

Diplomarbeit

**Ist die Reposition und Immobilisierung ohne
Osteosynthese das korrekte Vorgehen bei dislozierten
distalen Unterarmfrakturen im Kindesalter?**

Eine retrospektive Studie

eingereicht von

Oskar Wiesinger

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der gesamten Heilkunde

(Dr. med. univ.)

an der

Medizinischen Universität Graz

ausgeführt an der

Universitätsklinik für Kinder- und Jugendchirurgie

unter der Anleitung von

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

Univ. FA Dr. med. univ. Claus-Uwe Weitzer

Graz, 17. November 2025

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.

Des Weiteren erkläre ich hiermit, dass, sofern bei der Erstellung dieser Arbeit Künstliche Intelligenz (KI) Werkzeuge zur Generierung und/oder Korrektur bestimmter Textpassagen verwendet wurden, dieser Einsatz unter Einhaltung ethischer Grundsätze, akademischer Integrität und den Vorgaben meiner Universität erfolgte, sowie in Folge dies transparent gemacht und in angemessener Weise gekennzeichnet wurde.

Graz, 17. November 2025

Oskar WIESINGER, eh.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei meinem Betreuer Assoz. Prof. Priv.-Doz. Dr. med. univ. Georg Singer bedanken, der mich zunächst bei der Themenfindung unterstützte, mir dann im Laufe der Erstellung dieser Arbeit immer sehr schnelle konstruktive Kritik und Feedback bot und mir außerdem die statistische Auswertung im SPSS ermöglichte.

Einen weiteren großen Beitrag leisteten meine Eltern, die mich über die gesamte Studienzeit motiviert und auch finanziell unterstützt haben.

Zusammenfassung

Hintergrund

Distale dislozierte Unterarmfrakturen sind häufige Frakturen im Kindesalter. Trotz ihrer hohen Inzidenz gibt es keine standardisierten Leitlinien für eine optimale Behandlung. Während einige Zentren nach Reposition eine chirurgische Stabilisierung mittels Osteosynthese bevorzugen, setzen andere in erster Linie auf eine konservative Behandlung mit geschlossener Reposition und Gipsimmobilisation. Ziel dieser Studie war es, die Wirksamkeit und Stabilität dieses konservativen Ansatzes retrospektiv zu bewerten und die Häufigkeit von sekundären Dislokationen sowie mögliche Einflussfaktoren zu analysieren.

Methoden

In dieser retrospektiven Studie wurden 230 Kinder und Jugendliche im Alter von 1 bis 17 Jahren untersucht, die eine distale dislozierte Unterarmfraktur erlitten hatten und zwischen Jänner 2011 und Dezember 2023 an der Universitätsklinik für Kinder- und Jugendchirurgie der Medizinischen Universität Graz behandelt wurden. Alle Patienten wurden unter Vollnarkose einer geschlossenen Reposition unterzogen, gefolgt von einer Ruhigstellung in einem Oberarmgipsverband. Demografische Daten, Frakturtyp, Repositionsergebnis, Ruhigstellungsdauer, Komplikationsrate und radiologische Parameter (Cast Index, Three Point Index und Gap Index) wurden erfasst. Die statistische Auswertung erfolgte mit IBM SPSS Statistics Version 29.

Ergebnisse

Die Gesamtkomplikationsrate betrug 12,2%. In den meisten Fällen konnten Komplikationen durch erneuten Gipsverband oder Reposition erfolgreich behandelt werden. Nur 3% der Patient*innen benötigten eine operative Intervention. Es wurden keine signifikanten Korrelationen zwischen Komplikationsrate und Alter, Geschlecht oder Frakturtyp festgestellt. Ebenso zeigten die gemessenen radiologischen Indizes keinen signifikanten Zusammenhang mit der Notwendigkeit weiterer Eingriffe. Insgesamt erwies sich die konservative Behandlung in Kombination mit sorgfältigen Nachuntersuchungen als sicher und wirksam.

Schlussfolgerung

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass eine geschlossene Reposition mit anschließender Gipsimmobilisierung ohne Osteosynthese in den meisten Fällen eine ausreichende, sichere und stabile Behandlungsmethode für distale dislozierte Unterarmfrakturen bei Kindern ist. Aufgrund des hohen Remodellierungspotentials wachsender Knochen im Kindes- und Jugendalter können moderate Fehlstellungen während des Heilungsprozesses vollständig korrigiert werden. Daher sollte die konservative Behandlung die primäre Therapieoption darstellen.

Abstract

Background

Distal displaced forearm fractures are common fractures in children. Despite their high incidence, no standardized guidelines are available for optimal treatment. While some centers prefer surgical stabilization using osteosynthesis after reduction, others primarily rely on conservative treatment with closed reduction and cast immobilization. The aim of this study was to retrospectively evaluate the effectiveness and stability of this conservative approach and to analyze the frequency of secondary displacements and possible influencing factors.

Methods

This retrospective study examined 230 children aged 1 to 17 years who had suffered a distal displaced forearm fracture and were treated at the Department of Pediatric and Adolescent Surgery at the Medical University of Graz between January 2011 and December 2023. All patients underwent closed reduction under general anesthesia, followed by immobilization in an upper arm cast. Demographic data, fracture type, reduction outcome, duration of immobilization, complication rate, and radiological parameters (cast index, three-point index, and gap index) were recorded. Statistical analysis was performed using IBM SPSS Statistics version 29.

Results

The overall complication rate was 12.2%. In most cases, complications were successfully treated by reapplying a plaster cast or reduction. Only 3% of patients required surgical intervention. No significant correlations were found between the complication rate and age, gender or fracture type. Similarly, the radiological indices measured showed no significant correlation with the need for further intervention. Overall, conservative treatment in combination with careful follow-up examinations proved to be safe and effective.

Conclusion

The results of this study show that closed reduction with subsequent cast immobilization without osteosynthesis is, in most cases, a sufficient, safe and stable treatment method for distal displaced forearm fractures in children. Due to the high remodelling potential of growing bones in children and adolescents, moderate malalignments can be completely corrected during the healing process. Conservative treatment should therefore be the primary treatment option.

Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Erklärung	II
Danksagungen	III
Zusammenfassung	IV
Abstract.....	VI
Inhaltsverzeichnis	VIII
Abbildungsverzeichnis	1
Tabellenverzeichnis	3
1. Einleitung	4
1.1 Die Anatomie des menschlichen Unterarmes	4
1.1.1 Knochen des Unterarmes.....	4
1.1.2 Muskeln des Unterarmes	6
1.1.3 GefäÙe des Unterarmes.....	9
1.1.4 Nerven des Unterarmes	10
1.2 Unterarmfrakturen im Kindesalter.....	11
1.2.1 Epidemiologie.....	11
1.2.2 Behandlungsoptionen	12
1.2.3 Operative und konservative Therapie im Vergleich.....	18
1.2.4 Internationale Unterschiede in der Herangehensweise.....	19
1.2.5 Vorliegende Problematik und Zielsetzung	20
2. Material und Methoden	21
2.1 Ethikkommission	21
2.2 Studiendesign	21
2.3 Studienpopulation.....	22
2.3.1 Einschlusskriterien	22
2.3.2 Ausschlusskriterien.....	22
2.4 Datenerhebung.....	23
2.4.1 Erläuterung der gemessenen Indizes	24
2.5 Studienmethoden	31
3. Ergebnisse.....	32

3.1 Deskriptive Beschreibung der Kohorte	32
3.2 Unfallursachen.....	36
3.3 Frakturart	38
3.4 Operationsdauer und Repositionsergebnis	39
3.5 Dauer des Krankenhausaufenthaltes und der Ruhigstellung	42
3.6 Cast Index, Three Point Index und Gap Index	42
3.7 Komplikationen die einer weiteren Therapie bedürfen	44
3.8 Untersuchung von Einflüssen auf die Komplikationsrate	45
3.8.1 Komplikationsrate und Geschlechterverteilung	45
3.8.2 Komplikationsrate und Alter	45
3.8.3 Komplikationsrate und (un)vollständige Unterarmfraktur/Dislokation	46
3.8.4 Komplikationsrate und Repositionsergebnis	47
3.8.5 Komplikationsrate und gemessene Indizes	48
3.8.6 Interpretation des Cast Index.....	49
3.8.7 Interpretation des Three Point Index	50
3.9 Komplikationen die operativ behandelt wurden.....	50
3.9.1 Unterschiede in Bezug auf das Geschlecht und das Alter	50
3.9.2 Untersuchung auf einen Zusammenhang mit der initialen knöchernen Situation	51
3.9.3 Zusammenhang zwischen Cast Index und operativ versorgter Komplikationen	52
3.9.4 Zusammenhang zwischen Three Point Index und operativ versorgter Komplikationen	52
4. Diskussion	54
5. Schlussfolgerung	58
6. Literaturverzeichnis.....	60

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Röntgenbilder eines 15-jährigen Patienten nach Fahrradsturz mit Flexionsfraktur des linken Handgelenks.	13
Abbildung 2: Es erfolgte die geschlossene Reposition mit Kirschner-Draht Osteosynthese.	14
Abbildung 3: Röntgenbilder eines 7-jährigen Mädchens nach Sturz in der Schule auf den rechten Arm mit dislozierter distaler Unterarmfraktur.....	15
Abbildung 4: Es erfolgte die geschlossene Reposition mit beinahe achsgerechter Stellung, aber Verschiebung des Fragmentes nach dorsal um doppelte Kortikalisbreite.....	16
Abbildung 5: Im weiteren Verlauf kam es zu einer sekundären Dislokation (Röntgenkontrolle nach 4 Wochen). Die Stellung wurde aufgrund des jungen Alters der Patientin belassen.	16
Abbildung 6: Bereits nach 4 Monaten zeigte sich ein nahezu vollständiges Remodelling der Fraktur.	17
Abbildung 7: Flowchart zu den Exklusionskriterien.....	23
Abbildung 8: Innenbreite des Gipses auf Höhe des Frakturspalts in lateraler Sicht.	25
Abbildung 9: Innenbreite des Gipses auf Höhe des Frakturspalts in a.p. Sicht.	25
Abbildung 10: Darstellung der gemessenen Strecken für den Three Point Index in der lateralen Sicht.	27
Abbildung 11: Darstellung der gemessenen Strecken für den Three Point Index in der a.p. Sicht.....	28
Abbildung 12: Darstellung der gemessenen Strecken für den Gap Index in der a.p. Sicht.	29
Abbildung 13: Darstellung der gemessenen Strecken für den Gap Index in der lateralen Sicht.....	30
Abbildung 14: Altersverteilung der 230 Proband*innen.....	32
Abbildung 15: Altersverteilung innerhalb der Geschlechter.....	33
Abbildung 16: Frakturen pro Jahr	34
Abbildung 17: Frakturen pro Monat.....	35
Abbildung 18: Frakturen pro Wochentag.....	36
Abbildung 19: Häufigkeiten der Sportunfälle	37
Abbildung 20: Häufigkeiten nach Unfallmechanismus.....	37

Abbildung 21: Prozentuelle Verteilung von komplett und inkomplett dislozierten Unterarmfrakturen in Abhängigkeit des Geschlechts.....	39
Abbildung 22: OP-Dauer in Minuten nach Altersgruppe.....	40
Abbildung 23: Vergleich der Repositionsergebnisse von komplett und inkomplett dislozierten Frakturen.....	42
Abbildung 24: Korrelation zwischen Three Point- und Gap- Index	44
Abbildung 25: Zusammenhang zwischen Patient*innenalter und Komplikationen, die einer weiteren Therapie bedürfen	46
Abbildung 26: Unterschied der Komplikationsrate bei vollständiger und unvollständiger Unterarmfraktur.....	47
Abbildung 27: Zusammenhang zwischen Repositionsergebnis und Komplikationsrate	48

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Altersgruppen	33
Tabelle 2: Indizes mit den jeweiligen Mittelwerten, Standardabweichungen und Bereichen	43
Tabelle 3: Spearman-Rho Korrelationskoeffizienten	43
Tabelle 4: Zusammenhang zwischen Indizes und Komplikationen mit operativer Behandlung.....	49
Tabelle 5:Komplikationen mit operativer Versorgung innerhalb der Altersgruppen	51

1. Einleitung

1.1 Die Anatomie des menschlichen Unterarmes

1.1.1 Knochen des Unterarmes

Der Unterarm besteht aus zwei Röhrenknochen (Ossa longa): dem Radius und der Ulna. Typischerweise gliedern sich lange Röhrenknochen in eine Diaphyse (Knochenschaft) und zwei Epiphysen (Knochenenden). Die Diaphyse ist durch eine kompakte Knochenstruktur, die Kortikalis, charakterisiert, welche den äußeren Anteil des Schafts bildet, während im Inneren die Cavitas medullaris (Markhöhle) liegt. Die Kortikalis verleiht dem Knochen seine mechanische Stabilität und trägt maßgeblich zur Biege- und Tragfähigkeit bei. Die Cavitas medullaris dient in der frühen Entwicklung der Hämatopoese, insbesondere der Bildung roter Blutzellen, und wird im Laufe des Lebens durch gelbes Fettmark ersetzt.

Die Epiphysen weisen hingegen eine dünnere Kortikalis auf und enthalten vorwiegend die Substantia spongiosa, ein schwammartiges Knochengewebe. Diese trabekuläre Struktur bleibt auch im Erwachsenenalter ein bedeutender Ort der Blutbildung. Zwischen Diaphyse und Epiphyse befindet sich im kindlichen Skelett die Metaphyse, welche die Epiphysenfuge (Wachstumsfuge) einschließt. Diese ist essenziell für das longitudinale Wachstum des Knochens (1).

Morphologisch stehen Radius und Ulna in einem komplementären Verhältnis zueinander: Der Radius weist ein schlankes proximales, jedoch ein kräftig ausgebildetes distales Ende auf. Im Gegensatz dazu zeigt die Ulna ein robustes proximales und ein grazileres distales Ende. Bemerkenswert ist, dass jeweils das stärker ausgebildete Knochenende über den anderen Knochen hinausragt. So übertrifft der Radius die Ulna im Bereich des distalen Endes an Länge, während die Ulna im proximalen Bereich über den Radius hinausragt (1).

1.1.1.1 Radius (Speiche)

Der Radius liegt in Supinationsstellung (Neutral-Null-Stellung) lateral der Ulna und verbleibt bei Rotationsbewegungen des Unterarms distal auf der radialen (daumenseitigen)

Seite. Wie alle Röhrenknochen gliedert sich der Radius in eine Diaphyse sowie eine proximale und eine distale Epiphyse. Das proximale Ende wird durch das Caput radii (Radiuskopf) gebildet, dessen konkave Gelenkfläche, die Fovea articularis, mit dem Capitulum humeri artikuliert. Diese Verbindung formt einen Teil des Ellenbogengelenks, die Articulatio humeroradialis (2).

Das Caput radii ist von der Circumferentia articularis umgeben, welche mit der, an der Ulna gelegenen, Incisura radialis das proximale Speichen-Ellen-Gelenk (Articulatio radioulnaris proximalis) bildet. Distal des Radiuskopfes folgt das Collum radii (Hals des Radius). Ebenfalls am proximalen Radius befindet sich die Tuberositas radii, die als Ansatzstelle für die Sehne des Musculus biceps brachii dient (2).

Der Schaft des Radius (Corpus radii) weist im Querschnitt eine annähernd dreieckige Form auf, begrenzt durch drei Kanten: den Margo anterior, Margo posterior und Margo interosseus. Diese Kanten definieren drei Flächen – Facies anterior, posterior und lateralis, die als Ursprungs- bzw. Ansatzflächen für zahlreiche Unterarmmuskeln dienen. Über die Membrana interossea antebrachii steht der Margo interosseus des Radius mit dem gleichnamigen Rand der Ulna in Verbindung. Bei der Membrana interossea handelt es sich um eine straffe bindegewebige Syndesmose. Ihre überwiegend schräg verlaufenden Fasern ziehen vom Radius nach distal zur Ulna und erfüllen zwei zentrale Funktionen: Sie vergrößern zum einen die muskuläre Insertionsfläche und verhindern zum anderen eine longitudinale Verschiebung der Unterarmknochen zueinander (1).

Am distalen Ende des Radius befindet sich die Facies articularis carpalis, welche mit dem Os scaphoideum und dem Os lunatum das proximale Handgelenk (Articulatio radiocarpalis) bildet. Lateral dieser Gelenkfläche liegt der markante Processus styloideus radii, medial geht die Gelenkfläche in die Incisura ulnaris über. Letztere artikuliert mit dem Caput ulnae und bildet gemeinsam mit diesem das distale Speichen-Ellen-Gelenk (Articulatio radioulnaris distalis), welches zusammen mit dem proximalen Gegenstück die Grundlage für die Pro- und Supinationsbewegung des Unterarms bildet (2).

Ein weiteres anatomisch relevantes Merkmal des distalen Radius ist das Tuberculum dorsale radii (auch als Lister-Tuberkel bekannt), welches als Leitstruktur für die Sehnen der Extensoren fungiert und diese voneinander trennt (1).

1.1.1.2 Ulna (Elle)

Die Ulna befindet sich medial des Radius und weist, analog zum Radius, eine Gliederung in Diaphyse sowie proximale und distale Epiphyse auf. Die proximale Epiphyse wird überwiegend durch das Olecranon gebildet. Dieses prominent C-förmig ausgeprägte Strukturelement formt gemeinsam mit der Trochlea humeri die Articulatio humeroulnaris und damit den zweiten Teil des Ellenbogengelenks. Ventral geht die Gelenkfläche in den Processus coronoideus über. Lateral dieses Fortsatzes liegt die Incisura radialis, welche mit dem Caput radii artikuliert und Teil des proximalen Radioulnargelenks (Articulatio radioulnaris proximalis) ist. Etwas distal des Processus coronoideus befindet sich die Tuberositas ulnae, welche als Ansatzstelle des Musculus brachialis dient (1).

Der Schaft der Ulna (Corpus ulnae) ähnelt im Querschnitt dem des Radius und weist eine annähernd dreieckige Form auf. Diese entsteht durch drei Längskanten: den Margo anterior, Margo posterior und Margo interosseus. Die dazwischenliegenden Flächen – Facies anterior, posterior und medialis – dienen als Ursprungs- und Ansatzflächen für später erwähnte Muskelgruppen des Unterarms (1).

Distal endet die Ulna im Caput ulnae (Ulnakopf). Dieser steht über das distale Radioulnargelenk mit dem Radius in Verbindung, während zur Handwurzel keine direkte knöcherne Artikulation besteht. Stattdessen wird der Kontakt zur Handwurzel durch eine bindegewebige Zwischenscheibe, den Discus articularis sive ulnocarpalis (auch Discus triangularis genannt), vermittelt. Dieser zieht vom Radius medialwärts zum Processus styloideus ulnae und artikuliert mit den Handwurzelknochen Os lunatum und Os triquetrum, wodurch der ulnare Anteil der Articulatio radiocarpalis (proximales Handgelenk) gebildet wird (1).

1.1.2 Muskeln des Unterarmes

Am Unterarm befinden sich insgesamt 20 Einzelmuskeln, die funktionell in drei Hauptgruppen unterteilt werden: die ventrale Flexorengruppe, die dorsale Extensorengruppe sowie die brachioradiale Muskelgruppe. Ein Großteil der an der Fingerbewegung beteiligten Muskulatur entspringt nicht direkt an der Hand, sondern

proximal am Unterarm. Dies ermöglicht eine effektive und vor allem präzise Kraftübertragung auf die im Verhältnis dazu feinen Strukturen der Finger. Zusätzlich befinden sich unter den Unterarmmuskeln auch Stabilisatoren des Handgelenks, die die biomechanische Effizienz und Stabilität bei Halte- und Stützvorgängen unterstützen und eine differenzierte Bewegung im Handgelenk ermöglichen (1,3).

1.1.2.1 Flexorengruppe

Die Flexoren des Unterarmes lassen sich in eine oberflächliche und eine tief liegende Gruppe gliedern. Die oberflächliche Flexorengruppe entspringt primär am Epicondylus medialis humeri und inseriert an verschiedenen Strukturen des Unterarmes und der Hand, darunter am Radius, an den Handwurzelknochen, den Mittelhandknochen sowie der Palmaraponeurose. Zu dieser Muskelgruppe zählen der Musculus pronator teres, Musculus flexor digitorum superficialis, Musculus flexor carpi radialis, Musculus flexor carpi ulnaris und der Musculus palmaris longus. Diese Muskeln erfüllen je nach Gelenk unterschiedliche Funktionen: Sie unterstützen die Flexion im Ellenbogengelenk (Articulatio cubiti), wirken an der Pronation des Unterarms mit und ermöglichen im Handgelenk (Articulatio radiocarpalis) eine Flexion sowie eine Radial- oder Ulnarduktion. Darüber hinaus bewirken sie eine Flexion der Finger II–V in den Grund- und Mittelgelenken (Articulationes metacarpophalangeales und Articulationes interphalangeales proximales). Die Innervation erfolgt überwiegend durch den Nervus medianus, mit Ausnahme des Musculus flexor carpi ulnaris, der durch den Nervus ulnaris versorgt wird (2).

