

Aus dem Universitätsklinikum Münster

Klinik und Poliklinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie

- Direktor: Univ.- Prof. Dr. med. Michael J. Raschke -

**Die Therapie der kindlichen Unterarmschaft- und distalen
Unterarmfrakturen - Eine retrospektive Studie zur
Evaluation konservativer und operativer
Behandlungsregime**

INAUGURAL-DISSERTATION

zur

Erlangung des doctor medicinae dentium

der medizinischen Fakultät

der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster

vorgelegt von Beckmann, Christian

aus Emsdetten

2006

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der
Westfälischen Wilhelms-Universität Münster

Dekan: Univ.- Prof. Dr. Heribert Jürgens

1. Berichterstatter: Priv. - Doz. Dr. med. Marc Schult

2. Berichterstatter: Priv. - Doz. Dr. med. Alexander Joist

Tag der mündlichen Prüfung: 16.03.2006

Aus dem Universitätsklinikum Münster
Klinik und Poliklinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie
- Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Michael J. Raschke -
Referent: Priv.- Doz. Dr. med. Marc Schult
Koreferent: Priv.- Doz. Dr. med. Alexander Joist

Zusammenfassung

Die Therapie der kindlichen Unterarmschaft- und distalen Unterarmfrakturen - Eine retrospektive Studie zur Evaluation konservativer und operativer Behandlungsregime

Beckmann, Christian

In einer retrospektiven Studie wurden die konservativen und operativen Behandlungsmethoden am kindlichen Unterarmschaft und am distalen Unterarm nach Fraktur hinsichtlich der Indikationsstellung, der Komplikationen und des Outcomes evaluiert. An der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster sind in der Zeit von 1981 bis 2002 86 Kinder (n=86) mit 33 Unterarmschaftfrakturen, 21 distalen Radiusfrakturen und 32 kompletten, distalen Unterarmfrakturen behandelt worden. Das Durchschnittsalter betrug 10,76 Jahre (4-16) und der Follow up-Median 91,5 Monate (6-261).

Es wurde die Effizienz der Bündel-Nagelung bei Unterarmschaftfrakturen im Vergleich zum Kollektiv mit Plattenosteosynthesen sowie konservativen Therapien analysiert. Bei distal gelegenen Frakturen wurden statt der Bündel-Nagelungen Kirschner-Draht-Osteosynthesen analysiert. Im Rahmen einer Nachuntersuchung wurden mehrere objektive Daten sowie die subjektive Einschätzung der Patienten über das Behandlungsergebnis erhoben.

Am Unterarmschaft zeigten sich nach Bündel-Nagelungen hinsichtlich der Komplikationsrate, des postoperativen Bewegungsausmaßes, sowie des Outcomes bessere Ergebnisse als nach Plattenosteosynthesen oder konservativen Methoden. Konservative Methoden zeigten hingegen bei den meisten distal gelegenen Frakturen gute Ergebnisse, operative Behandlungsvarianten mussten jedoch in besonderen Fällen herangezogen werden.

Tag der mündlichen Prüfung: 16.03.2006

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
Abkürzungsverzeichnis	7
1) Einleitung	9
1.1 Hintergrund	9
1.2 Anatomie des Unterarms	9
<i>1.2.1 Gelenkmechanik</i>	9
<i>1.2.2 Muskeln der Unterarmbewegungen</i>	11
<i>1.2.3 Leitungsbahnen im Unterarmbereich</i>	12
1.3 Definitionen und Klassifikationen von kindlichen Unterarmfrakturen	13
1.4 Frakturmorphologie	15
<i>1.4.1 Nomenklatur der Unterarmschaftfrakturen</i>	15
<i>1.4.2 Nomenklatur der distalen Radiusfrakturen</i>	17
<i>1.4.3 Nomenklatur der kompletten, distalen Unterarmfrakturen</i>	18
<i>1.4.4 Nomenklatur der Gelenkfrakturen</i>	18
1.5 Kindliche Unterarmschaftfrakturen	20
1.6 Kindliche, distale Unterarmfrakturen	20
1.7 Mechanismus der Frakturheilung	21
<i>1.7.1 Störung der Frakturheilung und Komplikationen</i>	22
<i>1.7.2 Frakturbegleitende Verletzungen und Komplikationen</i>	23
1.8 Die Therapie kindlicher Unterarmfrakturen	26
<i>1.8.1 Die Therapie der kindlichen Unterarmschaftfrakturen</i>	26
<i>1.8.2 Die Therapie der kindlichen, distalen Radiusfrakturen</i>	31
<i>1.8.3 Die Therapie der kindlichen, kompletten, distalen Unterarmfrakturen</i>	35
2) Material und Methodik	40
2.1 Patienten	40
2.2 Behandlungsstatistik	42
2.3 Kriterien	44
2.4 Methoden	49
3) Ergebnisse	52

