

Diplomarbeit

Mittelhandfrakturen im Kindes- und Jugendalter

eingrichtet von

Caroline Oberleitner

Zur Erlangung des akademischen Grades

Doktorin der gesamten Heilkunde

(Dr. med. univ.)

an der

Medizinischen Universität Graz

ausgeführt an der

Universitätsklinik für Kinder- und Jugendchirurgie

unter der Anleitung von

Dr. med. univ. Silvia Zötsch

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

Graz, 01.04.2015

Eidesstattliche Erklärung

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

Graz, 01.04.2014

Caroline Oberleitner eh

Danksagung

Mein größter Dank gilt meinen beiden Diplomarbeitsbetreuern **Dr.med.univ. Silvia Zötsch** und **Assoz. Prof. Priv.-Doz. Dr. med. univ. Georg Singer**, die mir immer mit Fachwissen und Ratschlägen zur Seite standen. Herzlichen Dank, dass Ihr euch neben dem Klinikalltag Zeit für mich genommen habt.

Ganz herzlich möchte ich mich auch bei meinen Eltern und meiner Familie bedanken, die mich durch mein gesamtes Studium begleitet und stets unterstützt haben.

Vielen Dank auch an meinen Freund Richi und an meine Freunde, die immer hinter mir standen und stets aufmunternde und motivierende Worte für mich fanden.

Zusammenfassung

Einleitung

Mittelhandfrakturen sind die häufigsten Handverletzungen bei Kindern und Jugendlichen. Speziell in der Altersgruppe von 13-16 Jahren betreffen bis zu 39% aller Handfrakturen die Mittelhand. Metakarpalfrakturen werden zum Großteil konservativ behandelt, jedoch gibt es Frakturen mit Dislokationen über der Toleranzgrenze oder Rotationsfehlern, die operativ stabilisiert werden müssen. Im Gegensatz zu Erwachsenen besitzen im Wachstum befindliche Knochen die Fähigkeit zum Remodelling, sodass größere Toleranzgrenzen für Dislokationen vorhanden sind. Subkapitale Frakturen des Os metacarpale V stellen die häufigsten Frakturen dar.

Ziel dieser Studie ist eine retrospektive epidemiologische Aufarbeitung von PatientInnen mit Mittelhandfrakturen.

Material und Methoden

Anhand einer retrospektiven Datenanalyse an der Univ.-Klinik für Kinder- und Jugendchirurgie Graz wurden von 2006 bis 2013 Daten von PatientInnen mit Mittelhandfrakturen ausgewertet. In die Studie eingeschlossen wurden PatientInnen von 1-18 Jahren. Insgesamt wurden Daten von 384 PatientInnen aus den Krankenakten erhoben. Ermittelt wurden patientenbezogene Parameter wie das Alter zum Zeitpunkt des Traumas, das Geschlecht und die betroffene Hand. Des Weiteren wurden frakturbezogene Daten erhoben. Dabei wurden die betroffenen Mittelhandknochen, die Frakturlokalisierung, die Anzahl der frakturierten Metakarpalknochen pro PatientIn und die Art der Versorgung (operativ oder konservativ) untersucht. Die Verletzungsursachen wurden unterteilt in „Verkehrsunfall“, „Sportunfall“ und „Sturz“. Jede der drei Verletzungsursachen wurde in Unterkategorien gegliedert. Neben der Art der operativen und konservativen Versorgung wurden die Gipsbefristung und die Zeit bis zur Metallentfernung ausgewertet. Die Operationstechnik umfasst die Art des implantierten Materials, den Durchmesser und die Anzahl der verwendeten Osteosynthesematerialien. Komplikationen wie funktionelle Beeinträchtigungen, Nerven- und Sehnenläsionen nach der Operation wurden statistisch erfasst.

Ergebnisse

Insgesamt wurden 419 Mittelhandfrakturen bei 384 PatientInnen ermittelt. 354 PatientInnen (92,2%) wiesen eine Fraktur eines Mittelhandknochens auf, in 25 Fällen (6,5%) frakturierten zwei Mittelhandknochen und in fünf Fällen (1,3%) frakturierten drei Metakarpalknochen. In 254 Fällen (66,1%) war die rechte Hand und in 130 Fällen (33,9%) war die linke Hand betroffen. Es herrscht eine deutliche Dominanz männlicher Patienten (n=306; 79,7%). im Vergleich zu weiblichen Patientinnen (n=78; 20,3%). Am häufigsten frakturierte mit 45,4% (n=190) das Os metacarpale V gefolgt vom Os metacarpale I mit 27,9% (n=117). In absteigender Häufigkeit waren das Os metacarpale II (9,3%; n=39), das Os metacarpale IV (8,9%; n=37) und das Os metacarpale III (8,5%; n=36) betroffen. In 150 Fällen lagen subkapitale Frakturen vor. Am zweithäufigsten kamen Basisfrakturen des Daumens (n=90) gefolgt von Basisfrakturen der Mittelhandknochen II-V (n=86) vor. In 76 Fällen kam es zu Schaftfrakturen und in 17 Fällen zu Köpfchenfrakturen. Subkapitale Frakturen des Os metacarpale V lagen in 103 der 419 Frakturen vor. Basisfrakturen des Os metacarpale I machten mit 90 von 419 Frakturen die zweithäufigste Frakturlokalisation aus. Die Hauptverletzungsursachen waren Sportunfälle (n=143; 37,2%) gefolgt von Stürzen (n=115, 29,9%) und Verkehrsunfällen (n=46, 12,0%). In 44 Fällen (11,5%) war ein Raufhandel Ursache der Fraktur und in 36 Fällen (9,4%) lagen sonstige Verletzungsursachen wie z.B. Kontakt mit Gegenständen, Hängenbleiben etc. vor. Die konservative Therapie überwog mit 89,32% (n=343) gegenüber der operativen Versorgung (n=41, 10,68%).

Zur konservativen Frakturversorgung wurde in 181 Fällen (52,9%) eine angegippte Fingerschiene, in 87 Fällen (25,5%) eine palmare Unterarmgipslonguette und in 62 Fällen (18,2%) ein Repositionsgips (Fingereinschlussgips in Intrinsic-Plus-Stellung) angelegt. Von den 41 operativ versorgten Fällen wurden 30 (73%) mit Kirschnerdrähten versorgt, acht (20%) erhielten Platten und/oder Schrauben und drei Fälle (7%) wurden mittels elastisch-stabiler intramedullärer Nagelung versorgt.

Diskussion

Metakarpalfrakturen im Kindes- und Jugendalter sind häufige Verletzungen und können in der Mehrzahl der Fälle konservativ behandelt werden. Ein kleiner Teil

der Frakturen muss jedoch operativ versorgt werden. Operationsindikationen sind initiale Instabilität, Mehrfragmenfrakturen, Rotationsfehler und sekundäre Dislokationen.

Um die Wachstumsfuge zu schützen und Wachstumsstörungen zu verhindern, sollten multiple Repositionsversuche unterlassen werden. Hierbei ist auch das Remodelling in die Therapie miteinzubeziehen, da die Toleranzgrenzen für Achsabweichungen bei Kindern aufgrund des hohen Korrekturpotentials groß ist. Trotz Remodelling dürfen jedoch Rotationsfehler und Abweichungen, welche nicht die Bewegungsachse betreffen, nicht akzeptiert werden.

Ein genaues Wissen zum Remodelling ist daher für eine erfolgreiche Therapie essentiell.

Abstract

Introduction

Fractures of the metacarpals account for up to 40% of hand fractures in children. Metacarpal fractures are usually a domain of conservative treatment. However, a certain subset of fractures requires surgical intervention due to instability, severe displacement or rotational malalignment. The aim of the present study was to analyze a consecutive series of metacarpal fractures in children concerning epidemiology, the anatomy of the fractures, treatment regimen as well as outcome.

Material and methods

A single center, retrospective, observational study including patients treated over an 8 years period (2006 to 2013) was performed. Only Patients who were 18 years and younger were included in the study (range from 1-18 years). The analyses of patients' charts included demographic data, fracture type and location. We also identified the cause of injury and type of therapy. The term 'type of therapy' contains conservative and operative management. The term 'cause of injury' includes 'automobile accident', 'sports injury' and 'fall'.

Results

384 patients were treated with 419 fractures of metacarpal bones. The mean age of the patients was 12.4 a (range: 1-18 a) with a male predominance (79%). The main mechanisms of accident were sports injuries, falls and traffic injuries. The fifth metacarpal (50%) was affected most often, followed by fractures of the first metacarpal (31%). The majority of the patients was treated conservatively (n=343, 89%). 41 patients (11%) required osteosynthesis due to instability, rotational malalignment, comminuted fractures and secondary displacement. K-wire-fixation was chosen most often (73%). In eight patients (20%) plate or screw osteosynthesis was applied. Intramedullary stabilization was used in three cases (7%) with subcapital fractures of the fifth metacarpal bone. Full range of movement and no relevant dislocations were observed in all surgically treated patients. Initial movement restrictions (n=2) and transient neural lesions were found as complications.

Conclusion

Metacarpal fractures are common fractures in children and adolescents and can be treated conservatively in the majority of the cases. Operative stabilization is required in cases of instability, comminuted fractures, rotational malalignment and secondary stabilization. Due to the risk of growth plate injury, multiple attempts of reduction should not be performed. Since the potential of remodelling in children is high, more displacement is acceptable than in adults. Even if there is a high potential in remodelling, rotational malalignment and deviation in frontal plane can not be allowed.

Inhaltsverzeichnis

1.	ENTWICKLUNG UND WACHSTUM	1
1.1.	Knochenbildung und Knochenentwicklung	1
1.2.	Allgemeine Entwicklung der Extremitäten	1
1.3.	Die kindliche Hand	2
1.4.	Entwicklung der Mittelhandknochen und Finger	3
1.5.	Stadien des Epiphysenfugenschlusses	4
2.	ANATOMISCHE UND FUNKTIONELLE GRUNDLAGEN	5
2.1.	Anatomie der Hand	5
2.1.1.	Handwurzel, Carpus	5
2.1.2.	Mittelhand, Metacarpus	6
2.1.3.	Spezielle Aspekte einzelner Mittelhandknochen	7
2.1.4.	Finger, Phalanges	8
2.2.	Funktionelle Anatomie	8
2.2.1.	Handgelenk, Articulatio manus	8
2.2.2.	Muskulatur der Hand	17
2.2.3.	Sehnenscheiden der Hand	17
3.	FRAKTUREN IM WACHSTUMSALTER	19
3.1.	Diagnostik kindlicher Frakturen	19
3.1.1.	Gespräch/Anamnese	19
3.1.2.	Inspektion	19
3.1.3.	Klinische Untersuchung	20
3.1.4.	Apparative Diagnostik kindlicher Frakturen	20
3.1.5.	Sekundäre Diagnostik	21
3.1.6.	Magnetresonanztomografie	21

3.1.7.	Sonographie	22
3.1.8.	Computertomografie	22
3.2.	Kindliche Frakturen, Bandläsionen und Luxationen	22
3.2.1.	Schafffrakturen	23
3.2.2.	Frakturen des gelenknahen Bereiches	25
3.2.3.	Bandverletzungen und Luxationen	27
3.3.	Therapie kindlicher Frakturen	28
3.3.1.	Konservative Therapie	28
3.3.2.	Operative Therapie	29
3.3.3.	Indikationen der operativen Frakturbehandlung	37
3.3.4.	Spontankorrektur und Remodelling	37
3.3.5.	Wachstumsstörungen	38
3.3.6.	Komplikationen nach Frakturen im Kindesalter	42
3.3.7.	Nachbehandlung und Kontrollen	43
4.	MITTELHANDFRAKTUREN BEI KINDERN UND JUGENDLICHEN	44
4.1.	Einleitung	44
4.2.	Epidemiologie	45
4.3.	Pädiatrische Mittelhandfrakturen	46
4.4.	Verletzungsmechanismen	48
4.5.	Untersuchung der kindlichen Hand	48
4.6.	Epiphysenfugen der Metakarpalia	49
4.7.	Einteilung kindlicher Mittelhandfrakturen	50
4.7.1.	Basisfrakturen der Metakarpalia	51
4.7.2.	Schafffrakturen der Metakarpalia	54
4.7.3.	Subkapitale Frakturen	56
4.8.	Therapie kindlicher Mittelhandfrakturen	58

4.8.1.	Konservative Therapie	58
4.8.2.	Toleranzgrenzen	60
4.8.3.	Reposition	62
4.8.4.	Operative Therapie	64
4.9.	Therapieziele	73
4.10.	Komplikationen nach Metakarpalfrakturen	75
4.10.1.	Achsenabweichungen	75
4.10.2.	Osteomyelitis	75
4.10.3.	Weitere Komplikationen	76
4.11.	Wundversorgung – Besonderheiten im Kindesalter	77
4.12.	Nachbehandlung	77
4.12.1.	Nachbehandlung der konservativen Therapie	77
4.12.2.	Nachbehandlung der operativen Therapie	78
5.	KLINISCHE STUDIE - RETROSPEKTIVE DATENANALYSE AN DER UNIVERSITÄTSKLINIK FÜR KINDER- UND JUGENDCHIRURGIE GRAZ	79
5.1.	Einleitung	79
5.2.	Material und Methoden	79
5.3.	Ergebnisse	80
5.4.	Diskussion	86
5.5.	Anhang	86
6.	LITERATURVERZEICHNIS	96

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Entwicklung der enchondral entstandenen Knochenkerne. Die Entwicklung der Handwurzelknochen ist mit dem Erreichen des 12. Lebensjahres abgeschlossen [8].	3
Abbildung 2: Entwicklung der Metacarpal- und Fingerknochen. Zeitliches Auftreten der Knochenkerne. Die Knochenkerne der Diaphysen treten bereits im 3. Fetalmonat auf [8].	4
Abbildung 3: Menschliche Hand von dorsal, Gelenkflächen der Metakarpalknochen [8].	5
Abbildung 4: Bewegungsumfang des Handgelenks nach der Neutral-Null-Methode [11].	11
Abbildung 5: schematische Darstellung der Bandstrukturen des rechten Carpus von palmar. Ligg. metacarpalia (gelb), Ligg. carpometacarpalia (blau), Ligg. intercarpalia (rot), Bänder zwischen Unterarmknochen und Handwurzel (violett) [8].	13
Abbildung 6: Bandstrukturen der Articulatio metacarpophalangealis: von proximal nach distal: Lig. collaterale accessorium, Lig. collaterale (entspannt), Lig. phalangoglenoidale in Streckstellung. Ringband A1 und A2. Sehnen der Mm. flexor digitorum profundus und superficialis [1].	15
Abbildung 7: Fingergrundgelenk in Beugestellung. Spannung aller Bänder. Raum zwischen Ringband A1 und A2 verkleinert sich [1].	16
Abbildung 8: Bowing Fracture ohne sichtbare Frakturlinie.	24
Abbildung 9: Unterarm-Grünholzfraktur in a.p.-Röntgenaufnahme bei einem 5-jährigen Kind.	25
Abbildung 10: schematische Darstellung eines Wulstbruches.	26
Abbildung 11: Klassifikation von Frakturen im Kindesalter nach Salter-Harris und Aitken [14].	27
Abbildung 12: Bild 1 zeigt ein umgebogenes und zu lang belassenes Nagelende, was vermieden werden sollte. In Bild 2 ist die korrekte Lage der Nagelenden erkennbar. Sie sollten knapp oberhalb der Epiphysenfuge enden [17].	33

Abbildung 13: Fixateur externe [45].	36
Abbildung 14: Posttraumatische Wachstumsstörung nach Trauma im Alter von 6 Jahren. Vorzeitige Verknöcherung der Epiphysenfuge. Je jünger die PatientInnen, desto größer das Ausmaß der Längendifferenz [6].	41
Abbildung 15: Darstellung von Wachstumsstörungen [16].	42
Abbildung 16: Schematische Darstellung von Mittelhandfrakturen im Wachstumsalter. Fraktur im Basisbereich (I), quere Schafffraktur (II), schräger Schafffraktur (III), Fugenschafffraktur mit metaphysärem Keil, subkapitale und basale Fraktur des 5. Mittelhandknochens.	50
Abbildung 17: Basisfraktur des fünften Metacarpalknochens proximal der Insertion der Sehne des M. extensor carpi ulnaris (1) [45].	51
Abbildung 18: Daumenbasisfraktur mit Luxation eines 13-jährigen Jungen. Stabilisation der Fraktur mit 2 Kirschnerdrähten in der Stärke von 1,2mm. Die Metallentfernung erfolgte nach 26 Tagen.	52
Abbildung 19: Schematische Darstellung von Frakturen des Os metacarpale I; A) Bennett-Fraktur, B) Rolando-Fraktur, C) extraartikuläre Wintersteinfraktur. M. abductor pollicis longus (grün).	53
Abbildung 20: Eine nicht dislozierte Basisfraktur des Os metacarpale V bei einem 13-jährigen Jungen. Die Fraktur ereignete sich beim Sport. Die Therapie erfolgte mit einer angegipsten Fingerschiene für 19 Tage.	54
Abbildung 21: Spiralfaktur des Os metacarpale II und III bei einem 11-jährigen Jungen. Die Fraktur wurde mit einer palmaren Unterarmgipslonguette versorgt, die Gipsbefristung betrug 31 Tage.	55
Abbildung 22: Eine um 20° in der Sagittalebene dislozierte subkapitale Fraktur des Os metacarpale V Die Fraktur wurde mit einer angegipsten Fingerschiene für 14 Tage versorgt.	57
Abbildung 23: Abkippung des Mittelhandköpfchens nach palmar durch Zug der Handmuskulatur [46].	57
Abbildung 24: Intrinsic-Plus Stellung [13].	60
Abbildung 25: Reposition eines nach palmar abgekippten Mittelhandköpfchens [46].	63
Abbildung 26: Gipskeilung, um die Fraktur stabil zu halten [13].	63

- Abbildung 27:** 13-jähriges Mädchen. Basisfraktur eines Os metacarpale V mit Dislokation und Gelenkbeteiligung. Die Fraktur ereignete sich bei einem Sturz. Perkutane Kirschnerdraht Spickung in der Stärke von 1,2mm. Metallentfernung nach 21 Tagen. 67
- Abbildung 28:** Transmetakarpale Kirschnerdrahtstabilisation einer Schafffraktur des 3. Metakarpalknochens mit Rotationsdeformität [13]. 67
- Abbildung 29:** Prä- und postoperative Bilder einer subkapitale Fraktur des Os metacarpale V bei einem 15-Jährigen. Dislokation nach palmar um 60°. Osteosynthese mittels ESIN in der Stärke von 2mm. Die Metallentfernung erfolgte nach 160 Tagen. 70
- Abbildung 30:** Die Achsen der Finger beziehen sich auf das Os scaphoideum. Eine Überkreuzung des verletzten Fingers zum benachbarten Finger weist auf einen Rotationsfehler hin. Abweichung der Nagelebene in Bezug auf die anderen Finger als weiterer Hinweis auf eine Rotationsfehlstellung des Mittelhandknochens. Rotationsfehler von 5° führen zum Übereinanderschlagen der Fingerkuppen um 1,5cm [6]. 74
- Abbildung 31:** Klinisches Bild eines Rotationsfehlers: Überkreuzen des vierten auf den benachbarten Finger [13]. 74
- Abbildung 32:** Wachstumsstörung mit Verkürzung des 2. Strahls [6]. 75
- Abbildung 33:** Frakturlokalisationen und deren Häufigkeit. 81
- Abbildung 34:** Verletzungsursachen. 82
- Abbildung 35:** Therapieoptionen - konservativ vs. operativ. 83
- Abbildung 36:** Verletzungsursachen bei männlichen und weiblichen PatientInnen. 88
- Abbildung 37:** Daumenbasisfraktur mit Luxation bei einem 13-jährigen Jungen. Stabilisation der Fraktur mit zwei Kirschnerdrähten in der Stärke von 1,2mm. Die Metallentfernung erfolgte nach 26 Tagen. 89
- Abbildung 38:** Spiralfraktur des Os metacarpale II und III bei einem 11-jährigen Jungen. Die Fraktur wurde mit einer palmaren Unterarmgipslonguette versorgt, die Gipsbefristung betrug 31 Tage. 90
- Abbildung 39:** Eine nicht dislozierte Basisfraktur des Os metacarpale V eines 13-jährigen Jungen. Die Fraktur ereignete sich beim Sport. Die Therapie erfolgte mit einer angegipsten Fingerschiene für 19 Tage. 91

- Abbildung 40:** Eine um 20° in der Sagittalebene dislozierte subkapitale Fraktur des Os metacarpale V. Die Fraktur wurde mit einer angegipsten Fingerschiene für 14 Tage versorgt. 92
- Abbildung 41:** 13-jähriges Mädchen. Basisfraktur des Os metacarpale V mit Dislokation und Gelenkbeteiligung. Die Fraktur ereignete sich bei einem Sturz. Perkutane Kirschnerdrahtosteosynthese in der Stärke von 1,2mm. Metallentfernung nach 21 Tagen. 93
- Abbildung 42:** Prä- und Postoperative Bilder einer subkapitalen Fraktur des Os metacarpale V bei einem 15-Jährigen. Verkippung nach palmar um 60°. Osteosynthese mit elastisch-stabilem intramedullärem Nagel in der Stärke von 2mm. Die Metallentfernung erfolgte nach 160 Tagen. 94
- Abbildung 43:** Subkapitale Fraktur des Os metacarpale V eines 15-Jährigen mit einer Abkippung nach palmar um 50°. Die Fraktur ereignete sich beim Sport. Osteosynthese mit einem elastisch-stabilen intramedullären Nagel in der Stärke von 2mm. Die Metallentfernung erfolgte nach 244 Tagen. Die letzten beiden Bilder wurden nach der Metallentfernung aufgenommen. 95

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Lokalisation und Anzahl aller 419 Mittelhandfrakturen.

88

1 ENTWICKLUNG UND WACHSTUM

1.1 Knochenbildung und Knochenentwicklung

In der Ontogenese des Knochens werden 3 Stadien unterschieden:

1. Mesenchymales Stadium
2. Knorpeliges Stadium
3. Knorpelig-knöchernes Stadium

Die Struktur und Form des Knochens ist genetisch determiniert. Wichtigster Faktor für das Knochenwachstum ist mechanische Beanspruchung (Be- und Entlastung). Man unterscheidet die *desmale* von der *chondralen* Ossifikation.

- Desmale Ossifikation: Knochengewebe kann direkt ohne Zwischenstufen aus mesenchymalen Bindegewebe entstehen. Große Teile des Gesichtsskeletts, die flachen Knochen des Schädels und die Klavikula werden auf diese Weise gebildet.
- Chondrale/Enchondrale Ossifikation: Die übrigen Skelettanteile entwickeln sich über präformierte Knorpelmodelle ausgehend von Ossifikationszentren. Bis zum Abschluss des Wachstums bleibt am Übergang zwischen Epi- und Metaphyse Knorpelgewebe erhalten. Diese Wachstums- oder Epiphysenfugen sind für das Längenwachstum verantwortlich [1, 2].

1.2 Allgemeine Entwicklung der Extremitäten

Die Ausbildung der oberen Extremitätenknospe erfolgt am 26. Tag. Durch zirkuläre Einschnürung der Extremitätenknospe grenzt sich beim sechs Wochen alten Embryo eine Hand- bzw. Fußplatte ab. Die Finger- und Zehenstrahlen entstehen durch einen Zelluntergang in der Randleiste, der zur Bildung von fünf getrennten Segmenten führt. Ausgehend von den Randleistensegmenten

wachsen die Finger- und Zehenstrahlen aus. Durch programmierten Zelltod geht das Gewebe zwischen den Strahlen zugrunde. Das Mesenchym verdichtet sich schließlich und die Zellen differenzieren zu Chondrozyten. Muster der zukünftigen Knochen lassen sich bereits erkennen, die ersten Modelle aus hyalinem Knorpel entstehen in der sechsten Woche. Die Knorpelbildung wird im Bereich der Gelenke gestoppt und durch Apoptose werden Gelenkhöhlen gebildet. Bereits in der 12. Woche findet man in allen längeren Röhrenknochen primäre Knochenkerne vor. Die Diaphyse der Röhrenknochen ist bei der Geburt verknöchert, die Epiphysen bestehen aus Knorpel. Zwischen der Epi- und Diaphyse befindet sich die Epiphysenfuge, die entscheidend für das Längenwachstum ist und mit Abschluss des Längenwachstums verschwindet. Der Knochenschaft verbindet sich nun mit den knöchernen Epiphysen [3].

1.3 Die kindliche Hand

Während die Diaphysen der Röhrenknochen bei der Geburt bereits verknöchert sind, folgt die Verknöcherung der kurzen Knochen, Ossa brevia, in zeitlich festgesetzter Reihenfolge. Die Karpalknochen verknöchern von Zentren aus. Das Auftreten der Knochenkerne in den einzelnen Handwurzelknochen erfolgt zu sehr verschiedenen Zeiten.

In der folgenden Auflistung wird das zeitliche Auftreten der Knochenkerne der Handwurzelknochen aufgezeigt (**Abb. 1**) [4].

1. Os capitatum: 1. Lebensjahr
2. Os hamatum: 1. Lebensjahr
3. Os triquetrum: 3. Lebensjahr
4. Os lunatum: 4. Lebensjahr
5. Os trapezium: 5. Lebensjahr
6. Os trapezoideum: 5. Lebensjahr
7. Os scaphoideum: 6. Lebensjahr
8. Os pisiforme: 9. Lebensjahr

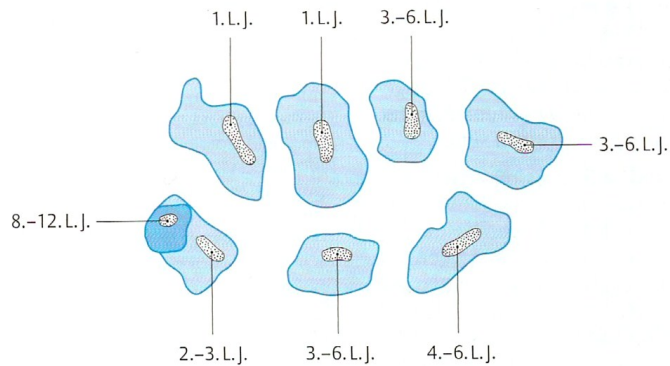


Abbildung 1 Entwicklung der enchondral entstandenen Knochenkerne. Die Entwicklung der Handwurzelknochen ist mit dem Erreichen des 12. Lebensjahres abgeschlossen [8].