Die tiefe Flexorengruppe hat ihren Ursprung an der Ulna, dem Radius sowie der Membrana interossea antebrachii und inseriert an der palmaren Seite der Endphalangen der Finger sowie am distalen Radius. Zu dieser Gruppe zählen der Musculus flexor digitorum profundus, der Musculus flexor pollicis longus und der Musculus pronator quadratus. Funktionell sind diese Muskeln sowohl an der Pronation des Unterarms als auch an der Flexion im Handgelenk sowie in den Grund-, Mittel- und Endgelenken der Finger beteiligt. Die Innervation erfolgt ebenfalls größtenteils über den Nervus medianus; der Musculus flexor digitorum profundus erhält zusätzlich eine Versorgung durch den Nervus ulnaris (2).

1.1.2.2 Extensorengruppe

Der funktionelle Antagonist der Flexorengruppe ist die Extensorengruppe, welche ebenfalls in eine oberflächliche und eine tiefe Muskelschicht untergliedert werden kann. Zu den oberflächlichen Extensoren des Unterarmes zählen drei Hauptmuskeln: der *Musculus extensor digitorum*, *Musculus extensor digiti minimi* sowie der *Musculus extensor carpi ulnaris*. Diese Muskeln entspringen überwiegend am *Epicondylus lateralis humeri* und teilweise an der dorsalen Fläche der *Ulna*. Der *Musculus extensor digitorum* und der *Musculus extensor digiti minimi* strahlen in die Dorsalaponeurose der Finger II–V bzw. des kleinen Fingers ein, während der *Musculus extensor carpi ulnaris* an der Basis des *Os metacarpale V* inseriert (2).

Funktionell ermöglichen diese Muskeln eine Dorsalextension in der *Articulatio radiocarpalis* sowie eine Ulnarduktion der Hand. Darüber hinaus bewirken sie die Streckung in den Grund-, Mittel- und Endgelenken der Finger II–V. Sowohl die oberflächliche als auch die tiefe Extensorengruppe werden durch den *Nervus radialis* innerviert (2).

Die tiefer liegenden Extensorenmuskeln entspringen an der dorsalen Fläche des *Radius*, der *Ulna* sowie an der *Membrana interossea antebrachii*. Eine Ausnahme bildet der *Musculus supinator*, der vom *Olecranon* sowie vom *Epicondylus lateralis humeri* zum *Radius* zieht und wesentlich an der Supination des Unterarms beteiligt ist (2).

Zu den tiefen Extensoren zählen unter anderem der *Musculus abductor pollicis longus*, der *Musculus extensor pollicis brevis* sowie der *Musculus extensor pollicis longus*. Diese Muskeln setzen an der Basis des Daumengrundglieds, der Endphalanx sowie des *Os metacarpale I* an und sind für die Extension im Handgelenk, im Daumensattelgelenk sowie im Grund- und Endgelenk des Daumens verantwortlich (2).

Ein weiterer eigenständiger Muskel der tiefen Extensorengruppe ist der *Musculus extensor indicis*, welcher in die Dorsalaponeurose des zweiten Fingers einstrahlt. Er ermöglicht die Extension in den Grund-, Mittel- und Endgelenken des Zeigefingers und unterstützt dadurch auch die Dorsalextension im Handgelenk (2).

1.1.2.3 Brachioradialgruppe

Die brachioradiale Muskelgruppe, auch als Radialismuskulatur bezeichnet, besteht aus drei Muskeln: dem Musculus brachioradialis, Musculus extensor carpi radialis longus sowie dem Musculus extensor carpi radialis brevis. Diese Muskeln entspringen an der lateralen Seite des distalen Humerus, insbesondere an der Crista supracondylaris lateralis sowie am Epicondylus lateralis humeri (2).

Die Insertionspunkte dieser Muskelgruppe befinden sich am Processus styloideus radii (für den Musculus brachioradialis) sowie an der dorsalen Basis des Os metacarpale II (für den Musculus extensor carpi radialis longus) und des Os metacarpale III (für den Musculus extensor carpi radialis brevis) (2).

Da die brachioradialen Muskeln mehrere Gelenke überqueren, übernehmen sie jeweils spezifische Funktionen: Im Ellenbogengelenk unterstützen sie die Flexion, in den Articulationes radioulnares proximalis et distalis tragen sie zur Pronation (aus der Mittelstellung) bei, und im Handgelenk ermöglichen sie sowohl die Dorsalextension als auch die Radialduktion der Hand (2).

Die gesamte Muskelgruppe wird motorisch durch den Nervus radialis innerviert (2).

1.1.3 Gefäße des Unterarmes

Am Unterarm verlaufen drei größere Arterien: die Arteria radialis, die Arteria ulnaris und die Arteria interossea communis. Alle drei Gefäße gehen aus der Arteria brachialis hervor, welche entlang der ventralen Seite des Oberarms nach distal zieht. Auf Höhe der Ellenbeuge gibt die Arteria brachialis zunächst die Arteria radialis ab, die entlang des radialen Randes des Radius gemeinsam mit dem Musculus brachioradialis nach distal verläuft. Unmittelbar nach ihrer Abzweigung gibt die Arteria radialis die Arteria recurrens radialis ab, welche in proximaler Richtung zum Oberarm zurückzieht und an der Versorgung des Ellenbogengelenks beteiligt ist (1,3).

Nach Abgabe der Arteria radialis teilt sich die Arteria brachialis in zwei weitere Äste auf: die Arteria ulnaris sowie die Arteria interossea communis. Die Arteria ulnaris gibt zunächst die Arteria recurrens ulnaris ab, welche ebenfalls in Richtung Ellenbogengelenk

verläuft. Anschließend verläuft die Arteria ulnaris gemeinsam mit dem Musculus flexor carpi ulnaris entlang der ulnaren Unterarmkante nach distal. In der Region der Hohlhand beteiligt sie sich zusammen mit der Arteria radialis an der Bildung des Arcus palmaris, welcher die palmare Durchblutung der Hand sicherstellt (1,3).

Die Arteria interossea communis spaltet sich in zwei Äste auf: die Arteria interossea anterior und die Arteria interossea posterior. Letztere gibt zusätzlich die Arteria interossea recurrens ab, die ebenfalls zur Versorgung des Ellenbogengelenks beiträgt. Die Arteria interossea anterior verläuft entlang der Vorderfläche der Membrana interossea antebrachii nach distal und durchdringt diese auf Höhe des Musculus pronator quadratus, um sich am Aufbau des Rete carpale dorsale zu beteiligen – einem Gefäßnetz auf der dorsalen Seite des Handgelenks. Die Arteria interossea posterior verläuft entlang der dorsalen Seite der Membran und mündet ebenfalls in das Rete carpale dorsale (3).

1.1.4 Nerven des Unterarmes

Die Innervation des Unterarmes, sowohl motorisch als auch sensibel, erfolgt über periphere Nerven, die aus dem Plexus brachialis hervorgehen. Dieser Plexus wird durch die Radices anteriores der Spinalnerven C5 bis Th1 gebildet und stellt das zentrale neuronale Versorgungsnetzwerk der oberen Extremität dar. Dazu gehört die Brust, die Schulter und der gesamte Arm. Am Unterarm sind vier lange periphere Nerven zu nennen: der Nervus radialis, Nervus ulnaris, Nervus medianus und der Nervus musculocutaneus.

Eine zentrale Rolle in der Innervation des Unterarms kommt dem Nervus radialis zu, dessen Fasern den Segmenten C6 bis Th1 entstammen. Motorisch versorgt dieser Nerv die Extensorenmuskulatur des Unterarms, sensibel hingegen Teile der dorsalen Haut des Unterarms sowie des Handrückens (3).

Ebenfalls aus den Segmenten C6 bis Th1 geht der Nervus medianus hervor. Er innerviert, gemeinsam mit dem Nervus ulnaris, die Flexormuskulatur des Unterarms. Sensibel ist der Nervus medianus für die palmare Innervation der radialen dreieinhalb Finger verantwortlich (Daumen, Zeige-, Mittel- und radiale Hälfte des Ringfingers) (3).

Die ulnare Seite des Unterarms wird motorisch und sensibel durch den Nervus ulnaris versorgt, welcher aus den Rückenmarkssegmenten C8 bis Th1 stammt. Er ist

verantwortlich für die motorische Versorgung einzelner Flexoren sowie die sensible Innervation des Ring- und Kleinfingers einschließlich der ulnaren Handkante (3).

Der Nervus musculocutaneus, der aus den Rückenmarkssegmenten C5 bis C7 stammt, innerviert motorisch vorwiegend die Beugemuskulatur des Oberarms. Sein sensibler Endast, der Nervus cutaneus antebrachii lateralis, übernimmt die sensible Versorgung der lateralen Unterarmhaut (3).

Obwohl der Nervus axillaris ebenfalls aus dem Plexus brachialis entspringt, spielt er bei der motorischen Innervation des Unterarms keine Rolle. Allerdings versorgt er distal mit seinem Endast, dem Nervus cutaneus antebrachii medialis, die mediale Hautregion des Unterarms sensibel (3).

1.2 Unterarmfrakturen im Kindesalter

1.2.1 Epidemiologie

Knochenfrakturen zählen zusammen mit Prellungen und Abschürfungen zu den häufigsten Verletzungen im Kindesalter und stellen demnach einen bedeutenden Anteil aller pädiatrischen Notfallbehandlungen dar. Die Inzidenz variiert je nach Alter, Geschlecht und Aktivitätsniveau der Kinder (4).

Das Verhältnis der Gesamtanzahl an Fraktur/Person pro Jahr im Kindesalter bezogen auf das Geschlecht verhält sich bei Mann zu Frau in etwa 1,5:1. Auch beim Altersgipfel ist ein geschlechtsspezifischer Unterschied zu erkennen. Mädchen erleiden Frakturen am häufigsten im Alter zwischen 11 und 12 Jahren, während bei Jungen der Altersgipfel zwischen 13 und 14 Jahren liegt (5).

Die Häufigkeitsverteilung der Lokalisation von Frakturen im Kindesalter variiert je nach betrachteter Studie, denn sie hängt von vielen unterschiedlichen Faktoren ab; zum Beispiel dem Untersuchungszeitraum, der Anzahl untersuchter Personen oder der geografischen Lage der Kohorte. Laut einer retrospektiven Studie der orthopädischen Klinik in Guangdong, China, bei der die Frakturen von 10.486 Personen im Alter von 1-18 Jahren dokumentiert wurden, wurde die distale Humerusfraktur mit 27,5% eindeutig am häufigsten diagnostiziert. Direkt dahinter fanden sich mit 12,4% die distale Ulnafraktur und mit 11,4% die distale Radiusfraktur. Rechnet man die Frakturen des Unterarmschaftes

noch dazu kommt man insgesamt auf 39,3%, also ist die Fraktur des Unterarmes mit Abstand die häufigste Lokalisation für Frakturen im Kindesalter (6).

Eine ähnliche Studie wurde am Universitätsklinikum für Kinder- und Jugendchirurgie in Graz durchgeführt. Es handelt sich ebenfalls um eine retrospektive Studie mit 3339 untersuchten Personen, im Alter unter 19 Jahren, die zwischen Dezember 2004 und Oktober 2006 eine Fraktur erlitten haben und am Universitätsklinikum versorgt wurden. Hierbei wurden auch die Unfallorte und -mechanismen etwas genauer betrachtet und es zeigte sich, dass sich 34,7% aller untersuchter Unfälle in Sportstätten ereigneten. Der häufigste Unfallmechanismus war mit 41,9% ein Sturz in der Ebene, gefolgt von Stürzen aus einer Höhe < 3 Meter mit 23,2% und unfreiwilligen Zusammenstößen mit anderen Personen oder Objekten mit 18,2%. In dieser Studie war mit 15,3% die häufigste Frakturlokalisierung der distale Radius (7).

1.2.2 Behandlungsoptionen

Die Behandlung von distalen dislozierten Unterarmfrakturen kann konservativ oder operativ erfolgen. Ziel ist es eine schmerzlose freie Beweglichkeit im Handgelenk, eine uneingeschränkte Unterarmumwendbewegung, einen kraftvollen Faustschluss und die freie Streckbarkeit der Finger wiederherzustellen. Da es sich bei der distalen Unterarmfraktur im Kindesalter um eine sehr heterogene Verletzung handelt, müssen in die Therapieplanung einige Faktoren miteinbezogen werden. Dazu gehören unter anderem: der Unfallmechanismus, das Frakturmuster, die Weichteilverhältnisse, Bandinstabilitäten und karpale Begleitverletzungen (8).

1.2.2.1 Operative Therapie

Zu den absoluten Indikationen für eine operative Therapie gehören: offene Frakturen, instabile Frakturen (alle Trümmerfrakturen und dislozierten Flexionsfrakturen), dislozierte intraartikuläre Frakturen, irreponible Frakturen, sekundär dislozierte Frakturen, begleitende Nervenverletzungen, begleitende Gefäßverletzungen, Durchblutungsstörungen nach Reposition, komplexe Begleitverletzungen der Handwurzel und des Handgelenks und der ausdrückliche Wunsch der Patient*innen (8).

Die gängigsten Methoden bei der operativen Versorgung sind zum einen die Kirschner-Draht Osteosynthese (K-Draht Fixation) und zum anderen die elastisch-stabile intramedulläre Nagelung (ESIN). Bei der K-Draht Fixation erfolgt zunächst die Reposition

unter Bildwandlerkontrolle in Vollnarkose. Ist das Ergebnis der Reposition zufriedenstellend, werden anschließend durch die Haut, unter Schonung von Gefäßen und Nerven, Kirschner Drähte in den Knochen gebohrt, um die Fraktur zu fixieren (**Abbildungen 1 und 2**). Um eine sekundäre Dislokation zu vermeiden, ist eine postoperative Ruhigstellung von 4 - 6 Wochen mittels Gips nötig, danach erfolgt die Metallentfernung (9).



Abbildung 1: Röntgenbilder eines 15-jährigen Patienten nach Fahrradsturz mit Flexionsfraktur des linken Handgelenks.

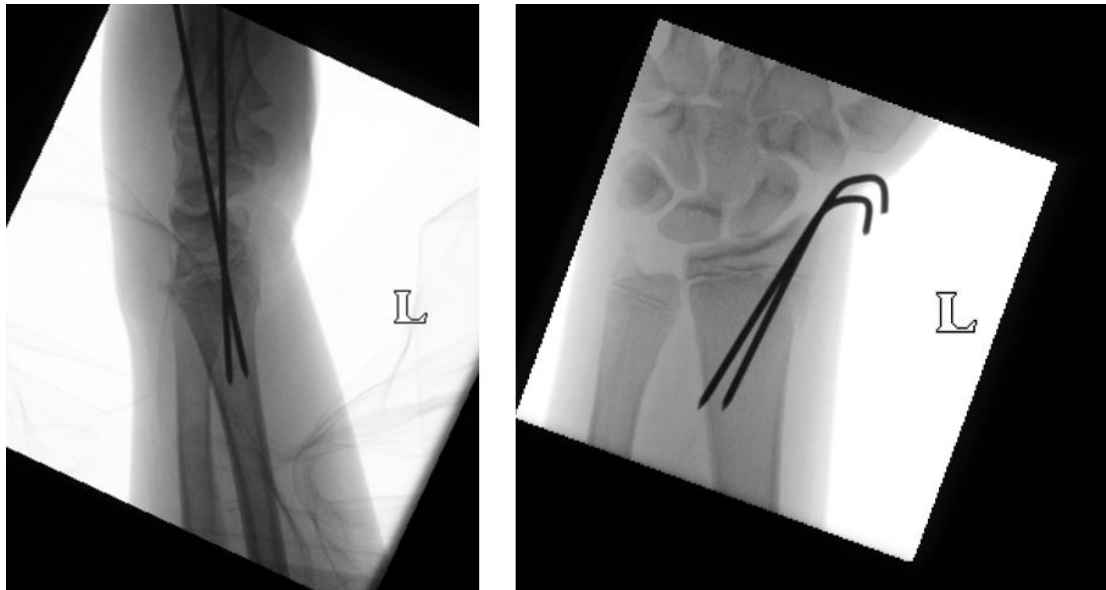


Abbildung 2: Es erfolgte die geschlossene Reposition mit Kirschner-Draht Osteosynthese.

Befindet sich die Frakturlinie weiter proximal, am metaphysär-diaphysären Übergangsbereich, werden entweder die Kirschner Drähte weiter in den Markraum vorangetrieben oder es wird die intramedulläre Markraumnagelung zur Stabilisierung verwendet. Dabei wird ein elastischer Nagel in den Markraum eingebracht, beim Radius von distal nach proximal und bei der Ulna von proximal nach distal. Dies ist zwar ein invasiveres Verfahren als die Kirschner-Draht Osteosynthese, bietet dafür aber mehr Stabilität und es kann in der Regel postoperativ auf eine Ruhigstellung mittels Gips verzichtet werden. Die Metallentfernung erfolgt hierbei erst 4 – 6 Monate postoperativ, um das Refrakturrisiko zu minimieren (10).

1.2.2.2 Konservative Therapie

Bei der Entscheidung für eine konservative Therapie muss das enorme Korrekturpotential noch wachsender Knochen berücksichtigt werden. Ganz besonders im Bereich des distalen Radius, aufgrund der Nähe zur Wachstumsfuge mit ihrem hohen Anteil am Längenwachstum des Unterarmes. Es gibt Studien die belegen, dass Korrekturen einer Achsenfehlstellung von $0,9^\circ$ pro Monat und damit mehr als 10° pro Jahr möglich sind. Im Bereich des distalen Unterarmes können Achsenabweichungen bis zu 30° toleriert werden, dies wird in den **Abbildungen 3 – 6** anhand eines Beispiels veranschaulicht. Auch die Seit-zu-Seit-Verschiebung bis zu einer vollen Schaftbreite kann nur durch

Längenwachstum korrigiert werden. Bei Rotationsfehlstellungen verhält es sich allerdings anders. Hier ist eine Korrektur alleinig durch Wachstum nicht möglich (12).

Die genaue Altersgrenze für ein solches Korrekturpotential wird in der Literatur noch weiterhin diskutiert. Die Grenze wird in der Regel zwischen dem 10. und 12. Lebensjahr gezogen. Ab diesem Alter sollten grobe Fehlstellungen nicht mehr toleriert werden (12).

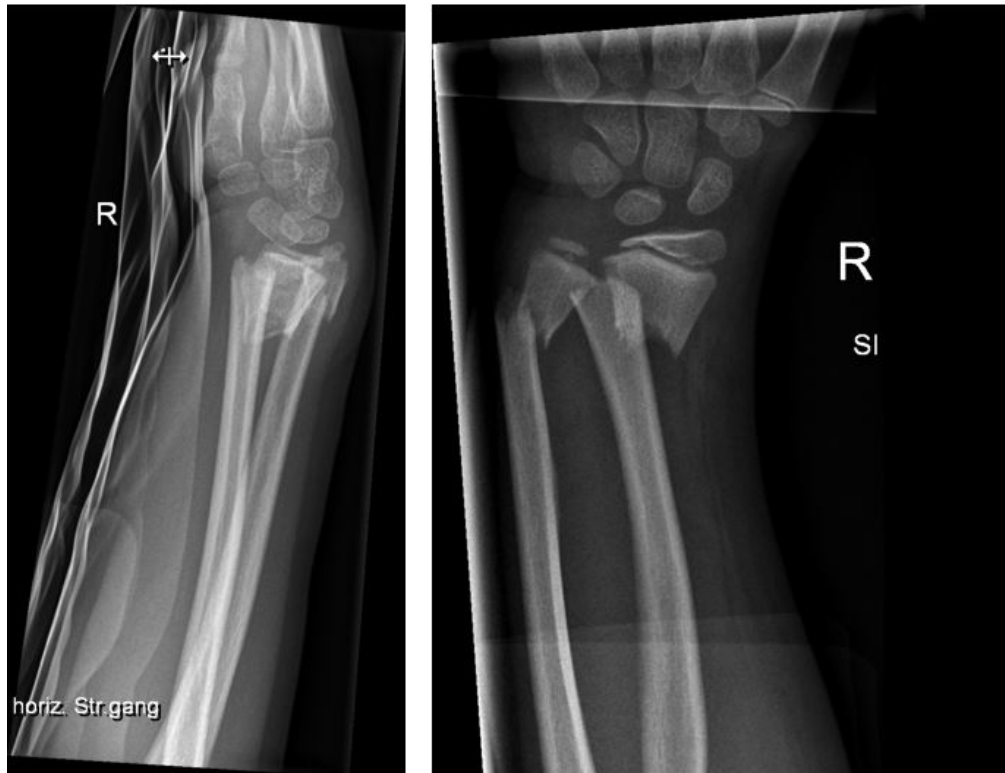


Abbildung 3: Röntgenbilder eines 7-jährigen Mädchens nach Sturz in der Schule auf den rechten Arm mit dislozierter distaler Unterarmfraktur.



