

# **Diplomarbeit**

## **Eine Analyse der Röntgenkontrollen nach osteosynthetisch versorgten Unterarmfrakturen im Kindesalter – Eine retrospektive Studie**

eingereicht von

**Florian Sporer**

zur Erlangung des akademischen Grades

**Doktor(in) der gesamten Heilkunde**

**(Dr. med. univ.)**

an der

**Medizinischen Universität Graz**

ausgeführt an der

**Universitätsklinik für Kinder- und Jugendchirurgie**

unter der Anleitung von Betreuern

**Assoz. Prof. Priv.-Doz. Dr. med. univ. Georg Singer**

**Dr. med. univ. Paolo Gasparella**

## *Eidesstattliche Erklärung*

*Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.*

Graz, am 01.06.2021

Florian Sporer eh

## **Danksagung**

Ich möchte mich bei meiner Familie, meinen Eltern Eduard und Anita und meinen beiden Geschwistern Matthias und Emanuel für die Hilfe und Unterstützung während meines Studiums, sowie beim Arbeiten an meiner Diplomarbeit bedanken.

Ein besonderer Dank gilt meinen Betreuern Dr. med. univ. Paolo Gasparella und Assoz. Prof. Priv.-Doz. Dr. med. univ. Georg Singer, die mich jederzeit tatkräftig unterstützt haben. Vielen Dank für die Geduld, die hilfreichen Ratschläge und Feedbacks.

Ein weiteres großes Dankeschön gilt meiner Freundin Magda, die immer für mich da ist.

# Inhaltsverzeichnis

|   |      |
|---|------|
| Eidesstattliche Erklärung.....                                      | ii   |
| Danksagungen .....  | iii  |
| Inhaltsverzeichnis .....  | iv   |
| Abkürzungen und deren Erklärung.....                                | vi   |
| Abbildungsverzeichnis.....  | vii  |
| Tabellenverzeichnis.....  | viii |
| Zusammenfassung .....   | ix   |
| Abstract .....  | xi   |
| <br>  |      |
| 1 Einleitung .....  | 1    |
| 1.1 Anatomie des Unterarms .....                                    | 1    |
| 1.1.1 Knochen des Unterarms .....                                   | 1    |
| 1.1.2 Muskeln des Unterarms.....                                    | 4    |
| 1.1.3 GefäÙe des Unterarms .....                                    | 6    |
| 1.1.4 Nerven des Unterarms.....                                     | 7    |
| 1.2 Frakturen im Bereich des Unterarms .....                        | 8    |
| 1.2.1 Epidemiologie .....   | 8    |
| 1.2.2 Diagnostik.....   | 9    |
| 1.2.3 Frakturarten .....  | 10   |
| 1.2.4 Therapie .....  | 21   |
| 1.2.5 Nachsorge .....   | 22   |
| 1.2.6 Komplikationen .....  | 23   |
| 1.3 Radiologie – die negative Auswirkung der Röntgenstrahlung ..... | 24   |
| 2 Ziel der Studie .....   | 26   |
| 3 Material und Methoden .....                                       | 27   |
| 3.1 Ethikkommission .....   | 27   |
| 3.2 Studiendesign .....   | 27   |
| 3.3 Studienpopulation .....   | 28   |
| 3.3.1 Einschlusskriterien.....                                      | 28   |
| 3.3.2 Ausschlusskriterien.....                                      | 28   |
| 3.4 Datenerhebung .....   | 29   |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 3.5   | Studienmethoden .....                               | 30 |
| 4     | Ergebnis .....                                      | 31 |
| 4.1   | Patient*innen .....                                 | 31 |
| 4.2   | Unfallursache .....                                 | 33 |
| 4.3   | Genauere Frakturarten .....                         | 34 |
| 4.4   | Operationsdauer und postoperatives Management ..... | 35 |
| 4.5   | Röntgenkontrollen und deren Konsequenz .....        | 38 |
| 4.5.1 | 1. Röntgenkontrolle .....                           | 40 |
| 4.5.2 | 2. Röntgenkontrolle .....                           | 41 |
| 4.5.3 | 3. Röntgenkontrolle .....                           | 42 |
| 4.5.4 | 4. Röntgenkontrolle .....                           | 44 |
| 4.5.5 | 5. Röntgenkontrolle .....                           | 45 |
| 4.5.6 | 6. Röntgenkontrolle .....                           | 46 |
| 4.5.7 | 7. Röntgenkontrolle .....                           | 47 |
| 5     | Diskussion .....                                    | 48 |
| 6     | Schlussfolgerung .....                              | 54 |
| 7     | Literaturverzeichnis .....                          | 55 |

## Abkürzungen und deren Erklärung

|        |  |
|--------|--|
| %      | Prozent                                  |
| bzw.   | beziehungsweise                          |
| ca.    | zirka                                    |
| CT     | Computertomographie                      |
| ESIN   | elastisch-stabiler intramedullärer Nagel |
| et al. | et alii                                  |
| M.     | Musculus                                 |
| mGy    | Milligray                                |
| min.   | Minuten                                  |
| Nr.    | Nummer                                   |
| R.     | Ramus                                    |
| Range  | Spannweite                               |
| SD     | Standard deviation (Standardabweichung)  |

## Abbildungsverzeichnis

|  |    |
|--|----|
| Abbildung 1: Monteggia-Fraktur rechts bei 7-jährigem Patienten.....    | 13 |
| Abbildung 2: Kontrollröntgen einer Monteggia-Fraktur .....             | 13 |
| Abbildung 3: Radiushalsfraktur linker Arm eines Kindes .....           | 14 |
| Abbildung 4: Kontrollröntgen einer Radiushalsfraktur .....             | 15 |
| Abbildung 5: Grünholzfraktur bei 11-jähriger Patientin .....           | 16 |
| Abbildung 6: Röntgenkontrolle einer Grünholzfraktur.....               | 17 |
| Abbildung 7: Röntgenbild einer vollständigen Unterarmfraktur .....     | 18 |
| Abbildung 8: Operativ versorgte Unterarmfraktur .....                  | 18 |
| Abbildung 9: Röntgenbild einer distalen Unterarmfraktur .....          | 19 |
| Abbildung 10: Röntgenbild einer Galeazzi-Fraktur .....                 | 20 |
| Abbildung 11: Röntgenkontrolle einer Galeazzi-Fraktur .....            | 20 |
| Abbildung 12: Geschlechtsverteilung der Studienpopulation .....        | 31 |
| Abbildung 13: Altersverteilung der Studienpopulation .....             | 32 |
| Abbildung 14: Unfallursachen .....                                     | 33 |
| Abbildung 15: Verteilung zw. linker/rechter Unterarmfraktur .....      | 34 |
| Abbildung 16: Operationsdauer.....                                     | 35 |
| Abbildung 17: Verweildauer des ESIN in situ (Säulendiagramm).....      | 36 |
| Abbildung 18: Verweildauer des ESIN in situ (Box-Plot) .....           | 36 |
| Abbildung 19: Operationsdauer Metallentfernung .....                   | 37 |
| Abbildung 20: Anzahl an postoperativen Röntgenkontrollen .....         | 38 |
| Abbildung 21: Durchschnittlicher Zeitpunkt der Röntgenkontrollen ..... | 39 |
| Abbildung 22: 1. Röntgenkontrolle .....                                | 40 |
| Abbildung 23: 2. Röntgenkontrolle .....                                | 42 |
| Abbildung 24: 3. Röntgenkontrolle .....                                | 43 |
| Abbildung 25: 4. Röntgenkontrolle .....                                | 45 |
| Abbildung 26: 5. Röntgenkontrolle .....                                | 46 |
| Abbildung 27: 6. Röntgenkontrolle .....                                | 47 |

## Tabellenverzeichnis

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| Tabelle 1: AO-Klassifikation .....    | 11 |
| Tabelle 2: Li-La-Klassifikation ..... | 11 |
| Tabelle 3: Frakturarten .....         | 34 |
| Tabelle 4: 1. Röntgenkontrolle .....  | 40 |
| Tabelle 5: 2. Röntgenkontrolle .....  | 41 |
| Tabelle 6: 3. Röntgenkontrolle .....  | 42 |
| Tabelle 7: 4. Röntgenkontrolle .....  | 44 |
| Tabelle 8: 5. Röntgenkontrolle .....  | 45 |
| Tabelle 9: 6. Röntgenkontrolle .....  | 46 |

# **Zusammenfassung**

## **Einleitung**

Ionisierende Strahlung hat negative Effekte auf den menschlichen Körper, insbesondere auf Kinder und Jugendliche. So kann es beispielsweise zu Schäden der DNA oder zur Bildung von Tumoren kommen. Deshalb gilt es sowohl in der Diagnostik als auch in der Nachsorge die Dosis an ionisierender Strahlung möglichst gering zu halten. Strenge Indikationen und genaue Nachsorgeprotokolle können helfen einen guten Kompromiss zwischen tolerabler Strahlenbelastung ohne Einbußen in der Qualität der Behandlung zu erreichen. Diese Diplomarbeit beschäftigt sich mit der klinischen Konsequenz der radiologischen Nachkontrollen bei Kindern und Jugendlichen nach Unterarmfrakturen, welche mittels elastisch-stabiler intramedullärer Nagelung (ESIN) versorgt wurden. Es wurde erhoben, zu welchen postoperativen Zeitpunkten die radiologischen Kontrollen durchgeführt wurden und welche klinischen Konsequenzen daraus resultierten.

## **Patient\*innen und Methoden**

Radiologische Nachkontrollen von 197 Kindern und Jugendlichen, welche an der Universitätsklinik für Kinder- und Jugendchirurgie Graz im Zeitraum zwischen 2015 bis 2017 mit Unterarmschaftfrakturen operativ mittels ESIN behandelt wurden, konnten in die Studie eingeschlossen werden. Neben patient\*innenbezogenen Parametern, wie beispielsweise Alter, Geschlecht, Unfallursache und Frakturart, wurden die Anzahl sowie die postoperativen Zeitpunkte der radiologischen Nachkontrollen erhoben und die daraus resultierenden klinischen Konsequenzen notiert.

## **Ergebnisse**

52% aller Patient\*innen zogen sich eine dislozierte Unterarmschaftfraktur zu. Die restlichen Frakturen verteilen sich auf die Monteggia-Fraktur (9,6%), die Grünholzfraktur (9,1%), die sekundär dislozierte Unterarmschaftfraktur (7%), Radiushalsfraktur (7%) distale Unterarmfraktur (5,6%) und einigen seltenen Frakturarten.

Bei 107 Patient\*innen (54,3%) wurden vier radiologische Nachkontrollen durchgeführt. Bei 40 Personen (20,3%) wurden drei und bei 38 (19,3%) fünf Nachkontrollen gemacht. Seltener wurden zwei (2,5%), sechs (3%) und sieben (0,5%) Nachkontrollen durchgeführt.

Die erste Kontrolle erfolgte im Durchschnitt am 2. Tag (Standardabweichung (SD)  $\pm$  2) bei allen Patient\*innen, die zweite am 23. Tag (SD  $\pm$  26) bei allen Patient\*innen, die dritte am 68. Tag (SD  $\pm$  64) bei 97% der Patient\*innen. Bei den verbleibenden Patient\*innen wurde die vierte Nachkontrolle am 144. Tag (SD  $\pm$  81), die fünfte am 203. Tag (SD  $\pm$  104), die sechste am 214. Tag (SD  $\pm$  72) und die siebte am 351. Tag. Dabei hatte die zweite und vierte Kontrolle jeweils bei einem Patienten eine klinische Konsequenz.

## **Diskussion**

Da die radiologischen Kontrollen in dieser Studie nur sehr selten klinische Konsequenzen nach sich zogen, wird ein neues effizienteres Nachsorgeprotokoll mit im Sinne der Strahlenhygiene optimierter Anzahl an radiologischen Kontrollen entwickelt. Die angedachten Kontrollen könnten auf zwei reduziert werden und eventuell nach einem Monat und nach fünf Monaten durchgeführt werden.

# **Abstract**

## **Introduction**

Ionizing radiation, which includes X-rays, have negative effects on the human body, especially on children and adolescents. For example, it can cause damage to DNA or lead to the formation of tumors. Hence, it is important to reduce the dose of ionizing radiation as much as possible, both in diagnostics and in follow-up care. Therefore, strict indications and precise follow-up protocols should be established in order to achieve a good compromise between tolerable radiation exposure without compromising the quality of postoperative treatment. This topic is addressed in this thesis, which analyzed the clinical consequences of radiological follow-up in children and adolescents after forearm fractures operated by ESIN. It was determined at which postoperative time points radiological examinations are essential and, on the other hand, can be saved.

## **Patients and Methods**

This paper analyzes the radiological follow-up data of 197 children and adolescents, who underwent surgical treatment of forearm shaft fractures with an elastic-stable intramedullary nail at the Department of Pediatric and Adolescent Surgery at the Medical University of Graz between 2015 and 2017. In addition to patient-related parameters, such as age, gender, cause of accident and type of fracture, the number as well as the postoperative time points of radiological follow-up were collected and the resulting clinical consequences were investigated.

## **Results**

52% of all patients suffered from a dislocated forearm shaft fracture. The remaining fractures were distributed among the following fracture types: Monteggia fracture (9.6%), Greenstick fracture (9.1%), secondary displaced forearm shaft fracture (7%), radial neck fracture (7%), distal forearm fracture (5.6%) and some rare fracture types.

In 107 (54.3%) patients radiological follow-up was performed four times. Three follow-up visits were made in 40 children (20.3%) and five in 38 (19.3%). Less frequently, two (2.5%), six (3%), or seven (0.5%) follow-up visits were done.

On average, the first follow-up was performed on day 2 (SD  $\pm$  2) in all patients, the second on day 23 (SD  $\pm$  26) in all patients, and the third on day 68 (SD  $\pm$  64) in 97% of patients. In the remaining patients, the fourth follow-up was performed on the 144<sup>th</sup> (SD  $\pm$  81) day, the fifth on the 203<sup>rd</sup> (SD  $\pm$  104), the sixth on the 214<sup>th</sup> (SD  $\pm$  72) day, and the seventh on the 351<sup>st</sup> day. Thereby, the second and fourth control had a clinical consequence in one patient, respectively.

## **Discussion**

Because the radiological control examinations in this study rarely resulted in clinical consequences, a new more efficient follow-up protocol with an optimized number of radiological controls in terms of radiation hygiene will be developed. The intended controls could be reduced to two and could be performed after one month and after five months.

# 1 Einleitung

## 1.1 Anatomie des Unterarms

### 1.1.1 Knochen des Unterarms

Knöchern besteht der Unterarm aus 2 Röhrenknochen, sogenannte Ossa longa, nämlich dem Radius und der Ulna. Lange Röhrenknochen setzen sich aus einer Diaphyse und einer Epiphyse zusammen. Die Diaphyse wiederum besteht aus einer harten Wand, der sogenannten Kortikalis und dem im inneren liegenden Markraum, der Cavitas medullaris. Die Kortikalis ist einerseits für die Stabilität des Knochens verantwortlich und andererseits verleiht sie dem Knochen seine Biegungs- und Tragfähigkeit. Die Cavitas medullaris ist in der kindlichen Entwicklung für die Produktion von roten Blutzellen verantwortlich und wandelt sich im Laufe des Lebens zum gelben Fettgewebe um. Die Epiphyse besteht nur aus einer dünnen Kortikalis, welche mit der Substantia spongiosa gefüllt ist. Die Substantia spongiosa bleibt auch beim Erwachsenen für die Produktion der roten Blutkörperchen mitverantwortlich. Zwischen Diaphyse und Epiphyse befindet sich beim kindlichen Knochen die Metaphyse mit der Wachstumsfuge, die für das Längenwachstum des Knochens verantwortlich ist (1,2).

Der Radius und die Ulna sind in ihrer Form zwei gegengleiche Knochen. Das heißt, dass der Radius ein schmales proximales, dafür aber ein kräftiges distales Ende hat. Das proximale Ende der Ulna ist im Gegensatz dazu kräftig und das distale Ende zart gebaut. Auffällig dabei ist, dass die kräftig gebauten Enden jeweils über den anderen Knochen hinausragen. So ist der Radius distal länger als die Ulna und umgekehrt die Ulna am proximalen Ende (2).

### 1.1.1.1 Radius, Speiche

Der Radius befindet sich in Supinationsstellung (Neutral-Null-Stellung) lateral der Ulna und bleibt bei der Rotation distal daumenseitig. Prinzipiell besteht er aus einer Diaphyse und den beiden Epiphysen. Das proximale Ende wird durch den Radiuskopf, Caput radii, gebildet. Dieses steht mit der konkaven Fovea articularis mit dem Capitulum humeri in Verbindung, welche gemeinsam die Articulatio humeroradialis bilden. Das Caput radii wird von der Circumferentia articularis umgeben und schließt mit dem Collum radii ab. Die Circumferentia articularis bildet mit der Incisura radialis das proximale Drehgelenk, Articulatio radioulnaris proximalis, des Unterarms. Weiters befindet sich am proximalen Ende des Radius die Tuberositas radii, welche als Ansatzpunkt für den Musculus biceps brachii dient (2,3).

Das Corpus radii ähnelt im Querschnitt einem Dreieck, welches durch die drei Kanten, den Margo anterior, posterior und interosseus gebildet wird. Die dadurch entstehenden Facies anterior, posterior und lateralis bieten Ursprungs- und Ansatzpunkte für die verschiedenen Muskelgruppen des Unterarms. Der Margo interosseus des Radius steht über die Membrana interossea antebrachii mit dem Margo interosseus der Ulna in Verbindung. Die Membrana interossea antebrachii ist eine starke Bindegewebsplatte, eine sogenannte Syndesmose. Der Großteil der Fasern verläuft vom Radius nach distal zur Ulna und hat zwei wichtige Funktionen. Einerseits vergrößern diese Fasern die Ansatzfläche für die Muskulatur, andererseits verhindern sie eine Längsverschiebung der beiden Knochen (2–4).