3.1 Die Frakturkonsolidierungszeiten	52
3.1.1 <i>Die Konsolidierungszeit-Medianwerte der Unterarmschaftfrakturen</i>	52
3.1.2 <i>Die Konsolidierungszeit-Medianwerte der distalen Radiusfrakturen</i>	53
3.1.3 <i>Die Konsolidierungszeit-Medianwerte der kompletten, distalen Unterarmfrakturen</i>	53
3.2 Komplikationen	54
3.3 Das Outcome bei den drei Frakturkollektiven	59
3.3.1 <i>Das Outcome nach Unterarmschaftfrakturen</i>	59
3.3.2 <i>Das Outcome nach distalen Radiusfrakturen</i>	62
3.3.3 <i>Das Outcome nach kompletten, distalen Unterarmfrakturen</i>	63
3.4 Der DASH-Score und Follow up nach Unterarmschaftfrakturen	65
3.4.1 <i>DASH-Score nach Unterarmschaftfrakturen</i>	66
3.4.2 <i>Follow up nach Unterarmschaftfrakturen</i>	66
3.5 DASH-Score und Follow up nach distalen Radiusfrakturen	67
3.5.1 <i>DASH-Score nach distalen Radiusfrakturen</i>	67
3.5.2 <i>Follow up nach distalen Radiusfrakturen</i>	67
3.6 DASH-Score und Follow up nach kompletten, distalen Unterarmfrakturen	68
3.6.1 <i>DASH-Score nach kompletten, distalen Unterarmfrakturen</i>	68
3.6.2 <i>Follow up nach kompletten, distalen Unterarmfrakturen</i>	68
3.7 Das funktionelle Endergebnis nach eigener, klinischer Untersuchung	69
3.7.1 <i>Eigene, klinische Untersuchung des Kollektivs der Patienten nach Unterarmschaftfrakturen</i>	69
3.7.2 <i>Eigene, klinische Untersuchung des Kollektivs der Patienten nach distalen Radiusfrakturen</i>	73
3.7.3 <i>Eigene, klinische Untersuchung des Kollektivs der Patienten nach kompletten, distalen Unterarmfrakturen</i>	73
3.8 Das Outcome speziell nach konservativer Therapie	75
3.8.1 <i>Tolerierte Restachsabweichungen bei konservativen Therapien</i>	75
3.8.2 <i>Belassene Seit-zu-Seit-Verschiebungen bei konservativen Therapien</i>	76
4) Diskussion	77
5) Literaturverzeichnis	86
6) Anhang	I
6.1 Patientenbrief	I

6.2 Patienten-Untersuchungsbogen	III
6.3 DASH-Score	V
7) Lebenslauf	IX
8) Danksagung	XI

Abkürzungsverzeichnis

Aa. = Arteriae

A = Arteria

AAHS = American Association for Hand Surgery

AAOS = American Academy of Orthopedic Surgeons

Abb. = Abbildung

ASPRS = American Society for Plastic and Reconstructive Surgery

ASSH = American Society for Surgery of the Hand

bzw. = beziehungsweise

cm = Zentimeter

ca. = circa

DASH = Disability of Arm Shoulder and Hand

dist. = distal

EBG = Ellenbogengelenk

Epic. lat. = Epicondylus lateralis

Epic. med. = Epicondylus medialis

ESIN = Elastic Stable Intramedullary Nailing

et al. = et altera

etc. = et cetera

evtl. = eventuell

frz. = französisch

ggf. = gegebenenfalls

HG = Handgelenk

inkl. = inklusive

kompl. = komplett

Lig. = Ligamentum

mm = Millimeter

Mm. = Musculi

M. = Musculus

Nn. = Nervi

n = Anzahl

N. = Nervus

o.g. = oben genannt

OP = Operation

Proc. = Processus
P/S = Pronation/Supination
PF/DE = Palmarflexion/Dorsalextension
RD/UD = Radialduktion/Ulnarduktion
Rr. = Rami
R. = Ramus
s.o. = siehe oben
sog. = so genannt
Tab. = Tabelle
TENS = Titan Elastic Nails
u.a. = und andere
UA = Unterarm
UKM = Universitätsklinikum Münster
u./o. = und/oder
u. U. = unter Umständen
vs. = versus
Vv. = Venae
V. = Vena
WWU = Westfälische Wilhelms-Universität
z.B. = zum Beispiel

1) Einleitung

1.1 Hintergrund

Unterarmfrakturen gehören zu den häufigsten Frakturen des Kinder- und Jugendlichenalters [4]. Die meisten der vielfältigen Ursachen dafür sind Spiel- und Sportunfälle [16, 36]. Die Lokalisation kann proximal, distal und im Schaftbereich sein, wobei dieser ebenfalls in proximales, mittleres und distales Drittel unterschieden wird. Hinzu kommen eher seltenere, das Gelenk beteiligende Frakturen, die das Ellenbogen- oder Handgelenk betreffen können.