Abbildung 4: Es erfolgte die geschlossene Reposition mit beinahe achsgerechter Stellung, aber Verschiebung des Fragmentes nach dorsal um doppelte Kortikalisbreite.

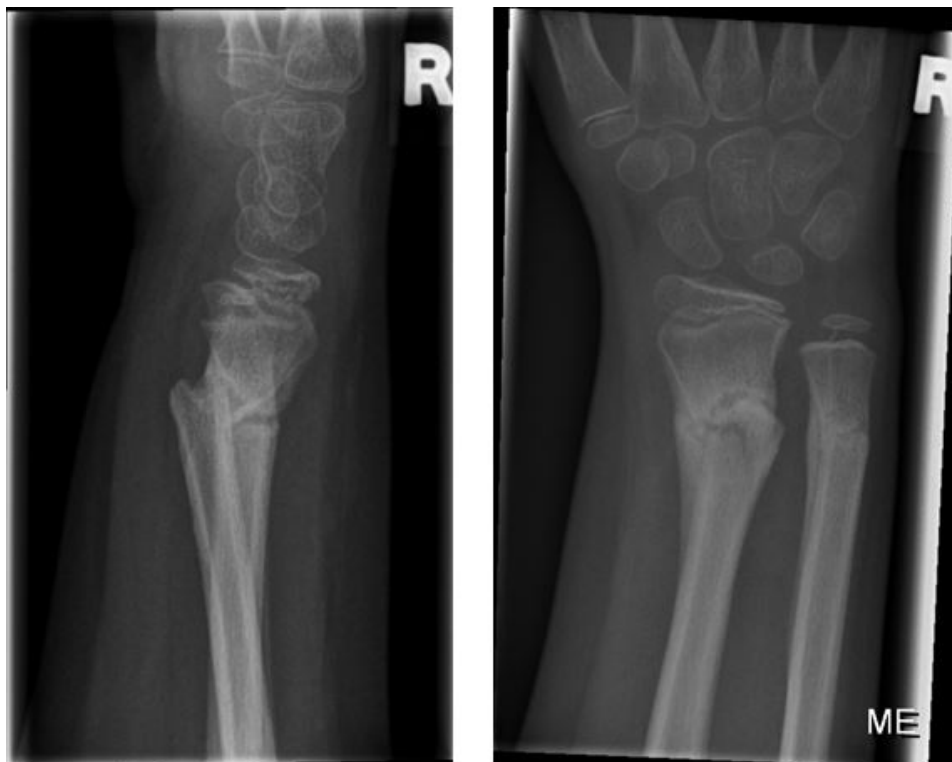


Abbildung 5: Im weiteren Verlauf kam es zu einer sekundären Dislokation (Röntgenkontrolle nach 4 Wochen). Die Stellung wurde aufgrund des jungen Alters der Patientin belassen.

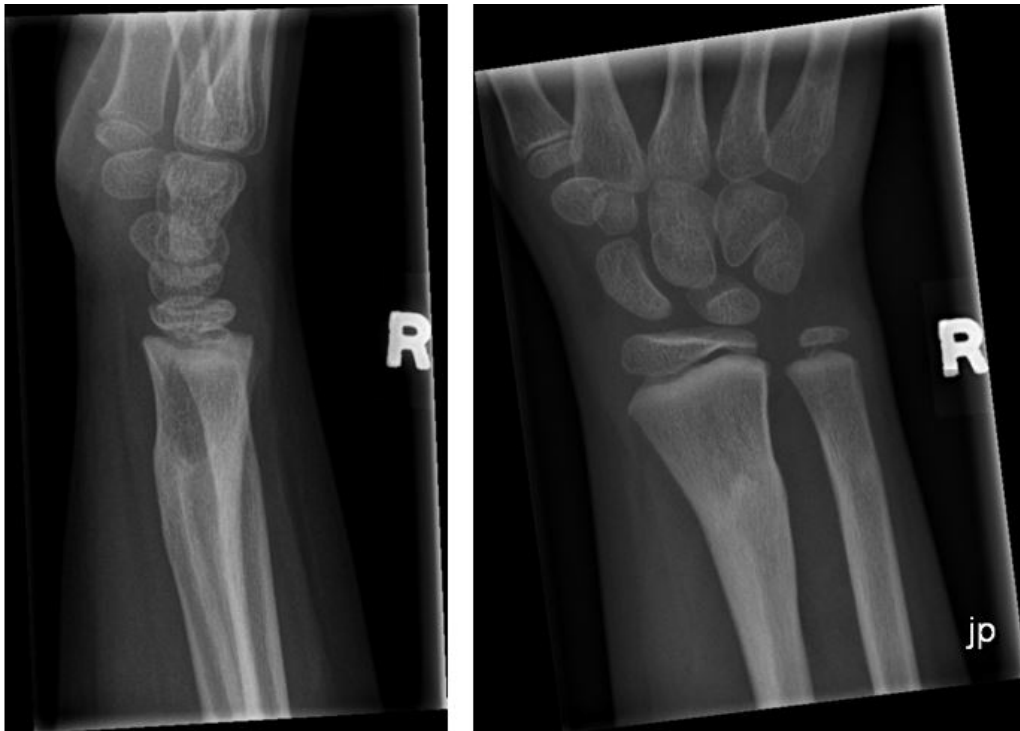


Abbildung 6: Bereits nach 4 Monaten zeigte sich ein nahezu vollständiges Remodelling der Fraktur.

Je nach Quelle können für ein konservatives Therapieschema folgende Indikationen genannt werden: unvollständige oder stabile Frakturen (wie zum Beispiel Grünholzfrakturen), achsengerecht stehende nicht dislozierte Frakturen oder gering dislozierte Frakturen mit einer Achsenabweichung $<10^\circ$, beziehungsweise bei sehr jungen Kindern bis $<20^\circ$. Dies variiert jedoch je nach Nation und Klinik stark (12,13).

Grundsätzlich erfolgt eine geschlossene Reposition entweder in Analgosedierung oder in Vollnarkose. Das Ziel ist die Wiederherstellung der anatomischen Achsstellung. Die Kontrolle erfolgt dabei in der Regel mittels Bildwandler. Bei einem zufriedenstellenden Repositionsergebnis wird der Arm mit einer Oberarmgipslonguette in 90° Ellenbogenflexion und Neutralstellung des Unterarmes ruhiggestellt. Die Ruhigstellungsdauer beträgt dabei in der Regel 4 – 6 Wochen (12,13).

Bei der konservativen Behandlung von Unterarmfrakturen ist die Nachbehandlung von besonders großer Bedeutung, da das Risiko einer sekundären Dislokation besteht. Regelmäßige Röntgenkontrollen sind hierbei das Mittel der Wahl, um eine erneute Verschiebung der frakturierten Knochen früh zu erkennen und dieser gegebenenfalls entgegenzuwirken. Eine Stellungskontrolle mittels Röntgen erfolgt in der Regel nach Anlage des Oberarmgipses und am 8. Tag nach der Reposition, gefolgt von regelmäßigen

Röntgenkontrollen. Die Überprüfung der Konsolidierung erfolgt üblicherweise nach 4 Wochen, beziehungsweise vor Abnahme des Gipses (12).

Im Falle einer Verschiebung kann innerhalb der ersten 10 Tage eine Korrektur der Achsfehlstellung mit einer Gipskeilung erfolgen. Dabei wird der Gips an der konkaven Seite der Fehlstellung aufgeschnitten und aufgespreizt, um der Fehlstellung entgegenzuwirken. Danach wird ein Platzhalter, zum Beispiel aus Holz oder Kunststoff, eingebracht, um die neue Position zu stabilisieren und anschließend ein zirkulärer Gips zur Sicherung angebracht. Mit einer anschließenden Röntgenkontrolle wird die neue Stellung überprüft (14).

1.2.3 Operative und konservative Therapie im Vergleich

Bei der Behandlung von distalen dislozierten Unterarmfrakturen im Kindesalter stehen viele Ärzte vor einem therapeutischen Dilemma. Die Entscheidung für ein konservatives oder ein operatives Therapieschema erfordert individuelle Abwägungen, weil beide Verfahren spezifische Vor- und Nachteile mit sich bringen. Entscheidende Faktoren sind dabei die Frakturmorphologie, das Patient*innenalter, das Risiko einer sekundären Dislokation, die Compliance der Patient*innen und ihrer Eltern sowie regionale und internationale Behandlungsstandards (15).

Die konservative Herangehensweise wird insbesondere bei jungen Patienten (<12 Jahre alt) bevorzugt, weil hier wie oben bereits erwähnt ein hohes Remodellierungspotential besteht. Bei dieser nicht-invasiven Methode besteht durch Vermeidung des chirurgischen Eingriffes ein weit geringeres Risiko für Verletzungen von Gefäßen und Nerven oder einer Infektion. Außerdem muss kein Hautschnitt getätigt werden, wodurch auch keine zurückbleibende Narbe im Bereich der Verletzung entsteht. Dafür besteht, insbesondere bei instabilen oder nach Reposition ungünstig stehenden Frakturen, das Risiko einer sekundären Dislokation. Wodurch neben zusätzlichen Röntgenkontrollen eine Gipskeilung, eine erneute Reposition oder im schlimmsten Fall der operative Eingriff mittels Kirschner-Draht- oder ESIN-Fixierung nötig werden (13,14).

Dagegen bietet die operative Versorgung eine deutlich höhere Repositionsstabilität, wodurch das Risiko einer erneuten Dislokation erheblich gesenkt werden kann. Der Eingriff einer Fixierung mit Kirschner-Drähten ist minimalinvasiv und ermöglicht in vielen Fällen eine frühere funktionelle Nachbehandlung, zum Beispiel in Form einer

Physiotherapie. Trotzdem dürfen Risiken einer Infektion an den Drahteintrittsstellen oder eine potentielle Schädigung der Wachstumsfuge durch unsachgemäße Platzierung der Drähte nicht außer Acht gelassen werden. Auch die Tatsache, dass ein weiterer Eingriff zur Metallentfernung nötig ist, muss in die Entscheidungsfindung mit einfließen (15).

1.2.4 Internationale Unterschiede in der Herangehensweise

International variiert die therapeutische Herangehensweise an distale dislozierte Unterarmfrakturen erheblich. Zurückzuführen sind diese Unterschiede höchstwahrscheinlich auf fehlende Leitlinien, die spezifisch für die Versorgung distaler Unterarmfrakturen im Kindesalter angefertigt wurden, unterschiedliche Verfügbarkeit von Ressourcen und historische Behandlungstraditionen.

In Österreich existiert keine spezifische Leitlinie für die Versorgung von distalen Unterarmfrakturen im Kindesalter, weshalb die Entscheidung für ein konservatives oder operatives Therapieverfahren dem/der behandelnden Chirurgen/Chirurgin obliegt. Am Universitätsklinikum für Kinder- und Jugendchirurgie in Graz wird zum Beispiel primär das konservative Therapiekonzept verfolgt. Hier liegt der Fokus auf der geschlossenen Reposition in Narkose und der anschließenden Ruhigstellung im Gips, selbst bei moderater bis vollständiger Dislokation mit Verkürzung. Eine operative Versorgung wird meist nur bei instabilen Frakturen, bei irreponiblen Frakturen oder beim Versagen der konservativen Therapie in Betracht gezogen. Die hohe Toleranz gegenüber knöchernen Fehlstellungen basiert auf dem bereits erwähnten Remodellierungspotential kindlicher Knochen. Zusätzlich wird die Gipskeilung häufig angewandt, um sekundären Dislokationen entgegenzuwirken und Operationen zu vermeiden.

In der Schweiz hingegen besteht eine stärkere Tendenz zur operativen Versorgung. Hier wird bei instabilen Frakturen oft schon präventiv eine Osteosynthese mittels Kirschner-Drähten durchgeführt, um Re-Dislokationen zu vermeiden. Diese Strategie ist wohlmöglich durch nordamerikanische Einflüsse geprägt, wo die operative Fixierung auch schon bei moderater Achsabweichung häufig Anwendung findet (16). Regionen wie Pakistan zum Beispiel, die in ihren operativen Ressourcen limitierter sind als in Europa, greifen dementsprechend vermehrt auf die konservative Therapie zurück (17).

1.2.5 Vorliegende Problematik und Zielsetzung

Allgemein ist die Studienlage zur Versorgung von distalen Unterarmfrakturen im Kindesalter eher dürftig, weshalb es schwierig ist, genauere Aussagen über die bevorzugten Therapieschemata in verschiedenen Ländern zu treffen. Trotz der Häufigkeit distaler dislozierter Unterarmfrakturen im Kindesalter ist die optimale Behandlungsstrategie noch nicht festgelegt und die Meinungen dazu gehen stark auseinander. Während die konservative Versorgung mittels geschlossener Reposition und Gipsruhigstellung in vielen Kliniken, wie zum Beispiel auch am Universitätsklinikum Graz als Standardverfahren gilt, wird in anderen Zentren die primär operative Stabilisierung bevorzugt. Hauptargument dabei ist die Vermeidung von sekundären Dislokationen. Der internationale Vergleich lässt eine gewisse Heterogenität in der klinischen Praxis erkennen, weil weder einheitliche Indikationskriterien noch standardisierte Leitlinien für diese spezifische Frakturkonstellation existieren. Es mangelt an methodisch robusten Studien, die systematisch konservative und operative Versorgungsansätze in Bezug auf Reinterventionsraten vergleichen. Leitlinien wie jene der AWMF fokussieren sich entweder auf den Unterarmschaft oder auf distale Radiusfrakturen bei Erwachsenen, während konkrete Empfehlungen für distale, dislozierte Unterarmfrakturen im Kindesalter weitgehend fehlen (13,18).

Aus diesem Grund adressiert die vorliegende retrospektive Studie eine klinisch hochrelevante Forschungslücke. Es wurden 230 Patient*innen mit distalen dislozierten Unterarmfrakturen eingeschlossen, die im Zeitraum von Jänner 2011 bis Jänner 2024 im Universitätsklinikum für Kinder- und Jugendchirurgie ausschließlich konservativ, mittels Reposition in Allgemeinanästhesie und anschließender Gipsimmobilisation behandelt wurden. Ziel dieser Studie ist es, die Rate an sekundären Dislokationen zu analysieren und daraus Rückschlüsse auf die Stabilität und Effektivität des konservativen Vorgehens zu ziehen. Außerdem wurden diverse Cast-Indizes aus den postinterventionellen Röntgenaufnahmen ermittelt, um mögliche Aussagen über den Zusammenhang zwischen der fachgerechten Gipsanlage und der Reinterventionsrate zu treffen. Angesichts der Größe der Kohorte und des einheitlichen Behandlungsschemas soll diese Arbeit einen evidenzbasierten Beitrag zur Diskussion leisten, ob die konservative Therapie auch bei dislozierten Frakturen als Methode der Wahl anzusehen ist. Die Ergebnisse könnten somit eine Grundlage für zukünftige Leitlinien und klinische Entscheidungsfindung schaffen.

2. Material und Methoden

2.1 Ethikkommission

Die Ethikkommission der Medizinischen Universität Graz hat die Durchführung dieser Studie im Rahmen einer Diplomarbeit mit einem positiven Votum genehmigt (EK-Nr.: 36-165 ex 23/24).

2.2 Studiendesign

Für diese Diplomarbeit wurden Daten von Kindern und Jugendlichen (< 19 Jahre alt) erhoben, die sich im Zeitraum von Jänner 2011 bis Dezember 2023 eine distale dislozierte Unterarmfraktur zugezogen haben und am Universitätsklinikum für Kinder- und Jugendchirurgie Graz mittels geschlossener Reposition und Gipsverband in Narkose behandelt wurden. Mit diesen Daten wurde eine retrospektive Studie durchgeführt, wobei das Hauptaugenmerk auf die Anzahl an sekundären Dislokationen und im Zuge dessen benötigten Interventionen gelegt wurde. Es galt Zusammenhänge zwischen der Behandlungsweise und den gegebenenfalls benötigten sekundären Interventionen herauszufinden.

Die gespeicherten Daten der in die Studie eingeschlossenen Patient*innen wurden aus dem Informationsnetzwerk MEDocs entnommen. Dabei wurde auf die Arztbriefe, Ambulanzbefunde und Operationsprotokolle der Proband*innen zugegriffen. Zusätzlich wurden über das Programm PACS (Picture Archiving and Communication System) die zugehörigen Röntgenbilder abgerufen und entsprechende Messungen zur Ermittlung des Cast-Index, Three-Point-Index und Gap-Index durchgeführt. Für diese Messungen wurden stets die Röntgenaufnahmen des initialen postoperativ angelegten Gipses benützt. Es wurde im Programm Microsoft Excel (Version 16.0. Microsoft Corporation, Redmond, WA) eine Tabelle erstellt, um die Daten zu verwalten. Hierfür wurden die Patient*innen mit einer fortlaufenden Identifikationsnummer codiert. Zur Erstellung und Formatierung diverser Illustrationen wurde das Programm Microsoft Power Point (Version 16.0. Microsoft Corporation, Redmond, WA) verwendet. Abschließend wurde die statistische Auswertung der gesammelten Daten im Programm IBM SPSS Statistics for Windows (Version 29 IBM Corp., Armonk, N.Y., USA) durchgeführt.

2.3 Studienpopulation

Von allen Kindern und Jugendlichen, die im Untersuchungszeitraum mit einer distalen dislozierten Unterarmfraktur im Universitätsklinikum für Kinder- und Jugendchirurgie in Narkose behandelt wurden, wurden 230 Patient*innen in die Studie eingeschlossen.

2.3.1 Einschlusskriterien

Es wurden alle Patient*innen im Alter von 0 – 18 Jahren, die zwischen 2011 und 2023 an der Universitätsklinik für Kinder- und Jugendchirurgie auf Grund einer distalen dislozierten Unterarmfraktur mittels Reposition und Gipsimmobilisierung in Narkose behandelt wurden, in die Studie eingeschlossen. Das Patientenkollektiv umfasst sowohl weibliche als auch männliche Patienten.

2.3.2 Ausschlusskriterien

Einige Patient*innen mussten aus folgenden Gründen (ergänzend in **Abbildung 7** als Flowchart dargestellt) von der Studie ausgeschlossen werden:

- Patient*innen mit zusätzlichen Verletzungen, die aufgrund des zusätzlichen Versorgungsbedarfs eine längere Zeit im OP verweilen mussten.
- Fehlende Daten aufgrund auswärtiger Weiterbehandlung in den entsprechenden Heimatkrankenhäusern.
- Die Röntgenbilder waren nicht abrufbar.
- Röntgenbilder in denen das Ausmessen der Indizes nicht möglich war.

