zugrunde liegt, wobei es zur Fraktur des Radius mit Abscherung des distalen Frakturfragmentes nach dorsoradial kommt [12]. Bei der selteneren Radiusflexionsfraktur (Smith-Fraktur) entsteht durch einen Sturz auf die palmar flektierte Hand eine Fraktur mit Abscherung des distalen Fragmentes nach palmar [12, 13].

1.2.3 Klassifikation offener Frakturen

In Abhängigkeit des Ausmaßes der Krafteinwirkung auf den Knochen und der Beschaffenheit des umgebenden Weichteilmantels ist die Entstehung offener Frakturen möglich. Bei der Beschreibung dieser Frakturen dient das Ausmaß des Weichteilschadens als Orientierung. Die Klassifikation erfolgt nach Gustilo und Anderson in drei Grade (siehe Tabelle 1) [14–17]:

Tabelle 1: Klassifikation nach Gustilo und Anderson [14–17]

Grad	Morphologie
Grad I	Offene Fraktur mit sauberer Wunde von weniger als 1 cm Länge
Grad II	Offene Fraktur mit einer Wunde mit einer Größe von mehr als 1 cm Länge ohne ausgedehnte Weichteilverletzung, Lappenbildung oder Décollement
Grad III	Offene Fraktur mit erheblichem Weichteilschaden
A	- Weichteildeckung des Knochens noch vorhanden
B	- Keine Weichteildeckung mehr, Knochen liegt frei, Verletzung des Periosts
C	- Arterielle Verletzung

1.2.4 Klassifikation geschlossener Frakturen

Auch bei geschlossenen Frakturen ist eine Schädigung der knochenumgebenden Strukturen möglich. Der Weichteilschaden wird hierbei nach der Klassifikation von Oestern und Tscherne in vier Grade eingeteilt (siehe Tabelle 2) [15, 17]:

Tabelle 2: Klassifikation geschlossener Frakturen nach Oestern und Tscherne [15, 17]

Grad	Morphologie
Grad 0	Keine bzw. unbedeutende Weichteilverletzung
Grad I	Oberflächliche Schürfung oder Kontusion durch Druck des Knochenfragmentes von innen
Grad II	Tiefe kontaminierte Schürfung mit lokalisierter Haut- bzw. Muskelkontusion durch direktes Trauma und ggf. Kompartmentsyndrom
Grad III	Ausgedehnte Hautkontusion mit Zerreißung oder Quetschung von Muskulatur, subcutanes Décollement

1.3 Besondere kindliche Frakturtypen

Bei der Beurteilung und Behandlung von Knochenverletzungen im Kindesalter sind anatomische, physiologische und traumatologische Besonderheiten zu beachten, die im folgenden Abschnitt näher erläutert werden.

Das kindliche Skelett ist bis zum Abschluss des Wachstums ständigen Veränderungen und Umbaumaßnahmen unterworfen, wobei Längenwachstum und Dickenwachstum über unterschiedliche Mechanismen erfolgen [2, 18].

Das Dickenwachstum des Knochens erfolgt durch Anbau von Knochenmaterial im Bereich des Periosts [18]. Dort wird durch endostale Prozesse auch in gleichem Maße wieder Knochensubstanz abgebaut, um einer übermäßigen Gewichtszunahme vorzubeugen. Daraus ergibt sich eine Umfangszunahme des Knochens bei gleichzeitigem Erhalt der Röhrenstruktur. [2, 18, 19]

Das Längenwachstum erfolgt durch die am Ende des Knochens befindliche Wachstumsfuge, in der Knorpelzellen proliferieren [2]. Im Bereich des Unterarms tragen die Epiphysenfugen des distalen Unterarms zu 80 % des Längenwachstums bei. Ab dem zehnten bis zwölften Lebensjahr setzt schließlich zunehmend eine Mineralisation der Epiphysenfuge ein, wodurch schrittweise ein Verschluss erreicht wird. [2, 19]

Der vollständige Verschluss der Fuge und damit der Abschluss des Wachstums erfolgt bei Frauen etwa bis zum Alter von 21 Jahren, bei Männern in etwa bis zum 23. Lebensjahr [18].

Das kindliche Knochengestüt verfügt im Vergleich zum Skelett des Erwachsenen neben den Epiphysenfugen über ein ausgeprägteres, besser vaskularisiertes und hierdurch widerstandsfähigeres Periost sowie über eine größere Elastizität und Verformungsstabilität der Knochen [2, 20].

Aus diesen Gegebenheiten resultieren, neben den auch im Erwachsenenalter zu beobachtenden vollständigen Frakturen mit Durchtrennung von Kortikalis und Gegenkortikalis sowie Zerreißen des Periosts, besondere Formen von Frakturen, die sich bei erwachsenen Patientinnen und Patienten kaum oder nicht mehr finden [21]. Diese kindertypischen Frakturformen werden im Folgenden näher beschrieben.

1.3.1 Grünholzfrakturen

Grünholzfrakturen stellen Biegungsbrüche dar und finden sich am häufigsten im Bereich der Diaphyse, seltener auch im metaphysären Anteil des Knochens [2, 4]. Im Falle der klassischen Grünholzfraktur kommt es auf der Konvexseite zu einer vollständigen Fraktur der Kortikalis, während die Kortikalis auf der Konkavseite lediglich unvollständig frakturiert ist [22]. Das Periost bleibt bei Grünholzfrakturen intakt [18]. Die Frakturen präsentieren sich in der Regel stabil und ohne größere Dislokationen der Fragmente. [2, 4, 8]

Neben den klassischen Grünholzfrakturen zeigen sich noch atypische Frakturmuster. Bis ins Vorschulalter finden sich häufig gestauchte Grünholzfrakturen mit intakter oder angebrochener Kortikalis auf der Konvexseite und eingestauchter Kortikalis auf der Konkavseite. Ebenso wie gebogene Grünholzfrakturen, sogenannte „*bowing fractures*“, bei denen die Kortikalis intakt aber verbogen ist, bergen sie kein Risiko für Refrakturen oder Dislokationen. [2, 22]

Im Falle klassischer Grünholzfrakturen führt die einseitige Konsolidierung der unvollständig frakturierten Kortikalis bei ausbleibender Kallusbildung im Bereich der Konvexseite in bis zu 30 % der Fälle zu Refrakturen oder sekundären Dislokationen. Diese Problematik tritt im Bereich der Diaphyse häufiger als im Bereich der Metaphyse auf [22]. Für Grünholzfrakturen existiert kein standardisiertes Therapieregime und es kommen sowohl eine konservative Therapie als auch eine osteosynthetische Frakturversorgung infrage. [2, 4, 6, 22]

1.3.2 Wulstfrakturen

Wulstbrüche sind Stauchungsfrakturen, die sich nahezu ausschließlich bei Kindern vor Beginn der Pubertät finden [2]. Es kommt zu einer ein- oder beidseitigen Einstauchung der Kortikalis bei unverletzter Gegenkortikalis und erhaltenem Periostschlauch (siehe Abbildung 2) [4]. Auch bei Wulstfrakturen handelt es sich um stabile Frakturen, die schmerzhaft aber prognostisch und therapeutisch in der Regel unproblematisch sind. [22]

Die Therapie erfolgt klassischerweise konservativ durch Ruhigstellung in einem Unterarmgips für zwei bis drei Wochen. [2, 8]



Abbildung 2: Röntgenaufnahme des distalen Unterarmes mit Wulstfraktur der Ulna (Pfeil) und vollständiger Fraktur des Radius, Quelle: Universitätsklinikum Würzburg, Institut für diagnostische und interventionelle Radiologie, Abdruck mit freundlicher Genehmigung.

1.3.3 Epiphysenverletzungen

Die kindliche Epiphyse spielt, insbesondere im Bereich des distalen Unterarmes, eine wichtige Rolle im Zusammenhang mit dem Längenwachstum des Knochens [2].

In den meisten Fällen kommt es bei Verletzungen der Unterarmepiphyse zu Aitken-0- und Aitken-I-Verletzungen im Sinne einer Epiphysiolyse [8, 23]. Diese Verletzungsmuster stellen eine Fugenschafftraktur dar und werden üblicherweise zu den metaphysären Frakturen gezählt, wenngleich sie in der AO-Klassifikation den epiphysären Verletzungen zugeordnet werden [4, 18, 22]. Sie treten bevorzugt bei älteren Kindern auf [4]. Fugengelenkfrakturen mit Beteiligung der Gelenkfläche sind äußerst selten [6, 22].

Als Instrument zur Einteilung von Verletzungen der Epiphyse ist die Klassifikation nach Aitken und Salter/Harris etabliert (siehe Tabelle 3) [15, 19].

In dieser Arbeit wird die Klassifikation nach Aitken angewendet.

Tabelle 3: Aitken- und Salter-Harris-Klassifikation von Epiphysenverletzungen, in Anlehnung an [15, 19]

AITKEN	SALTER-HARRIS	Morphologie
0	I	Epiphysiolyse
I	II	Epiphysiolyse mit metaphysärem Keilfragment
II	III	Epiphysäre Fraktur ohne Beteiligung der Metaphyse
III	IV	Epi-metaphysäre Fraktur
	V	Epiphysenstauchung

1.4 Therapiemöglichkeiten kindlicher Unterarmfrakturen

Die Therapie von Unterarmfrakturen im Kindesalter kann sowohl konservativ in einem Gipsverband als auch durch operative Osteosyntheseverfahren erfolgen [24]. Bei der Entscheidung zur Wahl des geeigneten Therapieregimes müssen verschiedene Faktoren berücksichtigt werden, um den bestmöglichen Therapieerfolg zu erzielen. Bei der Behandlung kindlicher Unterarmfrakturen sollten insbesondere das Alter und das zu erwartende Wachstum sowie die Lokalisation und Stabilität der Fraktur in die gemeinsame Entscheidungsfindung mit Eltern und Kind einbezogen werden. Auch Begleitverletzungen wie Nerven- oder Hautläsionen und die Frage nach der geplanten Analgesie im Rahmen der Versorgung sowie nicht zuletzt die Expertise und Übung des Operateurs in der Durchführung der verschiedenen Methoden müssen bei der Wahl des geeignetsten Therapieverfahrens berücksichtigt werden. [8, 24]

1.4.1 Tolerierungsgrenzen von Achsabweichungen und Translationen

Das kindliche Skelett ist in der Lage, im Verlauf des Wachstums Achsknicke, Seitverschiebungen und Verkürzungen zu korrigieren, während Rotationsfehlstellungen hierbei jedoch kaum korrigiert werden können [22]. Seitverschiebungen werden im Heilungsprozess kindlicher Frakturen durch Umbauvorgänge im periostalen Bereich korrigiert [19]. Die Korrektur von Achsabweichungen geschieht sowohl durch das periostale System als auch durch dynamische Umbauvorgänge und asymmetrisches Wachstum im Bereich der Epiphyse [22]. Diese Tatsache ist bei der Therapieplanung zu berücksichtigen, da aufgrund altersabhängiger Korrekturpotentiale eine Achsabweichung von 20 Grad bei jüngeren Kindern unter Umständen noch spontan

korrigiert werden kann, während der gleiche Befund bei einem älteren Kind die Indikation zur Reposition und gegebenenfalls osteosynthetischen Versorgung darstellen kann [19].

Die Angaben und Ansichten zu tolerablen Achsabweichungen und dem zu erwartenden Korrekturpotential sind nicht einheitlich und unterscheiden sich je nach Studie [8]. Insgesamt gilt jedoch, dass jüngere Kinder ein deutlich höheres Korrekturpotential aufweisen als Kinder jenseits des zehnten bis zwölften Lebensjahres, weshalb spätestens ab dem 12. Lebensjahr immer eine achsgerechte Stellung erzielt werden sollte. [2, 18, 19, 22, 25]

Das mögliche Ausmaß einer Spontankorrektur ist zudem von der Lokalisation der Fraktur und der Nähe zur Epiphysenfuge abhängig. Hierbei zeigt sich ein höheres Korrekturpotential im Bereich der oberen Extremitäten als bei Frakturen der unteren Extremitäten. Im Bereich des Unterarmes ist eine Korrektur von Fehlstellungen distal besser möglich als proximal, da die distale Epiphysenfuge zu 80 % am Längenwachstum beteiligt ist, während auf die proximale Fuge lediglich 20 % entfallen. [2, 18]

Eine altersadaptierte Übersicht der tolerablen Fehlstellungen ist in Tabelle 4 abgebildet:

Tabelle 4: Altersadaptiertes Korrekturpotential distaler Unterarmfrakturen [22, 26]

Alter des Kindes	Korrekturpotential
< 5 Jahre	Achsabweichung von 40 bis 50 Grad, Seitverschiebung von $\frac{1}{2}$ bis $\frac{2}{3}$ Schaftbreite
10 bis 12 Jahre	Achsabweichung bis 30 Grad, Seitverschiebung bis $\frac{1}{2}$ Schaftbreite
> 12 Jahre	Achsabweichung bis 10 Grad, Seitverschiebung bis $\frac{1}{4}$ Schaftbreite

1.4.2 Konservatives Therapieregime

Die konservative Frakturversorgung kann die geeignete Therapie darstellen, wenn es sich um undislozierte und stabile Frakturen handelt oder die Fraktur nach Reposition keine Redislokationstendenz zeigt. Ebenso kann dieses Therapieverfahren erwogen werden, wenn sich die Dislokation der Verletzung auf ein altersabhängig tolerables Maß beschränkt. [22, 25]

Die Ruhigstellung der Fraktur erfolgt in einem Oberarmgips für drei bis vier Wochen, wobei manche Autoren bei älteren Kindern und sehr distalen Frakturen auch eine Fixierung in einem Unterarmgips für ausreichend halten [18, 25]. Der anfangs gespaltene Gips wird meist nach sechs bis acht Tagen durch einen zirkulären Gips ersetzt. Eine Stellungsoptimierung mittels Gipskeilung kann am vierten bis achten Tag nach dem Unfall erfolgen. [2, 18, 22, 26]

Werden im Rahmen der konservativen Therapie Fehlstellungen der Fraktur in tolerablem Maß belassen, muss dieses Vorgehen mit den Eltern und den Kindern ausführlich besprochen werden und über das Korrekturpotential, den Wachstumsverlauf und operative Alternativen aufgeklärt werden [2].

1.4.3 Operatives Therapieregime

Die operative Versorgung einer Fraktur im Bereich des distalen Unterarmes erfolgt in der Regel in Allgemeinanästhesie und kommt bei offenen, instabilen und stark dislozierten Frakturen infrage. Zudem kann sie Anwendung finden, wenn mit der knöchernen Verletzung ein erheblicher Weichteilschaden, Gefäß- oder Nervenverletzungen einhergehen oder wenn es sich um intraartikuläre Frakturen handelt. Ebenso stellt sie häufig bei Frakturen mit sekundärer Dislokation nach konservativem Therapieversuch eine geeignete Therapiestrategie dar. [2, 15, 25, 27]

Liegt die Fehlstellung einer Fraktur außerhalb des altersentsprechenden Toleranzbereiches, so ist vor Ruhigstellung der Verletzung die Wiederherstellung einer achsengerechten Stellung nötig. Die Reposition der Fraktur kann meist geschlossen erfolgen. Gelingt dies nicht, kann eine offene Reposition durchgeführt werden. [2]

In der Regel erfolgt die Reposition nach adäquater Anästhesie, weshalb im Rahmen dieser Versorgung auch die endgültige Frakturstabilisierung geschehen sollte, um Zweiteingriffe und erneute Narkosen zu vermeiden [2, 22, 25].

Für die osteosynthetische Versorgung stehen verschiedenen Materialien und Techniken zur Verfügung, die im folgenden Abschnitt erläutert werden.

1.4.3.1 Kirschner-Draht-Osteosynthese

Die Osteosynthese von Frakturen mittels Kirschner-Drähten (K-Drähte), auch als Spickdrahtosteosynthese bezeichnet, erfolgt minimalinvasiv durch perkutane Einbringung dünner Metalldrähte [18].

Diese Technik eignet sich insbesondere für Frakturen im Bereich der Metaphyse und Epiphyse [2, 24].

Nach Reposition der Fraktur erfolgt das Einbohren eines 0,5 bis 3 mm starken Drahtes, unter Umständen nach Eröffnung der Haut durch einen kleinen Schnitt, aszendierend über den Processus styloideus radii [18, 24]. Hierbei ist darauf zu achten, dass die Drahtspitze die Gegenkortikalis erfasst. Sind zur Frakturstabilisierung zwei Drähte notwendig, so sollten diese sich proximal der Fraktur kreuzen. [2, 8, 18, 24]

Eine postoperative Röntgenaufnahme nach Osteosynthese einer distalen Unterarmfraktur mittels Kirschner-Drähten ist in Abbildung 3 dargestellt.

Häufig erfolgt die Bohrung der Drähte durch die Epiphysenfuge. Um eine iatrogene Schädigung mit konsekutiver Wachstumsstörung zu vermeiden, sollte die Zahl der Bohrversuche möglichst niedrig gehalten und die Drähte nicht zu weit peripher durch die Fuge eingebracht werden [2, 18]. Die Drahtenden können nach erfolgreicher Stabilisierung der Fraktur entweder über Hautniveau belassen oder unter der Haut eingekürzt werden. Enden die Drähte frei, so ist eine Entfernung häufig ohne weitere Anästhesie oder Sedierung möglich. [22]

Die Entfernung des Osteosynthesematerials kann drei bis fünf Wochen nach dem Eingriff erfolgen. Da die Spickdrahtosteosynthese lediglich Adaptationsstabilität bietet, ist bis zur Konsolidierung der Fraktur eine weitere Ruhigstellung in einem Gipsverband für etwa vier Wochen notwendig. [2, 15, 19, 24]



Abbildung 3: Röntgenaufnahme nach Kirschner-Draht-Osteosynthese des Radius bei distaler Unterarmfraktur, Quelle: Universitätsklinikum Würzburg, Institut für diagnostische und interventionelle Radiologie, Abdruck mit freundlicher Genehmigung.

1.4.3.2 Elastisch stabile intramedulläre Nagelung (ESIN):

Die elastisch stabile intramedulläre Nagelung (ESIN) stellt ein ebenfalls minimalinvasives Osteosyntheseverfahren dar, bei dem nach Reposition der Verletzung über eine kleine Hautinzision vorgeformte, flexible Titan- oder Stahlnägel eingebracht werden [19].

Im Bereich des Unterarmes eignet sich das Verfahren besonders bei instabilen Schafffrakturen, „*bowing fractures*“ sowie Frakturen des diaphysären Übergangs [8, 22, 28, 29]. Es findet bei Kindern im Alter von drei bis etwa 15 Jahren Anwendung [2]. Zudem ist eine Stabilisierung der Ulna mittels ESIN möglich, wenn bei vollständigen distalen Unterarmfrakturen durch Spickdrahtosteosynthese des Radius allein keine ausreichende Stabilität erreicht werden kann [8, 30].

Im Falle vollständiger diaphysärer Unterarmfrakturen erfolgt die Einbringung des Osteosynthesematerials am Radius aufsteigend von distal, an der Ulna absteigend

von proximal durch eine Hautinzision in 2 Zentimeter Entfernung zur jeweiligen Wachstumsfuge [8, 31]. Die Stärke der Nägel soll im Bereich des Unterarms in etwa die Hälfte des Markraumdurchmessers betragen und sowohl für Radius als auch Ulna den gleichen Durchmesser besitzen [22, 24]. Durch die elastische Vorbiegung des Nagels verspannt sich das Osteosynthesematerial im Markraum und führt zu einer Schienung und Stabilisierung der Fraktur [22]. Die Metallentfernung erfolgt üblicherweise nach drei bis neun Monaten. Bei Osteosynthese des Radius mittels Kirschner-Drähten und zusätzlicher Fixierung der Ulna durch ESIN kann dies auch bereits mit deren Entfernung nach vier bis sechs Wochen geschehen. [8]

Wird eine diaphysäre Unterarmfraktur mittels ESIN behandelt, ergibt sich mit Abschluss des Eingriffes eine Belastungsstabilität, womit keine weitere Fixierung in einem Gipsverband notwendig ist [19, 22]. Wird bei vollständigen Unterarmfrakturen nur eine der beiden durch ESIN versorgt, ist eine weitere Ruhigstellung im Gips bis zur Konsolidierung der Fraktur erforderlich [8].

Eine radiologische Verlaufsdokumentation bei Versorgung einer distalen metaphysären Unterarmfraktur mittels Kirschner-Draht-Osteosynthese des Radius und ESIN der Ulna ist in Abbildung 4 bis Abbildung 6 gezeigt. Abgebildet sind die Röntgenuntersuchungen unmittelbar nach dem Unfall, nach Osteosynthese und nach Entfernung des Osteosynthesematerials.



Abbildung 4: Distale Unterarmfraktur vor osteosynthetischer Versorgung, Quelle: Universitätsklinikum Würzburg, Institut für diagnostische und interventionelle Radiologie, Abdruck mit freundlicher Genehmigung.



Abbildung 5: Distale Unterarmfraktur nach Osteosynthese mittels Kirschner-Draht und ESIN, Quelle: Universitätsklinikum Würzburg, Institut für diagnostische und interventionelle Radiologie, Abdruck mit freundlicher Genehmigung.



Abbildung 6: Röntgenaufnahme nach Entfernung des Osteosynthesematerials aus Radius und Ulna, Quelle: Universitätsklinikum Würzburg, Institut für diagnostische und interventionelle Radiologie, Abdruck mit freundlicher Genehmigung.

1.4.3.3 Fixateur externe und Plattenosteosynthese

Als seltenere Formen der kindlichen Frakturversorgung im Bereich des distalen Unterarms sind der Fixateur externe sowie die Plattenosteosynthese zu nennen.

Die Osteosynthese durch Einsatz eines Fixateur externe eignet sich insbesondere zur Stabilisierung komplexer Schafffrakturen, zur Versorgung von Frakturen mit erheblichem Weichteilschaden oder zur Osteosynthese im Rahmen eines Polytraumas [15]. Hierbei werden proximal und distal der Fraktur Schrauben in den Knochen eingebracht und am freiliegenden Ende durch ein Metallrohr verbunden. [2, 15, 24]

Die Plattenosteosynthese (siehe Abbildung 7) stellt ein Verfahren dar, das im Kindesalter nur in Ausnahmefällen und unter sorgfältiger Abwägung von Nutzen und Risiko zum Einsatz kommen sollte und häufig erst ab der Adoleszenz Anwendung findet [2, 19]. Im Gegensatz zu den bereits genannten Operationstechniken ist die Frakturversorgung mittels Plattenosteosynthese deutlich invasiver, aufwändiger und insbesondere bei falscher Anwendung mit funktionellen Komplikationen und einem schlechteren kosmetischen Ergebnis behaftet, weshalb kindgerechteren Verfahren der Vorzug gegeben werden sollte [2, 19].

Sowohl der Fixateur externe als auch die Plattenosteosynthese kamen im untersuchten Patientenkollektiv nicht zum Einsatz und werden daher an dieser Stelle nicht ausführlicher erläutert.



Abbildung 7: Osteosynthetische Versorgung einer distalen Unterarmfraktur mittels Plattenosteosynthese, Quelle: Universitätsklinikum Würzburg, Institut für diagnostische und interventionelle Radiologie, Abdruck mit freundlicher Genehmigung.

1.4.4 Verlaufskontrollen und Nachsorgemaßnahmen

Die Bildgebung mittels Röntgenstrahlung kommt sowohl im Rahmen der Primärdiagnostik bei Frakturen als auch in der Verlaufsbeurteilung zum Einsatz.

Wird ein konservatives Therapieregime bei der Versorgung der Verletzung gewählt, so ist eine Röntgenkontrolle nach etwa sieben Tagen sowie bei Kindern im Jugendalter zudem nach etwa 14 Tagen empfohlen. Nach etwa vier Wochen sollte die Konsolidierung der Fraktur mit einer weiteren Röntgenkontrolle untersucht werden. [2, 18, 25, 26, 32]

Bei der Entscheidung zu einer operativen Versorgung der Fraktur sollte postoperativ eine dynamische Bildgebung mittels Bildwandler und eine Stellungskontrolle sowie nach vier Wochen eine Röntgenkontrolle zur Untersuchung der Konsolidierung erfolgen. Zu diesem Zeitpunkt kann dann auch die Planung der Metallentfernung geschehen. Eine weitere radiologische Kontrolle erfolgt üblicherweise nach Entfernung des Osteosynthesematerials. [2, 8, 18, 25]

Eine Nachbehandlung mittels Physiotherapie wird bei Kindern in der Regel nicht nötig, solange es im Rahmen der Fraktur zu keiner Verletzung von Sehnen oder Nerven gekommen ist [2]. Ebenso unkompliziert gestaltet sich die Handhabung von klinischen Nachkontrollen. Diese werden im Normalfall alle zwei bis vier Wochen bis zum Wiedererreichen der vollständigen Funktion des Arms empfohlen [2, 22]. Bei Frakturen mit Beteiligung der Epiphyse oder des Gelenkes ist eine Kontrolle bis zu zwei Jahre nach dem Unfall, in manchen Fällen bis zum Abschluss des Längenwachstums angezeigt [3]. Wird die Verletzung in einer Fehlstellung belassen und eine Spontankorrektur abgewartet, so ist diese Therapie in etwa halbjährlichem Rhythmus zu kontrollieren, bis die Deformität behoben ist [18].

1.4.5 Therapie- und verletzungsassoziierte Komplikationen

Die meisten Frakturen im Bereich des distalen Unterarmes zeigen bei adäquater Therapie eine gute Prognose und ergeben nach Abheilung keine Folgeschäden [18, 21, 32].

Dennoch können in Zusammenhang mit der Verletzung neben der eigentlichen Fraktur auch weitere Komplikationen auftreten.

Sowohl durch das initiale Trauma selbst als auch iatrogen sind Gefäß- und Nervenläsionen, die Einklemmung von Muskeln und Sehnen, andere Weichteilschäden sowie sehr selten ein Kompartmentsyndrom des Unterarmes möglich [15, 30]. Daneben besteht, insbesondere bei offenen Frakturen, jedoch auch bei offener Reposition und Osteosynthese, das Risiko von Infektionen in Form von Weichteilinfektionen oder einer Osteomyelitis [18].

Im Heilungsverlauf der Fraktur ist zudem zu beachten, dass es, insbesondere in den ersten zwei Wochen und nach früher Entfernung des Osteosynthesematerials zu sekundären Dislokationen der Fraktur kommen kann [2, 22, 33, 34]. Diese Ereignisse treten deutlich häufiger bei Kindern auf, die konservativ behandelt wurden [35]. Die Zahlen zur Häufigkeit sekundärer Dislokationen sind recht heterogen. Es finden sich Häufigkeiten von 7 bis 91 % bei konservativem Therapieregime, denen Dislokationsraten von unter 10 % nach osteosynthetischer Versorgung gegenüberstehen [35–37]. Eine ausgeprägte initiale Dislokation, Frakturen ohne die Möglichkeit der Reposition in anatomisch gerechte Verhältnisse, eine insuffiziente Gipsanlage und fehlende Routine im Umgang mit Repositionen stellen Risikofaktoren für eine sekundäre Dislokation nach anfangs erfolgreicher Reposition dar [34, 38].