Vom Typus her können Frakturen komplett oder inkomplett (sog. Grünholzfrakturen), verschoben oder nicht verschoben, offen oder geschlossen und mit Begleitverletzungen vergesellschaftet sein.

Die meisten kindlichen Unterarmfrakturen können konservativ behandelt werden, da kleinere verbleibende Achsenfehlstellungen oder Dislokationen durch Remodellingvorgänge im weiteren Wachstum meist spontan ausgeglichen werden [4, 9, 42, 74, 78].

Es ist jedoch bei einigen kindlichen Unterarmfrakturen keine ausreichende Retention durch alleinige Gipsimmobilisation zu erzielen. Besonders bei den Unterarmschaftfrakturen und den instabilen Brüchen mit erheblicher Dislokation sind häufig mehrere Nachrepositionen erforderlich.

Verbleibende Fehlstellungen führen dann vor allem bei älteren Kindern zu funktionell unbefriedigenden Ergebnissen. Besonders ist dahingehend die Einschränkung der Unterarmrotation zu nennen.

Um dies zu vermeiden, ist für die Gruppe von instabilen Frakturen und Frakturen bei älteren Kindern eine operative Behandlung indiziert.

Jeder Behandlungsweg von Unterarmfrakturen muss generell immer einer strengen Indikation unterliegen und sollte erst nach einem Abwägen von Aufwand und Nutzen sowie aller Risiken für das Kind eingeschlagen werden.

1.2 Anatomie des Unterarms

1.2.1 Gelenkmechanik

Der Unterarm grenzt sich nach proximal durch das Ellenbogengelenk zum Oberarm und durch das Handgelenk nach distal zur Hand ab. Das Ellenbogengelenk teilt man in drei Teilgelenke auf. Das Humeroulnargelenk und das Humeroradialgelenk bilden zusammen ein Scharniergelenk und

zusammen mit dem proximalen Radioulnargelenk ergibt sich ein Drehscharniergelenk. Das Ligamentum anulare radii und die Membrana interossea antebrachii halten die beiden Unterarmknochen proximal eng beieinander und verhindern die Ab- und Adduktion der Unterarmknochen von der Längsachse der gestreckten oberen Extremität.

Eine Gelenkkapsel überspannt die Enden aller drei Knochen, die Ursprungsfelder der Unterarmmuskeln liegen jedoch extrakapsulär am Epicondylus medialis und lateralis humeri.

Für Stabilität im Ellenbogengelenk sorgen drei Bänder: Das Lig. collaterale ulnare verbindet den medialen Epicondylus des Humerus mit der Ulna, das Lig. collaterale radiale zieht vom Epicondylus lateralis humeri zum Radius und das o.g. Lig. anulare radii läuft circumferent um den Radiuskopf herum und setzt vorne und hinten an der Ulna an.

Die Bewegungen im Scharniergelenk sind Beugung und Streckung des Unterarmes gegen den Oberarm. Nach der Neutral-Null-Methode kann bis zu 150° gebeugt und meist 5° - 10° überstreckt werden. Die Maximalbeugung wird durch die Weichteilhemmung limitiert. Die physiologische Streckung endet, wenn die Spitze des Olecranon in die Fossa olecrani greift.

Die Bewegungen im Drehgelenk sind die Pro- und Supination des Unterarmes. Bei der Supination liegen Elle und Speiche parallel zueinander, bei der Pronation schwingt sich der Radius über die Ulna.

Im gestreckten Zustand bildet die Längsachse zwischen Ober- und Unterarm einen nach außen offenen Winkel von ca. 170° .

Die Articulatio radioulnaris distalis wird gebildet durch die Circumferentia articularis des Caput ulnae und der Incisura ulnaris des Radius, die miteinander artikulieren. Auch hier überspannt eine dehnbare Kapsel das Gelenk. Der faserknorpelige „Discus articularis“, der zwischen dem Proc. styloideus (ulnae) und der ulnaren Seite des Radius liegt, dient als Gelenkscheibe für Elle und Speiche und füllt den Spaltraum zwischen Caput ulnae, Os triquetrum und einem Teil des Os lunatum aus.

Gegen Längsverschiebungen der beiden Unterarmknochen gegeneinander wirkt die derbe, Membrana interossea antebrachii, deren Fasern vom Radius schräg nach distal-medial zur Ulna laufen. An ihr haben außerdem viele Unterarmmuskeln ihren Ursprung.