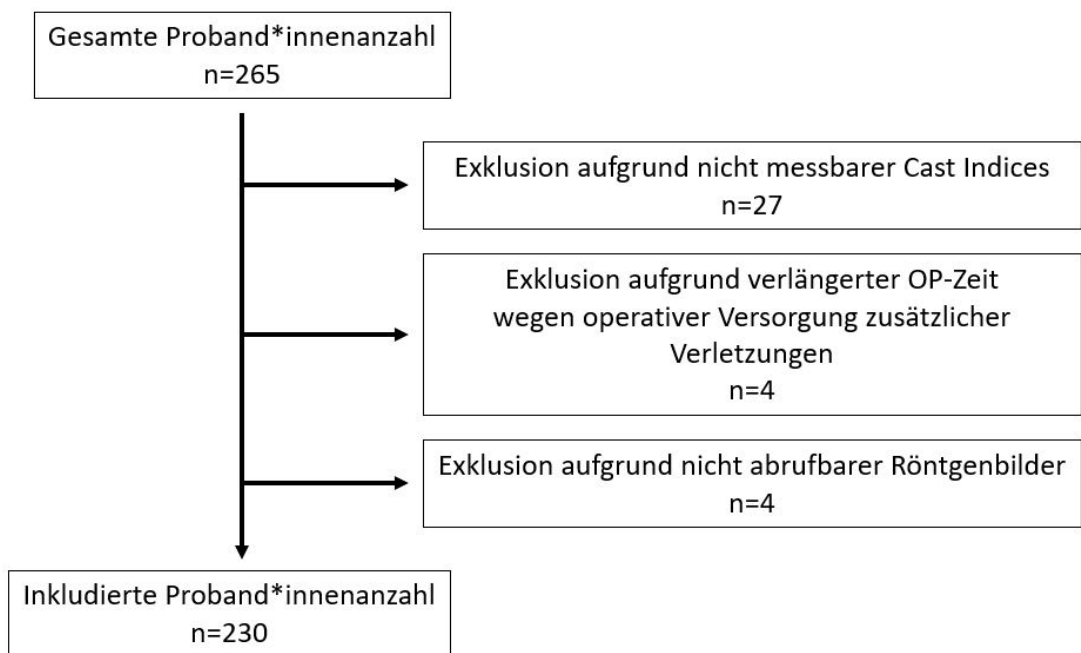


Abbildung 7: Flowchart zu den Exklusionskriterien

2.4 Datenerhebung

Folgende Patientendaten wurden aus dem Programm MEDocs in der Exceltabelle gesammelt:

- Fortlaufende Patienten-Identifikationsnummer
- Geburtsdatum
- Geschlecht
- Alter
- Unfall-/OP-Datum
- Alter zum Zeitpunkt des Unfalls
- betroffene Seite
- Unfallursache als Freitext
- Unfallursache nach Sportart gruppiert
- Unfallmechanismus gruppiert
- Radiusfraktur: Ja/Nein

- Ulnafraktur: Ja/Nein
- Dislokation komplett/inkomplett
- Verkürzung: Ja/Nein
- OP-Dauer in Minuten
- Reposition Freitext (anatomisch/Versatz um einfache/zweifache Kortikalisbreite)
- Oberarmgips: Ja/Nein
- Entlassungsdatum
- Dauer des Krankenhausaufenthalts in Tagen
- Datum der Gipsabnahme
- Dauer der Ruhigstellung in Tagen
- Cast-Index
- Three-Point-Index
- Gap-Index
- Komplikationen, die einer weiteren Therapie bedürfen
- Weitere Therapie
- Redisplacement: Ja/Nein
- Anzahl der Vorstellungen in Nachkontrolle
- Datum der letzten Vorstellung
- Weitere Interventionen
- Kommentare
- Diverse gemessene Parameter für die Berechnung der Indizes

2.4.1 Erläuterung der gemessenen Indizes

Zur genaueren Beurteilung des jeweilig angelegten Gipsverbands wurden für diese Studie drei Indizes erhoben: der Cast-Index, der Three-Point-Index und der Gap-Index.

2.4.1.1 Cast Index

2.4.1.1.1 Definition und Bestimmung

Beim Cast Index handelt es sich um einen radiologischen Messwert, der zur Beurteilung der Qualität einer Gipsschiene im Bereich des Unterarmes verwendet wird. Erstmals wurde er von Mazzini und Pretell im Jahr 2010 beschrieben (19).

Errechnet wird der Cast Index aus der Innenbreite des Gipses in der lateralen Projektion dividiert durch die Innenbreite in der anterior-posterioren Projektion auf Höhe des Frakturspalts (A/B - in **Abbildungen 8 und 9** dargestellt). Gemessen wurde für diese Studie immer in den Bildwandleraufnahmen, die unmittelbar nach Anlage des initialen Gipses nach der Reposition erstellt wurden (19).



Abbildung 8: Innenbreite des Gipses auf Höhe des Frakturspalts in lateraler Sicht.



Abbildung 9: Innenbreite des Gipses auf Höhe des Frakturspalts in a.p. Sicht.

2.4.1.1.2 Interpretation

Ein gut modellierter Gips hat in der Regel im Querschnitt eine elliptische Form, weil ein runder Gips weit weniger Widerstand gegen Scher- und Biegekräfte bieten würde. So ergibt sich beim Cast Index ein Grenzwert von $<0,8$. Laut Studien von Alemdaroğlu 2013 und Pretell Mazzini 2010 haben Kinder mit einem Cast Index $>0,8$ ein signifikant höheres Risiko einer sekundären Frakturdislokation. In besagten Studien ergab sich eine Sensitivität von ca. 75-80% und eine Spezifität von ca. 50-60%. Es besteht also anhand des Cast Index alleine nur eine mäßige Aussagekraft (19–21).

2.4.1.1.3 Limitationen

- Es handelt sich beim Cast Index lediglich um eine zweidimensionale Messung in einer Ebene auf Höhe des Frakturspalts.
- Gemessen wird nur die Innenbreite des Gipsverbands ohne Berücksichtigung potentieller Abstände zur Haut. So kann selbst bei einem optimalen Cast Index von $<0,8$ eine genaue Passform nicht gewährleistet werden.
- Der gemessene, und daraus errechnete Wert hängt stark von der Messgenauigkeit und der richtigen Identifikation der Frakturebene und der Gips-Luft-Haut Grenze ab.

2.4.1.2 Three Point Index

2.4.1.2.1 Definition und Bestimmung

Der Three Point Index dient ebenfalls der Beurteilung von Gipsverbänden bei konservativer Behandlung von Unterarmfrakturen und beschreibt wie gut der Gipsverband eine Fraktur durch drei gezielte Druckpunkte stabilisiert (20).

Bei den, in dieser Studie behandelten distalen dislozierten Unterarmfrakturen, liegen diese Punkte, wie in den **Abbildungen 10 und 11** dargestellt, in der lateralen Röntgenaufnahme zentral über dem Frakturspalt an der palmaren Seite (A), distal an der engsten Stelle zwischen Haut und Gipsinnenwand auf Höhe des Radiocarpalgelenks dorsalseitig (B) und proximal an der engsten Stelle innerhalb 3-7 cm proximal des Frakturspalts, ebenfalls an der dorsalen Seite (C). In der anterior-posterioren Aufnahme liegen die Messstrecken einmal zwischen Gipsinnenwand und Haut auf der ulnaren Seite auf Höhe des Frakturspalts (D), einmal auf Höhe des Radiocarpalgelenks radiallyseitig (E) und einmal 3-7

cm proximal der Frakturlinie ebenfalls radialseitig (F). Die Messstrecken A, B und C aus der lateralen Aufnahme werden addiert und durch die Breite der Kontaktfläche der reponierten Radiusfragmente (K) von lateral dividiert. Das Gleiche wird in der anterior-posterioren Aufnahme gemacht und anschließend werden die Ergebnisse aus der lateralen Ansicht zu den Ergebnissen aus der anterior-posterioren Ansicht addiert (20).



Abbildung 10: Darstellung der gemessenen Strecken für den Three Point Index in der lateralen Sicht.



Abbildung 11: Darstellung der gemessenen Strecken für den Three Point Index in der a.p. Sicht.

2.4.1.2.2 Interpretation

Auch beim Three Point Index spricht ein niedrigerer Wert für eine bessere Stabilisierung der Fraktur. Man spricht bei einem Wert von $<0,8$ von einer guten Stabilisation und einem geringen Risiko für eine sekundäre Dislokation. Ein Wert von $0,8-1,2$ ist akzeptabel und ein Wert $>1,2$ deutet auf eine erhöhte Instabilität hin und es besteht ein erhöhtes Risiko für sekundär auftretende Fehlstellungen (22,23).

2.4.1.2.3 Limitationen

- Der Three Point Index bewertet lediglich die statische Stabilität des Gipsverbands, ohne dynamische Belastungen zum Beispiel durch Bewegungen des Kindes zu berücksichtigen.
- Die Messung der drei Druckpunkte gestaltet sich bei sehr distal oder sehr proximal gelegenen Frakturen schwierig.
- Die Messung ist aufwändiger und potentiell fehleranfälliger, als bei anderen Indices (24).

2.4.1.3 Gap-Index

2.4.1.3.1 Definition und Bestimmung

Der Gap Index ist ein Maß für den Abstand zwischen Gips und Haut an verschiedenen Stellen. Da bei Kindern und Jugendlichen häufig eine konservative Therapie angestrebt wird, hat der Gap Index hier einen besonders hohen Stellenwert (25).

Gemessen wird er anhand der lateralen und anterior-posterioren Röntgenaufnahmen (in **Abbildungen 12 und 13** dargestellt). Man misst den Abstand zwischen Haut und Innenseite des Gipsverbandes auf Höhe des Frakturspalts an der radialen (A) und an der ulnaren (B) Seite in der anterior-posterioren Aufnahme. Diese beiden Werte werden addiert und durch den Gipsinnendurchmesser auf Höhe des Frakturspalts (C) dividiert. Das Gleiche wird dann in der lateralen Aufnahme wiederholt (D, E, F) und die Ergebnisse addiert (25,26).



Abbildung 12: Darstellung der gemessenen Strecken für den Gap Index in der a.p. Sicht.



Abbildung 13: Darstellung der gemessenen Strecken für den Gap Index in der lateralen Sicht.

2.4.1.3.2 Interpretation

Für den Gap Index existieren keine festen, allgemein akzeptierten Richtwerte. Das Ergebnis ist immer im Kontext mit der individuellen Fraktur und dem klinischen Zustand des Kindes zu sehen. Grundsätzlich kann man aber bei einem niedrigen Gap Index (z.B. $<0,15$) von einem gutsitzenden Gipsverband ausgehen, der die Fraktur ausreichend stabilisiert und die Chance auf sekundäre Dislokationen minimiert. Je höher der Gap Index, desto größer ist der Abstand zwischen Haut und Gipsverband und desto mehr Spielraum hat der frakturierte Knochen. Somit steigt mit steigendem Gap Index die Wahrscheinlichkeit für eine Dislokation (25).

2.4.1.3.3 Limitationen

- Auch der Gap Index hängt stark von der Qualität der Röntgenaufnahmen ab.
- Die Beurteilung fällt sehr subjektiv aus, da es keine fixen Richtwerte gibt.

- Da sich im Laufe der Gipsbehandlung der Verband etwas lockern kann oder sich die Fragmente ein wenig verschieben können, muss eine Veränderung des Gap Index über den Behandlungsverlauf berücksichtigt werden.

2.5 Studienmethoden

Die Patient*innen wurden in drei Altersgruppen eingeteilt. Die jüngste Altersgruppe fasst alle Patient*innen im Alter von 0 bis 6 Jahren zusammen. Die nächst ältere Gruppe beinhaltet die Patient*innen im Alter von 7 bis 11 Jahren und die älteste Gruppe umfasst alle Patient*innen im Alter von 12 bis 17 Jahren. Metrische Daten sind als Durchschnitt und Standardabweichung dargestellt. Die Testung auf Normalverteilung wurde mittels Kolmogoroff-Smirnoff-Tests durchgeführt. Bei nicht normalverteilten metrischen Daten wurden die potentiellen Zusammenhänge mittels Mann-Whitney-U Tests (bei zwei Gruppen) und dem Kruskal-Wallis-Test (bei mehr als zwei Gruppen) und normalverteilte Daten mittels t-Tests überprüft.

Unterschiede bezüglich einer isolierten Radius- oder Ulnafraktur in Abhängigkeit des Geschlechtes wurde mit einem Chi-Quadrat-Test ermittelt. Die drei verschiedenen Indizes (Cast-Index, Three-Point-Index und Gap-Index) wurden auf Normalverteilung überprüft. Diese war nicht gegeben. Mithilfe des Korrelationskoeffizienten nach Spearman-Rho wurde überprüft, ob die drei Indizes miteinander korrelieren. Die Auswirkung der initialen Ausprägung der Dislokation auf den Repositionserfolg wurde mit einem Chi Quadrat Test durchgeführt.

3. Ergebnisse

3.1 Deskriptive Beschreibung der Kohorte

Die Kohorte bestand insgesamt aus 230 Patient*innen im Alter zwischen 1 und 17 Jahren. Das durchschnittliche Alter betrug 8,3 Jahre, mit einer Standardabweichung von 3,02 Jahren (**Abbildung 14**).

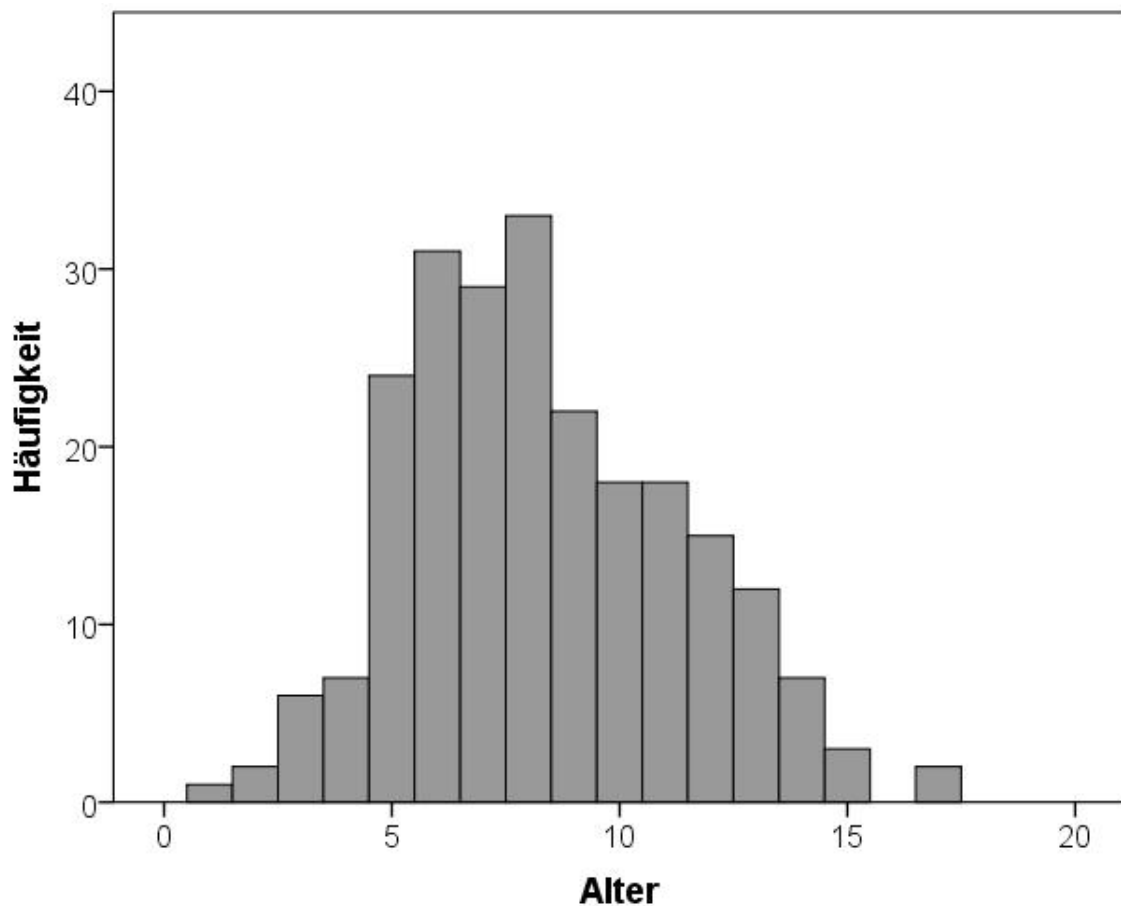


Abbildung 14: Altersverteilung der 230 Proband*innen

Insgesamt umfasst das, in die Studie eingeschlossene, Patient*innenkollektiv 153 männliche und 77 weibliche Patient*innen. Das ergibt eine prozentuelle Verteilung von 66,5% (m) zu 33,5% (w). Für die statistische Auswertung wurden die Patient*innen in Altersgruppen unterteilt (**Tabelle 1**).

Alter	Häufigkeit	Prozent
0-6 Jahre	71	30,8
7-11 Jahre	120	52,2
12-17 Jahre	39	17
Gesamtsumme	230	100

Tabelle 1: Altersgruppen

Das durchschnittliche Alter der Studienteilnehmer betrug 8,71 Jahre (Standardabweichung 3,17 Jahre; Minimum 1 Jahr; Maximum 17 Jahre) und unterschied sich signifikant vom Alter der Studienteilnehmerinnen mit durchschnittlich 7,53 Jahren (Standardabweichung 2,53; Minimum 2; Maximum 14; Mann-Whitney-U-Test: $p=0,009$, daher besteht ein signifikanter Unterschied, **Abbildung 15**).

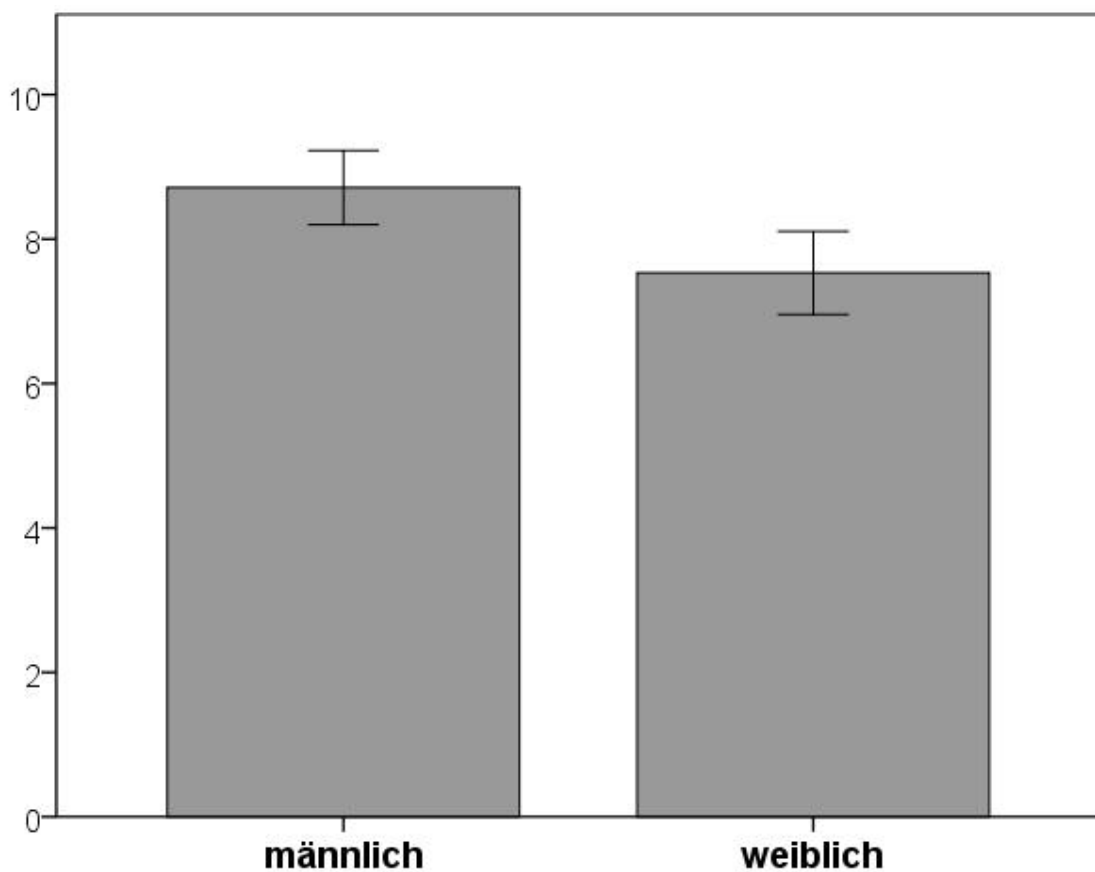


Abbildung 15: Altersverteilung innerhalb der Geschlechter

Die Gesamtzahl der distalen dislozierten Unterarmfrakturen, die in Narkose reponiert wurden, pro Jahr ging im Beobachtungszeitraum schrittweise ein wenig zurück (**Abbildung 16**). Während im Jahr 2011 noch 28 Kinder im Universitätsklinikum für Kinder- und Jugendchirurgie Graz behandelt wurden, waren es im Jahr 2023 lediglich 7. Die Verteilung der Fälle auf die Monate wird in **Abbildung 17** dargestellt und die Verteilung auf die Wochentage in **Abbildung 18**.