Im Falle auftretender Komplikationen ist in seltenen Fällen als Konsolidationsstörung außerdem die Bildung eines falschen Gelenks in Form einer Pseudarthrose möglich [2]. Hierbei sind hypertrophe und atrophe Pseudarthrose zu unterscheiden. Während der hypotrophen Form eine unzureichende Fixierung der Fraktur zugrunde liegt, ist die atrophe Pseudarthrose durch eine instabile Fraktur ohne ausreichende Durchblutung verursacht. [15]

Als weitere Komplikation ist die Wachstumsstörung zu nennen, die insbesondere bei Beschädigung der Epiphysenfuge auftritt und durch einen vorzeitigen Verschluss der Fuge im Rahmen der Frakturheilung zustande kommt [4, 18, 32].

Zudem sind Eltern und Kind nach einer Unterarmfraktur auf das Risiko einer Refraktur hinzuweisen. Eine erneute Fraktur an ähnlicher Stelle tritt in 7 bis 17 % aller Fälle auf, meist in einem Zeitraum von etwa sechs bis sieben Monaten nach dem initialen Trauma. [2, 18, 30]

Bestehen nach Konsolidierung der Fraktur noch relevante Fehlstellungen, so kommt es insbesondere bei Achsabweichungen von mehr als 20 Grad zu Defiziten bei Pronation und Supination sowie zu weiteren funktionellen Einschränkungen, die durch die Korrektur der Fehlstellung im weiteren Verlauf jedoch oft nur temporär zu beobachten sind [2, 18].

Bei der Entscheidung zur Reposition der Verletzung in Allgemeinanästhesie und gegebenenfalls der operativen Stabilisierung der Fraktur sind neben den üblichen Risiken einer Narkose auch weitere Komplikationen durch den Einsatz der Osteosynthesematerialien zu bedenken [18, 22].

Im Falle einer operativen Therapie sind Komplikationen in Form von Infektionen an der Einbringstelle des Osteosynthesematerials, Osteomyelitiden, eine Dislokation oder Materialversagen der eingebrachten Materialien sowie eine iatrogene Verletzung von Nerven und Gefäßen zu berücksichtigen [24]. Insgesamt sind iatrogene Schäden bei Osteosynthesen im Bereich des distalen Unterarmes jedoch selten [24].

1.5 Zielsetzung

Die vorliegende Arbeit untersucht Epidemiologie, Ätiologie, Therapieregime, Therapieerfolg und aufgetretene Komplikationen bei der Behandlung distaler kindlicher Unterarmfrakturen. Ziel ist eine retrospektive, vergleichende Untersuchung zweier operativer Therapiestrategien in der kinderchirurgischen Abteilung des

Universitätsklinikums Würzburg (UKW) im Zeitraum von 2008 bis 2018. Hierfür erfolgte die umfassende Auswertung von 122 Behandlungsfällen aus elf Jahren.

Es soll der Frage nachgegangen werden, ob entweder die Versorgung der Frakturen allein mit Kirschner-Drähten oder die Kombination aus Kirschner-Drähten und ESIN besondere Vor- oder Nachteile für die Patientinnen und Patienten zeigt. Derzeit existiert in Deutschland keine Leitlinie zur Versorgung der distalen Unterarmfraktur im Kindesalter. Es liegen lediglich Leitlinien zur Behandlung der distalen Radiusfraktur des Erwachsenen [39] und für die Therapie von diaphysären Unterarmfrakturen bei Kindern [40] vor. Die Arbeit dient daher auch der Qualitäts- und Erfolgskontrolle des eigenen Therapiekonzeptes.

2 Material und Methoden

2.1 Ethikvotum

Für die vorliegende Arbeit liegt ein Ethikvotum der Ethik-Kommission der Universität Würzburg vor (Aktenzeichen: 20190538 02).

2.2 Untersuchungskollektiv

Für die hier vorliegende Arbeit erfolgte die retrospektive Erhebung der Daten aus den digitalen Krankenakten aller Patientinnen und Patienten im Alter von 0 bis 16 Jahren, die im Zeitraum vom 01. Januar 2008 bis 31. Dezember 2018 in der kinderchirurgischen Abteilung des UKW aufgrund einer distalen Unterarmfraktur versorgt wurden. Hierfür wurden zunächst klinikinterne Fallnummer, Name, Geschlecht, Geburtsdatum sowie Aufnahme- und das Datum der Entlassung aller Kinder, die im untersuchten Zeitraum unter der ICD-10-GM-Diagnose S52.6 („distale Fraktur der Ulna und des Radius, kombiniert“) [41] behandelt wurden, durch das Servicezentrum Medizin-Informatik der Universität Würzburg in Form einer Microsoft Excel-Tabelle auf einer Daten-CD zur Verfügung gestellt.

Mit den angegebenen Fallnummern wurde in die digitalen Krankenakten über die Kliniksoftware der Firma SAP-Healthcare und dem PACS-Radiologieprogramm Einsicht genommen.

2.3 Einschlusskriterien und Ausschlusskriterien

In die Auswertung eingeschlossen wurde alle Patientinnen und Patienten im Alter von 0 bis 16 Jahren, die im untersuchten Zeitraum in der kinderchirurgischen Abteilung des UKW operativ aufgrund einer distalen Unterarmfraktur versorgt wurden und dabei entweder lediglich eine Osteosynthese des Radius mittels Kirschner-Drähten oder eine Kombination in Form einer Kirschner-Draht-Fixierung des Radiusfragments und ESIN der Ulna erhielten.

Einschlusskriterium war eine Frakturlokalisation im Bereich der Epiphyse oder Metaphyse von Radius und Ulna.

Ausgeschlossen wurden alle Kinder, auf welche die ICD-10-Diagnose einer kombinierten distalen Radius- und Ulnafraktur nicht zutrifft. Dies war im untersuchten Kollektiv der Fall bei Patientinnen und Patienten mit isolierten Radiusfrakturen bzw. isolierten Ulnafrakturen. Ebenso wurden Fälle ausgeschlossen, die diaphysäre oder proximale Unterarmfrakturen zeigten. Durch eine fehlerhafte ICD-Codierung wurden diese Patientinnen und Patienten in der Fallliste zwar zunächst erfasst, nach Durchsicht der Patientenakte und fehlendem Vorliegen einer metaphysären oder epiphysär lokalisierten Unterarmfraktur aber von der Analyse ausgeschlossen. Ebenso nicht in die Untersuchung aufgenommen wurden Kinder, die osteosynthetisch durch keine der verglichenen Operationstechniken, eine andere Kombination der Osteosyntheseverfahren oder ex domo versorgt wurden und im UKW lediglich für die Nachsorge erschienen.

2.4 Datenerfassung und statistische Auswertung

Eingesehen wurden Arztbriefe, Ambulanznotizen, Rettungsdienstprotokolle, Röntgenbilder und Radiologiebefunde, Operationsberichte und Stationsdokumentationen sowie alle weiteren zur Verfügung stehenden fallbezogenen Dokumente in den gespeicherten Krankenakten.

Bei den in die Untersuchung eingeschlossenen Patientinnen und Patienten wurden aus dem Kliniksystem, sofern möglich, folgende Parameter ermittelt:

Geschlecht, Alter, frakturierte Körperseite, verwendete Osteosynthesetechnik, Operationsdauer, Hospitalisierungsdauer nach Frakturversorgung und Metallentfernung, Zeitintervall bis zur Entfernung des Osteosynthesematerials, stattgehabte initial konservative Behandlung, Dislokationsrichtung und Dislokationsausmaß vor und nach osteosynthetischer Versorgung, Unterscheidung in offene und geschlossene Frakturen, Frakturlokalisierung, Begleitverletzungen und postoperative Komplikationen. Um den postoperativen Verlauf beurteilen zu können, wurde aus den Patientenakten ermittelt, ob während des postoperativen stationären Aufenthaltes unerwünschte Ereignisse dokumentiert wurden oder das betreffende Kind nach Entlassung und Abschluss der Behandlung erneut aufgrund von Komplikationen im UKW vorstellig wurde. Zudem wurde anhand der radiologischen Befunde die Achsabweichung nach Entfernung des Osteosynthesematerials dokumentiert und geprüft, ob sich durch die Osteosynthese eine achsgerechte Stellung erzielen ließ.

Diese Daten wurden den Röntgenaufnahmen und radiologischen Befundberichten nach Metallentfernung entnommen.

In Fällen, in denen die radiologischen Befunde keine verwertbaren Informationen zu Dislokationsausmaß und Achsabweichung enthielten, wurde die Messung der Achsabweichung und Bestimmung des Dislokationsausmaßes durch den Doktoranden durchgeführt. Hierfür erhielt der Doktorand eine Einführung in den Umgang mit dem Radiologieprogramm und die korrekte Durchführung der Messungen.

Die Daten aus den Patientenakten wurden mithilfe des Tabellenkalkulationsprogrammes Microsoft Excel zusammengestellt. Nach Abschluss der Datenerfassung wurden die Fälle anonymisiert und mit fortlaufender Nummerierung versehen, die keinen Rückschluss auf die Identität des Kindes zulässt. Die statistische Auswertung erfolgte mit den Programmen *IBM® SPSS® Statistics* (Version 26 und Version 27) sowie *Microsoft® Excel®* für Microsoft 365 MSO. Die Literaturverwaltung erfolgte mit Citavi (Version 6.11.0.0).

Die Darstellung der Daten der deskriptiven Statistik erfolgte als Mittelwert mit Standardabweichung (*SD*), als Median oder als Anzahl (*n*) sowie in Prozent.

Bei der Auswertung kamen der t-Test, der Mann-Whitney-U-Test sowie der Chi-Quadrat-Test nach Pearson zur Anwendung. Signifikanz wurde bei $p \leq 0,05$ angenommen. Die Testdurchführung erfolgte zweiseitig.

Die statistische Auswertung der Daten erfolgte durch den Promovenden selbst. In Vorbereitung auf die Arbeit erfolgte hierfür die Teilnahme an mehreren Kursen zum Arbeiten mit *IBM® SPSS® Statistics* und *Microsoft® Excel®*. Daneben wurden die sinnvolle Herangehensweise an die Auswertung sowie offene Fragen zur statistischen Untersuchung und Testdurchführung in einem Gespräch mit der statistischen Beratung des Instituts für Klinische Epidemiologie und Biometrie der Universität Würzburg erörtert.

3 Ergebnisse

Zu Beginn der Datenauswertung standen 265 Datensätze zur Verfügung, die alle eingesehen und auf die Ein- und Ausschlusskriterien für die vorliegende Untersuchung überprüft wurden. Dieses Vorgehen wird in Abbildung 8 veranschaulicht.

Achtunddreißig Datensätze bezogen sich auf Patientinnen und Patienten, bei denen lediglich die Entfernung des Osteosynthesematerials vorgenommen worden war und deren Datensätze im Rahmen des hierfür notwendigen erneuten Klinikaufenthaltes doppelt aufgeführt wurden. Bei 14 der aufgelisteten Kinder wurde lediglich die Diagnose einer isolierten distalen Radiusfraktur gestellt und im Behandlungsverlauf möglicherweise eine fehlerhafte ICD-Codierung vorgenommen. Daher wurden diese Patientinnen und Patienten für die vorliegende Untersuchung ausgeschlossen.

Im Zeitraum vom 01.01.2008 bis zum 31.12.2018 wurden in der kinderchirurgischen Abteilung des UKW 213 Patientinnen und Patienten mit 218 distalen Unterarmfrakturen versorgt.

Hierbei wurden insgesamt 68 Kinder konservativ mit einem Gipsverband ohne die Notwendigkeit einer nachfolgenden Operation und 145 Patientinnen und Patienten entweder primär oder im Verlauf durch eine Osteosynthese versorgt.

In die Untersuchung wurden 122 der 145 operativ versorgten Kinder eingeschlossen. Sie erhielten eine Versorgung mittels Kirschner-Drähten des Radius allein oder einer Kombination aus Kirschner-Drähten radialseits sowie ESIN der Ulna. Aus der Gruppe der 145 operativ versorgten Patientinnen und Patienten mussten 23 Kinder ausgeschlossen werden, da in diesen Fällen Osteosynthesetechniken zum Einsatz kamen, die in der vorliegenden Arbeit nicht untersucht wurden. Es handelte sich dabei um die Verwendung von Kirschner-Drähten sowohl in Radius als auch Ulna oder um die Verwendung von ESIN in beiden Unterarmknochen. Die Abweichung in der Osteosynthesetechnik war hier häufig mit einer in dieser Arbeit nicht näher untersuchten Frakturlokalisierung im Bereich der Diaphyse begründet.

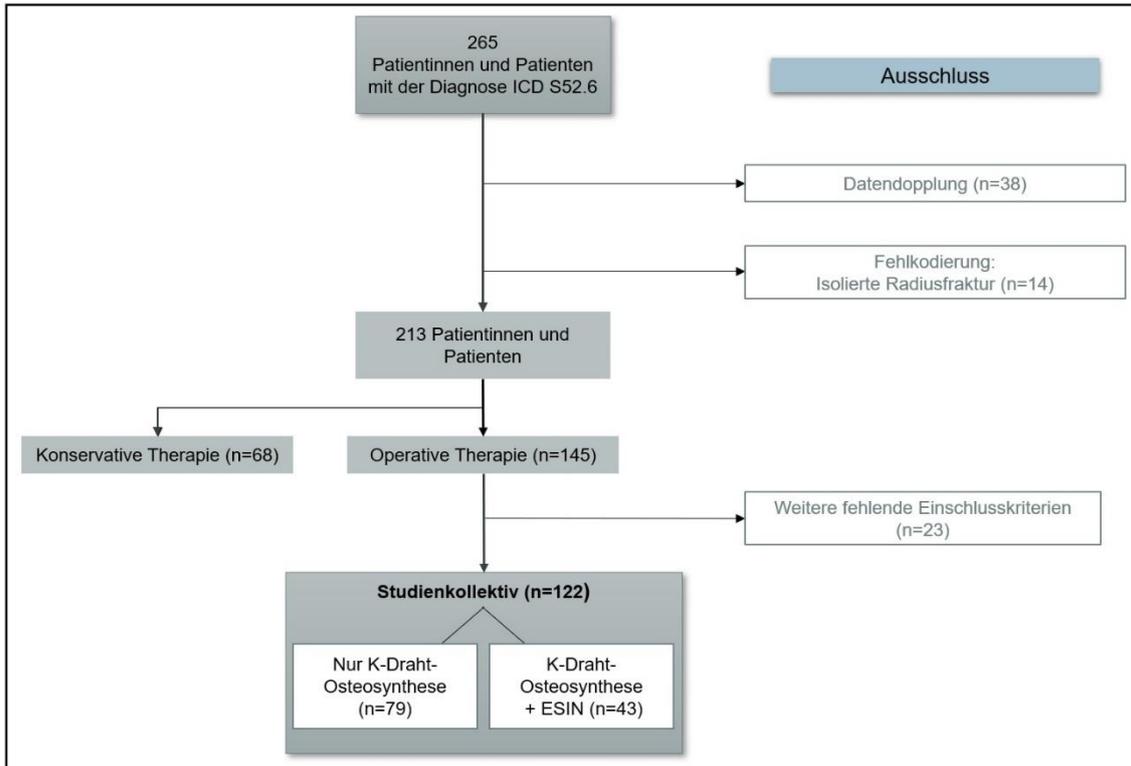


Abbildung 8: Flussdiagramm mit Darstellung der Ermittlung des Studienkollektivs

Im folgenden Abschnitt der Arbeit werden die Ergebnisse der Datenauswertung näher dargestellt.

3.1 Epidemiologie des Untersuchungskollektivs

3.1.1 Geschlechterverhältnis

Im untersuchten Patientenkollektiv waren 74,6 % der Kinder (91 von 122) männlich und 25,4 % (31 von 122) weiblich (siehe Abbildung 9). In der Betrachtung der Geschlechterverteilung in Abhängigkeit der beiden untersuchten Therapiemethoden ergab sich ein ähnliches Verhältnis wie im Gesamtkollektiv. In die Therapiegruppe der lediglich mit Kirschner-Drähten osteosynthetisch versorgten Kinder wurden insgesamt 79 Kinder, davon 58 Jungen (73,4 %) und 21 Mädchen (26,6 %) eingeschlossen. In der Gruppe der insgesamt 43 kombiniert osteosynthetisch versorgten Kinder machten Jungen 76,7 % (33 Patienten), Mädchen 23,3 % (10 Patientinnen) der Subgruppe aus.

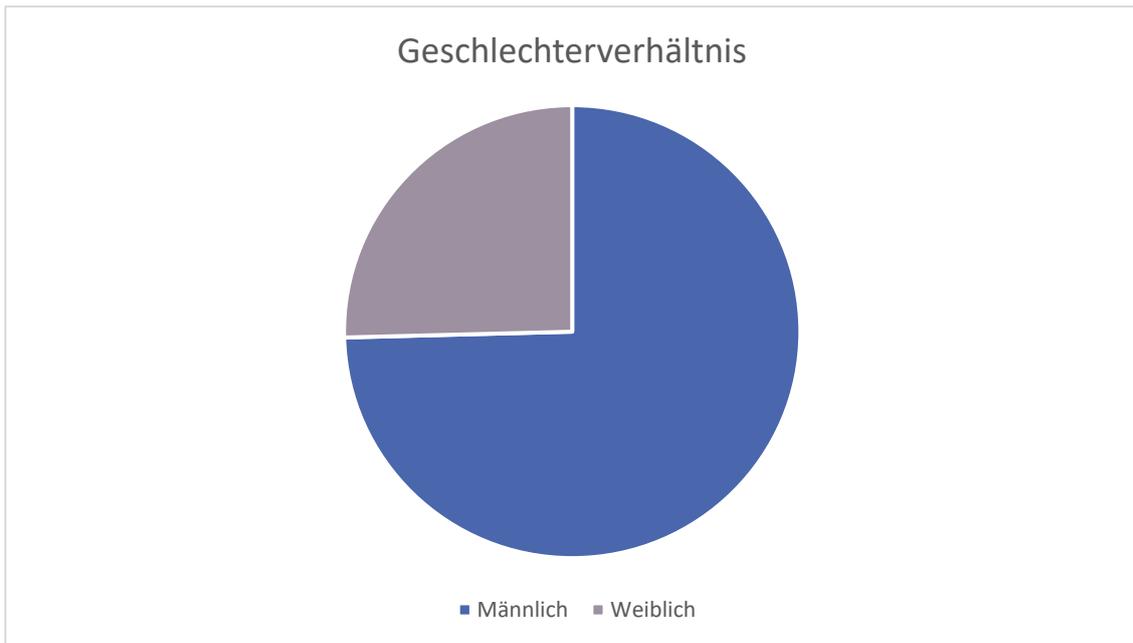


Abbildung 9: Geschlechterverhältnis des Patientenkollektivs

3.1.2 Altersverteilung

Bei der Betrachtung der Altersverteilung zeigten sich Häufungen in zwei Altersgruppen. Zum einen in der Altersgruppe der fünf- bis achtjährigen Kinder, zum anderen in der Gruppe der zehn- bis 14-jährigen Kinder. Während das Geschlechterverhältnis in jüngeren Jahren trotz bestehender Knabenwendigkeit zum Teil noch etwas ausgeglichener war, zeigte sich im Patientenkollektiv mit fortschreitendem Alter eine deutliche Verschiebung hin zum männlichen Geschlecht (siehe Abbildung 10). Die größte Gruppe machten mit einem Anteil von je 12,3 % Kinder im Alter von zwölf und 14 Jahren aus. Der Altersdurchschnitt aller Kinder lag bei 10,0 Jahren ($SD = 3,1$). Im Studienkollektiv war das jüngste behandelte Kind 2,3 Jahre alt, das älteste 15,9 Jahre. Für Jungen ergab sich ein Durchschnittsalter von 10,5 Jahren ($SD = 3,2$), bei Mädchen ein Alter von 8,7 Jahren ($SD = 2,7$) zum Zeitpunkt des Unfalls.

Weibliche Kinder waren damit um etwa 1,8 Jahre signifikant jünger als männliche Kinder ($t(120) = 2,75, p = 0,007$) (siehe Abbildung 11).

In der Betrachtung der Subgruppen ergab sich ein Durchschnittsalter von 9,7 Jahren ($SD = 3,3$) bei Kindern, die einfach osteosynthetisch therapiert wurden. Bei Kindern, die eine Hybridfixierung aus Kirschner-Drähten und ESIN erhielten, zeigte sich ein Alter von durchschnittlich 10,6 Jahren ($SD = 2,8$).

Der Altersunterschied zwischen den beiden Therapiegruppen fiel dabei nicht signifikant aus ($t(120) = -1,59, p = 0,115$).

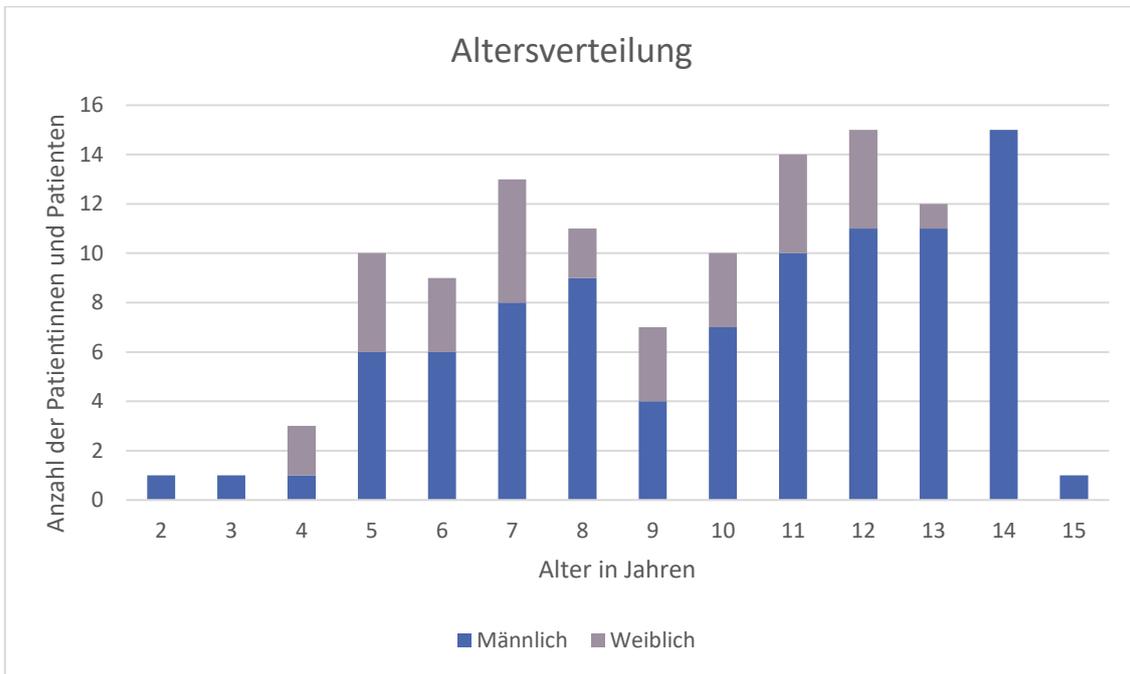


Abbildung 10: Altersverteilung im Kollektiv aller eingeschlossenen Patientinnen und Patienten

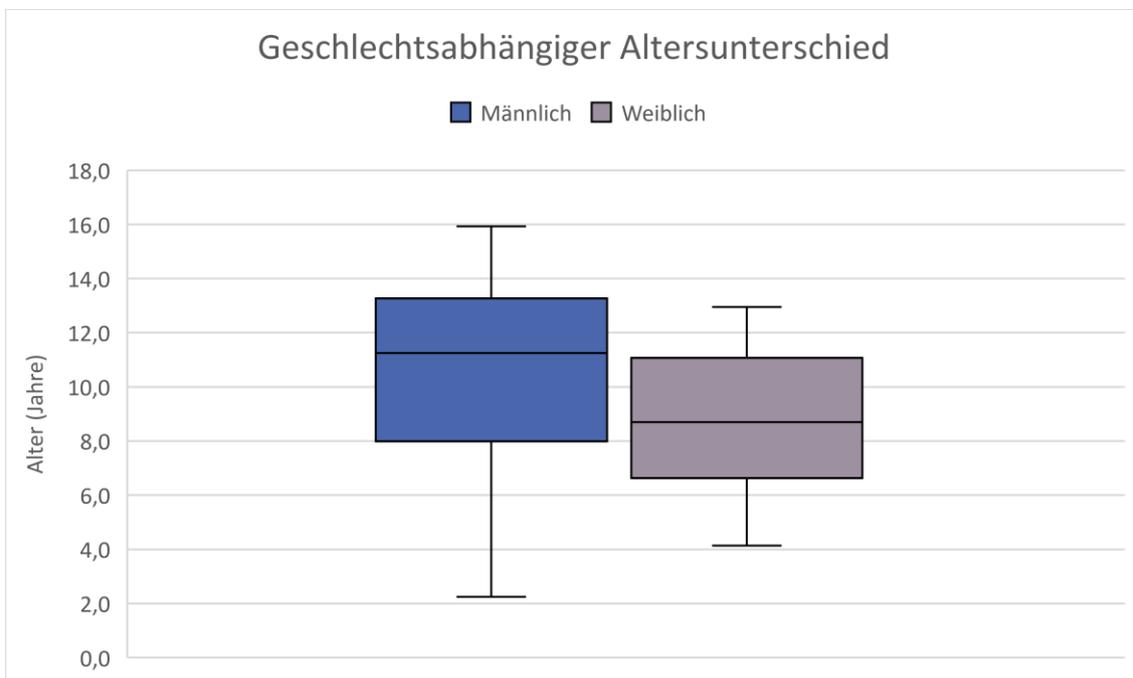


Abbildung 11: Boxplot des geschlechtsabhängigen Altersunterschieds (in Jahren) im Gesamtkollektiv der untersuchten Patientinnen und Patienten

3.1.3 Jahreszeitliche Verteilung

In der Untersuchung der jahreszeitlichen Verteilung nach Kalendermonaten zeigte sich ein Anstieg der Fallzahlen im Frühjahr mit Häufung in den Sommermonaten. Die höchsten Zahlen an Patientinnen und Patienten fanden sich im Monat Juli (19 Kinder), gefolgt von April (17 Kinder) und Juni (15 Kinder), während die niedrigsten Fallzahlen auf die Herbst- und Wintermonate entfielen (siehe Abbildung 12).