Das distale Ende des Radius steht über die Facies articularis carpalis in Verbindung mit zwei Handwurzelknochen, dem Os scaphoideum und dem Os lunatum. Diese bilden gemeinsam das Articulatio radiocarpalis. Lateral der Gelenksfläche befindet sich der prominente Processus styloideus radii und medial geht die Facies articularis carpalis in die Incisura ulnaris über. Die Incisura ulnaris bildet mit dem Caput ulnae das distale Radgelenk, Articulatio radioulnaris distalis, welches gemeinsam mit dem Articulatio radioulnaris proximalis für die Pro- und Supinationsbewegung verantwortlich ist. Ein weiterer markanter Punkt am distalen Radius ist das Tuberculum dorsale radii (Listeri), welches die Sehnen der Extensorengruppe trennt (2,3).

### 1.1.1.2 Ulna, Elle

Die Ulna liegt medial des Radius und besteht, wie der Radius, aus einer Diaphyse und zwei Epiphysen. Die proximale Epiphyse wird zum Großteil vom Olecranon gebildet. Das C-förmige Olecranon bildet die Incisura trochlearis, welche gemeinsam mit der Trochlea humeri die Articulatio humeroulnaris bildet. Nach ventral geht die Gelenksfläche in den Processus coronoideus über. Lateral des Processus coronoideus befindet sich die Incisura radialis, welche Kontakt mit dem Radiuskopf hat. Ein wenig distal des Processus coronoideus befindet sich die Tuberositas ulnae, die als Ansatzpunkt für den M. brachialis dient (2,3).

Wie auch der Radiuschaft erinnert der Ulnaschaft im Querschnitt an ein Dreieck. Dieses Dreieck wird vom Margo anterior, posterior und interosseus gebildet. Die zwischen diesen Kanten liegenden Flächen, nämlich die Facies anterior, posterior und medialis bieten Platz für die Ursprungs- und Ansatzpunkte von Unterarmmuskeln (2,3).

Distal endet die Ulna im sogenannten Ulnakopf, dem Caput ulnae. Mit dem Caput ulnae steht die Ulna mit der Mittelhand, sowie dem Radius in Verbindung. Mit der Mittelhand steht die Ulna nicht direkt in Kontakt, sondern über den Discus articularis sive ulnocarpalis (Discus triangularis). Der Discus zieht vom Radius nach medial zum Processus styloideus ulnae und artikuliert mit dem Os lunatum bzw. dem Os triquetrum und bildet den ulnaren Anteil der Articulatio radiocarpalis (2–4).

## 1.1.2 Muskeln des Unterarms

Am Unterarm finden sich 20 einzelne Muskeln, die in drei Gruppen zusammengefasst werden können, nämlich die Flexoren-, Extensoren- und die brachioradiale Muskelgruppe. Die reine Anzahl an verschiedenen Muskeln ermöglicht unter anderem eine gezielte, individuelle Ansteuerbarkeit der Finger. Neben den Handgelenksstabilisatoren entspringt ein Großteil der Fingermuskulatur am Unterarm und ermöglicht somit ein besseres Greifen und Tasten der vergleichsweise dünnen Finger (5,6).

### 1.1.2.1 Flexorengruppe

Die Flexorengruppe kann in eine oberflächliche und tiefe Gruppe weiter unterteilt werden. Die oberflächliche Flexorengruppe entspringt am Epicondylus medialis des Humerus und setzt am Radius, an den Handwurzelknochen, an den Mittelhandknochen und an der Palmaraponeurose an. Zu dieser Muskelgruppe gehören der Musculus pronator teres, Musculus flexor digitorum superficialis, Musculus flexor carpi radialis, Musculus flexor carpi ulnaris, Musculus palmaris longus. Diese Muskelgruppe hat in den unterschiedlichen Gelenken verschiedene Funktionen. Sie unterstützen die Flexion im Ellbogengelenk und sind für die Pronation mitverantwortlich. Im Handgelenk machen diese Muskeln eine Flexion, Radial- oder Ulnarabduktion. Außerdem flektiert die oberflächliche Flexorengruppe in der Grund- und Mittelphalanx die Finger II-V. Innerviert wird diese Muskelgruppe vom Nervus medianus mit der Ausnahme des Musculus flexor carpi ulnaris, welcher vom Nervus ulnaris innerviert wird (5,6).

Die Muskeln der tiefen Flexorengruppe haben ihren Ursprung am Radius, Ulna und der Membrana interossea und setzen an der palmaren Seite der Endphalanx der Finger sowie am distalen Radius an. Zu dieser Gruppe zählen der Musculus flexor digitorum profundus, Musculus flexor pollicis longus und der Musculus pronator quadratus. Die Funktionen, die diese Muskelgruppe übernehmen, sind einerseits die Pronation und andererseits die Flexion im Hand-, Grund-, Mittel-, und Endgelenk der

Finger. Diese drei Muskeln werden vom Nervus medianus und der Musculus flexor digitorum profundus zusätzlich von Nervus ulnaris innerviert (5,6).

#### 1.1.2.2 Extensorengruppe

Der Gegenspieler der Flexorengruppe ist die Extensorengruppe, welche auch in eine tiefe und eine oberflächliche Gruppe unterteilt werden kann. Es gibt drei oberflächliche Extensorenmuskeln am Unterarm, nämlich den Musculus extensor digitorum, Musculus extensor digiti minimi und Musculus extensor carpi ulnaris. Ansatzpunkte dieser Muskelgruppe sind der Epicondylus lateralis des Humerus und die dorsale Seite der Ulna. Diese Muskeln strahlen in die Dorsalaponeurose des II bis V Fingers ein und der Musculus extensor carpi ulnaris setzt an der Basis des Os metacarpale V an. Die Funktion, die diese Muskeln mit übernehmen, sind die Dorsalextension und Ulnarabduktion im Handgelenk, sowie die Extension im Grund-, Mittel-, und Endgelenk des II bis V Fingers. Sowohl die oberflächlichen als auch die tiefen Muskeln der Extensorengruppe werden vom Nervus radialis innerviert (5,6).

Die tiefen Extensorenmuskeln haben ihren Ursprung an der dorsalen Seite des Radius, der Ulna und der Membrana interossea. Ausnahme ist der Musculus supinator, der vom Olecranon und vom Epicondylus lateralis bis zum Radius zieht und die Supination ermöglicht. Der Musculus abductor pollicis longus, Musculus extensor pollicis brevis, Musculus extensor pollicis longus setzen an der Basis des End-, Grundphalanx und an der Basis des Os metacarpale I an. Sie machen eine Extension im Handgelenk, Daumensattelgelenk, und im Grund- und Endgelenk des Daumens. Ein eigenständiger Muskel der tiefen Extensorengruppe ist der Musculus extensor indicis, der in die Dorsalaponeurose des 2. Fingers einstrahlt und die Dorsalextension im Hand-, Grund-, Mittel-, und Endgelenk des 2. Fingers gewährleistet (5,6).

### 1.1.2.3 Brachioradiale Muskelgruppe

Die brachioradiale Muskelgruppe, welche auch Radialismuskulatur genannt wird, setzt sich aus drei Muskeln zusammen: Dem Musculus brachioradialis, Musculus extensor carpi radialis longus und Musculus extensor carpi radialis brevis. Diese drei Muskeln haben ihren Ursprung an der lateralen Seite des distalen Humerus sowie am Epicondylus lateralis des Humerus. Die brachioradialen Muskeln liegen über der Extensorengruppe und haben ihren Ansatzpunkt am Processus styloideus radii, an der dorsalen Basis des Os metacarpale II und III. Da diese Muskelgruppe über mehrere Gelenke zieht, hat sie dementsprechend auch in jedem Gelenk eine Funktion. Im Ellbogengelenk beteiligt sie sich an der Flexion, in den Radioulnargelenken an der Pronation und im Handgelenk an der Dorsalflexion sowie Radialabduktion. Die nervale Innervation übernimmt der Nervus radialis (5,6).

### 1.1.3 Gefäße des Unterarms

Es gibt drei größere Gefäße am Unterarm, nämlich die Arteria radialis, Arteria ulnaris und die Arteria interossea communis. Alle diese Arterien entspringen aus der Arteria brachialis, die an der ventralen Seite des Oberarms nach distal zieht. Auf Höhe des Ellbogengelenkes gibt die Arteria brachialis als erstes die Arteria radialis ab, welche an der radialen Kante des Radius mit dem Musculus brachioradialis nach distal zieht. Kurz nach der Abzweigung der Arterie radialis aus der Arterie brachialis gibt diese die Arteria recurrens radialis ab, welche nach proximal zum Oberarm zurückläuft. Kurz nachdem die Arteria brachialis die Arteria radialis abgegeben hat, teilt sie sich in die Arteria ulnaris und in die Arteria interossea communis auf. Die Arteria ulnaris gibt die Arteria recurrens ulnaris ab und zieht dann gemeinsam mit dem Musculus flexor carpi ulnaris nach distal, wo sie zusammen mit der Arteria radialis den Arcus palmaris bilden (7,8).

Die Arteria interossea communis teilt sich in die Arteria interossea anterior und in die Arteria interossea posterior auf. Letztere gibt noch die Arterie interossea recurrens ab. Die Arterie interossea anterior verläuft an der anterioren Seite der Membrana interossea nach distal, wo sie die Membran auf der Höhe des Musculus pronator

quadratus durchbricht und das Rete carpale dorsale bildet. Die Arterie interossea posterior verläuft an der posterioren Seite der Membrana interossea und mündet auch in das Rete carpale dorsale (7,8).

#### 1.1.4 Nerven des Unterarms

Die Nerven, die dem Unterarm sowohl motorisch als auch sensibel innervieren, kommen aus dem Plexus brachialis. Der Plexus brachialis wiederum bildet sich aus der Radix anterior und posterior der Spinalnerven C5 – Th1. Insgesamt entspringen aus dem Plexus brachialis alle Nerven, die die obere Extremität (Brust, Schulter, Arm) versorgen. Am Unterarm spielen allerdings nur die fünf langen Äste des Plexus brachialis, nämlich der Nervus musculocutaneus, Nervus radialis, Nervus medianus und Nervus ulnaris, eine Rolle. Der Nervus musculocutaneus stammt aus den Segmenten C5-C7 und versorgt neben Muskeln am Oberarm auch die Haut am lateralen Unterarm durch den Nervus cutaneus antebrachii lateralis. Der Nervus axillaris hat keine motorische Innervation am Unterarm. Auch er geht in einen sensiblen Nerv über, dem Nervus cutaneus antebrachii medialis, über den er die mediale Hälfte der Haut am Unterarm versorgt. Ein wichtiger Unterarmnerv ist der Nervus radialis, welcher Anteile aus den Segmenten C6-Th1 erhält. Dieser Nerv versorgt zum Großteil die Extensoren am Unterarm motorisch, aber auch Teile des dorsalen Unterarms und der Handrückseite sensibel. Aus den Segmenten C6-Th1 entspringt der Nervus medianus, welcher wie oben erwähnt, gemeinsam mit dem Nervus ulnaris die Flexoren am Unterarm innerviert. Der sensible Anteil dieses Nervs ist von Bedeutung, da er palmarseitig die ersten dreieinhalb Finger (Daumen, Zeige-, Mittel- und die Hälfte des Ringfingers) innerviert. Der Ring- und Kleinfinger werden zur Gänze vom Nervus ulnaris versorgt, welcher aus den Segmenten C8-Th1 kommt (9,10).

## 1.2 Frakturen im Bereich des Unterarms

### 1.2.1 Epidemiologie

Frakturen der langen Röhrenknochen kommen bei Kindern und Jugendlichen häufig vor. Männliche Kinder und Jugendliche ziehen sich im Vergleich zu Mädchen und jungen Frauen häufiger Frakturen zu. Die obere Extremität ist mit zirka 75% aller Frakturen der langen Röhrenknochen in dieser Altersgruppe am häufigsten betroffen (11).

Der Anteil der Unterarmfrakturen liegt bei 55%. Davon sind in ca. 2,5% bis 5% der Fälle der proximale Unterarm, sprich eine Fraktur des Radiuskopfes, des Radiushalses und des Olecranon, betroffen. Bei den proximalen Unterarmfrakturen ist keine Zuordnung zu einer speziellen Altersgruppe möglich. Die Fraktur des Unterarmschaftes wird in ca. 10% der Fälle diagnostiziert. Auffallend ist, dass die Schaftfrakturen zu 37% Grünholzfrakturen sind. Die Fraktur des Unterarmschaftes ist in allen Altersgruppen ungefähr gleich verteilt. Am häufigsten kommt es zu Verletzungen des distalen Unterarms, mit bis zu 40%. Diesen Frakturtyp sieht man typischerweise bei Kindern um das sechste Lebensjahr und bei Jugendlichen nach dem 13 Lebensjahr (11).

Die häufigste Ursache für eine Fraktur der oberen Extremität ist ein Sportunfall (38,5%), gefolgt von Unfällen zu Hause (23%), Unfällen am Spielplatz (20%), Unfällen in der Schule (8%) und Unfälle im Verkehr (4.5%). Der Rest (6%) wird durch andere Unfälle verursacht (12).

Die Inzidenz von diaphysären Unterarmfrakturen hat in den letzten Jahren deutlich zugenommen. Im Vergleich zu den anderen Frakturen im Kindesalter, ist die Fraktur der oberen Extremität die einzige, welche eine steigende Inzidenz hat. Die distale Unterarmfraktur ist vom Jahr 2000 bis zum Jahr 2009 um das 4,4-fache angestiegen und von einem weiteren Anstieg kann ausgegangen werden (13,14).

## 1.2.2 Diagnostik

Eine kurze zielführende Anamnese gehört zu jeder Diagnostik, vor allem um das Ausmaß des Unfalles einschätzen zu können. Außerdem ist die Anamnese wichtig, um eventuelle Begleitverletzungen nicht zu übersehen. Eine genaue Inspektion hilft dann, um sich einen guten Überblick über die aktuelle Situation zu verschaffen und Entscheidung zum Procedere bzw. weiteren diagnostischen Maßnahmen zu treffen (15). Die klinische Untersuchung ist bei Frakturen und Luxationen oft auf Grund der Schmerzhaftigkeit nur eingeschränkt möglich. Jedoch ist eine Überprüfung der Motorik, Sensibilität und Durchblutung unabdingbar (15).

Die Diagnose Unterarmfraktur wird mit Hilfe eines Röntgenbildes in zwei Ebenen, anterior-posterior und seitlich, gestellt. Besteht der Verdacht einer Fraktur mit Gelenksbeteiligung sollte zusätzlich ein Röntgen in zwei Ebenen der begrenzenden Gelenke gemacht werden. Ein Beispiel dafür ist die Monteggia-Fraktur bei der möglicherweise nur die Ulnaschaftfraktur radiologisch erkannt und die Luxation des Radiuskopfes übersehen wird. Mit Hilfe des Röntgenbildes können die weiteren therapeutischen Schritte geplant werden (15).

### 1.2.3 Frakturarten

#### 1.2.3.1 Klassifikation und Einteilung der Unterarmfrakturen im Wachstumsalter

Frakturen im Kindesalter unterscheiden sich von Frakturen bei Erwachsenen, da bei Kindern und Jugendlichen die Wachstumsfugen offen sind. Daher werden die Klassifikationssysteme dementsprechend angepasst (16).

Es gibt zwei verschiedene Systeme, nach denen die kindlichen Frakturen eingeteilt werden. Erstens die von den Erwachsenen angepasste AO-Klassifikation (17,18) und zweitens die Li-La-Klassifikation (15).

Die AO-Klassifikation im Kindesalter ist weltweit gültig und ist die an die kindlichen Besonderheiten angepasste Version der AO-Klassifikation nach Müller (19).

Die AO-Klassifikation beschreibt über einen sechsstelligen Code, welcher in Tabelle 1 zusammengefasst ist, die genaue Fraktur.

Die 1. Stelle beschreibt den betroffenen Knochen im Körper. Alle Knochen wurden vorab mit einer eigenen Nummer versehen (z.B. 1=Humerus, 2=Radius/Ulna, usw.). Die 2. Stelle gibt Information über die Lage der Fraktur am Knochen (1=proximal, 2=diaphysär, 3=distal). Die 3. Stelle gibt an, ob es sich um eine Fraktur der Epiphyse (E), der Metaphyse (M) oder der Diaphyse (D) handelt. Die 4. Stelle dient zur genaueren Beschreibung der 3. Stelle.

So können die Frakturen im Bereich der Epiphyse in neun Untergruppen eingeteilt werden, wobei E/1-E/4 der Salter-Harris-Klassifikation entsprechen (20). E/5-E/9 stehen für weitere Frakturen, welche im epiphysären Bereich auftreten können.

Metaphysäre Frakturen können in drei weitere Untergruppen unterteilt werden. Die M/1 Frakturen sind die Wulst-, Spiral- und Grünholzfrakturen. Die vollständigen Frakturen werden der Gruppe M/2 zugeordnet und alle weiteren in die Gruppe M/3 eingeteilt.

Die Schafffrakturen werden nach der Frakturart unterschieden, nämlich die Bowing Fractures als D/1, die Grünholzfrakturen als D/2, die Toddlers-Frakturen als D/3, die kompletten Querfrakturen als D/4, die kompletten Schräg- und Spiralfrakturen als D/5, die Monteggia-Verletzungen als D/6 und die Galeazzi-Verletzungen als D/7. Die 5. Stelle der AO-Klassifikation beschreibt die Komplexität der Fraktur. Hier

differenziert man zwischen einfachen Frakturen (1), Keilfrakturen bzw. partiell instabilen Frakturen (2) und vollständig instabilen Frakturen (3).