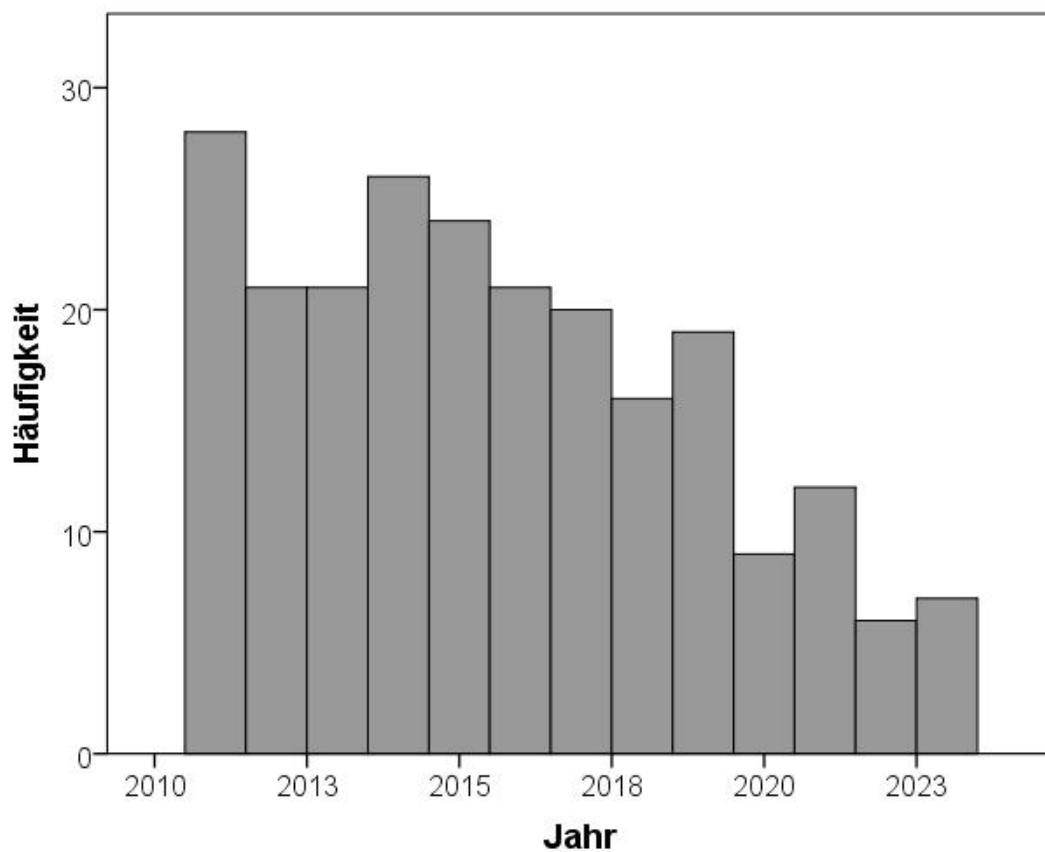


Abbildung 16: Frakturen pro Jahr

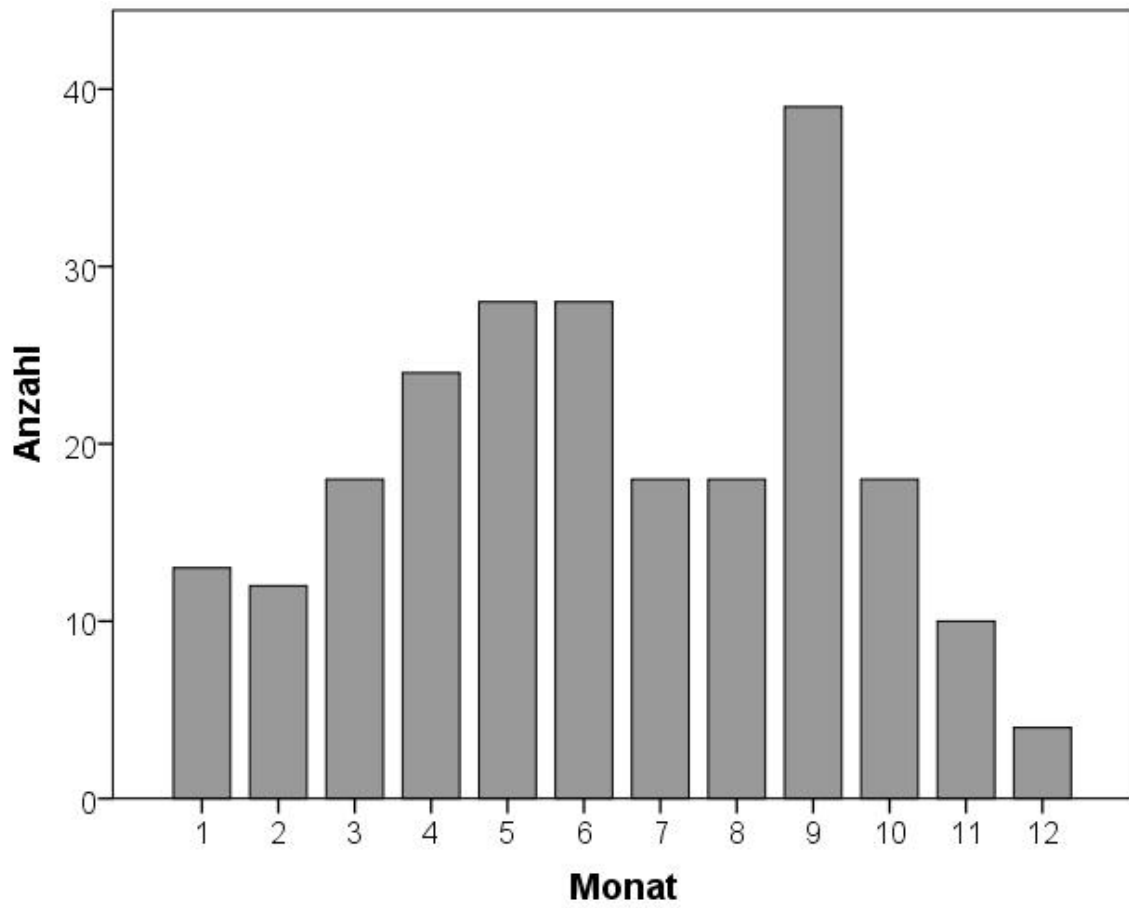


Abbildung 17: Frakturen pro Monat

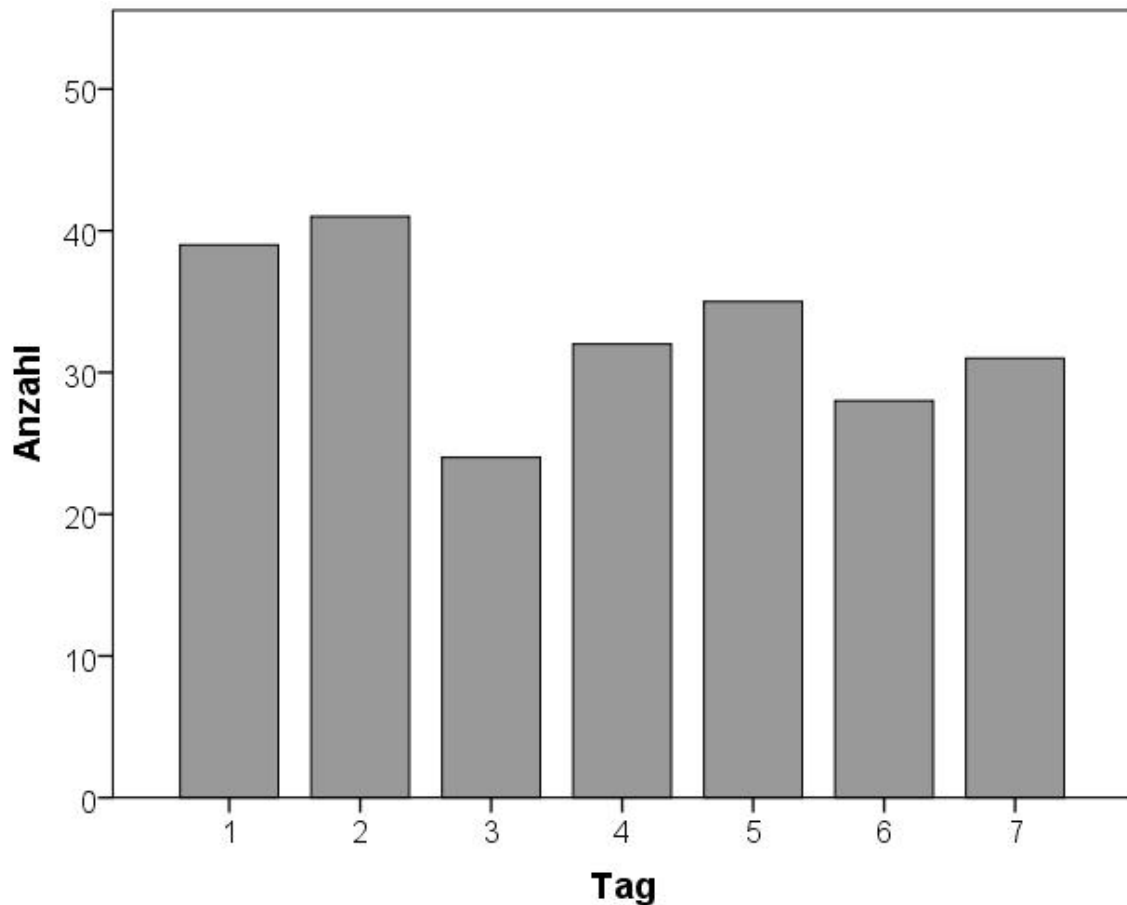


Abbildung 18: Frakturen pro Wochentag

3.2 Unfallursachen

Die Ursachen für die Verletzung wurden kategorisiert. Zunächst wurden sie nach unterschiedlichen Sportarten eingeteilt. Insgesamt passierten 124 Frakturen bei der Ausübung einer Sportart, welche in **Abbildung 19** dargestellt sind. Die große Anzahl an Unfällen beim Klettern kommt allerdings von daher, dass dabei alle Arten von Klettern miteingeschlossen wurden. Sei es das Sportklettern am Felsen oder in einer Kletterhalle, das Klettern an einem Klettergerüst auf einem Spielplatz, oder lediglich das Klettern über einen Zaun.

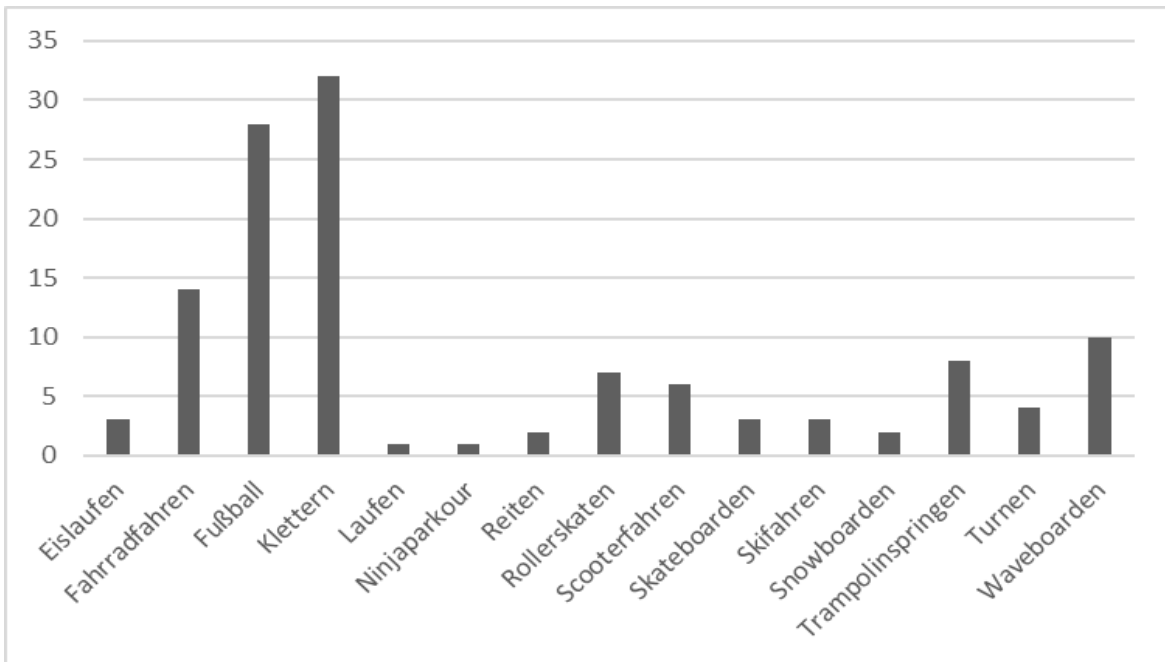


Abbildung 19: Häufigkeiten der Sportunfälle

Als Nächstes wurden die Unfallursachen nach der Unfallmechanik eingeteilt. Dabei gab es die Kategorien: Unfall in Bodenhöhe, Sturz von einer Erhöhung und Unfall in Fahrt. In **Abbildung 20** wird die Häufigkeitsverteilung zwischen diesen Kategorien dargestellt.

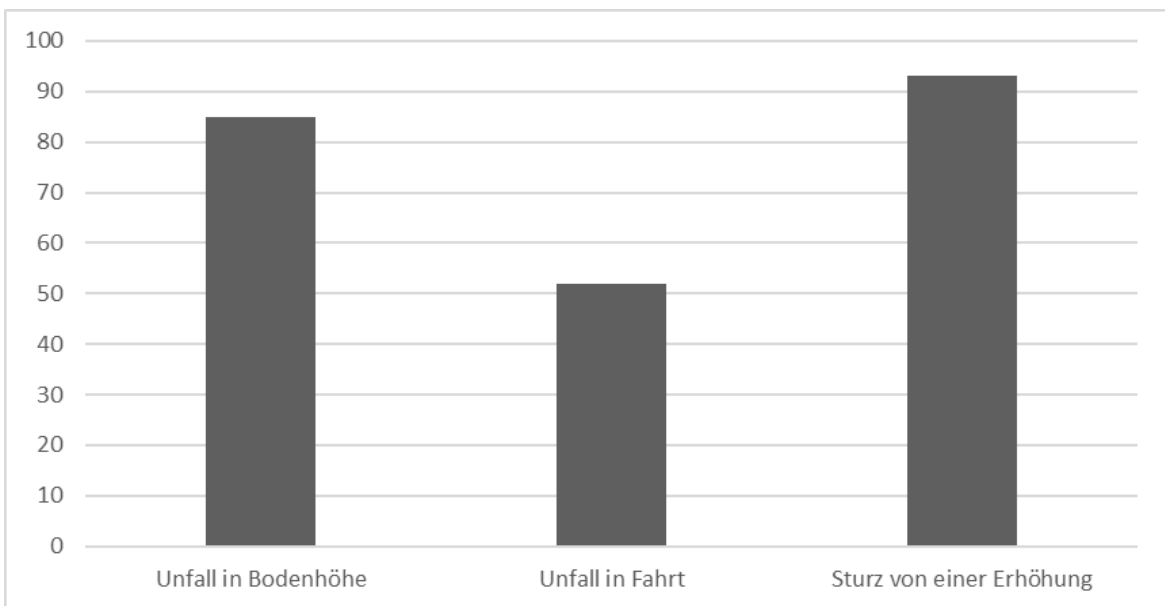


Abbildung 20: Häufigkeiten nach Unfallmechanismus

3.3 Frakturart

Unter den 230 distalen dislozierten Unterarmfrakturen betrafen 126 den linken und 104 den rechten Arm. In 20 Fällen wurde eine isolierte Radiusfraktur (8,7%) und in 210 Fällen eine komplette Unterarmfraktur (91,3%) diagnostiziert.

Um einen etwaigen Unterschied zwischen der Art der Fraktur und dem Patient*innenalter zu untersuchen wurde der Mann-Whitney-U-Test angewandt. Dabei ergab der Mittelwert für das Alter der Patient*innen mit isolierter Radiusfraktur 9,2 mit einer Standardabweichung von 3,1 Jahren. Im Gegensatz dazu lag das mittlere Alter bei Patient*innen mit kombinierter Radius- und Ulnafraktur bei 8,2 Jahren mit einer Standardabweichung von 3,0. Dieser ergab einen p-Wert von 0,134. Somit besteht hier kein statistisch signifikanter Unterschied.

Um einen potentiellen Zusammenhang zwischen dem Geschlecht der Patient*innen und der Frakturart zu untersuchen wurde eine Kreuztabelle erstellt. 7,8% der männlichen Patienten erlitten eine isolierte Radiusfraktur, dagegen waren es bei den weiblichen Patientinnen 10,4%. Beim Chi-Quadrat-Test ergab sich kein statistisch signifikanter Unterschied ($p=0,518$).

Als Nächstes wurde untersucht bei wie vielen Patient*innen eine komplette Dislokation, also eine Verschiebung des frakturierten Knochens um mindestens die gesamte Schaftbreite mit Verkürzung der Unterarmgesamtlänge, vorlag. In dieser Kohorte ergaben sich 199 Patient*innen (86,5%) mit einer kompletten Dislokation. Bei den restlichen 31 (13,5%) lag lediglich eine inkomplette Dislokation vor. **Abbildung 21** zeigt die Verteilung von kompletten und inkompletten Dislokationen der Unterarmfrakturen innerhalb der männlichen und der weiblichen Patient*innengruppe. Die Überprüfung auf einen Zusammenhang zwischen dem Geschlecht der Patient*innen und dem Dislokationsgrad der Fraktur wurde mittels einer Kreuztabelle und einem Chi-Quadrat-Test durchgeführt. Hierbei ergab sich ein p-Wert von 0,877, es besteht also kein statistisch signifikanter Zusammenhang.

Ein potentieller Zusammenhang zwischen dem Alter der Patient*innen und dem Dislokationsgrad der Fraktur wurde mit dem Mann-Whitney-U-Test überprüft. Bei den Patient*innen mit kompletter Dislokation lag das Alter im Mittel bei 8,2 Jahren mit einer Standardabweichung von 2,9. Jene mit inkompletter Dislokation waren im Mittel 9,1 Jahre alt mit einer Standardabweichung von 3,9. Der Mann-Whitney-U-Test ergab einen p-Wert

von 0,289, wodurch auch hier von keinem statistisch signifikanten Unterschied gesprochen werden kann.

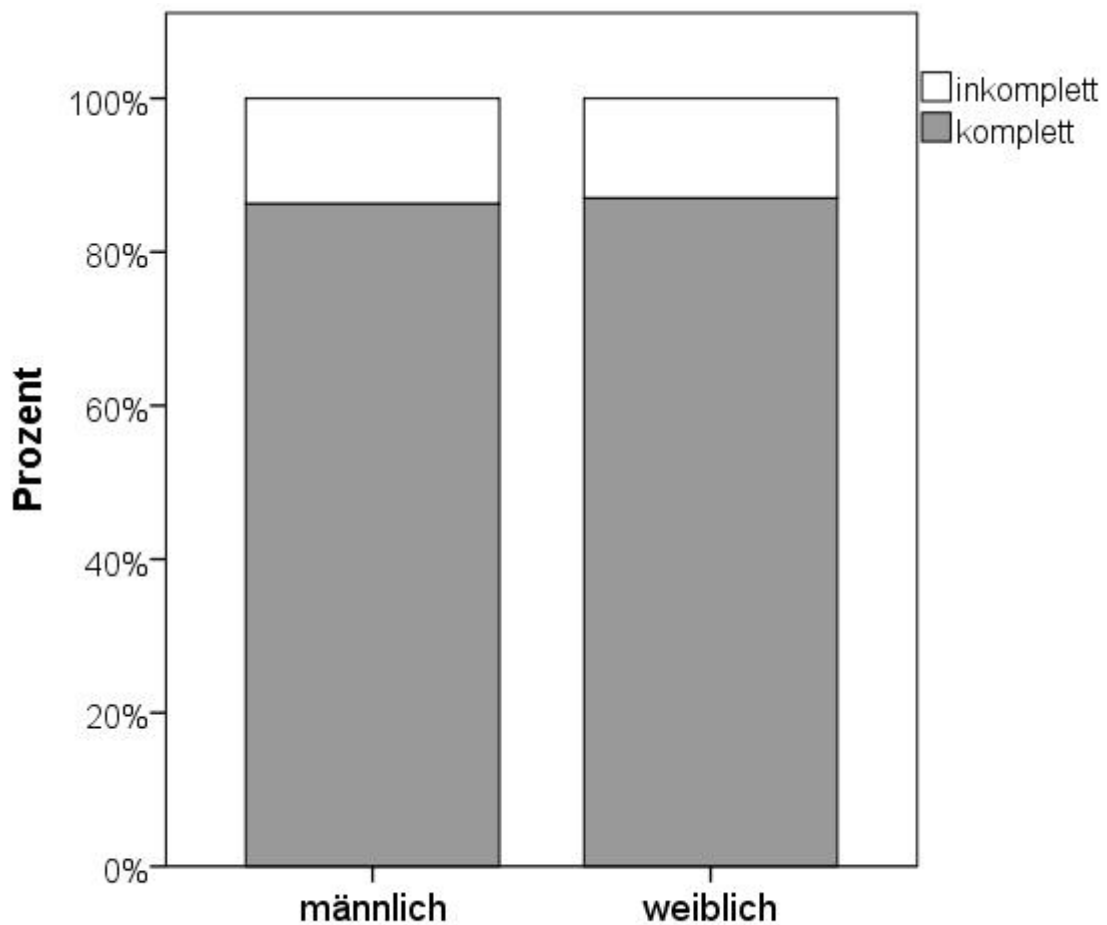


Abbildung 21: Prozentuelle Verteilung von komplett und inkomplett dislozierten Unterarmfrakturen in Abhängigkeit des Geschlechts

3.4 Operationsdauer und Repositionsergebnis

Die genaue Zeit, in Minuten, wie lange die Patient*innen unter Narkose im Operationssaal zur geschlossenen Reposition verweilten wurde dokumentiert und auf Zusammenhänge mit dem Dislokationsgrad der Fraktur und dem Patient*innenalter untersucht. Die maximale OP-Dauer betrug 55 Minuten und die Minimale 1 Minute. Im Durchschnitt verweilten die Patient*innen 14,75 Minuten im Operationssaal. Zwischen der OP-Dauer bei Patient*innen mit komplett dislozierter Fraktur und jenen mit keiner kompletten Dislokation konnte laut

dem Mann-Whitney-U-Test mit einem p-Wert von 0,766 kein signifikanter Unterschied ermittelt werden. Bei den Patient*innen mit kompletter Dislokation betrug die OP-Dauer im Mittelwert 14,6 Minuten mit einer Standardabweichung von 9,2. Bei jenen mit inkompletter Dislokation betrug die OP-Dauer im Durchschnitt 15,7 Minuten mit einer Standardabweichung von 10,9.