Die Chorda obliqua ist ein strangförmiges Band, das durch den entgegengesetzten Zug zur Faserrichtung der Membrana interossea antebrachii die maximale Supination bremst. Supination und Pronation können mit annähernd gleichen Winkelwerten durchgeführt werden ($90^\circ - 0^\circ - 90^\circ$). Die beiden Gelenke, die an der Pro- und Supinationsbewegung beteiligt sind, gehören zum Typ Articulatio trochoidea mit einem Freiheitsgrad.

Die geringere Lageveränderung des Radius bei Umwendbewegung findet proximal statt. Dort dreht sich das Caput radii in seiner Ringführung und distal gleitet die Incisura ulnaris des Radius um die Circumferentia articularis der Ulna. Die Ulna bewegt sich dabei kaum.

In so genannter Diagonalstellung zeigt die Handfläche nach unten und beide Unterarmknochen überkreuzen. Bei der Grundstellung sind Radius und Ulna parallel zueinander.

Das den Unterarm nach distal begrenzende Gelenk ist die Articulatio radiocarpalis, das proximale Handgelenk. Die Gelenkpfanne wird aus der Facies articularis carpalis des Radius und dem Discus articularis gebildet. Die proximale Handwurzelknochenreihe bildet den Gelenkkopf: Das Os scaphoideum, das Os lunatum und das Os triquetrum.

Es handelt sich um ein Ellipsoidgelenk mit zwei Freiheitsgraden, das ebenfalls durch eine Kapsel und straffe Bänder stabilisiert wird [75].

1.2.2 Muskeln der Unterarmbewegungen

Für die Beugung und Streckung im Ellenbogengelenk zeigt sich eine Vielzahl an Muskeln verantwortlich.

Generell kann man sagen, dass Muskeln, die ventral der transversal verlaufenden Bewegungsachse liegen, für eine Beugung im Ellenbogengelenk sorgen und Muskeln, die dorsal dieser Bewegungsachse liegen, für eine Streckung.

Das muskuläre Verhältnis zwischen Flexoren und Extensoren liegt etwa bei 3:2, wodurch erklärt wird, weshalb das Ellenbogengelenk in Ruhestellung meist leicht gebeugt ist.

Die Achse, um welche die Pro- und Supinationsbewegung läuft, wird durch eine Gerade vom Caput radii zum Caput ulnae gebildet [75].

1.2.3 Leitungsbahnen im Unterarmbereich

Die beiden arteriellen Strombahnen des Unterarms entspringen in der Ellenbeuge der A. brachialis.

Die A. radialis, die die Verlaufsrichtung der A. brachialis fortsetzt, läuft über den M. pronator teres hinweg, um dann zwischen M. flexor carpi radialis und M. brachioradialis in die radiale Gefäß-Nervenstraße zu gelangen.

Ihren Puls kann man am Radiokarpalgelenk gut tasten („Radialispuls“). Über die „Tabatiere“ gelangt sie palmar in den tiefen Hohlhandbogen.

Die A. ulnaris nimmt ihren Verlauf mit Begleitvenen und dem N. ulnaris entlang des M. flexor carpi ulnaris. Unter der Palmaraponeurose geht sie in den oberflächlichen Hohlhandbogen über.

Die nervösen Versorgungsbahnen im Schulter- und Armbereich entspringen dem Plexus brachialis. Den Unterarm erreichen davon folgende Äste:

Der N. medianus gelangt unter der Aponeurosis m. bicipitis brachii zum Unterarm.

Sein Hauptziel ist die sensible Versorgung der ersten 3,5 Finger von palmar und die dorsale Haut der Endglieder über die Nn. digitales palmares proprii.

Beim Ausfall dieses Nerven kommt es im Handbereich zur so genannten „Schwurhand“, da die Finger I-III im Bereich ihrer Endglieder nicht mehr gebeugt werden können. Der Faustschluss ist ebenso ausgeschlossen und der Daumen steht in maximaler Adduktionsstellung („Affenhand“).

Daumen und Kleinfinger können nicht mehr in Kontakt gebracht werden („Daumen-Kleinfinger-Probe“ nicht möglich).

Der N. ulnaris gelangt über die mediale Oberarmseite über den Sulcus n. ulnaris des Humerus zum Unterarm und versorgt sensibel die Grund- und Mittelglieder der ulnaren 2,5 Finger, wobei die Endglieder von palmar aus versorgt werden.

Ebenfalls versorgt er die Haut an der ulnaren Seite der Hohlhand und - mit einer Anastomose des N. medianus - die Haut der ulnaren 1,5 Finger einschließlich der Dorsalseite der Endglieder. Beim Ausfall dieses Nerven zeigt sich das Phänomen der „Krallenhand“: Das bedeutet eine Überstreckung in den Fingergrundgelenken bei gleichzeitiger Beugung in den Mittel- und Endgelenken insbesondere des 4. und 5. Fingers. Ab- und Adduktion der einzelnen Finger voneinander gelingen kaum noch, die Ulnardeviation der Hand ist eingeschränkt und der Faustschluss unvollständig. Die Daumen-Kleinfinger-Probe ist auch hier negativ.