1.4 Entwicklung der Mittelhandknochen und Finger

Sowohl die Ossa metacarpalia als auch die Phalangen weisen nur einen epiphysären Knochenkern auf. Bei den Mittelhandknochen II-V entstehen im zweiten Lebensjahr die epiphysären Knochenkerne distal. Eine Ausnahme bildet der erste Mittelhandknochen, bei dem sich im 2.-3. Lebensjahr (**Abb. 2**) ein Knochenkern im proximalen Ende bildet. Bei den Phalangen entstehen alle epiphysären Knochenkerne zwischen dem 1. und 3. Lebensjahr proximal [5].

Der Epiphysenfugenschluss der Ossa metacarpalia und der Phalangen findet zwischen dem 14.-22. Lebensjahr statt [6].

Nach Beendigung des Längenwachstums schließen sich die Wachstumsfugen. Dieser Fugenverschluss erfolgt in drei zeitlich aufeinanderfolgenden Abschnitten. Man findet zahlreiche individuelle Unterschiede beim Schluss der Fugen. Einfluss darauf haben Faktoren wie Geschlecht, genetische Determination und Lokalisation der Epiphysenfuge.

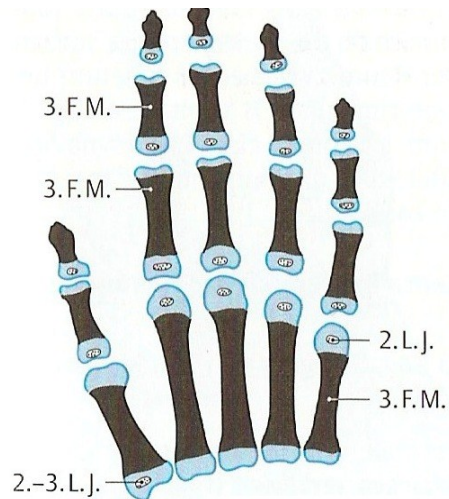


Abbildung 2 Entwicklung der Metacarpal- und Fingerknochen. Zeitliches Auftreten der Knochenkerne. Die Knochenkerne der Diaphysen treten bereits im 3. Fetalmonat auf [8].

1.5 Stadien des Epiphysenfugenschlusses

- Proliferation und Mineralisation im Bereich der Fuge sind im Gleichgewicht. Das Längenwachstum findet kontinuierlich statt.
- Beginn des Epiphysenfugenschlusses: Die Proliferation ist rückläufig, wobei die Mineralisation nach wie vor stattfindet. In diesem Stadium kann eine Wiederaufnahme der Proliferationsprozesse erfolgen. Die Wachstumsfuge kann reaktiviert werden. Dies spielt bei Verletzungen eine bedeutende Rolle und ist für das Remodelling (Fähigkeit zur Spontankorrektur) entscheidend.
- Schluss der Fuge: Die Proliferation wird stark eingeschränkt, die Mineralisation hingegen steigt [7].

2 ANATOMISCHE UND FUNKTIONELLE GRUNDLAGEN

2.1 Anatomie der Hand

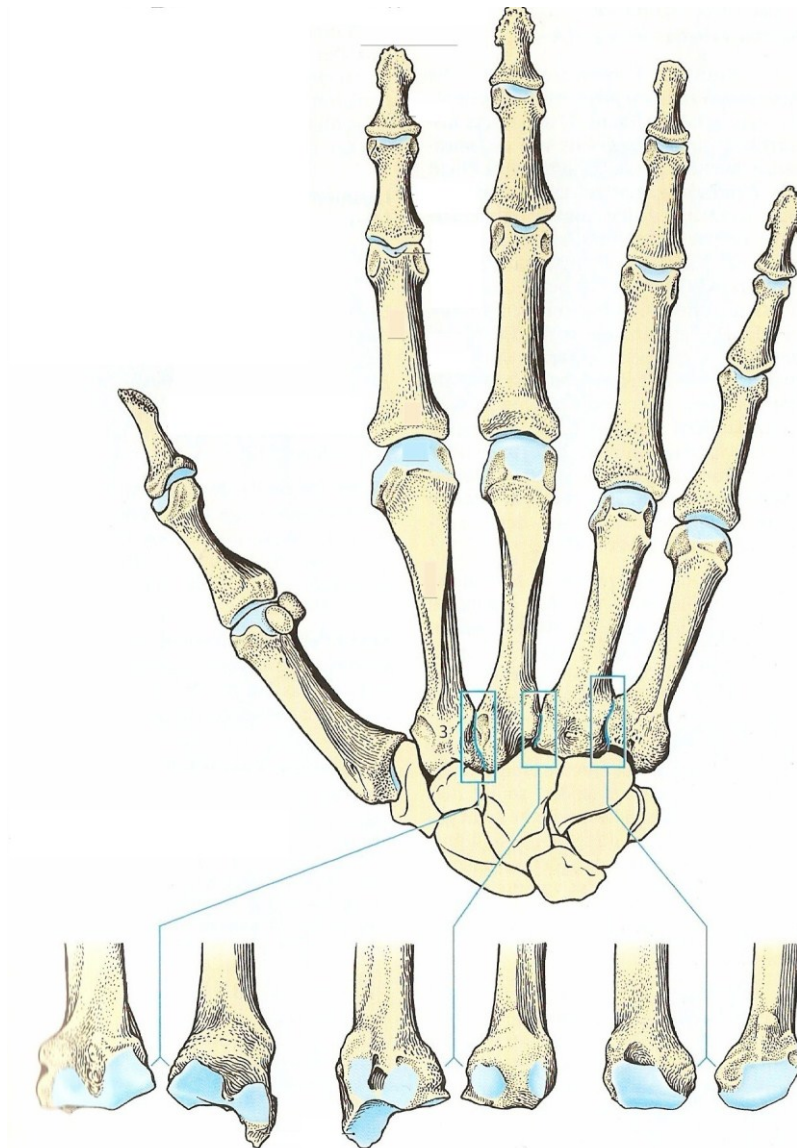


Abbildung 3 Menschliche Hand von dorsal, Gelenkflächen der Metakarpalknochen [8].

2.1.1 Handwurzel, Carpus

Die Handwurzel besteht aus 8 kurzen Knochen, Ossa carpalia, die in einer distalen und proximalen Handwurzelreihe angeordnet sind. Die proximale Reihe wird von radial nach ulnar von folgenden Knochen gebildet: Os scaphoideum (Schiffbein), Os lunatum (Mondbein), Os triquetrum (Dreieckbein), Os pisiforme

(Erbsenbein). In der distalen Reihe liegen die Ossa trapezium (großes Vieleckbein), trapezoideum (kleines Vieleckbein), capitatum (Kopfbein) und hamatum (Hakenbein) [1, 8]. Für die Bewegungen der Hand stellt jede Reihe einen einheitlichen Körper dar. Untereinander sind sie durch starke Bänder verbunden. Gelenkige Verbindungen zwischen den Handwurzelknochen ermöglichen Bewegungen. Zwischen der proximalen und distalen Handwurzelreihe befindet sich ein S-förmiger Gelenkspalt [8, 9]. Nennenswert sind zwei Erhebungen, zwischen denen sich palmar eine knöcherne Rinne - Sulcus carpi - bildet. Die ulnare Erhebung - Eminentia carpi ulnaris - wird durch das Os pisiforme und den Hamulus ossis hamati gebildet. Das Erbsenbein, als Sesambein dienend, sitzt dem Os triquetrum auf. Die Eminentia carpi radialis - radiale Erhebung - besteht aus dem Tuberculum ossis scaphoidei und dem Tuberculum ossis trapezii. Der Sulcus carpi wird durch ein kräftiges Band zu einem osteofibrösen Kanal - Canalis carpi - abgeschlossen, durch welchen Sehnen von Muskeln und Nerven zur Hand ziehen [9]. Neben den regulären acht Handwurzelknochen (kanonische Handwurzelknochen), können zahlreiche akzessorische Elemente vorkommen. Am häufigsten kommt ein Os styloideum vor. Dieses befindet sich zwischen den Ossa capitatum und trapezoideum, sowie dem Os metacarpale II und III [1].

2.1.2 Mittelhand, Metacarpus

Die 5 Mittelhandknochen schließen direkt an die Ossa carpalia an. Sie sind Röhrenknochen und werden von radial nach ulnar mit den Ziffern I-V bezeichnet. Jeder dieser fünf Ossa metacarpalia besteht aus einer proximal gelegenen Basis ossis metacarpi, einem Corpus ossis metacarpi und einem distal gelegenen Caput ossis metacarpi. An den Basen sind sie gelenkig miteinander verbunden, wobei der erste Mittelhandknochen eine Ausnahme darstellt. Straffe Bandverbindungen zwischen der Handwurzel und den Mittelhandknochen II-V lassen nur geringe Bewegungen zu. Eine spezielle Bedeutung kommt dem Os metacarpale I zu, das mit der Handwurzel durch ein Sattelgelenk verbunden ist und somit die Grundlage für die Greiffunktion der Hand darstellt [1, 8, 9].

2.1.3 Spezielle Aspekte einzelner Mittelhandknochen

Os metacarpale I:

- ist der kürzeste und kräftigste Mittelhandknochen
- besitzt keine gelenkige Verbindung zu den anderen Ossa metacarpalia
- hat eine sattelförmige proximale Facies articularis

Os metacarpale II:

- ist der längste der 5 Mittelhandknochen
- seine Basis zeigt einen V-förmigen Einschnitt
- die proximale Gelenkfläche ist eingekerbt
- fest mit dem Os trapezoideum verbunden
- besitzt medial eine Gelenkfläche zur Artikulation mit dem 3. Mittelhandknochen

Os metacarpale III:

- besitzt an seiner Basis den Proc. styloideus ossis metacarpi tertii für den Ansatz der M. extensor carpi radialis
- besitzt radial eine Gelenkfläche für das Os metacarpale II
- die proximale Gelenkfläche artikuliert mit der Handwurzel
- ulnar gibt es zwei Gelenkflächen für den 4. Mittelhandknochen

Os metacarpale IV:

- radial sind zwei Gelenkflächen vorhanden
- eine Gelenkfläche zur Artikulation mit dem 5. Mittelhandknochen befindet sich an dessen ulnarer Seite.

Os metacarpale V:

- besitzt radial eine Artikulation mit dem 4. Mittelhandknochen
- hat ulnar eine Erhebung an dem die Sehne des M. extensor carpi ulnaris ansetzt [1, 8].

2.1.4 Finger, Phalanges

Die Fingerknochen, *Ossa digitorum manus*, sind kurze Röhrenknochen. Der Daumen besteht aus zwei Fingergliedern (*Phalanx distalis* und *Phalanx proximalis*), die übrigen vier Finger sind dreigliedrig und bestehen jeweils aus einer *Phalanx proximalis*, *Phalanx media* und *Phalanx distalis*.

Jeder Fingerknochen hat drei Abschnitte: *Basis phalangis*, *Corpus phalangis* und *Caput phalangis*. Kugelgelenke verbinden die proximalen Phalangen mit den Mittelhandknochen [1, 9].

2.2 Funktionelle Anatomie

2.2.1 Handgelenk, *Articulatio manus*

Funktionell hat das Handgelenk den Charakter eines Kugelgelenks, wobei die Drehbewegungen aus den Umwendbewegungen des Unterarms (*Pro-* und *Supination*) resultieren und nicht primär durch das Handgelenk selbst bewirkt werden. Für die Bewegung der Hand müssen zwei Gelenke beschrieben werden, die funktionell zusammenhängen, nämlich das proximale Handgelenk und das distale Handgelenk.

2.2.1.1 Proximales Handgelenk, *Articulatio radiocarpalis*

Die *Articulatio radiocarpalis* liegt zwischen dem Radius und dem *Discus articularis* einerseits und der proximalen Handwurzelreihe andererseits. Der *Discus articularis* stellt eine dreieckige Zwischenscheibe zwischen der Ulna und der Handwurzel dar. Die Gelenkflächen dieses Gelenks werden proximal von der konkaven *Facies articularis carpalis* und dem *Discus articularis*, distal von den *Ossa scaphoideum*, *lunatum* und *triquetrum*, die einen einheitlichen Gelenkkopf darstellen, gebildet. Die Gelenkpfanne ist nicht ständig in Kontakt mit allen Knochen des Gelenkkopfes, bei der *Ulnar*duktion verliert das *Os triquetrum* den Kontakt zur Pfanne. Es kommt erst wieder bei der *Radial*duktion in engen Kontakt mit dieser [8].

2.2.1.1.1 Bänder und Kapsel des proximalen Handgelenks

Die Kapsel des Radiokarpalgelenks setzt dicht an den Gelenkflächen an und erhält durch entsprechende Bänder eine dorsale und palmare Verstärkung.

- Lig. collaterale carpi ulnare: Vom Processus styloideus ulnae zum Os triquetrum und Os pisiforme ziehendes ulnares Seitenband.
- Lig. collaterale carpi radiale: Vom Processus styloideus radii zum Os scaphoideum ziehendes radiales Seitenband.
- Lig. ulnocarpale palmare: Vom Ulnaköpfchen zum Os capitatum laufendes Band.
- Lig. radiocarpale palmare: Von der Beugeseite des Radius zum Os lunatum und Os capitatum ziehendes Band.
- Lig. radiocarpale dorsale: Am Handwurzelrücken, vom Radius zum Os triquetrum ziehendes Band [1, 9, 10].

2.2.1.2 Distales Handgelenk, Articulatio mediocarpalis

Das distale Handgelenk stellt ein verzahntes Scharniergelenk dar. Die Gelenklinie zwischen den beiden Handwurzelreihen ist S-förmig gebogen. Die proximal gelegene Gelenkpfanne wird von den Ossa scaphoideum, lunatum und triquetrum gebildet, der Gelenkkopf wird von den Ossa hamatum und capitatum bereitgestellt. An der radialen Seite der Hand wird der Gelenkkopf durch das Os scaphoideum geformt, die Pfanne bildet das Os capitatum, Os trapezoideum und das Os trapezium [1, 9].

2.2.1.2.1 Kapsel und Bänder des distalen Handgelenks

Die Bandverbindungen zwischen den einzelnen Knochen der Handwurzel sind auf der palmaren Seite besser ausgebildet als auf der dorsalen.

- Lig. carpi radiatum: Das in der Tiefe des Canalis carpi liegende Band ist sehr stark ausgebildet.
- Ligg. intercarpalia palmaria, dorsalia und interossea: Diese Bänder verbinden die Handwurzelknochen untereinander [1, 8].

In der klinischen Praxis wird eine vereinfachte Bänderklassifikation verwendet:

1. Proximales palmares V-Band: Lig. radioulnotriquetrum, Lig. ulnolunatum
2. Distales palmares V-Band: Lig. radioscaphocapitatum, Lig. capitatohamatotriquetrum
3. Dorsales V-Band: Lig. intercarpale dorsale, Lig. radiolunatum, Lig. radiotriquetrum dorsale [1].

Die proximale Handwurzelreihe ist untereinander beweglich, wohingegen die distale Reihe durch straffe Bandverbindungen untereinander (Ligg. intercarpalia) und zu den Mittelhandknochen (Ligg. carpometacarpalia) fest verbunden ist [8].

2.2.1.3 Bewegungsumfang der Handgelenke

Bewegungen finden immer kombiniert im proximalen und distalen Handgelenk statt.

1. Palmarflexion, Dorsalextension: $60^{\circ} - 80^{\circ}$ / $0^{\circ} / 60^{\circ} - 90^{\circ}$
2. Radial- und Ulnarduktion: $25^{\circ} - 30^{\circ}$ / $0^{\circ} / 30^{\circ} - 40^{\circ}$ [1, 11]

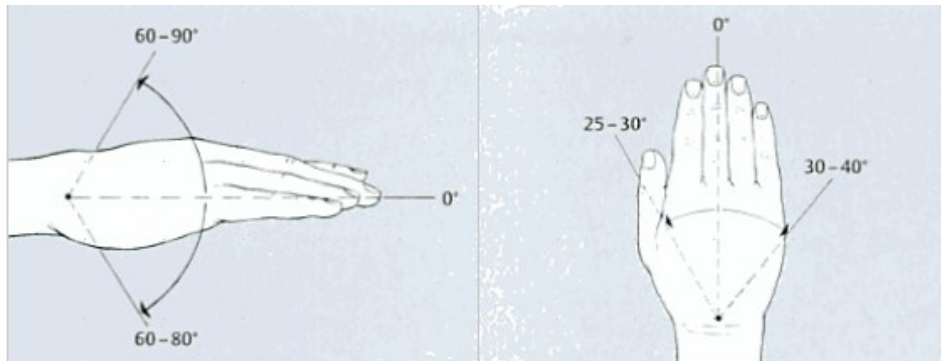


Abbildung 4 Bewegungsumfang des Handgelenks nach der Neutral-Null-Methode [11].

2.2.1.3.1 Bewegungsachsen des Handgelenks

Die zwei Hauptachsen des Handgelenks sind die transversale Achse und die dorso-palmare Achse. Die Flächenbewegungen (Dorsal- und Palmarflexion) erfolgen um die transversale (radioulnare) Achse. Die Achse für die proximale Handwurzelreihe (Henke'sche Achse I) verläuft durch den Processus styloideus radii (dorsal) und das Os pisiforme (palmar). Die Henke'sche Achse II für die distale Handwurzelreihe verläuft durch das Os hamatum (dorsal) und das Os scaphoideum (palmar). Die Dorsal- und Palmarflexion setzt sich aus Bewegungen zusammen, die um beide Achsen erfolgen. Die Randbewegungen (Radial- bzw Ulnarduktion) werden um eine dorso-palmare Achse ausgeführt. Bei der Radialduktion kippt das Os scaphoideum nach palmar, das Os trapezium und das Os trapezoideum nähern sich dem Radius an. Das Os trapezoideum ist fest mit dem Os metacarpale II verbunden. Durch die am Os metacarpale II ansetzenden Muskeln kommt es bei der Radialduktion zu einer Zugwirkung auf diese Funktionseinheit [1, 8].

Die proximale Handwurzelreihe führt bei der Radialduktion folgende Bewegungen aus:

1. Pronation
2. Ulnarverschiebung
3. Palmarflexion

Die Bewegungen der distalen Handwurzelreihe bei der Radialduktion sind:

1. Supination
2. Radialverschiebung
3. Dorsalflexion

Die proximale Handwurzelreihe führt bei der Ulnarduktion folgende Bewegungen aus:

1. Supination um die 1. Henke'sche Achse
2. Radialverschiebung
3. Dorsalflexion

Bewegungen der distalen Handwurzelreihe im Rahmen der Ulnarduktion:

1. Pronation
2. Palmarflexion
3. Ulnarverschiebung

2.2.1.4 Karpometacarpalgelenke, Articulationes carpometacarpales

Diese gelenkigen Verbindungen zwischen der distalen Handwurzelreihe und den Basen der Mittelhandknochen II-V lassen keine größeren Bewegungen zu, sie sind Amphiarthrosen. Die Gelenklinie läuft quer, weist jedoch Knickungen entsprechend der einzelnen Metacarpalknochen auf. Eine Ausnahme bildet das Daumensattelgelenk, die *Articulatio carpometacarpalis I* (*Art. pollicis*). Die Basen der Mittelhandknochen II-V artikulieren miteinander [1, 8].

2.2.1.4.1 Bänder der Karpometacarpalgelenke

- *Ligg. carpometacarpalia palmaria*: Zwischen den Basen der Mittelhandknochen ausgespannte Bänder, auf der Hohlhandseite gelegen.
- *Ligg. carpometacarpalia dorsalia*: Auf der Streckseite zwischen den Basen der *Ossa metacarpalia* ausgespannt.
- *Ligg. carpometacarpalia interossea*

- Lig. pisometacarpale: Vom Erbsenbein zur Basis des 5. Mittelhandknochens ziehend [1, 8].

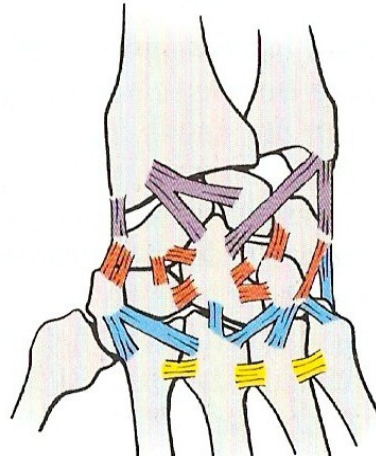


Abbildung 5 schematische Darstellung der Bandstrukturen des rechten Carpus von palmar. Lig. metacarpalia (gelb), Lig. carpometacarpalia (blau), Lig. intercarpalia (rot), Bänder zwischen Unterarmknochen und Handwurzel (violett) [8].

Durch die knöcherne Architektur und die Verzahnung des 2. und 3. Mittelhandknochens ergibt sich eine relativ straffe Befestigung der beiden Knochen mit der Handwurzel. Die Ossa metacarpalia IV und V hingegen sind lockerer befestigt. Dadurch ergibt sich eine geringe Oppositionsmöglichkeit des 5. Mittelhandknochens [8].

2.2.1.5 Daumensattelgelenk, *Articulatio carpometacarpalis pollicis*

Das Gelenk des Daumens ist zwischen dem Os trapezium und der Basis des ersten Mittelhandknochens ausgespannt. Es wird nicht durch straffe Bänder gehemmt und gewährleistet somit eine sehr große Beweglichkeit. Durch die

Beschaffenheit und Krümmung der Gelenkflächen ist ein großer Bewegungsumfang möglich.

2.2.1.5.1 Bänder und Kapsel des Daumensattelgelenks

Die Kapsel der Art. carpometacarpalis pollicis weist an der palmaren Seite regelmäßig ein ulnares und radiales Os sesamoideum auf.

Die Bänder des Daumensattelgelenks sind folgende:

- Lig. carpometacarpale dorso-radiale
- Lig. carpometacarpale obliquum anterius
- Lig. carpometacarpale obliquum posterius
- Lig. trapeziometacarpale [1, 8]

2.2.1.5.2 Bewegungsumfang des Daumensattelgelenks

Extension, Flexion, palmare und radiale Abduktion, Adduktion und Rotation können ausgeführt werden [1].

1. Rotation: Um die Längsachse des Os metacarpale I. Sie ist Voraussetzung für die Opposition. Bei der Rotationsbewegung wird der Kontakt der Gelenkflächen bis auf zwei kleine Berührungspunkte aufgehoben, wodurch eine punktuell sehr hohe Belastung entsteht.
2. Opposition: Diese Bewegung setzt sich aus Flexion, Adduktion und Innenrotation zusammen.
3. Reposition: Kombinationsbewegung aus Extension, Abduktion und Außenrotation.

2.2.1.6 Fingergrundgelenke, Articulationes metacarpophalangeae

Die Gelenkpfanne wird von den Basen der Phalanx proximalis, die Gelenksköpfe werden von den Köpfen der Mittelhandknochen gebildet. Es handelt sich um Kugelgelenke mit einer schlaffen Kapsel. Die Gelenke sind durch einen komplizierten Bandapparat gesichert.

2.2.1.6.1 Bänder der Fingergrundgelenke

- Lig. collateralia: Bestehen aus 3 Anteilen, dem Lig. collaterale proprium, dem Lig. collaterale accessorium und dem Lig. phalangoglenoidale. Die Bänder entspringen an den Köpfen der Ossa metacarpalia und sind bei der Beugung des Gelenks gespannt (**Abb. 7**).
- Lig. metacarpale transversum profundum: Verbindet die Finger 2-5 untereinander, sodass eine zu starke Spreizung verhindert wird [1].

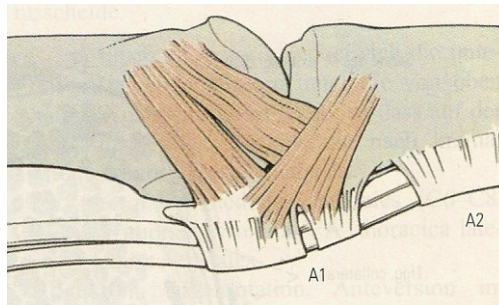


Abbildung 6 Bandstrukturen der Articulatio metacarpophalangealis: von proximal nach distal: Lig. collaterale accessorium, Lig. collaterale (entspannt), Lig. phalangoglenoidale in Streckstellung. Ringband A1 und A2. Sehnen der Mm. flexor digitorum profundus und superficialis [1].

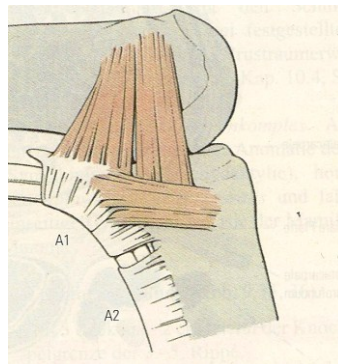


Abbildung 7

Fingergrundgelenk in Beugstellung.

Spannung aller Bänder. Raum zwischen Ringband A1 und A2 verkleinert sich [1].

2.2.1.6.2 Bewegungsumfang der Fingergrundgelenke

Bewegungen erfolgen um eine radioulnare und eine dorsopalmare Achse. Eine Rotationsbewegung ist nur passiv möglich, da keine Muskeln dafür vorhanden sind.