Auch in den drei Altersgruppen zeigte sich kein statistisch signifikanter Unterschied der OP-Zeit (in **Abbildung 22** dargestellt). Dies wurde mit dem Kruskal-Wallis-Test bei unabhängigen Stichproben überprüft und ergab einen p-Wert von 0,230.

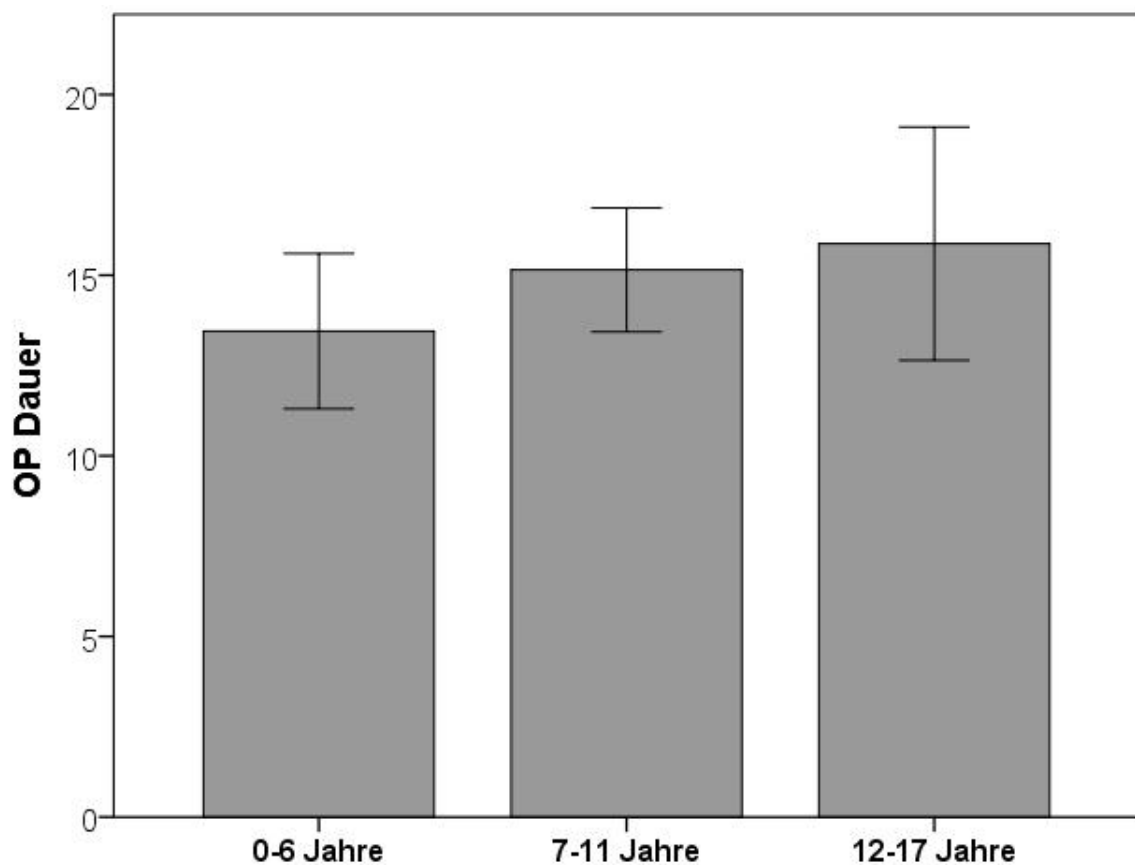


Abbildung 22: OP-Dauer in Minuten nach Altersgruppe

Das Repositionsergebnis wurde in zwei Gruppen unterteilt. Die eine Gruppe beinhaltet alle Patient*innen mit einem anatomischen Repositionsergebnis. Das heißt die knöchernen Stellung nach Reposition war wieder komplett anatomisch wie vor der Fraktur. Die zweite Gruppe beinhaltet alle Patient*innen, bei denen die knöchernen Stellung nach Reposition

nicht anatomisch war, sondern ein Versatz um die einfache oder zweifache Kortikalisbreite oder ein Knick in der Längsachse des Knochens bestanden hat. 118 Patient*innen (51,3%) hatten nach geschlossener Reposition eine anatomische Knochenstellung. Die restlichen 112 Patient*innen (48,7%) setzen sich zusammen aus: 88 Patient*innen (78,6%) mit einem Versatz um die einfache Kortikalisbreite, 23 Patient*innen (20,5%) mit einem Versatz um die zweifache Kortikalisbreite und einem Patienten (0,9%), bei dem nach geschlossener Reposition ein nach palmar gerichteter Knick um 15° bestanden hat.

In **Abbildung 23** wurden die Repositionsergebnisse bei Frakturen mit kompletter und jene mit inkompletter Dislokation verglichen. Unter den 199 Patient*innen mit kompletter Dislokation wurde bei 96 Patient*innen (48,2%) ein anatomisches Repositionsergebnis erzielt. Bei den übrigen 103 Patient*innen (51,8%) bestand nach Reposition ein Versatz um die ein- bis zweifache Kortikalisbreite.

Bei den 31 Patient*innen mit inkompletter Dislokation konnte bei 22 (71%) ein anatomisches Repositionsergebnis erzielt werden. Bei den übrigen 9 Patient*innen (29%) bestand nach Reposition ein Versatz um die ein- bis zweifache Kortikalisbreite.

Der Chi-Quadrat-Test ergab einen p-Wert von 0,019 daher besteht hier ein signifikanter Unterschied. Bei Patient*innen mit komplett dislozierter Fraktur konnte seltener ein anatomisches Repositionsergebnis erzielt werden, als bei jenen mit inkompletter Dislokation.

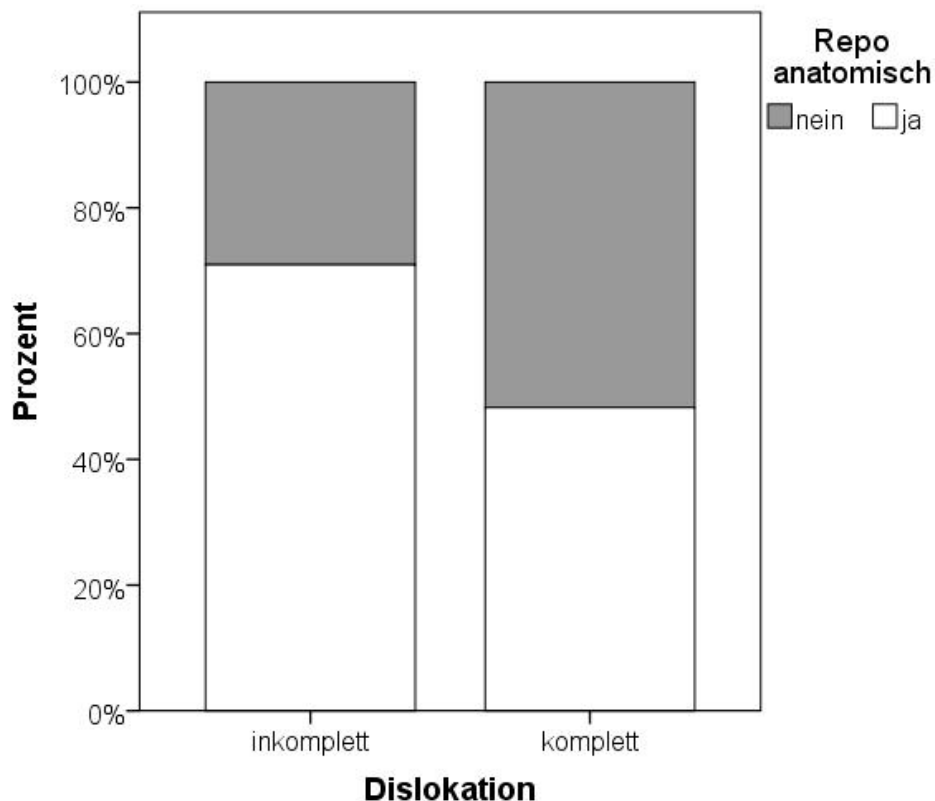


Abbildung 23: Vergleich der Repositionsergebnisse von komplett und inkomplett dislozierten Frakturen

3.5 Dauer des Krankenhausaufenthaltes und der Ruhigstellung

Die Dauer des Krankenhausaufenthaltes der Patient*innen wurde in Tagen gemessen. Die kürzeste Dauer betrug 0 Tage, die längste 4. Der Median der Verweildauer im Krankenhaus betrug dabei einen Tag. Alle 230 Studienteilnehmer*innen erhielten einen Oberarmgips. Die Dauer der Ruhigstellung lag im Durchschnitt bei 33,48 Tagen, wobei die Minimaldauer 16 Tage und die Maximaldauer 65 Tage betrug. Aufgrund von Weiterbehandlung in externen Krankenhäusern konnte bei 14 Studienteilnehmer*innen das Datum der endgültigen Gipsabnahme nicht ermittelt werden und somit fehlt in diesen Fällen auch die genaue Dauer der Gipsbehandlung.

3.6 Cast Index, Three Point Index und Gap Index

Zur Beurteilung der Gipsversorgung wurden in den Röntgenaufnahmen der initial nach Reposition angelegten Gipsverbände der Cast-, Three Point- und Gap Index gemessen und berechnet (**Tabelle 2**).

Index	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum - Maximum
Cast Index	0,804	0,176	0,359 – 1,705
Three Point Index	1,593	0,624	0,629 – 5,435
Gap Index	0,234	0,737	0,098 – 1,504

Tabelle 2: Indizes mit den jeweiligen Mittelwerten, Standardabweichungen und Bereichen

Um etwaige Korrelationen zwischen den drei Indizes zu untersuchen, wurde zuerst auf Normalverteilung getestet. Diese lag nicht vor. Dann wurde jeweils der Korrelationskoeffizient nach Spearman-Rho berechnet (**Tabelle 3**).

Zwischen Cast Index und Three Point Index besteht eine schwache negative Korrelation mit einem Signifikanzniveau von 0,001. Das heißt je höher der Cast Index desto niedriger tendenziell der Three Point Index.

Zwischen Cast Index und Gap Index besteht eine etwas stärkere Korrelation mit einem Signifikanzniveau von 0,00. Das bedeutet, dass ein höherer Cast Index mit einem niedrigeren Gap Index einhergeht.

Zwischen Three Point Index und Gap Index besteht eine starke positive Korrelation mit einem Signifikanzniveau von 0,00. Das bedeutet, dass ein hoher Three Point Index mit einem hohen Gap Index einhergeht. Diese wird in **Abbildung 24** graphisch dargestellt.

Spearman-Rho	Cast Index	Three Point Index	Gap Index
Cast Index	1,000	-0,222 (p=0,001)	-0,250 (p=0,000)
Three Point Index	-0,222 (p=0,001)	1,000	0,724 (p=0,000)
Gap Index	-0,250 (p=0,000)	0,724 (p=0,000)	1,000

Tabelle 3: Spearman-Rho Korrelationskoeffizienten

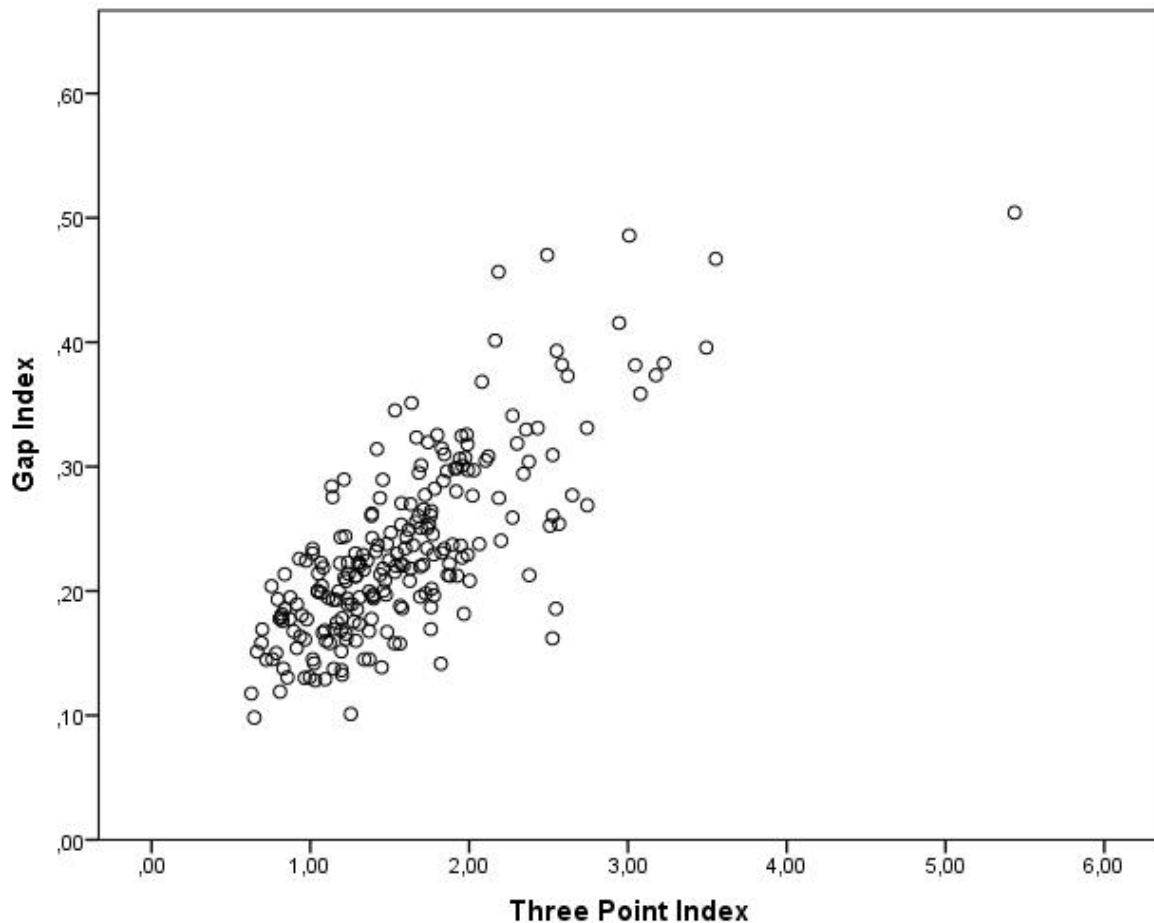


Abbildung 24: Korrelation zwischen Three Point- und Gap- Index

3.7 Komplikationen die einer weiteren Therapie bedürfen

Unter den 230 Patient*innen, die alle mit geschlossener Reposition und Fixierung mittels Gipsverband in Narkose versorgt wurden, hatten 28 im Verlauf eine Komplikation, die einer weiteren Therapie bedurften. Das sind 12,2% der Studienteilnehmer*innen. Die häufigste Form der weiteren Therapie war die Gipskeilung mit 15 Fällen (53,57%). 7 Studienteilnehmer*innen erhielten eine Metallfixierung des Radius (25%), davon 5 mittels Kirschner–Draht-Osteosynthese. In einem Fall wurde eine Marknagelosteosynthese durchgeführt und einmal eine Plattenosteosynthese. In den übrigen 6 Fällen (21,43%) wurde eine erneute geschlossene Reposition in Analgosedierung durchgeführt.

3.8 Untersuchung von Einflüssen auf die Komplikationsrate

3.8.1 Komplikationsrate und Geschlechterverteilung

Der Zusammenhang zwischen dem Geschlecht der Patient*innen und der Komplikationsrate wurde mittels Kreuztabelle und Chi-Quadrat-Test untersucht. Unter insgesamt 153 männlichen Patienten traten bei 20 (13,07%) Komplikationen, die einer weiteren Therapie bedürfen, auf und bei 133 (86,93%) nicht. Bei den 77 weiblichen Patientinnen traten bei 8 (10,39%) Komplikationen auf und bei 69 (89,61%) nicht. Der Chi-Quadrat-Test ergab einen p-Wert von 0,557. Somit besteht kein statistisch signifikanter Unterschied in der Komplikationsrate zwischen den Geschlechtern.

3.8.2 Komplikationsrate und Alter

Um zu überprüfen, ob zwischen der Komplikationsrate und dem Alter der Patient*innen ein Zusammenhang besteht, wurde der Mann-Whitney-U-Test angewandt. Dieser ergab einen p-Wert von 0,841. Das bedeutet, dass kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen dem Patient*innenalter und der Komplikationsrate besteht.

Das Alter der Patient*innen mit Komplikationen, die einer weiteren Therapie bedurften, lag im Durchschnitt bei 8,57 Jahren mit einer Standardabweichung von 3,06 (Minimum 5 Jahre; Maximum 17 Jahre).

Bei den Patient*innen ohne weitere Komplikationen lag das Alter im Durchschnitt bei 8,28 Jahren mit einer Standardabweichung von 3,02 (Minimum 1 Jahr; Maximum 17 Jahre).

Die Verteilung der Komplikationsrate innerhalb der drei Altersgruppen wird in **Abbildung 25** dargestellt. Diese Verteilung unterschied sich nicht statistisch signifikant ($p=0,922$)

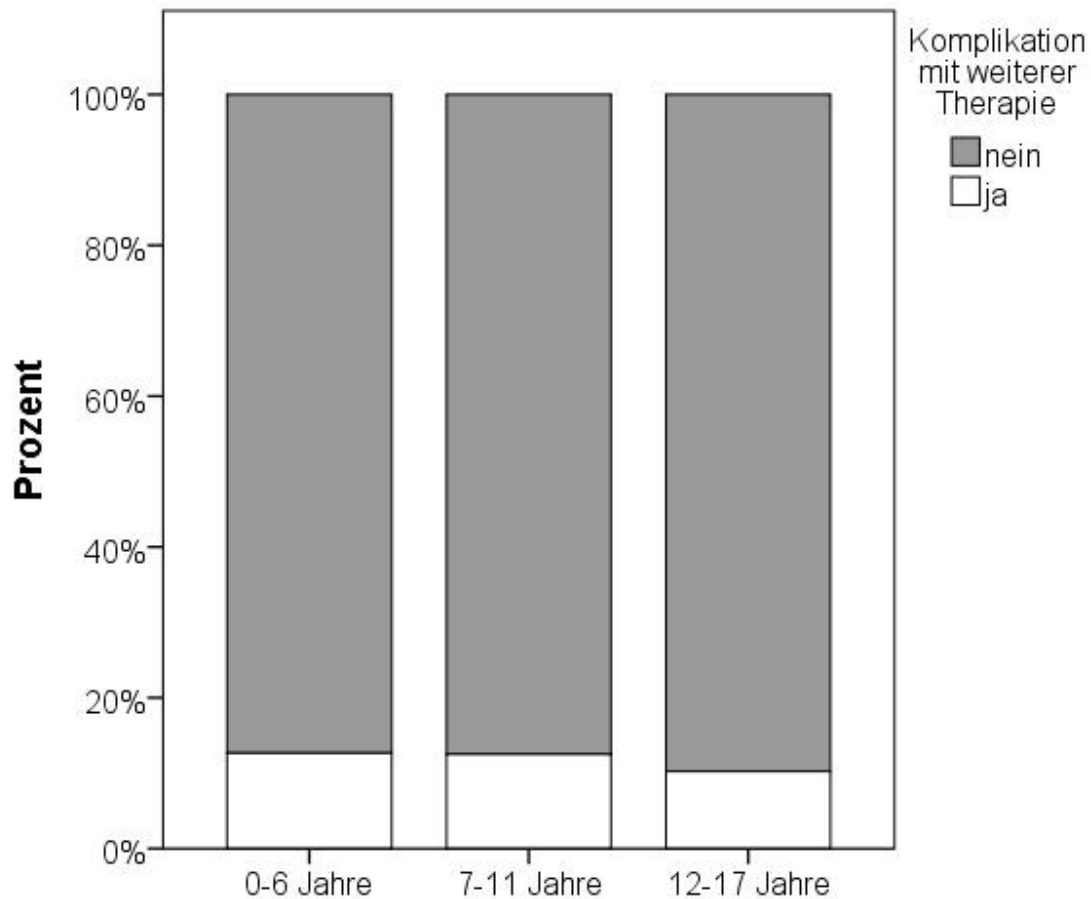


Abbildung 25: Zusammenhang zwischen Patient*innenalter und Komplikationen, die einer weiteren Therapie bedürfen

3.8.3 Komplikationsrate und (un)vollständige Unterarmfraktur/Dislokation

Die vollständige Unterarmfraktur wurde definiert als Fraktur, bei der der sowohl Radius als auch Ulna frakturiert waren. Ob sich dies auf die Komplikationsrate auswirkt wurde mittels Kreuztabelle und Chi-Quadrat-Test überprüft. Mit einem p-Wert von 0,686 ergab sich kein signifikanter Unterschied zwischen Patient*innen mit vollständiger Unterarmfraktur und jenen, bei welchen nur einer der beiden Unterarmknochen frakturiert war. Dies wird in **Abbildung 26** veranschaulicht.