Der N. radialis spaltet sich bereits in der Ellenbeuge in einen tiefen und in einen oberflächlich gelegenen Ast auf. Der tiefe Ast (N. radialis profundus) zieht durch den M. supinator zur Streckergruppe des Unterarms, welche er innerviert. Dieser Nerv ist gerade bei proximal lokalisierten Radiusfrakturen und einer eventuellen Plattenosteosynthese gefährdet. Über die radiale Gefäß-Nervenstraße zieht ein Ast zur dorsalen Handfläche und innerviert die Haut, sowie die Grund- und Mittelglieder der radialen 2,5 Finger. Die Endglieder werden von palmar erreicht.

Ein Ausfall dieses Nerven führt zur so genannten „Fallhand“, da die Extensionsmöglichkeit der Hand ausbleibt. Der Faustschluss ist nicht mehr in voller Stärke möglich. Aktive Streckung ist durch einen Ausfall des M. triceps brachii nicht möglich und die Supination kann nur bei gebeugtem Ellenbogengelenk erfolgen [75].

1.3 Definitionen und Klassifikationen von kindlichen Unterarmfrakturen

Abhängig von der Lokalisation wird in distal-metaphysäre Frakturen, Brüche des distalen, mittleren und proximalen Schaftbereichs, sowie ellenbogennahe Frakturen eingeteilt. Sonderformen sind die Kombinationsverletzungen unter Beteiligung des proximalen oder distalen radioulnaren Gelenks (Monteggia- oder Galeazzi-frakturen) [27]. Die meisten kindlichen Frakturen im metaphysären Bereich sind Wulst- oder Stauchungsbrüche, die infolge axialer Gewalteinwirkung mit Eintauchung der Spongiosa sowie der dünnen Kortikalis entstehen. Kindliche Grünholz- oder Biegungsbrüche können in der Meta- und Diaphyse lokalisiert sein. Bei der Grünholzfraktur ist die Kortikalis konvexseitig durchgebrochen, während sie auf der konkaven Seite lediglich angebrochen ist und vom Periost elastisch fixiert wird. Zudem gibt es vollständig dislozierte Frakturen.

Dislokationstypen:

- **Dislocatio ad axim:** Achsenknickung
- **Dislocatio ad latus:** Seitenknickung
- **Dislocatio ad peripheriam:** Drehfehler
- **Dislocatio ad longitudinem**
 - cum contractione:** Verkürzung
 - cum distractione:** Verlängerung

Einteilung des Weichteilschadens nach Tscherne und Oestern [58]:

Der „Weichteilschaden nach Tscherne und Oestern“ [58] ist ein Score zur Klassifikation des Weichteilschadens bei Frakturen. Der Score umfasst vier Schweregrade für geschlossene (G 0, G I, G II, G III) und offene (O I, O II, O III, O IV) Frakturen.

Geschlossene Fraktur (ohne offenen Weichteildefekt):

- **G 0:** Unbedeutende Weichteilverletzung
- **G I:** Oberflächliche Schürfung oder Kontusion durch Fragmentdruck von innen
- **G II:** Tiefe kontaminierte Schürfung, Muskelkontusion, drohendes Kompartmentsyndrom
- **G III:** Ausgedehnte Hautkontusion, Quetschung oder Zerreißung der Muskulatur, manifestes Kompartmentsyndrom

Offene Fraktur (offener Weichteildefekt):

- **O I:** Fragmentdurchspießung durch die Haut von innen nach außen (punktförmige Verletzung)
- **O II:** Ausgedehnte Weichteilverletzung durch Gewebekontusion (v.a. von außen nach innen)
- **O III:** Ausgedehnte Weichteilzerstörung (tiefere Strukturen: Muskeln, Gefäße, Nerven) mit freiliegender Fraktur
- **O IV:** Subtotale Amputation (Extremität hängt nur noch an einer Weichteilbrücke)

1.4 Frakturmorphologie

Die Bruchformen wurden in der so genannten AO-Klassifikation (AO = Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen) festgelegt [54]. Es handelt sich um eine alphanumerische Einteilung, bei der die Lokalisation der Fraktur und die Prognose mit Typ und Gruppe korrelieren.