Flexion und Extension: $10^\circ / 0^\circ / 90^\circ$

Abduktion und Adduktion

Rotation: passive Drehung [1]

2.2.1.7 Fingergelenke, Articulationes interphalangeae manus

Diese Gelenke sind Scharniergelenke, in denen eine Beugung und Streckung möglich ist. Die Gelenkflächen werden jeweils vom Caput phalangis des Grund- und Mittelgliedes sowie der Basis des End- und Mittelgliedes gebildet.

2.2.1.7.1 Kapsel und Bänder der Fingergelenke

Die Kapsel wird durch Bänder verstärkt. Diese Bänder sind die Lig. collateralia und die Lig. palmaria.

2.2.1.7.2 Bewegungsumfang der Fingergelenke

Proximales Fingergelenk: $0^\circ / 0^\circ / 100^\circ$

Distales Interphalangealgelenk: $0^\circ / 0^\circ / 90^\circ$

Fingergelenk des Daumens: $0^\circ / 0^\circ / 80^\circ$ [1]

2.2.2 Muskulatur der Hand

Muskulatur des Thenar: M.abduktor pollicis brevis, M.opponens pollicis, M. flexor pollicis brevis, M. adduktor pollicis

Muskulatur des Hypothenar: M. palmaris brevis, M. abduktor digiti minimi, M. flexor digiti minimi, M. opponens digiti minimi

Mittlere Handmuskeln: Mm. lumbricales, Mm. Interossei palmares, Mm. Interossei dorsales [8]

2.2.3 Sehnenscheiden der Hand

Man unterscheidet dorsale und palmare karpale Sehnenscheiden, sowie digitale palmare Sehnenscheiden [8].

2.2.3.1 Vaginae tendinum carpales dorsales

Diese liegen innerhalb der 6 osteofibrösen Sehnenfächer, die vom Retinaculum musculorum extensorum und Septen von diesem zum Knochen, gebildet werden. Die Vaginae synoviales sind verschieden lang und werden von radial nach ulnar aufgezählt:

1. Fach: Vagina tendinum musculorum abductoris longi et extensoris pollicis brevis
2. Fach: Vagina tendinum musculorum extensorum carpi radialis
3. Fach: Vagina tendinis musculi extensoris pollicis longi
4. Fach: Vagina tendinum musculorum extensoris digitorum et extensoris indicis
5. Fach: Vagina tendinis musculi extensoris digiti minimi
6. Fach: Vagina tendinis musculi extensoris carpi ulnaris [8]

2.2.3.2 Vaginae tendinum carpales palmares

Die Sehnen der Beugemuskeln ziehen in 3 Sehenscheiden durch den Canalis carpi hindurch.

1. Die Vagina tendinis musculi flexoris carpi radialis verläuft in einem eigenen radialen Fach des Karpalkanals.

Zwei Sehenscheiden laufen im ulnaren Fach des Canalis carpi:

1. Vagina tendinis musculi flexoris pollicis longi, die sich bis auf das Endglied des Daumens fortsetzt.
2. Vagina tendinum communis musculorum flexorum: Für die Sehnen des Musculus flexor digitorum superficialis und Musculus flexor digitorum profundus. Sie enden über den Basen der Ossa metacarpalia [8].

3 FRAKTUREN IM WACHSTUMSALTER

Verletzungen im Kindesalter folgen meist einem sehr einheitlichen Muster. Auf Grund erhöhter Elastizität von Knochen und Bändern im Wachstumsalter haben Frakturen und Verletzungen eine sehr gute Prognose. Da Chondrozyten bis zum Ende des Wachstums die Fähigkeit besitzen sich zu teilen, können frakturbedingte Defekte des Knochens verschlossen werden. Das therapeutische Vorgehen von Frakturen im Wachstumsalter unterscheidet sich von jenem im Erwachsenenalter. Die Reife des Skelettes spielt eine weitaus größere Rolle als der Unfallmechanismus selbst.

Frakturen des Schaftes kommen 50-mal häufiger vor als Gelenksfrakturen. Am häufigsten ereignen sich metaphysäre Frakturen. Gelenkfrakturen kommen an den oberen Extremitäten doppelt so häufig vor wie an den unteren Extremitäten [6].

3.1 Diagnostik kindlicher Frakturen

3.1.1 Gespräch/Anamnese

Ziel der Anamnese sollte hauptsächlich eine Beurteilung der Lokalisation des Traumas und eine Beurteilung des Schmerzausmaßes sein. Eine zu lange und genaue Anamnese macht die oft schon unruhigen und von Schmerzen geplagten jüngeren Patienten meist noch ungeduldiger und verzögert den Behandlungsbeginn. Im Gegensatz zu Erwachsenen sind reine Kontusionen bei Kindern seltener. Frakturen hingegen sind häufiger anzutreffen [6].

3.1.2 Inspektion

Da Schwellungen, Deformitäten und abnorme Stellungen von Knochen und Weichteilen meist schon visuell wahrgenommen werden können, ist es nicht sinnvoll, den Patienten durch manuelle klinische Methoden zu untersuchen, weil diese oft schmerzhaft sind. Direkte Zeichen einer Fraktur können z.B. bei einer Grünholzfraktur auch fehlen [6].

3.1.3 Klinische Untersuchung

Vor allem bei Kleinkindern gestaltet sich der Untersuchungsvorgang auf Grund der noch fehlenden verbalen Kommunikation und Ängstlichkeit oft etwas schwierig. Es erfordert viel Fingerspitzengefühl und Erfahrung, um eine aussagekräftige Diagnostik durchzuführen. Angst und Schmerzen können die Untersuchung zusätzlich erschweren. Die Kommunikation mit den Eltern ist wichtig, denn häufig überträgt sich die elterliche Angst auf das Kind. Kann eine ausreichende Diagnostik nicht durchgeführt werden, so ist die Indikation zu Kurznarkosen großzügiger zu stellen als bei Erwachsenen [12].

Schwellung, eingeschränkte Bewegung und Verletzungen des umgebenden Weichteilgewebes können den untersuchenden Arzt zur Pathologie führen [13]. Bei jeder Fraktur ist es – wie auch beim Erwachsenen – notwendig Durchblutung, Motorik und Sensibilität zu prüfen.

3.1.4 Apparative Diagnostik kindlicher Frakturen

3.1.4.1 Röntgendiagnostik

Trotz der Strahlenbelastung sind Röntgenaufnahmen bei Kindern oft nicht vermeidbar.

Wenn sich aus einer Röntgenaufnahme eine Therapiekonsequenz ergibt, ist ein Röntgenbild anzufertigen. Liegt der Therapieweg schon aufgrund des klinischen Erscheinungsbildes fest, so kann auf ein Röntgen verzichtet werden. Unterschieden werden muss zwischen Frakturen mit und Frakturen ohne sichtbare Deformitäten. Röntgenaufnahmen in zwei Ebenen werden bei Brüchen ohne Dislokation erstellt, eine Ebene genügt bei schon sichtbarer Dislokation. Aufgrund der bei Kindern häufiger vorkommenden Luxationsfrakturen sollten die beiden benachbarten Gelenke mitabgebildet werden. Auf das nachweislich ineffiziente Gegenseitenröntgen zur Diagnostik von Frakturen und Luxationen kann verzichtet werden. Warum heute immer noch hartnäckig am Gegenseitenröntgen vor allem des Ellbogens festgehalten wird ist unklar [6].

3.1.4.2 Röntgenbeurteilung der Mittelhand

Röntgenologisch sichtbar werden die Knochenkerne der Ossa metacarpalia I-V zwischen dem 6. und 24. Lebensmonat. Verletzungen der Epiphysen wären davor radiologisch nicht nachweisbar. Jeder Mittelhandknochen besitzt lediglich eine Wachstumsfuge. Röntgenologisch sichtbare, quer verlaufende Strukturaufhellungen kontralateral der Fugen dürfen nicht mit diesen verwechselt werden [7]. Diese sogenannten Pseudofugen kommen bevorzugt distal am Os metacarpale I und proximal an der Basis des Zeigefingers vor. Die Pseudofugen tragen nicht zum Längenwachstum des Knochens bei. Sie sind bereits bei Kleinkindern sichtbar und verschließen sich typischerweise mit dem 7. Lebensjahr. Eine weitere anatomische Variante ist eine doppelte Epiphyse, die bevorzugt im Mittelhandknochen des Daumens und Zeigefingers vorkommt. Diese Varianten der Epiphysenfugen dürfen nicht als Frakturen missinterpretiert werden [13]. Die Fugen schließen sich zu individuellen Zeitpunkten zwischen dem 14. und 22. Lebensjahr [6].

3.1.5 Sekundäre Diagnostik

Eine primär schmerzorientierte Behandlung durch Ruhigstellung mit einer Schiene kann bei diaphysiären und metaphysiären oder wenig dislozierten Knochenbrüchen durchgeführt werden. Nach einer Ruhigstellung von ca. 5-10 Tagen wird die Verletzung erneut palpatorisch untersucht [6]. Sonografie und Röntgenbilder sind bei der sekundären Diagnostik hilfreich.

Zur Interpretation des Röntgens ist Kenntnis über das zeitliche Auftreten der Knochenkerne und das Verschwinden der Epiphysenfugen sowie möglicher Normvarianten unerlässlich.

3.1.6 Magnetresonanztomografie

Die Magnetresonanztomografie wird vorwiegend zur Diagnostik von Bandverletzungen und Verletzungen des Knorpels verwendet. Auch Verletzungen des umliegenden Weichteilmantels und der Epiphysenfuge sind mittels der MRT optimal darzustellen. Ein Vorteil dieser Untersuchungsmethode

ist die völlige Strahlungsfreiheit. Sie wird allerdings nicht zur primären Diagnostik eingesetzt. Zur Darstellung von Weichteilen, Infektionen, Tumoren und Veränderungen der Knochenphysiologie eignet sich die Kernspintomographie beispielsweise sehr gut. Dieses Untersuchungsverfahren hat einen hohen Stellenwert in der Kinderorthopädie. Die manchmal benötigte Narkose bei Kindern während der Untersuchung zeigt einen kleinen Nachteil [6].

3.1.7 Sonographie

Aufgrund technischer Verbesserungen hat die Sonographie in den letzten Jahren eine immer größere Rolle in der Beurteilung von Verletzungen im Wachstumsalter eingenommen. Zur Diagnostik von undislozierten Frakturen, geburtstraumatischen Ereignissen (z.B. Epiphyseolysen) oder subperiostalen Hämatomen eignet sich die Ultraschalluntersuchung sehr gut. Ebenso können Abrisse von Muskeln sowie Gelenksergüsse hervorragend dargestellt werden. Weiters wird die Sonografie zur Begutachtung von radiologisch nicht sichtbaren Frakturen (=okkulten Frakturen) eingesetzt [6].

3.1.8 Computertomografie

Die CT liefert zusätzliche Informationen zur Diagnostik von Frakturen. Sie wird vor allem bei Übergangsverletzungen am oberen Sprunggelenk oder distalen Radius bei Jugendlichen eingesetzt. Auch für die Darstellung von komplexen Brüchen im Wachstumsalter eignet sie sich gut. Diese für das Kind sehr strahlenbelastende Untersuchung sollte jedoch speziellen Fällen vorbehalten sein [6].

3.2 Kindliche Frakturen, Bandläsionen und Luxationen

Die Klassifikation von Frakturen erfolgt wie beim Erwachsenen nach Morphologie und Lokalisation.

3.2.1 Schaftfrakturen

Diaphysäre Frakturen kommen im Wachstumsalter viel häufiger vor als gelenknahe Frakturen. Genau wie beim Erwachsenen kommen Schräg-, Quer-, Spiral-, Längs-, und Trümmerfrakturen (mehr als sechs Fragmente) vor. Frakturen im Kindesalter weisen einige Besonderheiten auf. Man unterscheidet zwischen Frakturen mit und ohne Kontinuitätsunterbrechung.

- **Frakturen mit unvollständiger Kontinuitätsunterbrechung:** Im Wachstumsalter resultieren auf Grund der höheren Elastizität des noch wachsenden Knochens oft inkomplette Frakturen. Wegen der prognostischen Unterschiede sind die Grünholzfraktur und die Bowing-Fracture zu unterscheiden.
 1. **Grünholzfraktur:** Die einwirkenden Biegungskräfte führen zu einem Einriss der Kortikalis und des Periostes. Die Kortikalis der konkaven Seite ist angebrochen, während die Kortikalis auf der gegenüberliegenden (konvexen) Seite komplett frakturiert ist. Grünholzfrakturen, deren Altersgipfel um das 8. Lebensjahr liegen, sind unvollständige, aber grundsätzlich stabile Frakturen. Da die angebrochene Seite schneller heilt, kann es zu einer verzögerten knöchernen Konsolidation der Gegenseite (durchbrochene Kortikalis) oder zu Knochenheilungsstörungen kommen. In 20-35% der Fälle kann es daher zu Refrakturen kommen, die mit dem Ausmaß der Dislokation korrelieren. Oft reichen Bagatelltraumen für eine Refraktur aus. Die am häufigsten betroffene Lokalisation ist der distale Unterarm. Jene Frakturen werden in einem Gips ruhiggestellt, wobei am 8. posttraumatischen Tag eine Gipskeilung bei um 20° abgekippten Frakturen erfolgen kann. Bei weiterer Dislokation sollte die Gegenkortikalis in jedem Fall durchbrochen werden. Auch bei durchgebrochener Kortikalis sind die Frakturen in aller Regel stabil. Bei inakzeptabler Dislokation wird die Fraktur mittels einer

elastisch-stabilen intramedullären Nagelung (ESIN) versorgt. Die Metallentfernung kann je nach knöcherner Überbauung 3-4 Monate postoperativ erfolgen. Bei konservativer Therapie wird die Fraktur 3-4 Wochen ruhiggestellt. Mit einer Mobilisation kann nach Gipsabnahme bzw. unmittelbar postoperativ begonnen werden [6].

- 2. Bowing Fracture:** Dazu zählen gebogene und gestauchte Grünholzfrakturen. Der Biegungsbruch hat keine erkennbare Bruchlinie, sondern weist nur eine auffällig vermehrte Biegung des Knochens auf. Diese heilen meist ohne Kallusbildung oder Gefahr einer Refraktur aus. Jedoch muss unterschieden werden, ob Funktionsstörungen vorliegen oder nicht. Bei $>20^\circ$ Achsenabweichung kann eine Gipskeilung vorgenommen werden. Bei erfolgloser Reposition wird die Stabilisierung mit einer elastisch-stabilen intramedullären Nagelung vorgenommen. Liegt bei einem Unterarmknochen eine Bowing-Fracture und beim anderen eine komplette Fraktur vor, so muss teilweise aufgrund der nicht ausreichenden Stabilität eines Nagels eine Plattenosteosynthese durchgeführt werden [6] (L.v. Laer, 2012). Die klinische Erfahrung zeigt jedoch, dass Bowing-Frakturen des Unterarms oft trotzdem mit einem Nagel stabilisiert werden können.



Abbildung 8 Bowing Fracture ohne sichtbare Frakturlinie.

- **Frakturen mit vollständiger Kontinuitätsunterbrechung:**

1. **Schrägfraktur:** Diese Frakturen sind meist instabil, heilen aber sehr gut.
2. **Querfraktur:** Sind meist stabil, heilen aber auf Grund der kleineren Frakturfläche langsamer als Schrägfrakturen [14].



Abbildung 9 Unterarm-Grünholzfraktur in a.p.-Röntgenaufnahme bei einem 5-jährigen Kind.

3.2.2 Frakturen des gelenknahen Bereiches

1. **Wulstbruch:** Bei Wulstfrakturen handelt sich um eine Stauchung der Spongiosabälkchen und Kortikalis in der Metaphyse bei unverletztem Periost. Sie treten typischerweise im Bereich des distalen Unterarms auf.
2. **Metaphysäre Fraktur:** Komplette Fraktur der Metaphyse.
3. **Übergangsfaktur:** Ereignen sich in der Phase des Fugenschlusses und treten bevorzugt an der distalen Tibia auf. Die Übergangszeit ist jene Zeit, in der sich die Wachstumsfuge schließt. Der Altersgipfel jener Frakturen liegt um den Zeitpunkt des Fugenverschlusses.

4. **Stressfraktur:** Vor allem im 2.-4. Lebensjahr durch Überbelastung vorkommende Fissuren oder Frakturen. (Toddler's Fraktur). Stressfrakturen treten vor allem an Femur, Tibia, Fibula und den Fußwurzelknochen auf.
5. **Apophysenausriss:** Ausriss des Muskels mitsamt der Apophyse.
[14]

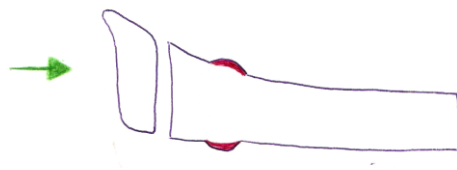


Abbildung 10 schematische Darstellung eines Wulstbruches.

6. **Epiphysenverletzungen:** Es handelt sich um Verletzungen der Wachstumsfuge. Die Einteilung der Wachstumsfugenverletzungen erfolgt nach Salter-Harris und Aitken (**Abb.11**).
 - *Salter-Harris I:* Epiphyseolyse ohne Beteiligung des Knochens. Die Epiphyse selbst bleibt intakt.
 - *Salter-Harris II (=Aitken I):* Epiphyseolyse mit metaphysärem Fragment
 - *Salter-Harris III (=Aitken II):* Epiphyseolyse mit epiphysärem Fragment
 - *Salter-Harris IV (=Aitken III):* Epi- und metaphysäres Fragment
 - *Salter-Harris V:* Kompressionsverletzung, Stauchung der Wachstumsfuge. Diese sog. Crush-Verletzung könnte evtl. für Wachstumsstörungen verantwortlich sein. Es gibt keinen Beweis dafür, dass diese Verletzung existiert. Im Röntgenbild sind keine Verletzungen der Epiphysenfuge zu erkennen.

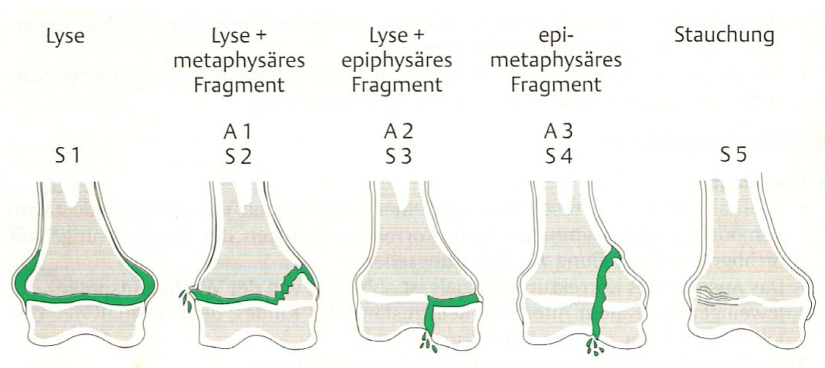


Abbildung 11 Klassifikation von Frakturen im Kindesalter nach Salter-Harris und Aitken [14].

Am häufigsten treten Salter-Harris II-Frakturen auf. Bei diesen kommt es zu einer teilweisen Epiphysenlösung mit einem metaphysären Fragment. Zum Ausschluss von Wachstumsstörungen sollten alle Verletzungen der Wachstumsfuge ein Jahr nach der Verletzung kontrolliert werden [6].

3.2.3 Bandverletzungen und Luxationen

Bandverletzungen im Kindesalter zeigen ein sehr stereotypes Verhalten. Bei unter 12-Jährigen erfolgt ein Bandausriss meist ossär (in 50% der Fälle) und kann daher schon radiologisch diagnostiziert werden [6]. Neben den ossären Bandausrissen kommen chondrale bzw. periostale Ausrisse vor. Nach dem zwölften Lebensjahr überwiegen intraligamentäre Läsionen. Grundsätzliches Ziel einer Therapie von Bandläsionen ist die Wiederherstellung der Stabilität des betroffenen Gelenkes. Dafür werden sowohl ossäre als auch ligamentäre Vorgänge verantwortlich gemacht. Nicht zuletzt spielen auch die muskulären Kompensationsmechanismen eine entscheidende Rolle [6].

Luxationen müssen in Abhängigkeit vom Zeitpunkt des Fugenschlusses betrachtet werden. So kommen Luxationen bei noch offenen Fugen selten, nach Schluss der Wachstumsfuge jedoch deutlich häufiger vor. Bei offenen

Fugen finden sich gehäuft Bandausrisse und Luxationsfrakturen, bei geschlossenen Fugen finden sich gehäuft Bandrupturen und Luxationen [6]
Bei Sprunggelenkdistorsionen im Kindesalter zeigt sich folgende Situation: vor dem 10. Lebensjahr finden sich bei etwa 80% der Bandläsionen knöcherne Ausrisse an der Fibulaspitze. Nach dem 10. Lebensjahr kommen diese nur noch in 20% der Fälle vor [15].

3.3 Therapie kindlicher Frakturen

Bedingt durch die erhöhte Elastizität und die Wachstumsreserve des Knochens ist eine meist konservative Frakturbehandlung möglich. Die therapeutische Vorgehensweise unterscheidet sich bei epiphysären und diaphysären Frakturen.

Diaphysäre Frakturen sind in der Regel wenig problematisch und werden zu 90% konservativ therapiert, wohingegen Frakturen der Epiphyse meist chirurgisch behandelt werden. Komplikationen bei Frakturen der Diaphyse können vorkommen, sind aber extrem selten. Die Therapievorstellungen des Patienten sollten mit den Therapiezielen des Arztes abgeglichen werden. Eine effiziente Therapie mit einem guten funktionellen und kosmetischen Ergebnis sollte Ziel der Behandlung sein [16].

3.3.1 Konservative Therapie

Bei nicht dislozierten Frakturen erfolgt eine konservative Therapie. Auch wenig dislozierte meta- und diaphysäre Brüche werden – nach geschlossener Reposition – konservativ versorgt. Nicht verschobene Gelenkfrakturen mit einem Frakturspalt von weniger als 2 mm, sowie wenig dislozierte Salter-Harris I und Salter-Harris II Verletzungen werden konservativ therapiert. Ein sekundärer Repositionsverlust nach konservativer Versorgung ist möglich. Diese Problematik erfordert engmaschige Kontrollen um ein ungewolltes Abkippen frühzeitig zu erkennen und zu korrigieren. Nach Abklingen der Weichteilschwellung erfolgt ein Gipsschluss um den 4. Tag herum [6].

Neben der passiven Retention mittels Gips oder Kunststoffverband kann eine aktive Redression mittels Gipskeilung erfolgen (**Abb 26**). Dabei wird die Achsenabweichung - nach Rückgang der Weichteilschwellung und nach Ausbildung eines Fixationskallus - gekeilt.

3.3.2 Operative Therapie

Ziel der operativen Therapie ist eine Belastungs- bzw. Übungsstabilität. Folgende Möglichkeiten kommen in Betracht: Elastisch-stabile intramedulläre Nagelung, perkutane Fixation mit Kirschnerdrähten, Platten- und Schraubenosteosynthese, Zuggurtosteosynthese und Fixateur externe. Da operative Therapien mit einer Narkose verbunden sind, muss auf die Risiken dieses Verfahrens hingewiesen werden.

3.3.2.1 ESIN – Elastisch-stabile Intramedulläre Nagelung

Die von Jean-Paul Metaizeau eingeführte elastisch-stabile intramedulläre Nagelung wird seit 1970 eingesetzt. Anfangs (von 1977-1980) waren die Indikationen limitiert und es wurden lediglich pädiatrische Frakturen damit behandelt, bei denen eine Gipsbehandlung oder Traktionsbehandlung nicht möglich war. Nach Weiterentwicklung der Methode wurden diaphysäre Frakturen der langen Röhrenknochen, metaphysäre Frakturen und Frakturen der kleineren Knochen wie Klavikulafrakturen und Metacarpalfrakturen mit elastischen intramedullären Implantaten geschient [17].

Die Indikation zur Versorgung einer Fraktur mittels einer ESIN besteht vor allem bei Kindern zwischen dem 3. und 15. Lebensjahr mit ausgewählten meta- bzw. diaphysären Frakturen [14]. Ebenso können bestimmte meta-epiphysäre Frakturen (Salter-Harris I und II) der langen Röhrenknochen sowie Frakturen der Klavikula und pathologische Frakturen mittels elastisch-stabiler Marknägel versorgt werden. Idealerweise sollte die ESIN bei längsstabilen Frakturen (Quer- und Schrägfrakturen) angewendet werden [18]. Indikationen bei Erwachsenen sind diaphysäre Frakturen des Schlüsselbeins, der Unterarmknochen und des Oberarms [19].

Die Anwendung der ESIN hat viele Vorteile. Diese Art der Frakturversorgung ist minimalinvasiv, benötigt keine postoperative Immobilisierung in Form einer Gipsschiene, ist belastungsstabil und erfordert meist keine langen Krankenhausaufenthalte. Jene reichen von 2-3 Tagen bei Humerus- und Unterarmfrakturen bis 4-6 Tage bei der Versorgung von Femur- und Tibiafrakturen [20]. Auch mit dem Beginn einer Mobilisation kann schneller begonnen werden. Unter anderem wird auf eine exakte Schonung der Wachstumsfuge Wert gelegt, da es bei der Implantation der Nägel zu keinem Kontakt mit der Epiphysenfuge kommt [21].

Das Prinzip besteht in einer Dreipunktverspannung innerhalb des Knochens, wobei zwei gegenläufige intramedulläre Nägel in den Knochen eingebracht werden. Die Enden der Nägel sind leicht umgebogen [22].

Die drei Abstützpunkte der intramedullären Nägel befinden sich an der Eintrittsstelle, auf Höhe der Fraktur und in der metaphysären Spongiosa des anderen Frakturfragmentes.