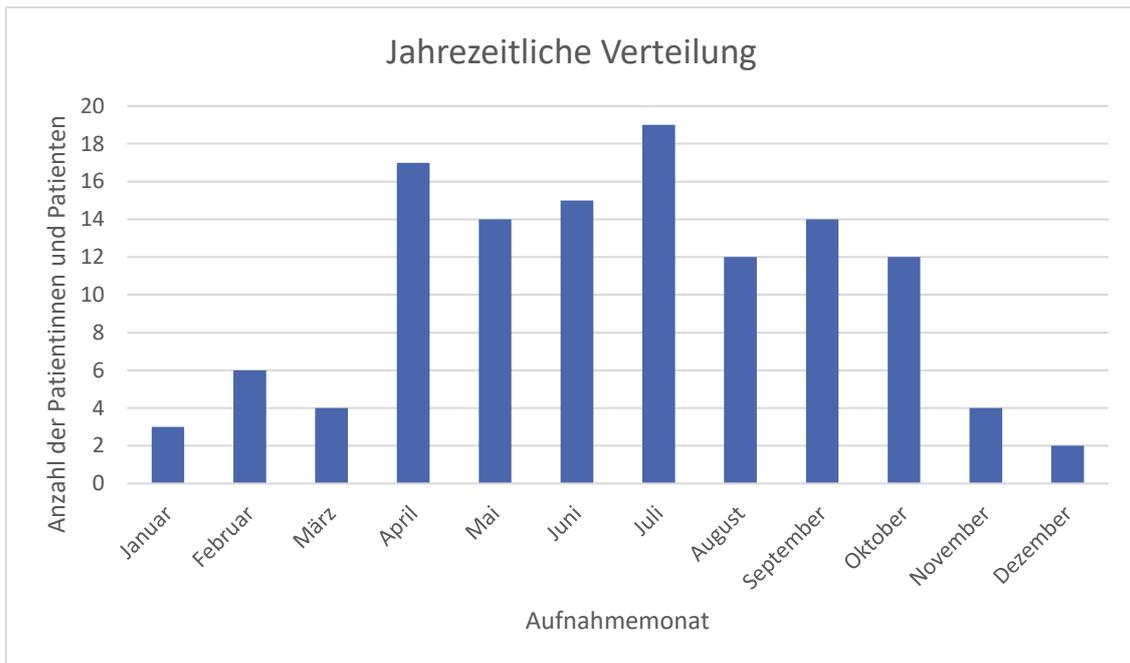


Abbildung 12: Jahreszeitliche Verteilung (nach Aufnahmemonat) der Fallzahlen im Patientenkollektiv

3.1.4 Frakturierte Körperseite

Mit einem Anteil von 61,5 % am häufigsten betroffen war die linke Körperseite (75 von 122 Patientinnen und Patienten). Die rechte Seite war bei 35,2 % der Kinder verletzt. In 3,3 % (vier von 122 Patientinnen und Patienten) der Fälle zeigten sich komplette distale Unterarmfrakturen beidseits (siehe Abbildung 13).

Für die Fragestellung nach einer Abhängigkeit der betroffenen Seite in Bezug auf die dominante Hand bzw. den Unfallmechanismus wurde eine Subgruppe von 18 Kindern selektiert, die sich beim Skateboarding, Snowboarding oder Inlinern verletzte. In dieser Gruppe war der linke Arm in 55,6 % der Fälle (zehn Patientinnen und Patienten) betroffen, der rechte in 44,4 % (acht Kinder).

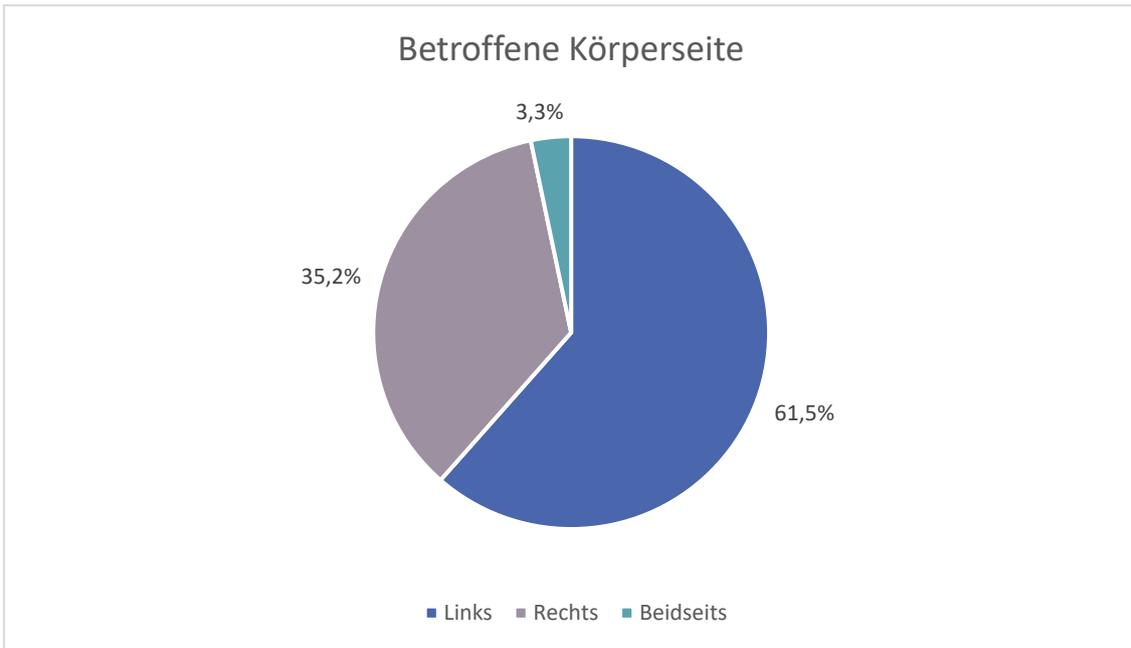


Abbildung 13: Verteilung der betroffenen Körperseite im Gesamtkollektiv

3.1.5 Unfallhergang

Bei der Betrachtung des Unfallhergangs (siehe Abbildung 14) stellten Stürze aus weniger als 2 m Höhe bei 40 Kindern (32,8 %) die Ursache für die untersuchte Verletzung des Unterarms dar. Danach folgten Verletzungen im Rahmen des Fußballspiels (21 Fälle, 17,2 %), bei Fahrradstürzen (14 Fälle, 11,5 %) und Stürze aus mehr als 2 m Höhe (zehn Fälle, 8,2 %). Neun Kinder (7,4 %) zogen sich die Verletzung beim Skateboard fahren und acht Kinder (6,6 %) beim Fahren mit Inlinern zu. Seltener resultierten die Frakturen aus Stürzen im Reitsport (vier Fälle, 3,3 %), beim Basketballspiel (drei Fälle, 2,5 %) sowie aus Verkehrsunfällen mit Personenkraftwagen und Verletzungen beim Trampolinspringen (jeweils zwei Fälle, jeweils 1,6 %). Neun Fälle (7,4 %) entfielen auf sonstige Unfallursachen. Hier fanden sich Volleyball-, Snowboard- und Hockeysport sowie eine Go-Kart-Fahrt als Unfallursache. Bei der Zusammenfassung der Kategorien entfielen insgesamt 55 Fälle (45,1 %) auf Frakturen im Zusammenhang mit sportlicher Aktivität.

In 24 der 122 Fälle (19,7 %) lag ein Kindergarten-, Schul- oder Wegeunfall vor.

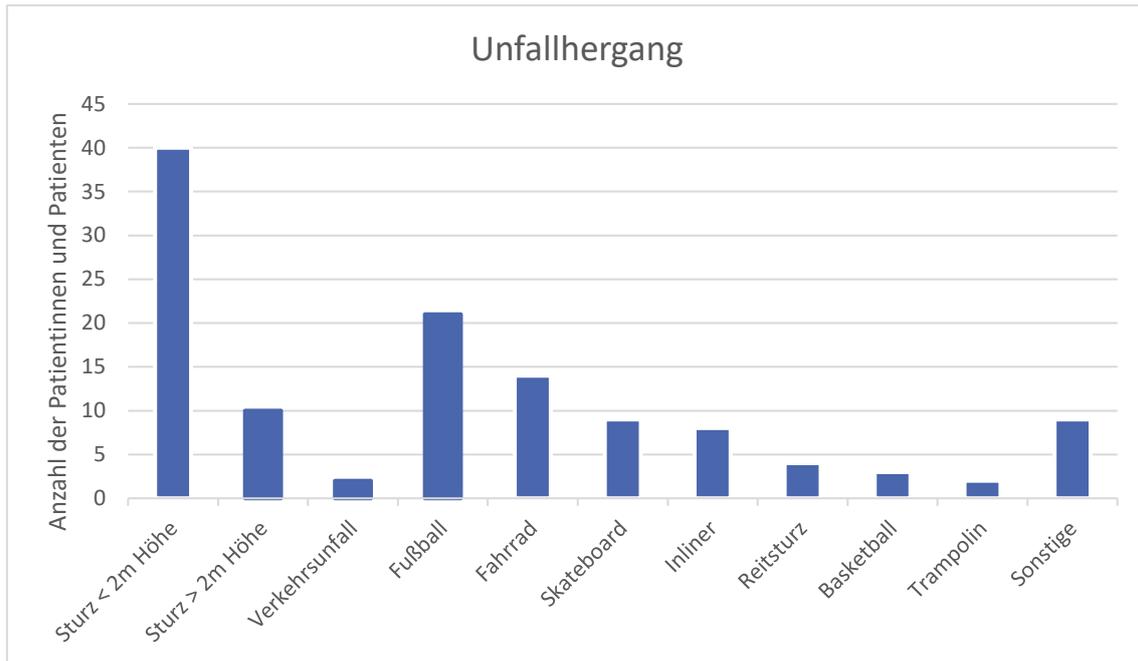


Abbildung 14: Häufigkeiten dokumentierter Unfallszenarien

3.1.6 Frakturklassifikation und Frakturlokalisation

Bei der Auswertung der Dislokationsrichtung (siehe Abbildung 15) zeigte sich, dass bei 88 Kindern (72,1 %) eine Dislokation des distalen Frakturfragmentes nach dorsal im Sinne einer Extensionsfraktur vorlag. Flexionsfrakturen mit Dislokation nach ventral machten lediglich 17 Fälle (13,9 %) aus. In fünf Fällen (4,1 %) lag eine Dislokation in eine andere Richtung vor, die keinen Rückschluss auf die Frakturentstehung zuließ. In zwölf Fällen (9,8 %) lagen keine Röntgenaufnahmen vor, in denen die Dislokationsrichtung vor Reposition und Osteosynthese zu bestimmen war. Dies lag im Wesentlichen an einer Umstellung der Kliniksoftware im Laufe des Untersuchungszeitraums, womit aus Speichermedien eingelesene oder digitalisierte Röntgenbilder aus Fremdkliniken, in denen die Erstvorstellung erfolgt war, nicht mehr einsehbar waren.

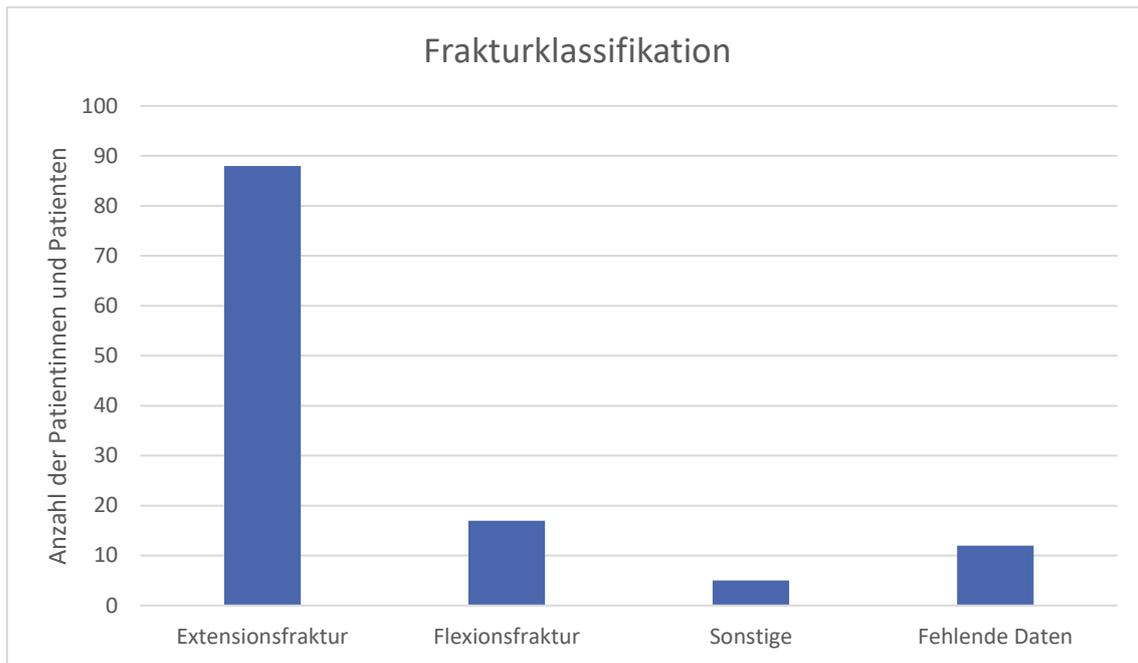


Abbildung 15: Darstellung der Frakturklassifikation in Extensions- und Flexionsfrakturen

Bei der in Abbildung 16 dargestellten Auswertung der Frakturlokalisation zeigte sich insgesamt eine Häufung im Bereich der Metaphyse. Dieser Abschnitt des Knochens war in 77 Fällen (63,1 %) betroffen. Der proximaler gelegene, diametaphysäre Bereich war in 36 Fällen (29,5 %) verletzt. Bei 18 Kindern (14,8 %) fand sich eine Fraktur im Bereich der Epiphyse. In 17 Fällen handelte es sich dabei um eine Aitken-I-Fraktur des Radius. Bei neun dieser Patientinnen und Patienten kam es neben der Aitken-I-Fraktur zu einer weiteren Verletzung im Bereich des diametaphysären oder metaphysären Abschnitts am distalen Unterarm. Ein Kind erlitt neben einer Aitken-I-Fraktur des Radius eine Aitken-0-Fraktur der Ulna.

Im Gesamtkollektiv wurde bei 14 Kindern eine Wulstfraktur der Ulna diagnostiziert. Diese war in vier Fällen mit einer Aitken-I-Fraktur des Radius kombiniert, bei jeweils fünf Kindern lag daneben eine Fraktur des distalen Radius im metaphysären oder diametaphysären Abschnitt vor. Ein Abriss des *Processus styloideus ulnae* fand sich bei zwölf Patientinnen und Patienten (9,8 %). Ein Kind aus der einfach versorgten Gruppe zeigte initial eine Grünholzfraktur des Radius und wurde nach sekundärer Dislokation der Fraktur osteosynthetisch versorgt.

In der Subgruppenanalyse zeigte sich für die Gruppe der Kinder, die lediglich mittels Kirschner-Draht-Osteosynthese des Radius versorgt wurden, eine recht ähnliche Häufigkeitsverteilung wie im Gesamtkollektiv. In der Gruppe der Patientinnen und Patienten, die mittels Kirschner-Drähten und ESIN operiert wurden, machten

Verletzungen des diaphysären Übergangs im Gegensatz zur einfach versorgten Gruppe etwa die Hälfte der Fälle aus. Frakturen im Bereich der Epiphyse waren bei kombiniert versorgten Patientinnen und Patienten hingegen seltener als in der Gruppe der Kinder, die lediglich eine Fixierung des Radius erhielten.

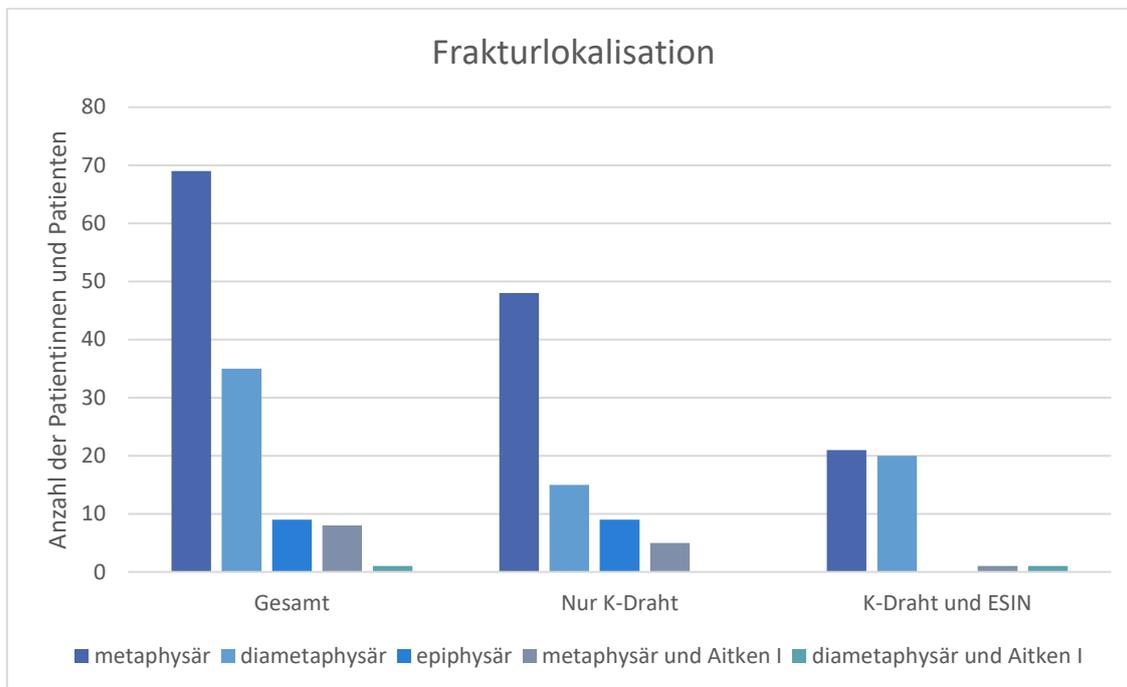


Abbildung 16: Häufigkeitsverteilung der Frakturlokalisation im Gesamtkollektiv und abhängig von der Operationsmethode

Ebenfalls ausgewertet wurde die Häufigkeit von offenen und geschlossenen Frakturen im untersuchten Kollektiv (siehe Abbildung 17). Geschlossene Frakturen machten mit insgesamt 110 von 122 Fällen (90,2 %) die Mehrheit der Verletzungen aus. Offene Frakturen wurden bei zwölf Patientinnen und Patienten (9,8 %) beschrieben. In der Subgruppenanalyse zeigte sich bei Kindern, die einfach osteosynthetisch versorgt wurden, in 5,3 % der Fälle (vier Kinder) eine offene Fraktur. Bei Patientinnen und Patienten, die zusätzlich eine Osteosynthese der Ulna erhielten, betrug der Anteil 18,6 % (acht Kinder). Bei allen offenen Frakturen handelte es sich um Verletzungen des Grad I nach Gustilo und Anderson.

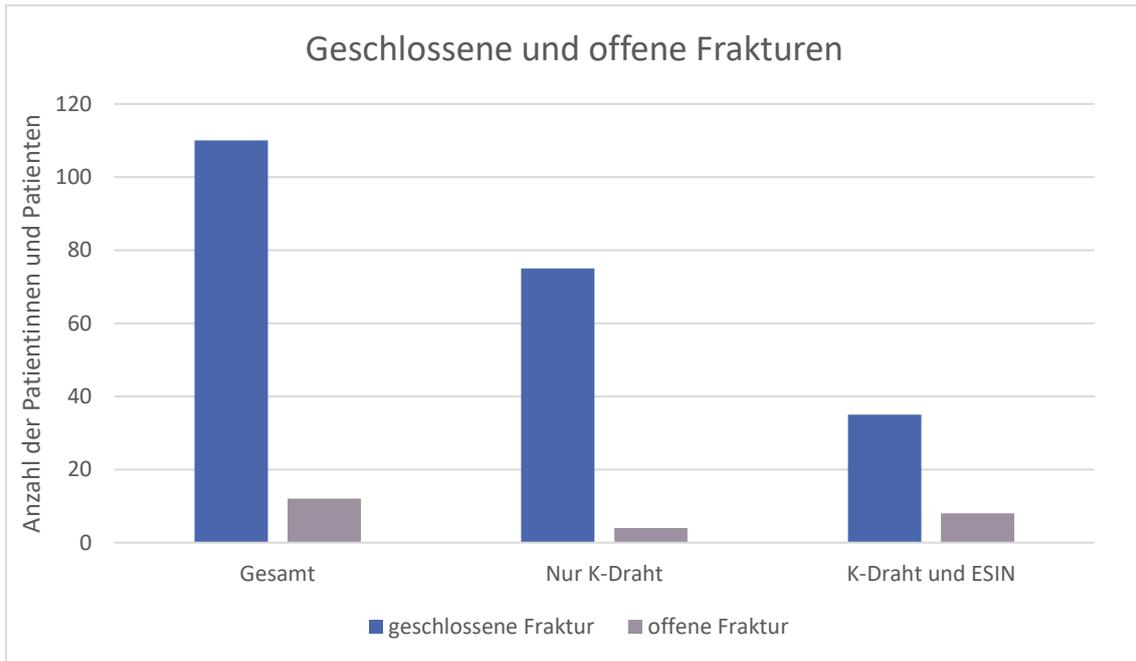


Abbildung 17: Gesamtauswertung und Subgruppenanalyse der Häufigkeit von offenen und geschlossenen Unterarmfrakturen

3.1.7 Dislokationsausmaß und Achsabweichung

Daten zum Ausmaß der Dislokation der Fraktur ließen sich in 102 von 122 Fällen (83,6 %) erheben. Wie in Abbildung 18 dargestellt, waren Dislokationen um etwa eine halbe Schaftbreite im Gesamtkollektiv mit 39,2 % (40 von 102 Fällen) am häufigsten, danach folgten Verschiebungen um eine Schaftbreite in einem Drittel der Fälle (33,3 %, 34 von 102 Kindern). Seltener kamen Frakturen vor, die lediglich um Kortikalisbreite verschoben waren (16,7 %) oder grobe Verschiebungen um mehr als Schaftbreite zeigten (7,8 %). In der Betrachtung der einzelnen untersuchten Gruppen ergab sich für die einfach versorgte Therapiegruppe ein zum Gesamtkollektiv ähnliches Bild. In der Gruppe der Kinder, die eine Osteosynthese an Radius und Ulna erhielten, zeigte sich eine Verschiebung des Dislokationsausmaßes hin zu stärkeren Seitverschiebungen. Während in der erstgenannten Gruppe Dislokationen um mehr als eine halbe Schaftbreite bei 34,8 % der Kinder auftraten, war der Anteil solcher Seitverschiebungen in der Gruppe der kombiniert osteosynthetisch versorgten Kinder mit 58,3 % höher. Bei Kindern, die mit Kirschner-Drähten und ESIN therapiert wurden, dominierten Dislokationen um Schaftbreite, die in dieser Subgruppe 44,4 % (16 von 36 Fälle) ausmachten. Geringer ausgeprägte Seitverschiebungen um Kortikalisbreite waren in dieser Gruppe mit einem Anteil von 8,3 % seltener als in der Gruppe der einfach

osteosynthetisch versorgten Kinder, in der Dislokationen in diesem Ausmaß in 21,2 % der Fälle vorlagen.

Neben dem Ausmaß der Seitverschiebung erfolgte auch eine Analyse der Ausprägung der Achsabweichung vor Reposition und Osteosynthese (siehe Abbildung 19). Diese konnte in 98 von 122 Fällen (80,3 %) ermittelt werden. Insgesamt zeigte sich im Gesamtkollektiv vor Reposition der Fraktur eine durchschnittliche Achsabweichung von 24,0 Grad ($SD = 10,7$). Bei etwas größerer Streuung in der Gruppe der doppelt osteosynthetisch versorgten Patientinnen und Patienten ergab sich ein ähnliches Ergebnis in beiden Subgruppen. Mit im Median 22,0 Grad Achsabweichung fiel diese in der Gruppe der an Radius und Ulna operierten Patientinnen und Patienten um 1,5 Grad etwas geringer aus als bei Kindern, die mit Kirschner-Drähten allein operiert wurden (23,5 Grad). Dennoch zeigte sich im Mann-Whitney-U-Test kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Subgruppen ($p = 0,331$).