1.4.1 Nomenklatur der Unterarmschaftfrakturen

AO-Klassifikation [54]:

(Eine allgemein gültige bzw. akzeptierte Einteilung der Frakturen im Wachstumsalter liegt derzeit nicht vor. Die Internationale Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen (AOI) wird in Kürze eine auf der Erwachsenenklassifikation der AO aufbauende Einteilung der Frakturen im Wachstumsalter bei Kindern vorstellen, die in ihren Prinzipien den Anforderungen an eine moderne Frakturenklassifikation (Darstellung der Verletzungsschwere, Therapierichtlinien, Prognose) gerecht werden soll [76].)

A1: Einfache Fraktur der Ulna, Radius intakt:

- .1 schräg
- .2 quer
- .3 mit Dislokation des Radiusköpfchens (Monteggia)

A2: Einfache Fraktur des Radius, Ulna intakt:

- .1 schräg
- .2 quer
- .3 mit Dislokation des distalen Radioulnargelenks (Galeazzi)

A3: Einfache Fraktur beider Knochen:

- .1 Radius, proximales Drittel
- .2 Radius, mittleres Drittel
- .3 Radius, distales Drittel

B1: Keilfraktur der Ulna, Radius intakt:

- .1 intakter Keil
- .2 fragmentierter Keil
- .3 mit Dislokation des Radiusköpfchens (Monteggia)

B2: Keilfraktur des Radius, Ulna intakt:

- .1 intakter Keil
- .2 fragmentierter Keil
- .3 mit Dislokation des distalen Radioulnargelenks (Galeazzi)

B3: Keilfraktur eines Knochens, einfache- oder Keilfraktur des anderen:

- .1 Ulna-Keil- und einfache Fraktur des Radius
- .2 Radius-Keil- und einfache Fraktur der Ulna
- .3 Ulna- und Radius Keilfrakturen

C1: Mehrfragmentfrakturen der Ulna:

- .1 Doppelfraktur, Radius intakt
- .2 Doppelfraktur, Radius frakturiert
- .3 unregelmäßig

C2: Mehrfragmentfrakturen des Radius:

- .1 Doppelfraktur, Ulna intakt
- .2 Doppelfraktur, Ulna frakturiert
- .3 unregelmäßig

C3: Mehrfragmentfrakturen beider Knochen:

- .1 Doppelfraktur
- .2 Doppelfraktur der eine Knochen, unregelmäßig der andere
- .3 unregelmäßig

1.4.2 Nomenklatur der distalen Radiusfrakturen

Historische Typisierung:

Colles-Fraktur: Extensionsfraktur, Dislokation nach dorsal

Smith-Fraktur: Flexionsfraktur, Dislokation nach palmar

Barton-Fraktur: Intraartikuläre, dorsale Zweifragmentfraktur

Reversed-Barton-Fraktur (Smith II): Intraartikulär, palmares Kantenfragment

Chauffeur-Fraktur: Radialer Keilbruch

AO-Klassifikation [54]:

Typ A: Extraartikulär

A1: Fraktur der Ulna, Radius intakt

A2: Fraktur des Radius, einfach und impaktiert

A3: Fraktur des Radius mehrfragmentär

Typ B: Teilweise intraartikulär

B1: Sagittalfraktur

B2: Dorsalfraktur

B3: Volarfraktur

Typ C: Intraartikulär

C1: artikulär einfach, metaphysär einfach

C2: artikulär einfach, metaphysär mehrfragmentär

C3: artikulär und metaphysär mehrfragmentär

1.4.3 Nomenklatur der kompletten, distalen Unterarmfrakturen

Historische Typisierung: siehe 1.4.2

AO-Klassifikation [54]:

Typ A: Extraartikulär

A1: Fraktur der Ulna, Radius intakt

A2: Fraktur des Radius, einfach und impaktiert

A3: Fraktur des Radius mehrfragmentär

Typ B: Teilweise intraartikulär

B1: Sagittalfraktur

B2: Dorsalfraktur

B3: Volarfraktur

Typ C: Intraartikulär

C1: artikulär einfach, metaphysär einfach

C2: artikulär einfach, metaphysär mehrfragmentär

C3: artikulär und metaphysär mehrfragmentär

Durch eine zusätzliche Zahl von 1-3 am Ende kann die Frakturhöhe vom proximalen Drittel angefangen, angegeben werden.

1.4.4 Nomenklatur der Gelenkfrakturen

Die Wachstumsfuge ist lokalisiert zwischen Epiphyse und Metaphyse. In ihr findet das Wachstum, die knorpelige Umwandlung und schließlich die Verknöcherung statt. Die Apophyse ist die Ansatzstelle für Muskelsehnen.

Generell kann man sagen, dass Epiphysenfugenverletzungen schwer diagnostizierbar sind. Oft zeigt sich klinisch nur ein Ruhe- oder Bewegungsschmerz, eine Schwellung und ein Hämatom. Um Klarheit bei der Diagnosefindung zu bekommen, muss geröntgt werden - zumeist auch die gesunde Gegenseite -, da z.B. Epiphysenstauchungen (Salter-Harris V- Verletzungen) kaum zu erkennen sind.