Außerdem wurde untersucht ob eine komplette Dislokation (also mit Längenverkürzung des Unterarmes) mit einer höheren Komplikationsrate einhergeht. Unter den insgesamt 199 Patient*innen mit einer kompletten Dislokation trat im weiteren Therapieverlauf bei 24

Patient*innen (12,1%) eine Komplikation auf. Bei den übrigen 175 Patient*innen (87,9%) trat keine weitere Komplikation auf.

Unter den insgesamt 31 Patient*innen ohne komplette Dislokation trat bei 4 Patient*innen (12,9%) eine weitere therapiebedürftige Komplikation auf und bei den übrigen 27 (87,1%) nicht. Dieser Unterschied war statistisch nicht signifikant ($p=0,894$).

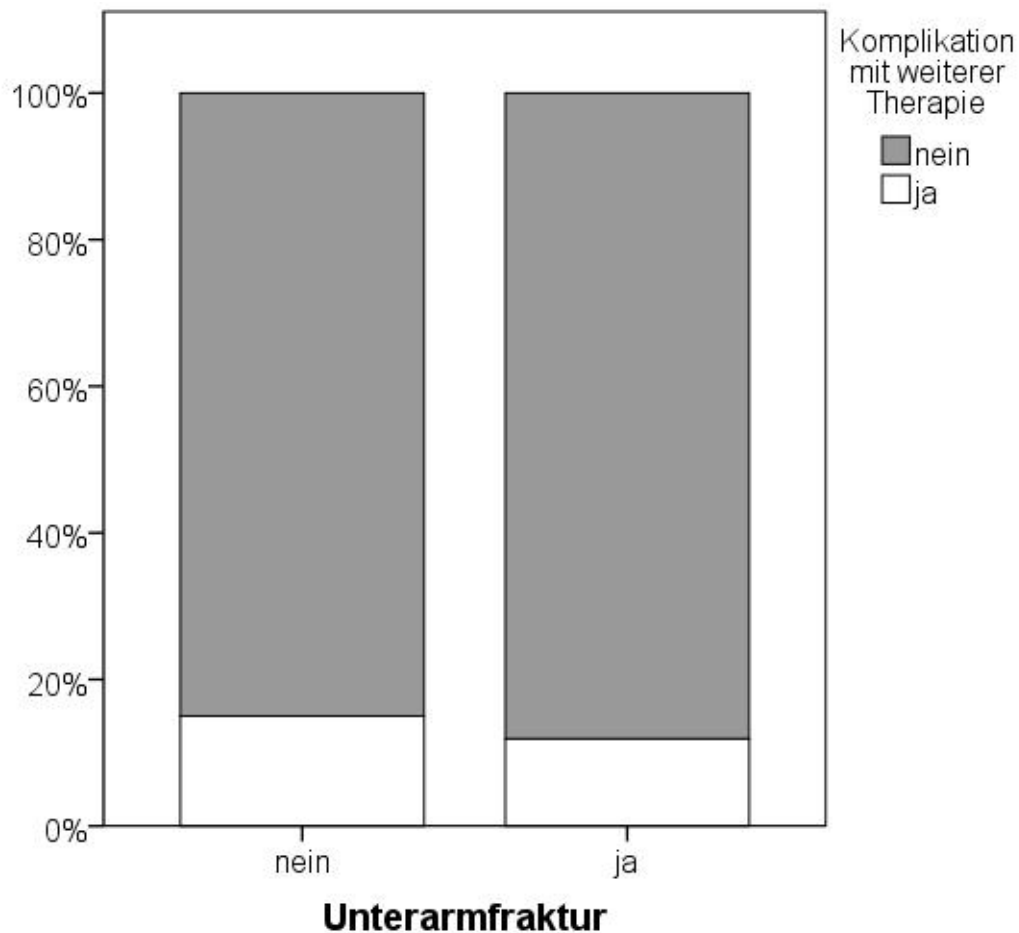


Abbildung 26: Unterschied der Komplikationsrate bei vollständiger und unvollständiger Unterarmfraktur

3.8.4 Komplikationsrate und Repositionsergebnis

Es wurde untersucht, ob die Komplikationsrate mit dem Repositionsergebnis in Zusammenhang steht. Dafür wurde eine Kreuztabelle erstellt und der Chi-Quadrat-Test angewandt. In der Gruppe von Patient*innen, bei denen eine therapiebedürftige Komplikation im weiteren Therapieverlauf auftrat, wurde bei 9 (32,1%) ein anatomisches Repositionsergebnis erzielt und bei 19 (67,9%) nicht. Der Chi-Quadrat-Test zeigte, mit einem p-Wert von 0,030, einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den

Komplikationsraten der Patient*innen mit anatomischem Repositionsergebnis und jenen mit verbliebener Fehlstellung. Bei Patient*innen mit anatomischem Repositionsergebnis traten statistisch signifikant seltener Komplikationen, die einer weiteren Therapie bedürfen auf (in **Abbildung 27** veranschaulicht).

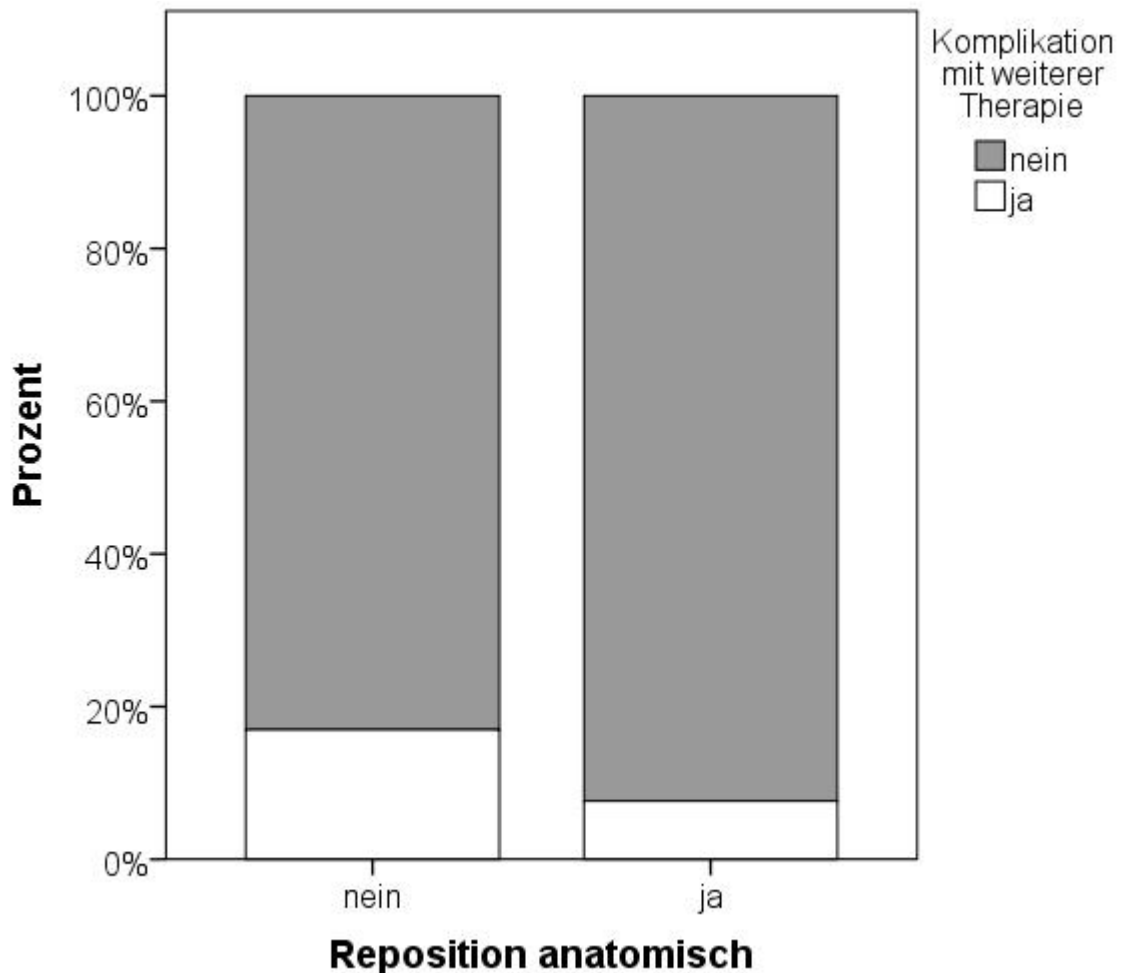


Abbildung 27: Zusammenhang zwischen Repositionsergebnis und Komplikationsrate

3.8.5 Komplikationsrate und gemessene Indizes

Bei allen drei Indizes (Cast Index, Three Point Index und Gap Index) bestand zwischen der Gruppe ohne Komplikationen und jenen, bei welchen therapiebedürftige Komplikationen auftraten, kein statistisch signifikanter Unterschied. Dies wurde für die jeweiligen Indizes mithilfe des Mann-Whitney-U-Tests überprüft. Alleinig beim Cast-Index könnte man von einer gewissen Tendenz sprechen, da hier der p-Wert 0.079 war. Die Zahlen dazu sind in **Tabelle 4** ersichtlich.

	Komplikation mit operativer Behandlung	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum-Maximum	Signifikanz
Cast Index	Ja	0,757	0,139	0,501 – 1,211	p=0,079
	Nein	0,810	0,180	0,359 – 1,705	
Three Point Index	Ja	1,607	0,647	0,830 – 2,744	p=0,398
	Nein	1,591	0,423	0,629 – 5,435	
Gap Index	Ja	0,221	0,051	0,131 – 0,341	p=0,526
	Nein	0,234	0,076	0,098 – 0,504	

Tabelle 4: Zusammenhang zwischen Indizes und Komplikationen mit operativer Behandlung

3.8.6 Interpretation des Cast Index

In den Studien von Alemdaroğlu 2013 und Pretell Mazzini 2010 haben Kinder mit einem Cast Index $>0,8$ ein signifikant höheres Risiko einer sekundären Frakturdislokation (19,23).

Um dies zu überprüfen, wurden die Patient*innen in dieser Studie in zwei Gruppen unterteilt. Eine mit Cast Index $>0,8$ umfasste 101 Patient*innen (43,9%) und die zweite mit Cast Index $<0,8$ umfasste 129 Patient*innen (56,1%).

Ein etwaiger Unterscheid zwischen den zwei Gruppen und aufgetretenen Komplikationen, die einer weiteren Therapie bedurften wurde mithilfe einer Kreuztabelle und dem Chi-Quadrat-Test überprüft. In der Gruppe mit einem Cast Index $<0,8$ hatten 20 (15,5%) Patient*innen eine Komplikation mit Therapiebedarf und 109 (84,5%) nicht. Bei der zweiten Gruppe mit einem Cast Index $>0,8$ waren es 8 (7,9%) Patient*innen mit Therapiebedarf und 93 (92,1%) ohne. Der Chi-Quadrat-Test ergab einen p-Wert von 0,06.

3.8.7 Interpretation des Three Point Index

Beim Three Point Index spricht man ebenfalls bei einem niedrigeren Wert von einem geringeren Risiko für eine sekundäre Dislokation. Ein sehr niedriges Risiko ist laut Studien bei einem Index $<0,8$ definiert. Ein Wert zwischen $0,8$ und $1,2$ spricht für ein mittleres und Werte $>1,2$ für ein erhöhtes Risiko für eine sekundäre Dislokation (22,23).

Um dies anhand dieser Auswertung zu überprüfen, wurden die Patient*innen nach deren Three Point Indizes in drei Gruppen unterteilt. Die erste Gruppe mit einem Three Point Index $<0,8$ umfasst dabei 10 Patient*innen (4,3%), die zweite Gruppe mit einem Index zwischen $0,8$ und $1,2$ umfasst 55 Patient*innen (23,9%) und die dritte Gruppe mit einem Index $>1,2$ umfasst 165 Patient*innen (71,1%).

Um einen Unterschied zwischen den Gruppen in Zusammenhang mit Komplikationen, die einer weiteren Therapie bedurften, festzustellen wurde eine Kreuztabelle erstellt und der Chi-Quadrat-Test angewandt. Bei der Gruppe mit einem Index $>0,8$ hatte niemand (0%) eine therapiebedürftige Komplikation. In der Gruppe mit einem Index zwischen $0,8$ und $1,2$ hatten 6 Patient*innen (10,9%) eine therapiebedürftige Komplikation und 49 (89,1%) nicht und in der Gruppe mit einem Index $>1,2$ hatten 22 Patient*innen (13,3%) eine therapiebedürftige Komplikation und 143 (86,7%) nicht. Der Chi-Quadrat-Test ergab einen p-Wert von 0,433. Damit bestand kein statistisch signifikanter Unterschied.

3.9 Komplikationen die operativ behandelt wurden

Unter den 230 Patient*innen wurden 3,5% (also 8 Patient*innen) nach aufgetretenen Komplikationen, in Form von knöchernen Verschiebungen/Abkippungen in nicht mehr akzeptablem Ausmaß, operativ versorgt. Die Arten der zusätzlichen operativen Versorgung waren in 5 Fällen eine Bohrdrahtosteosynthese des Radius mittels Kirschner-Drähten, in einem Fall eine Marknagelosteosynthese des Radius mittels ESIN, in einem weiteren Fall eine Plattenosteosynthese des Radius und einmal wurde eine erneute geschlossene Reposition in Narkose durchgeführt.

3.9.1 Unterschiede in Bezug auf das Geschlecht und das Alter

Es wurde untersucht, ob innerhalb der Gruppe mit Patient*innen, die mittels operativer Therapie nachbehandelt wurden, eine Geschlechterabhängigkeit besteht. Unter den 8 Patient*innen mit therapiebedürftiger Komplikation, die operativ versorgt wurde waren 4

männlich und 4 weiblich. Demnach besteht hier kein geschlechtsabhängiger Unterschied ($p=0,313$). Auch war das Alter dieser zwei Gruppen nicht statistisch signifikant unterschiedlich (Mann-Whitney-U Test; $p=0,495$).

Die Verteilung der Patient*innen mit operativ versorgter Komplikation auf die 3 Altersgruppen wird in **Tabelle 5** dargestellt.

Komplikation mit OP	0-6 Jahre	7-11 Jahre	12-17 Jahre	Summe
Ja	2 (25%)	5 (62,5%)	1 (12,5%)	8
Nein	69 (31,1%)	115 (51,8%)	38 (17,1%)	222

Tabelle 5: Komplikationen mit operativer Versorgung innerhalb der Altersgruppen

Um einen Zusammenhang zwischen operativ versorgter Komplikation und der Altersgruppe zu überprüfen wurde der Chi-Quadrat-Test durchgeführt. Hierbei ergab sich ein p-Wert von 0,836, daher besteht hier kein statistisch signifikanter Zusammenhang.

3.9.2 Untersuchung auf einen Zusammenhang mit der initialen knöchernen Situation

Zuerst wurde untersucht, ob eine komplette Unterarmfraktur (also Fraktur von Ulna und Radius) die Wahrscheinlichkeit für eine operationsbedürftige Komplikation steigert. Unter den insgesamt 210 Patient*innen mit kompletter Unterarmfraktur trat bei 8 Patient*innen (3,8%) eine operationsbedürftige Komplikation auf und bei 202 Patient*innen (96,2%) nicht. Der Zusammenhang von operationsbedürftiger Komplikation und kompletter Unterarmfraktur wurde mit dem Chi-Quadrat-Test überprüft und ergab einen p-Wert von 0,374, somit besteht hier kein statistisch signifikanter Zusammenhang.

Dann wurde untersucht ob eine komplette, beziehungsweise inkomplette Dislokation das Auftreten von sekundären, operationsbedürftigen Komplikationen beeinflusst. Unter den insgesamt 199 Patient*innen mit kompletter Dislokation hatten 7 Patient*innen (3,5%) eine operationsbedürftige Komplikation und 192 Patient*innen (96,5%) nicht. Bei den insgesamt 31 inkomplett dislozierten Fällen hatte nur eine Patientin eine operationsbedürftige Komplikation. Der Chi-Quadrat-Test ergab einen p-Wert von 0,934. Hier besteht also auch kein statistisch signifikanter Zusammenhang.

Ob das Repositionsergebnis (anatomisch oder nicht anatomisch) einen statistisch signifikanten Zusammenhang mit der Rate für operationsbedürftige Komplikationen hat wurde ebenfalls mit dem Erstellen einer Kreuztabelle und dem Chi-Quadrat-Test untersucht. Unter den insgesamt 112 Patient*innen mit nicht anatomischem Repositionsergebnis hatten 6 Patient*innen (5,4%) eine operationsbedürftige Komplikation und 106 Patient*innen (94,6%) nicht. Bei den insgesamt 118 Patient*innen mit anatomischem Repositionsergebnis waren 116 Patient*innen (98,3%) ohne operationsbedürftige Komplikation und 2 Patient*innen (1,7%) nicht. Dieser Unterschied war nicht statistisch signifikant ($p=0,130$).

3.9.3 Zusammenhang zwischen Cast Index und operativ versorgter Komplikationen

Die bereits oben erwähnten zwei Gruppen, eine mit Cast Index $>0,8$ und die zweite mit Cast Index $<0,8$ wurde dann mittels Kreuztabelle und Chi-Quadrat-Test auf Unterschiede überprüft in Zusammenhang mit operativ versorgten sekundären Komplikationen.

Bei der Gruppe mit einem Cast Index $<0,8$ hatten 6 (4,7%) Patient*innen eine Komplikation, die operativ versorgt wurde und 123 (95,3%) nicht. In der zweiten Gruppe mit einem Cast-Index $>0,8$ waren es 2 (2%) mit einer operativ versorgten Komplikation und 99 (98%) ohne. Der Chi-Quadrat-Test ergab hier einen p-Wert von 0,2, somit bestand hier kein signifikanter Unterschied.

3.9.4 Zusammenhang zwischen Three Point Index und operativ versorgter Komplikationen

Die bereits oben erwähnten drei Gruppen mit dem Three Point Index von $<0,8$; zwischen 0,8 und 1,2 und $>1,2$ wurden ebenfalls in Zusammenhang mit operativ versorgten sekundären Komplikationen auf Unterschiede überprüft. Hierfür wurde wieder eine Kreuztabelle erstellt und der Chi-Quadrat-Test angewandt.

In der Gruppe mit einem Three Point Index $<0,8$ waren keine Patient*innen (0%), die sekundär operativ versorgt werden mussten. Die zweite Gruppe mit einem Index zwischen 0,8 und 1,2 umfasste 2 Patient*innen (3,6%), die einer sekundären operativen Therapie bedurften. Die übrigen 53 Patient*innen (96,4%) dieser Gruppe benötigten keine. Und in der dritten Gruppe mit einem Index $>1,2$ gab es 6 Fälle (3,6%) mit sekundärer operativer

Therapie und 159 (96,4%) ohne. Der Chi-Quadrat-Test ergab einen p-Wert von 0,83, somit bestand auch hier kein signifikanter Unterschied.

4. Diskussion

Das Ziel der hier vorliegenden Studie war es, die Versorgung distaler dislozierter Unterarmfrakturen im Kindesalter mit Reposition und Immobilisierung ohne Osteosynthese objektiv auf ihre Stabilität und Komplikationsrate hin zu untersuchen. Bei 230 eingeschlossenen Fällen und einer einheitlichen Behandlungsmethode (die geschlossene Reposition in Narkose mit anschließender Gipsimmobilisation) bietet diese Arbeit eine solide Datengrundlage zur Beurteilung der genannten Therapieform.

Unter den untersuchten 230 pädiatrischen Patient*innen war die Geschlechterverteilung mit 66,5% männlichen und 33,5% weiblichen deutlich zugunsten der männlichen Gruppe verschoben. Dieses Ergebnis deckt sich mit epidemiologischen Daten aus der Literatur, wonach Frakturen im Kindesalter häufiger bei Jungen auftreten. Dies sei auf ein insgesamt höheres Aktivitätsniveau und risikobehaftetes Spielverhalten zurückzuführen (4).