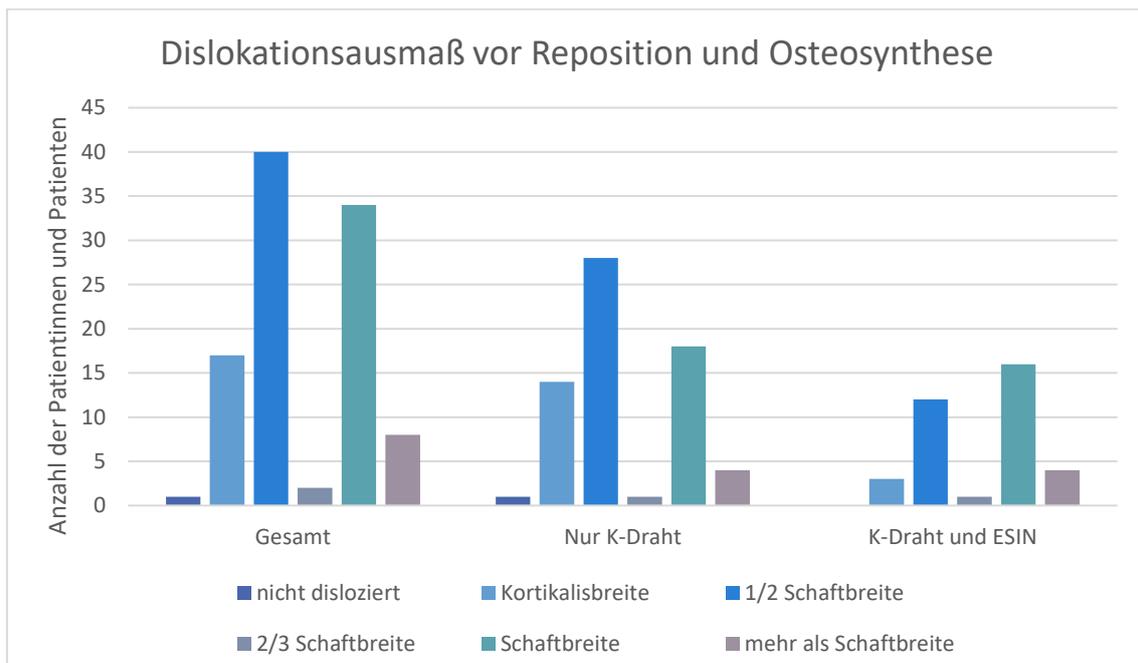


Abbildung 18: Radiologisch bestimmtes Dislokationsausmaß im Gesamtkollektiv und in der Subgruppenanalyse vor Reposition und Osteosynthese

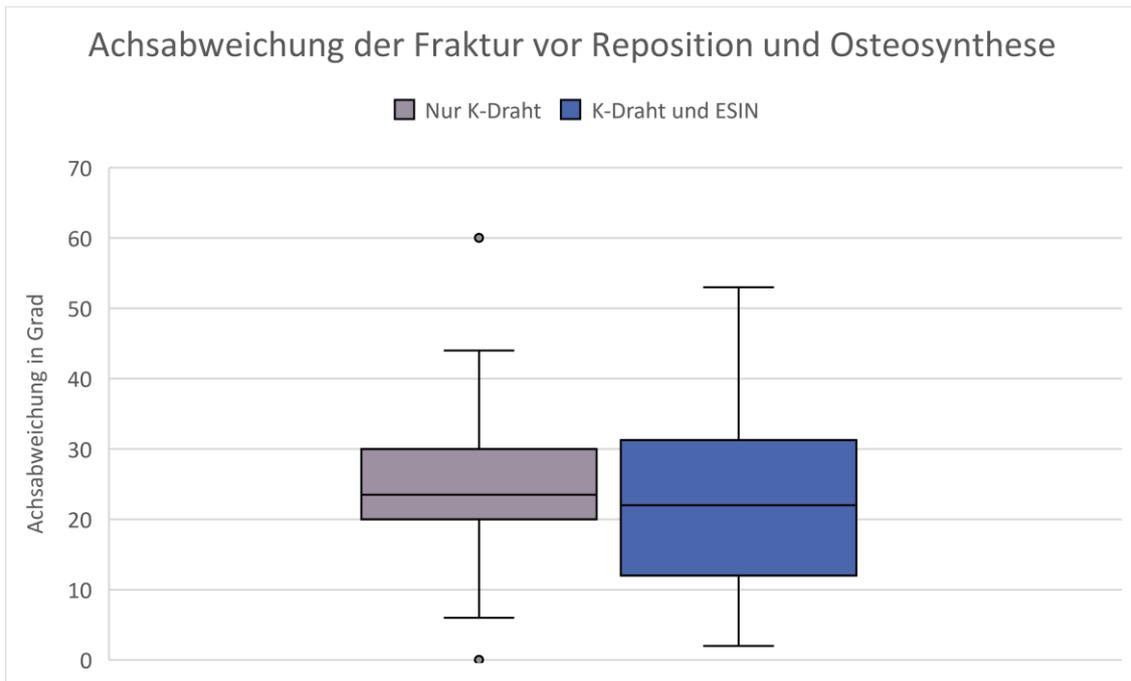


Abbildung 19: Ausmaß der Achsabweichung des dislozierten Fragmentes (in Grad) vor Reposition und Osteosynthese in Abhängigkeit von der verwendeten Osteosynthesetechnik

3.1.8 Begleitverletzungen

Keine weiteren traumaassoziierten Verletzungen zeigten 76 der 122 Kinder (62,3 %). Bei 46 (37,7 %) der Patientinnen und Patienten lag neben der Unterarmfraktur noch mindestens eine weitere Verletzung vor, deren Häufigkeitsverteilung in Abbildung 20 dargestellt ist.

Die häufigste Begleitverletzung stellte der Weichteilschaden dar. Er trat bei 22 Kindern (18,0 %) zusätzlich zur Unterarmfraktur auf. Eine detailliertere Auswertung dieser Verletzung mit Darstellung der Häufigkeit der verschiedenen Ausprägungen zeigt Abbildung 21. Nach Verletzungen der knochenumgebenden Weichteile folgten in absteigender Häufigkeit Sensibilitätsstörungen im Bereich der Hand (9,8 %), Schürfwunden (8,2 %) und Frakturen anderer Knochen (4,9 %). Eine Schädelprellung lag bei drei Kindern vor. In zwei Fällen wurden Quetsch-Risswunden dokumentiert, und in je einem Fall eine Schnittwunde, eine Zahnverletzung und ein abdominelles Trauma. Bei einem Kind war die distale Unterarmfraktur im Rahmen eines Polytraumas aufgetreten.

Kinder aus der Gruppe der einfach versorgten Patientinnen und Patienten waren mit einem Anteil von 32,9 % seltener von Begleitverletzungen betroffen als diejenigen, die kombiniert osteosynthetisch behandelt wurden. In letztgenannter Gruppe waren bei 20

von 43 Kindern (46,5 %) zusätzlich zur Unterarmfraktur weitere Verletzungen dokumentiert.

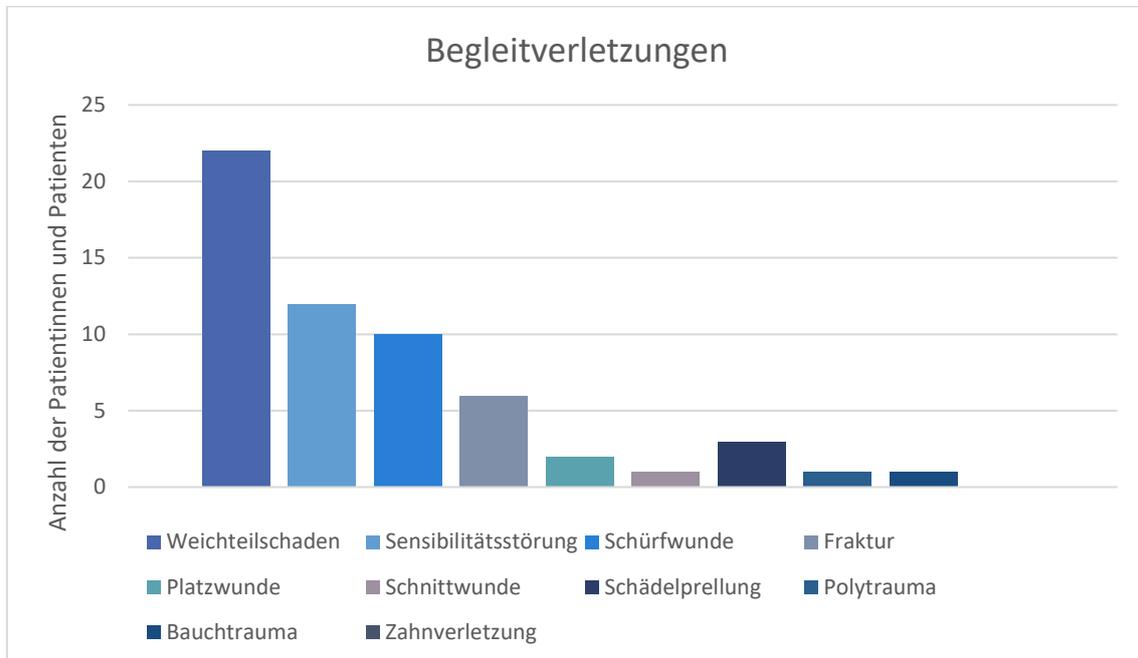


Abbildung 20: Häufigkeitsverteilung von Begleitverletzungen im Gesamtkollektiv

Bei 16 der 22 Kinder mit Weichteilschaden lag dieser isoliert ohne weitere Begleitverletzung vor. Eine Ausprägung der Verletzung im Schweregrad II fand sich am häufigsten (72,7 % aller Kinder mit Weichteilschaden, 13,1 % des Gesamtkollektivs). Bei fünf Patientinnen und Patienten trat ein Weichteilschaden Grad I auf (22,7 % aller Fälle mit Weichteilschaden, 4,1 % des Gesamtkollektivs). Eine drittgradige Ausprägung der Weichteilverletzung konnte lediglich bei einem Kind in der Gruppe der kombiniert versorgten Patientinnen und Patienten beobachtet werden.

Zwischen den beiden verglichenen Therapiegruppen zeigten sich Unterschiede in der Häufigkeit von Weichteilschäden. Kinder in der einfach osteosynthetisch versorgten Gruppe waren mit einer Häufigkeit von 7,6 % seltener von dieser Verletzung betroffen als Patientinnen und Patienten der kombiniert versorgten Vergleichsgruppe, in der bei 37,2 % der Behandelten ein Weichteilschaden dokumentiert wurde.

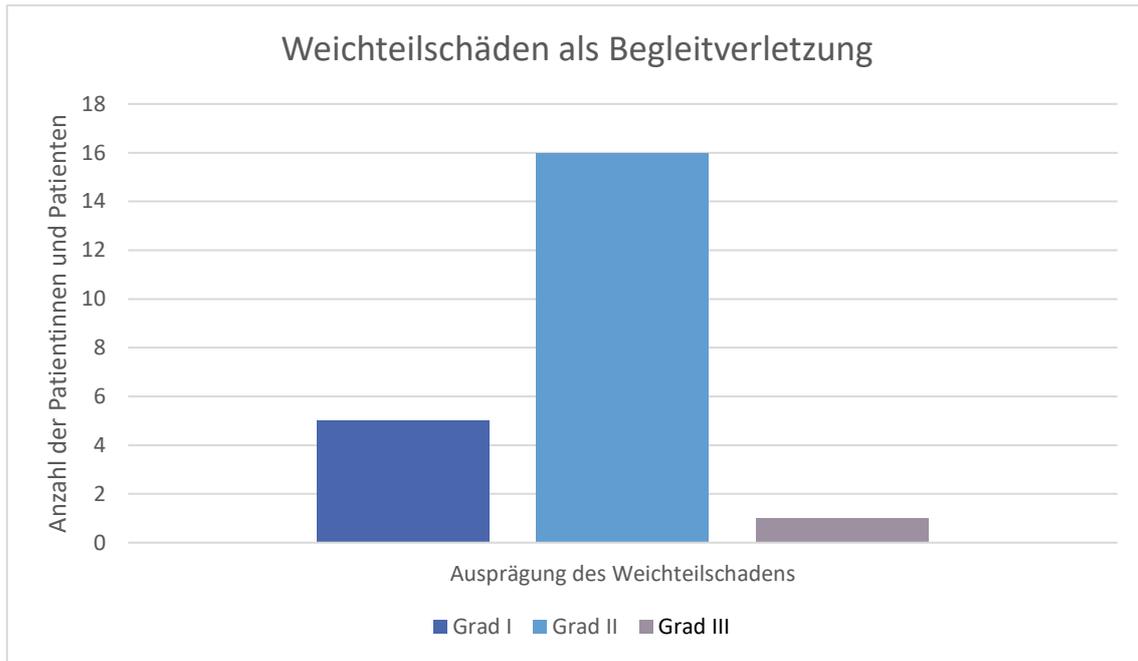


Abbildung 21: Subgruppenanalyse der Begleitverletzungen mit Darstellung der Ausprägung des Weichteilschadens (Klassifikation nach Oestern und Tscherne)

3.2 Therapieregime

3.2.1 Zeitliche Entwicklung und Anwendung der verschiedenen Therapieverfahren

Bei der Betrachtung der angewandten Therapieverfahren zeigte sich im Laufe der untersuchten elf Jahre ein Wandel vom konservativen Vorgehen hin zur operativen Therapie (siehe Abbildung 22).

Während in den Jahren 2008 und 2009 noch etwa 90 % der Kinder konservativ versorgt wurden, zeigte sich ab dem Jahr 2010 ein kontinuierlicher Anstieg des Anteils operativ versorgter Patientinnen und Patienten. Im Jahr 2018 wurden schließlich alle Kinder des untersuchten Kollektivs operativ versorgt.

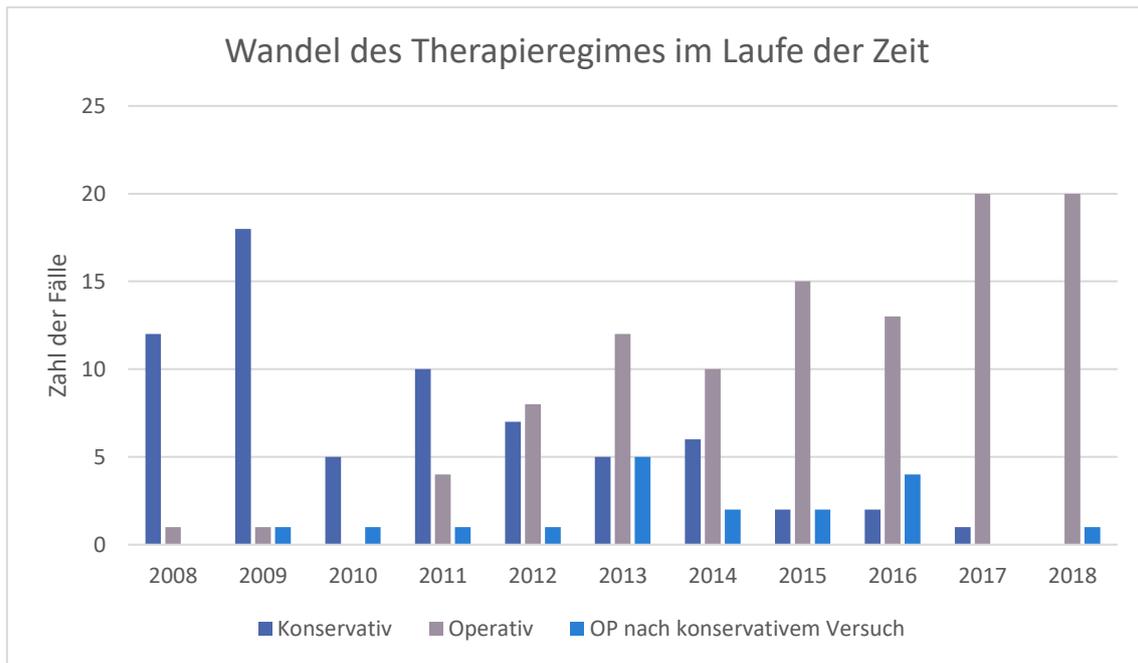


Abbildung 22: Häufigkeit der angewandten Therapiestrategien für distale Unterarmfrakturen in der kinderchirurgischen Abteilung des UKW im Zeitraum von 2008 bis 2018

3.2.2 Häufigkeit sekundär dislozierter Frakturen nach Gipstherapie

Wie ebenfalls in Abbildung 22 gezeigt, fanden sich im untersuchten Patientenkollektiv 18 Kinder (14,8 %), bei denen nach initial konservativem Therapieversuch und sekundärer Dislokation im Verlauf der Wechsel zu einem operativen Therapieverfahren notwendig wurde. Im zeitlichen Verlauf waren in den Jahren 2013 und 2016 etwas mehr sekundär dislozierte Frakturen im Rahmen der initial konservativen Therapie festzustellen, insgesamt zeigte sich dieser Befund jedoch recht selten.

3.2.3 Betrachtung der Osteosyntheseverfahren

Bei 79 Kindern (64,8 %) erfolgte lediglich eine Osteosynthese des Radius mittels Kirschner-Drähten. Bei 43 Patientinnen und Patienten (35,2 %) wurde zudem eine Osteosynthese der Ulna mittels ESIN durchgeführt (siehe Abbildung 23).

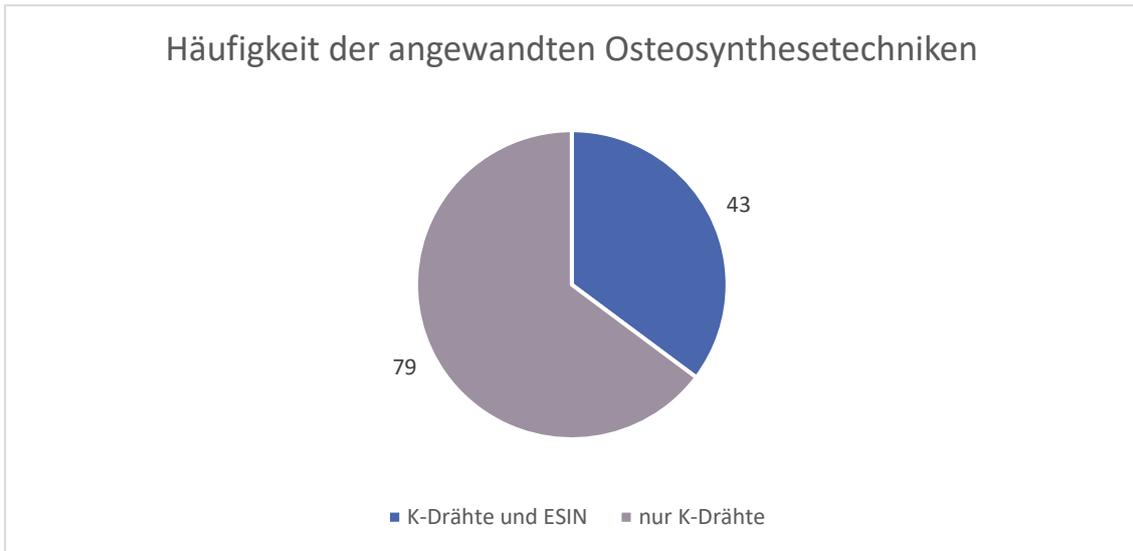


Abbildung 23: Häufigkeitsverteilung der beiden untersuchten Osteosynthesetechniken

3.2.4 Operationsdauer in Abhängigkeit von der gewählten Osteosynthesetechnik

Um die Operationsdauer in den zwei Subgruppen des Kollektivs möglichst gut vergleichen zu können, wurde die in den Operationsberichten protokollierte Schnitt-Naht-Zeit betrachtet.

Hierbei ergaben sich, abhängig von der gewählten Osteosynthesetechnik, deutliche Unterschiede (siehe Abbildung 24) mit hochsignifikant längerer Schnitt-Naht-Zeit ($p < 0,001$) in der Gruppe der doppelt osteosynthetisch versorgten Kinder.

In der Gruppe der Patientinnen und Patienten, die lediglich durch Kirschner-Drähte versorgt wurden, zeigte sich im Median eine Operationsdauer von 17,0 Minuten. Für Kinder, die kombiniert durch Kirschner-Draht und ESIN versorgt wurden, betrug diese im Median 31,0 Minuten.

In zwei Fällen wurde für die Operation deutlich mehr Zeit als bei den übrigen Patientinnen und Patienten benötigt. Hiervon betroffen war ein siebenjähriges Mädchen im Rahmen einer Kirschner-Draht-Versorgung und ein 13-jähriger Junge, der kombiniert osteosynthetisch behandelt wurde. Bei beiden Kindern scheiterten geschlossene Repositionsversuche zunächst und es wurde ein Wechsel zur offenen Reposition notwendig.

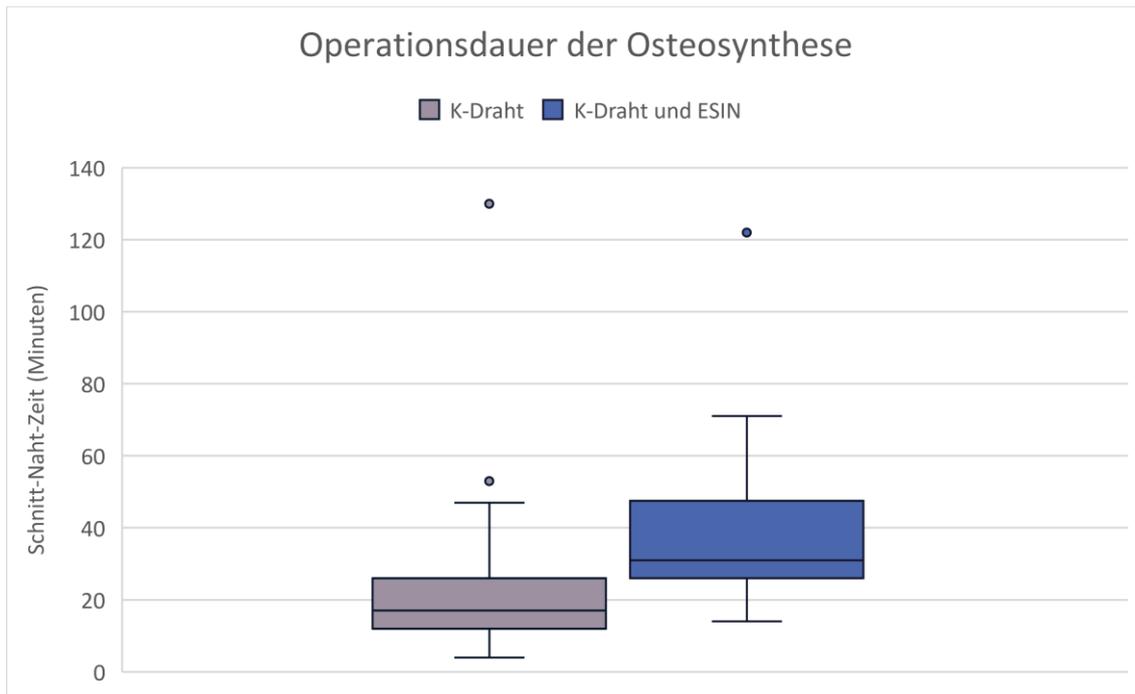


Abbildung 24: Schnitt-Naht-Zeit (in Minuten) in Abhängigkeit von der gewählten Osteosynthesetechnik

3.2.5 Hospitalisierungsdauer für Frakturversorgung und Metallentfernung

Für die Auswertung der Hospitalisierungsdauer wurde die Zahl der Belegungstage herangezogen. Damit wurde für die Datenerfassung der Aufnahmetag und jeder weitere volle Tag mit einbezogen. Der Tag der Entlassung wurde nicht mit einberechnet. Die Patientinnen und Patienten des untersuchten Kollektivs waren im Rahmen des Unfalls mit anschließender osteosynthetischer Versorgung im Durchschnitt 2,96 Tage hospitalisiert ($SD = 1,53$). Wie in Abbildung 25 gezeigt, waren Kinder, deren Fraktur ausschließlich mittels Kirschner-Drähten versorgt wurde, im Median 2,0 Tage und damit signifikant kürzer hospitalisiert als diejenigen, die durch Kirschner-Drähte und ESIN versorgt wurden. In der doppelt osteosynthetisch versorgten Gruppe ergab sich im Median eine Krankenhausverweildauer von 3,0 Tagen für die osteosynthetische Frakturversorgung ($p = 0,047$).

Im Gesamtkollektiv aller 122 Kinder zeigte sich ein Unterschied der Hospitalisierungsdauer zwischen der Gruppe der Patientinnen und Patienten ohne Begleitverletzungen und den Kindern, die mindestens eine Begleitverletzung erlitten hatten.

Ohne weitere Verletzungen ergab sich im Median eine Hospitalisierungsdauer von 2,0 Tagen. Bei Patientinnen und Patienten mit mindestens einer Begleitverletzung verlängerte sich der Klinikaufenthalt auf im Median 3,0 Tage.

Der Zeitpunkt und Verlauf der Entfernung des Osteosynthesematerials ließ sich bei 110 der 122 Kinder (90,2 %) ermitteln. In zwölf Fällen war der Zeitpunkt der Entfernung nicht nachzuvollziehen.

Die Entfernung des eingebrachten Materials konnte in der Gruppe der einfach versorgten Kinder in 64 von 68 Fällen (94,1 %) ambulant erfolgen. Die Patientinnen und Patienten konnten in diesen Fällen noch am gleichen Tag wieder nach Hause entlassen werden. Bei vier Patientinnen und Patienten erfolgte eine stationäre Aufnahme. Drei der Kinder konnten die Klinik am Folgetag verlassen, ein Kind wurde aufgrund einer intravenösen antibiotischen Therapie erst nach sechs Tagen entlassen. Alle 42 Kinder, die eine kombinierte osteosynthetische Versorgung erhielten, wurden postoperativ planmäßig für eine Nacht stationär aufgenommen und konnten am Folgetag der Metallentfernung nach Hause entlassen werden.

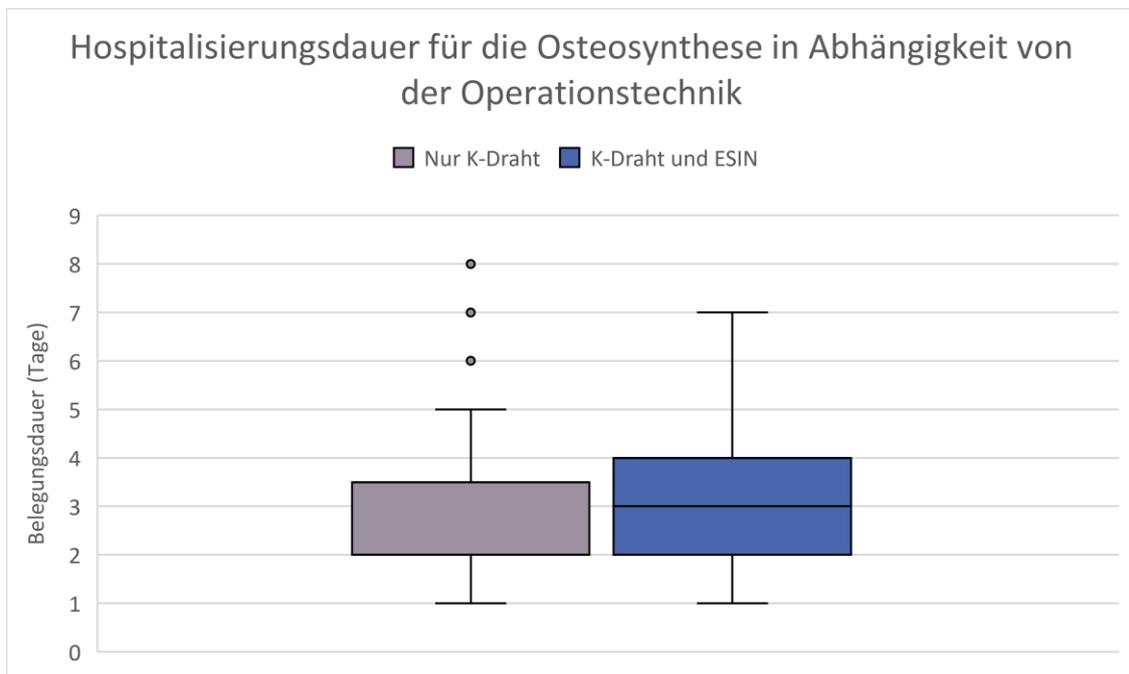


Abbildung 25: Hospitalisierungsdauer (in Tagen) für die Frakturversorgung in Abhängigkeit von der gewählten Osteosynthesetechnik

3.2.6 Verweildauer des Osteosynthesematerials in Abhängigkeit von der gewählten Operationstechnik

Die Verweildauer des Osteosynthesematerials zeigte sich abhängig von der angewandten Therapiestrategie und konnte bei 110 Kindern nachvollzogen werden. Die durchschnittliche Zeitdauer zwischen osteosynthetischer Frakturversorgung und Entfernung des Materials ist in Abbildung 26 dargestellt.

Für Patientinnen und Patienten, die lediglich durch eine Kirschner-Draht-Osteosynthese des Radius versorgt wurden, erfolgte die Entfernung des eingebrachten Materials nach durchschnittlich 56,2 Tagen ($SD = 17,4$).

Bei Kindern, die eine Hybridfixierung durch Kirschner-Drähte und ESIN erhielten, betrug die Verweildauer des Osteosynthesematerials durchschnittlich 80,8 Tage ($SD = 28,1$).