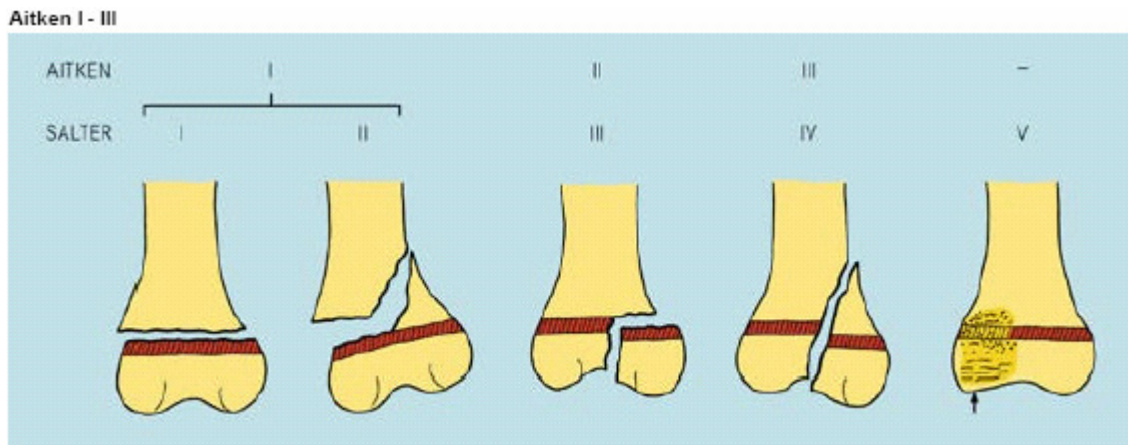


Abb. 1: Fraktуреinteilung nach Aitken bzw. Harris-Salter [1]

Eine einfache Epiphysenfugenlösung durch einen Schermechanismus führt zu einer Aitken I- / Salter-Harris I- Verletzung. Die Wachstumsfuge (Stratum germinativum) wird nicht zerstört und damit ist die Prognose gut.

Eine Aitken I- / Salter-Harris II- Verletzung entsteht durch einen Schermechanismus mit zusätzlicher Biegung bzw. Torsion, wobei die Prognose weiterhin gut ist.

Durch einen operativen Eingriff müssen die Aitken II u. III- / Salter-Harris III u. IV- Verletzungen behandelt werden, da durch den Scher- und Stauchungsmechanismus ein abgesprengtes Fragment wieder korrekt eingestellt werden muss. Die Wachstumszone und das Gelenk sind bei derartigen Verletzungen mitbeteiligt. Eine Salter-Harris V- Verletzung entsteht durch einen Stauchungsmechanismus bei dem die Wachstumszone gequetscht und damit irreversibel zerstört wird. Hieraus resultieren Wachstumsstörungen und Fehlstellungen. Therapeutisch kann eine solche Verletzung nicht mehr kausal behandelt werden

Die Apophyse wird meist im Rahmen einer Ausrissfraktur verletzt. Durch Muskelzug entfernen sich die Bruchenden voneinander. Die Prognose solcher Verletzungen ist meistens gut, da die Apophyse nicht am Längenwachstum der Knochen beteiligt ist.

Allgemeine Komplikationen nach Epiphysenfugenverletzungen sind Wachstumsstörungen, Wachstumshemmungen und Epiphysiolyse.

Fehlwachstum tritt durch halbseitig intakte und halbseitig defekte Wachstumsfugen auf. Ein komplettes Sistieren des Wachstums nennt man Wachstumshemmung. Sie führt zu Minusvarianten beim Vergleich der Unterarmknochen zueinander. Bei starker Dislokation kann es zu der so genannten Epiphysiolyse kommen. Dieser

liegt ein Abriss des nutritiven Gefäßbündels zugrunde, und führt zu einer Nekrose des Knochens.

1.5 Kindliche Unterarmschaftfrakturen

Diese können lageabhängig unterschieden werden in:

- Frakturen des proximalen Drittels
- Frakturen des mittleren Drittels
- Frakturen des distalen Drittels

Schaftfrakturen des Unterarms machen ca. 6 % aller kindlichen Frakturen aus [49].

Eingeteilt werden Unterarmschaftfrakturen in zwei Gruppen:

Einerseits gibt es komplette, vollständig frakturierte und dislozierte Verletzungen von Radius und Ulna, wobei dies Frakturen sind, bei denen die Kortikalis auf beiden Seiten durchbrochen ist. Dies sind immer instabile Frakturen.