Zusammenfassend kann von folgenden Vorteilen gesprochen werden:

- rigide, aber elastische Frakturversorgung
- minimale Invasivität
- geringe Komplikationsrate
- kurze Krankenhausaufenthaltsdauer
- keine postoperative Immobilisierung
- keine Berührung mit der Epiphysenfuge und somit Minimierung von Wachstumsstörungen
- Belastungsstabilität, geringe Funktions- und Bewegungseinschränkungen
- Minimierung der Schmerzen
- kurze Operationszeit und Narkosedauer
- sofortige funktionelle Nachbehandlungen bringen ein exzellentes Outcome
- geringer Aufwand der Operation

Aufgrund der besonderen Gegebenheiten genügt die Einbringung eines elastisch-stabilen intramedullären Nagels in Elle und Speiche, da diese beiden Knochen als funktionelle Einheit zu betrachten sind [14]. Die Tatsache, dass die Nägel dem Knochen auf Frakturhöhe mit einer Vorspannung anliegen, ermöglicht eine elastische Schienung der Fraktur. Diese elastische Schienung und die Eigenschaften der elastisch-stabilen intramedullären Nägel ermöglichen es, auftretende Kräfte entsprechend abzufangen und zu kontrollieren. Auf die Frakturheilung negativ wirkende Kräfte können in stimulierend wirkende Druck- und Zug-Kräfte umgewandelt werden. Genau diese Elastizität gestattet dem Knochen kleinste Bewegungen durchzuführen, die die Ossifikation anregen und sich positiv auf die Frakturheilung auswirken [23]. Im Gegensatz zur Kirschnerdrahtosteosynthese ist die ESIN belastungsstabil. Jedoch kann aber zusätzlich zur ESIN eine Gipsschiene als Schmerztherapie eingesetzt werden [22].

Der Durchmesser der elastisch-stabilen intramedullären Nägel soll mindestens $\frac{1}{3}$ des Markraumdurchmessers betragen. Unabhängig vom Alter und der Frakturlokalisation erfolgt nach Konsolidierung die Entfernung der Nägel [14].

Werden zwei Nägel verwendet, so sollte jeder 40% des kleinsten Durchmessers des Markraumdurchmessers betragen. Wird, wie bei der Versorgung von Unterarmschaftfrakturen, lediglich ein Nagel implantiert beträgt der optimale Nageldurchmesser $\frac{2}{3}$ der engsten Markraumstelle [17].

3.3.2.1.1 Kontraindikationen der ESIN

Gewisse Frakturlokalisationen wie z.B. Trümmerbrüche können nicht mit elastisch stabilen Nägeln versorgt werden, da keine ausreichende Abstützung erreicht werden kann.

Bei Unterarmfrakturen gibt es folgende Kontraindikationen, die gegen die elastisch-stabile intramedulläre Nagelung sprechen: distale metaphysäre Frakturen, nicht verschobene instabile Frakturen, drittgradig offene Frakturen und stabile Grünholzfrakturen bei Kindern unter fünf Jahren [24]. Kontraindikationen für die Versorgung von Humerusfrakturen im Kindesalter

sind stabile undislozierte Brüche [25, 26]. Alternativ zur ESIN können Platten, Kirschnerdrähte oder ein Fixateur externe eingesetzt werden.

3.3.2.1.2 Komplikationen der ESIN

Auch wenn das Verfahren der elastisch-stabilen intramedullären Nagelung als relativ komplikationsarm angesehen werden kann, kann es dennoch zu Zwischenfällen kommen. Diese können einen längeren Krankenhausaufenthalt notwendig machen oder hinterlassen oft ästhetisch nicht einwandfreie Narben. In einer Studie von Nisar et al. mit 164 Frakturen, traten in 34% Komplikationen auf [20]. Die häufigste Komplikation sind Schmerzen, die durch zu lange Implantatenden verursacht werden. Deshalb ist auf eine exakte Kürzung der Nägel zu achten, denn zu kurz abgeschnittene Nägel können in den Knochen wandern und erschweren die Entfernung des eingebrachten Materials. Spezielle Kappen aus Plastik schützen die Haut vor Irritationen. Durch die Plastikkappen kann eine signifikante Reduktion von Komplikationen erfolgen. In einer Arbeit von Müller et al. traten in drei von 95 Fällen Hautirritationen und in zwei Fällen (15%) oberflächliche Weichteilinfektionen, die antibiotisch therapiert wurden, auf [20, 22, 23, 27, 28].

Die früheren Empfehlungen, die Enden der Nägel etwas länger zu belassen, um sie leichter auffinden und entfernen zu können, wurden zurückgenommen. Angaben, die die weitaus häufigste Komplikation betreffen (Schmerzen und Irritation durch zu lang belassene Nagelenden) reichen von 3% bis 52%. Parikh et al. empfehlen ca. 1-2cm des Nagels außerhalb des Markraumes zu belassen. Die Nagelenden sollten idealerweise parallel zur Metaphyse liegen und nicht umgebogen werden (**Abb. 12**). Spezielle Zangen verhindern die Entstehung zu scharfer Nagelenden. Mögliche Behandlungen für zu lange Enden sind die Entfernung oder Wechsel des Implantates, Kürzung, Extraktion und beobachtendes Abwarten. Fehlverheilungen von Frakturen können die Folge einer Distraction der Frakturenden sein, wobei Längendifferenzen der Extremitäten weitaus häufiger auftreten als Rotationsfehlstellungen. Alter, Körpergewicht, Frakturlokalisation, Durchmesser bzw. Länge der Nägel und das verwendete Material sind Faktoren, die bei einer fehlenden knöchernen Konsolidierung eine Rolle spielen [17].

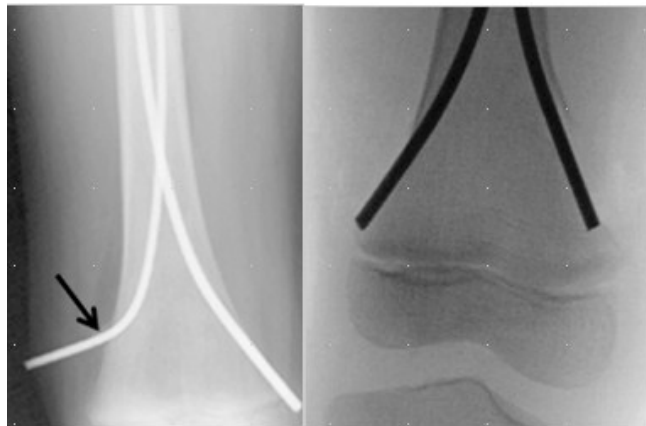


Abbildung 12 Bild 1 zeigt ein umgebogenes und zu lang belassenes Nagelende, was vermieden werden sollte. In Bild 2 ist die korrekte Lage der Nagelenden erkennbar. Sie sollten knapp oberhalb der Epiphysenfuge enden [17].

Des Weiteren kann es zur Distraction der beiden Fraktarenden kommen, wodurch eine Revision nötig werden kann. Entfernungen der beiden Bruchenden voneinander können vor allem bei Spiralfrakturen des Femurs beobachtet werden. Bei Humerusschaftfrakturen wurden Schmerzen durch die Pinenden und eine eingeschränkte Mobilität im Ellenbogengelenk beobachtet. Die häufigsten Komplikationen bei der Versorgung von Radius- bzw. Ulnafrakturen waren Schmerzen durch die Pinenden, Nervenläsionen sowie Weichteilinfektionen und eine fehlende knöcherne Konsolidation. 74% der Patienten benötigten keine sekundäre Frakturversorgung. 14 der 54 PatientInnen mit Komplikationen mussten revidiert und sekundär operativ versorgt werden [20].

In einer Studie über die ESIN von kindlichen diaphysären Femurfrakturen von Richard A. K. Reynolds et al. traten bei 59,1% von 22 PatientInnen primärer Schmerz, Schmerz durch die Implantate, Schmerzen durch Hautirritation und oberflächliche Infektionen auf. In 4,9% der PatientInnen kam es zu größeren Komplikationen wie einer Beinlängendifferenz von >2cm, tiefen

Weichteilinfektionen, avaskulären Nekrosen des Femurkopfes und Refrakturen. Kinder mit einem erhöhten Body Mass Index haben eine größere Rate an Komplikationen und Fehlverheilungen. Auf Grund des höheren Körpergewichtes haben die elastisch-stabilen intramedullären Nägel keine ausreichende Stabilität, was zu Problemen führen kann. Allerdings ist die unzureichende Stabilität eher ein Problem der unteren Extremität, da die obere Extremität statisch unbelastet ist. Des Weiteren ist die größere Weichteilmasse bei zu hohem Körpergewicht eine Quelle für Komplikationen [27].

Werden Achsenfehlstellungen oder fehlende knöcherne Überbauung früh in der postoperativen Phase bemerkt, so können die für die Deformität verantwortlichen elastisch-stabilen intramedullären Nägel entfernt werden. Dies gilt jedoch nur für noch nicht verheilte Frakturen. Nach Heilung der Fraktur können korrektive Osteotomien durchgeführt werden, sofern eine Korrektur der Fehlstellung durch die Remodellingfähigkeit des wachsenden Knochens nicht mehr zu erwarten ist. Treten Verkürzungen in der frühen postoperativen Phase auf, so können längere Nägel, eine Plattenosteosynthese oder ein externer Fixateur zur Anwendung kommen [17]. Dennoch sind schwerwiegende Komplikationen im Zusammenhang mit der elastisch-stabilen intramedullären Nagelung selten und können durch die Verwendung geeigneter Instrumente bzw. Implantate und das exakte Knowhow minimiert werden. Eine adäquate Aufklärung der Patienten und ihrer Eltern über das Auftreten potentieller Komplikationen sollte in jedem Fall geschehen. Angesichts der Effektivität und der Vorteile der ESIN ist eine geringe Komplikationsrate akzeptabel.

Zusammenfassend muss zur Vorbeugung von Komplikationen auf folgende Punkte geachtet werden:

- Bildwandlerkontrolle der eingebrachten Nägel um die Verankerung in der Kortikalis zu überprüfen und ein Wandern des Nagels zu verhindern
- exakt vorgebogene Nägel um die elastisch-stabilen Eigenschaften optimal nutzen zu können

- frakturferne Pineintrittsstellen
- optimale Dicke der Nägel (1/3 des Marklumens, bei Frakturen des Unterarms 2/3 des intramedullären Durchmessers)
- Schutz/Schonung der Wachstumsfuge
- adäquate Instrumente zur Handhabung der Implantate
- korrekte Eintrittsstellen und Lage der elastisch-stabilen intramedullären Nägel
- richtige Indikation zur Implantation eines ESIN [14, 22, 23]

Zur Verfügung stehendes Material für die ESIN sind Nägel in der Stärke von 1,5mm, 2,0mm, 2,5mm, 3,0mm, 3,5mm und 4,0mm [19].

3.3.2.2 Kirschnerdrahtosteosynthese

Bei diesem Verfahren werden Kirschnerdrähte unter Bildwandlerkontrolle perkutan eingebracht. Die Drahtenden müssen nicht unter die Haut versenkt werden. Dadurch sind Kontrollen und eine Entfernung ohne Anästhesie leicht möglich. Die Kirschnerdrähte werden nach 3-4 Wochen je nach knöcherner Überbauung entfernt [6]. Ein möglicher Nachteil der Kirschnerdrahtfixation ist eine Verletzung der Wachstumsfuge und die fehlende Belastungsstabilität. Eine zusätzliche postoperative Immobilisierung im Gips ist nötig.

3.3.2.2.1 Komplikationen der Kirschnerdrahtosteosynthese

Komplikationen wie Infektionen, Pseudarthrosen oder Bewegungseinschränkungen sind bei der Implantation zu beobachten. Komplikationen im Zusammenhang mit perkutaner Kirschnerdrahtfixation an der Hand und dem Handgelenk sind selten. Schlechte Patienten-Compliance und Pinpflege sind die Hauptursachen für Komplikationen. Eine von Hsu et al. durchgeführte Studie mit 189 PatientInnen und 408 Kirschnerdrähten zeigte Komplikationen in 39 StudienteilnehmerInnen. Die weitaus am häufigsten vorkommende Komplikation war eine Infektion der Pineintrittsstelle. Tiefere

Infektionen oder fehlende knöcherne Konsolidierung zeigten sich lediglich in 3% der 408 eingebrachten Drähte [29].

3.3.2.3 Fixateur externe

Der Fixateur externe wird bei längsinstabilen diaphysären Frakturen verwendet. Er wird vor allem an den langen Röhrenknochen angewendet. In der Kindertraumatologie findet der externe Fixateur bei Frakturen in Kombination mit schweren Weichteilschäden seine Anwendung. Indikationen für den Fixateur externe sind: instabile diaphysäre Femurfrakturen, instabile diaphysäre Humerusfrakturen, sowie Wadenbein- und Tibiafrakturen.

Eine Entfernung des Fixateurs ist meist ohne Narkose möglich [6].

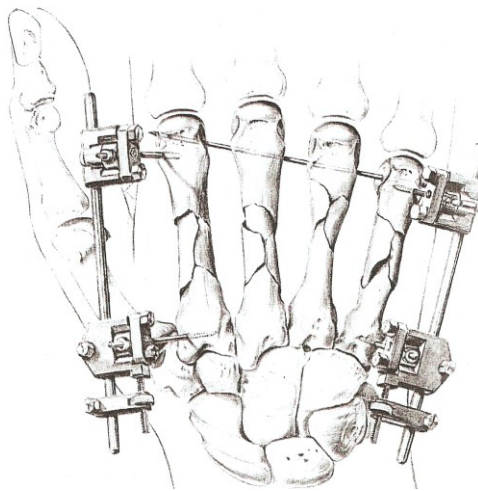


Abbildung 13 Fixateur externe [45].

3.3.3 Indikationen der operativen Frakturbehandlung

1. Offene Frakturen
2. Instabile Frakturen
3. Begleitverletzung von Nerven oder Gefäßen
4. Dislozierte dia- und metaphysäre Frakturen, die nicht durch geschlossene Reposition stabilisiert werden können
5. Dislozierte Gelenkfrakturen (>2mm)
6. Polytraumata
7. Bilaterale Frakturen [6, 14]

3.3.4 Spontankorrektur und Remodelling

Als Remodelling wird die Wiederherstellung der ursprünglichen Knochenform bezeichnet. Das wachsende Skelett ist nicht in der Lage alle Fehlstellungen durch Remodelling wieder auszugleichen. Der spontanen Korrekturfähigkeit sind Grenzen gesetzt, die von der Physiologie der Fuge abhängen. Je aktiver die Fuge, desto größer ihre Fähigkeit zur Korrektur. Der behandelnde Arzt nimmt durch die Bruchbehandlung direkten oder indirekten Einfluss auf Korrekturmechanismen. Faktoren, die Einfluss auf die Knochenstellung bei Epiphysenfugenschluss nehmen, sind eine Kombination aus der Fehlstellung bei Frakturheilung, spontanen Korrekturmechanismen und Wachstumsstörungen. In Abhängigkeit von Zustand und Reife der Wachstumsfuge kann es sowohl zu Achsenabweichungen als auch zur vollständigen Korrektur von Fehlstellungen kommen. Man unterscheidet, abhängig von der Bruchheilung, direkte von indirekten Korrekturformen. Direkte Korrekturformen werden von periostalen und/oder epiphysären Korrekturmechanismen gewährleistet. Indirekte Korrekturformen beziehen sich auf die Korrektur von Rotationsfehlern [30].

Bei Kindern unter 10 Jahren können Achsenabweichungen von bis zu 30° in der Frontal- und Sagittalebene ausgeglichen werden [16].

L. v. Laer berichtet, dass vor dem 10. Lebensjahr Rekurvationen von bis zu 30° und Fehlstellungen in der Frontalebene von bis zu 20° ausgeglichen werden

können. Nach dem 10. Lebensjahr können Valgus-, sowie Ante- und Rekurvationsfehler von bis zu 10° akzeptiert werden, Varusfehlstellungen sollten nicht mehr als 5° betragen. Rotationsfehler sind in jeder Altersgruppe strikt zu vermeiden [6].

3.3.5 Wachstumsstörungen

Je nach Art, Schwere, Lokalisation und Morphologie der Verletzung kann es posttraumatisch zu Störungen des Wachstums kommen. Prinzipiell unterscheidet man zwei Arten von Wachstumsstörungen (**Abb. 15**).

1. Stimulierende Wachstumsstörungen
2. Hemmende Wachstumsstörungen

Beide Wachstumsstörungen (WTS) können sowohl vollständig als auch partiell auftreten. Betroffen sein kann die gesamte oder nur ein Teil der Epiphysenfuge (partielle Wachstumsstörung). Da sich die Wachstumsfuge erst am Ende des Wachstums verschließt ist sie zu dieser Zeit besonders vulnabel. Der Reifezustand der Fuge zum Zeitpunkt des Unfalls spielt eine entscheidende Rolle. Störungen des Wachstums treten nur bei noch offenen Epiphysenfugen auf. Grundsätzlich gilt: Je näher die Fraktur einer Fuge liegt, desto größer ist die Chance für das Auftreten von Wachstumsstörungen durch eine Beeinflussung der Durchblutung. Bei Verletzungen in Epiphysennähe kommt es meist - bedingt durch die vermehrte Vaskularisation - zu einem überschießenden Wachstum [6]. Auch Wachstumsmediatoren haben an der Stimulation ihre Beteiligung [31].

Partiell stimulierende Wachstumsstörungen sind selten und treten nur auf, wenn die Frakturlinie die Epiphysenfuge kreuzt. Achsenabweichungen sind die Folge der partiellen Wachstumssteigerung [6].

Partielle Stimulationen treten bevorzugt bei metaphysären, fugennahen Biegungsfrakturen auf. Durch verzögerte Heilung und länger andauernde Umbauvorgänge kann es zu einseitigen epiphysären Prozessen mit konsekutiver Fehlstellung kommen [30].

Wachstumsstörungen können später vor allem an der unteren Extremität (Beinlängendifferenz) Auswirkungen auf Statik und Funktion haben und müssen gewissenhaft behandelt werden. Eine klinisch relevante Beinlängendifferenz sollte später mit einem Längenausgleich versorgt werden.

Kann durch eine geschlossene Reposition keine ausreichende Stabilität oder achsengerechte Stellung erreicht werden, so ist eine offene Reposition und Fixation zu bevorzugen. In mehreren Studien wurde gezeigt, dass ein Frakturspalt von >2mm das Auftreten von Wachstumsstörungen begünstigt [15].

Steigerungen des Wachstums sind zeitlich auf die Dauer der Frakturheilung begrenzt, hemmende Wachstumsstörungen finden erst mit Abschluss des Knochenwachstums ein Ende.

Hemmende Wachstumsstörungen treten nach Epiphysenfugenfrakturen (Typ Salter-Harris I-IV) am distalen Femur zu ca. 35%, an der proximalen Tibia zu 30% und an der distalen Tibia zu 20% auf [30].

Bei Frakturen oder Verletzungen der Wachstumsfuge selbst kommt es je nach Lokalisation der Verletzung und Reifezustand der Fuge zu einem verminderten oder vermehrten Längenwachstum. Fällt der Zeitpunkt der Fraktur in die Wachstumsphase der Epiphysenfuge, so ist mit einer Längenzunahme zu rechnen. Erfährt die Fuge in der Verschlussphase ein Trauma, so ist ein vorzeitiger Wachstumsstopp zu erwarten. Daraus resultiert eine Verkürzung. Die in der prämaternen Phase auftretende Verlängerung des Knochens wird durch einen vorzeitigen Verschluss der Fuge meist wieder ausgeglichen. Generell treten hemmende Wachstumsstörungen an der unteren Extremität sehr viel häufiger auf. Zum vorzeitigen Verschluss der Wachstumsfuge und dem daraus resultierenden Wachstumsstopp kommt es wenn schwere Traumen auftreten und die Gefäßversorgung der Epiphysenfuge irreparabel verletzt wird. Die Ernährung des Knorpels ist somit nicht mehr gesichert. Je älter das Kind ist, desto größer ist die Längendifferenz der betroffenen Extremität. Eine Therapie dieses vorzeitigen Verschlusses bringt keine Erfolge.

Aus primär-therapeutischer Sicht kann kein Einfluss auf einen vollständigen vorzeitigen Fugenschluss genommen werden [30].

Der Verschlusszeitpunkt der Wachstumsfugen an den Extremitäten unterscheidet sich. Traumatische, vorzeitige Verschlüsse bei älteren Kindern mit schon fast verknöcherten Epiphysenfugen werden daher klinisch nicht von so großer Wichtigkeit sein, wie Verschlüsse bei jüngeren Kindern [15].

Partielle vorzeitige Verschlüsse mit anschließender Achsenabweichung kommen an der unteren Extremität signifikant häufiger vor. Auf Grund einer knöchernen Brückenbildung zwischen Meta- und Epiphyse kommt es zu einem Fehlwachstum. Um die Knochenbrücke so klein wie möglich zu halten, ist auf eine „wasserdichte“ Osteosynthese zu achten. Der Frakturspalt sollte möglichst klein gehalten werden. Wie beim vollständigen vorzeitigen Epiphysenfugenschluss sind auch letztere nicht zwingend bei Fugenschafffrakturen zu erwarten [6].

Von der fugenkreuzenden Ausheilungsbrücke sind Nekrosebrücken zu unterscheiden. Bei letzteren handelt es sich um einen Untergang und Verknöcherung von Teilen der Epiphysenfuge. Hierfür wird eine Unterbrechung der fugenversorgenden Blutgefäße verantwortlich gemacht. Nekrosebrücken können unbeeinflusst von Frakturart und der Frakturversorgung auftreten und sind therapeutisch nicht zu beeinflussen [15].

Die Schicksalhaftigkeit solcher partieller Verschlüsse kann primärtherapeutisch nicht beeinflusst werden und Bedarf klinischen und röntgenologischen Kontrollen bis zum Abschluss des Wachstums. Sie führen bei Kindern unter 10 Jahren schneller zu Achsenfehlstellungen, als bei entsprechend älteren [30].



Abbildung 14 Posttraumatische Wachstumsstörung nach Trauma im Alter von 6 Jahren. Vorzeitige Verknöcherung der Epiphysenfuge. Je jünger die PatientInnen, desto größer das Ausmaß der Längendifferenz [6].

Neben Repositionen, Operationen und Instabilitäten spielt der Funktionszustand der Wachstumsfuge zum Zeitpunkt der Verletzung eine entscheidende Rolle. So kommt es bei fast verschlossenen Epiphysenfugen zu einem vorzeitigen Wachstumsstopp, bei noch wachsenden Fugen resultiert eine Längenzunahme [6]. Je jünger das Kind ist, desto größer ist die Wachstumsreserve und somit das Korrekturpotenzial.

Das periostal-endostale System gewährleistet eine Korrektur von Fehlstellungen in Frontal- bzw. Sagittalebene. Viel wichtiger als das Alter des Patienten jedoch sind Zustand und Aktivität der Fuge zum Zeitpunkt des Traumas. Je aktiver (hochprozentiger) die Fuge ist, desto größer ist ihre Remodellingfähigkeit. Aktivere Fugen haben somit das größte Potential Fehlstellungen zu korrigieren [30].

Das Ausmaß der Längendifferenz der Extremitäten kann nur indirekt beeinflusst werden. Manipulationen am Fixationskallus, sowie wiederholte Operationen und Repositionen sollen möglichst unterlassen werden. Metallentfernungen können auf Grund der Manipulation am Knochen zu einer erneuten Stimulation des Knochenwachstums führen [6].

Die Therapie einer Wachstumsstörung sollte erst dann erfolgen, wenn festgestellt werden kann, ob die Fehlstellung durch das verbleibende Wachstum auszugleichen ist. Wachstumsstörungen können durch exakte Reposition und

Fixation der Fraktur minimiert, nicht aber zur Gänze verhindert werden. Die wohl entscheidendste Rolle spielt das Alter des Kindes und vor allem das physiologische Alter und die biologische Aktivität der Wachstumsfuge zum Zeitpunkt des Unfalls. Erst in zweiter Linie beeinflussen Verletzungstyp und Grad der Dislokation das Auftreten von Wachstumsstörungen [15].

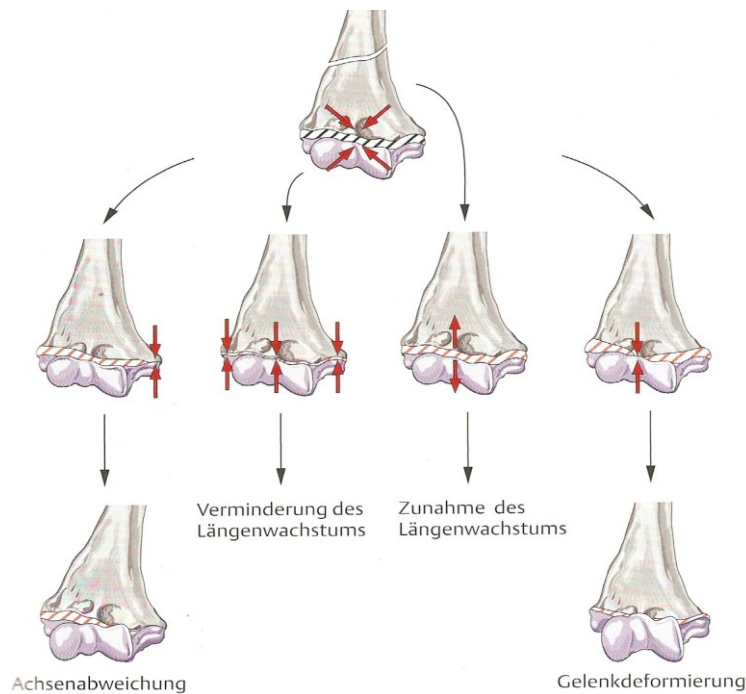


Abbildung 15 Darstellung von Wachstumsstörungen

[16].