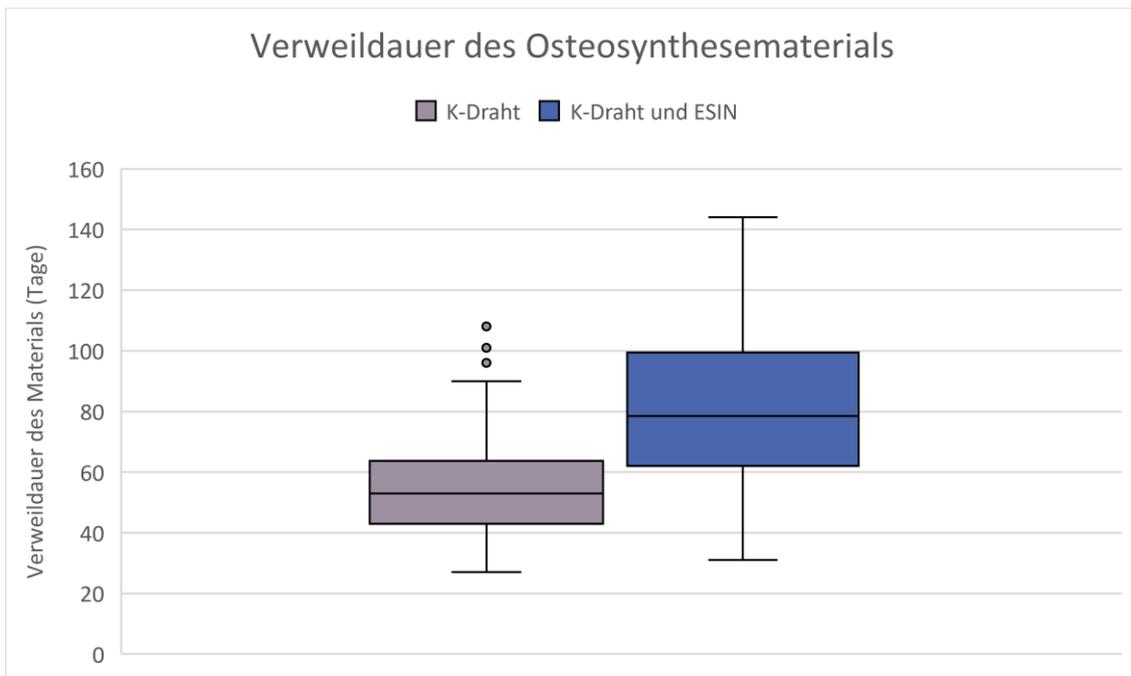


Abbildung 26: Darstellung der Verweildauer des Osteosynthesematerials in Abhängigkeit von der angewendeten Osteosynthesetechnik

3.3 Postoperative Therapiekomplicationen

Insgesamt wurden bei 25 von 122 Kindern (20,5 %) Komplikationen im postoperativen Verlauf dokumentiert. In der einfach osteosynthetisch versorgten Gruppe waren 16 Kinder (20,3 %), in der kombiniert operierten Gruppe neun Kinder (20,9 %) von Komplikationen im postoperativen Therapieverlauf betroffen. Insgesamt wurden 31

Komplikationsereignisse registriert, wovon 20 Einzelkomplikationen auf die einfach versorgten Patientinnen und Patienten und elf Komplikationsereignisse auf die doppelt osteosynthetisch therapierten Kinder entfielen. Damit ergab sich auch in der Betrachtung der einzelnen Komplikationen eine nahezu identische Komplikationsrate von durchschnittlich 0,253 Ereignissen pro Kind in der einfach und 0,256 Ereignissen pro Patientin und Patient in der kombiniert versorgten Gruppe.

Im Chi-Quadrat-Test nach Pearson zeigte sich zwischen den beiden Therapiegruppen kein signifikanter Unterschied in der Häufigkeit postoperativer Komplikationen ($\chi^2(2, N=122) = 0,03, p = 0,984$).

Die Häufigkeiten der verschiedenen Komplikationsereignisse sind in Abbildung 27 dargestellt. Unter allen registrierten Komplikationen stellten protrahierte Schwellungen in beiden untersuchten Gruppen mit neun Ereignissen in der einfach versorgten Gruppe und drei Ereignissen bei kombiniert versorgten Kindern die häufigste Komplikation dar. Danach folgten Schmerzen (vier bzw. ein Komplikationsereignisse), die in diesem Zusammenhang als Komplikation gewertet wurden, wenn sie in Form eines erhöhten postoperativen Analgetikabedarfs im Arztbrief bei Entlassung Erwähnung fanden oder im weiteren Verlauf durch die Patientinnen oder Patienten bei Nachkontrollen beklagt wurden.

In einer weiteren Analyse wurden die Komplikationen „protrahierte Schwellung“ und „Schmerzen“ nicht berücksichtigt. Nach dieser Modifikation waren noch 9,8 % aller Kinder von mindestens einer Komplikation betroffen. In der zweifach versorgten Gruppe konnten Komplikationen bei 14,0 % der Patientinnen und Patienten registriert werden, in der einfach therapierten Gruppe bei 7,6 %.

Dennoch fand sich kein signifikanter Unterschied im Auftreten von Komplikationen zwischen den beiden Therapieregimen ($\chi^2(2, N=122) = 1,27, p = 0,530$).

Die dritthäufigste Komplikation stellten Sensibilitätsstörungen dar. Im Gegensatz zu den beiden erstgenannten Komplikationsereignissen waren diese in der Gruppe der zusätzlich mit ESIN versorgten Kinder mit 4,7 % aller so operierten Patientinnen und Patienten etwas häufiger als in der einfach versorgten Gruppe (3,8 % der 79 Kinder) zu beobachten. Die Sensibilitätsstörungen betrafen dabei in vier Fällen den Bereich der ersten drei Finger, in einem Fall waren durch eine Läsion des Nervus ulnaris die Finger IV und V betroffen. In einem Fall konnte der Verlauf der Sensibilitätsstörung nicht weiterverfolgt werden. Bei zwei der Patienten mit Sensibilitätsstörungen der radialen

Handseite zeigten sich diese im Verlauf vollständig reversibel. Bei einem Patienten wurde auch noch nach der Entfernung des Osteosynthesematerials über ein kleines Areal an der Außenseite des Daumens berichtet, in dem Parästhesien beklagt wurden. Eine weitere Vorstellung aufgrund dieser Beschwerden erfolgte im Verlauf jedoch nicht mehr. Bei einem fünfjährigen Mädchen kam es neben der Unterarmfraktur zu einer suprakondylären Humerusfraktur. Postoperativ beklagte die Patientin am frakturierten Arm ein Beugedefizit und Dysästhesien der Finger IV und V. Ein genauer präoperativer sensomotorischer Status war bei dieser Patientin nicht zu erheben. In der Elektromyographie und Sonografie zeigten sich Hinweise auf eine Läsion des *Nervus ulnaris* im *Sulcus nervi ulnaris* sowie eine fragliche Läsion des *Nervus medianus*. In den Verlaufskontrollen konnte eine deutliche Befundbesserung mit Wiedererlangung des normalen Bewegungsumfanges festgestellt werden. In der letzten einsehbaren Dokumentation wurde lediglich eine Hypästhesie im Bereich des fünften Fingers festgehalten.

In zwei Fällen wurde in der Akte eine Bewegungseinschränkung dokumentiert. In einem Fall betraf diese die bereits beschriebene Verletzung mit Läsion von *Nervus ulnaris* und *Nervus medianus*. Bei einem 13-jährigen Jungen wurde postoperativ über eine Streckhemmung im Daumenendglied berichtet. Es bestand der Verdacht einer Ruptur der Sehne des *Musculus extensor pollicis longus* (EPL-Sehne). Der Patient wurde zur weiteren Abklärung in der handchirurgischen Sprechstunde vorgestellt. Hierzu waren jedoch keine Aufzeichnungen einzusehen.

Bei zwei Patienten im Alter von acht und 14 Jahren kam es zu einer Hautperforation durch das eingebrachte Osteosynthesematerial. Hierbei erfolgte die Läsion bei einem Patienten durch einen Kirschner-Draht, in einem anderen Fall durch den ulnar eingebrachten Nagel. In einem Fall wurden die Kirschner-Drähte vorzeitig entfernt, der andere Patient erhielt eine orale antibiotische Therapie und Verbände mit antiseptischer Creme. Die Metallentfernung erfolgte später im Verlauf.

Bei zwei anderen Kindern kam es zur Bildung einer hypertrophen Narbe im Bereich der Einbringstellen des Osteosynthesematerials. Ein elfjähriger Junge war bereits bei vorherigen Verletzungen von hypertropher Narbenbildung betroffen. Eine angebotene Silikonpflaster-Therapie bei Fortschreiten der Narbenbildung wurde nicht in Anspruch genommen. Bei einem siebenjährigen Mädchen erfolgte die Exzision der hypertrophen Narbe im Rahmen der Entfernung des Osteosynthesematerials.

In einem Fall zeigte sich bei einer neunjährigen Patientin etwa vier Wochen nach der Osteosynthese eine Infektion an der Einbringstelle der Kirschner-Drähte. In der mikrobiologischen Untersuchung ließ sich *Staphylococcus aureus* nachweisen. Neben der Entfernung des Osteosynthesematerials wurde die Infektion erfolgreich mittels intravenöser antibiotischer Therapie behandelt.

Bei einem 14-jährigen Jungen zeigte sich in der postoperativen Stellungskontrolle eine sekundäre Dislokation der Fraktur nach Osteosynthese mit Kirschner-Drähten ohne ESIN. In diesem Fall erfolgte eine Gipskeilung mit anschließender Verbesserung der Frakturstellung.

Ein elfjähriger Patient war von einer Dislokation des eingebrachten Osteosynthesematerials betroffen. Die eingebrachten Kirschner-Drähte waren im Verlauf der Behandlung nach distal disloziert. Es erfolgte eine frühzeitige Entfernung des Osteosynthesematerials mit anschließender Ruhigstellung in einem Gipsverband.

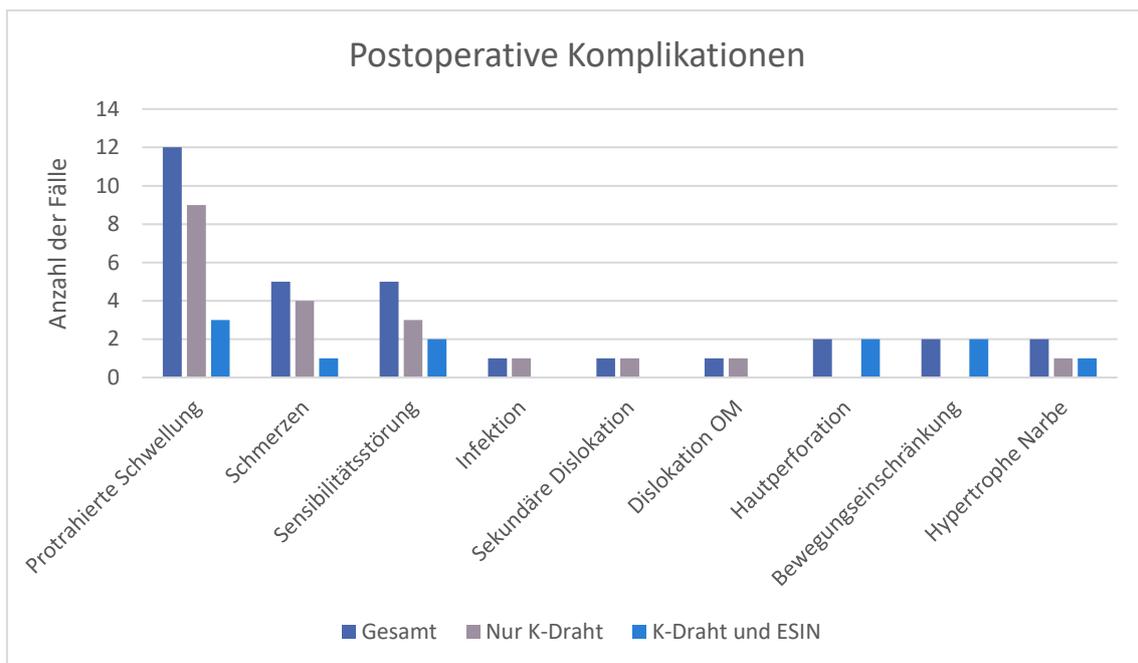


Abbildung 27: Darstellung postoperativer Komplikationen und ihrer Häufigkeitsverteilung in Abhängigkeit von der angewendeten Osteosynthesetechnik, OM: Osteosynthesematerial

3.4 Therapieerfolg

Zur Beurteilung des Therapieerfolges wurden, neben der Berücksichtigung postoperativer Komplikationen, die Achsabweichung und Dislokation in den Röntgenaufnahmen nach Entfernung des Osteosynthesematerials als geplanten

Endpunkt der chirurgischen Frakturtherapie untersucht. Die Ergebnisse werden im folgenden Abschnitt dargestellt.

3.4.1 Dislokation nach Entfernung des Osteosynthesematerials

Bei 111 von 122 Kindern konnten Daten zum Ausmaß der Dislokation nach Entfernung des Osteosynthesematerials erhoben werden. Hierfür wurde die Röntgenaufnahme direkt nach der Metallentfernung herangezogen. Bei 73 von 111 Kindern (65,8 %) konnte keine Dislokation mehr festgestellt werden. Wie in Abbildung 28 dargestellt, zeigte sich in 34 Fällen (30,6 %) noch eine Seitverschiebung um Kortikalisbreite, in jeweils zwei Fällen (je 1,8 %) ergab sich nach der Metallentfernung noch eine Dislokation um doppelte Kortikalisbreite bzw. halbe Schaftbreite.

In der Subgruppenanalyse stellte sich bei 47 von 69 Kindern (68,1 %) der einfach osteosynthetisch versorgten Gruppe keine Dislokation mehr dar, bei 28,9 % bestand eine Verschiebung um Kortikalisbreite und bei zwei von 69 Kindern (1,8 %) um doppelte Kortikalisbreite. In der Vergleichsgruppe der kombiniert osteosynthetisch versorgten Patientinnen und Patienten war bei 26 von 42 Kindern (61,9 %) keine Dislokation mehr zu verzeichnen. Bei 14 Patientinnen und Patienten (33,3 %) fand sich eine Verschiebung um Kortikalisbreite. In zwei Fällen bestand auch nach Entfernung des Osteosynthesematerials noch eine Seitverschiebung um eine halbe Schaftbreite.

Damit ergab sich in der Gruppe der doppelt osteosynthetisch versorgten Kinder ein etwas geringerer Anteil ohne Dislokation in der Röntgenaufnahme bei Abschluss der Behandlung mit leichter Verschiebung des Dislokationsausmaßes hin zu Seitverschiebungen um Kortikalisbreite. In zwei Fällen zeigte sich noch eine ausgeprägte Dislokation um eine halbe Schaftbreite. In diesen Fällen bestanden schon zum Zeitpunkt der initialen Frakturversorgung Schwierigkeiten bei der Stabilisierung der Verletzung.

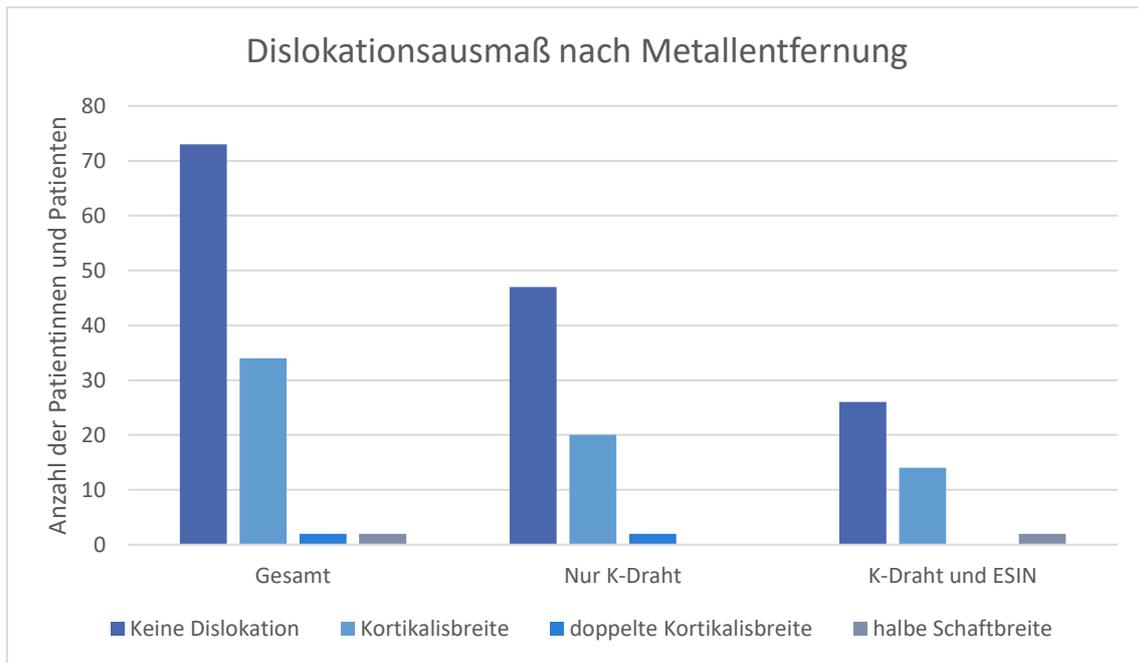


Abbildung 28: Darstellung des Dislokationsausmaßes in der Röntgenaufnahme nach Entfernung des Osteosynthesematerials

3.4.2 Achsabweichung nach Entfernung des Osteosynthesematerials

Die Achsabweichung in der Röntgenaufnahme nach der Metallentfernung konnte bei 111 von 122 Patientinnen und Patienten ermittelt werden.

Hierbei ergab sich in den Röntgenaufnahmen nach Entfernung des Osteosynthesematerials bei rechtsschiefer Datenverteilung im Median eine Achsabweichung von 0 Grad. Bei Patientinnen und Patienten, die nur mittels Kirschner-Drähten versorgt wurden, bestätigte sich der Median dieser Achsabweichung von 0 Grad. Bei Kindern, die eine kombinierte Osteosynthese erhalten hatten, konnte eine Achsabweichung von im Median 3,0 Grad ermittelt werden (siehe Abbildung 29).

Die Achsabweichung nach Abschluss der osteosynthetischen Therapie zeigte keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen ($p = 0,252$)

Eine weitere Analyse der Achsabweichung nach Therapieabschluss erfolgte gruppiert in Achsdeviationen bis 10 Grad und über 10 Grad. In der einfach versorgten Gruppe wurde bei 63 von 69 Kindern (91,3 %) zum Ende der Therapie eine Abweichung von weniger als 10 Grad erreicht. In der doppelt versorgten Gruppe gelang dies bei 37 von 42 Kindern (88,1 %). Achsabweichungen über 15 Grad wurden zum Abschluss der Therapie lediglich bei insgesamt vier Patientinnen und Patienten beobachtet. Davon stammten zwei im Alter von 14 und zehn Jahren aus der ESIN-Gruppe und zeigten eine

Abweichung von 18 und 25 Grad. Die übrigen zwei Kinder im Alter von sieben Jahren entstammten der einfach versorgten Therapiegruppe und zeigten Achsabweichungen von 17 und 30 Grad. Zwischen den beiden Osteosynthesegruppen bestand kein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Fallzahlen mit Achsabweichungen unter oder über 10 Grad ($\chi^2(1, N=111) = 0,301, p = 0,583$).

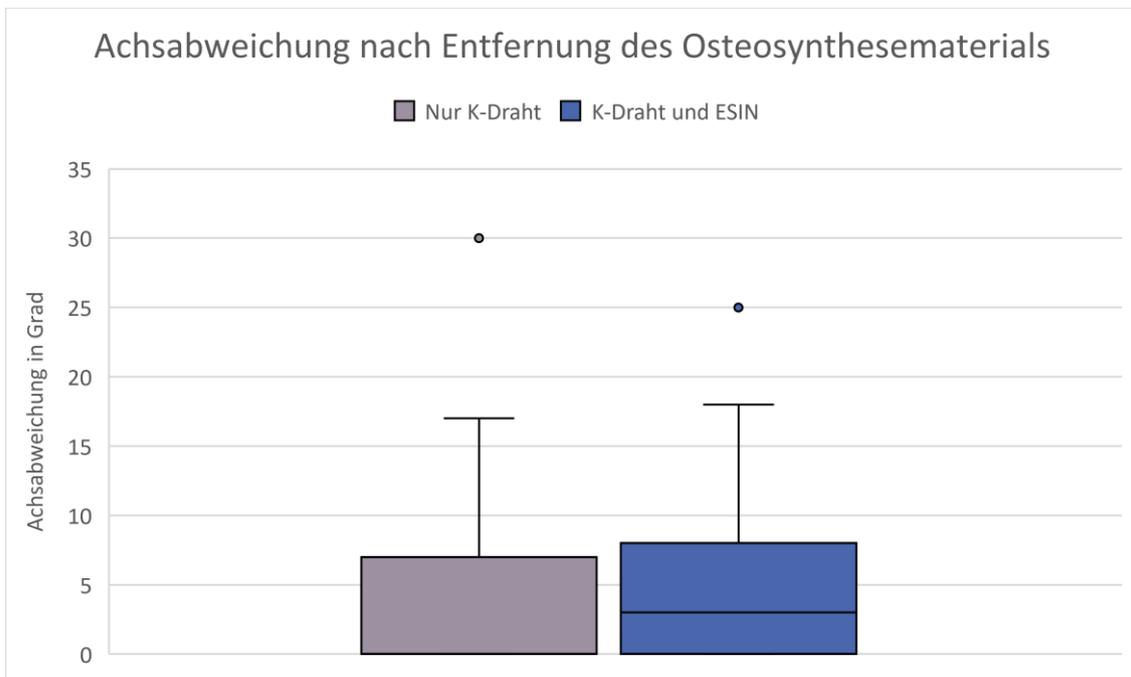


Abbildung 29: Boxplots zur Darstellung der Achsabweichung im Röntgenbild nach Entfernung des Osteosynthesematerials

3.4.3 Differenz der Achsabweichung vor Osteosynthese und nach Entfernung des Materials

Für die Betrachtung der Differenz der Achsabweichung (siehe Abbildung 30) wurde der Unterschied zwischen der Achsabweichung in der Röntgenaufnahme vor osteosynthetischer Versorgung und der Aufnahme nach Metallentfernung ermittelt. Dies war in 87 von 122 Fällen möglich.

Hierbei zeigte sich im Durchschnitt eine Verbesserung der Achsfehlstellung um 19,4 Grad ($SD = 12,6$) bis zum Zeitpunkt der Metallentfernung. In der Subgruppenanalyse fiel die Differenz der Achsfehlstellung in der Gruppe der einfach osteosynthetisch versorgten Kinder mit durchschnittlich 20,83 Grad ($SD = 11,6$) etwas größer aus als in der Vergleichsgruppe der doppelt versorgten Patientinnen und Patienten. Hier betrug die Achsdifferenz durchschnittlich 17,4 Grad ($SD = 13,9$).

Insgesamt zeigte sich jedoch kein signifikanter Unterschied in der Differenz der Achsabweichung zwischen den beiden verglichenen Therapiegruppen ($t(85) = 1,25, p=0,215$).

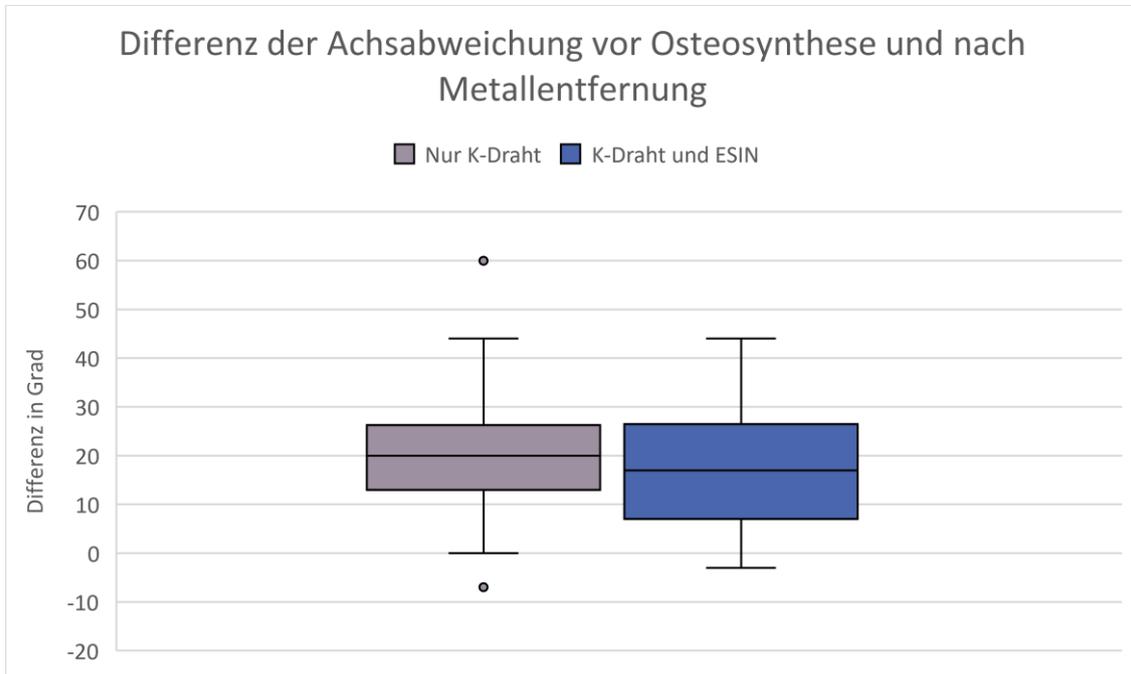


Abbildung 30: Darstellung der Differenz der Achsabweichung vor Osteosynthese und nach Entfernung des Osteosynthesematerials

4 Diskussion

Die vorliegende Arbeit hat zum Ziel, zwei unterschiedliche Strategien der operativen Versorgung kindlicher Unterarmfrakturen hinsichtlich ihres Therapieerfolges und auftretender Komplikationen zu untersuchen. Hierfür wurde ein Studienkollektiv untersucht, das sich in der Zusammensetzung weitgehend mit Kollektiven ähnlicher Untersuchungen deckt. Bei den analysierten Variablen fanden sich teils ähnliche Ergebnisse bei beiden untersuchten Therapiegruppen, in manchen Punkten jedoch auch signifikante Unterschiede.