Die 6. Stelle gibt Information über die Angulation oder Dislokation der Fraktur und kann als Grundlage zur Therapieplanung herangezogen werden. Die Zahl 1 beschreibt keine Angulation oder Dislokation. Die Zahl 2 steht für Angulation mit Dislokation weniger als eine halbe Schaftbreite und 3 für Angulation mit Dislokation mehr als eine halbe Schaftbreite.

So ist zum Beispiel die Kennzeichnung nach der AO-Klassifikation von einer diaphysären, undislozierten, einfachen Radius-Grünholzfraktur folgende: 2,2,D/2,1,2 (17,18).

| 1. Stelle          | 2. Stelle                   | 3. Stelle                     | 4. Stelle                         | 5. Stelle               | 6. Stelle        |
|--------------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|------------------|
| Knochen im Skelett | proximal, diaphysär, distal | Epiphyse, Metaphyse, Diaphyse | Genaue Beschreibung der 3. Stelle | Komplexität der Fraktur | Dislokationsgrad |

*Tabelle 1: Erklärung des sechsstelligen Codes der AO-Klassifikation*

Die Li-La-Klassifikation für Frakturen im Kindesalter lehnt sich dem Aufbau der AO-Klassifikation an. Der größte Unterschied liegt darin, dass die Li-La-Klassifikation eine strenge Trennung zwischen Gelenks- und Schaftfrakturen vornimmt.

Die Tabelle 2 gibt eine Übersicht über die Bedeutung der einzelnen Stellen dieser Klassifikation. Die ersten beiden Stellen stehen hier auch für den Knochen und die dortige Lokalisation. Die 3. und 4. Stelle sind für die Differenzierung zwischen Gelenks- und Schaftfrakturen verantwortlich und die 5. Stelle steht für die Tolerabilität der Dislokation. Die 6. Stelle wird nur bei paarigen Knochen verwendet, um zu beschreiben welcher der beiden Knochen betroffen ist (15,16).

| 1. Stelle               | 2. Stelle               | 3. Stelle                 | 4. Stelle                           | 5. Stelle                     | 6. Stelle       |
|-------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|-----------------|
| Lokalisation im Skelett | Lokalisation im Knochen | Morphologie Gelenk/Schaft | Spezielle Morphologie Gelenk/Schaft | Tolerabilität der Dislokation | Paarige Knochen |

*Tabelle 2: Erklärung des sechsstelligen Codes der Li-La-Klassifikation*

### 1.2.3.2 Monteggia-Fraktur

Die Monteggia-Fraktur zählt zu den Kombinationsverletzungen, darunter versteht man Verletzungen, die sich sowohl aus einer Fraktur als auch aus einer Luxation zusammensetzen. Ein Beispiel einer Monteggia-Fraktur ist in Abbildung 1 ersichtlich. Am häufigsten betroffen sind Kinder im Alter von neun Jahren (15).

Die Monteggia-Fraktur kann in mehrere Varianten eingeteilt werden. Die typische Monteggia-Fraktur setzt sich aus einer Fraktur der Ulna, welche entweder eine Grünholzfraktur oder eine vollständige Schaftfraktur sein kann, und einer Luxation des Radiuskopfes zusammen. Der Radiuskopf luxiert dabei meistens nach radial oder ventral, selten nach dorsal. Bei der zweiten Variante bricht der Ulnaschaft, der Radiuskopf ist allerdings nicht nur luxiert, sondern frakturiert und disloziert. Die nächste Variante ist eine „Bowling Fracture“ der Ulna kombiniert mit einer Luxation des Radiuskopfes. Bei der letzten Variante kommt es auch zu einer Luxation des Radiuskopfes. Des Weiteren frakturiert hier die Ulna auf der Höhe des Olecranon. Alternativ kann die Monteggia-Fraktur abhängig von der Luxations-Ebene (anterior, lateral oder posterior) nach Bado klassifiziert werden (15,21).

Die Therapie unterscheidet sich je nach Konstellationen der Monteggia-Fraktur. Bei der typischen Monteggia-Fraktur ist es wichtig, initial die Fehlstellung der Ulna durch eine Reposition zu korrigieren, um eine stabile anatomische Ausrichtung zu rekonstruieren. Der luxierte Radiuskopf stellt sich dann bei der geschlossenen Reposition meistens durch die Stellungskorrektur der Ulna automatisch ein. Ist die Reposition des Radiuskopfes erfolgreich, kann die Verletzung konservativ mittels Oberarmgips weiter behandelt werden. Im Fall einer instabilen Fraktur ist die Therapie der Wahl eine Osteosynthese mittels elastisch-stabilem Marknagel. Die Abbildung 2 zeigt ein Kontrollröntgen drei Monate nach der Versorgung einer Monteggia-Fraktur mittels ESIN. Olecranonfrakturen müssen ebenfalls osteosynthetisch versorgt werden (15,21).

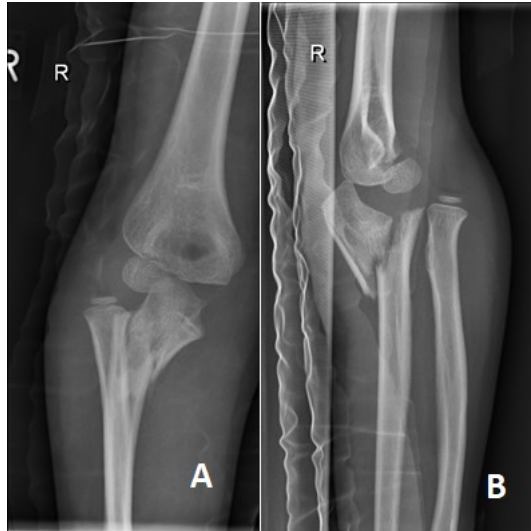


Abbildung 1: Monteggia-Fraktur rechts bei einem 7-jährigen Patienten  
 A: Anterior-Posterior Aufnahme B: Seitliche Aufnahme



Abbildung 2: Kontrollröntgen 3 Monate nach der Versorgung durch eine geschlossene Reposition und Nagelung  
 der Ulna mittels ESIN, gute Stellung  
 A: Anterior-Posterior Aufnahme B: Seitliche Aufnahme

### 1.2.3.3 Radiushalsfraktur

Die Radiushalsfraktur, wie in Abbildung 3 zu sehen, ist bei Kindern und Jugendlichen selten und macht ca. 1% aller knöchernen Verletzungen aus. Auf Grund der offenen Wachstumsfugen kann sich die radiologische Diagnostik bei diesen Frakturen allerdings oftmals als kompliziert erweisen (15).

Die Radiushalsfrakturen werden bei Kindern nach Judet in vier Typen klassifiziert. Beim Judet-Typ I handelt es sich um eine nicht dislozierte Fraktur. Dislokationen bis 30 Grad werden dem Typ II zugeteilt und Dislokationen zwischen 30 und 60 Grad dem Typ III. Alles über 60 Grad Dislokation zählt zum Typ IV (15,22).

Die Therapie der Radiushalsfraktur ist einerseits vom Alter des Patienten oder der Patientin und andererseits vom Grad der Dislokation abhängig. Kinder und Jugendliche haben ein erhebliches Potenzial für Spontankorrekturen, sodass in der Mehrheit der Fälle durch eine konservative Therapie ein zufriedenstellendes Ergebnis erreicht werden kann. Je älter der/die Patient\*in und dislozierter die Fraktur ist, umso eher ist eine operative Therapie anzustreben. Der Goldstandard der operativen Therapie der Radiushalsfraktur ist die elastisch-stabile intramedulläre Nagelung. In Abbildung 4 ist eine Radiushalsfraktur mittels ESIN versorgt zu sehen (15,22).

Die Hauptkomplikationen der operativen Sanierung sind Durchblutungsstörungen des Radiuskopfes. Weiters kann es zur Entstehung einer Pseudarthrose kommen. Durch Verklumpung bzw. Formveränderungen des Radiushalses kann eine Einschränkung in der Umwendbewegung resultieren (15,22).

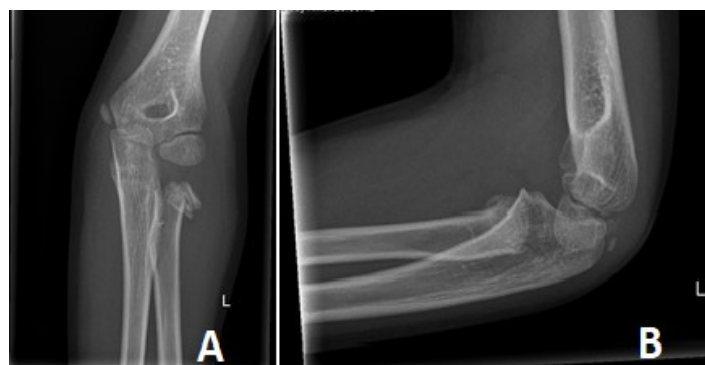


Abbildung 3: Radiushalsfraktur des linken Armes eines Kindes  
A: Anterior-Posterior Aufnahme B: Seitliche Aufnahme



Abbildung 4: Kontrollröntgen einer mittels ESIN versorgten Radiushalsfraktur, gute Stellung  
 A: Anterior-Posterior Aufnahme B: Seitliche Aufnahme

#### 1.2.3.4 Grünholzfraktur (unvollständige Unterarmfraktur)

Die unvollständigen Unterarmfrakturen machen zirka ein Drittel aller diaphysären Unterarmbrüche aus und der Häufigkeitsgipfel liegt um das achte Lebensjahr. Diese Frakturen werden in zwei Formen unterteilt, nämlich in die typische Grünholzfraktur und in die Bowing Fracture (15).

Man spricht von der sogenannten Grünholzfraktur, da der Bruch des Knochens an das Brechen eines grünen Astes erinnert, wie in Abbildung 5 gut erkennbar ist. Bei solchen Frakturen kommt es zum Verbiegen der Unterarmknochen, bis die Kortikalis an der konvexen Seite bricht. An der konkaven Seite bleibt die Kortikalis intakt. Aus diesem Grund zählt die Grünholzfraktur auch zu den stabilen Frakturen, weist aber dennoch meist eine Achsenabweichung auf. Diese Abweichungen können sekundär zunehmen und später Probleme bei der Umwendbewegung machen. Ein weiteres Problem der Grünholzfraktur ist, dass es bei der Spontanheilung nur auf der dem Defekt zugewandten Seite, also der konvexen Kortikalis-Seite, zu einer Kallusbildung kommt. Diese einseitige Knochenkonsolidierung führt zu einer partiellen Konsolidierungsstörung. Die Folge davon kann in bis zu 20-35% eine Refraktur sein. Interessant dabei ist, dass mit abnehmender Größe des Frakturspaltes das Risiko für eine Refraktur steigt. In diesem Fall muss die Grünholzfraktur durchgebrochen werden. Abbildung 6 zeigt das postoperative Röntgenbild einer durchgebrochenen

Grünholzfraktur, die mit einem ESIN versorgt wurde. Abgesehen von diesem Sonderfall gelten die typische Grünholzfraktur und die Bowing Fracture als stabile Fraktur und können damit primär konservativ versorgt werden (15).

Eine Sonderform der Grünholzfraktur ist die Bowing Fracture oder auch Biegungsfraktur, welche in eine gestauchte und eine gebogene Form unterteilt werden kann. Bei der gebogenen Grünholzfraktur kommt es zu einer Biegung des Knochens ohne einen Einriss der Kortikalis. Radiologisch erkennt man bei diesen Frakturen nur die Biegung des Knochens, jedoch keinen Frakturspalt. Diese Fraktur tritt hauptsächlich bei Kindern über dem zehnten Lebensjahr auf. Im Gegensatz dazu, tritt die gestauchte Grünholzfraktur bei Kindern unter fünf Jahren auf. Hier wird die Kortikalis auf der konkaven Seite gestaucht und an der konvexen Seite angebrochen. Sowohl bei der gebogenen als auch bei der gestauchten Fraktur kommt es auf Grund der intakten Kortikalis zu keiner Kallusbildung und somit auch zu keiner Gefahr der partiellen Konsolidierungsstörung. Es besteht kein erhöhtes Refrakturnisiko bei den Bowing Fractures (15).



Abbildung 5: 11-jährige Patientin hat sich durch einen Sturz auf einem Spielplatz eine Grünholzfraktur des Radius rechts zugezogen  
A: Anterior-Posterior Aufnahme B: Seitliche Aufnahme



Abbildung 6: Röntgenkontrolle am ersten postoperativen Tag mit durchgebrochenem Radius und Versorgung mit ESIN

A: Anterior-Posterior Aufnahme B: Seitliche Aufnahme

#### 1.2.3.5 Vollständige Unterarmfraktur

Diaphysären Frakturen machen 6% aller Frakturen aus, wobei davon ungefähr zwei Drittel vollständige Unterarmfrakturen sind. In Abbildung 7 wird eine vollständige Unterarmfraktur dargestellt. Der Altersgipfel liegt bei 10 Jahren. In diesem Bereich vorkommende Frakturtypen sind meist kurze Schräg- oder Querfrakturen. Dabei können entweder der Radius oder die Ulna isoliert frakturiert sein oder beide Knochen gemeinsam gebrochen sein. Diese Fraktur ist allgemein als instabil zu werten und bedarf in den meisten Fällen eine operative Versorgung, vorzugsweise mittels ESIN, wie in Abbildung 8 gezeigt. Von der konservativen Therapie ist bei einer instabilen Fraktur abzuraten, weil das Risiko einer sekundären Dislokation, einer Nachreposition oder einer verbleibenden Achsenfehlstellung hoch ist (15,16).



Abbildung 7: Röntgenbild von einer vollständigen Unterarmfraktur  
A: Anterior-Posterior Aufnahme B: Seitliche Aufnahme



Abbildung 8: Operativ versorgte Unterarmfraktur mit einem intramedullären Marknagel  
A: Anterior-Posterior Aufnahme B: Seitliche Aufnahme

#### 1.2.3.6 Distale Unterarmfraktur

Die distale Unterarmfraktur ist mit fast 20% aller Knochenfrakturen die häufigste. Bei Kindern und Jugendlichen tritt diese Fraktur zum Großteil im Alter von zwölf bis 13 Jahren auf. Am distalen Übergang der Diaphyse zur Metaphyse kann es zu Stauchungsfrakturen, Biegungsfrakturen, Frakturen mit Beteiligung der Wachstumsfuge, vollständigen oder unvollständigen Frakturen kommen. Am häufigsten treten hier Frakturen mit Beteiligung der Wachstumsfuge gefolgt von metaphysären Stauchungsfrakturen auf. Die anderen Frakturformen spielen eine untergeordnete Rolle. Frakturen des distalen Unterarms haben ein großes Korrekturpotential, sodass die metaphysäre Grünholzfraktur, Stauchungsfraktur und

Wulstfraktur praktisch immer konservativ versorgt werden können. Stärker dislozierte Frakturen müssen mit Kirschner-Drähten, ESIN oder Plattenosteosynthesen stabilisiert werden (15,16).

Der Vergleich von Kirschner-Drähten und vorgebogenen intramedullären Nägeln zur Versorgung distaler metaphysärer Radiusfraktur zeigt folgendes Ergebnis: Die beiden Techniken haben ähnliche Komplikationen sowie vergleichbare Ergebnisse der Umwendbewegung (23). Abbildung 9 zeigt ein Röntgenbild einer mit ESIN versorgten distalen Unterarmfraktur.



*Abbildung 9: Röntgenbild einer distalen Unterarmfraktur, welche mit einem ESIN versorgt wurde  
A: Anterior-Posterior Aufnahme B: Seitliche Aufnahme*

#### 1.2.3.7 Galeazzi-Fraktur

Galeazzi-Frakturen treten bei Kindern und Jugendlichen selten auf und dann am häufigsten im Alter von neun bis zwölf Jahre. Diese Verletzung ist eine Kombination aus einer Radiuschaftfraktur, meist im mittleren oder distalen Drittel, und einer Dislokation der Ulna im distalen Radioulnargelenk. Abbildung 10 zeigt eine solche Fraktur, in Abbildung 11 ist das Ergebnis nach der Versorgung mit ESIN nach 7 Monaten erkennbar. Auf Grund der noch offenen Wachstumsfugen beobachtet man beim Kind meist ein Galeazzi-Äquivalent, bei dem es nicht wie bei der typischen Galeazzi-Fraktur zu einem Riss der diskoligamentären Verbindungen kommt, sondern zu Verletzungen der Epiphysenfuge, was einer Salter-Harris-II-Fraktur entspricht (16,20).



Abbildung 10: Röntgenbild einer dislozierten Radiusfraktur und einer Luxation der Ulna im distalen Radioulnargelenk entsprechend einer Galeazzi-Fraktur  
 A: Anterior-Posterior Aufnahme B: Seitliche Aufnahme



Abbildung 11: 7. Monat postoperative Röntgenkontrolle einer mittels ESIN versorgten Galeazzi-Fraktur; gut konsolidierte Fraktur bei korrekter Stellung des distalen Radioulnargelenks  
 A: Anterior-Posterior Aufnahme B: Seitliche Aufnahme

#### 1.2.4 Therapie

Früher wurden die meisten Unterarmfrakturen bei Kindern konservativ behandelt. Allerdings führte diese Versorgung zu teilweise wenig zufriedenstellenden funktionellen Ergebnissen. Mit der Einführung der elastisch-stabilen Marknagelung hat sich dieser Zugang allerdings geändert und es wird heutzutage ein Großteil der Unterarmfrakturen operativ versorgt. (24) Nichtsdestotrotz spielt die konservative Therapie bei stabilen, undislozierten Frakturen eine bedeutende Rolle. Aufzupassen ist dabei lediglich auf eine Achsenfehlstellung und eine sekundäre Dislokation (25).