Die Gesamtkomplikationsrate innerhalb der untersuchten Kohorte lag bei 12,2%. In diesen insgesamt 28 Fällen war eine zusätzliche Therapie im Verlauf notwendig. Die häufigsten Folgeinterventionen waren die Gipskeilung (53,6%), gefolgt von Osteosynthesen (25%) und erneuten Repositionen (21,4%). Diese Zahlen zeigen, dass trotz konservativer Erstbehandlung ein relevanter Anteil der Patient*innen eine sekundäre Intervention benötigte. Nichtsdestotrotz war bei nur 3,5% der Patient*innen eine operative Folgeintervention nötig.

Zum Vergleich bietet sich eine Studie von Beck R et al. (2025) an, bei der es um die Risikostratifizierung für ein Therapieversagen bei konservativer Versorgung von diaphysären Unterarmfrakturen bei Kindern geht. Hier konnte eine Redislokationsrate von ca. 10% ermittelt werden (27).

Eine weitere Studie von Hancock et al. (2025) untersuchte 105 Jugendliche mit metaphysären distalen Radiusfrakturen und man fand dabei heraus, dass sowohl die alleinige Reposition und Gipsversorgung, als auch die Fixation mittels Kirschner-Drähte vergleichbare Endwinkel ($5,3^\circ$ gegen $5,5^\circ$) und auch vergleichbare funktionelle Resultate zeigten. Auffällig war, dass alle relevanten Komplikationen (darunter auch zwei Fälle von Osteomyelitis) in der Gruppe auftraten, in welcher die Patient*innen operativ behandelt worden waren. Trotz einer höheren Rate an früh aufgetretenen Redislokationen bei den

konservativ behandelten Patient*innen traten keine Langzeitfolgen auf, selbst bei 20° Achsabweichung am Ende der Behandlung. Dies unterstreicht das hohe Remodellierungspotential in dieser Altersgruppe (28).

Ebenfalls erwähnenswert ist die groß angelegte Meta-Analyse von Alotaibi et al. (2025) bei der die Therapieergebnisse von 1455 pädiatrische Patient*innen mit distaler dislozierter Radiusfraktur verglichen wurden. In der Gruppe, die durch Kirschner-Draht-Fixation behandelt wurde, traten zwar signifikant weniger Redislokationen auf, aber die funktionellen Ergebnisse und die Komplikationsraten waren im Vergleich zu der konservativ behandelten Gruppe gleichwertig. Die Operation bietet also bei annähernd gleichen Langzeitergebnissen lediglich höhere Stabilität, während der konservative Ansatz das Infektions- und Operationsrisiko gänzlich vermeidet (29).

Auch eine ältere randomisierte Studie wie jene von Colaris et al. (2013) zeigt ein ähnliches Bild. Bei stabilen distalen Frakturen von Ulna und Radius traten nach Kirschner-Draht-Fixierung zwar weniger Redislokationen auf, allerdings fällt die Komplikationsrate bei den konservativ behandelten Patient*innen weit geringer aus (14 Fälle vs. 1 Fall) (30).

Wasiak et al. (2023) zeigten in einer Studie mit 116 Kindern, die nach instabilen distalen Radiusfrakturen mit perkutaner Kirschner-Draht-Fixation versorgt wurden, dass trotz eines streng standardisierten Protokolls und diverser Bewertungssysteme (Clavien-Dindo-Sink- und Dahl-Klassifikation) eine Gesamtkomplikationsrate von 37% auftrat. Dabei hatten 35,5% der Fälle leichte, aber dennoch klinisch relevante Nebenwirkungen wie lokale Entzündungen an den Pin-Eintrittsstellen und Druckulzera. Schwere Komplikationen wie Revisionsoperationen waren mit 1,7% eher selten. Auch hier zeigen die Ergebnisse also, dass durch eine operative Stabilisierung mittels Kirschner-Drähten zwar eine hohe Stabilität gewährleistet werden kann, diese aber doch mit einer erheblichen Anzahl an postoperativen Komplikation verbunden ist (31).

Eine Studie von Kocaoglu et al. konnte darüber hinaus noch nachweisen, dass innerhalb der verschiedenen operativen Techniken eine minimalinvasive Fixation des Radius alleine gleichwertige Ergebnisse lieferte wie die weit aufwändigere doppelte Osteosynthese von Radius und Ulna, dafür aber weit kürzere Operationszeiten und eine geringere Strahlenexposition aufgrund kürzerer Fluoroskopie aufweist (32).

In der vorliegenden Studie konnten keine statistisch signifikanten Zusammenhänge zwischen der Komplikationsrate und soziodemografischen Faktoren wie Geschlecht

($p=0,557$) oder Alter ($p=0,841$) festgestellt werden. Auch die Frakturart (isolierte Radiusfraktur oder kombinierte Radius- und Ulnafraktur) und die Ausprägung der Dislokation (mit Verkürzung oder ohne Verkürzung) hatte keinen statistisch signifikanten Einfluss auf die Komplikationsrate. Es zeigt sich also, dass Alter, Geschlecht, Frakturart und das Ausmaß der initialen Dislokation alleine nicht ausreichen, um eine Vorhersage über den Behandlungsverlauf zu ermöglichen.

Das Repositionsergebnis war bei 51,3% der Patient*innen anatomisch korrekt, bei den restlichen 48,7% bestanden nach geschlossener Reposition unterschiedlich starke Achsabweichungen oder Kortikalisversätze. Es konnte gezeigt werden, dass bei inkomplett dislozierten Frakturen, also jene ohne Versatz um die gesamte Schaftbreite und einer damit einhergehenden Verkürzung, deutlich häufiger ein anatomisches Repositionsergebnis erzielt werden konnte ($p=0,019$). Dieser statistisch signifikante Unterschied legt nahe, dass das Ausmaß der ursprünglichen Dislokation nach einem erlittenen Trauma maßgeblich das Ergebnis der Reposition beeinflusst. Bei der Untersuchung der Einflüsse auf die Rate an therapiebedürftigen Komplikationen zeigte sich, dass diese bei Patient*innen mit einem anatomischen Repositionsergebnis statistisch signifikant seltener auftraten ($p=0,03$). Diese Tatsache zeigt, dass das initiale Repositionsergebnis von großer Bedeutung für den weiteren Therapieverlauf ist. Eine klinische Studie von McQuinn und Jaarsma (2012) betont ebenfalls, dass bei korrekter Reposition und gut angepasster Gipsanlage die Redislokationsraten gering bleiben und funktionelle Einschränkungen selten sind. Außerdem wird auch hier die vollständige Achsenkorrektur bei moderater Fehlstellung durch das Längenwachstum unterstrichen (33).

Die durchschnittliche Dauer der Operation (Reposition und Anlage des Gipses in Narkose) lag bei rund 15 Minuten und unterschied sich weder in Bezug auf das Alter noch den Dislokationsgrad signifikant. Auch die Dauer der Gipsruhigstellung, welche im Durchschnitt 33,5 Tage betrug, lag in einem zu erwartenden Bereich. Diese homogenen Werte sprechen für einen organisatorisch gut standardisierten und vom behandelnden Arzt oder der behandelnden Ärztin relativ unabhängigen konservativen Behandlungsablauf. Eine Studie von Liu Y et al. (2021) vergleicht die konservative Therapie mittels Reposition und Gipsfixierung mit einem Osteosyntheseverfahren mittels intraossärer Pins. Hier lag bei

beiden Therapieformen die Ruhigstellungsdauer im Bereich von 32-34 Tagen, unabhängig von der Versorgungsart (34). Die Studie von Van Egmond et al. (2012) empfiehlt die perkutane Kirschner-Draht-Fixation unter Narkose um Redislokationen zu vermeiden, betont aber gleichzeitig, dass die funktionellen Endresultate auch bei konservativer Therapie exzellent seien und das hohe Remodellierungspotential meist ausreiche (35).

Ein zentraler Punkt in dieser Studie war die Bewertung der postinterventionellen Gipsversorgung über objektivierbare Indizes: dem Cast-, Three Point-, und Gap Index. Die in dieser Studie gemessenen Ergebnisse lagen teilweise außerhalb der in der Literatur empfohlenen Grenzbereiche. Beispielsweise überschritt der Three Point Index mit durchschnittlich 1,593 deutlich den Richtwert von $<1,2$ (23). Dies könnte in einigen Fällen auf eine suboptimale Stabilität der Gipsschienung hindeuten. Auch der Gap Index war mit einem Mittelwert von 0,234 höher als der laut Studien empfohlene Zielwert von $<0,15$ (25). Diese Beobachtungen könnten auf qualitative Unterschiede in der Gipsanlage deuten, wobei sie hier nicht direkt mit der Komplikationsrate korrelieren. Somit bleibt die Aussagekraft in Bezug auf den Therapieerfolg eher begrenzt.

Zudem sind zur Aussagekraft der gemessenen Indizes einige technische und methodische Limitationen zu nennen: Die Qualität der Bildwandleraufnahmen, welche initial nach Gipsanlage zur Kontrolle des Repositionsergebnisses angefertigt werden und zur Messung der Indizes für diese Studie herangezogen wurden, war nicht in allen Fällen gleich. Oft wurde aufgrund mangelnder Auflösung, Bildschärfe und dem abgebildeten Bildausschnitt die genaue Identifikation der Gips-Haut-Grenzen deutlich erschwert und somit könnte die Messgenauigkeit in einigen Fällen in Mitleidenschaft gezogen worden sein. Solche Messunsicherheiten sollten bei der Interpretation der Werte berücksichtigt werden. Darüber hinaus handelt es sich bei allen drei Indizes um zweidimensionale, statische Messgrößen, die dynamische Aspekte wie Muskelspannung, Alltagsbelastung oder ungleichmäßigen Gipsdruck nicht erfassen. Somit ergibt sich eine gewisse Diskrepanz zwischen der radiologischen Beurteilung und der klinischen Realität, die auch in dieser Studie durch die fehlende Korrelation der Indizes mit der tatsächlichen Komplikationsrate verdeutlicht wird. Man kann also sagen, dass die gemessenen Indizes zwar Hinweise auf die Qualität des Gipses liefern, aber keinesfalls als alleinige Prädiktoren für etwaige später auftretenden Komplikationen herangezogen werden können.

5. Schlussfolgerung

Die vorliegende Studie untersuchte, ob die geschlossene Reposition mit anschließender Immobilisierung ohne operative Osteosynthese eine adäquate Behandlungsform für dislozierte distale Unterarmfrakturen im Kindes- und Jugendalter darstellt. Durch die Auswertung von 230 Fällen konnte ein umfassendes Bild der Behandlungsrealität, der Komplikationsraten sowie der relevanten Einflussfaktoren gewonnen werden.

Die Ergebnisse zeigen, dass die konservative Therapie bei Kindern und Jugendlichen in den meisten Fällen ein zufriedenstellendes funktionelles und radiologisches Ergebnis liefert. Trotz einer gewissen Rate an sekundären Dislokationen traten nur in einem geringen Anteil der Fälle Komplikationen auf, die einer weiteren Therapie bedurften (12,2%). Diese konnten in der Regel durch Gipskeilung oder erneute Reposition behoben werden. Langfristige funktionelle Einschränkungen oder Fehlstellungen wurden nicht beobachtet. Damit bestätigt sich das hohe Remodellierungspotential des noch wachsenden kindlichen Knochens, wodurch selbst Achsabweichungen bis etwa 20° im Heilungsverlauf ausgeglichen werden können.

Die Analyse der erhobenen radiologischen Indizes (Cast-, Three Point- und Gap-Index) verdeutlichte, dass deren Ergebnisse zwar Hinweise auf die Qualität der Gipsanlage geben, jedoch keine signifikante Korrelation zur Komplikationsrate aufweisen. Dies legt nahe, dass die klinische Beurteilung, die Erfahrung der behandelnden Ärzt*innen sowie regelmäßige Nachkontrollen entscheidendere Faktoren für den Behandlungserfolg darstellen als die alleinige Orientierung an diesen Messwerten.

Die Operation mit Osteosynthese sollte daher vor allem jenen Fällen vorbehalten bleiben, in denen eine geschlossene Reposition nicht gelingt oder mittels Gipsfixation keine anhaltende Stabilität erreicht werden kann.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Reposition und Immobilisierung ohne Osteosynthese bei dislozierten distalen Unterarmfrakturen im Kindes- und Jugendalter in der überwiegenden Zahl der Fälle ein adäquates, sicheres und nachhaltiges Vorgehen darstellt. Die Studie unterstreicht die Bedeutung einer individuellen Therapieentscheidung, die das Alter, die Frakturart, die Stabilität nach Reposition und die Nachsorgebedingungen berücksichtigt. Für die klinische Praxis ergibt sich daraus die Empfehlung, die

konservative Behandlungsform als primäre Option zu sehen, solange keine eindeutigen Kontraindikationen bestehen.

6. Literaturverzeichnis

1. Waldeyer A, Anderhuber F, Pera F, Streicher J, Herausgeber. Waldeyer - Anatomie des Menschen: Lehrbuch und Atlas in einem Band. DE GRUYTER; 2012: 201–283
2. Aumüller G, Aust G, Conrad A, Engele J, Kirsch J, Maio G, u. a. Duale Reihe Anatomie. 5. Aufl. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2020: 479–503
3. Schünke M. Prometheus. Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem. In: 5. vollständig überarbeitete Auflage. Stuttgart New York: Georg Thieme Verlag; 2018: 356–406
4. Rennie L, Court-Brown CM, Mok JYQ, Beattie TF. The epidemiology of fractures in children. *Injury*. 2007;38(8):913–22.
5. Hedström EM, Svensson O, Bergström U, Michno P. Epidemiology of fractures in children and adolescents: Increased incidence over the past decade: a population-based study from northern Sweden. *Acta Orthopaedica*. 2010;81(1):148–53.
6. Qiu X, Deng H, Su Q, Zeng S, Han S, Li S, et al. Epidemiology and management of 10,486 pediatric fractures in Shenzhen: experience and lessons to be learnt. *BMC Pediatr* . 2022;22(1): 3,4
7. Schalamon J, Dampf S, Singer G, Ainoedhofer H, Petnehazy T, Hoellwarth ME, et al. Evaluation of Fractures in Children and Adolescents in a Level I Trauma Center in Austria. *Journal of Trauma: Injury, Infection & Critical Care*. 2011;71(2):E19–25.
8. Wichelhaus A, Gradl G, Mittlmeier T. Die distale Radiusfraktur. *Orthopädie und Unfallchirurgie up2date*. 2012;7(04):251–71.
9. Großmann D, Barthlen W. Dislozierte distale Unterarmfraktur im Kindesalter: Sicherung der Reposition mittels Kirschner-Draht oder nicht? *Trauma Berufskrankh*. 2014;16(S2):197–201.
10. Großer K. Behandlung der kindlichen Unterarmschaftfraktur: Was geht noch konservativ? *Trauma Berufskrankh*. 2018;20(S1):12–6.
11. Mencio GA, Swiontkowski MF, Green NE, Herausgeber. Green's skeletal trauma in children. Fifth edition. Philadelphia, PA: Elsevier/Saunders; 2015. (ClinicalKey).
12. Sundermann B, Mörs K, Frank J, Marzi I. Unterarmfrakturen und distale Radiusfrakturen bei Kindern. *OP-JOURNAL*. 2018;34(03):290–300.

13. Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Kinderchirurgie Unterarmschaftfrakturen im Kindesalter [Internet]. Deutsche Gesellschaft für Kinder- und Jugendchirurgie e.V. (DGKJCH); 2021.
14. Freislederer F. Gipskeilung bei sekundär dislozierten Frakturen. Schweizer Fortbildungszeitschrift für Pädiater und Allgemeinärzte - Pädiatrie. (02/2021):15-9.
15. Wendling-Keim DS, Wieser B, Dietz HG. Closed reduction and immobilization of displaced distal radial fractures. Method of choice for the treatment of children? Eur J Trauma Emerg Surg. 2015;41(4):421–8.
16. Patel DD, O’Hara NN, Giampaolo GM, Abzug JM, Cruz AI. Variations in the Preferred Treatment of Pediatric Forearm Fractures Among Practicing Orthopaedic Surgeons. Journal of the Pediatric Orthopaedic Society of North America. 2022;4(2):450.
17. Waqaruddin M, Amir Jalil S, Idrees Z, Ahmed Siddiqi B, Ali Mughal R, Naseem M. Pediatric Forearm Fractures: A Prospective Study of Conservative Management. CIS. 2016;5(1):1–3.
18. AWMF-Leitlinienregister. Leitlinie Distale Radiusfraktur des Erwachsenen; Version 4.0; 2021; verfügbar unter: https://register.awmf.org/assets/guidelines/012-0151_S2e_Distale_Radiusfraktur_2021-11_02.pdf
19. Pretell Mazzini J, Rodriguez Martin J. Paediatric forearm and distal radius fractures: risk factors and re-displacement—role of casting indices. International Orthopaedics (SICOT). 2010;34(3):407–12.
20. İltar S, Alemdaroğlu KB, Say F, Aydoğan NH. The value of the three-point index in predicting redisplacement of diaphyseal fractures of the forearm in children. The Bone & Joint Journal. 2013;95-B(4):563–7.
21. Kamat AS, Pierse N, Devane P, Mutimer J, Horne G. Redefining the Cast Index: The Optimum Technique to Reduce Redisplacement in Pediatric Distal Forearm Fractures. Journal of Pediatric Orthopaedics. 2012;32(8):787–91.
22. Asadollahi S, Pourali M, Heidari K. Predictive factors for re-displacement in diaphyseal forearm fractures in children—role of radiographic indices. Acta Orthopaedica. 2017;88(1):101–8.
23. Alemdaroğlu KB, İltar S, Çimen O, Uysal M, Alagöz E, Atlıhan D. Risk Factors in Redisplacement of Distal Radial Fractures in Children: The Journal of Bone & Joint Surgery. 2008;90(6):1224–30.

24. Williams ND, Rush JK, Schmitz MR, Johnson AE. Reliability of Casting Indices Among Members of an Orthopaedic Surgery Residency. *Journal of Pediatric Orthopaedics*. 2017;37(4):238–42.
25. Labronici PJ, Ferreira LT, Dos Santos Filho FC, Pires RES, Gomes DCFF, Da Silva LHP, et al. Objective assessment of plaster cast quality in pediatric distal forearm fractures: Is there an optimal index? *Injury*. 2017;48(2):552–6.
26. Barvelink B, Kok MJ, Smidt S, Lakwijk KFC, Verhaar JAN, Reijman M, et al. The influence of casting techniques on the redisplacement risk of reduced distal radius fractures in adults. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2025;145(1):326.
27. Beck R, Beck SM, Waltersbacher E, Wilke A, Kuhn M, Fitze G, et al. Risk stratification for failure of conservative treatment in a cohort of 270 diaphyseal radius fractures. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2025;145(1):325.
28. Hancock DW, Barrett-Lee JJT, Abdellatif AMA, White S, Liu P, Roberts D. Metaphyseal distal radius fractures in adolescents: is closed reduction and casting sufficient for most? *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2025;35(1):64.
29. Alotaibi MN, Aldaraani LGA, Altala AS, Alqurashi AA, Alateeq IS, Alkhamisi AA, et al. Comparing the Outcomes of Cast Immobilization with and Without K-Wire Fixation for Displaced Distal Radius Fractures in the Pediatric Population: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Medicina*. 2025;61(5):852.
30. Colaris JW, Allema JH, Biter LU, De Vries MR, Van De Ven CP, Bloem RM, et al. Re-displacement of stable distal both-bone forearm fractures in children: A randomised controlled multicentre trial. *Injury*. 2013;44(4):498–503.
31. Wasiak M, Piekut M, Ratajczak K, Waśko M. Early complications of percutaneous K-wire fixation in pediatric distal radius fractures—a prospective cohort study. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2023;143(11):6649–56.
32. Kocaoglu H, Kalem M. Comparison of operating time, fluoroscopy exposure time, and functional and radiological results of two surgical methods for distal forearm fractures of both-bones in pediatric patients: Is it necessary to fix both bones? *AOTT*. 2020;54(2):155–60.
33. McQuinn AG, Jaarsma RL. Risk Factors for Redisplacement of Pediatric Distal Forearm and Distal Radius Fractures. *Journal of Pediatric Orthopaedics*. 2012;32(7):687–92.

34. Liu Y, Zhang FY, Zhen YF, Zhu LQ, Guo ZX, Wang XD. Treatment Choice of Complete Distal Forearm Fractures in 8 to 14 Years Old Children. *Journal of Pediatric Orthopaedics*. 2021;41(9):e763–7.
35. Van Egmond PW, Schipper IB, Van Luijt PA. Displaced distal forearm fractures in children with an indication for reduction under general anesthesia should be percutaneously fixated. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2012;22(3):201–7.