4.1 Epidemiologie des Untersuchungskollektivs

Zunächst wurde die Geschlechterverteilung innerhalb des vorliegenden Studienkollektivs analysiert. Hierbei fiel sowohl in der Gesamtbetrachtung als auch in der Subgruppenanalyse der beiden Therapiegruppen eine deutliche Knabenwendigkeit bei insgesamt ähnlicher Geschlechterverteilung in beiden Therapiegruppen auf. Jungen waren mit einem Anteil von knapp 75 % damit fast im Verhältnis drei zu eins häufiger von Frakturen betroffen. Diese Beobachtung deckt sich mit den Ergebnissen anderer Studien mit ähnlichen Untersuchungszielen und Studienkollektiven. Die anderen Arbeiten weisen eine Dominanz des männlichen Geschlechts mit einem Anteil von 59 % bis 67 % auf, während in der hier vorliegenden Studienpopulation mit einem Anteil von 75 % eine noch ausgeprägtere Überzahl männlicher Kinder zu beobachten ist [1, 7, 27, 35, 36, 42].

Ein Geschlechterverhältnis von drei zu eins findet sich in einer anderen Untersuchung erst mit Beginn der Pubertät und nicht bereits im Gesamtkollektiv [27]. Die in allen Untersuchungen vorherrschende, ungleiche Geschlechterverteilung führen Saß *et al.* sowie Hedström *et al.* auf eine höhere Risikoaffinität bei Jungen und eine ebenfalls hiermit assoziierte, verletzungsreichere Freizeitgestaltung zurück [5, 43].

Die geschlechtsabhängige Altersverteilung des in dieser Arbeit untersuchten Kollektivs mit einem Altersgipfel der weiblichen Kinder um das elfte bis zwölfte Lebensjahr bzw. das 13. bis 14. Lebensjahr bei Jungen bestätigt Beobachtungen aus anderen Studien [5, 7, 30, 44].

Der Anstieg von Frakturen ab dem Schulkindalter zeigte sich auch in der Untersuchung von Höfer *et al.* [7], in der für Jungen ebenfalls ein Altersgipfel im elften Lebensjahr zu

beobachten war. Bei Mädchen zeigte sich dort mit einem Gipfel bei 9,4 Jahren ein etwas höheres Durchschnittsalter als bei weiblichen Kindern in der hier vorliegenden Population.

Dies ist möglicherweise durch das deutlich größere Studienkollektiv bei Höfer *et al.* erklärbar. Hedström *et al.* [5] sowie Kosuge und Barry [45] erklären die geschlechtsabhängige Differenz des Durchschnittsalters durch den unterschiedlichen Pubertätsbeginn, der im Rahmen einer Diskrepanz zwischen Längenwachstum und Knochenmineralisierung zu einer gesteigerten Frakturanfälligkeit führe, welche gerade in diesem Altersabschnitt zusätzlich durch sturzgefährdende Freizeitaktivitäten vermehrt zum Tragen kommt [46].

Bei der Betrachtung der jahreszeitlichen Verteilung zeigte sich eine Häufung der Fallzahlen in den Frühjahrs- und Sommermonaten mit den höchsten Zahlen in den Monaten Juli, April und Juni. Nach einer Abnahme der Fälle ab dem Frühherbst wurden die niedrigsten Fallzahlen dann in den Wintermonaten beobachtet. Diese Verteilung ergab sich bereits bei anderen Studien, die sich mit kindlichen Frakturen beschäftigen und dabei auch deren Saisonalität untersuchten. Sie wird von den Autoren ebenfalls in Zusammenhang mit dem verletzungsreicheren Freizeitverhalten in den Frühjahrs- und Sommermonaten gebracht [5, 7, 11, 47, 48]. Die etwas niedrigeren Zahlen im Sommermonat August zeigten sich ebenfalls in der Arbeit von Höfer *et al.* [7] und fielen dort besonders bei Schulkindern im Alter von acht bis elf Jahren auf. Diese Beobachtung könnte im hier untersuchten Kollektiv in Zusammenhang mit den Sommerferien in Bayern und Baden-Württemberg stehen, die üblicherweise auf diesen Monat entfallen. Damit fallen schulische Aktivitäten als Unfallursache aus und es kommt möglicherweise durch Urlaubsreisen zu einer Verlagerung der Unfälle in die jeweils gewählte Urlaubsregion. Kinder, die sich dort verletzten und für die Osteosynthese der Fraktur nicht im UKW vorstellig wurden, waren nicht in das untersuchte Kollektiv eingeschlossen worden.

Mit einem Anteil von 61,5 % zeigte sich bei der Mehrzahl der Kinder im vorliegenden Studienkollektiv eine Fraktur des linken Unterarms. Der rechte Arm war nur in etwas mehr als einem Drittel der Fälle verletzt. Bei 3,3 % der Patientinnen und Patienten lag beidseits eine distale Unterarmfraktur vor. Großmann und Barthlen [27] beschreiben ebenfalls eine Dominanz linksseitiger Unterarmfrakturen. Sowohl Pannu und Herman [49] als auch Colaris *et al.* [35] untersuchten nicht die Körperseite, sondern differenzierten nach dominanter und nicht-dominanter Extremität. Hierbei zeigten sich

distale Unterarmfrakturen überwiegend am nicht-dominanten Arm der Kinder [35, 49]. Bei einer Prävalenz von 9 bis 12 % für Linkshändigkeit, wie sie Hassan [50] beschreibt, kann auch für diese beiden Studien angenommen werden, dass überwiegend die linke Körperseite frakturiert ist. Diese Datenlage wird in der Studie von Hassan bestätigt, in der zudem als Ursache für die überwiegende Verletzung der nicht-dominanten Extremität der Unfallmechanismus diskutiert wird. Dabei geht der Autor davon aus, dass die dominante Hand während des Unfalls eher noch zum Festhalten genutzt wird und somit nur die nicht-dominante Hand für eine Abstützbewegung frei bleibt. [50] Diese Erklärung erscheint plausibel, wenngleich sie auf Freizeitaktivitäten wie Snowboarden, Inlineskating und Skateboarding kaum Anwendung finden kann, da dort üblicherweise beide Hände frei bleiben und zum Abfangen des Sturzes genutzt werden könnten. Für die Bestätigung dieser These wäre daher eine weitere Untersuchung notwendig, die die Dominanz der Hand und den Zusammenhang mit verschiedenen Unfallmechanismen genauer untersucht. Im vorliegenden Kollektiv zeigte sich bei der Selektion einer Subgruppe von 18 Kindern, die sich beim Skateboarding, Snowboarden oder dem Inlineskating eine Unterarmfraktur zuzog, weiterhin eine Dominanz der linken Hand (55,6 % der Fälle), die allerdings geringer als im Gesamtkollektiv ausfiel. Da bei diesen Aktivitäten üblicherweise beide Hände frei bleiben und damit auch die dominante Hand für eine Abstützbewegung zur Verfügung stünde, wäre ein ausgeglichenes Seitenverhältnis zu erwarten. Insgesamt liegt die Verteilung jedoch auch recht nah an einer hälftigen und damit zufälligen Verteilung der betroffenen Körperseite, was die von Hassan [50] beschriebene Erklärung für die Seitenverteilung indirekt stützen würde. Die Interpretation dieser Beobachtungen gestaltet sich jedoch schwierig, da im vorliegenden Patientenkollektiv nicht die dominante Extremität ermittelt werden konnte und es sich um eine sehr kleine Stichprobe handelt.

Im hier vorliegenden Studienkollektiv ereigneten sich die meisten Frakturen bei Stürzen aus weniger als 2 m Höhe, beim Fußballspiel oder im Rahmen von Radstürzen. Weitere häufige Unfallursachen stellten Stürze aus Höhen von über 2 m sowie Unfälle beim Fußballspiel, Skateboarding oder der Nutzung von Inlinern dar. Insgesamt resultierte die Unterarmfraktur in mindestens 45,1 % der Fälle aus sportlicher Aktivität.

Zu einem Unfall in einem Kindergarten, der Schule oder auf dem Weg dorthin kam es in knapp 20 % der Fälle.

Die vorliegenden Ergebnisse werden ähnlich auch in anderen Studienkollektiven beschrieben. Sowohl Kraus, Schneidmüller *et al.*, Hedström *et al.* als auch Brudvik und Hove kommen zu dem Ergebnis, dass sportliche Aktivitäten, insbesondere das

Fußballspiel, die häufigste Ursache für distale Unterarmfrakturen im Kindesalter sind [1, 5, 11, 44]. Der Anteil von Schulunfällen lag in den Studien zwischen 8 % [11] und 17 bis 26 % [1, 43].

Der Vergleich der einzelnen Unfallursachen zu anderen Studienkollektiven ist jedoch nicht uneingeschränkt möglich, da die Kategorisierung in den verschiedenen Untersuchungen jeweils anders erfolgte. Im vorliegenden Kollektiv wurde die Unfallursache zudem lediglich anhand der Dokumentation in der Krankenakte ermittelt. Abhängig vom Umfang dieser Dokumentation konnte manchen Kindern eine recht genaue Unfallursache zugeordnet werden, während bei anderen Patientinnen und Patienten lediglich ein Sturz als Unfallmechanismus festgehalten wurde, ohne dass der Akte weitere Angaben zu den weiteren Umständen des Unfalls entnommen werden konnten.

Neben der Unfallursache wurde im Hinblick auf den Unfallmechanismus auch die Konfiguration der Fraktur in der bildgebenden Diagnostik vor Durchführung der Osteosynthese untersucht.

In 72,1 % der Fälle zeigte sich dabei eine Dislokation des distalen Frakturfragmentes nach dorsal, wie dies bei einer Extensionsfraktur zu erwarten ist [12]. In weniger als 15 % der Fälle konnte anhand des Röntgenbildes auf eine Flexionsfraktur geschlossen werden. Dieses Ergebnis ist im Hinblick auf die übliche radiologische Präsentation distaler Unterarmfrakturen nicht überraschend, da Extensionsfrakturen sowohl im Kindes- als auch im Erwachsenenalter die häufigste Form distaler Unterarmfrakturen darstellen [4, 12].

Bei der Betrachtung der Frakturlokalisierung zeigte sich in den meisten Fällen eine Verletzung im Bereich der Metaphyse, gefolgt von Frakturen des diametaphysären Überganges. Seltener kam es zu einer Verletzung im Bereich der Epiphyse. Dieses Verteilungsmuster deckt sich mit den Beobachtungen anderer Arbeiten. So beschreiben sowohl Kraus *et al.* [44] als auch Großmann und Barthlen [27] in der überwiegenden Zahl metaphysäre Frakturen. Sofern Frakturen des diametaphysären Übergangs explizit von der Metaphyse abgegrenzt werden, erfolgt die Zuordnung zur Metaphyse bzw. Diaphyse nicht einheitlich [44]. Im vorliegenden Kollektiv wurden sie in Bezug auf den Studieneinschluss der Metaphyse zugeordnet, aber als Lokalisation in der späteren Auswertung explizit differenziert davon erfasst. Sie waren häufiger in der Gruppe der doppelt osteosynthetisch versorgten Kinder zu finden, was mit der guten Erreichbarkeit des diametaphysären Übergangs durch ESIN-Verfahren erklärt werden kann [8, 42].

Der Anteil epiphysärer Frakturen von 14,8 % im vorliegenden Patientenkollektiv wird mit einem Anteil von 14,1 % von McQuinn und Jaarsma [38] in deren Untersuchungsgruppe sehr ähnlich beschrieben. Dort traten ausschließlich Aitken-I-Frakturen auf. Ein deutlich niedrigerer Anteil dieser Lokalisation findet sich mit 2,3 % in der Studie von Hassan [50]. Allerdings ist zu beachten, dass in diesem Studienkollektiv das Durchschnittsalter deutlich niedriger lag als bei der hier vorliegenden Untersuchung. Der deutlich niedrigere Anteil epiphysärer Lokalisationen ist hierdurch gut erklärbar, da die Epiphyse besonders bei Kindern ab dem neunten Lebensjahr im Zuge des beginnenden Verschlusses von Frakturen betroffen ist [44]. Diese Gruppe dürfte in Anbetracht des niedrigeren Durchschnittsalters bei Hassan unterrepräsentiert sein. In der Untersuchung von Liu *et al.* [51], in der in einem Kollektiv aus Kindern im Alter von acht bis 14 Jahren nun bei knapp der Hälfte der Patientinnen und Patienten eine Fraktur im Bereich der Epiphyse zu finden war, bestätigt die Beobachtung und Erklärung von Kraus *et al.* [44]. Auch in der Studie von Liu *et al.* kam es ausschließlich zu Aitken-0- und Aitken-I-Frakturen [51].

Zur weiteren Differenzierung der Frakturmorphologie wurde untersucht, in welchen Fällen offene oder geschlossene Frakturen vorlagen. Insgesamt präsentierte sich die Mehrzahl der Patientinnen und Patienten mit geschlossenen Verletzungen. Offene Frakturen machten im vorliegenden Studienkollektiv lediglich etwa 10 % der Fälle aus. Allerdings fällt auf, dass sich diese Verteilung nicht in beiden Therapiegruppen zeigte. In der Gruppe der einfach osteosynthetisch versorgten Kinder fiel der Anteil offener Frakturen mit 5 % deutlich niedriger aus als mit 18,6 % in der ESIN-Gruppe. Die Klassifizierung erfolgte nach Gustilo und Anderson [14]. Es zeigten sich ausschließlich offene Frakturen des Grad I. Die höhere Rate offener Frakturen in der Gruppe kombiniert osteosynthetisch versorgter Kinder kommt möglicherweise zustande, indem die Entscheidung einer kombinierten Osteosynthese eher für kompliziertere Frakturen getroffen wurde. Mit einem Anteil von 3,3 % beschreiben Großmann und Barthlen eine niedrigere Häufigkeit offener Frakturen, jedoch ebenfalls die Häufung erstgradiger Verletzungen [27]. Im Studienkollektiv von Elabd *et al.* hingegen zeigt sich ebenfalls ein Anteil von etwa 10 % offener Frakturen, dort auch mit nahezu ausschließlich erstgradigen Läsionen [52].

Neben der Lokalisation der Fraktur wurde aus den vorliegenden Röntgenaufnahmen und radiologischen Befundberichten auch das Dislokationsausmaß und die Achsabweichung der Frakturen ermittelt. Dies war nicht bei allen Patientinnen und Patienten möglich, da zum Teil keine Einsicht in die präoperativen Röntgenbilder möglich war. Durch

Primärvorstellung der Patienten in externen Kliniken und die anschließende Zuweisung zur Behandlung in das UKW konnten die mitgebrachten Aufnahmen nicht in allen Fällen eingesehen werden.

In den auswertbaren radiologischen Aufnahmen und Befunden zeigte das Dislokationsausmaß dabei meist die Ausprägung einer Dislokation um eine halbe Schaftbreite beziehungsweise um eine Schaftbreite. In der Gruppe der doppelt osteosynthetisch versorgten Kinder verschob sich das Dislokationsausmaß hin zu Dislokationen um Schaftbreite.

Das Ausmaß der Seitverschiebung wurde von McQuinn und Jaarsma [38] in Prozentwerten ermittelt. Im Vergleich zum hier vorliegenden Kollektiv fanden sich bei diesen Autoren mehr Fälle mit Dislokationen um weniger als ein Viertel der Schaftbreite sowie um mehr als Schaftbreite. Seitverschiebungen um etwa die Hälfte des Schaftdurchmessers machten sowohl in dem hier untersuchten Kollektiv als auch bei McQuinn und Jaarsma einen Anteil von 30 bis 35 % aus. [38]

Mit einer Achsabweichung von etwa 23,5 Grad in der einfach versorgten und 22,0 Grad in der kombiniert versorgten Therapiegruppe zeigte sich für diese Variable kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden untersuchten Osteosynthesetechniken. Die Ausprägung der Achsfehlstellung ähnelt den Ergebnissen anderer Studien. So beschreiben Ramoutar *et al.* [53] präoperative Achsabweichungen von etwa 24 Grad, Liu *et al.* [51] Achsabweichungen zwischen 13 und 24 Grad. McQuinn und Jaarsma [38] berichten von Abweichungen um 9 bis etwa 28 Grad.

In die Untersuchung von Begleitverletzungen abseits der Fraktur wurden Weichteilschäden des Unterarms sowie Verletzungen an anderen Körperteilen mit einbezogen.

Hierbei zeigte sich bei 62,3 % der Kinder keine weitere Verletzung. Die Rate an Begleitverletzungen unterschied sich jedoch zwischen den beiden untersuchten Therapiegruppen. Kinder der einfach osteosynthetisch versorgten Gruppe erlitten in etwa 33 % der Fälle eine Begleitverletzung, während dies in der kombiniert therapierten Gruppe bei etwa 46 % der Fall war.

Als häufigste Verletzung neben der eigentlichen Fraktur fand sich bei 18 % der Kinder ein Weichteilschaden. Die Klassifikation erfolgte nach Oestern und Tscherne [17]. Am häufigsten zeigte sich ein Weichteilschaden Grad II, gefolgt von Weichteilschäden ersten Grades. Auch hier zeigte sich eine Differenz zwischen den beiden Subgruppen. Kinder, die lediglich mit Kirschner-Drähten versorgt wurden, waren in 7,6 % der Fälle zusätzlich

von einer Verletzung der umgebenden Weichteile betroffen. Fast fünfmal so häufig trat dieses Ereignis bei Patientinnen und Patienten der kombiniert versorgten Gruppe auf. Dies ist möglicherweise durch die in der doppelt therapierten Gruppe tendenziell ausgeprägtere Dislokation erklärbar.

Weitere häufige Begleitverletzungen stellten Sensibilitätsstörungen der Hand in knapp 10 % der Fälle und Schürfwunden bei etwa 8 % der Kinder dar. Seltener fanden sich Frakturen anderer Knochen, eine begleitende Schädelprellung, Quetsch-Risswunden, Abdominal- oder Polytraumata. In der Studie von Großmann [11] wurden Begleitverletzungen bei etwa 15 % der Kinder registriert, wobei Frakturen anderer Lokalisation etwas häufiger und Schürfwunden etwas seltener zu finden waren als im hier vorliegenden Kollektiv. Präoperativ vorliegende Sensibilitätsstörungen wurden dort nicht berichtet, ebenso erfolgte die Erfassung von Weichteilschäden nur für offene Frakturen [11]. Diese Tatsache erklärt möglicherweise die Differenz in der Häufigkeit weiterer Verletzungen, da Weichteilschäden im vorliegenden Kollektiv einen Großteil der Begleitverletzungen darstellten.

Im hier untersuchten Studienkollektiv zeigte sich damit jedoch insgesamt bei der Betrachtung der epidemiologischen Daten eine deutliche Ähnlichkeit zu anderen Untersuchungen, die sich mit kindlichen Unterarmfrakturen befassen. Zwischen den beiden untersuchten Osteosynthesegruppen bestehen kleine Unterschiede in der Ausprägung der Frakturen, wobei unkomplizierte Frakturen eher in der einfach osteosynthetisch versorgten Gruppe zu finden sind.

4.2 Therapieregime

Von den 122 eingeschlossenen Patientinnen und Patienten wurden etwa 65 % durch eine Kirschner-Draht-Osteosynthese des Radius versorgt. Etwa 35 % der Kinder erhielten zusätzlich eine intramedulläre Nagelung der Ulna.

Bei der Durchsicht der Klinikakten und Überprüfung auf Ein- und Ausschlusskriterien fiel eine deutliche Veränderung des Therapieregimes im Untersuchungszeitraum von 2008 bis 2018 auf. Es zeigte sich ein Wandel vom konservativen Vorgehen mittels Gipstherapie hin zur operativen Frakturversorgung. Ab dem Jahr 2009 kam es zu einer stetigen Abnahme konservativ versorgter Fälle bei gleichzeitig steigender Zahl an Osteosynthesen. Diese Beobachtung wird in anderen Untersuchungen ebenfalls beschrieben [24, 51, 54]. In der Untersuchung von Helenius *et al.* [54] an einem finnischen Studienkollektiv zeigte sich ein Anstieg der Zahl operativer Eingriffe zur

Versorgung kindlicher Unterarmfrakturen um etwa 62 % [54]. Als Ursache für die steigende Anwendungshäufigkeit operativer Therapiestrategien wird von Illian *et al.* [24] besonders der operationstechnische Fortschritt bei Osteosynthesen und gleichzeitig abnehmende Erfahrung im Umgang mit konservativen Therapiemethoden genannt [24]. Kosuge und Barry [45] ziehen auch steigende gesellschaftliche Ansprüche an das Operationsergebnis, eine kürzere Verweildauer in der Klinik oder mögliche Schadensersatzforderungen bei Komplikationen oder bleibenden Fehlstellungen nach einer Gipstherapie als Ursachen in Erwägung [45]. Dennoch geben verschiedene Autoren auch zu bedenken, dass die Evidenz für eine Bevorzugung osteosynthetischer Therapiestrategien im Hinblick auf das Heilungsergebnis nicht im gleichen Maße wächst wie die Operationsrate distaler Unterarmfrakturen im Kindesalter [51, 54, 55].

Im Falle des hier vorliegenden Patientenkollektivs spiegelt der Wandel des Therapieregimes ebenfalls den beobachteten verbreiteten Trend hin zur operativen Versorgung wider. Allerdings beginnt diese Entwicklung am UKW im Vergleich zur Untersuchung von Helenius *et al.* [54] einige Jahre später. Möglicherweise wurde diese Trendwende hin zur operativen Versorgung auch durch eine personelle Neubesetzung in der Leitungsposition der kinderchirurgischen Abteilung des UKW im Jahr 2010 eingeleitet.

In anderen Patientenkollektiven wurden trotz international steigender Operationsrate auch weiterhin Anteile konservativ versorgter Patientinnen und Patienten von 55 % bis etwa 85 % berichtet [7, 27, 53]. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass diese Untersuchungen isolierte Radiusfrakturen miteingeschlossen hatten. In das hier vorliegende Patientenkollektiv wurden keine Kinder aufgenommen, die ausschließlich eine Fraktur des Radius erlitten hatten. Die erhöhte Anzahl operativer Eingriffe im Vergleich zu konservativen Behandlungsansätzen ist daher eventuell auf die Selektion von Frakturen beider Unterarmknochen und die damit verbundene erhöhte Instabilität zurückzuführen [35]. Dies könnte bei den behandelnden Ärztinnen und Ärzten eher zur Wahl einer operativen Therapie geführt haben. Zudem sollte bedacht werden, dass unkomplizierte Unterarmfrakturen womöglich zum Teil in peripheren Kliniken konservativ behandelt wurden und Kinder mit Frakturen, bei denen eine Operationsindikation besteht, eher in die kinderchirurgische Abteilung des UKW überwiesen wurden. Diese Vorselektion würde die hier erfassbare Operationsrate ebenfalls erhöhen.

Eine häufige Komplikation der konservativen Frakturtherapie stellt die sekundäre Dislokation dar. Diese Problematik zeigte sich bei 14,8 % der Kinder des

Studienkollektivs und führte in diesen Fällen zu einem Therapiewechsel mit anschließender operativer Versorgung. Mit steigender Zahl primär operativ versorgter Frakturen und gleichzeitiger Abnahme konservativ therapierter Verletzungen kam es im Verlauf der Untersuchungsperiode zu einer stetigen Abnahme von Kindern, bei denen ein Therapiewechsel nötig wurde. Gleichzeitig zeigte sich in der verbleibenden Gruppe konservativ versorgter Patientinnen und Patienten ein prozentualer Anstieg sekundärer Dislokationsereignisse. Aufgrund der starken Überzahl operativ versorgter Kinder sind die Zahlen zu sekundären Dislokationen in der vorliegenden Untersuchung allerdings schwer beurteilbar, da diese Komplikation durch die primäre Osteosynthese weitgehend vermieden wird und die für die Interpretation der Fallzahlen nötige Vergleichsgruppe erfolgreich konservativ versorgter Kinder mit der steigenden Operationsrate über die Jahre stets kleiner geworden ist. Der recht große prozentuale Wert der Dislokationsereignisse könnte daher durch die stetig verringerte Stichprobengröße konservativ versorgter Kinder verfälscht sein. Betrachtet man die ersten 5 Jahre des Untersuchungszeitraums im vorliegenden Kollektiv, so zeigt sich ein Anteil von etwa 5 bis 17 % initial konservativ versorgter Kinder mit nachfolgender Änderung des Therapieregimes. Großmann [11] und McLauchlan *et al.* [36] beschreiben sekundäre Dislokationen mit Notwendigkeit einer erneuten Reposition bei etwa 13 bis 21 % konservativ versorgter Kinder, wobei in diesen Fällen nicht zwangsläufig eine sekundäre Operation erfolgte. Haddad und Williams [34] berichten von lediglich 4,7 % an Kindern, die eine sekundäre Osteosynthese benötigten. Dieser niedrige Anteil könnte jedoch in Anbetracht der Publikation im Jahr 1995 auch auf eine damals noch restriktivere Indikationsstellung zur osteosynthetischen Versorgung bedingt sein, wie sie auch Helenius *et al.* [54] beschreiben. In der Untersuchung von Colaris *et al.* [35] zeigten etwa 45 % der Kinder bei konservativer Therapie eine sekundäre Dislokation, die wiederum bei der Hälfte erneut reponiert werden musste. Der Autor erklärt dies durch die Versorgung mittels Gipsschiene und einen Anteil kompletter distaler Unterarmfrakturen von etwa 50 %.

Die hier vorliegenden Zahlen weisen somit Parallelen zu den anderen genannten Untersuchungen auf, wobei ein Vergleich aufgrund der besonders in der zweiten Hälfte des Untersuchungszeitraums abnehmenden konservativ versorgten Patientinnen und Patienten nur eingeschränkt möglich ist.