Die Operationindikation ist bei instabilen, nicht reponiblen, offenen Frakturen und Frakturen mit neurovaskulärer Kompression zu stellen. Es gibt verschiedene Methoden zur operativen Behandlung von Unterarmfrakturen. Dazu zählt die Plattenosteosynthese, intramedulläre Marknägel und der externe Fixateur (26). Vorteile des intramedullären Marknagels sind die kurze Operationszeit, der kurze Krankenhausaufenthalt, sowie die minimalinvasive Technik. Die kleine Inzision mit geringerer Weichteilirritation führt zu einem guten, kosmetischen Ergebnis, welches bei der Plattenosteosynthese nicht erreicht werden kann. Der intramedulläre Marknagel bietet außerdem eine gute axiale Stabilität, und demzufolge ist keine postoperative Ruhigstellung nötig. Andererseits bietet der ESIN Elastizität, was für die Knochenheilung bedeutend ist. Das funktionelle Ergebnis und die niedrige Komplikationsrate sind auch mitverantwortlich dafür, dass sich der ESIN zur Standardversorgung der Unterarmschaftfrakturen etabliert hat (26,27).

### 1.2.5 Nachsorge

Eine stabile Osteosynthese erfordert keine postoperative Ruhigstellung, demzufolge kann mit einer frühzeitigen Mobilisierung begonnen werden. Im Gegensatz dazu muss beim konservativen Vorgehen eine drei- bis vierwöchige Ruhigstellung erfolgen und in manchen Fällen zusätzlich für zwei bis drei Wochen eine Unterarmgipsschiene getragen werden. Eine Ausnahme ist die Monteggia-Fraktur, bei der trotz operativer Versorgung eine drei- bis vierwöchige Ruhigstellung empfohlen wird. Die Mobilisierung kann nach Gipsabnahme begonnen werden. Die klinischen Nachkontrollen sollten in einem drei- bis vierwöchigen Abstand erfolgen (15,16).

Die radiologischen Nachkontrollen bei einer konservativen Therapie sollten am 1., am 7.-10., und am 28. postoperativen Tag erfolgen. Bei Bedarf wird eine weitere Kontrolle empfohlen (25).

Die Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Kinderchirurgie empfehlen nach einer operativ versorgten Unterarmfraktur eine radiologische Kontrolle zur Dokumentation des Operationsergebnisses am ersten postoperativen Tag. Die nächste Nachkontrolle mit Röntgenbild sollte am 28. Tag nach der Operation erfolgen, um die Sportfreigabe zu erteilen. Laut den Leitlinien soll eine dritte radiologische Kontrolle nach dem 90. postoperativen Tag durchgeführt werden, sodass eine vollständige Durchbauung des Knochens sichergestellt werden kann. Dies senkt das Risiko einer möglichen Refraktur (25).

In einigen Fachbüchern wird lediglich ein postoperatives Röntgenbild sowie eine Konsolidierungskontrolle nach vier Wochen empfohlen. Ist die Konsolidierung ausreichend, ist keine weitere radiologische Nachkontrolle notwendig. Ist die Fraktur noch nicht vollständig durchbaut, wird eine weitere radiologische Kontrolle nach vier bis sechs Wochen angeraten. Auch hier wird alle drei bis vier Wochen eine klinische Kontrolle empfohlen (15,16).

In einer aktuellen Studie wurden die Patient\*innen sowohl klinisch als auch radiologisch nach einem Monat, drei Monaten und sechs Monaten nachkontrolliert. Dabei wurde vor der Operation ein Röntgenbild gemacht. Zur Dokumentation des Operationsergebnisses wurde das intraoperative Bild verwendet. Zur Nachsorge wurden nach ein, drei und sechs Monaten ein Röntgenbild gemacht (28).

Die Metallentfernung sollte nach Bestätigung einer vollständig durchbauten Fraktur erfolgen. Hier gibt es unterschiedliche Empfehlungen in der Literatur. So schlägt die Deutsche Gesellschaft für Kinderchirurgie eine Metallentfernung nach drei Monaten vor (27,29,30). Laut einigen anderen Studien sollte die Metallentfernung nicht vor dem sechsten Monat erfolgen, da sonst ein erhöhtes Risiko für eine erneute Fraktur besteht (28,31,32).

#### 1.2.6 Komplikationen

Die Versorgung einer Unterarmfraktur mittels ESIN ist eine gute Lösung zur Behandlung von Unterarmfrakturen, jedoch ist diese Therapie nicht frei von Komplikationen. Die Komplikationsrate, die man in der Literatur findet, variiert stark. Kruppa berichtet von einer Komplikationsrate von 8,9% und davon wurden 5,8% erneut operiert (31). Makki hat in seiner Studie insgesamt eine Komplikationsrate von 12% (32). In einer Studie von Pogorelić traten bei 8,9% der behandelten Kinder Komplikationen auf (28).

So kann es an der Austrittsstelle der Nägel zu lokalen Hautrötungen und oberflächlichen Wundinfektionen kommen. Ein weiteres Problem der Nagel-Austrittsstelle kann sein, dass es durch Reibung der Sehne des *Musculus extensor pollicis longus* zu einer Ruptur dieser Sehne kommt. Es kann auch sein, dass im Laufe der Zeit die Nägel zu wandern beginnen. Beim lateralen Zugang zum Radius kommt es öfters zu einer Schädigung des oberflächlichen Astes des *Nervus radialis*, deshalb muss bei diesem Zugang besonders achtgenommen werden. Es besteht ebenfalls die Gefahr einer Refraktur durch ein erneutes Trauma bei liegenden Nägeln (33).

Eine weitere Komplikation ist die verspätete Knochenheilung und Bildung einer Pseudarthrose. Diese tritt fast immer an der Ulna im mittleren Drittel auf (26).

Es besteht auch die Gefahr einer Refraktur und liegt laut Literatur bei zirka 5%. Grund dafür sind oftmals eine zu frühe Entfernung des osteosynthetischen Materials, offene Frakturen oder Frakturen, die offen reponiert wurden. Die Inzidenz von Refrakturen bei Metall in situ liegt in der Literatur zwischen 0,8 und 8,6%. Seltene Komplikationen sind ein Kompartmentsyndrom oder eine Osteomyelitis (34).

### 1.3 Radiologie – die negative Auswirkung der Röntgenstrahlung

Die Röntgenstrahlung zählt zu den ionisierenden Strahlen, welche auf den menschlichen Körper eine schädliche Wirkung haben kann, indem sie die Zellproliferation sowie den Zelltod beeinflusst (35). Auch die Atombombenexplosion von Hiroshima und Nagasaki, zeigt für gewissen Tumore ein erhöhtes Risiko (36).

Ungefähr 15% der ionisierenden Strahlung, die auf die Menschen einwirkt, stammen aus dem medizinischen Bereich und davon ist ein Großteil auf diagnostische Maßnahmen zurückzuführen. Im zeitlichen Trend ist ein stetiger Zuwachs an eingesetzter ionisierender Strahlung im medizinischen Bereich zu erkennen (37).

Die Auswirkungen der ionisierenden Strahlung hat auf Kinder und Jugendliche einen vermehrt negativen Effekt, da ihre Strahlensensitivität deutlich höher als jene von Erwachsenen ist. Die Strahlenexposition muss insbesondere bei Kindern geringgehalten werden, da sich die Zellen mit einer erhöhten Rate teilen. Während dieser Phase sind die Zellen am gefährdetsten für jegliche DNA-Schädigungen. Die Identifizierung von Zellen mit geschädigter DNA sowie die individuellen Reparatursysteme sind bei Kindern im Vergleich zu Erwachsenen weniger effizient. Aufgrund der längeren, relativen Lebenszeit von Kindern ist deren akkumulierendes Tumorerkrankungsrisiko erhöht. So schätzt man bei Menschen, die in der Kindheit ionisierender Strahlung ausgesetzt waren, dass ein zwei- bis dreifach erhöhtes Risiko besteht, an einem soliden Tumor zu erkranken (38).

Die Röntgenstrahlung als eine Form der ionisierenden Strahlung kann zur Bildung von freien Sauerstoffradikalen führen. Diese Sauerstoffradikale können wiederum Schäden in der DNA der Zellen verursachen. Himmetoglu et al. haben Jugendliche mit idiopathischer Skoliose, bei denen im letzten Jahr zwei Röntgenbilder der Wirbelsäule durchgeführt wurden, untersucht (38). Hier wurden vermehrt DNA-Schädigung durch oxidative Prozesse und geringere Anzahl an antioxidativen Substanzen festgestellt. Diese Vorgänge sind Hinweise auf tumorfördernde Prozesse. Darüber hinaus wurde bei den Jugendlichen eine erhöhte Aktivität von p53 festgestellt, was ein weiterer Hinweis auf röntgenvermittelte DNA-Schädigung ist (39).

Bei der Panoramaröntgenaufnahme der Zähne konnte bei Kindern keine statistisch signifikante Chromosomenschädigung nachgewiesen werden. Diese

Röntgenaufnahmen fördern jedoch die Genotoxizität in der Mundschleimhaut der untersuchten Kinder (40).

Die CT-Bildgebung ist ein wertvolles Diagnoseverfahren, welches immer mehr zum Einsatz kommt. Im Vergleich zum konventionellen Röntgen hat die CT-Untersuchung allerdings eine deutlich höhere Strahlendosis. Obwohl CT-Untersuchungen in vielen Fällen unumgänglich sind, darf man dabei nie vergessen, dass diese Untersuchung auch negative Effekte hat, insbesondere bei Kindern und Jugendlichen. So zeigt eine Studie, dass sowohl das Risiko an Leukämie als auch an Hirntumoren zu erkranken durch ionisierende Strahlung erhöht ist (40). Bei Kindern und jungen Erwachsenen, bei denen es zu einer kumulativen Strahlenbelastung von 50 mGy kommt, steigt das Leukämierisiko um das Dreifache. Bei Hirntumoren wird davon ausgegangen, dass es durch eine Strahlenbelastung von 60 mGy ebenfalls zu einer Verdreifachung des Krebsrisikos kommt. Da diese Tumore jedoch sehr selten sind, bleibt das absolute Risiko gering. In den ersten zehn Jahren nach einer Schädel-CT-Untersuchung bei Patient\*innen, die jünger als zehn Jahre waren, kommt es zu einem zusätzlichen Fall von Leukämie und einem zusätzlichen Fall von Hirntumor pro 10 000 Kopf-CT-Scans (41).

Eine der wichtigsten Methoden, um Kinder vor Strahlenbelastung zu schützen ist auf ein bildgebendes Verfahren ohne ionisierende Strahlung auszuweichen, wie zum Beispiel Ultraschall oder MRT. Auch eine strengere Indikationsstellung ist ein effektiver Schutz vor ionisierender Strahlung. In vielen Fällen ist jedoch ein bildgebendes Verfahren mit Röntgenstrahlung unumgänglich, weshalb die unten angeführten Empfehlungen beachtet werden sollten. Die Strahlenbelastung durch ionisierende Strahlung kann durch die richtige Einstellung der Röhrenspannung, durch den Einsatz von Schlauchfiltern, durch die Verwendung von Streustrahlungsgittern, die korrekte Lagerung des/der Patient\*in und die Verwendung von modernen Speicherplattensystemen verringert werden. Zusätzlich sollte bei Kindern ein an das Alter und an die Indikation angepasstes Röntgenprotokoll verwendet werden, wodurch die Strahlenexposition um bis zu 95% verringert werden könnte (41).

## 2 Ziel der Studie

Ziel dieser Studie ist es, die radiologischen Nachkontrollen von Kindern und Jugendlichen nach mit ESIN versorgten Unterarmfrakturen in Form einer retrospektiven Studie zu analysieren.

Die Nullhypothese lautet:

Es sind alle Röntgenkontrollen in der Nachsorge von Kindern und Jugendlichen mit ESIN versorgten Unterarmfrakturen an der Universitätsklinik für Kinder- und Jugendchirurgie Graz, indiziert.

Die Alternativhypothese lautet:

Die aktuelle Anzahl an Röntgenkontrollen, welche in der Nachsorge von Unterarmfrakturen an der Universitätsklinik für Kinder- und Jugendchirurgie Graz gemacht werden, kann reduziert werden.

## 3 Material und Methoden

### 3.1 Ethikkommission

Die Durchführung dieser Studie im Rahmen einer Diplomarbeit wurde von der Ethikkommission der Medizinischen Universität Graz in einem positiven Votum genehmigt (EK Nr.: 29-251 ex 16/17).

### 3.2 Studiendesign

Diese Diplomarbeit befasst sich mit einer retrospektiven Auswertung und Analyse der Daten der radiologischen Nachkontrollen, die im Zeitraum von 2015 bis 2017 bei Kindern und Jugendlichen mit operativ versorgten Unterarmschaftfrakturen mittels elastisch-stabilem intramedullären Nagel (ESIN), durchgeführt wurden. Dabei wurde das Hauptaugenmerk auf die Anzahl an geplanten postoperativen Röntgenkontrollen und der daraus resultierenden therapeutischen Konsequenzen gelegt.

Die Studie wurde an der Universitätsklinik für Kinder- und Jugendchirurgie Graz durchgeführt.

Es wurden Daten und Befunde von stationär behandelten Patient\*innen im Zeitraum von 01.01.2015 bis 31.12.2017 aus dem Informationsnetzwerk MEDocs gesammelt. In diesem Informationsnetzwerk wurde über die Operationspläne eine vollständige Liste der operierten Patient\*innen im entsprechenden Zeitraum erstellt. Die weiteren Daten wurden aus den Arztbriefen, Operationsprotokollen sowie den Röntgenbefunden erhoben und in Form einer Excel-Tabelle festgehalten. Zur Vervollständigung der Tabelle wurden über das Programm PACS® die entsprechenden Röntgenbilder eingesehen. Zur Erstellung einiger Berechnungen sowie Grafiken wurde das Programm Microsoft Excel® für Microsoft 365 (Version 2102) und auch das Programm IBM SPSS® Statistics (V.26) verwendet.

### 3.3 Studienpopulation

Von allen Kindern und Jugendlichen, die an der Universitätsklinik für Kinder- und Jugendchirurgie Graz im untersuchten Zeitraum auf Grund von Unterarmfrakturen mittels ESIN operativ behandelt wurden, wurden 197 Patient\*innen in die Studie eingeschlossen.

#### 3.3.1 Einschlusskriterien

Es wurden alle Patient\*innen, die zum Unfallzeitpunkt zwischen 0 und 18 Jahre alt waren, in die Studie eingeschlossen. Das Patient\*innenkollektiv umfasste sowohl männliche als auch weibliche Patienten. Eine weitere Voraussetzung war, dass die Person an der Universitätsklinik für Kinder- und Jugendchirurgie Graz im Zeitraum vom 01.01.2015 bis 31.12.2017 wegen einer Unterarmschaftfraktur operativ behandelt wurde. Dabei wurden nur jene Patient\*innen in die Studie eingeschlossen, welche mittels elastisch-stabilem intramedullären Nagel (ESIN) versorgt werden konnten.

#### 3.3.2 Ausschlusskriterien

Patient\*innen wurden aus den folgenden Gründen von der Studie ausgeschlossen:

- Alter > 18 Jahre
- Nicht mit ESIN versorgte Unterarmfraktur
- Unvollständige Daten

### 3.4 Datenerhebung

In einer Excel-Tabelle wurden folgende Parameter aus dem Programm MEDocs und den darin enthaltenen Patient\*innenunterlagen erhoben:

- Vor- und Nachname
- Geburtsdatum
- Alter (errechnet)
- Geschlecht
- Unfallursache
- Frakturart
- Tag der Operation
- Dauer der Operation (Schnitt bis Naht)
- Tag der Metallentfernung
- Operationsdauer der Metallentfernung (Schnitt bis Naht)
- Dauer Operation bis zur Metallentfernung (errechnet)
- Anzahl der Röntgenkontrollen
- Röntgenkontrolle und der daraus resultierenden Konsequenzen
- Dauer Operationstag bis 1. Röntgenkontrolle (errechnet)
- Röntgenkontrolle und der daraus resultierenden Konsequenzen
- Dauer Operationstag bis 2. Röntgenkontrolle (errechnet)
- Röntgenkontrolle und der daraus resultierenden Konsequenzen
- Dauer Operationstag bis 3. Röntgenkontrolle (errechnet)
- Röntgenkontrolle und der daraus resultierenden Konsequenzen
- Dauer Operationstag bis 4. Röntgenkontrolle (errechnet)
- Röntgenkontrolle und der daraus resultierenden Konsequenzen
- Dauer Operationstag bis 5. Röntgenkontrolle (errechnet)
- Röntgenkontrolle und der daraus resultierenden Konsequenzen
- Dauer Operationstag bis 6. Röntgenkontrolle (errechnet)
- Röntgenkontrolle und der daraus resultierenden Konsequenzen
- Dauer Operationstag bis 7. Röntgenkontrolle (errechnet)

Um die Daten der Unfallursache übersichtlicher zu klassifizieren, wurden diese in die fünf folgenden Kategorien eingeteilt:

Turnunterricht, Schule/Kindergarten/Arbeit, Freizeitunfall, häusliches Umfeld und Verkehr.

### 3.5 Studienmethoden

Die Auswertung wurde als deskriptive Statistik durchgeführt. Die statistischen Auswertungen wurden in den Programmen Microsoft Excel® für Microsoft 365 (Version 2102) und IBM SPSS® Statistics (V.26) durchgeführt. Die Verteilung von quantitativen Daten wurde mit Hilfe des Mittelwertes und der Standardabweichung bzw. des Medians und der Bereiche beschrieben. Für die Beschreibung der kategorischen Daten wurden absolute Zahlen und Prozentsätze verwendet.