3.3.6 Komplikationen nach Frakturen im Kindesalter

Neben den oben beschriebenen Wachstumsstörungen können Achsenfehler, Gelenkdeformitäten, Gelenkdefekte und Instabilitäten des Gelenks auftreten. Deformitäten der Gelenke entstehen bei nicht exakt reponierten Fehlstellungen. Offene Verletzungen bei schweren Traumen können zur Schädigung von Gelenkflächen mit nachfolgendem Gelenkdefekt führen. Dislozierte Gelenksfrakturen müssen exakt reponiert werden. Die Gelenkflächen sollten wiederhergestellt werden, um das Auftreten von posttraumatischen Arthrosen zu minimieren. Nach Bandläsionen auftretende Instabilitäten kommen in ca. 10% aller kindlichen Sprunggelenkdistorsionen vor [15].

3.3.6.1 Vermeidung von Komplikationen

Bei älteren Kindern ist die Remodellingfähigkeit nicht mehr so groß, Achsenfehler dürfen nicht toleriert werden. Ein möglichst geringer verbleibender Frakturspalt sowie eine „wasserdichte Osteosynthese“ sind ebenfalls notwendig, um das Auftreten von posttraumatischen Störungen des Wachstums zu minimieren. Vermehrte Repositionsversuche sowie Manipulationen am Fixationskallus sollten vermieden werden da dies zur erneuten Stimulation der Fuge führen kann. Eine exakte anatomische Reposition und eine stabile Fixation vermindern ebenfalls das Auftreten von Komplikationen nach kindlichen Frakturen.

3.3.7 Nachbehandlung und Kontrollen

Kontrollen des Gipses, sowie der Peripherie sind wichtig um etwaige Druckstellen zu erkennen und wenn erforderlich zu beheben.

Eine Indikation zu einer radiologischen Stellungskontrolle am 4. Tag besteht nur bei einigen speziellen Frakturen. Nach einem Rückgang der initialen Weichteilschwellung ist der 8. Tag zur Durchführung dieser Kontrolle am idealsten. Aufgrund der zu erwartenden Wachstumsstörungen bei Frakturen im Kindesalter sind Wachstumskontrollen in 1- bis 2-jährigen Abständen bzw. bis zum Wachstumsabschluss durchzuführen. Konsolidationskontrollen werden je nach Art und Lokalisation der Fraktur entweder radiologisch oder klinisch durchgeführt. Bei metaphysären Fingerfrakturen und Frakturen der Metakarpalknochen beispielsweise wird der Fortschritt der Konsolidation klinisch geprüft [6].

4 MITTELHANDFRAKTUREN BEI KINDERN UND JUGENDLICHEN

4.1 Einleitung

Obwohl Kinder keine kleinen Erwachsenen sind, werden viele Behandlungsprinzipien und operative Techniken von Erwachsenen übernommen. Bei der Behandlung des unreifen Skelettes der Hand sind jedoch einige Besonderheiten zu beachten. Die Untersuchung der kindlichen Hand kann sich auf Grund der fehlenden verbalen Kommunikation oder Ängstlichkeit der kleinen PatientInnen schwierig gestalten. Die kleineren muskuloskelettalen Strukturen, sowie der größere Anteil an subkutanem Fett und umgebendem Weichteilgewebe sind Faktoren, die die Untersuchung erschweren. Kleinere Skelettanteile erfordern kleinere Implantate, die mit Präzision eingebracht werden müssen. Im Gegensatz zu Erwachsenen sind Risiken wie eine verzögerte oder fehlende Konsolidation auf Grund der schnelleren Heilung und Korrekturpotenz des wachsenden Skelettes minimiert.

Das biologisch aktive und dicke Periost trägt einen wesentlichen Teil zu Knochenwachstum und -heilung bei.

Das Vorhandensein einer noch offenen Epiphysenfuge beeinflusst das Remodelling maßgeblich. In vielen Situationen kann ein verbleibendes Knochenwachstum zum Ausgleich initialer Deformitäten führen. Jedoch sind dem Remodelling Grenzen gesetzt. So können Rotationsdeformitäten beispielsweise nicht korrigiert werden. Das Remodellingpotential hängt von vielen Faktoren wie der Frakturlokalisation oder dem verbleibendem skelettalen Wachstum ab. Auch die Nähe der Fraktur zur Wachstumsfuge spielt eine entscheidende Rolle. Das größte Remodellingpotential besitzen jüngere Kinder mit noch weit offenen Fugen und einer Fraktur, die nahe der Wachstumsfuge liegt. Bei der Operationstechnik sollte auf eine maximale Schonung der Fuge geachtet werden [13].

Da jüngere Kinder oft eine geringere Compliance als Erwachsenen aufweisen, muss auf eine adäquate Immobilisierung geachtet werden um das bestmögliche Outcome zu erzielen. Versteifungen, die bei Erwachsenen nach langer

Gipsbehandlung auftreten können, treten bei Kindern selten auf. Kinder sind meist ihre eigenen besten Therapeuten und lösen Versteifungen oft durch Spiel oder Sport [13].

Als primäre Diagnostik wird das Röntgen eingesetzt. Aufgrund der geringen Größe der Knochen werden Frakturen der Phalangen und Mittelhand oft übersehen oder missinterpretiert, was zu einem verzögerten Behandlungsbeginn führen kann.

4.2 Epidemiologie

Verletzungen des Handskeletts zählen zu den häufigsten im Kindes- und Jugendalter. Finger- und Mittelhandfrakturen machen 21% aller pädiatrischen Frakturen aus.

Ein Drittel aller Handfrakturen verlaufen durch die phalangeale oder metacarpale Wachstumsfuge. Salter-Harris II Verletzungen sind vorherrschend. Trotz des häufigen Vorkommens von Wachstumsfugenverletzungen ist ein posttraumatischer Wachstumsarrest selten [13].

Sie können in Köpfchen-, Basis- und Schafffrakturen eingeteilt werden. Subkapitale und Schafffrakturen betreffen bevorzugt den 2. - 5. Mittelhandknochen, Basisfrakturen treten gehäuft im ersten Mittelhandknochen auf. Am häufigsten von Frakturen betroffener Mittelhandknochen ist das Os metacarpale V. Dort treten gehäuft subkapitale Frakturen auf („Boxers fracture“), die den größten Anteil der Metakarpalfrakturen überhaupt ausmachen. Typischer Verletzungsmechanismus ist ein Schlag mit geschlossener Faust gegen einen Gegenstand. Das distale Frakturfragment ist meist nach palmar verkippt. Jene subkapitalen Frakturen können am Besten in einer seitlichen oder schrägen Röntgenaufnahme beurteilt werden. Der gleiche Verletzungsmechanismus ist auch für subkapitale Frakturen des Os metacarpale IV verantwortlich. Generell kommen Mittelhandfrakturen bei älteren Kindern viel öfter vor als Frakturen der distalen und proximalen Phalanx [32 - 34].

4.3 Pädiatrische Mittelhandfrakturen

Meist handelt es sich bei Metakarpalfrakturen um metaphysäre Stauchungsfrakturen und Fugenschafffrakturen mit metaphysärem Keil. Basisfrakturen des Daumens (echte Bennett- und Rolandofrakturen) kommen nur bei geschlossenen Epiphysenfugen vor [6].

Äußerst selten kommt es zu isolierten Gelenkfrakturen, offenen Verletzungen oder multiplen Frakturen der Mittelhand. Das häufige Auftreten von Salter-Harris II und III Verletzungen erklärt sich durch das Ansetzen der Seitenbänder und der palmaren Platte des Metakarpophalangealgelenks (MCP-Gelenk) an der Wachstumsfuge. Die Fuge ist nur spärlich von Weichteilen geschützt und somit vulnerabler [34].

Köpfchenfrakturen treten meist in Form einer Salter-Harris II Verletzung auf. Der fünfte Metacarpalknochen ist am häufigsten betroffen. Metacarpale Köpfchenfrakturen werden mit avaskulären Nekrosen und hemmenden Wachstumsstörungen in Zusammenhang gebracht. Es wird vermutet, dass ein intrakapsuläres Hämatom dafür verantwortlich ist. Möglicherweise kann eine Punktion des metacarpophalangealen Gelenks zum Unfallzeitpunkt das Risiko dieser Komplikationen verringern. Multiple Repositionsversuche sollten möglichst unterlassen werden, da es durch diese zu einer Schädigung der Epiphysenfuge kommen kann. Falls eine adäquate Reposition durch ein geschlossenes Vorgehen nicht gelingt, ist eine offene Versorgung und Stabilisierung mit Kirschner-Drähten anzustreben. Subkapitale und Schafffrakturen bei Kindern werden ähnlich wie bei Erwachsenen, mit geschlossener Reposition und Ruhigstellung im Gips in Intrinsic-Plus-Stellung (**Abb. 24**) behandelt. Zur Reposition der subkapitalen Frakturen steht das Jahss-Manöver (**Abb. 25**) zur Verfügung. Hierbei werden das Metakarpophalangealgelenk und das proximale Interphalangealgelenk um 90° gebeugt. Nun wird Druck auf die Schaffmitte des Metacarpalknochens und die proximale Phalanx ausgeübt. Um Schmerzfreiheit während der Reposition zu erreichen, kann eine Bruchspaltanästhesie durchgeführt werden. Das Potential

zum Remodelling ist bedingt durch das verbleibende Restwachstum bei Kindern signifikant höher als bei Erwachsenen [35].

Basisfrakturen machen ca. 13-20% aller Mittelhandfrakturen aus [13]. Sie betreffen vorwiegend den ersten und fünften Metakarpalknochen. Unterschieden wird zwischen intra- und extraartikulären Frakturen, wobei extraartikuläre Frakturen häufiger auftreten. Bei älteren Kindern kommen sie typischerweise am meta-diaphysären Übergang vor.

Besondere Beachtung bei der klinischen Untersuchung sollte dem Ausschluss eines Rotationsfehlers zukommen. Ebenfalls müssen Flexion, Extension überprüft und assoziierte Weichteil- oder neurovaskuläre Verletzungen ausgeschlossen werden. Bei Hochrasanztraumen kann ein Kompartmentsyndrom auftreten, welches entsprechend behandelt werden muss. Röntgenaufnahmen in a.p. und seitlicher Technik sowie schräge Aufnahmen sollten durchgeführt werden, um einen besseren Blick auf die Mittelhandbasis zu erhalten. Achsenabweichungen bei Basisfrakturen werden bis zu 30° in der Sagittalebene toleriert [13].

Basisfrakturen sind die häufigsten Frakturen des Daumens. Eine Achsenabweichung von bis zu 30° in der Sagittalebene kann toleriert werden. Wenn eine adäquate Reposition erreicht werden kann, wird zur Ruhigstellung ein Gips mit Daumeneinschluss angelegt. Radiale Achsenabweichungen sind typischerweise stabil, während Dislokationen nach ulnar zunehmend instabil sind und eine offene Reposition und Fixierung erfordern [35]. Die Bennett-Fraktur betrifft die Basis des Os metacarpale I. Sie wird typischerweise durch Stürze mit axialer Krafteinwirkung auf den ersten Mittelhandknochen hervorgerufen. Das kleinere metacarpale Frakturfragment verbleibt ligamentär am Os trapezium fixiert, während der Rest des Mittelhandknochens nach proximal und radial subluxiert. Eine ähnliche Fraktur kann an der Basis des fünften Mittelhandknochens auftreten und wird als „Reverse Bennett’s Fracture“ beschrieben [32].

Weniger häufig kommen Schafffrakturen vor. Sie treten an den Ossa metacarpalia II-V am häufigsten auf. Die meisten metakarpalen Schafffrakturen

sind schräg oder spiralförmig und weisen eine rotatorische Komponente auf. Trümmerfrakturen, Avulsionsfrakturen, Defektfrakturen, Querfrakturen und Kompressionsfrakturen können vorkommen, treten allerdings selten auf. Luxationen der Hand kommen am häufigsten im Metakarpophalangealgelenk vor. Die proximale Phalanx luxiert typischerweise nach dorsal. Klinisch kann eine solche Luxation durch Hyperextension im Metakarpophalangealgelenk imponieren [32, 34].

4.4 Verletzungsmechanismen

Frakturen der Metakarpalknochen bei Kindern sind meist Folge einer direkten Gewalteinwirkung. Zu den häufigsten Verletzungsursachen zählen Sportunfälle, Stürze, Verkehrsunfälle und Raufhandel.

In Abhängigkeit vom Alter der PatientInnen kommen gewisse Verletzungsursachen gehäuft vor. Die häufigste Ursache von Verletzungen der Mittelhand im Alter von 8-13 Jahren sind Traumen im Rahmen von sportlichen Aktivitäten. Dafür verantwortlich gemacht wird die erhöhte körperliche Aktivität sowie sportliche Betätigung in dieser Altersgruppe [34].

4.5 Untersuchung der kindlichen Hand

Schwellung, eingeschränkte Bewegung und Verletzungen des umgebenden Weichteilgewebes können den untersuchenden Arzt zur Pathologie führen. Die Betrachtung des Nagelbettes des verletzten Fingers kann dem Untersucher weiterhelfen. Sind Achsenabweichungen der Nagelbettebene von mehr als 10° gegenüber der gesunden Finger vorhanden, so ist dies ein Alarmzeichen für das Vorhandensein einer Rotationsdeformität. Die Rotationsfehler des Nagelbettes sind oft minimalst und können leicht übersehen werden. Des Weiteren weist eine Überkreuzung des verletzten Fingers zum benachbarten Finger bei Beugung auf einen Rotationsfehler hin. (**Abb. 31** und **32**) Malrotationen können im Röntgenbild leicht übersehen werden. Sie können, wenn übersehen, zu Einschränkungen der Handfunktion führen. Deshalb ist eine exakte klinische Untersuchung unerlässlich. Eine Sensibilitätsprüfung ist

bei Kindern unter 8 Jahren schwierig durchzuführen. In seltenen Situationen, wo eine Begleitverletzung digitaler Nerven nicht sicher auszuschließen ist, kann warmes Wasser zur Diagnostik verwendet werden. Nach mehreren Minuten im Wasser runzelt sich die Haut bei intakter Innervation [13].

4.6 Epiphysenfugen der Metakarpalia

Wie bereits erwähnt besitzt jeder Mittelhandknochen lediglich eine Wachstumsfuge, die bei den Ossa metacarpalia II-V distal und beim Os metacarpale I proximal zu finden ist.

Die Epiphysenfuge wird in 4 histologische Zonen unterteilt. Von der Epiphyse hin zur Metaphyse ausgehend finden sich folgende Zonen: Ruhezone, proliferative Zone, Zone der Hypertrophie und Kalzifikationszone. Die meisten Epiphysenfrakturen der Hand verlaufen nur durch die Zone der Hypertrophie und Kalzifikation, nicht jedoch durch die proliferative- oder Ruhezone. So sind posttraumatische Wachstumsstörungen untypisch bei pädiatrischen Handverletzungen. Bei den weniger häufig vorkommenden Salter-Harris III, IV und V Verletzungen mit Frakturverlauf durch die Proliferations- oder Ruhezone kann ein Wachstumsarrest auftreten. Mit zunehmendem Fugenschluss verknöchert die Wachstumsfuge. Nun ähneln Frakturlokalisationen, wie z.B. Bennettfrakturen an der Daumenbasis, jenen von Erwachsenen [13].

4.7 Einteilung kindlicher Mittelhandfrakturen

Je nach Lokalisation kann man Mittelhandfrakturen in

1. **Köpfchen-**
2. **Basis-** und
3. **Schaftfrakturen** einteilen.

Des Weiteren können Frakturen in extra- bzw. intraartikuläre und stabile bzw. instabile Frakturen eingeteilt werden. Die exakte Kenntnis über die Weichteilverhältnisse ist für das Verständnis der Frakturlokalisationen und für die Behandlungsplanung unerlässlich.

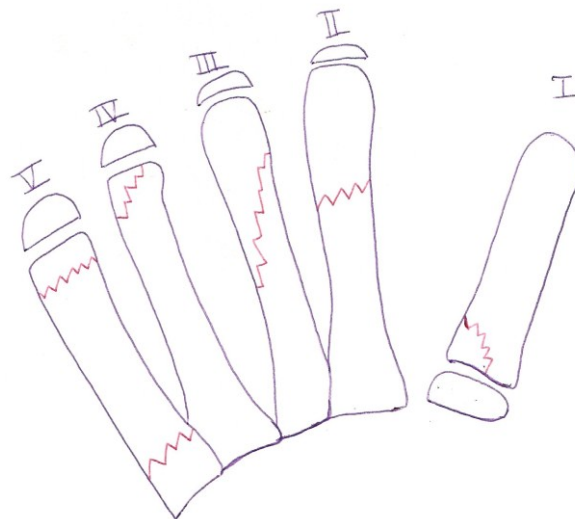


Abbildung 16 Schematische Darstellung von Mittelhandfrakturen im Wachstumsalter. Fraktur im Basisbereich (I), quere Schaftfraktur (II), schräger Schaftfraktur (III), Fugenschafffraktur mit metaphysärem Keil, subkapitale und basale Fraktur des 5. Mittelhandknochens.

4.7.1 Basisfrakturen der Metakarpalia

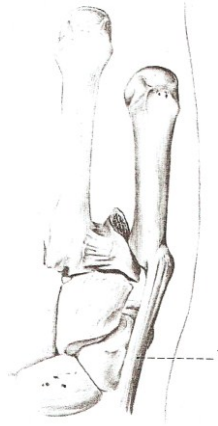


Abbildung 17
Basisfraktur des
fünften
Metacarpalknoch
ens proximal der
Insertion der
Sehne des M.
extensor carpi
ulnaris (1) [45].

4.7.1.1 Basisfrakturen des Os metacarpale I

Frakturen der Basis der Mittelhandknochen findet man am häufigsten am Os metacarpale I. Sie treten als metaphysäre Stauchungsbrüche oder Fugenschafffrakturen auf. Undislozierte Basisfrakturen des 1. Mittelhandknochens werden mittels Ruhigstellung im Gips für 10-14 Tage therapiert. Die Reposition ist meist problemlos durchführbar, nicht jedoch die Retention. Repositionsbedürftige Frakturen werden im Daumenabduktionsgips ruhiggestellt.

Nachdem Achsenabweichungen in der Frontalebene im Laufe des Wachstums nicht korrigiert werden können, müssen diese, genauso wie Verkürzungen und Rotationsfehlstellungen, vermieden werden. Instabile Frakturen werden operativ behandelt. Dies erfolgt mittels einer Kirschnerdrahtosteosynthese.

Die Konsolidationsbeurteilung erfolgt nach 14 Tagen klinisch. Um sekundäre Dislokationen zu erkennen, sollte am 4. Tag eine röntgenologische Kontrolle im Gips erfolgen. Bei nicht mehr druckdolentem Kallus kann mit Bewegungsübungen begonnen werden.

Auch nicht verschobene Schafffrakturen des 1. Mittelhandknochens werden im Gips ruhiggestellt [6]. Die Metallentfernung bei gespickten Frakturen erfolgt nach 4 Wochen [34].



Abbildung 18 Daumenbasisfraktur mit Luxation eines 13-jährigen Jungen. Stabilisation der Fraktur mit 2 Kirschnerdrähten in der Stärke von 1,2mm. Die Metallentfernung erfolgte nach 26 Tagen.

1. **Bennett-Fraktur** (Bennet-Luxationsfraktur): Basisfraktur des ersten Metakarpalknochens mit Beteiligung des Daumensattelgelenkes. Durch Zug des Musculus abductor pollicis longus wird der Daumen nach proximal gezogen.
2. **Rolando-Fraktur**: Basisfraktur mit Gelenkbeteiligung. Zusätzlich zum ulnaren Frakturfragment liegt ein radiales Bruchstück vor. Echte Rolando- und Bennetfrakturen kommen bei noch geöffneten Epiphysenfugen nicht vor [6].
3. **Winterstein-Fraktur**: Proximale Fraktur des ersten Mittelhandknochens ohne Beteiligung des Daumensattelgelenks.

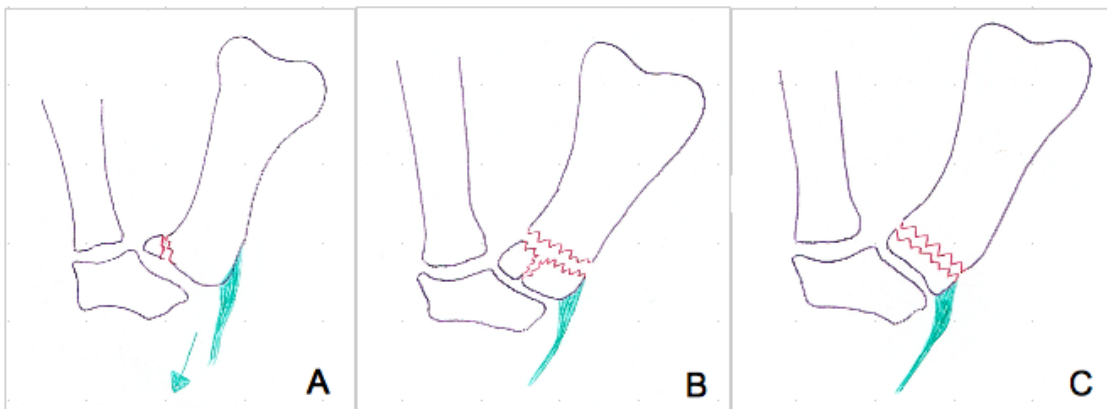


Abbildung 19 Schematische Darstellung von Frakturen des Os metacarpale I; A) Bennett-Fraktur, B) Rolando-Fraktur, C) extraartikuläre Wintersteinfraktur. M. abductor pollicis longus (grün).

4.7.1.2 Basisfrakturen der Ossa metacarpalia II-V

Basisfrakturen des 2.-5. Mittelhandknochens sind meist undisloziert und werden für 10 Tage im Gips ruhiggestellt [6].

Eine Gipsruhigstellung von 3-4 Wochen wird empfohlen. Dislozierte Frakturen werden reponiert und anschließend im Gips immobilisiert. Die Reposition kann in Bruchspaltanästhesie durchgeführt werden. Zur Überprüfung einer achsengerechten Stellung wird im Anschluss eine Röntgenaufnahme im Gips angefertigt [13].



Abbildung 20 Eine nicht dislozierte Basisfraktur des Os metacarpale V bei einem 13-jährigen Jungen. Die Fraktur ereignete sich beim Sport. Die Therapie erfolgte mit einer angekippten Fingerschiene für 19 Tage.

4.7.2 Schafffrakturen der Metakarpalia

4.7.2.1 Schafffrakturen des Os metacarpale I

Im Allgemeinen werden undislozierte sowie geschlossen reponierte Schafffrakturen des 1. Mittelhandknochens konservativ mittels Gipsruhigstellung für 4 Wochen versorgt. Rotationsfehlstellungen, Achsenabweichungen in der Frontalebene und Verkürzungen müssen vermieden werden. Ebenso wie bei den Basisfrakturen des Os metacarpale I erfolgt eine röntgenologische Kontrolle am 4. Tag, um sekundäre Dislokationen erkennen und gegebenenfalls therapieren zu können [6].

4.7.2.2 Schafffrakturen der Ossa metacarpalia II-V

Schafffrakturen entstehen normalerweise bei Torsions- oder Flexionstraumen und treten meist als transversale- oder Spiralfrakturen auf. Wie bei Erwachsenen sind isolierte Schafffrakturen des 3. und 4. Mittelhandknochens aufgrund der Ligg. intermetacarpalia und der Carpometacarpalgelenke meist

nicht disloziert. Frakturen des randständigen 2. oder 5. Metakarpalknochens sind häufiger instabil und weisen eine Dislokation auf [13].

Undislozierte und wenig dislozierte Schaftfrakturen bis zur Toleranzgrenze werden konservativ therapiert. Die Ruhigstellung erfolgt mit Hilfe einer palmaren Unterarmgipsschiene. Ein weiteres Verfahren zur konservativen Therapie ist die Ruhigstellung mithilfe einer Gipsschiene in Intrinsic-Plus-Stellung sowie einem Faustverband bei Kleinkindern. Verkürzte und dislozierte Frakturen des Schaftes werden mit einer vorgebogenen Iselin-Schiene versorgt. Durch den Extensionszug der Schiene wird die Verkürzung behoben. Am nächsten Tag muss eine Kontrolle des Gipses erfolgen. Sind mehrere Mittelhandknochen frakturiert, so werden diese, sofern sie unverschoben sind, auch konservativ behandelt [6].



Abbildung 21 Spiralfaktur des Os metacarpale II und III bei einem 11-jährigen Jungen. Die Fraktur wurde mit einer palmaren Unterarmgipslonguette versorgt, die Gipsbefristung betrug 31 Tage.

Besondere Vorsicht ist bei Schrägfrakturen gegeben. Sie tendieren häufig zu sekundären Dislokationen. Die Ruhigstellungsdauer beträgt bei allen Schaftfrakturen 4 Wochen. Mit einer funktionellen Bewegungstherapie kann

nach Gipsabnahme begonnen werden. Ein Sportverbot besteht für 3 weitere Wochen.