Ganz zu Beginn des osteosynthetischen Therapieweges steht die eigentliche Operation. Im vorliegenden Studienkollektiv wurde hierbei die Operationsdauer in von Abhängigkeit der gewählten Osteosynthesetechnik untersucht. Betrachtet wurde dabei die Schnitt-

Naht-Zeit. In der Gruppe der doppelt osteosynthetisch versorgten Kinder zeigte sich eine mit im Median 31 Minuten hochsignifikant längere Operationsdauer. Die Kirschner-Draht-Osteosynthese benötigte nur etwa die Hälfte dieser Zeit. Dieses Ergebnis ist jedoch zu erwarten, da die Einbringung eines zweiten Osteosyntheseproduktes nach der Kirschner-Draht-Osteosynthese weiterer Arbeitsschritte und erneuter Bildwandlerkontrollen bedarf, während die operative Versorgung von Kindern aus der einfach therapierten Gruppe zu diesem Zeitpunkt bereits weitgehend abgeschlossen ist. In der Untersuchung von Cai [56] wird für die Spickdrahtosteosynthese metaphysärer und insbesondere diametaphysärer Radiusfrakturen eine Operationsdauer von durchschnittlich etwa 45 Minuten berichtet, während die dort durchgeführte Osteosynthese des Radius mittels ESIN mit durchschnittlich knapp 17 Minuten in dieser Studie deutlich schneller durchführbar war. Allerdings lässt sich nicht nachvollziehen, wie die Operationszeit gemessen wurde und welche Erfahrung bei den Operateuren in der Kirschner-Draht-Osteosynthese bestand. Die Autoren der Studie beschreiben diametaphysäre distale Radiusfrakturen als problematisch in der Fixierung durch Kirschner-Drähte [56]. Da der Fokus der Studie auf dieser Lokalisation lag, könnte dies den zeitlichen Vorteil der ESIN erklären. Mostafa *et al.* [57] beschreibt eine Operationsdauer von durchschnittlich 32 Minuten, die in einem Kollektiv erhoben wurde, das sowohl ante- oder retrograde Kirschner-Draht-Osteosynthesen des Radius erhielt, zum Teil mit zusätzlicher Kirschner-Draht-Osteosynthese der Ulna. Die Operationsdauer erklärt der Autor durch den zeitintensiveren anterograden Operationszugang und die teils zusätzlich erfolgte Fixierung der Ulna [57]. Die anterograde Zugangstechnik fand im hier vorliegenden Kollektiv am Radius keine Anwendung, wurde jedoch durch die deszendierende ESIN der Ulna in ähnlicher Technik durchgeführt. Damit lassen sich insgesamt in Bezug auf die Operationsdauer gute Parallelen zu Mostafa *et al.* [57] ziehen, wobei auch dort keine genaue Aussage über die Ermittlung der Operationsdauer gemacht wurde. Im hier vorliegenden Kollektiv wurden die Kinder entweder durch Fachärztinnen und -ärzte für Kinderchirurgie versorgt oder der Eingriff durch Assistenzärztinnen oder -ärzte in fortgeschrittener Weiterbildung unter Anleitung und Beaufsichtigung einer Fachärztin oder eines Facharztes durchgeführt. Daher dürfte die unterschiedliche Expertise und Erfahrung des jeweiligen Operateurs ebenfalls einen Einfluss auf die Dauer der Operation haben und zusätzlich neben der Individualität jeder Fraktur zur zeitlichen Streuung der erhobenen Operationszeiten beigetragen haben.

Nach der operativen Versorgung wurden die Patientinnen und Patienten stationär aufgenommen. In der Auswertung der Belegungstage als Maß der stationären

Aufenthaltsdauer der Kinder zeigte sich eine um einen Tag signifikant längere Verweildauer in der Gruppe kombiniert versorgter Patientinnen und Patienten. Diese Beobachtung könnte mit dem Verletzungsbild der Kinder in der kombiniert versorgten Gruppe zusammenhängen. Durch die dort höhere Rate an Begleitverletzungen, insbesondere Weichteilschäden, wurde die postoperative Überwachung möglicherweise länger notwendig als in der Gruppe der einfach osteosynthetisch versorgten Kinder. Im Gegensatz zu Kindern ohne Begleitverletzungen waren Patientinnen und Patienten mit weiteren Verletzungen im Median einen Tag länger hospitalisiert.

Mostafa *et al.* [57] beschreibt für Kinder mit Kirschner-Draht-Osteosynthese eine durchschnittliche Hospitalisierungsdauer von zwei Tagen. Großmann [27] berichtet für Patientinnen und Patienten nach primärer Osteosynthese einer distalen Unterarmfraktur von einer durchschnittlichen Krankenhausverweildauer von fünf Tagen, welche er jedoch für unangemessen lang hält. Saß *et al.* [43] ermittelte nach Unfällen im Kindesalter eine durchschnittliche stationäre Verweildauer von 3,8 Tagen, wobei hier keine Differenzierung hinsichtlich der Unfallfolgen oder Verletzungslokalisation vorgenommen wurde. Somit dürften hier auch schwerere Verletzungen miteingeschlossen worden sein, die einer längeren Behandlung bedurften und den Mittelwert somit nach oben bewegten. Insgesamt jedoch deckt sich die Hospitalisierungsdauer der Kinder in der hier vorliegenden Untersuchung in etwa mit anderen Studien des gleichen Verletzungsbildes aus dem untersuchten Zeitraum oder liegt deutlich darunter [11, 57].

Bei der Hospitalisierungsdauer für die Entfernung des Osteosynthesematerials ergaben sich ebenfalls subgruppenspezifische Unterschiede. In diese Auswertung konnten jedoch nur 110 von 122 Patientinnen und Patienten eingeschlossen werden, da in den übrigen Fällen keine Aufzeichnungen über weitere Aufenthalte im UKW vorlagen. Dies ist möglicherweise durch das große Einzugsgebiet der Klinik bedingt, in dem sich Kinder für diesen recht unkomplizierten Eingriff eventuell auch in einem peripheren Krankenhaus vorstellten oder bei initialer Präsentation im UKW ohnehin nur zu Besuch in der Gegend waren und von Beginn an keine Rückkehr für die Metallentfernung geplant war.

Der Eingriff erfolgte bei 94,1 % der einfach versorgten Kinder ohne erneute stationäre Aufnahme, in den übrigen Fällen betrug der stationäre Aufenthalt in der Regel eine Nacht. Patientinnen und Patienten, die kombiniert osteosynthetisch therapiert wurden, erhielten grundsätzlich keine ambulante Materialentfernung, sondern wurden geplant stets für eine Nacht zur stationären Observatio aufgenommen. In der Arbeit von Großmann [11] erfolgte die Entfernung des Osteosynthesematerials bei etwa 87 % der

Kinder mit stationärem Aufenthalt für den Eingriff und einer durchschnittlichen Hospitalisierungsdauer von 3,9 Tagen, für die der Autor geografische Gegebenheiten mit langen Anfahrtszeiten bei auftretenden Komplikationen und ökonomische Entscheidungen für eine stationäre Aufnahme als mögliche Ursachen nennt. Mehrere Autoren sprechen sich für eine ambulante oder allenfalls tagesklinische Entfernung der Kirschner-Drähte aus, insbesondere im Falle einer Kürzung über dem Hautniveau [58, 59]. Im hier vorliegenden Kollektiv konnte eine ambulante Entfernung in der Großzahl der Fälle erfolgen, sofern keine begleitende ESIN der Ulna vorgenommen worden war. In der Untersuchung von Lieber *et al.* [60] wurden lediglich 31 % der Patientinnen und Patienten nach Entfernung einer ESIN für eine Nacht stationär aufgenommen. Die Aufnahme erfolgte in der Regel aufgrund von Vorerkrankungen oder zur postoperativen Überwachung aufgrund anderer Eingriffe, die in derselben Narkose durchgeführt wurden. Damit ist die Strategie des UKW, Kinder nach Entfernung einer ESIN standardmäßig für eine Nacht aufzunehmen, kritisch zu reevaluieren. Eventuell kann an dieser Stelle die Anpassung zu einem differenzierteren Vorgehen in Abhängigkeit von Komorbiditäten und Erreichbarkeit der Klinik im Fall von Komplikationen erfolgen, um einen Teil der Kinder tagesklinisch anstelle eines Aufenthaltes über Nacht versorgen zu können.

Das Osteosynthesematerial wurde, abhängig von der Versorgungsstrategie, nach etwa 56 in der einfach versorgten beziehungsweise 81 Tagen in der kombiniert operierten Gruppe entfernt. Das Ergebnis der Kinder, die lediglich am Radius osteosynthetisch versorgt wurden, liegt damit zwischen den Zeitintervallen zwischen Osteosynthese und Metallentfernung, die Mostafa *et al.* [57] und Ramoutar *et al.* [53] beschreiben. In den Kollektiven dieser Autoren wurden die Kirschner-Drähte nach durchschnittlich 29 bis 69 Tagen entfernt. Bei Mostafa *et al.* [57] und Großmann [11] erhielt ein nicht näher beschriebener Anteil der Kinder neben einer Kirschner-Draht-Osteosynthese des Radius auch eine intramedulläre Versorgung der Ulna. Die Autoren beschreiben jedoch nicht genau, wie groß der Anteil dieser Patienten war bzw. nahmen keine differenzierten Untersuchungen zu dieser Gruppe im Vergleich mit einfach versorgten Patientinnen und Patienten vor. Ein Vergleich der Materialverweildauer für Kinder der kombiniert versorgten Gruppe mit anderen Kollektiven gestaltet sich daher schwierig, da dieses Verfahren oft subsummiert im Rahmen einer osteosynthetischen Versorgung ohne weitere Differenzierung erfasst wurde oder im Rahmen proximaler und diaphysärer Unterarmfrakturen zur Anwendung kam [11, 42, 57]. In der Untersuchung von Kim *et al.* [29], die sich mit der Stabilisierung diaphysärer Unterarmfrakturen mittels ESIN

befasste, erfolgte die Entfernung der Nägel nach vier bis sechs Monaten. Limitierend im Vergleich ist hier allerdings die ausschließliche Lokalisation nah an der Diaphyse, die sich in der dort gewählten Versorgungsstrategie auch in einer Verweildauer des Materials in einem Zeitraum widerspiegelt, wie er auch bei diaphysären Frakturen Anwendung findet [42]. In der hier vorliegenden Untersuchung entschied man sich im Falle einer ESIN-Anwendung zur Entfernung zeitgleich mit den Kirschner-Drähten, wie sie auch von Laurer *et al.* [8] empfohlen wird. Den Eltern der Kinder aus dem vorliegenden Studienkollektiv wurde üblicherweise im Rahmen einer Kirschner-Draht-Osteosynthese zu einer Metallentfernung frühestens vier bis sechs Wochen nach Osteosynthese und adäquater Konsolidierung der Fraktur geraten, bei Hybridfixierung mit zusätzlicher ESIN nach etwa sechs Wochen. Dass die Entfernung anstelle der üblichen drei bis sechs Wochen nach Osteosynthese [2, 8] erst nach etwa acht beziehungsweise 11,5 Wochen erfolgte, hängt möglicherweise damit zusammen, dass die Terminvereinbarung für den Eingriff den Eltern selbst überlassen wurde und oft erst im Rahmen des Termins für die radiologische Konsolidierungskontrolle erfolgte. Zudem war die Beeinträchtigung durch das Material im Alltag womöglich so niedrig, dass kein ausgeprägter Drang zu baldmöglichster Entfernung bestand und Operationstermine somit eher auf passendere Termine, beispielsweise in Schulferien oder andere Zeiträume niedriger terminlicher Belastung verschoben wurden. Zur Motivation hinsichtlich der Terminfindung konnten retrospektiv jedoch keine Daten erhoben werden. Mostafa *et al.* [57] stellten fest, dass in dem dort untersuchten Kollektiv die Funktionalität des Armes ein besseres Ergebnis bei frühzeitiger Entfernung der Kirschner-Drähte zeigte als bei langer Verweildauer. Dieser Beobachtung könnte neben dem recht kleinen Untersuchungskollektiv von 32 Kindern jedoch auch der Umstand zugrunde liegen, dass bei Kindern mit unkomplizierten Verläufen und damit höherer Wahrscheinlichkeit für ein gutes postoperatives Ergebnis die Freigabe zur Materialentfernung eventuell früher erfolgte als bei Patientinnen und Patienten mit Komplikationen im Heilungsverlauf. Sharma *et al.* [61] beobachteten bei Kindern mit einer Verweildauer des Osteosynthesematerials länger als vier Wochen mehr Komplikationen als bei früherer Entfernung, wobei sich kein statistisch signifikanter Unterschied zeigte. Im vorliegenden Untersuchungskollektiv ergab sich kein Hinweis auf ein negatives funktionelles Ergebnis in Zusammenhang mit der Verweildauer des Osteosynthesematerials.

4.3 Therapieassoziierte Komplikationen

Bei der Untersuchung therapieassoziiierter Komplikationen wurde bei 20,5 % der Kinder mindestens ein postoperatives Komplikationsereignis registriert. Am häufigsten wurden eine protrahierte Schwellung oder Schmerzen dokumentiert. Da diese Ereignisse retrospektiv schlecht messbar waren, üblicherweise mit adäquater Analgesie und etwas Zuwarten eine gute Prognose aufwiesen und in den vergleichbaren Studien keine Erwähnung im Sinne einer Therapiekomplikation fanden, wurde eine zweite Analyse vorgenommen, in der lediglich die objektiver erfassbaren Komplikationsereignisse untersucht wurden. In beiden Analysen zeigte sich kein signifikanter Unterschied in der Komplikationsrate zwischen den beiden untersuchten Therapiegruppen.

Ohne Berücksichtigung von Schwellungen oder Schmerzen nach osteosynthetischer Versorgung reduzierte sich der Anteil komplikationsbetroffener Kinder auf 9,8 %.

Der in der zweiten Analyse etwas höhere prozentuale Anteil an Kindern mit Komplikationsereignissen in der Gruppe mit Hybridfixierung kam nach Eliminierung der Komplikationen „Schmerzen“ und „protrahierte Schwellung“ durch das Vorliegen von zwei Kindern mit Bewegungseinschränkungen und Sensibilitätsstörung im Rahmen einer Nervus ulnaris-Läsion sowie durch ein Streckdefizit im Rahmen einer fraglichen Ruptur der EPL-Sehne zustande. Die registrierte Nervenläsion bestand bei einem Mädchen mit suprakondylärer Humerusfraktur. Diese Fraktur geht recht häufig mit Verletzungen des Nervus ulnaris einher [24]. Nachdem bei diesem Kind vor der Operation aufgrund einer deutlichen Schwellung und Bewegungseinschränkung kein suffizienter neurologischer Status der Extremität erhoben werden konnte, bleibt unklar, ob die Nervenverletzung bereits präoperativ bestand oder als echte Komplikation der Osteosynthese zu werten ist.

Die übrigen beschriebenen Sensibilitätsstörungen sind gut erklärbar durch eine Irritation des Ramus superficialis des Nervus radialis bei der Einbringung der Kirschner-Drähte [62]. In zwei der drei nachvollziehbaren Fälle kam es zu einer vollständigen Remission bereits vor Entlassung aus dem initialen Klinikaufenthalt, in einem Fall zeigten sich auch nach der Entfernung des Osteosynthesematerials noch leichte Sensibilitätsstörungen. Die erfassten Sensibilitätsdefizite und Sehnenaffektionen im Rahmen der Therapie können allerdings nicht für einen Vergleich der beiden Gruppen herangezogen werden, da sie in allen Fällen entweder im Kontext einer Begleitverletzung oder in Zusammenhang mit der Kirschner-Draht-Osteosynthese zu bringen sind, welche jedoch in beiden untersuchten Therapieregimen durchgeführt wurde. Die im vorliegenden

Kollektiv registrierten Sensibilitätsstörungen in 3,8 % (einfach versorgte Gruppe) und 4,6 % der Fälle (doppelt versorgte Gruppe) werden in ähnlicher Größenordnung auch in anderen Untersuchungen beschrieben. Dort finden sich postoperative Sensibilitätsstörungen oder Nervenläsionen teilweise bei bis zu 20 % der Patientinnen und Patienten [11, 53, 61, 62].

Die übrigen registrierten Komplikationen im Therapieverlauf traten nur in seltenen Fällen auf. Nur in einem Fall kam es zu einer Infektion an der Einbringstelle der Kirschner-Drähte, womit die Infektionsrate dieses Kollektivs unter der sonst berichteten Häufigkeit von etwa 2 % bis 10 % liegt [24, 53, 56, 57].

Ein Ereignis einer sekundären Dislokation wurde in der einfach versorgten Gruppe gefunden. Eine ähnliche sekundäre Dislokationsrate von 2 % berichten Ramoutar *et al.* [53]. Es zeigt sich jedoch eine große Spannbreite bis hin zu Dislokationsraten von etwa 10 % bei Cai *et al.* [35, 56]. Dort wurde die hohe Dislokationsrate in Zusammenhang mit Frakturen des diaphysären Übergangs gebracht. Diese Lokalisation lag jedoch auch im hier vorliegenden Kollektiv in etwa einem Drittel der Fälle vor und konnte ohne die Problematik einer sekundären Dislokation mit Kirschner-Drähten versorgt werden. An dieser Stelle zeigt sich möglicherweise ein Effekt der zusätzlichen Stabilisierung mittels ESIN, der unter Umständen aufgrund der vorliegenden Fallzahl noch nicht signifikant zum Tragen kam. Auch Colaris *et al.* [35] führen einen Teil der dort beobachteten sekundären Dislokationen auf die fehlende Osteosynthese der Ulna bei alleiniger Kirschner-Draht-Versorgung des Radius zurück.

Ein weiteres Problem im postoperativen Therapieverlauf stellt die Dislokation des Osteosynthesematerials an sich dar, bei der es unter Umständen zu einer Hautperforation von innen kommen kann. Diese Komplikation wurde im vorliegenden Kollektiv in zwei Fällen bei Kirschner-Drähten und in einem Fall bei ESIN registriert. In anderen Arbeiten trat diese Komplikation mit 2,9 % bis 6 % der Fälle etwas häufiger auf [36, 53].

Bei jeweils einem Kind pro Gruppe kam es zur Bildung einer hypertrophen Narbe an der Inzisionsstelle für die Osteosynthese. Eine Behandlung erfolgte entweder im Rahmen der Metallentfernung oder war nicht gewünscht. Sharma *et al.* [61] beschreibt diese Komplikation in etwa 1 % der Fälle.

Insgesamt zeigte sich im hier untersuchten Kollektiv trotz bestehender Unterschiede in der Verteilung der einzelnen Komplikationen eine vergleichbare oder zum Teil sogar

niedrigere Komplikationsrate wie in anderen Studien [29, 36, 56, 57]. Jedoch ist bei der Analyse und Interpretation der postoperativen Komplikationen und des Therapieerfolges zu bedenken, dass bei insgesamt elf Kindern keine Vorstellung mehr für die Entfernung des Osteosynthesematerials erfolgte. Komplikationen im Verlauf wurden für diese Gruppe nur bis zur Entlassung nach Osteosynthese zuverlässig dokumentiert. Ob danach keine weiteren Komplikationen auftraten oder die Patientinnen und Patienten sich damit in anderen Kliniken vorstellten, ist nicht nachvollziehbar. Ebenso kann keine Aussage über das radiologische Ergebnis nach Entfernung des Materials erfolgen. Beim Vergleich mit anderen Studien ist zudem zu beachten, dass Komplikationsereignisse unterschiedlich erfasst und bewertet wurden, was einen einheitlichen Vergleich erschwert.

4.4 Therapieerfolg

Als weiteren Parameter des postoperativen Therapieverlaufes konnten bei 111 von 122 Kindern die Achsabweichung und das Dislokationsausmaß zum Zeitpunkt der Materialentfernung ermittelt werden. Die Entfernung des Osteosynthesematerials erfolgte, wie bereits beschrieben, bei Kindern aus der ESIN-Gruppe durchschnittlich 25 Tage später, sodass der Nachbeobachtungszeitraum für Kinder mit Hybridfixierung etwas länger ausfällt.

Bei insgesamt 65,8 % der 111 Patientinnen und Patienten zeigte sich zum Zeitpunkt der Entfernung des Osteosynthesematerials keine Dislokation mehr, bei etwa 32 % der Kinder lag noch eine Dislokation um einfache oder doppelte Kortikalisbreite vor. Lediglich bei zwei Kindern bestand auch nach Entfernung des Osteosynthesematerials eine unveränderte Dislokation um etwa eine halbe Schaftbreite. Die leichte Differenz in der Ausprägung des Dislokationsausmaßes nach der Metallentfernung spiegelt die bereits vor Reposition bestehende Tendenz zu stärkeren Dislokationen in der ESIN-Gruppe wider. In Bezug auf das Dislokationsausmaß konnte bei 98,2 % der Patientinnen und Patienten ein zufriedenstellendes Ergebnis erreicht werden, wenn man davon ausgeht, dass die verbleibenden Dislokationen um Kortikalisbreite oder doppelte Kortikalisbreite im Rahmen des Remodelings vermutlich vollständig auszugleichen sind. Im Falle der zwei Kinder im Alter von zwölf und 14 Jahren, die auch nach der Entfernung des Osteosynthesematerials eine Dislokation um etwa die halbe Schaftbreite in der Koronarebene zeigten, ergab sich in der seitlichen Aufnahme eine Dislokation um maximal doppelte Kortikalisbreite bei guter Kallusbildung und weiterhin geöffneten

Epiphysenfugen, womit auch in diesen Fällen mit einer guten Spontankorrektur zu rechnen ist. Ähnliche Dislokationsausmaße zum Therapieabschluss zeigten sich bei Cai *et al.* [56] sowie Ramoutar *et al.* [53].

Im Durchschnitt konnte im Therapieverlauf eine Verbesserung der Achsfehlstellung um 19,4 Grad erreicht werden, ohne dass sich dabei ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Therapieregimen zeigte. Die etwas niedrigere Achsverbesserung in der ESIN-Gruppe ist schwer erklärbar und hängt möglicherweise sowohl mit der Stichprobengröße als auch dem niedrigeren Ausgangswert der Achsabweichung in dieser Gruppe zusammen.

Die Achsabweichung zum Therapieabschluss nach Entfernung des Osteosynthesematerials ergab zwischen den beiden untersuchten Gruppen ebenfalls keinen signifikanten Unterschied. Der Medianwert von 0 Grad in der einfach versorgten und 3 Grad in der doppelt versorgten Gruppe lässt zwar auf ein insgesamt für die Mehrheit gutes Ergebnis schließen, wurde jedoch durch die hohe Anzahl an Kindern ohne messbare Achsabweichung beeinflusst.

Für eine bessere Einschätzung hinsichtlich des funktionellen Ergebnisses erfolgte eine weitere Analyse der Achsabweichung, indem Gruppen gebildet wurden, die Abweichungen bis zu 10 Grad oder darüber aufwiesen. Daruwalla [63] geht davon aus, dass Achsabweichungen von mehr als 10 Grad insbesondere bei Kindern im Alter von über 10 Jahren keine ausreichende Remodelingkapazität besteht, um die Abweichung ohne residuelle funktionelle Einschränkungen auszugleichen, Ramoutar *et al.* [53] fanden bis zu einer Abkipfung von 15 Grad bei Therapieabschluss Ergebnisse ohne funktionelle Einschränkung. In der vorliegenden Untersuchung wurde, wie auch beispielsweise von Colaris *et al.* [35] die Grenze für die Einschätzung als zufriedenstellendes Ergebnis bei einer Achsabweichung von 10 Grad gezogen. Es ergeben sich damit die oben genannten Zahlen um 90 % für ein zufriedenstellendes Ergebnis mit guter zu erwartender Funktionalität und ohne signifikanten Unterschied zwischen den beiden Therapiegruppen. Bei den übrigen elf Kindern ist jedoch nicht vollständig mit bleibenden Einschränkungen zu rechnen, da sieben der elf Patientinnen und Patienten zum Zeitpunkt des Unfalls drei bis zehn Jahre alt waren. Damit ist davon auszugehen, dass sich im Rahmen des weiteren Verlaufes bei diesen Kindern noch eine achsgerechte Stellung einstellt. Demnach verbleiben vier Kinder (3,6 %), bei denen in einem Alter von über zehn Jahren noch Abweichungen von 12 bis 18 Grad bestanden und hier nicht zwangsläufig in allen Fällen eine vollständige Remodellierung ohne

funktionelle Einschränkung angenommen werden kann. Eine weitere Untersuchung dieser Patientinnen und Patienten im Verlauf wäre wünschenswert, konnte in der vorliegenden Untersuchung jedoch nicht realisiert werden.

Die im vorliegenden Kollektiv ermittelte Achsabweichung zum Therapieende stimmt überein mit den beschriebenen Daten anderer Untersuchungen. Dort werden Werte von 0,3 bis 6,7 Grad beschrieben [35, 36, 51, 53, 56]. Zu beachten ist jedoch, dass in einem Teil dieser Studien die Messwerte erst sechs Monate nach dem Trauma erhoben wurden. Von Laer *et al.* [22] weisen zudem darauf hin, dass in die Bewertung von Therapieerfolgen kindlicher Frakturen das natürliche Potenzial des Remodelings mit einbezogen werden muss. Die Geschwindigkeit der Spontankorrektur wird dabei recht unterschiedlich eingeschätzt. Die Angaben reichen zum Ausgleich einer Achsfehlstellung von 0,9 Grad bis 2,5 Grad pro Monat [64–66].

Im vorliegenden Studienkollektiv wäre daher bis zur Entfernung des Osteosynthesematerials von einer Spontankorrektur im Umfang von etwa 3 Grad auszugehen. Diese Größenordnung ergibt sich jedoch vermutlich allein durch Messungenauigkeiten bei der Messung in den Röntgenbildern, sodass das Ausmaß von Spontankorrekturen für den kurzen Betrachtungszeitraum zwischen initialem Trauma und Materialentfernung vernachlässigbar sein dürfte.

In Zusammenschau der ermittelten Werte für Achsabweichung und Dislokationsausmaß zum Zeitpunkt der Entfernung des Osteosynthesematerials ist insgesamt bei 91,3 % der lediglich mit Kirschner-Drähten operierten und 88,1 % der doppelt versorgten Kinder ein sehr zufriedenstellendes Ergebnis erreicht worden. Bei den verbleibenden Kindern ohne angemessenes Ergebnis zum Zeitpunkt der Materialentfernung ist bei mindestens der Hälfte von einer ebenso guten Prognose im Rahmen der weiteren Spontankorrektur auszugehen.

4.5 Stärken und Schwächen der Untersuchung

In der hier vorliegenden Untersuchung konnten aus einem langen Zeitraum von insgesamt elf Jahren die Fälle von 122 Patientinnen und Patienten analysiert werden. Durch die Digitalisierung der Klinikakten gelang ein umfassender Überblick über das Verletzungsbild und den Therapieverlauf der Kinder. Das Datum der Metallentfernung als festgelegtem Zeitpunkt der Messung von Achsabweichung und Dislokationsausmaß als Merkmale des Therapieerfolges und das recht kurze Zeitintervall zwischen Osteosynthese und abschließender Stellungskontrolle reduzierte Verzerrungen der

Messwerte durch das kindliche Spontankorrekturpotenzial. Die vorliegende Untersuchung betrachtete im Vergleich zur verbreiteten alleinigen Kirschner-Draht-Osteosynthese gezielt eine Hybridfixierung mittels zusätzlicher ESIN der Ulna. In anderen bisher durchgeführten Untersuchungen wurde diese Technik entweder von der Analyse ausgeschlossen [67], unter anderen operativen Verfahren subsummiert [27] oder in alternativer Herangehensweise mit Plattenosteosynthesen kombiniert [68, 69].