## 4 Ergebnis

### 4.1 Patient\*innen

In dieser retrospektiven Studie wurden 197 Patienten und Patientinnen eingeschlossen und 39 Patient\*innen wurden aus der Studie ausgeschlossen. Fünf Patient\*innen wurden nicht in die statistische Auswertung mit einbezogen aufgrund von unvollständigen Daten (nur für die Operation am LKH-Graz). Drei Patient\*innen wurden wegen ihres Alters (> 18 Jahre), nicht für die Berechnungen herangezogen. Weitere 19 Kinder und Jugendliche wurden aus der Studie ausgeschlossen, da sie wegen eines erneuten Traumas beziehungsweise Schmerzen zu einer ungeplanten radiologischen Nachkontrolle kamen. Bei zwölf Patient\*innen wurden zwei Operationstechniken kombiniert, wie zum Beispiel ESIN mit einer Platte und als Folge dessen wurden sie vollkommen von den Berechnungen ausgeschlossen.

Der analysierte Zeitraum erstreckt sich über die Jahre 2015, 2016 und 2017. Die Patient\*innenpopulation setzt sich aus 120 männlichen Patienten (60,9%) und 77 weiblichen Patientinnen (39,1%) zusammen, wie Abbildung 12 zeigt.

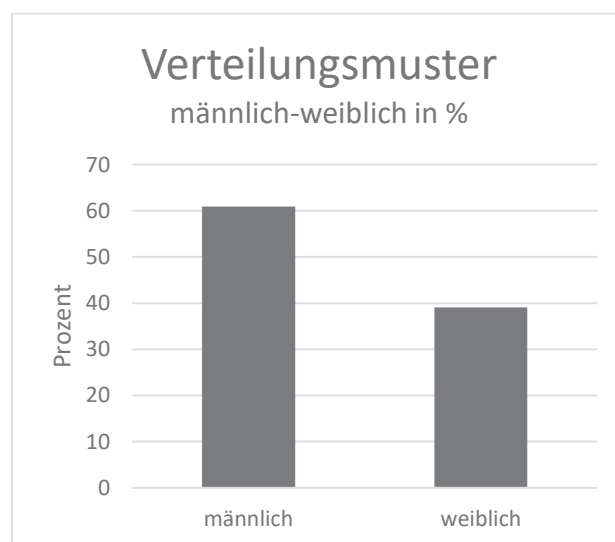


Abbildung 12: Verteilung zwischen männlichen und weiblichen Probanden

Die Abbildung 13 zeigt die Altersverteilung der Studienpopulation. Das mittlere Alter der Studienpopulation lag bei 8,8 Jahren. Mit 29 dokumentierten Fällen fand sich der Altersgipfel bei Kindern im Alter von 7 Jahren (13,7%). Kinder im Alter von sechs, zehn und 13 Jahren erlitten mit jeweils rund 10% ebenfalls häufig eine operativ zu versorgende Unterarmfraktur.

Die Hälfte der zu untersuchenden Personen war im Alter von sechs bis zwölf Jahren. Älter als zwölf Jahre war ein Viertel der Patient\*innen und ein weiteres Viertel war jünger als sechs Jahre.

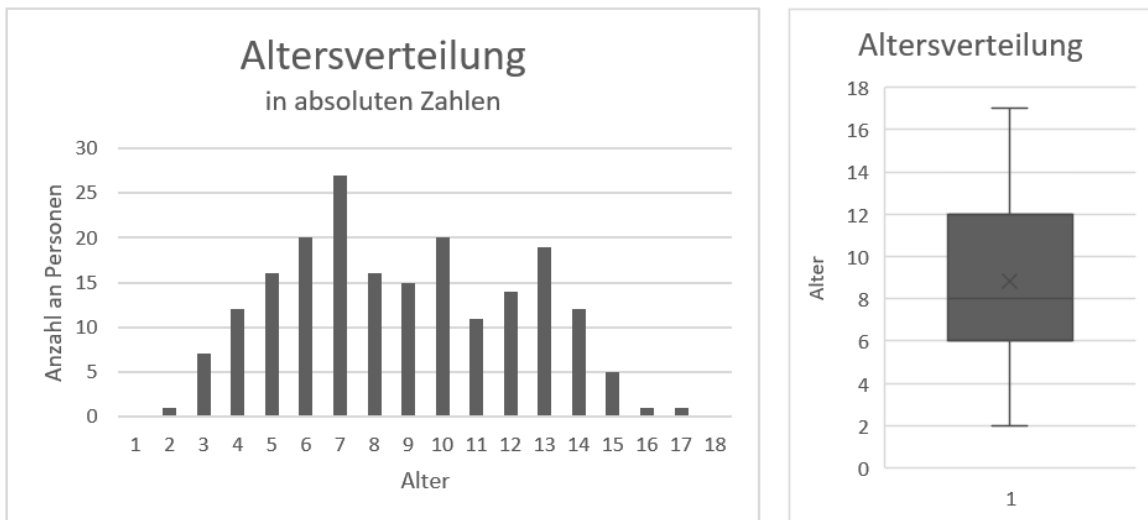


Abbildung 13: Balkendiagramm und Boxplot der Altersverteilung der Studienpopulation

Stellt man die Gesamtpopulation den einzelnen Jahren (2015, 2016, 2017) gegenüber so kann man erkennen, dass die Anzahl an Unterarmfrakturen in den drei analysierten Jahren zirka gleich groß war. So wurde im Jahr 2015 bei 73 Kindern (37,1%) die Unterarmfraktur mittels ESIN behandelt. Im Jahr 2016 und 2017 waren es jeweils 62 Kinder (31,5%), die nach diesem Behandlungsschema versorgt wurden.

## 4.2 Unfallursache

Wie die Abbildung 14 zeigt, passierten die meisten Unfälle in der Freizeit, nämlich 131 Kinder und Jugendliche (66,5%) zogen sich bei Freizeitverhalten die Verletzung zu. Die Verteilung der übrigen Unfallursachen war gleichmäßig. An zweiter Stelle waren Turnunfälle und Unfälle, die sich in Schule/Kindergarten/Arbeit ereigneten. In beiden Gruppen waren 19 Kinder und Jugendliche (9,6%) betroffen. Im häuslichen Umfeld verletzten sich 15 Personen (7,6%) den Unterarm. Bei Verkehrsunfällen verletzten sich 13 Patient\*innen (6,6%) und damit in der Gesamtpopulation prozentuell am seltensten.

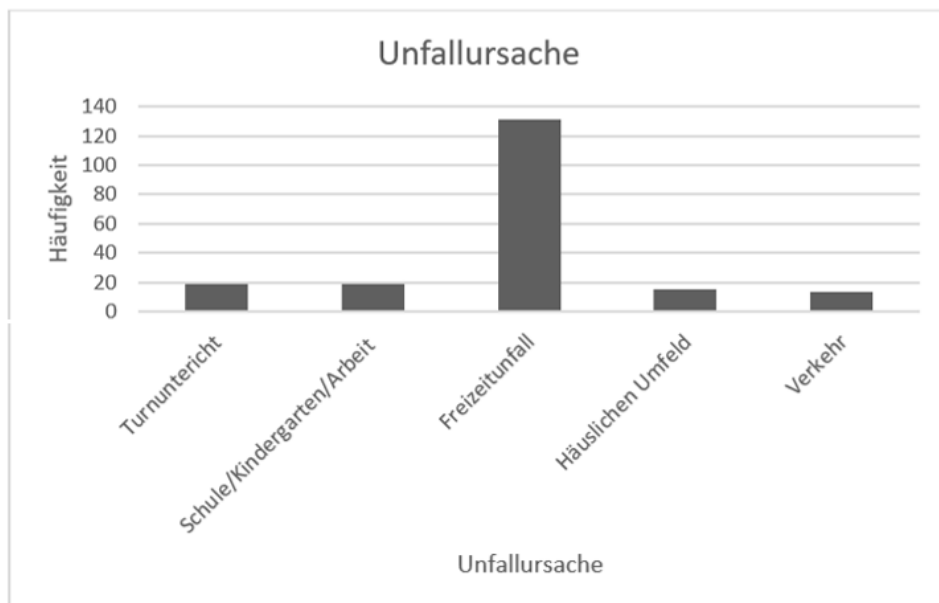


Abbildung 14: Häufigkeitsverteilung der Unfallursachen

### 4.3 Genaue Frakturarten

In Tabelle 3 sind die Frakturarten der entsprechenden Anzahl an Patient\*innen sowohl in absoluten Zahlen als auch in prozentuellen Anteilen aufgelistet.

| Frakturart                                 | Patient*innen | Prozentuelle Verteilung |
|--|---------------|-------------------------|
| dislozierte Unterarmschaftfraktur          | 103           | 52,3%                   |
| Monteggia-Fraktur                          | 19            | 9,6%                    |
| Grünholzfraktur                            | 18            | 9,1%                    |
| sekundär dislozierte Unterarmschaftfraktur | 14            | 7,1%                    |
| Radiushalsfraktur                          | 14            | 7,1%                    |
| distale Unterarmfraktur                    | 11            | 5,6%                    |
| Refraktur                                  | 7             | 3,6%                    |
| Radiusschaftfraktur                        | 7             | 3,6%                    |
| Proximale Unterarmfraktur                  | 3             | 1,5%                    |
| Galeazzi-Fraktur                           | 1             | 0,5%                    |

Tabelle 3: Absolute und prozentuelle Verteilung der verschiedenen Frakturarten

Der linke Unterarm war in 118 Fällen (60%), der rechte bei 79 Patient\*innen (40%) betroffen, wie die Abbildung 15 ersichtlich macht.

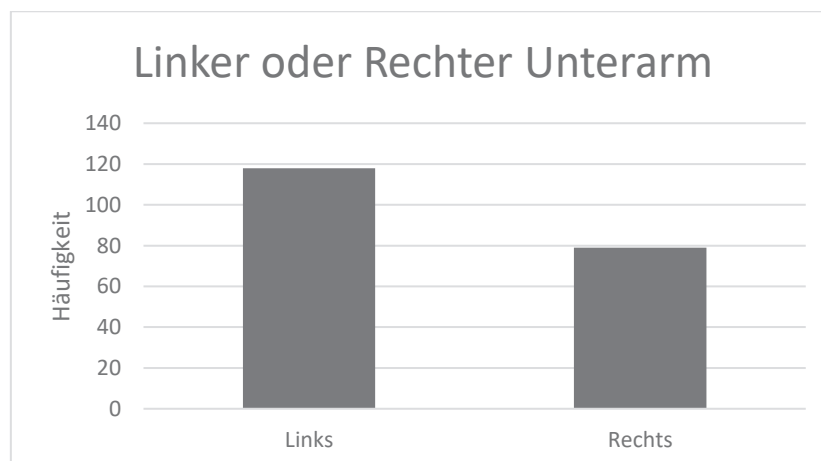


Abbildung 15: Prozentuelle Verteilung zwischen linkem und rechtem Arm

#### 4.4 Operationsdauer und postoperatives Management

Bei einigen Patient\*innen wurde in derselben Operation nicht nur die Unterarmfraktur mittels ESIN operiert, sondern auch weitere Verletzungen versorgt, weshalb diese Patient\*innen für diese Berechnungen aus der Studie ausgeschlossen wurden. Insgesamt mussten so zwei Proband\*innen für die Berechnung der Implantationsdauer ausgeschlossen werden.

Die Abbildung 16 zeigt in Form eines Boxplots die Dauer der Metallimplantation, wobei die Zeit von Schnitt bis zur Naht herangezogen wurde. Im Durchschnitt dauerte die Nagel-Implantation 34 Minuten (Range 8-116 min., SD  $\pm$  18,9). 50 Prozent der Operationen dauerten zwischen 20 und 44 Minuten. Die Operation von 25% der Proband\*innen dauerte zwischen acht und 20 Minuten und ein Viertel der Patient\*innen hatten eine Operationsdauer von 44 bis 116 Minuten.

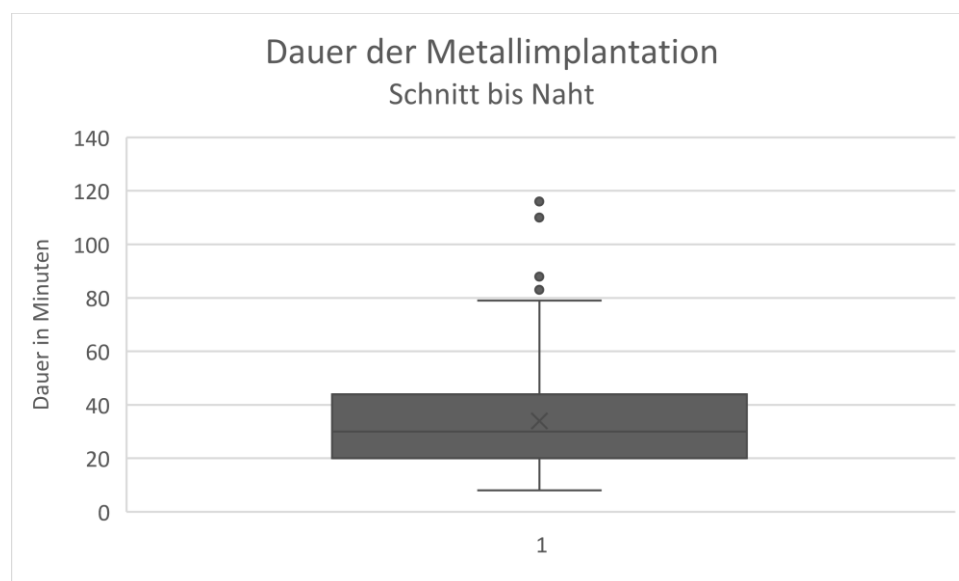


Abbildung 16: Box-Plot der Operationsdauer

In Abbildung 17 ist die Anzahl an Monaten, die der Marknagel in situ verblieb, der Anzahl an Patient\*innen gegenübergestellt. Im Mittel war der ESIN 262 Tage (Range 34-694 min., SD  $\pm$  95,3) also knapp neun Monate im Körper der Patient\*innen. Am häufigsten, sprich bei 41% der Patient\*innen, jeweils ca. 30 Patient\*innen, verblieb

der ESIN zwischen acht und zehn Monate im Körper. Bei 33% blieb das Metall sieben Monate oder weniger und bei 26% elf Monate oder mehr im Körper. Bei einem Patienten erfolgte die Metallentfernung erst nach 23 Monaten, da sie aufgrund von rezidivierenden Krankheitsfällen verschoben werden musste.

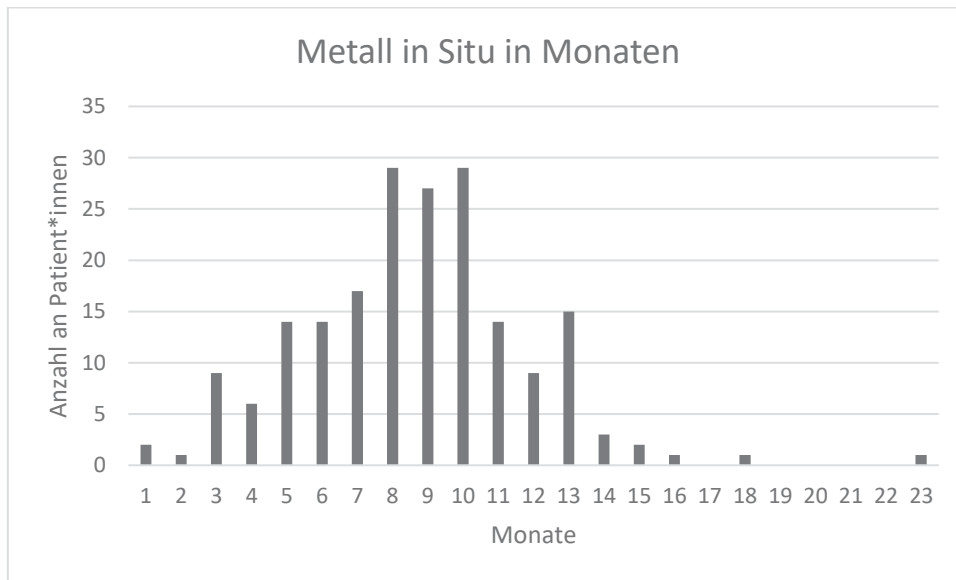


Abbildung 17: Verweildauer des ESIN in situ in Monaten

In Abbildung 18 kann man erkennen, dass 50% der Patient\*innen den ESIN zwischen sieben und elf Monate in situ hatten.

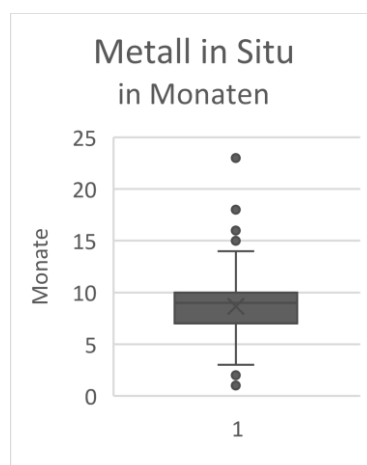


Abbildung 18: Verweildauer des Osteosynthesematerials in situ

Bei 191 Patient\*innen wurde die Operationsdauer der Metallentfernung betrachtet, welche im Durchschnitt 26,2 Minuten (Range 4-102 min., SD  $\pm$  14,8) dauerte, was in Abbildung 19 grafisch ersichtlich ist. Bei einem Patienten kam es zu einer Operationskomplikation, nämlich zu einer Verletzung der Sehne des M. extensor pollicis longus, welche revidiert wurde. Dadurch lässt sich die lange Operationszeit dieses Patienten erklären.