4.7.3 Subkapitale Frakturen

4.7.3.1 Subkapitale Frakturen der Ossa metacarpalia II-V

Subkapitale Frakturen der Ossa metacarpalia machen 56% - 70% aller Mittelhandfrakturen aus [13]. Sie weisen meist eine Verkippung des Köpfchens nach palmar auf. Die typische Dislokation des Köpfchens nach palmar wird durch Zug der Binnenmuskulatur der Hand hervorgerufen (**Abb. 23**). Zusätzlich kann eine Abkippung nach ulnar oder radial vorliegen. Die Fraktur wird für 14 Tage ruhiggestellt, die Konsolidierung wird klinisch beurteilt. Seitliche Abkippungen müssen reponiert und je nach Abhängigkeit des betroffenen Strahles in einer Gipsrinne (4. und 5. Strahl) oder einem Iselin-Gips (2. und 3. Strahl) ruhiggestellt werden. Bei Abkippungen, die weniger als 30° betragen, kann auf eine Reposition verzichtet werden, da sich die Retention oft schwierig gestaltet. Rotationsfehler und seitliche Achsenabweichungen sind zu vermeiden. Bei älteren Kindern mit fast geschlossenen Epiphysenfugen kann mithilfe von Kirschnerdrähten osteosynthetisiert werden [6]. In der Literatur findet man Angaben, dass bei jüngeren Kindern Abkippungen von bis zu 70° in der Sagittalebene korrigiert werden können [34]. Diese großen Achsenabweichungen begründet Donald S. Bae mit der größeren Wachstumsreserve von knöchern unreiferen Skeletten, sowie dem Vorhandensein der Epiphysenfuge distal an den Ossa metacarpalia II-V. Dadurch können Achsenabweichungen im Laufe des Wachstums noch ausgeglichen werden [13].



Abbildung 22 Eine um 20° in der Sagittalebene dislozierte subkapitale Fraktur des Os metacarpale V Die Fraktur wurde mit einer angekippten Fingerschiene für 14 Tage versorgt.

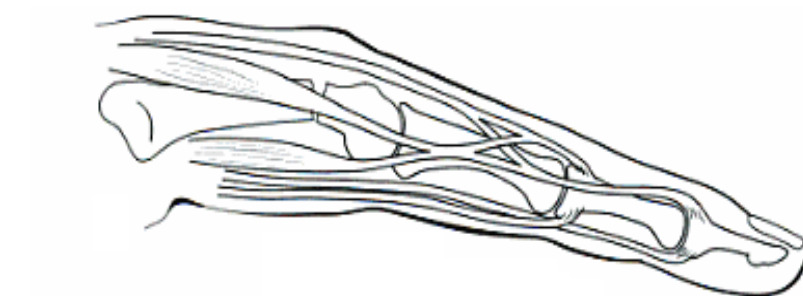


Abbildung 23 Abkippung des Mittelhandköpfchens nach palmar durch Zug der Handmuskulatur [46].

4.8 Therapie kindlicher Mittelhandfrakturen

4.8.1 Konservative Therapie

Mittelhandfrakturen im Kindesalter werden überwiegend konservativ behandelt, da sie selten Dislokationen aufweisen. Auch das entsprechende Potential zum Remodelling und die schnellere Heilung des kindlichen Knochens nehmen Einfluss darauf. Der Fähigkeit zum Remodelling sind Grenzen gesetzt. Manche Achsenabweichungen können nicht ausgeglichen werden. Jene dislozierten Frakturen erfordern eine adäquate Reposition und stabile Fixation, um funktionelle Defizite zu vermeiden. Eine Indikation zur konservativen Therapie besteht wenn eine sagittale Abkippung oder Verkürzung unter der Toleranzgrenze vorliegt. Operationsindikation besteht bei Frakturen mit einer Verkürzung des Knochens, einer Achsenabweichung von $>10^\circ$ in der Frontalebene und/oder $>30^\circ$ in der Sagittalebene. Rotationsfehler und Verkürzungen dürfen nicht vorhanden sein. Nach einer geschlossenen Reposition besteht die Gefahr einer sekundären Dislokation. Radiologische Kontrollen im Gips sollten bei nicht gespickten Frakturen am 4. Tag erfolgen. Auf eine suffiziente Ruhigstellung muss geachtet werden, um Fehlstellungen zu vermeiden. Behandlungsverfahren der Wahl zur konservativen Therapie ist die angegipste Fingerschiene, Gipslonguette, die Iselin-Schiene, sowie der Faustverband bei kleineren Kindern. Auf eine korrekte Stellung der Gelenke ist zu achten [6, 13, 33, 34, 36].

Die Ruhigstellungsdauer zeigt je nach Lokalisation und Morphologie der Fraktur Unterschiede. Auch die Angaben zur zeitlichen Dauer der Gipsruhigstellung unterscheiden sich in der Literatur.

4.8.1.1 Konservative Therapie bei Frakturen des Os metacarpale I

Undislozierte proximale Frakturen des ersten Mittelhandknochens werden für 10-14 Tage ruhiggestellt. Eine radiologische Stellungskontrolle wird am 4. Tag empfohlen, um etwaige sekundäre Abkippungen zu erkennen. Mit einer funktionellen Therapie kann bei nicht mehr druckschmerzhaftem Kallus nach 14 Tagen begonnen werden. Innerhalb der folgenden 2 Wochen kann eine freie

Beweglichkeit erreicht werden und mit sportlicher Aktivität darf nach der 3. Wochen begonnen werden.

Reponierte und undislozierte Schafffrakturen des ersten Metacarpalknochens werden 4 Wochen ruhiggestellt. Sofern der Kallus bei der klinischen Kontrolle noch druckschmerzhaft ist, muss eine weitere Gipsbehandlung für 2-4 Wochen erfolgen [6].

4.8.1.2 Konservative Therapie bei Frakturen der Ossa metacarpalia II-V

Undislozierte Frakturen der Basis werden für 10 Tage im Gips ruhiggestellt. Fugenschafffrakturen und subkapitale Frakturen bedürfen einer Gipsruhigstellung von 14 Tagen. Innerhalb der nächsten 8 Tage nach Gipsabnahme ist mit einer Wiedererlangung der freien Beweglichkeit zu rechnen und mit Sport kann begonnen werden. Nicht oder nur wenig verschobene Schafffrakturen werden mithilfe einer Iselin-Schiene oder eines palmaren Unterarmgipses für 4 Wochen ruhiggestellt. Auch multiple undislozierte Frakturen des Schaftes bei offenen Epiphysenfugen werden konservativ therapiert [6].

4.8.1.2.1 Iselin-Schiene

Verkürzte Schafffrakturen werden durch die Anlage einer Iselin-Schiene reponiert. Durch den Zug der aus Metall bestehenden Schiene wird die Verkürzung des Bruches aufgehoben. Zur Vermeidung von Rotationsfehlern wird die Schiene verwungen. Je nach betroffenem Fingerstrahl ist auf eine korrekt verdrillte Schiene hinzuweisen, da die Achsen der Phalangen auf das Kahnbein projizieren [6].

4.8.1.2.2 Intrinsic-Plus Stellung

Das Handgelenk wird zu 20-30° extendiert. Die Metacarpophalangealgelenke sind um 70° gebeugt und die Langfinger zur Gänze extendiert (**Abb. 24**). Bei Kleinkindern ist diese Stellung oft schwierig zu erreichen. Ein Faustverband

kann verwendet werden [34]. Die Intrinsic-Plus Stellung dient der Verhinderung einer Kontraktur des Metakarpophalangealgelenks.



Abbildung 24 Intrinsic-Plus Stellung [13].

4.8.2 Toleranzgrenzen

Hinsichtlich der Toleranzgrenzen gibt es in der Literatur uneinheitliche Angaben. Hier erfolgt eine Auflistung der Toleranzgrenzen:

Toleranzgrenzen bei subkapitalen Frakturen

- Achsenabweichungen von 20-45° in der Sagittalebene (Os metacarpale II-V) [13]
- keine Rotationsfehler
- keine Achsenabweichungen in der Frontalebene [6]

Toleranzgrenzen bei Schaffrakturen des Os metacarpale I

- Achsenabweichungen in der Sagittalebene von 20° bei noch offenen Fugen [6]
- keine Rotationsfehler
- keine Achsenabweichungen in der Frontalebene
- dezente Verkürzungen werden toleriert
- Achsenabweichungen in der Sagittalebene <30° [37]

Toleranzgrenzen bei Schaffrakturen der Ossa metacarpalia II-V

- Achsenabweichungen in der Sagittalebene von bis zu 30° [6]
- Achsenabweichungen in der Sagittalebene von 10-15° (Os metacarpale II und III) [13]
- Achsenabweichungen in der Sagittalebene von 30-40° (Os metacarpale IV und V) [13]
- keine Verkürzungen
- keine Achsenabweichung in der Frontalebene
- keine Rotationsfehler [6]

Toleranzgrenzen bei Basisfrakturen des Os metacarpale I

- Dislokationen in der Sagittalebene bis zu 30° bei noch offenen Fugen [13]
- Dislokationen in der Sagittalebene bis zu 20° bei noch offenen Fugen
- keine Achsenabweichungen in der Frontalebene
- keine Rotationsfehler
- keine Verkürzungen [6]

Toleranzgrenzen bei Basisfrakturen der Ossa metacarpalia II-V

- Achsenabweichungen in der Sagittalebene von bis zu 30° [13, 34]
- Beteiligungen des Karpometakarpalgelenks sind zu vermeiden
- keine Achsenabweichung in der Frontalebene
- keine Rotationsfehlstellungen
- keine Verkürzungen [13]

4.8.3 Reposition

Eine Indikation zur Reposition stellt sich bei

1. Dislokationen
2. Rotationsfehlern
3. Seit-zu-seit-Verschiebungen um halbe Schaftbreite
4. Verkürzungen bei Schaftfrakturen über Kortikalisbreite [37]

Die Reposition gelingt unter der Kontrolle eines Bildwandlers in den meisten Fällen sehr gut. Eine Reposition gelingt meist relativ einfach, jedoch muss auf eine adäquate Stabilisierung nach Reposition geachtet werden. Die Retention kann manchmal Probleme bereiten. Eine radiologische Stellungskontrolle im Gips muss am 4. Tag vorgenommen werden [6, 34].

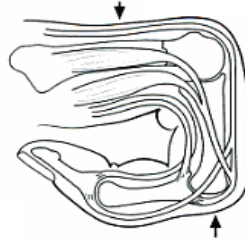


Abbildung 25 Reposition eines nach palmar abgekippten Mittelhandköpfchens [46].

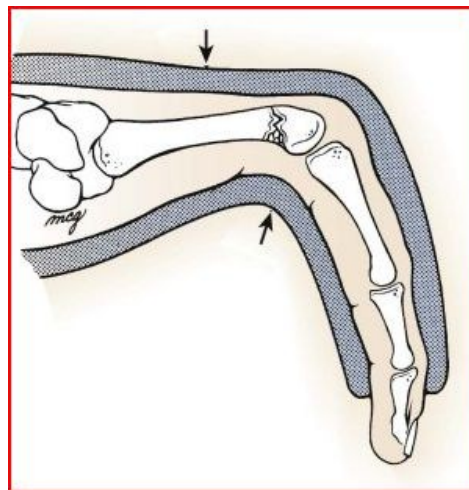


Abbildung 26 Gipskeilung, um die Fraktur stabil zu halten [13].

4.8.4 Operative Therapie

Nur eine geringe Zahl der Metakarpalfrakturen wird operativ versorgt. Dazu stehen verschiedene Verfahren zur Wahl. Die am häufigsten angewendete Therapie ist die Kirschnerdrahtosteosynthese. Neben Kirschnerdrähten stehen Platten, Schrauben, Fixateure externe und elastisch-stabile intramedulläre Nägel, die schon lange zur Behandlung von Frakturen der langen Röhrenknochen verwendet werden, zur Verfügung.

4.8.4.1 Operative Therapie des Os metacarpale I

Instabile Basisfrakturen des ersten Metakarpalknochens werden mit Hilfe von Kirschnerdrähten versorgt (**Abb. 37**). Osteosynthesen mittels Platten, Zuggurtungen oder Kirschnerdrahtosteosynthesen sind bei verschobenen Schaftfrakturen meist nicht erforderlich, da sich diese Frakturen gut reponieren lassen [6].

Metaphysäre Basisfrakturen, die nach medial abgekippt sind, sind im Gegensatz zu den nach lateral abgekippten meist schlecht zu reponieren und ein offenes Vorgehen wird empfohlen. Oft kann es bei diesen Salter-Harris II Frakturen Schwierigkeiten bei der geschlossenen Reposition geben. Dann wird eine offene Reposition und Fixation mit Kirschnerdrähtendrähten durchgeführt. Bennett-Frakturen werden geschlossen oder offen reponiert und mit Drähten fixiert. Bei geschlossenen Fugen kann der Kirschnerdraht transartikulär platziert werden. Anders gestaltet sich die Situation bei noch offenen Fugen: Hier wird ein Draht parallel zur Epiphysenfuge eingebracht und durch Platzierung im Nachbarstrahl fixiert [34].

4.8.4.2 Operative Therapie der Ossa metacarpalia II-V

Nachdem palmare Abkippen des Metacarpalköpfchens von bis zu 30° belassen werden können, müssen subkapitale Frakturen nur selten operativ versorgt werden. Höhergradig abgekippte Frakturen werden mit Hilfe von Kirschnerdrähten oder elastisch-stabilen intramedullären Nägeln versorgt. Die intramedulläre Schienung erfolgt über die Mittelhandbasis.

Die Kirschnerdrähte können entweder in gekreuzter- oder transmetakarpaler (**Abb 28**) Technik eingebracht werden [13].

Bei der operativen Therapie von Schaftfrakturen muss zwischen offenen und schon fast geschlossenen Fugen unterschieden werden. Noch offene Wachstumsfugen haben ein größeres Potential zum Remodelling. Liegen Frakturen von mehreren Metacarpalknochen vor und sind die Fugen noch offen, so kann konservativ behandelt werden. Eine andere Situation stellt sich bei schon fast verschlossenen Epiphysenfugen: Jene Frakturen erfahren die gleiche Therapie wie Erwachsene [6]. Indikationen für eine operative Versorgung sind die gleichen wie bei Erwachsenen. Offene Frakturen, multiple dislozierte Frakturen, sowie instabile Frakturen stellen eine Operationsindikation dar. Des Weiteren werden größere Weichteilschäden und neurovaskuläre Verletzungen operativ behandelt. Eine Vielzahl an Osteosynthesemöglichkeiten steht zur Verfügung. Plattenosteosynthesen, eine interfragmentäre Schraubenfixation, Kirschnerdrahtosteosynthesen, sowie Fixateure externe können verwendet werden. Die operative Technik und Wahl der Implantate hängt von der Frakturlokalisierung und den Begleitverletzungen ab. Generell wird die am wenigsten invasive Technik zur Osteosynthese angewendet. Die Operationstechnik gleicht jenen von Erwachsenen, jedoch sollte auf das Vorhandensein der Wachstumsfuge im Kindesalter nicht vergessen werden [13] (Scott W. Wolfe, 2012). Bei Kleinkindern sind diese Arten der Therapie allerdings nicht anzuwenden [6].

Hier können gekreuzte Kirschnerdrähte zur Stabilisierung der Fraktur verwendet werden.

Sind Basisfrakturen der Metakarpalia II-V nach Reposition instabil oder liegt eine Dislokation im Karpometakarpalgelenk vor wird operativ vorgegangen. Wenn eine Reposition im Geschlossenen erreicht werden kann wird die Fraktur mit perkutanen Kirschnerdrähten stabilisiert. Ist die Fraktur geschlossen nicht zu stabilisieren, muss ein offenes Vorgehen gewählt werden. Die eingebrachten Kirschnerdrähte können nach 4 Wochen entfernt werden [13]. Eine Spickung mit Kirschnerdrähten wird bei einer Beteiligung von zwei oder mehr Gelenken durchgeführt [34].

4.8.4.3 Kirschnerdrähte und kindliche Metakarpalfrakturen

Die perkutane Kirschnerdrahtfixation wird bevorzugt bei Frakturen der Metakarpalia angewendet. Dadurch werden die Risiken einer offenen Reposition und Stabilisierung vermieden. Subkapitale Frakturen werden mit dem Jahss-Manöver (**Abb. 25**) reponiert. Die Dicke und Anzahl der Drähte sollte in Abhängigkeit vom intramedullären Raum gewählt werden um eine maximale Frakturstabilität zu gewährleisten. Die korrekte Lage des Nagels wird mit einem Bildwandler kontrolliert. Liegt der Nagel richtig, so wird er mit einem Hammer oder Draht-Bohrer über die Fraktur in das proximale Fragment vorgeschoben. Weitere Kirschnerdrähte können in Abhängigkeit von der intramedullären Weite und Rotationsstabilität in selber Art und Weise eingebracht werden. Nach Erreichen der dorsalen Anteile der Basis des Os metacarpale und Penetration der Haut, wird das Nagelende bis in das Metakarpalköpfchen vorgeschoben. Es erfolgt stets eine Kontrolle mit dem Bildwandler. Kirschnerdrähte können auch antegrad eingebracht werden. Werden mehrere Drähte verwendet, so ist die Rotationsstabilität gegeben und das Risiko einer späteren Verkürzung wird minimiert. Nach dem Eingriff erfolgt eine postoperative Immobilisierung im Gips in Intrinsic-Plus Stellung. Die Entfernung der Drähte erfolgt nach 4 Wochen. Sie kann ambulant und meist ohne Anästhesie durchgeführt werden. Mögliche Komplikationen dieser Methode sind Verletzungen der Extensorensehnen und Störungen der Sensibilität durch Irritation von Nervenästen des Nervus ulnaris. Knorpelschäden mit nachfolgender Arthrose im karpometakarpalen Gelenk können durch mehrmalige Korrektur der Drahtlage entstehen - kommen aber äußerst selten vor [38].



Abbildung 27 13-jähriges Mädchen. Basisfraktur eines Os metacarpale V mit Dislokation und Gelenkbeteiligung. Die Fraktur ereignete sich bei einem Sturz. Perkutane Kirschnerdraht Spickung in der Stärke von 1,2mm. Metallentfernung nach 21 Tagen.



Abbildung 28 Transmetakarpale Kirschnerdrahtstabilisation einer Schaftfraktur des 3. Metakarpalknochens mit Rotationsdeformität [13].

4.8.4.4 Elastisch-stabile intramedulläre Nagelung und kindliche Metakarpalfrakturen

Die elastisch-stabile intramedulläre Nagelung wird für ausgewählte meta- und diaphysäre Frakturen der langen Röhrenknochen im Kindesalter standardisiert verwendet. Zur Behandlung von Frakturen kleinerer Knochen wie Mittelhand- und Mittelfußknochen gibt es wenig Literatur. Jedoch wird diese Methode zunehmend zur Therapie von Frakturen der Mittelhand bei Kindern angewandt. Bei Erwachsenen werden ausgewählte Metakarpalfrakturen mit elastisch-stabilen intramedullären Nägeln versorgt. Bezüglich der Operationsindikation und den tolerablen Achsenabweichungen bei Mittelhandbrüchen herrscht weiterhin Uneinigkeit. In einer Arbeit von Lieber et al. wird die ESIN als minimalinvasive, technisch einfach durchführbare und schnelle Methode zur Stabilisierung von Metakarpalfrakturen beschrieben. Diese Methode hat gewisse Vorteile gegenüber anderen operativen Methoden. Plattenosteosynthesen weisen eine höhere Stabilität auf, erfordern jedoch eine offene Reposition. Hohe Komplikationsraten (bis zu 32%) wie Pseudarthrosen, Lockerung der Platten, Plattenbrüche, Nervenverletzungen, tiefe Weichteilinfektionen und persistierende Schmerzen wurden beschrieben. Die Plattenosteosynthese stellt bei multiplen, dislozierten Frakturen aber die Methode der Wahl dar. Die perkutane Kirschnerdrahtosteosynthese stellt nach wie vor die am häufigsten angewendete Technik dar. Exzellente radiologische und funktionelle Outcomes wurden für diese minimalinvasive Methode beschrieben. Komplikationen wie Verletzungen der Extensorensehne, Pininfektionen, Dislokation der Drähte und Perforationen können auftreten. Eine postoperative Immobilisierung nach Kirschnerdrahtosteosynthese ist, anders als bei der elastisch-stabilen intramedullären Nagelung, notwendig. Besonders ältere Kinder im Alter von 13-16 Jahren profitieren von der gipsfreien postoperativen Behandlung. Mit sofortiger Mobilisation kann begonnen werden. Auch eine schnellere Rückkehr zu sportlicher Aktivität ist gegeben. Eine zusätzliche Gipsbehandlung (7-10 Tage) ist nur zur Schmerztherapie bevorzugt bei jüngeren Kindern und bei zusätzlichen Frakturen der Hand notwendig.

Es können ein oder zwei elastisch-stabile intramedulläre Nägel eingebracht werden. Kaiser et al. beschrieb die Implantation von nur einem Nagel als sicher und schneller gegenüber der Einbringung zweier elastisch-stabiler intramedullärer Nägel. Die Single-ESIN-Technik bringt ausreichend Stabilität und eine suffiziente Fixation. Lieber et al. fanden gute Resultate bei der Implantation eines Nagels zur Stabilisation der typischen subkapitalen und diaphysären metakarpalen Frakturen. Es wird angenommen, dass die Stabilität der Single-Technik bei diaphysären Frakturen durch die benachbarten Metakarpalknochen unterstützt wird. Eine ähnliche Situation findet sich bei der Frakturversorgung der Radiusdiaphyse, wo die Single-Technik als Methode der Wahl verwendet wird. Voraussetzung ist allerdings die Intaktheit der Membrana interossea und der Ulna. Anders gestaltet sich die Situation bei Basisfrakturen der ersten Metakarpalknochens. Hier kann es bei der Implantation eines Nagels zur intramedullären Rotation kommen wodurch die Fraktur in ihren ursprünglichen Zustand der Dislokation zurückfällt. Bei diesen Frakturen ist die gekreuzte Kirschnerdrahtfixation nach wie vor die Methode der Wahl. Das Daumensattelgelenk hat einen größeren Bewegungsumfang als die übrigen Karpometakarpalgelenke. Eine Schienung durch benachbarte Metakarpalknochen ist nicht gegeben. Die ESIN ist eine minimalinvasive Methode, bei der meist nur kleinste Hautinzisionen vorgenommen werden müssen. Die kurze Dauer des Eingriffes und das geringe Weichteiltrauma sind weitere Vorteile dieser Versorgung. Sie bietet eine stabile Osteosynthese und ermöglicht durch die fehlende postoperative Ruhigstellung eine frühfunktionelle Bewegungstherapie [28, 33].



Abbildung 29 Prä- und postoperative Bilder einer subkapitale Fraktur des Os metacarpale V bei einem 15-Jährigen. Dislokation nach palmar um 60°. Osteosynthese mittels ESIN in der Stärke von 2mm. Die Metallentfernung erfolgte nach 160 Tagen.

4.8.4.5 Elastisch-stabile intramedulläre Nägel zur Behandlung von Mittelhandfrakturen im Erwachsenenalter

Elastisch stabile Titannägel werden zur Behandlung von kurzen schrägen, spiralförmigen und subkapitalen Frakturen im Erwachsenenalter verwendet. Mittelhandfrakturen stellen auch bei Erwachsenen einen großen Anteil der Verletzungen dar. In ca. 70% ist das Os metacarpale IV oder V frakturiert. Subkapitale Frakturen stellen genauso wie bei Kindern den größten Anteil dar. Vereinzelt kann es zu Problemen durch die 3-4-wöchige Ruhigstellung kommen. In einer Arbeit von Mohammed et al. wurden nach der Behandlung von 20 Metakarpalfrakturen mit Kirschnerdrähten und nachfolgender Ruhigstellung Streckdefizite von 15° in zwei Fällen beobachtet. Zu Einschränkungen der Flexion kam es bei diesen 20 PatientInnen jedoch nicht. Mit der Implantation der elastischen Titannägel (TEN) und der somit nicht nötigen postoperativen Immobilisierung wird solchen Problemen vorgebeugt. Weitere mögliche Komplikationen der TEN sind Irritationen der Weichteile durch zu lang belassene Nagelenden, Fehllage von Implantaten und oberflächliche oder tiefe Infektionen. Selten kann es zur Ausbildung einer Pseudarthrose oder zum Bruch eines Nagels kommen. Die bei Plattenosteosynthesen beobachteten Irritationen der Gleitschichten der Hand treten bei TEN nicht auf. Nach etwa 9-11 Wochen erfolgt die Entfernung der elastisch-stabilen intramedullären Nägel [28].

4.8.4.5.1 Operationsindikation bei subkapitalen und kurzen schrägen Mittelhandschafffrakturen Erwachsener (laut Deutscher Gesellschaft für Unfallchirurgie)

- Dislokation von >30° in der Sagittalebene bei Frakturen des Os metacarpale IV und V

- Dislokationen von $>15^\circ$ in der Sagittalebene bei Frakturen des Os metacarpale II und III
- Offene- und Mehrfragmentfrakturen
- Rotationsfehler
- Schwere begleitende Weichteildefekte

Bei Erwachsenen wurden bei Verkürzungen der Metacarpalknochen von $>5\text{mm}$ und Achsenabweichungen von $>30^\circ$ funktionellen Defiziten der Hand beschrieben [39].

4.8.4.5.2 Implantation elastisch-stabiler intramedullärer Nägel bei Erwachsenen

Nach erfolgter Reposition mittels Jahss-Manöver wird eine Hautinzision an den Mittelhandbasen vorgenommen. Die Präparation auf den Knochen erfolgt stumpf unter einer exakten Schonung der Extensorensehnen und des Gefäß-Nerven-Bündels. Der intramedulläre Raum wird nun eröffnet und der Nagel wird bis in das distal gelegene Köpfchen vorgeschoben. Eine Kontrolle mit dem Bildwandler zur korrekten Lage wird durchgeführt. Auch eine extraartikuläre Lage des Nagels zur Schonung des Metakarpophalangealgelenks muss geachtet werden. Um eine stabile Osteosynthese zu erreichen sollte der Durchmesser der Nägel mindestens $1/3$ des intramedullären Durchmessers betragen. Die Entfernung der Nägel erfolgt nach Konsolidierung nach ca. 2 Monaten. Auch bei Kindern werden elastisch-stabile intramedulläre Nägel unabhängig vom Alter und der Frakturlokalisation nach Konsolidation entfernt. In einer Arbeit von Müller et al. wurde postoperativ auf eine Immobilisation und das Heben von mehr als einem Kilogramm für sechs Wochen verzichtet. Anstatt der Verwendung mehrerer Implantate wie bei der Kirschnerdrahtfixation wird bei der elastisch-stabilen intramedullären Nagelung zur Behandlung von Mittelhandfrakturen nur ein Implantat verwendet. Die besondere Beschaffenheit der Nägel lässt Mikrobewegungen zu, durch welche es zu einer schnelleren Heilung des Knochens kommt. Diese Art der Therapie eignet sich hingegen

nicht bei Spiral- und Schrägfrakturen mit langen Frakturlinien, da hier keine ausreichende Primärstabilität erreicht werden kann. Es kann zum „Teleskopeffekt“ kommen. In der Arbeit von Müller et al. wurden in 6 von 95 Patienten zu Komplikationen. Einmal kam es zu einer nicht korrekten Lage des Nagels, in drei Fällen traten Hautirritationen auf und zweimal kam es zu oberflächlichen Weichteilinfektionen [14, 28, 40].