Schwächen der vorliegenden Untersuchung sind die retrospektive Betrachtung des Untersuchungskollektivs ohne standardisierte funktionelle Nachuntersuchung oder Befragung der Patientinnen und Patienten. Ebenso erfolgte keine randomisierte Zuteilung zu den beiden Osteosynthesegruppen und keine Verblindung der Behandler und Kinder. Durch die fehlende Randomisierung muss davon ausgegangen werden, dass jeweils das in den Augen des Behandlers geeignetste Verfahren zum Einsatz kam. Hierdurch wird die Suche nach Unterschieden zwischen den beiden Osteosynthesetechniken und die Bewertung des Einflusses des Therapieverfahrens auf das postoperative Ergebnis erschwert. Zudem machte die große Altersspanne des Studienkollektivs mit dem Einschlusskriterium eines Alters von 0 bis 16 Jahren und den damit verbundenen verschiedenen kindlichen Entwicklungsstufen, Wachstumsphasen und Korrekturpotenzialen die einheitliche Interpretation der Ergebnisse etwas komplizierter. Eine vollständige Nachverfolgung des Therapieverlaufes bis zur Entfernung des eingebrachten Materials gelang bei 111 von 122 Kindern. Die Aussagekraft zum Auftreten postoperativer Komplikationen und der Dislokation bzw. Achsabweichung zum Therapieende wird etwas geschmälert durch den Anteil an Kindern, die nicht mehr zur Entfernung des Osteosynthesematerials vorstellig wurden und durch den insgesamt recht kurzen Zeitraum eines sicheren Follow-up von 56 bis 80 Tagen für die übrigen Patientinnen und Patienten.

4.6 Ausblick

Die hier vorliegende Studie konnte zeigen, dass das in der kinderchirurgischen Abteilung des UKW verwendete Behandlungsregime für fast alle damit behandelten Patientinnen und Patienten sehr zufriedenstellende Therapieergebnisse erzielt und auch für Unterarmfrakturen des diaphysären Übergangs gut angewendet werden kann. Anpassungen des Vorgehens sind hinsichtlich der Durchführung der Entfernung des Osteosynthesematerials ohne stationäre Überwachung bis zum nächsten Tag auch bei Kindern nach ESIN-Versorgung denkbar. Da auch die Fixierung allein mit Kirschner-

Drähten gute Ergebnisse erzielt, sollte die Entscheidung zur Einbringung einer zusätzlichen ESIN außerhalb von Studien weiterhin im Rahmen der intraoperativen Stabilitätskontrolle und nach sorgfältiger Abwägung von Nutzen und Risiken durch den Behandler erfolgen. In der Zukunft sind weitere Untersuchungen zur Betrachtung der hier verwendeten Osteosynthesetechniken in größeren, randomisierten Kollektiven wünschenswert.

5 Zusammenfassung

Die hier vorliegende Untersuchung beschäftigt sich mit dem Vergleich zweier minimalinvasiver operativer Therapiestrategien der distalen Unterarmfraktur als häufigster Fraktur im Kindesalter. Trotz oder aber gerade aufgrund der Häufigkeit dieser Verletzung werden verschiedene Behandlungsmethoden kontrovers diskutiert.

Für die vorliegende Studie erfolgte eine umfassende retrospektive Auswertung von 122 Fällen distaler kindlicher Unterarmfrakturen aus einem Zeitraum von elf Jahren, die in der kinderchirurgischen Abteilung des Universitätsklinikums Würzburg osteosynthetisch versorgt wurden. Ziel der Untersuchung war die Betrachtung der Epidemiologie des Verletzungsbildes und des Therapieerfolges in Abhängigkeit von der gewählten Osteosynthesetechnik. Die Kinder wurden dabei entweder allein durch eine Kirschner-Draht-Osteosynthese des Radius oder durch eine zusätzliche Fixierung der Ulna mittels elastisch stabiler intramedullärer Nagelung versorgt.

Das untersuchte Kollektiv stimmt hinsichtlich der Epidemiologie im Wesentlichen mit den Kollektiven anderer Untersuchungen überein. Im Laufe der Jahre zeigte sich am Universitätsklinikum Würzburg eine Entwicklung von einem eher konservativen Vorgehen hin zur operativen Versorgung als primäre Behandlungsmethode von distalen Unterarmfrakturen im Kindesalter. Durch beide Operationsstrategien konnte für die meisten Patientinnen und Patienten ein gutes Therapieergebnis erreicht werden. Hinsichtlich der Operations- und Hospitalisierungsdauer zeigte sich ein Vorteil für Kinder, die osteosynthetisch lediglich durch Kirschner-Drähte versorgt wurden. In anderen Studien beobachtete Komplikationen in Form sekundärer Dislokationen der Fraktur auch nach Osteosynthese oder Infektionen im Bereich der Drahtenden konnten im hier untersuchten Kollektiv seltener festgestellt werden.

Die vorliegende Untersuchung zeigt, dass, sofern die Indikation zur operativen Versorgung besteht, die Fixierung des Radius allein mittels Kirschner-Drähten eine adäquate Therapie distaler Frakturen von Ulna und Radius im Kindesalter darstellt. Von einer kombinierten Osteosynthese mittels Kirschner-Drähten und ESIN könnten besonders Patientinnen und Patienten profitieren, bei denen initial große Dislokationen der Fraktur, Begleitverletzungen des Arms oder eine Lokalisation im Bereich des diaphysären Übergangs bestehen. Um diese Beobachtungen auch in größeren Kollektiven und prospektiv sowie randomisiert zu untersuchen, sind weitere Studien wünschenswert.

6 Literaturverzeichnis

1. Brudvik C, Hove LM. Childhood fractures in Bergen, Norway: identifying high-risk groups and activities. *J Pediatr Orthop* 2003; 23(5):629–34. doi: 10.1097/00004694-200309000-00010.
2. Marzi I, Hrsg. *Kindertraumatologie*. 3. Auflage. Berlin, Heidelberg, s.l.: Springer Berlin Heidelberg; 2016.
3. Schmittenebecher PP, Fitze G. *Pädiatrische Chirurgie: Lehrbuch der Kinderchirurgie - kurz und kompakt*. 1. Aufl. München: Elsevier Urban & Fischer; 2010.
4. Kraus R. Distale Radiusfraktur im Wachstumsalter. *Trauma Berufskrankh* 2014; 16(S1):53–60. doi: 10.1007/s10039-013-1932-y.
5. Hedström EM, Svensson O, Bergström U, Michno P. Epidemiology of fractures in children and adolescents. *Acta Orthop* 2010; 81(1):148–53. doi: 10.3109/17453671003628780.
6. Adrian M, Wessel LM. Konservative oder operative Therapie der distalen metaphysären Unterarmfraktur. *Trauma Berufskrankh* 2015; 17(S2):249–52. doi: 10.1007/s10039-015-0036-2.
7. Höfer J, Hoffmann F, Glaeske G, Sauer K. Distale Unterarmfrakturen im Kindes- und Jugendalter: Häufigkeit und Versorgungsgeschehen in Deutschland. *Gesundheitswesen* 2019; 81(1):e1-e9. doi: 10.1055/s-0042-116225.
8. Laurer H, Sander A, Wutzler S, Walcher F, Marzi I. Therapieprinzipien distaler Unterarmfrakturen im Kindesalter. *Chirurg* 2009; 80(11):1042–52. doi: 10.1007/s00104-009-1750-8.
9. Fernandez FF, Eberhardt O. Klassifikationen von Frakturen im Kindesalter. *Trauma Berufskrankh* 2010; 12(S3):323–8. doi: 10.1007/s10039-009-1586-y.
10. Joeris A, Lutz N, Blumenthal A, Slongo T, Audigé L. The AO Pediatric Comprehensive Classification of Long Bone Fractures (PCCF). *Acta Orthop* 2017; 88(2):123–8. doi: 10.1080/17453674.2016.1258532.
11. Großmann D. Die dislozierte distale Unterarmfraktur im Kindesalter, nach der Reposition: K-Draht oder nicht?: Retrospektive Analyse operativ behandelter distaler Unterarmfrakturen in der Universitätsklinik für Kinderchirurgie Greifswald

im Zeitraum von 1998 bis 2007. Greifswald: Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald; 2011.

12. Mommsen U, Meentken J, Mommsen Ph, Holzrichter D. Traumatologie des Schultergürtels und der oberen Extremität. In: Schumpelick V, Hrsg. Kurzlehrbuch Chirurgie: 187 Tabellen. 8., vollst. überarb. und erw. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2010.
13. Noonan KJ, Price CT. Forearm and distal radius fractures in children. *J Am Acad Orthop Surg* 1998; 6(3):146–56. doi: 10.5435/00124635-199805000-00002.
14. Kim PH, Leopold SS. In brief: Gustilo-Anderson classification. corrected. *Clin Orthop Relat Res* 2012; 470(11):3270–4. doi: 10.1007/s11999-012-2376-6.
15. Mommsen U, Meentken J, Mommsen Ph, Schumpelick V, Holzrichter D. Allgemeine Traumatologie. In: Schumpelick V, Hrsg. Kurzlehrbuch Chirurgie: 187 Tabellen. 8., vollst. überarb. und erw. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2010.
16. Gustilo RB. Problems in the management of type III (severe) open fractures: a new classification of type III open fractures.
17. Tscherne H, Oestern HJ. Die Klassifizierung des Weichteilschadens bei offenen und geschlossenen Frakturen. *Unfallheilkunde* 1982; 85(3):111–5.
18. Weinberg A-M, Hrsg. Unfallchirurgie im Kindesalter ; 2, Untere Extremität, Körperhöhlen, Besonderheiten des kindlichen Skeletts: 117 Tabellen. Berlin [u.a.]: Springer; 2006.
19. Schäffer K. Pädiatrische Traumatologie und benigne Knochentumoren: Allgemeines. In: Heinrich M, Hrsg. Kinderchirurgie. München [i.e.] Germering [u.a.]: Zuckschwerdt; 2008.
20. Matussek J. Kinderorthopädie und Kindertraumatologie. Berlin: Springer; 2013.
21. 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. doi: 10.1007/s00402-003-0619-4.
22. Laer Lv, Kraus R, Linhart WE. Frakturen und Luxationen im Wachstumsalter. 6., überarb. und erw. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2013.
23. Little JT, Klionsky NB, Chaturvedi A, Soral A, Chaturvedi A. Pediatric distal forearm and wrist injury: an imaging review. *Radiographics* 2014; 34(2):472–90. doi: 10.1148/rg.342135073.

24. Illian C., Veigel B., Chylarecki C. Osteosyntheseverfahren in der Kinder- und Jugendtraumatologie. OUP 2013; (12):578–83. doi: 10.3238/oup.2013.0578–0583.
25. Weinberg A-M, Schneidmüller D, Hrsg. Unfallchirurgie bei Kindern: Kompendium der Kindertraumatologie ; mit 48 Tabellen. Köln: Dt. Ärzte-Verl.; 2010.
26. Heinrich M, Hrsg. Kinderchirurgie. München [i.e.] Germering [u.a.]: Zuckschwerdt; 2008.
27. Großmann D, Barthlen W. Dislozierte distale Unterarmfraktur im Kindesalter. Trauma Berufskrankh 2014; 16(S2):197–201. doi: 10.1007/s10039-013-2012-z.
28. 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 1:A12-9. doi: 10.1016/j.injury.2004.12.008.
29. Kim BS, Lee YS, Park SY, Nho JH, Lee SG, Kim YH. Flexible Intramedullary Nailing of Forearm Fractures at the Distal Metadiaphyseal Junction in Adolescents. Clin Orthop Surg 2017; 9(1):101–8. doi: 10.4055/cios.2017.9.1.101.
30. Rodriguez-Merchan EC. Pediatric Fractures of the Forearm. Clin Orthop Relat Res 2005; (432):65–72. doi: 10.1097/01.blo.0000156480.76450.04.
31. Weinberg A-M, Castellani C, Amerstorfer F. Elastisch-stabile intramedulläre Marknagelung (ESIN) von Unterarmfrakturen. Oper Orthop Traumatol 2008; 20(4-5):285–96. doi: 10.1007/s00064-008-1401-0.
32. Zachariou Z. Modern treatment of paediatric limb fractures. Scand J Surg 2011; 100(4):279–302. doi: 10.1177/145749691110000408.
33. Voto SJ, Weiner DS, Leighley B. Redisplacement after closed reduction of forearm fractures in children. J Pediatr Orthop 1990; 10(1):79–84. doi: 10.1097/01241398-199001000-00015.
34. Haddad FS, Williams RL. Forearm fractures in children: avoiding redisplacement. Injury 1995; 26(10):691–2. doi: 10.1016/0020-1383(95)00136-0.
35. Colaris JW, Allema JH, Biter LU, Vries MR de, van de Ven CP, Bloem RM et al. Re-displacement of stable distal both-bone forearm fractures in children: a randomised controlled multicentre trial. Injury 2013; 44(4):498–503. doi: 10.1016/j.injury.2012.11.001.

36. 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. doi: 10.1302/0301-620x.84b3.11432.
37. 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.
38. McQuinn AG, Jaarsma RL. Risk Factors for Redisplacement of Pediatric Distal Forearm and Distal Radius Fractures. *Journal of Pediatric Orthopaedics* 2012; 32(7):687–92. doi: 10.1097/BPO.0b013e31824b7525.
39. Stürmer K. DGU-Leitlinie 012-015: Distale Radiusfraktur des Erwachsenen; 2021 [Stand: 28.01.2022]. Verfügbar unter: <https://www.awmf.org/leitlinien/detail/II/012-015.html>.
40. Deutsche Gesellschaft für Kinderchirurgie e.V. S1-Leitlinie 006/062: Unterarmschaftfrakturen im Kindesalter. AWMF online 04/2016 [Stand: 01.05.2020]. Verfügbar unter: https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/006-062l_S1_Unterarmschaftfraktur-2016-05-verlaengert.pdf.
41. Graubner B, Hrsg. ICD-10-GM 2018: Internationale statistische Klassifikation der Krankheiten und verwandter Gesundheitsprobleme : 10. Revision - German Modification. Köln: Deutscher Ärzteverlag; 2018.
42. Lascombes P, Nespola A, Poircuitte J-M, Popkov D, Gheldere A de, Haumont T et al. Early complications with flexible intramedullary nailing in childhood fracture: 100 cases managed with precurved tip and shaft nails. *Orthop Traumatol Surg Res* 2012; 98(4):369–75. doi: 10.1016/j.otsr.2011.11.011.
43. Saß A-C, Poethko-Müller C, Rommel A. Das Unfallgeschehen im Kindes- und Jugendalter - Aktuelle Prävalenzen, Determinanten und Zeitvergleich : Ergebnisse der KiGGS-Studie - Erste Folgebefragung (KiGGS Welle 1). *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz* 2014; 57(7):789–97. doi: 10.1007/s00103-014-1977-5.
44. Kraus R, Schneidmüller D, Röder C. Häufigkeit von Frakturen der langen Röhrenknochen im Wachstumsalter. *Deutsches Ärzteblatt* 2005; 102(12):838–42.

45. Kosuge D, Barry M. Changing trends in the management of children's fractures. *Bone Joint J* 2015; 97-B(4):442–8. doi: 10.1302/0301-620X.97B4.34723.
46. Neubauer G. Wie geht' s den Jungs? Jungengesundheit und Aspekte einer jungenbezogenen Gesundheitsförderung. *Blickpunkt DER MANN* 2003; 1(1):24–8.
47. Masterson E, Borton D, O'Brien T. Victims of our climate. *Injury* 1993; 24(4):247–8. doi: 10.1016/0020-1383(93)90179-a.
48. Wareham K, Johansen A, Stone MD, Saunders J, Jones S, Lyons RA. Seasonal variation in the incidence of wrist and forearm fractures, and its consequences. *Injury* 2003; 34(3):219–22. doi: 10.1016/S0020-1383(02)00212-7.
49. Pannu GS, Herman M. Distal radius-ulna fractures in children. *Orthop Clin North Am* 2015; 46(2):235–48. doi: 10.1016/j.ocl.2014.11.003.
50. Hassan FOA. Hand dominance and gender in forearm fractures in children. *Strategies Trauma Limb Reconstr* 2008; 3(3):101–3. doi: 10.1007/s11751-008-0048-6.
51. Liu Y, Zhang F-Y, Zhen Y-F, Zhu L-Q, Guo Z-X, Wang X-D. Treatment Choice of Complete Distal Forearm Fractures in 8 to 14 Years Old Children. *J Pediatr Orthop* 2021; 41(9):e763-e767. doi: 10.1097/BPO.0000000000001934.
52. Elabd A, Khalifa R, Alam Z, Saleh ES, Thabet AM, Abdelgawad A. Operative Fixation of Pediatric Forearm Fractures: Does the Fracture Location Matter? *Adv Orthop* 2021; 2021:9973449. doi: 10.1155/2021/9973449.
53. Ramoutar DN, Shivji FS, Rodrigues JN, Hunter JB. The outcomes of displaced paediatric distal radius fractures treated with percutaneous Kirschner wire fixation: a review of 248 cases. *Eur J Orthop Surg Traumatol* 2015; 25(3):471–6. doi: 10.1007/s00590-014-1553-6.
54. Helenius I, Lamberg TS, Kääriäinen S, Impinen A, Pakarinen MP. Operative Treatment of Fractures in Children Is Increasing. *The Journal of Bone & Joint Surgery* 2009; 91(11):2612–6. doi: 10.2106/JBJS.H.01519.
55. Ömeroğlu H, Cassiano Neves M. Tendency towards operative treatment is increasing in children's fractures: results obtained from patient databases, causes, impact of evidence-based medicine. *EFORT Open Reviews* 2020; 5(6):347–53. doi: 10.1302/2058-5241.5.200012.

56. 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. doi: 10.1177/0300060514566650.
57. Mostafa MF, El-Adl G, Enan A. Percutaneous Kirschner-wire fixation for displaced distal forearm fractures in children. *Acta Orthop Belg* 2009; 75(4):459–66.
58. Symons S, Persad R, Paterson M. The removal of percutaneous Kirschner wires used in the stabilisation of fractures in children. *Acta Orthop Belg* 2005; 71(1):88–90.
59. Slongo T. Technik und Biomechanik der Bohr-Draht(Kirschner-Draht)-Osteosynthese bei Kindern. *Oper Orthop Traumatol* 2020; 32(6):509–29. doi: 10.1007/s00064-020-00684-6.
60. Lieber J, Dietzel M, Scherer S, Schäfer JF, Kirschner H-J, Fuchs J. Implant removal associated complications after ESIN osteosynthesis in pediatric fractures. *Eur J Trauma Emerg Surg* 2021:1–8. doi: 10.1007/s00068-021-01763-4.
61. Sharma H, Taylor GR, Clarke NMP. A review of K-wire related complications in the emergency management of paediatric upper extremity trauma. *Ann R Coll Surg Engl* 2007; 89(3):252–8. doi: 10.1308/003588407X155482.
62. Singh S, Trikha P, Twyman R. Superficial radial nerve damage due to Kirschner wiring of the radius. *Injury* 2005; 36(2):330–2. doi: 10.1016/j.injury.2004.04.017.
63. Daruwalla JS. A study of radioulnar movements following fractures of the forearm in children. *Clin Orthop Relat Res* 1979; (139):114–20.
64. Friberg KS. Remodelling after distal forearm fractures in children. I. The effect of residual angulation on the spatial orientation of the epiphyseal plates. *Acta Orthop Scand* 1979; 50(5):537–46. doi: 10.3109/17453677908989801.
65. Lynch KA, Wesolowski M, Cappello T. Coronal Remodeling Potential of Pediatric Distal Radius Fractures. *J Pediatr Orthop* 2020; 40(10):556–61. doi: 10.1097/BPO.0000000000001580.
66. Qairul IH, Kareem BA, Tan AB, Harwant S. Early remodeling in children's forearm fractures. *Med J Malaysia* 2001; 56 Suppl D:34–7.
67. Wessel LM, Adrian M, Sommerfeldt D, Assmann B, Kronfeld K, Wachtlin D, Hrsg. *Distale Radiusfrakturen – AFIC-Studie mit Vorstellung des Studienprotokolls* [German Medical Science GMS Publishing House]; 2014.

68. Zeybek H, Akti S. Comparison of Three Different Surgical Fixation Techniques in Pediatric Forearm Double Fractures. *Cureus* 2021; 13(8):e16931. doi: 10.7759/cureus.16931.
69. Walz M, Kolbow B, Möllenhoff G. Distale Ulnafraktur als Begleitverletzung des körperfernen Speichenbruchs. Minimal-invasive Versorgung mittels elastisch-stabiler intramedullärer Nagelung (ESIN). *Unfallchirurg* 2006; 109(12):1058–63. doi: 10.1007/s00113-006-1185-3.

Appendix

I. Abkürzungsverzeichnis

AO-Klassifikation	Frakturklassifikation der Arbeitsgemeinschaft Osteosynthesefragen
cm	Zentimeter
EPL	<i>Musculus extensor pollicis longus</i>
ESIN	Elastisch-stabile intramedulläre Nagelung
et al.	<i>et alii</i>
ICD-10-GM	Internationale statistische Klassifikation der Krankheiten und verwandter Gesundheitsprobleme - <i>German Modification</i>
K-Draht	Kirschner-Draht
m	Meter
mm	Millimeter
PACS	<i>Picture Archiving and Communication System</i>
PAEG	<i>Paediatric Expert Group</i> der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen
SAP	Softwarehersteller und Softwareprogramm des Klinikinformationssystems zur digitalen Patientendatenverwaltung
SD	Standardabweichung
UKW	Universitätsklinikum Würzburg

II. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Röntgenaufnahme des distalen Unterarms, Festlegung der distalen Unterarmmetaphyse als Quadrat der beiden distalen Epiphysen bei abgebildeter kompletter distal-metaphysärer Unterarmfraktur	3
Abbildung 2: Röntgenaufnahme des distalen Unterarmes mit Wulstfraktur der Ulna (Pfeil) und vollständiger Fraktur des Radius	7
Abbildung 3: Röntgenaufnahme nach Kirschner-Draht-Osteosynthese des Radius bei distaler Unterarmfraktur	12
Abbildung 4: Distale Unterarmfraktur vor osteosynthetischer Versorgung	13
Abbildung 5: Distale Unterarmfraktur nach Osteosynthese mittels Kirschner-Draht und ESIN	14
Abbildung 6: Röntgenaufnahme nach Entfernung des Osteosynthesematerials aus Radius und Ulna	14
Abbildung 7: Osteosynthetische Versorgung einer distalen Unterarmfraktur mittels Plattenosteosynthese	16
Abbildung 8: Flussdiagramm mit Darstellung der Ermittlung des Studienkollektivs	24
Abbildung 9: Geschlechterverhältnis des Patientenkollektivs	25
Abbildung 10: Altersverteilung im Kollektiv aller eingeschlossenen Patientinnen und Patienten	26
Abbildung 11: Boxplot des geschlechtsabhängigen Altersunterschieds (in Jahren) im Gesamtkollektiv der untersuchten Patientinnen und Patienten	26
Abbildung 12: Jahreszeitliche Verteilung (nach Aufnahmemonat) der Fallzahlen im Patientenkollektiv	27
Abbildung 13: Verteilung der betroffenen Körperseite im Gesamtkollektiv	28
Abbildung 14: Häufigkeiten dokumentierter Unfallszenarien	29
Abbildung 15: Darstellung der Frakturklassifikation in Extensions- und Flexionsfrakturen	30
Abbildung 16: Häufigkeitsverteilung der Frakturlokalisation im Gesamtkollektiv und abhängig von der Operationsmethode	31

Abbildung 17: Gesamtauswertung und Subgruppenanalyse der Häufigkeit von offenen und geschlossenen Unterarmfrakturen.....	32
Abbildung 18: Radiologisch bestimmtes Dislokationsausmaß im Gesamtkollektiv und in der Subgruppenanalyse vor Reposition und Osteosynthese.....	33
Abbildung 19: Ausmaß der Achsabweichung des dislozierten Fragmentes (in Grad) vor Reposition und Osteosynthese in Abhängigkeit von der verwendeten Osteosynthesetechnik.....	34
Abbildung 20: Häufigkeitsverteilung von Begleitverletzungen im Gesamtkollektiv.....	35
Abbildung 21: Subgruppenanalyse der Begleitverletzungen mit Darstellung der Ausprägung des Weichteilschadens (Klassifikation nach Oestern und Tscherne).....	36
Abbildung 22: Häufigkeit der angewandten Therapiestrategien für distale Unterarmfrakturen in der kinderchirurgischen Abteilung des UKW im Zeitraum von 2008 bis 2018.....	37
Abbildung 23: Häufigkeitsverteilung der beiden untersuchten Osteosynthesetechniken.....	38
Abbildung 24: Schnitt-Naht-Zeit (in Minuten) in Abhängigkeit von der gewählten Osteosynthesetechnik.....	39
Abbildung 25: Hospitalisierungsdauer (in Tagen) für die Frakturversorgung in Abhängigkeit von der gewählten Osteosynthesetechnik.....	40
Abbildung 26: Darstellung der Verweildauer des Osteosynthesematerials in Abhängigkeit von der angewendeten Osteosynthesetechnik.....	41
Abbildung 27: Darstellung postoperativer Komplikationen und ihrer Häufigkeitsverteilung in Abhängigkeit von der angewendeten Osteosynthesetechnik, OM: Osteosynthesematerial	44
Abbildung 28: Darstellung des Dislokationsausmaßes in der Röntgenaufnahme nach Entfernung des Osteosynthesematerials	46
Abbildung 29: Boxplots zur Darstellung der Achsabweichung im Röntgenbild nach Entfernung des Osteosynthesematerials.....	47
Abbildung 30: Darstellung der Differenz der Achsabweichung vor Osteosynthese und nach Entfernung des Osteosynthesematerials	48

III. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Klassifikation nach Gustilo und Anderson.....	4
Tabelle 2: Klassifikation geschlossener Frakturen nach Oestern und Tscherne.....	4
Tabelle 3: Aitken- und Salter-Harris-Klassifikation von Epiphysenverletzungen	8
Tabelle 4: Altersadaptiertes Korrekturpotential distaler Unterarmfrakturen.....	9

IV. Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, ohne deren Mithilfe und Unterstützung diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

Zuerst danke ich besonders Herrn Univ.-Prof. Dr. med. Thomas Meyer für die Möglichkeit, diese Arbeit in der kinderchirurgischen Abteilung des Universitätsklinikums Würzburgs anzufertigen und für Bereitstellung dieses interessanten Themas. Die hervorragende und geduldige Betreuung während der gesamten Arbeit mit zahlreichen Gesprächen und konstruktiven Anregungen haben mir sehr geholfen.

Weiterhin möchte ich mich auch bei Herrn Dr. med. Florian Seitz als zweitem Betreuer sowie beim übrigen Team der kinderchirurgischen Abteilung des Universitätsklinikums Würzburg für die Unterstützung während der Entstehung dieser Arbeit bedanken.

Daneben danke ich den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Instituts für Klinische Epidemiologie und Biometrie für die statistische Beratung im Rahmen der Datenauswertung.

Mein Dank gilt ebenfalls meinen Eltern dafür, dass sie mir das Studium der Humanmedizin ermöglicht und mich sowohl auf dem Weg dorthin als auch während des gesamten Studiums stets liebevoll unterstützt haben. Außerdem danke ich meinen Freunden und meiner Freundin, die diesen Lebensabschnitt mit ihrer Geduld, Hilfe, Zeit, vielen Ratschlägen und aufmunternden Worten für mich unvergesslich schön gemacht haben.