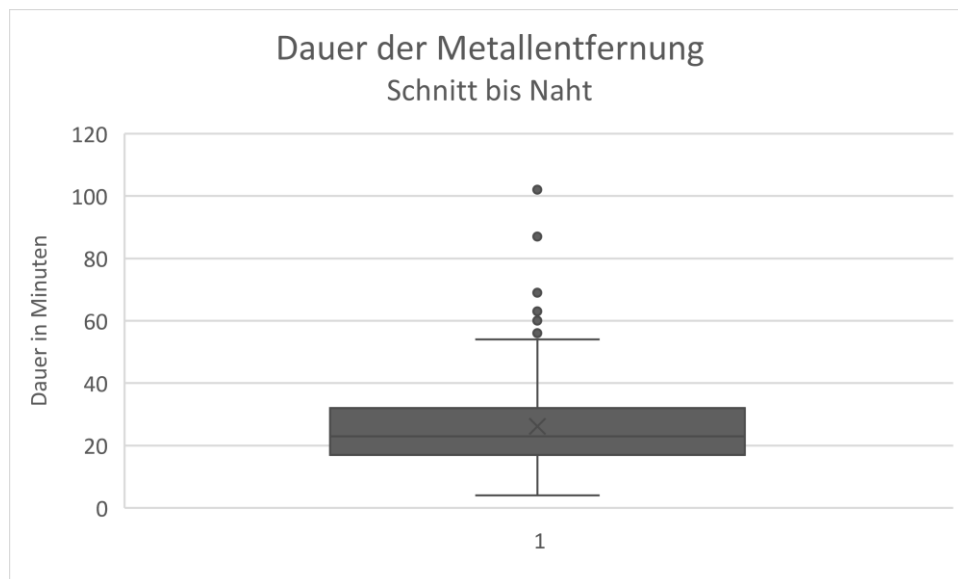


Abbildung 19: Operationsdauer der Metallentfernung

## 4.5 Röntgenkontrollen und deren Konsequenz

Für die Hauptzielgröße wurden die Daten von 197 Patientinnen und Patienten betrachtet.

Die unten gezeigte Abbildung 20 stellt die Anzahl an postoperativen Röntgenkontrollen der Anzahl an Patient\*innen gegenüber. Keine der untersuchten Personen hatte nur ein einziges Kontrollröntgen. Fünf Personen (2,5%) wurden zweimal radiologisch nachkontrolliert und weitere 40 (20,3%) hatten drei geplante Röntgenkontrollen. Am häufigsten, nämlich 107 Patient\*innen (54,3%), sind zu vier geplanten Röntgenkontrollen erschienen. Fünf Kontrollen wurden bei 38 Patient\*innen (19,3%) gemacht. In 3% der Fälle, also sechs Patient\*innen, wurden sechs Kontrollbilder gemacht und ein Patient hatte sieben radiologische Nachuntersuchungen.

Zusammenfassend hatten mehr als die Hälfte der Patient\*innen vier radiologische Nachkontrollen. Sowohl drei als auch fünf Kontrollen kommen mit jeweils ca. 20% der Studienpopulation häufig vor.

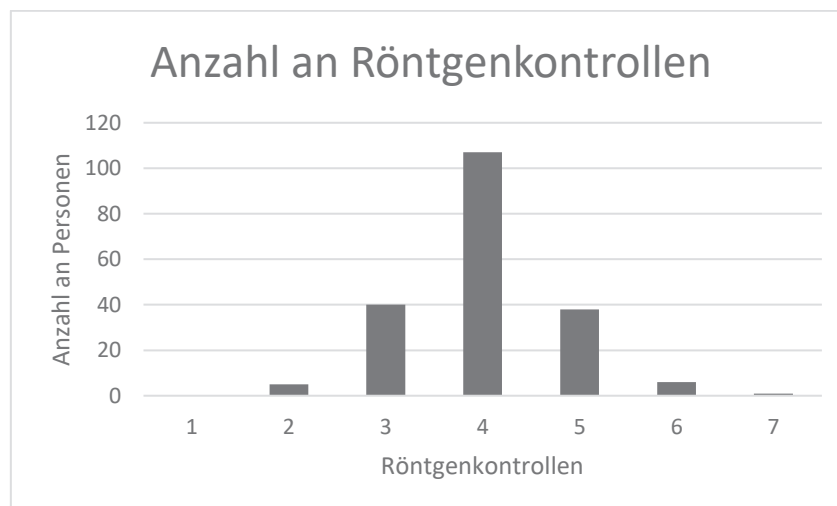


Abbildung 20: Anzahl an postoperativen Röntgenkontrollen

Die erste Kontrolle fand im Durchschnitt am 2. postoperativen Tag statt. Die zweite Kontrolle wurde im Schnitt am 23. Tag nach der Operation durchgeführt und die dritte Kontrolle am 68. Tag nach der Operation. Im Mittel fand die vierte Kontrolle am Tag 144 statt. Die fünfte Kontrolle wurde im Durchschnitt 202 Tage und die sechste Kontrolle 213 Tage nach der Operation durchgeführt. Die siebte Kontrolle hat am Tag 351 stattgefunden (siehe auch Abbildung 21).

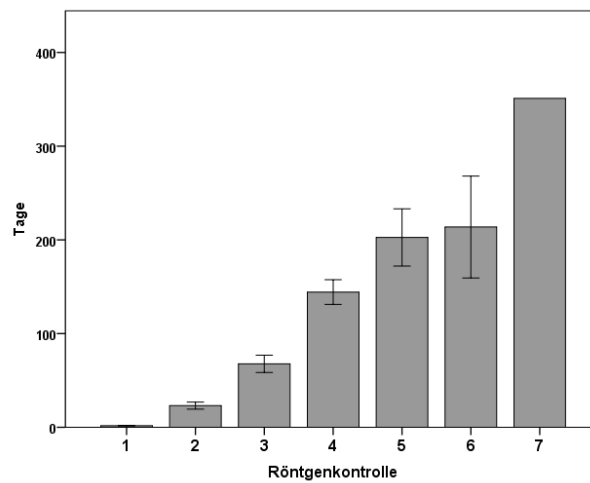


Abbildung 21: Balkendiagramm der durchschnittlichen postoperativen Tage der jeweiligen Röntgenkontrolle

#### 4.5.1 1. Röntgenkontrolle

Eine erste Röntgenkontrolle wurde bei allen 197 Patient\*innen gemacht. Die Verteilung dieser Röntgenkontrolle wird in Abbildung 22 ersichtlich. Im Durchschnitt fand diese Röntgenkontrolle nach 2 Tagen (Range 1-21; SD  $\pm$  2) statt.

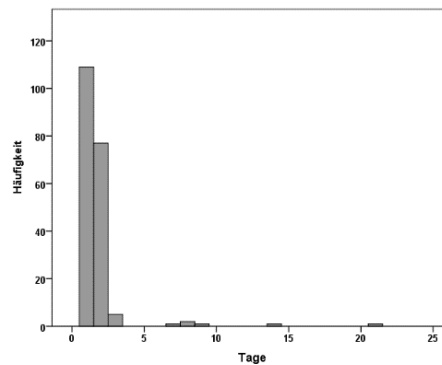


Abbildung 22: Verteilung der ersten Röntgenkontrolle

Am häufigsten wurde die erste Röntgenkontrolle am ersten Tag nach der Operation gemacht, nämlich bei 55,3% der Patient\*innen. Fast 40% der Patient\*innen hatten die erste radiologische Kontrolle am zweiten Tag. 2,5% wurden am dritten Tag kontrolliert und die restlichen 3% an den Tagen sieben bis 21 (Tabelle 4).

Die erste radiologische Kontrolle hatte bei allen 197 Patient\*innen keine radiologischen Auffälligkeiten und somit auch keine klinischen Konsequenzen.

|             |    | <b>Tage</b> |         |                 |                     |
|-------------|----|-------------|---------|-----------------|---------------------|
|             |    | Häufigkeit  | Prozent | Gültige Prozent | Kumulative Prozente |
| Gültig      | 1  | 109         | 55,3    | 55,3            | 55,3                |
|             | 2  | 77          | 39,1    | 39,1            | 94,4                |
|             | 3  | 5           | 2,5     | 2,5             | 97,0                |
|             | 7  | 1           | ,5      | ,5              | 97,5                |
|             | 8  | 2           | 1,0     | 1,0             | 98,5                |
|             | 9  | 1           | ,5      | ,5              | 99,0                |
|             | 14 | 1           | ,5      | ,5              | 99,5                |
|             | 21 | 1           | ,5      | ,5              | 100,0               |
| Gesamtsumme |    | 197         | 100,0   | 100,0           |                     |

Tabelle 4: Verteilung der Zeitpunkte der ersten radiologischen Nachkontrolle

#### 4.5.2 2. Röntgenkontrolle

Eine zweite Röntgenkontrolle wurde ebenfalls bei allen 197 Patient\*innen durchgeführt und im Durchschnitt wurde diese Röntgenkontrolle am 23. Tag nach der Operation gemacht (Range 5-216; SD  $\pm$  26,7). Diese Werte kann man in der Tabelle 5 nachlesen.

| Statistiken        |         |        |
|--------------------|---------|--------|
| Tage               |         |        |
| N                  | Gültig  | 197    |
|                    | Fehlend | 0      |
| Mittelwert         |         | 23,12  |
| Median             |         | 15,00  |
| Standardabweichung |         | 26,685 |
| Bereich            |         | 211    |
| Minimum            |         | 5      |
| Maximum            |         | 216    |

*Tabelle 5: 2. Röntgenkontrolle*

Die Verteilungsdaten der zweiten Röntgenkontrolle wird in Abbildung 23 dargestellt und zeigt, dass bei 94,4% der Patient\*innen diese Röntgenkontrolle in den ersten 50 Tagen nach der Operation durchgeführt wurde. Zwischen dem fünften und zehnten postoperativen Tag hatten ca. 25% der Patient\*innen ihren zweiten radiologischen Kontrolltermin. Jeweils ein weiteres Viertel der Patient\*innen hatte die Kontrolle im Zeitraum zwischen Tag elf und 15 bzw. zwischen Tag 16 und 21. Jenes Viertel, bei dem am längsten mit der zweiten radiologischen Nachuntersuchung zugewartet wurde, hatte die Untersuchung zwischen Tag 22 und 216.

Bei einem Patienten zeigte sich in der zweiten Röntgenkontrolle eine Irregularität im Bereich des Radius mit einigen Osteolysezentren. Konsekutiv wurde hier eine engmaschigere Röntgenkontrollen durchgeführt und eine Physiotherapie empfohlen.

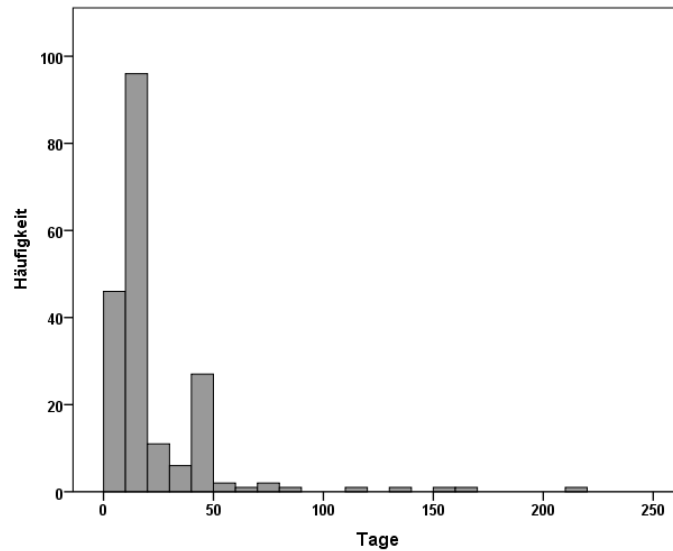


Abbildung 23: Verteilung der 2. Röntgenkontrolle

#### 4.5.3 3. Röntgenkontrolle

Bei 191 Patient\*innen (97%) wurde eine dritte geplante Röntgenkontrolle durchgeführt. Im Durchschnitt erfolgte diese Röntgenkontrolle am 68. Tag (Range 8-327; SD  $\pm$  64) nach der Operation (siehe Tabelle 6).

##### Statistiken

Tage

|                    |         |        |
|--------------------|---------|--------|
| N                  | Gültig  | 191    |
|                    | Fehlend | 0      |
| Mittelwert         |         | 67,69  |
| Median             |         | 43,00  |
| Standardabweichung |         | 64,088 |
| Bereich            |         | 319    |
| Minimum            |         | 8      |
| Maximum            |         | 327    |

Tabelle 6: 3. Röntgenkontrolle

An welchem Tag die dritte radiologische Kontrolle stattgefunden hat wird in der Abbildung 24 ersichtlich. So zeigt diese, dass 25% der Patient\*innen die dritte Röntgenkontrolle vor beziehungsweise am 36. postoperativen Tag hatten. Die Hälfte der Studienteilnehmer\*innen wurde im Zeitraum von Tag 37 bis 61 und das letzte Viertel nach dem 62. Tag das dritte Mal radiologisch nachkontrolliert.

Die dritte radiologische Kontrolle hatte bei keinem der 191 Patient\*innen eine klinische Konsequenz.

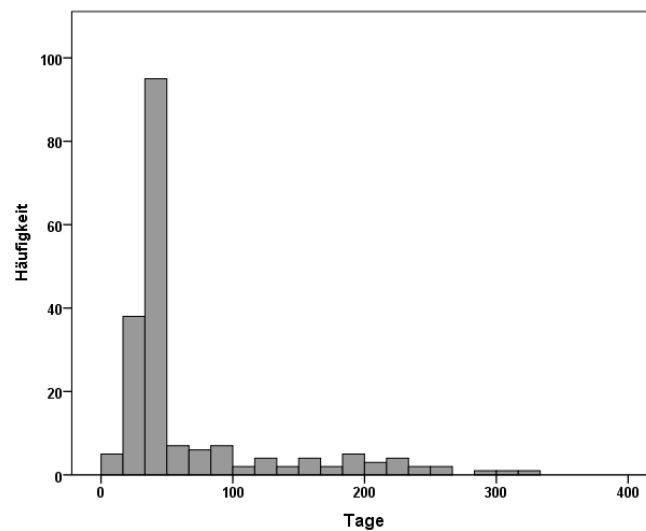


Abbildung 24: Verteilung der 3. Röntgenkontrolle

#### 4.5.4 4. Röntgenkontrolle

Eine vierte Röntgenkontrolle wurde bei 151 Patient\*innen (76,7%) durchgeführt. Im Schnitt erfolgte diese Kontrolle am 144. postoperativen Tag (Range 14-575; SD  $\pm$  81) (Tabelle 7).

| Statistiken        |         |        |
|--------------------|---------|--------|
| Tage               |         |        |
| N                  | Gültig  | 151    |
|                    | Fehlend | 0      |
| Mittelwert         |         | 144,30 |
| Median             |         | 140,00 |
| Standardabweichung |         | 81,248 |
| Bereich            |         | 561    |
| Minimum            |         | 14     |
| Maximum            |         | 575    |

*Tabelle 7: 4. Röntgenkontrolle*

Die Verteilung der 4. radiologischen Nachkontrolle wird in Abbildung 25 ersichtlich. Die Hälfte der Patient\*innen wurde zwischen dem 85. und 182. Tag radiologisch nachuntersucht. Jeweils ein Viertel hatte vor dem 85. bzw. nach dem 182. Tag die vierte Röntgenkontrolle.

Im Zeitraum der vierten Röntgenkontrolle wurde bei einem Fall ein Problem entdeckt, welches zu einer Änderung des Therapieplans führte. Der Patient hatte zeitweise Beschwerden im Bereich des Daumens angegeben und im Röntgenbild (am 99. postoperativen Tag) konnte man sehr weit hervorstehende Drähte erkennen. Daraufhin wurde die Materialentfernung früher terminisiert.

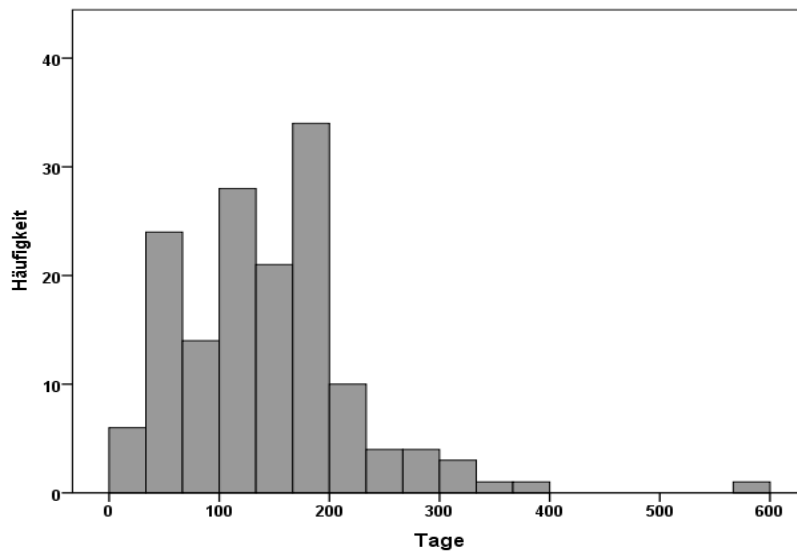


Abbildung 25: Verteilung der 4. Röntgenkontrolle

#### 4.5.5 5. Röntgenkontrolle

Eine fünfte Röntgenkontrolle wurde bei 46 Patient\*innen (23,4%) durchgeführt. Im Durchschnitt erfolgte sie am 203. postoperativen Tag (Range 28-521; SD  $\pm$  104) (siehe Tabelle 8).

| Statistiken        |         |         |
|--------------------|---------|---------|
| Tage               |         |         |
| N                  | Gültig  | 46      |
|                    | Fehlend | 0       |
| Mittelwert         |         | 202,65  |
| Median             |         | 192,00  |
| Standardabweichung |         | 103,580 |
| Bereich            |         | 493     |
| Minimum            |         | 28      |
| Maximum            |         | 521     |

Tabelle 8: 5. Röntgenkontrolle

Für die fünfte Röntgenkontrolle ist kein eindeutiger Trend für einen bestimmten Zeitpunkt zu erkennen, wie auch die Abbildung 26 zeigt. 50% der Patient\*innen hatten die fünfte Kontrolle im Zeitraum von 4,5 Monaten (138. Tag) bis 9,5 Monaten (285. Tag) nach der Operation. Jeweils 25% hatten die Kontrolle vor beziehungsweise nach diesem Intervall.