4.9 Therapieziele

Aufgrund der fehlenden Korrekturpotenz müssen Rotationsfehlstellungen, Abkippungen in der Frontalebene und Verkürzungen ausnahmslos vermieden werden. Abkippungen in der Sagittalebene werden bis zu einer Grenze von 30° toleriert. Ein Rotationsfehler (**Abb.30** und **31**) des Mittelhandknochens von 1° verursacht eine Rotation der Fingerspitze des betroffenen Strahles um 5°. Extensionsverluste von bis zu 7° können die Folge von Verkürzungen sein [34]. Bei Erwachsenen kann eine Verkürzung von 2mm ein Streckdefizit von 7° im Metakarpophalangealgelenk Gelenk bedeuten [28].

Bedingt durch die Remodellingfähigkeit des noch wachsenden Knochens können fugennahe Frakturen bei Achsenabweichungen von bis zu 20°- 30° in der Sagittalebene konservativ therapiert werden, wobei auf die Lage der Epiphysenfuge an den verschiedenen Mittelhandknochen zu achten ist [6].

Ziel der Therapie:

- Sagittale Abkippung <30°
- Rotation der Fingerkuppe <10°
- Verkürzung des Fingers <5mm [34]

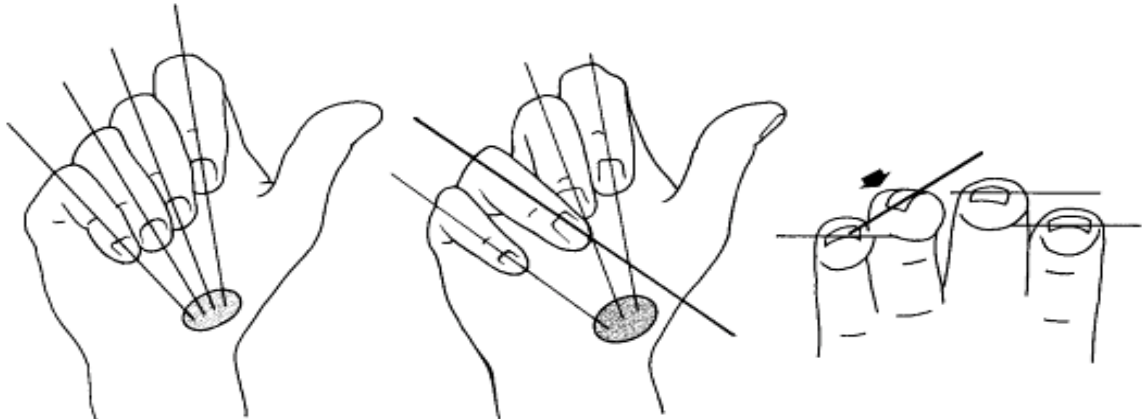


Abbildung 30 Die Achsen der Finger beziehen sich auf das Os scaphoideum. Eine Überkreuzung des verletzten Fingers zum benachbarten Finger weist auf einen Rotationsfehler hin. Abweichung der Nagelebene in Bezug auf die anderen Finger als weiterer Hinweis auf eine Rotationsfehlstellung des Mittelhandknochens. Rotationsfehler von 5° führen zum Übereinanderschlagen der Fingerkuppen um 1,5cm [6].



Abbildung 31 Klinisches Bild eines Rotationsfehlers: Überkreuzen des vierten auf den benachbarten Finger [13].



Abbildung 32 Wachstumsstörung mit Verkürzung des 2. Strahls [6].

4.10 Komplikationen nach Metakarpalfrakturen

Komplikationen können durch die Fraktur selbst, der Behandlung der Fraktur oder einer Kombination aus beiden entstehen.

4.10.1 Achsenabweichungen

Aufgrund der Fähigkeit des Remodellings bei Kindern sind Dislokationen in der Sagittal- bzw. der Frontalebene differenziert zu betrachten. Abkippungen in der Sagittalebene werden im Verlauf des Wachstums gut korrigiert, jene im Bereich der Frontalebene werden nicht korrigiert. Verkürzungen, die gelegentlich bei Schaftfrakturen auftreten, bleiben bestehen. Rotationsfehler müssen ausnahmslos korrigiert werden [6].

4.10.2 Osteomyelitis

Eine Osteomyelitis nach metacarpalen Frakturen ist selten und das Vorgehen muss individuell an den Patienten angepasst werden. Für Osteomyelitiden der metacarpalen Diaphyse wird folgendes Vorgehen empfohlen:

- Eine Identifikation des Keims, sowie die Entfernung gelockerter Implantate und ein Débridement des Knochens und der umgebenden

Weichteile muss vorgenommen werden. Die distalen und proximalen Fragmente müssen mit einem externen Fixateur stabilisiert werden. In die Lücke kann ein in Antibiotikum getränktes Polymethyl Methacrylat oder eine Antibiotikakette eingebracht werden.

- Eine auf den Keim angepasste systemische Antibiose sollte für 4-6 Wochen verabreicht werden. Wiederholte Débridements sollten erfolgen bis die Wunde sauber ist und es zur sekundären Wundheilung kommen kann.
- Wenn die Entzündung abgeklungen ist, kann Knochensubstanz eingebracht und mit Hilfe von Platten und Schrauben fixiert werden [13]

4.10.3 Weitere Komplikationen

Als weitere Komplikationen sind Infektionen der Kirschnerdärte, Sehnenverklebungen und Bewegungsstörungen zu erwähnen [34]. Sehnenverklebungen nach geschlossenen Metakarpalfrakturen kommen allerdings selten vor. Bei Verletzungen der Sehne selbst oder bei Trümmerfrakturen können Verklebungen gelegentlich vorkommen. Meist ist eine Verklebung zwischen den Extensorsehnen und den darunterliegenden Knochen zu beobachten [13].

Muskeldysfunktionen können unter folgenden Umständen vorkommen: Verlust der Innervation, Verlust von Muskelsubstanz oder durch eine Kontraktur der Muskulatur. Zur Korrektur können Sehnentransfers notwendig sein. Muskelkontrakturen können auch durch ein Kompartmentsyndrom entstehen [13].

Auch die Implantation von elastisch-stabilen intramedullären Nägeln kann Komplikationen mit sich bringen. Es kann zu intramedullären Rotationen, Wanderungen des Nagels, Nerven- und Sehnenverletzungen kommen. Die adäquate Kürzung der Nagelenden verhindert Reizungen der Haut und des subkutanen Gewebes, sowie von Nerven und Sehnen.

Eine ausreichend große Inzision der Haut mit Sicht auf die darunterliegenden Strukturen minimiert das Risiko einer Verletzung der oberflächlichen oder tiefen Nerven sowie der Sehnen [33].

4.11 Wundversorgung – Besonderheiten im Kindesalter

Das Wundmanagement unterscheidet sich nicht von dem der Erwachsenen. Die gute Durchblutung der Hand hilft bei der schnellen Heilung. Defekte und Verletzungen von Kindern werden gleich wie bei Erwachsenen behandelt, jedoch gibt es einige Besonderheiten im Wachstumsalter. Aus kinderpsychologischer Sicht sollte auf eine adäquate Anästhesie geachtet werden, um eine schmerzfreie Behandlung durchführen zu können. Die Indikation zu kurzen Narkosen sollte deshalb relativ großzügig gestellt werden. Kindliche Frakturen heilen schneller als jene von Erwachsenen. Bei Kleinkindern ist eine ausreichende Immobilisierung wichtig, das Kind sollte sich die Gipsschiene nicht selbst entfernen können [12].

4.12 Nachbehandlung

Nicht nur die Operation alleine ist für eine erfolgreiche Behandlung wichtig um die Funktion der Hand wieder vollständig herzustellen. Nachbehandlungen durch Physio- und/oder Ergotherapeuten sind von herausragender Bedeutung.

4.12.1 Nachbehandlung der konservativen Therapie

Konservativ behandelte Frakturen werden mit stufenweisem Belastungsaufbau und funktioneller Therapie nachbehandelt. Eine Vollbelastung erfolgt bis zur sechsten Woche. Radiologische Kontrollen im Gips sollten bei nicht gespickten Frakturen am 4. Tag erfolgen um sekundäre Dislokationen erkennen zu können. Nach Gipsabnahme sollte erneut eine Röntgenkontrolle durchgeführt werden. Bei nicht dislozierten Basisfrakturen des Daumens kann, bei nicht mehr schmerzhaftem Kallus, innerhalb der nächsten 14 Tage mit einer funktionellen Übungen begonnen werden. Sport darf nach 3 Wochen wieder aufgenommen werden. Bei undislozierten Basisfrakturen, Fugenschafffrakturen und subkapitalen Frakturen der Ossa metacarpalia II-V ist innerhalb der folgenden 8 Tage nach Gipsabnahme ist mit einer Wiedererlangung der freien Beweglichkeit zu rechnen und mit Sport kann begonnen werden [6, 34].

4.12.2 Nachbehandlung der operativen Therapie

Mit Kirschnerdrähten gespickte Frakturen werden für 4 Wochen im Gips in Intrinsic-Plus Stellung ruhiggestellt. Radiologische Kontrollen erfolgen nach ca. 7 Tagen und vor der Entfernung der Implantate nach 4 Wochen. Nach Entfernung der Drähte erfolgt eine funktionelle Therapie und Belastungsaufbau bis zur 8. Woche. Die mit elastisch-stabilen intramedullären Marknägeln versorgten Frakturen können sofort postoperativ mit funktioneller Therapie beginnen.

5 KLINISCHE STUDIE - Retrospektive Datenanalyse an der Universitätsklinik für Kinder- und Jugendchirurgie Graz

5.1 Einleitung

Die Hand ist der am öftesten verletzte Körperteil bei Kindern [41, 42]. Speziell in der Altersgruppe von 13-16 Jahren betreffen 10-39% aller Handfrakturen die Mittelhand [33]. Die häufigsten Frakturen sind subkapitale Frakturen des 5. Metakarpalknochens [43, 44]. Die Mehrzahl der Mittelhandfrakturen im Kindes- und Jugendalter sind nicht disloziert und können konservativ behandelt werden. Die Remodellingfähigkeit bei Kindern ist groß, sodass eine zum Teil eine große Toleranzgrenze für Dislokationen vorhanden ist. Diese Toleranzgrenzen gilt es zu kennen und bei der Behandlung kindlicher Frakturen zu beachten.

Da es nur wenig Literatur zu Mittelhandfrakturen im Kindes- und Jugendalter sowie deren Behandlung gibt ist das Ziel der Studie ein Wissensgewinn und eventuell die Erstellung eines Behandlungsalgorithmus bzw. eines Therapievorschlages.

5.2 Material und Methoden

Anhand einer retrospektiven Datenanalyse an der Univ.-Klinik für Kinder- und Jugendchirurgie Graz wurden von Januar 2006 bis April 2013 alle behandelten Mittelhandfrakturen ausgewertet. In die Studie eingeschlossen wurden PatientInnen, die 18 Jahre oder jünger waren. Eine Bewilligung der Ethikkommission der Medizinischen Universität Graz (EK 25423EX1213) liegt vor. Bestimmt wurden patientenbezogene Parameter wie das Alter zum Zeitpunkt des Traumas, das Geschlecht und die betroffene Hand. Des Weiteren wurden frakturbezogene Daten erhoben. Dabei wurden die betroffenen Mittelhandknochen, die Frakturlokalisierung, die Anzahl der frakturierten Metakarpalknochen pro Patient und die Art der Versorgung (operativ oder konservativ) untersucht. Die Verletzungsursachen wurden unterteilt in „Verkehrsunfall“, „Sportunfall“ und „Sturz“. Jede der drei Verletzungsursachen wurde in Unterkategorien gegliedert. Bei den *Verkehrsunfällen* wurde zwischen

„Autounfall“, „Moped-Fahrer“, „Moped-Beifahrer“, „Fahrradsturz“, „Fußgänger gegen Auto“ und „Fußgänger gegen Moped“ oder „Fahrrad“ unterschieden. Die *Sportunfälle* wurden in „Ballsport“, „Kampfsport“ und „Sonstige“ unterteilt. Bei den *Stürzen* gab es die Unterkategorien „Sturz in Ebene“, „Sturz aus Höhe <2m“ und „Sturz aus Höhe >2m“.

Neben der Art der operativen und konservativen Versorgung wurden die Gipsbefristung und in Fällen mit osteosynthetischer Behandlung die Zeit bis zur Metallentfernung ausgewertet. Die Operationstechnik umfasst die Art des implantierten Materials, den Durchmesser und die Anzahl der verwendeten Osteosynthesematerialien. Komplikationen wie funktionelle Beeinträchtigungen, Nerven- und Sehnenläsionen nach der Operation wurden erfasst.

5.3 Ergebnisse

Innerhalb eines Zeitraumes von 8 Jahren wurden an der Univ.-Klinik für Kinder- und Jugendchirurgie Graz insgesamt 384 PatientInnen mit Mittelhandfrakturen behandelt, wobei 419 Frakturen diagnostiziert wurden. Das mittlere Alter war 12,4 Jahre mit einem Minimum von einem und Maximum von 18 Jahren. 354 PatientInnen (92,2%) wiesen eine Fraktur eines Mittelhandknochens auf, in 25 Fällen (6,5%) frakturierten zwei Mittelhandknochen und in fünf Fällen (1,3%) frakturierten drei Metacarpalknochen. In 254 Fällen (66,1%) war die rechte Hand und in 130 Fällen (33,9%) war die linke Hand betroffen. Es herrscht eine deutliche Dominanz männlicher Patienten (n=306; 79,7%) im Vergleich zu weiblichen Patientinnen (n=78; 20,3%). In der Altersgruppe von 10-18 Jahren traten 81,4% aller Mittelhandfrakturen auf.

Am häufigsten frakturierte mit 45,4% (n=190) das Os metacarpale V gefolgt vom Os metacarpale I mit 27,9% (n=117). In absteigender Häufigkeit waren das Os metacarpale II (9,3%; n=39), das Os metacarpale IV (8,9%; n=37) und das Os metacarpale III (8,5%; n=36) betroffen. In 176 Fällen lagen Basisfrakturen vor. Am zweithäufigsten lagen subkapitale Frakturen (n=150) vor. In 76 Fällen kam es zu Schaftfrakturen und in 17 Fällen zu Köpfchenfrakturen. Subkapitale Frakturen des Os metacarpale V lagen in 103 der 419 Frakturen vor.

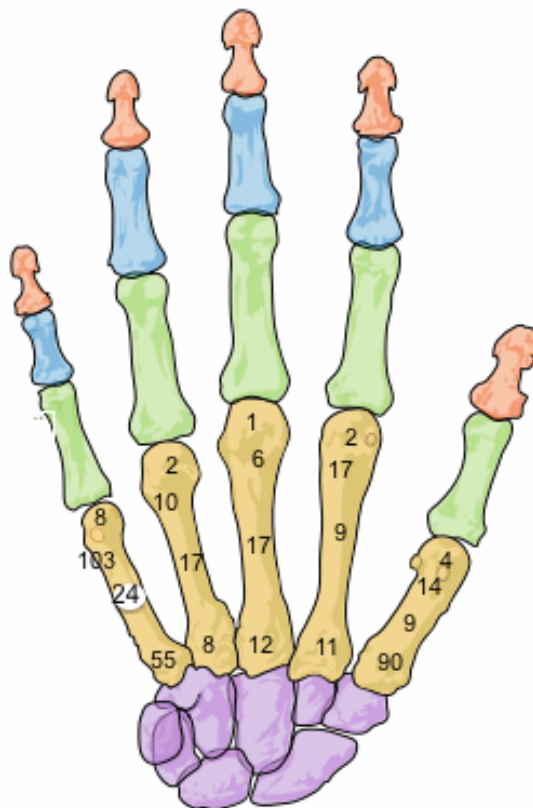


Abbildung 33 Lokalisation aller 419 Frakturen und deren Häufigkeit.

Die Hauptverletzungsursache waren Sportunfälle (n=143; 37,2%) gefolgt von Stürzen (n=115, 29,9%) und Verkehrsunfällen (n=46, 12,0%). In 44 Fällen (11,5%) war ein Raufhandel Ursache der Fraktur und in 36 Fällen (9,4%) lagen sonstige Verletzungsursachen wie z.B. Kontakt mit Gegenständen, Hängenbleiben etc. vor.

Bei den Verkehrsunfällen überwogen Fahrradstürze (n=22), gefolgt von Mopedunfällen (n=16) und Autounfällen (n=1). In 7 Fällen wurde die Art des Verkehrsunfalles nicht genauer dokumentiert. Ballsportunfälle kamen in 53 Fällen vor und sonstige Sportunfälle lagen in 85 Fällen vor und fünf Mal war Kampfsport Ursache für eine Mittelhandfraktur. Stürze in der Ebene ereigneten sich in 78 Fällen. 24 Mal kam es zu einem Sturz aus weniger als zwei Metern und drei Mal ereignete sich ein Sturz aus mehr als zwei Metern. In 10 Fällen wurde die Sturzhöhe nicht näher dokumentiert.

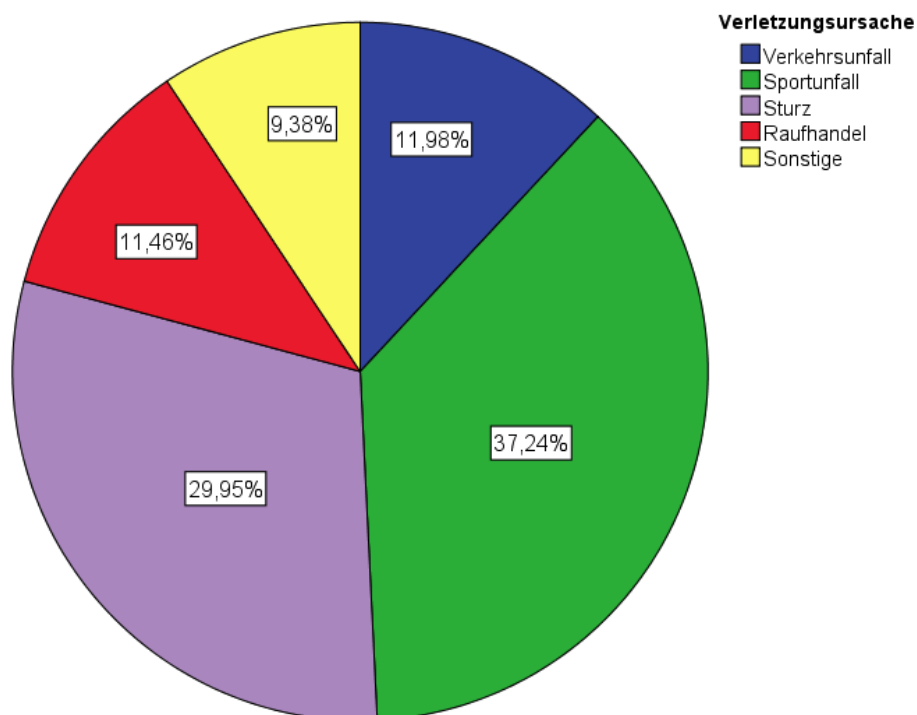


Abbildung 34 Verletzungsursachen.

Die konservative Therapie überwog mit 89,32% (n=343) gegenüber der operativen Versorgung (n=41, 10,68%).

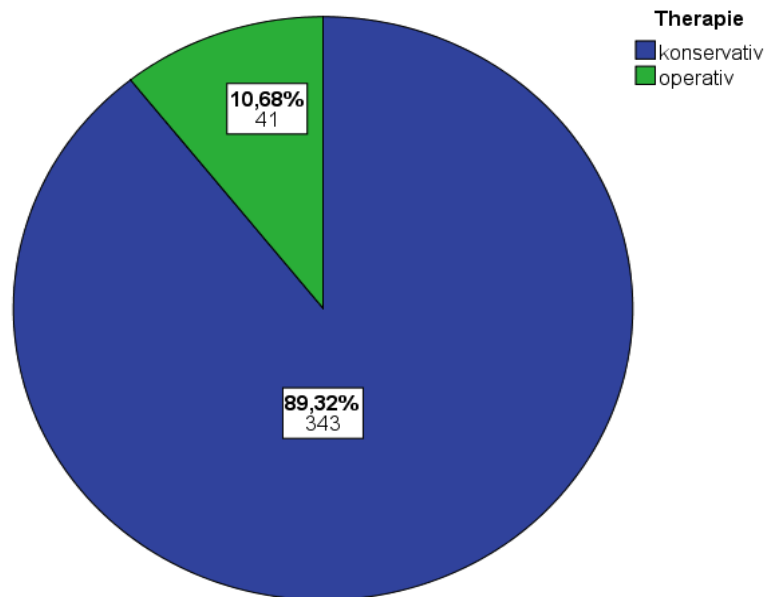


Abbildung 35 Therapieoptionen - konservativ vs. operativ.

Bei den konservativen Verfahren wurde in 181 Fällen (52,9%) eine angegipste Fingerschiene, in 87 Fällen (25,5%) eine palmare Unterarmgipslonguette, in 62 Fällen (18,2%) wurde ein Repositionsgips (dh. Fingereinschlussgips in Intrinsic-Plus-Stellung) und in fünf Fällen (1,6%) wurde eine angewickelte Fingerschiene angewendet. In drei Fällen (0,9%) wurde ein St. Moritzgips, in je zwei Fällen (0,6%) wurde eine Dynacast-Unterarmschiene mit Fingerauflage und in einem Fall (0,3%) wurde eine dorsale Unterarmgipslonguette angelegt.

Die Gipsbefristung lag im Mittel bei 19,42 Tagen und reichte von 3 bis 49 Tagen.

Von den 41 operativ versorgten Fällen wurden 30 (73%) mit Kirschnerdrähten versorgt, acht (20%) erhielten Platten und/oder Schrauben und drei (7%) Fälle wurden mittels elastisch-stabiler intramedullärer Nagelung versorgt.

19 PatientInnen erhielten zwei Kirschnerdrähte, zehn PatientInnen erhielten einen Kirschnerdraht und bei einem Kind wurden drei Spickdrähte verwendet. Insgesamt wurden 34 Frakturen mit Kirschnerdrähten versorgt. Der Durchmesser reichte von 1,0mm-1,6mm. In drei Fällen (10%) wurde eine

Komplikation/funktionelle Beeinträchtigung nach Kirschnerdrahtosteosynthese dokumentiert.

1. Fall: Bei der Versorgung einer Basisfraktur des Daumens mit zwei Kirschnerdrähten in der Stärke von 1,6mm wurde eine postoperative Einschränkung der Abduktion dokumentiert. Diese Fraktur stand in Kombination mit einer Endgliedamputation des Zeigefingers. In diesem Fall wurden die Drähte nach 30 Tagen entfernt. Des Weiteren traten Parästhesien im Stumpf des Zeigefingers auf.
2. Fall: Fraktur des Os metacarpale II und Basisfraktur des Daumens. Die Fraktur des Os metacarpale I wurde operativ stabilisiert. Verwendet wurde ein Spickdraht in der Stärke von 1,0mm. Die Reposition des Daumens war durch Narbengewebe eingeschränkt.
3. Fall: Es handelte sich um Beschwerden des linken Daumens nach einer Basisfraktur, die mit Hilfe zweier Kirschnerdrähte in der Stärke von 1,4mm osteosynthetisch versorgt wurde. Nach 19 Tagen erfolgte die Entfernung des Metalls. Die Beschwerden wurden auf eine Überlastung zurückgeführt.

In drei Fällen wurden elastisch-stabile intramedulläre Nägel angewendet. In zwei Fällen handelt es sich um eine subkapitale Fraktur des Os metacarpale V der rechten Hand. Beim dritten Patienten handelte es sich um eine subkapitale Fraktur des Os metacarpale V der linken Hand. Verletzungsursache war in allen drei Fällen ein Sportunfall. Diese Frakturen wiesen eine Dislokation nach palmar (50° und $2 \times 60^\circ$) auf und wurden mit Hilfe eines elastisch-stabilen intramedullären Nagels mit einem Durchmesser von 2mm versorgt. Die Metallentfernung erfolgte nach 160, 184 bzw. 244 Tagen. In einem Fall wurde eine selbstlimitierende postoperative Streckhemmung nach einem Anästhesieblock dokumentiert. Motorik, Durchblutung und Sensibilität waren unauffällig. In den anderen beiden Fällen lag keine Komplikation vor.

Acht PatientInnen erhielten Platten und/oder Schrauben. Im Gesamten wurden bei diesen acht PatientInnen 13 Frakturen versorgt. Vier Fälle wurden mit Hilfe von Schrauben osteosynthetisiert.