Die fünfte Röntgenkontrolle hatte keine therapeutischen Konsequenzen zur Folge.

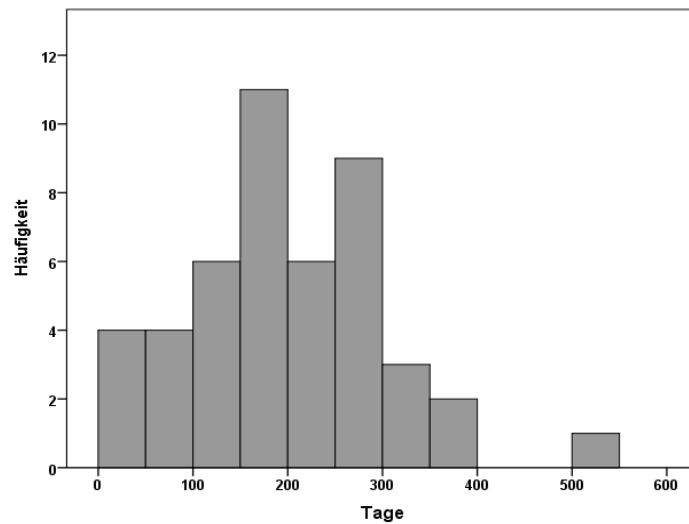


Abbildung 26: Verteilung der 5. Röntgenkontrolle

#### 4.5.6 6. Röntgenkontrolle

Sieben Patient\*innen (3,5%) hatten eine sechste Röntgenkontrolle, die im Schnitt am 214. Tag nach der Operation durchgeführt wurde. (Range 100-285; SD  $\pm$  72) (Tabelle 9).

| Statistiken        |         |        |
|--------------------|---------|--------|
| Tage               |         |        |
| N                  | Gültig  | 7      |
|                    | Fehlend | 0      |
| Mittelwert         |         | 213,71 |
| Median             |         | 257,00 |
| Standardabweichung |         | 71,999 |
| Bereich            |         | 185    |
| Minimum            |         | 100    |
| Maximum            |         | 285    |

Tabelle 9: 6. Röntgenkontrolle

Sieben Patient\*innen hatten eine 6. Röntgenkontrolle. Die Abbildung 27 zeigt, dass vier Patient\*innen die Kontrolle zwischen dem 250. und 285. postoperativen Tag hatten. Die restlichen drei Patient\*innen hatten diese zwischen dem 100. und 200. Tag.

Die sechste Röntgenkontrolle hatte keine therapeutischen Folgen.

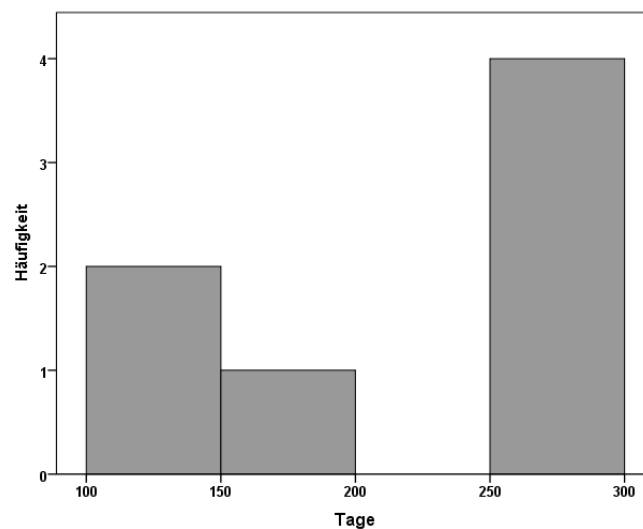


Abbildung 27: Verteilung der 6. Röntgenkontrolle

#### 4.5.7 7. Röntgenkontrolle

Eine siebte Röntgenkontrolle hatte ein Patient, und zwar am 351. Tag nach der Operation, trotz unauffälligen Nachkontrollen.

Die siebte Röntgenkontrolle hatte keine klinische Konsequenz.

## 5 Diskussion

In unserer retrospektiven Analyse konnten wir zeigen, dass eine planmäßige Röntgenkontrolle keinen Einfluss auf die Behandlungsstrategie bei asymptomatischen Kindern nach Unterarmfrakturen, die mit ESIN behandelt wurden, hatte.

Für diese Diplomarbeit wurden die Daten von 197 Kindern und Jugendlichen, welche an der Universitätsklinik für Kinder- und Jugendchirurgie Graz im Zeitraum zwischen 2015 und 2017 mit einer Unterarmfraktur mit ESIN operiert wurden, in die Studie eingeschlossen.

Das mittlere Alter der untersuchten Kinder betrug 8,8 (SD  $\pm$  3,4) Jahre mit einer Spannweite vom zweiten bis zum 17. Lebensjahr. Unsere Literaturrecherche ergab, dass in inhaltlich vergleichbaren Studien das Durchschnittsalter ein bis zwei Jahre über dem mittleren Alter der Studienpopulation dieser Diplomarbeit lag (32,42). Ein Grund hierfür könnte darin liegen, dass in dieser Diplomarbeit alle an unserer Abteilung vorstelligen Kinder inkludiert wurden, somit auch einige Kinder unter vier Jahre. Die Studienpopulation der referenzierten Arbeiten begann im Gegensatz dazu erst bei Kindern im Alter von vier beziehungsweise sieben Jahren.

Unsere Ergebnisse bezüglich der Geschlechterverteilung stimmen mit der in der Literatur beschriebenen gut überein (28,29,32). Tendenziell zeigt sich, dass sich männliche Studienteilnehmer häufiger eine Unterarmfraktur zuzogen, wobei sich in dieser Diplomarbeit ein Verhältnis von 6:4 (Buben:Mädchen) fand. In der Literatur überwiegt der männliche Anteil noch etwas mehr und bewegt sich zwischen 64 – 76% (28,29,32). Die vermehrten Verletzungen bei Buben können womöglich auf die erhöhte Risikobereitschaft des männlichen Geschlechts zurückgeführt werden (43).

In der untersuchten Population kam es bei 60% (n=118) zur Verletzung des linken Unterarms, was sich mit den Ergebnissen von Pogorelić et al. gut deckt (28).

Als Therapie der Wahl von dislozierten instabilen Unterarmfrakturen bei Kindern und Jugendlichen hat sich die ESIN gegenüber anderen Techniken wie beispielsweise der Plattenosteosynthese oder dem Pinning mit Kirschnerdrähten durchgesetzt (44). Die geringere Invasivität des Verfahrens und die frühzeitige Mobilisierung machen die ESIN attraktiver als die traditionelle Ruhigstellung mit einem Gips. Darüber hinaus

sorgt das gute Heilungspotenzial von Kindern für gute Langzeitergebnisse, auch wenn das postoperative Ergebnis nicht vollständig zufriedenstellend ist (45,46).

Nichtsdestotrotz kann es auch bei dieser Versorgungsmethode je nach Literaturquelle in ca. 9% bis 12% zu Komplikationen kommen (28,31,32). Dabei sollte man die Gefahr einer Refraktur, einer Fehlstellung, einer Pseudarthrose, eines Kompartmentsyndroms, Sehnenrisse oder Infektion mitbedenken (26,29).

Kruppa et al. berichteten in ihrer Studie über eine Komplikationsrate von 9,8% (18 Patienten\*innen). Die Mehrzahl der Probleme (bei 16 Patienten\*innen) war klinisch erkennbar (traumatische Refraktur, eingeschränkter Bewegungsumfang > 20°, Infektionen, Sehnenläsionen). Bei zwei Patienten\*innen musste eine knöcherne Fehlstellung operativ korrigiert werden, jedoch beschreiben die Autoren nicht, wann die Komplikationen auftraten, und ob die Diagnose nur auf Grund der Röntgenbilder ohne vorherige klinische Anzeichen gestellt wurde. In dieser Studie hatten alle Kinder und Jugendlichen drei standardisierte radiologische Nachuntersuchungen, nämlich zwei, vier und zwölf Wochen nach der Operation (31).

Die Deutsche Gesellschaft für Kinderchirurgie empfiehlt drei Röntgenkontrollen (25). Zur Dokumentation des Operationsergebnisses soll die erste radiologische Kontrolle am ersten postoperativen Tag erfolgen. Die zweite radiologische Nachkontrolle soll dann am 28. Tag nach der OP erfolgen, um die radiologische Konsolidierung zu beurteilen und Sportfreigabe erteilen zu können. Eine dritte radiologische Kontrolle, welche zugleich die Abschlusskontrolle ist, soll nach dem 90. postoperativen Tag zur Bestätigung der vollständigen Konsolidierung durchgeführt werden (25). Andere Autoren empfehlen standardmäßig lediglich ein postoperatives Röntgenbild (am ersten postoperativen Tag) sowie eine radiologische Konsolidierungskontrolle bzw. Abschlusskontrolle nach vier Wochen (15,16).

Verglichen mit der oben angeführten Literatur erfolgten in dieser Diplomarbeit im Durchschnitt vier Röntgenkontrollen, nämlich bei 107 Patient\*innen (54,3%). Drei radiologische Nachkontrollen erfolgten bei 40 Personen (20,3%) und bei 38 Patient\*innen (19,3%) wurden fünf Röntgenkontrollen gemacht. Seltener wurden zwei (2,5%), sechs (3%) und sieben (0,5%) Nachkontrollen durchgeführt.

Die erste Röntgenkontrolle erfolgte im Durchschnitt am 2. postoperativen Tag und diente der Dokumentation des Operationsergebnisses. Sie legt den Grundstock für

das weitere postoperative Management und ist somit essenziell (15,16,25,28). Dafür könnte aber auch, wie die Studie von Pogorelić et al. aufzeigt, das intraoperative Bild verwendet werden (28). Des Weiteren belegen einige Studien, dass die Nützlichkeit von einem Röntgenbild nach einer Reposition von unkomplizierten pädiatrischen Unterarmfrakturen unter Durchleuchtung gering ist (47–49).

Die zweite Kontrolle wurde im Schnitt am Tag 23 nach der Operation gemacht, was dem in der Literatur empfohlenen Abstand entspricht (25,28). Dieser Zeitpunkt ist für eine standardisierte Röntgenkontrolle gut gewählt, da hier einerseits Komplikationen frühzeitig erkannt werden können und andererseits die Sportfreigabe erteilt werden kann (25).

Die dritte Kontrolle fand im Durchschnitt nach 2,3 Monaten statt. Diese Röntgenkontrolle könnte eingespart werden, da sie in keinem Fall zu einer klinischen Konsequenz führte.

Die vierte Röntgenkontrolle wurde durchschnittlich nach knapp fünf Monaten (Tag 144) durchgeführt. Dieser Termin bietet sich ideal für eine Abschlusskontrolle mit Röntgenbild an, da zu diesem Zeitpunkt alle Frakturen knöchern konsolidiert sein sollten (28). Zu diesem Zeitpunkt kann die Planung der Metallentfernung erfolgen. Auch die S1-Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Kinderchirurgie sehen eine Röntgenkontrolle am oder nach dem 90. postoperativen Tag als gut gewählt, um die Metallentfernung zu planen (25).

Die fünfte Röntgenkontrolle fand im Durchschnitt am 203. Tag, die sechste am 214. Tag und die siebte am 351. Tag nach der Operation statt. Diese Röntgenkontrollen sollten im Sinne der Strahlenhygiene eingespart werden, außerdem hatte sie in unserer Kohorte keine therapeutische Konsequenz zur Folge.

Geplante klinische und radiologische Nachuntersuchungen sind wichtig, um Komplikationen frühzeitig zu erkennen und zu therapieren. Jedoch sind sie in der Häufigkeit, wie sie aktuell an der Universitätsklinik für Kinder- und Jugendchirurgie Graz durchgeführt werden, zu viele. Deshalb sollten die geplanten Röntgenkontrollen auf zwei reduziert werden und zusätzliche Röntgenkontrollen nach klinischer Indikation erfolgen. Die Anzahl an geplanten Kontrollen kann man reduzieren, da sowohl diese Diplomarbeit und auch andere Studien zeigen, dass Komplikationen in den meisten Fällen im Vorhinein klinisch auffällig sind. Ein Beispiel dafür ist die Studie von Kruppa et al., bei der 16 von 18 Komplikationen nur durch die Klinik aufgefallen

sind (31). Darüber hinaus sind die häufigsten Komplikationen bei ESIN operierten Unterarmfrakturen Hautrötungen an den Austrittsstellen der Nägel, Wundinfektionen, Schmerzen eventuell durch wandernde Nägel oder Nerven und Sehnenverletzungen durch Reibung an den Marknägeln (28,31,32). All diese Komplikationen können bei einer klinischen Kontrolle erkannt werden. Auch die Studie von Fernandez et al. zeigt, dass alle Komplikationen durch eine auffällige Anamnese oder Klinik bei der Nachkontrolle diagnostiziert wurden und nur zur weiteren Abklärung das Röntgenbild gemacht wurde (33).

Nichtsdestotrotz kann nicht vollständig auf geplante Röntgenkontrollen verzichtet werden, da einige therapeutische Entscheidungen und einige Komplikationen nur anhand des Röntgenbildes getroffen beziehungsweise erkannt werden können. Dazu zählen die Sportfreigabe, die Planung der Metallentfernung, Pseudarthrosen oder Fehlstellungen (25,31).

Reduziert man die Anzahl an Röntgenbilder in der Nachsorge von kindlichen Unterarmfrakturen, kann man ebenfalls die dadurch entstehende Strahlenbelastung, welche ein potenzielles kanzerogenes Risiko darstellt, durch ionisierende Strahlung verringern. Ein beträchtlicher Teil (15%) der auf den Menschen einwirkenden, ionisierenden Strahlung lässt sich auf den medizinischen Bereich zurückführen und ist vorwiegend den diagnostischen Maßnahmen geschuldet (35). Insbesondere Kinder und Jugendliche sind empfindlich auf ionisierende Strahlung, da sie anfälliger für DNA-Schädigungen sind (38). Gründe für diese Suszeptibilität sind einerseits die eingeschränkte Identifizierung von Zellen mit geschädigter DNA und andererseits die noch nicht vollständig ausgereiften Reparatursysteme (38). Menschen, die in ihrer Kindheit ionisierender Strahlung ausgesetzt waren, haben im Laufe ihres Lebens ein zwei- bis dreifach erhöhtes Risiko an einem soliden Tumor zu erkranken (37). Himmetoglu et al. zeigten in ihrer Studie, dass bereits zwei Röntgenbilder der Wirbelsäule bei Kindern zu vermehrten DNA-Schädigungen durch oxidative Prozesse führen (38). Darüber hinaus wurde eine erhöhte Aktivität von dem in vielen entarteten Zellen in erhöhter Menge messbarem p53 Proteins festgestellt, was ein weiterer Hinweis auf Röntgen-mediierte DNA-Schädigung ist (38). Bei einer kumulativen Strahlenbelastung von 50 mGy steigt das Leukämierisiko um das Dreifache (40). Auch bei Hirntumoren kommt es durch eine Strahlenbelastung von 60 mGy zu einer

Verdreifachung des Krebsrisikos (40). So hohen Strahlenbelastungen ist man im medizinischen Bereich allerdings nur durch CT-Untersuchungen ausgesetzt (40). In einer weiteren Studie wird belegt, dass Panoramaröntgenaufnahmen der Zähne bei Kindern die „Genotoxizität“ in der Mundschleimhaut fördern (39).

Um die Strahlenbelastung im pädiatrischen Alter so gering wie möglich zu halten, muss einerseits die Indikation für ein Röntgenbild durch eine klinische Fragestellung begründet sein, andererseits müssen die Röntgengeräte an die Kinder angepasst werden (41). So kann die Strahlenbelastung mit der richtigen Einstellung der Röhrenspannung, dem Einsatz von Filtern und Streustrahlungsgittern, der korrekten Patient\*innenlagerung und der Verwendung von modernen Speicherplattensystemen verringert werden (41,50). Zusätzlich soll bei Kindern ein an das Alter und die Indikation adaptiertes Röntgenprotokoll verwendet werden, wodurch die Strahlung um bis zu 95% reduziert werden kann (41).

Ein weiterer wichtiger Punkt in dieser Hinsicht ist, alternative bildgebende Verfahren zu nutzen, welche nicht auf ionisierende Strahlung basieren, wie zum Beispiel Ultraschall (41,51). Die Ultraschalluntersuchung wird häufig als effektiver Ersatz in der Diagnostik pädiatrischer Knochenverletzungen verwendet. Eine Metaanalyse untersuchte zehn Publikationen, in denen der Ultraschall und das konventionelle Röntgenbild für die Erstdiagnose von metaphysären Unterarmfrakturen bei Kindern verglichen wurden. Das Ergebnis zeigte eine hohe Sensitivität und Spezifität der Ultraschalluntersuchung (52). Entsprechend unseres Wissenstandes kommt der Ultraschall in der Nachsorge von Kindern und Jugendlichen mit Unterarmfrakturen nicht vor, obwohl er, vor allem in Zweifelsfällen, eine hilfreiche, kostengünstige und schmerzfreie Alternative sein könnte (52).