- Bei einem 15-Jährigen mit Schafffrakturen des Os metacarpale III und IV wurden fünf Kortikalisschrauben aus Titan in der Stärke von 2,0mm und einer Länge von 10-12mm verwendet.
- Ein 17-Jähriger mit einer Schafffraktur des Os metacarpale III und IV erhielt 4 Kortikalisschrauben aus Titan in der Stärke von 2,0mm und einer Länge von 10-14mm. Eine Metallentfernung bei Beschwerden wurde vereinbart.
- Die Basisfraktur eines 15-jährigen Patienten wurde mit Hilfe einer Kortikalisschraube aus Titan in der Stärke von 2,0mm und einer Länge von 20mm versorgt. Wegen subjektiver Beschwerden im Schraubenbereich wurde diese nach 48 Tagen entfernt.
- Im Fall eines 17-Jährigen wurde eine Daumenbasisfraktur mit zwei Kortikalisschrauben in der Stärke von 2,0mm und einer Länge von 16-18mm osteosynthetisiert. Die Metallentfernung erfolgt nach 400 Tagen.

Die Frakturen von vier PatientInnen wurden durch Platten und Schrauben stabilisiert. In keinem der vier Fälle kam es zu Komplikationen.

- Eine Schafffraktur des Os metacarpale V eines 18-Jährigen wurde mit einer 6-Lochplatte aus Titan versorgt.
- Die Daumenbasisfraktur eines 15-Jährigen wurde mit einer MiniT-Platte und sechs Kortikalisschrauben stabilisiert. Die Metallentfernung erfolgte nach 158 Tagen.
- Bei einem 13-Jährigen mit einer Schafffraktur des Os metacarpale II und einer Basisfraktur des Os metacarpale III wurde wegen fehlender Stabilität ein offenes Verfahren gewählt. Die Frakturen wurden mit Hilfe einer 6-Lochplatte und vier Kortikalisschrauben stabilisiert. Die Metallentfernung erfolgte nach 365 Tagen.

- Ein 16-Jähriger erlitt eine Basisfraktur des Os metacarpale III und Trümmerfrakturen der Ossa metacarpalia IV und V. Die Frakturen der Ossa metacarpalia IV-V wurden mit 13 Kortikalisschrauben aus Titan in der Stärke von 2,0mm und einer Länge von 10-16mm, einer 2,0mm LC-DCP (6 Loch, Titan) und einer 2,0mm Mini-T-Platte (2+8 Loch, Titan) stabilisiert. Die Implantate wurde nach 910 Tagen entfernt.

5.4 Diskussion

Metakarpalfrakturen sind häufige Frakturen im Kindes- und Jugendalter, deren Diagnostik und Therapie ein umfassendes Wissen rund um das Skelett der Mittelhand im Wachstumsalter - insbesondere der Lage der Wachstumsfugen - verlangt.

Wie schon in anderen Studien konnten auch wir eine Dominanz des männlichen Geschlechtes [47] sowie der Lokalisation am 5. Mittelhandknochen beobachten, wobei ein Großteil subkapitale Frakturen mit Dislokation des Köpfchens nach palmar [6, 13, 32, 33, 47] darstellen (**Abb. 29, 40, 42**). Hingegen kommen Basisfrakturen überwiegend am Os metacarpale I vor [32]. Hauptverletzungsursache bei Metakarpalfrakturen sind Sportunfälle [47].

Aufgrund des hohen Remodellingpotentials von Kindern und Jugendlichen kann ein Großteil der Frakturen konservativ behandelt werden. Damit werden exzellente funktionelle Langzeitergebnisse erzielt. Gündvoraussetzung für eine adäquate und altersgerechte Behandlung ist das Wissen um die Toleranzgrenzen und um das Remodelling.

Hinsichtlich der Toleranzgrenzen gibt es in der Literatur unterschiedliche Angaben. Laut Scott W. Wolfe dürfen bei Schafffrakturen der Ossa metacarpalia II und III Abweichungen in der Sagittalebene von 10-15°, bei Schafffrakturen der Ossa metacarpalia IV und V Achsenabweichungen von 30-40° belassen werden. Bei subkapitalen Frakturen darf bei Achsenabweichungen von 20-45° in der Sagittalebene auf eine Reposition verzichtet werden [13]. Laut v. Laer dürfen Achsenabweichungen in der Sagittalebene bei subkapitalen Frakturen und Schafffrakturen der Metakarpalia II-V von bis zu 30° belassen werden. Bei noch offenen Epiphysenfugen dürfen

Achsenabweichungen in der Sagittalebene bei Frakturen des Os metacarpale I von bis zu 20° belassen werden [6].

Das noch vorhandene Korrekturpotential des wachsenden Knochens spielt ebenso wie der Reifezustand der Epiphysenfuge zum Zeitpunkt des Unfalls eine entscheidende Rolle [35]. Jedoch sind auch dem Remodelling Grenzen gesetzt. Höhergradig dislozierte Frakturen, instabile oder sekundär dislozierte Frakturen, sowie auch Mehrfragmentfrakturen erfordern eine adäquate Reposition und stabile Fixation, um funktionelle Defizite zu vermeiden. Rotationsfehler des frakturierten Knochens müssen ausnahmslos vermieden werden, da sie im Verlauf des Wachstums nicht mehr korrigiert werden können, wobei die Literatur auch eine Operationsindikation bei Achsenabweichungen in der Frontalebene sowie Verkürzungen sieht [6, 13, 37].

Die perkutane Kirschnerdrahtfixation stellt derzeit den Goldstandard bei der operativen Versorgung von Mittelhandfrakturen im Kindes- und Jugendalter dar. So wurden auch an unserer Klinik die Mehrzahl der dislozierten instabilen bzw. sekundär dislozierten Frakturen nach diesem Prinzip versorgt (**Abb. 37** und **41**). Elastisch-stabile intramedulläre Nägel und Platten bzw. Schrauben haben nur eine seltene Indikation im Kindes- und Jugendalter. Es zeigt sich insgesamt jedoch ein gutes funktionelles Outcome bei den operativ versorgten Frakturen und nur eine geringe Komplikationsrate (9,8%).

5.5 Anhang

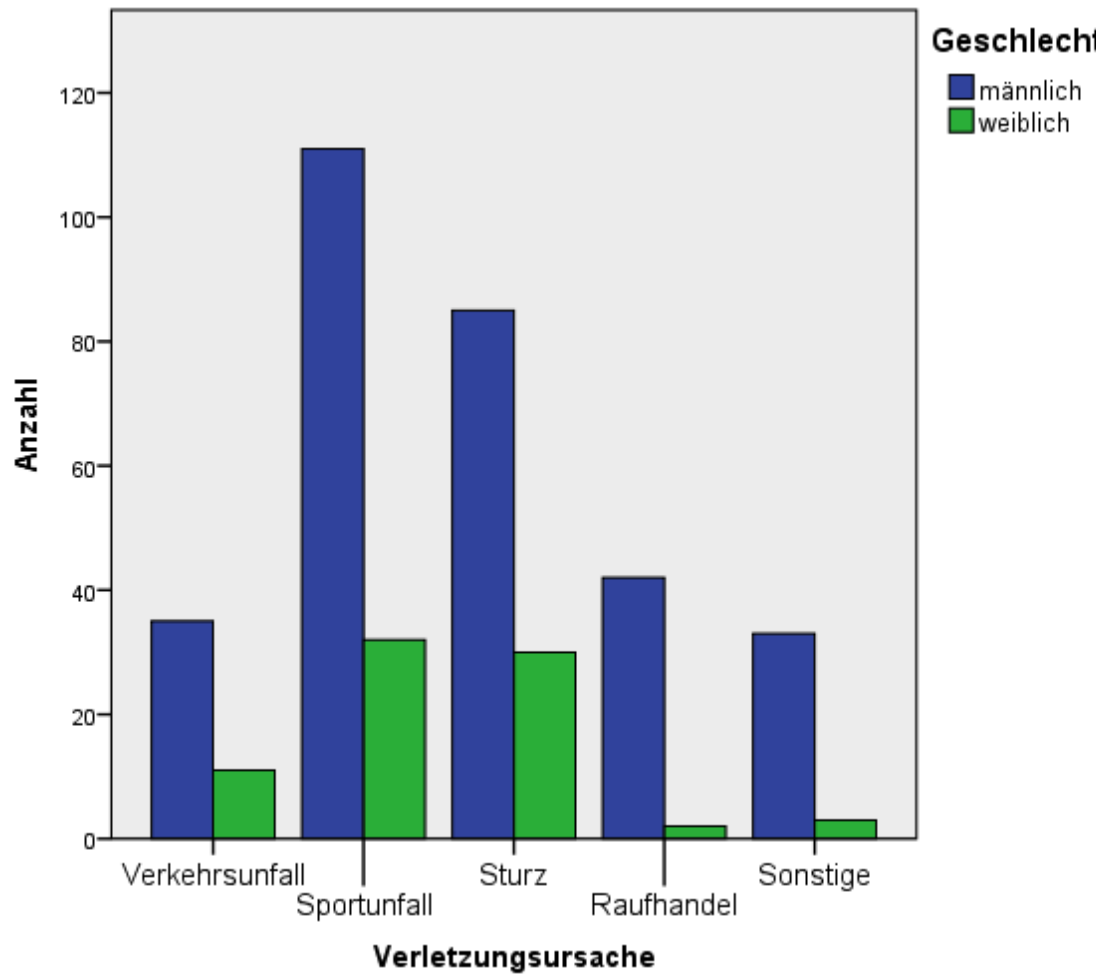


Abbildung 36 Verletzungsursachen bei männlichen und weiblichen PatientInnen.

Knochen/Lokalisation	1	2	3	4	5	gesamt
Köpfchen	4	2	1	2	8	17
Subkapital	14	17	6	10	103	150
Basis	90	11	12	8	55	176
Schaft	9	9	17	17	24	76
	117	39	36	37	190	419

Tabelle 1 Lokalisation und Anzahl aller 419 Mittelhandfrakturen.



Abbildung 37 Daumenbasisfraktur mit Luxation bei einem 13-jährigen Jungen. Stabilisation der Fraktur mit zwei Kirschnerdrähten in der Stärke von 1,2mm. Die Metallentfernung erfolgte nach 26 Tagen.



Abbildung 38 Spiralfraktur des Os metacarpale II und III bei einem 11-jährigen Jungen. Die Fraktur wurde mit einer palmaren Unterarmgipslonguette versorgt, die Gipsbefristung betrug 31 Tage.



Abbildung 39 Eine nicht dislozierte Basisfraktur des Os metacarpale V eines 13-jährigen Jungen. Die Fraktur ereignete sich beim Sport. Die Therapie erfolgte mit einer angekippten Fingerschiene für 19 Tage.



Abbildung 40 Eine um 20° in der Sagittalebene dislozierte subkapitale Fraktur des Os metacarpale V. Die Fraktur wurde mit einer angekippten Fingerschiene für 14 Tage versorgt.



Abbildung 41 13-jähriges Mädchen. Basisfraktur des Os metacarpale V mit Dislokation und Gelenkbeteiligung. Die Fraktur ereignete sich bei einem Sturz. Perkutane Kirschnerdrahtosteosynthese in der Stärke von 1,2mm. Metallentfernung nach 21 Tagen.

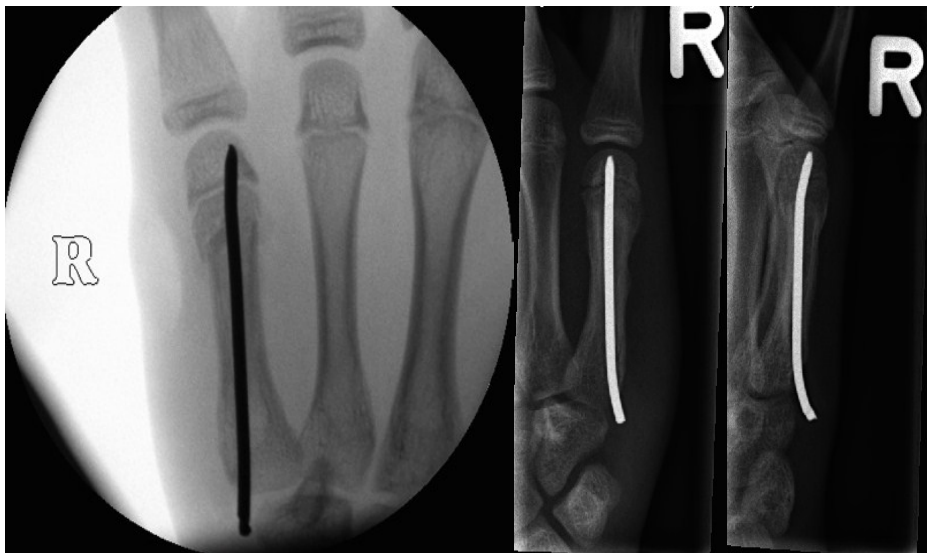
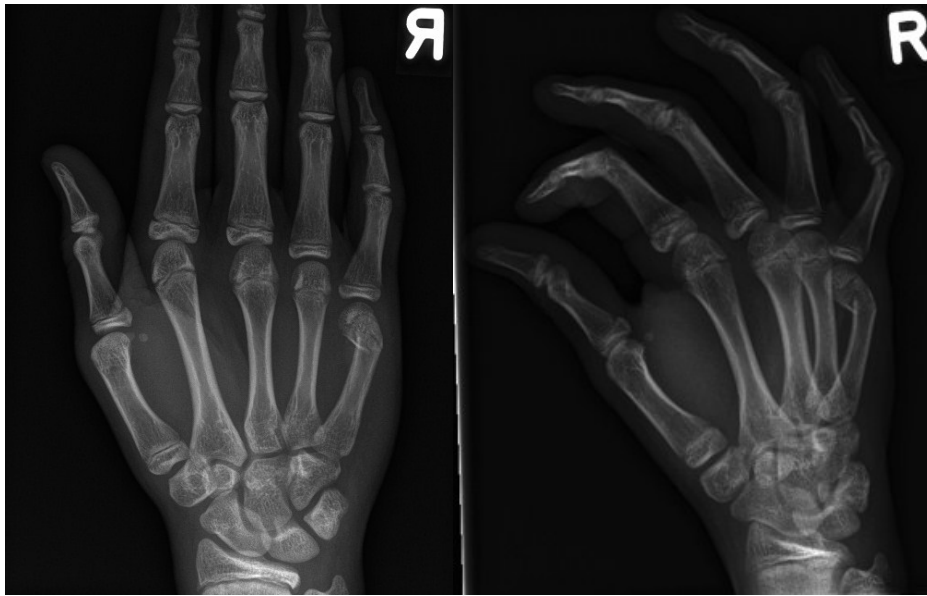


Abbildung 42 Prä- und Postoperative Bilder einer subkapitalen Fraktur des Os metacarpale V bei einem 15-Jährigen. Verkippung nach palmar um 60°. Osteosynthese mit elastisch-stabilem intramedullärem Nagel in der Stärke von 2mm. Die Metallentfernung erfolgte nach 160 Tagen.

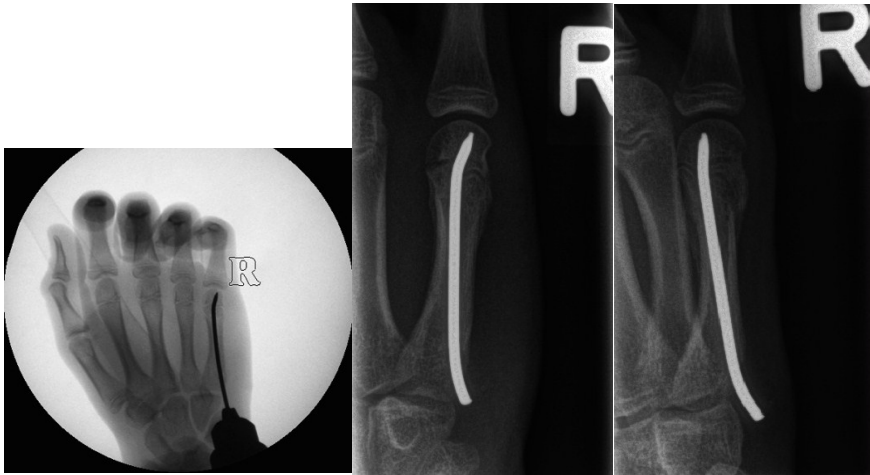
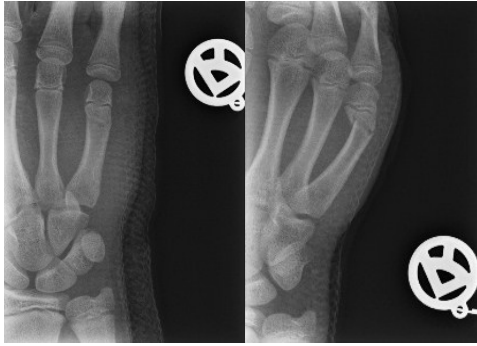


Abbildung 43 Subkapitale Fraktur des Os metacarpale V eines 15-Jährigen mit einer Abkipfung nach palmar um 50°. Die Fraktur ereignete sich beim Sport. Osteosynthese mit einem elastisch-stabilen intramedullären Nagel in der Stärke von 2mm. Die Metallentfernung erfolgte nach 244 Tagen. Die letzten beiden Bilder wurden nach der Metallentfernung aufgenommen.

6 Literaturverzeichnis

- [1] Waldeyer, J. F. (2009). *Waldeyer Anatomie des Menschen, 18. Auflage* (18. Auflage ed.). Berlin: Walter de Gruyter GmbH & Co. KG.
- [2] W. Böcker, H. D. (2008). *Pathologie* (4. Auflage ed.). München: Elsevier GmbH, Urban & Fischer Verlag.
- [3] Sadler, T. W. (2008). *Medizinische Embryologie* (11 ed.). Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG.
- [4] Schünke, M. (2014). *Topografie und Topografie des Bewegungssystems* (2. Auflage ed.). Stuttgart: Georg Thieme Verlag GmbH.
- [5] Gerhard Aumüller, J. E. (2014). *Duale Reihe Anatomie* (3 ed.). Georg Thieme Verlag.
- [6] L.v. Laer, R. K. (2012). *Frakturen und Luxationen im Wachstumsalter* (6. Auflage ed.). Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG.
- [7] O.-A. Festge, J. R. (2000). *Trauma und Berufskrankheit* (Vol. II). Greifswald: Springer-Verlag.
- [8] Platzer, W. (2009). *Taschenatlas Anatomie Bewegungsapparat* (10. Auflage ed., Vol. 1). Stuttgart: Georg Thieme Verlag GmbH KG.
- [9] A. Hafferl, W. T. (1969). *Lehrbuch der topografischen Anatomie* (3. Auflage ed.). Berlin: Springer-Verlag.
- [10] W. Dauber, H. F. (2008). *Bild-Lexikon der Anatomie* (10. Auflage ed.). Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG.

- [11] R. Hepp, H. D. (2004). *Orthopädisches Diagnostikum* (7. Auflage ed.). Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG.
- [12] Towfigh, H. L. (2011). *Handchirurgie* (Vol. 2). Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag GmbH.
- [13] Scott W. Wolfe, W. C. (2012). *Green's Operative Hand Surgery SIXTH EDITION* (6. Auflage ed.). Churchill, Livingstone: ELSEVIER.
- [14] V. Bühren, M. K. (2011). *Checkliste Traumatologie* (7. Auflage ed.). Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG.
- [15] F.J. Schneider, W. L. (8 2013). Posttraumatische Komplikationen am kindlichen Sprunggelenk. *Der Orthopäde* (42), pp. 665-678.
- [16] Niethard, F. U. (2009). *Kinderorthopädie* (2. Auflage ed.). Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG.
- [17] Shital N. Parikh, M. V. (19. Dezember 2012). Complications of Elastic Stable Intramedullary Nailing in Pediatric Fracture Management. (A. A. Surgeons, Ed.) *THE JOURNAL OF BONE AND JOINT SURGERY, INCORPORATED* (94-A).
- [18] Sink EL, G. J. (25. Oktober 2005). Complications of pediatric femur fractures treated with titanium elastic nails: a comparison of fracture types. *Journal of Pediatric Orthopedics* , p. 577.
- [19] www.synthes.com. (n.d.). Retrieved 17. September 2014 from www.synthes.com:
<http://www.synthes.com/MediaBin/International%20DATA/016.000.207.pdf>

- [20] Aamer Nisar, A. B. (März 2013). Complications of Elastic Stable Intramedullary Nailing for treating long bone fractures. *Journal of Orthopedics* , pp. 17-24.
- [21] Jacques Griffet, J. L.-D. (August 2011). Elastic stable intramedullary nailing of tibial shaft fractures in children. *Journal of Children's Orthopedics* , pp. 297–304.
- [22] Dietz, H. S. (1997). *Intramedulläre Osteosynthese im Wachstumsalter*. München: Urban & Schwarzenberg.
- [23] Muessig, J. (2011). <http://edoc.ub.uni-muenchen.de>. Retrieved 15. September 2014 from Universitätsbibliothek der Ludwig-Maximilian Universität München: <http://edoc.ub.uni-muenchen.de/13154/>
- [24] Doz. Dr. Annelie-Martina Weinberg, C. C. (16. November 2008). Elastisch-stabile intramedulläre Marknagelung (ESIN) von Unterarmfrakturen. (U. u. Vogel, Ed.) *Operative Orthopädie und Traumatologie* (20), pp. 285-296 .
- [25] Slongo, T. (1995). *Die Frakturen an Unterarm und Hand, Behandlung von Mittelhandfrakturen*. Wiesbaden: Universum Verlag.
- [26] Slongo, D. T. (16. November 2008). Antero- und retrograde elastisch-stabile Markraumschienung (ESIN) bei Humerusfrakturen im Kindesalter. (U. u. Vogel, Ed.) *Operative Orthopädie und Traumatologie* (20), pp. 373-386.
- [27] Richard A. K. Reynolds, J. E.-M. (13. Februar 2012). Intramedullary nails for pediatric diaphyseal femur fractures in older, heavier children: early results. (S. Verlag, Ed.) *Journal of Childrens Orthopedics* (6), pp. 181-188.
- [28] Müller M.C., W. K. (2013). Elastic Titanium Nails for Minimally Invasive Intramedullary Splinting of Metacarpal Fractures. *Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie* (151), pp. 525-531.

- [29] Hsu LP, S. E. (April 2011). Complications of K-wire fixation in procedures involving the hand and wrist. *Journal of Hand Surgery* .
- [30] C.C. Hasler, L. v. (9 2000). Pathophysiologie posttraumatischer Deformitäten der unteren Extremität im Wachstumsalter. *Der Orthopäde* (29), pp. 757-765.
- [31] Alpar, E. K. (1986). Growth plate stimulation by diaphyseal fracture. *Acta Orthopaedica Scandinavica* (57), pp. 135-137.
- [32] Alexander P Sivit, E. P. (30. Juli 2013). Pediatric hand injuries: essentials you need to know. *Am Soc Emergency Radiol* (21), pp. 197-206.
- [33] Justus Lieber, B. H.-J. (13. März 2012). Elastic Stable Intramedullary Nailing of Pediatric Metacarpal Fractures. *European Journal of Pediatric Surgery* , pp. 305-310.
- [34] Marzi, I. (2006). *Kindertraumatologie*. Darmstadt: Steinkopff Verlag.
- [35] Ariel A Williams, H. V. (März 2013). Pediatric hand and wrist injuries. *Current Reviews in Musculoskeletal Medicine* (6), pp. 18-25.
- [36] Low CK, W. H. (1995). A Cadaver Study of the effects of dorsal angulation and shortening of the metacarpal shaft on the extention and flexion force ratios of the index and little fingers. *Journal of Hand Surgery* (20), pp. 609-613.
- [37] A.-M. Weinberg, D. S. (2010). *Unfallchirurgie bei Kindern: Kompendium der Kindertraumatologie*. Köln: Deutscher Ärzte Verlag.
- [38] Seung Hwan M.D., S. K. (2012). Prospective Multicenter Trial of Modified Retrograde Percutaneous Intramedullary Kirschner Wire Fixation for Displaced Metacarpal Neck and Shaft Fractures. *Plastic and Reconstructive Surgery* (129), 694-703.

- [39] Birndorf MS, D. R. (April 1997). Metacarpal fracture angulation decreases flexor mechanical efficiency in human hands. *Plastic and Reconstructive Surgery* , 4 (99), pp. 1079-1083.
- [40] Riazuddin Mohammed, M. Z. (19. Juli 2011). Percutaneous elastic intramedullary nailing of metacarpal fractures: Surgical technique and clinical results study. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research* , 6 (37).
- [41] Hastings H II, S. B. (1984). Hand fractures in children. A statistical analysis. *Clinical Orthopaedic and Related Research* (188), pp. 120-130.
- [42] Ee Ming Chew, A. K. (8. May 2012). Hand Fractures in Children: Epidemiology and Misdiagnosis in a Tertiary Referral Hospital. *Journal of Hand Surgery* , pp. 1684-1688.
- [43] Arumugam Rajesh, A. K. (2001). Hand Fractures: A Study of Their Site and Type in Childhood. *Clinical Radiology* (56), pp. 667-669.
- [44] Georg Kelsch, C. U. (24. Juli 2004). Intramedullary k-wire fixation of metacarpal fractures. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery* , pp. 523-526.
- [45] Sigurd Pechlaner, H. H. (1998). *Operationsatlas Handchirurgie*. Georg Thieme Verlag.
- [46] Rudigier, J. (2006). *Kurzgefasste Handchirurgie* (5. Auflage ed.). Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG.
- [47] Bhende MS, D. L. (Oktober 1993). Hand injuries in children presenting to a pediatric emergency department. *Annals of Emergency Medicine* , 22 (10), pp. 1519–1523.

[48] Martin M. Kaiser, K. T.-M. (2009). Intramedullary nailing for metacarpal 2–5 fractures. *Journal of Pediatric Orthopaedics B* (18), pp. 296–301.

[49] Kuntscher M, B. J. (2002). Functional bracing after operative treatment of metacarpal fractures. *Unfallchirurg* (105), S. 1109–1114.