Die Nützlichkeit von einem Röntgenbild nach einer Reposition von unkomplizierten pädiatrischen Unterarmfrakturen unter Durchleuchtung ist laut einer aktuellen Studie gering. Die Überprüfung von 236 konsekutiven Fällen zeigte den geringen klinischen Nutzen dieser Untersuchung und setzte die Patient\*innen einer erhöhten Strahlenbelastung aus. Außerdem errechneten die Autor\*innen zusätzliche Kosten von ca. 50.000 US \$ (49).

Ähnliche Ergebnisse wurden in einer Studie mit 119 Patient\*innen berichtet, die wegen Unterarm- und Handgelenksfrakturen behandelt wurden (48). Wir vermuten,

dass die Folgekosten von mehr als zwei radiologischen Nachkontrollen größere Kosten verursachen.

Ein weiteres Thema, welches in der Literatur ambivalent diskutiert wird, ist die Verweildauer des Marknagels in situ. In dieser Diplomarbeit erfolgte die Metallentfernung im Durchschnitt neun Monate ( $262 \pm 95$  Tage) nach der Operation (Range 1-23 Monate). Vergleicht man die Verweildauer mit Ergebnissen aus der aktuellen Literatur, liegt sie in dieser Diplomarbeit im oberen Bereich. Die Deutsche Gesellschaft für Kinderchirurgie empfiehlt eine Metallentfernung frühestens ab drei Monaten, da eine frühere Metallentfernung das Risiko einer Refraktur erhöht (25). In anderen, weniger rezenten Publikationen wird auf Grund des erhöhten Refrakturrisikos von einer Entfernung der Marknägel vor dem sechsten Monat abgeraten (27,29,30). Makki et al. schlagen eine Entfernung nach klinisch und radiologisch bestätigter Konsolidierung vor (32). Pogorelić et al. schreiben, dass im Durchschnitt alle versorgten Frakturen bereits nach sechs bis acht Wochen (Range 4 – 11 Wochen) radiologisch verheilt sind (28). In der besagten Studie wurde der Marknagel fünf Monate nach der Operation (Range 4 - 9 Monate) entfernt (28). In der Literatur gilt die generelle Empfehlung die Marknägel nach radiologisch bestätigter Konsolidierung im Zeitraum zwischen drei bis sechs Monaten zu entfernen (25,28,32). Auch in dieser Diplomarbeit verblieben die Marknägel vergleichbar lange in situ und diese Arbeit empfiehlt die Metallentfernung frühestens fünf Monaten nach der Operation durchzuführen.

Trotz der fehlenden therapeutischen Veränderungen in dieser Diplomarbeit halten wir dennoch Röntgenaufnahmen nach einem Monat und vor der Metallentfernung, also nach ca. fünf Monaten, für sinnvoll.

Die erste ermöglicht es, sekundäre Dislokationen, die vor der vollständigen Durchbauung revidiert werden müssen, zu erkennen.

Die zweite Röntgenkontrolle ist die Abschlusskontrolle, die zugleich die Bestätigung der vollständigen Knochenheilung ist, und Aufschluss über die Position der Nägel vor der Entfernung gibt.

## 6 Schlussfolgerung

Knochenbrüche kommen bei Kindern und Jugendlichen häufig vor und der Anteil an Unterarmfrakturen beträgt 55% aller Frakturen (11). Zur Behandlung dieser Frakturen hat sich der ESIN in den letzten Jahren auf Grund vieler Vorteile wie beispielsweise kurzer Operationszeiten, guter Stabilität und niedriger Komplikationsraten zur Standardversorgung etabliert (26,27).

Diese Diplomarbeit zeigt, dass die meisten radiologischen Kontrollen von Kindern nach Unterarmfrakturen, die mit ESIN behandelt wurden, keine klinischen Konsequenzen nach sich zogen. Aus diesem Grund empfehlen wir, dass die radiologischen Nachkontrollen für diese Frakturart bei asymptomatischen Patient\*innen reduziert werden.

Im Anschluss an die vorliegende retrospektive Analyse ist eine prospektive Beobachtung eines neuen Nachsorgeprotokolls mit nur zwei radiologischen Untersuchungen geplant. Die erste Röntgenkontrolle könnte nach dem ersten Monat und die zweite nach dem fünften Monat für asymptomatische Patient\*innen erfolgen.

Zusätzlich sollte das intraoperative Röntgenbild zur Dokumentation des Operationsergebnisses herangezogen werden.

Dieses Nachsorgeprotokoll würde unter Berücksichtigung der in dieser Diplomarbeit beschriebenen Möglichkeiten der Strahlenreduktion den besten Kompromiss aus tolerierbarer Strahlenbelastung, ohne dabei Qualitätseinbußen in der Nachbehandlung hinnehmen zu müssen, bieten.

## 7 Literaturverzeichnis

1. Anderhuber F, Pera F, Streicher J. Waldeyer - Anatomie des Menschen: Lehrbuch und Atlas in einem Band. 19 Auflage., vollst. überarb. und aktualisierte Aufl. Berlin: De Gruyter. 2012. Seite 98–99.
2. Anderhuber F, Pera F, Streicher J. Waldeyer - Anatomie des Menschen: Lehrbuch und Atlas in einem Band. 19 Auflage., vollst. überarb. und aktualisierte Aufl. Berlin: De Gruyter. 2012. Seite 201–203.
3. Schünke M, Schulte E, Schumacher U. Prometheus: Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem. 4 Auflage., überarb. und erweiterte Aufl. Stuttgart: Thieme. 2014. Seite 248–257.
4. Anderhuber F, Pera F, Streicher J. Waldeyer - Anatomie des Menschen: Lehrbuch und Atlas in einem Band. 19 Auflage., vollst. überarb. und aktualisierte Aufl. Berlin: De Gruyter. 2012. Seite 212–218.
5. Schünke M, Schulte E, Schumacher U. Prometheus: Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem. 4 Auflage., überarb. und erweiterte Aufl. Stuttgart: Thieme. 2014. Seite 316–345.
6. Anderhuber F, Pera F, Streicher J. Waldeyer - Anatomie des Menschen: Lehrbuch und Atlas in einem Band. 19 Auflage., vollst. überarb. und aktualisierte Aufl. Berlin: De Gruyter. 2012. Seite 234–243.
7. Anderhuber F, Pera F, Streicher J. Waldeyer - Anatomie des Menschen: Lehrbuch und Atlas in einem Band. 19 Auflage., vollst. überarb. und aktualisierte Aufl. Berlin: De Gruyter. 2012. Seite 249–253.
8. Schünke M, Schulte E, Schumacher U. Prometheus: Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem. 4 Auflage., überarb. und erweiterte Aufl. Stuttgart: Thieme. 2014. Seite 356–357, 394–399.
9. Schünke M, Schulte E, Schumacher U. Prometheus: Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem. 4 Auflage., überarb. und erweiterte Aufl. Stuttgart: Thieme. 2014. Seite 362–375.
10. Kerr AT. The brachial plexus of nerves in man, the variations in its formation and branches. American Journal of Anatomy. 1918 Mar;23(2):285-395.
11. Kraus R, Schneidmüller D, Röder C. Häufigkeit von Frakturen der langen Röhrenknochen im Wachstumsalter. Dtsch Arztebl. 2005 Mar;102(12):A838-42 (Zugegriffen am 15.03.2021)  
<https://www.aerzteblatt.de/archiv/46051/Haeufigkeit-von-Frakturen-der-langen-Roehrenknochen-im-Wachstumsalter>
12. Keßler M. Häufige Frakturen des Ober- und Unterarms bei Kindern und Jugendlichen. Infoletter Kinderchirurgie-Heidelberg. 2007 Oct;3:1-12 (Zugegriffen am 08.03.2021)

[https://www.klinikum.uni-heidelberg.de/fileadmin/Chirurgie/kinderchirurgie/Infoletter\\_03\\_Frakturen.pdf](https://www.klinikum.uni-heidelberg.de/fileadmin/Chirurgie/kinderchirurgie/Infoletter_03_Frakturen.pdf)

13. Sinikumpu JJ, Lautamo A, Pokka T, Serlo W. The increasing incidence of paediatric diaphyseal both-bone forearm fractures and their internal fixation during the last decade. *Injury*. 2012 Mar;43(3):362-6.
14. Mäyränpää MK, Mäkitie O, Kallio PE. Decreasing incidence and changing pattern of childhood fractures: A population-based study. *J Bone Miner Res*. 2010 Dec;25(12):2752–9.
15. Laer L von, Kraus R, Linhart WE. *Frakturen und Luxationen im Wachstumsalter*. 6. Auflage., überarb. und erweiterte Aufl. Stuttgart: Thieme. 2013. Seite 60–77; 181–226.
16. Marzi I. *Kindertraumatologie*. 3. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer. 2016. Seite 23–34.
17. Slongo TF, Audigé L. Fracture and Dislocation Classification Compendium for Children: the AO pediatric comprehensive classification of long bone fractures (PCCF). *J Orthop Trauma*. 2007 Nov-Dec;21(10 Suppl):S135–60.
18. Slongo T, Audigé L, Schlickewei W, Clavert JM, Hunter J. Development and validation of the AO pediatric comprehensive classification of long bone fractures by the Pediatric Expert Group of the AO Foundation in collaboration with AO Clinical Investigation and Documentation and the International Association for Pediatric Traumatology. *J Pediatr Orthop*. 2006 Jan-Feb;26(1):43–9.
19. Müller ME, Nazarian S, Koch P, Schatzker J. *The comprehensive classification of fractures of long bones*. 1. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer. 1990: Seite 1 (Zugegriffen am 22.05.2020)  
<https://link.springer.com/book/10.1007%2F978-3-642-61261-9>
20. Cepela DJ, Tartaglione JP, Dooley TP, Patel PN. Classifications In Brief: Salter-Harris Classification of Pediatric Physeal Fractures. *Clin Orthop Relat Res*. 2016 Nov;474(11):2531–7.
21. Ring D. Monteggia fractures. *Orthop Clin North Am*. 2013 Jan;44(1):59–66.
22. Koch P, Rapp M, Illing P. *Radiushalsfrakturen im Wachstumsalter*. OUP. 2013 Dez;12:593–6.
23. Korhonen L, Lutz N, Sinikumpu JJ. The Association of Metal Frame Construct of ESIN and radiographic bone healing of pediatric forearm fractures. *Injury*. 2020 Apr;51(4):856–62.
24. Schmittenebecher PP. State-of-the-art treatment of forearm shaft fractures. *Injury*. 2005 Feb;36(1 Suppl):25–34.
25. Deutschen Gesellschaft für Kinderchirurgie. S1-Leitlinie: Unterarmschaftfrakturen im Kindesalter. AWMF-Leitlinien-Register. 2016

Apr;(006/062):1–10. (Zugegriffen am 16.02.2021)  
[https://www.awmf.org/uploads/tx\\_szleitlinien/006-062I\\_S1\\_Unterarmschaftfraktur-2016-05-abgelaufen.pdf](https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/006-062I_S1_Unterarmschaftfraktur-2016-05-abgelaufen.pdf)

26. Poutoglidou F, Metaxiotis D, Kazas C, Alvanos D, Mpeletsiotis A. Flexible intramedullary nailing in the treatment of forearm fractures in children and adolescents: A systematic review. *J Orthop*. 2020 Jan;20:125–30.
27. Lascombes P, Haumont T, Journeau P. Use and abuse of flexible intramedullary nailing in children and adolescents. *J Pediatr Orthop*. 2006 Nov-Dec;26(6):827–34.
28. Pogorelić Z, Gulin M, Jukić M, Biliškov AN, Furlan D. Elastic stable intramedullary nailing for treatment of pediatric forearm fractures: A 15-year single centre retrospective study of 173 cases. *Acta Orthop et Traumatol Turc*. 2020 Jul;54(4):378–84.
29. Fernandez FF, Langendörfer M, Wirth T, Eberhardt O. Failures and complications in intramedullary nailing of children's forearm fractures. *J Child Orthop*. 2010 Apr;4(2):159–67.
30. Lyman A, Wenger D, Landin L. Pediatric diaphyseal forearm fractures: Epidemiology and treatment in an urban population during a 10-year period, with special attention to titanium elastic nailing and its complications. *J Pediatr Orthop B*. 2016 Sept;25(5):439–46.
31. Kruppa C, Bunge P, Schildhauer TA, Dudda M. Low complication rate of elastic stable intramedullary nailing (ESIN) of pediatric forearm fractures: A retrospective study of 202 cases. *Medicine (Baltimore)*. 2017 Apr;96(16):e6669.
32. Makki D, Matar HE, Webb M, Wright DM, James LA, Ricketts DM. Elastic stable intramedullary nailing in paediatric forearm fractures: The rate of open reduction and complications. *J Pediatr Orthop B*. 2017 Sep;26(5):412–6.
33. Fernandez FF, Eberhardt O, Langendörfer M, Wirth T. Nonunion of forearm shaft fractures in children after intramedullary nailing. *J Pediatr Orthop B*. 2009 Nov;18(6):289–95.
34. Reiser M, Kuhn FP, Debus J, Bartenstein P. *Radiologie: Duale Reihe*. 4. Auflage, vollst. überarb. Aufl. Stuttgart: Thieme. 2017. Seite 49–60.
35. Ron E. Cancer risks from medical radiation. *Health Phys*. 2003 Jul;85(1):47-59.
36. Preston DL, Kusumi S, Tomonaga M, Izumi S, Ron E, Kuramoto A, et al. Cancer incidence in atomic bomb survivors: Part III. Leukemia, lymphoma and multiple myeloma, 1950-1987. *Radiat Res*. 1994 Feb;137(2 Suppl):S68-97.
37. Pauwels EKJ, Bourguignon MH. Radiation dose features and solid cancer induction in pediatric computed tomography. *Med Princ Pract*. 2012 Oct;21(6):508–15.

38. Himmetoglu S, Guven MF, Bilsel N, Dincer Y. DNA damage in children with scoliosis following X-ray exposure. *Minerva Pediatr.* 2015 Jun;67(3):245–9.
39. El-Ashiry EA, Abo-Hager EA, Gawish AS. Genotoxic effects of dental panoramic radiograph in children. *J Clin Pediatr Dent.* 2010 Sep;35(1):69–74.
40. Pearce MS, Salotti JA, Little MP, McHugh K, Lee C, Kim KP, et al. Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk of leukaemia and brain tumours: A retrospective cohort study. *Lancet.* 2012 Aug;380(9840):499–505.
41. Alzen G, Benz-Bohm G. Kinderradiologie - Besonderheiten des Strahlenschutzes. *Dtsch Arztebl Int* 2011; 108(24):407-14 (Zugegriffen am 15.03.2021)  
<https://www.aerzteblatt.de/archiv/93819/Kinderradiologie-Besonderheiten-des-Strahlenschutzes>
42. Antabak A, Luetic T, Ivo S, Karlo R, Cavar S, Bogovic M, et al. Treatment outcomes of both-bone diaphyseal paediatric forearm fractures. *Injury.* 2013 Sep;44(3 Suppl.):11–5.
43. Byrnes JP, Miller DC, Schafer WD. Gender differences in risk taking: A meta-analysis. *Psychological Bulletin.* 1999 May;125(3):367–83.
44. Slongo TF. Complications and failures of the ESIN technique. *Injury.* 2005 Sep;36(1 Suppl):A78-85.
45. Johari AN, Sinha M. Remodeling of forearm fractures in children. *J Pediatr Orthop B.* 1999 Apr;8(2):84-7.
46. Peterlein CD, Modzel T, Hagen L, Ruchholtz S, Krüger A. Long-term results of elastic-stable intramedullary nailing (ESIN) of diaphyseal forearm fractures in children. *Medicine (Baltimore).* 2019 Mar;98(11):e14743.
47. Sharieff GQ, Kanegaye J, Wallace CD, McCaslin RI, Harley JR. Can portable bedside fluoroscopy replace standard, postreduction radiographs in the management of pediatric fractures? *Pediatr Emerg Care.* 1999 Aug;15(4):249–51.
48. Goodman AD, Zonfrillo MR, Chiou D, Ebersson CP, Cruz Jr AI. The cost and utility of postreduction radiographs after closed reduction of pediatric wrist and forearm fractures. *J Pediatr Orthop.* 2019 Jan;39(1):e8–11.
49. Chitnis S, Giordano J, Naraghi L, Bonadio W. Utility of postreduction radiographs after fluoroscopy-guided reduction and casting of uncomplicated pediatric forearm fractures. *Pediatr Emerg Care.* 2020 Feb;36(2):92–4.
50. Shahgeldi K, Sjöberg T, Nordström J, Lesanu R, Svahn TM. Optimizing image quality, radiation dosage to the patient and to the detector in pediatric chest radiography: A phantom study of a portable digital radiography system. *Radiat Prot Dosimetry.* 2019 Dec;185(4):414-420.

51. Hamer DD-den, Blanker MH, Edens MA, Buijteweg LN, Boomsma MF, Helden van SH, et al. Ultrasound for Distal Forearm Fracture: A Systematic Review and Diagnostic Meta-Analysis. *PLoS One*. 2016 May;11(5):e0155659.
52. Katzer C, Wasem J, Eckert K, Ackermann O, Buchberger B. Ultrasound in the diagnostics of metaphyseal forearm fractures in children: A systematic review and cost calculation. *Pediatr Emerg Care*. 2016 Jun;32(6):401–7.