Andererseits gibt es, die für das Wachstumsalter typischen Grünholz-Frakturen, bei denen konvexseitig die Kortikalis durchbrochen ist, während sie auf der konkaven Seite lediglich angebrochen ist.

Eine Sonderform ist die sog. „bowing fracture“, bei der kein richtiger Frakturspalt im Röntgenbild zu sehen ist, da es sich hierbei um viele kleinste kortikale Einrisse handelt.

Gestauchte Grünholz-Frakturen sind durch eine Aufwulstung der Spongiosa bei erhaltener Kortikalis beidseits zu erkennen.

Sonderformen bei Schaftbrüchen sind Kombinationsverletzungen. Die sog. Monteggia-Fraktur zeichnet sich durch eine Ulnaschaftfraktur mit Radiusköpfchenluxation und die Galeazzi-Fraktur durch eine (distale) Radiuschaftfraktur mit einer Dislokation des distalen Radioulnargelenks aus.

1.6 Kindliche, distale Unterarmfrakturen

Unterschieden werden isolierte Radiusfrakturen von kompletten, distalen Unterarmfrakturen sowie intraartikuläre von extraartikulären Frakturen. Die distale Radiusfraktur z.B. ist eine häufig auftretende Fraktur beim Menschen (10-25%) mit einem Altersgipfel zwischen sechs und zehn Jahren [3]. Isolierte Ulnafrakturen sind eher selten.

Am distalen Unterarm treten Stauchungsfrakturen wesentlich häufiger auf, als Grünholz-Frakturen, da sich die Kraft beim Sturz longitudinal auf den Knochen durch die Abwehrhaltung der Arme bei einem Sturz überträgt.

Nach dem Unfallgeschehen werden Frakturen bei gebeugtem und bei gestrecktem Handgelenk unterschieden:

Bei den häufigeren Stürzen auf die ausgestreckte Hand (Extensionsfrakturen) werden die handnahen Bruchstücke zum Handrücken hin verschoben. Diese Brüche werden nach ihrem systematischen Erstbeschreiber auch „Colles-Frakturen“ genannt. In einem großen Teil der Fälle besteht gleichzeitig eine Abrissfraktur des Proc. styloideus ulnae. Hier schwanken die Literaturangaben zwischen 34% und 80% [38]. Bei Stürzen auf das gebeugte Handgelenk werden die handnahen Bruchstücke zur Hohlhandseite hin verschoben. Dieser Bruchtyp wird auch als „Smith-Fraktur“ bezeichnet. Wird das untere Bruchstück zur Streckseite hin verschoben, erinnert die Form des Handgelenkes an eine Gabel (auch als „Fourchette-Stellung“ bezeichnet; frz. Fourchette = Gabel). Eine Verschiebung des Bruchstückes nach radial erzeugt eine Form, die an ein Bajonett erinnert.

1.7 Mechanismus der Frakturheilung

Bei der Knochenbruchbehandlung lassen sich zwei unterschiedliche Typen der Frakturheilung beobachten:

Zum einen gibt es die natürliche (sekundäre) Frakturheilung und zum anderen die primäre oder auch angiogene Frakturheilung bei anatomischer Reposition und interner (Platten-) Fixation.

Sekundäre Knochenheilung:

Unter konservativer Behandlung werden die Fragmente des Knochenbruchs adaptiv in Position gehalten, ohne, dass eine absolute Ruhigstellung erzeugt wird. Hierdurch entsteht nach der Organisation des Frakturhämatoms durch Granulationsgewebe unter Beteiligung von Periost, Endost, Knochenzellen und Gefäßen der so genannte Bindegewebskallus.

Dieser wird unter Einbeziehung von Kollagen in einen Knorpelkallus umgewandelt und schrittweise mineralisiert. Es bildet sich unter Proliferation von Gefäßen und

Chondroblasten ein Faserknochen aus, der für zunehmende Stabilität des Kallus sorgt – ein Vorgang, der in eine elastische Eigenstabilität führt.

Nach dieser einige Wochen dauernden Regeneration erfolgt ein Havers'scher Knochenumbau des Frakturkallus an den Fragmentenden durch das Einwachsen von Osteonen mit der Umgestaltung („Remodelling“) des Faserknochenkallus in Lamellenknochen. Diese Wiederherstellung der ursprünglichen äußeren und inneren Struktur des Knochens verläuft über Monate bis Jahre und ähnelt der chondralen Ossifikation an den Epiphysenfugen.

Primäre Knochenheilung:

Diese direkte Ossifikation mit synchronem Knochenauf- und abbau ohne chondrale Zwischenstufen erfolgt unter der Voraussetzung einer absolut stabil fixierten Fraktur in anatomisch korrekter Stellung, wie sie unter bestimmten osteosynthetischen Verfahren erreicht wird.

Klinisch werden jedoch meist Mischformen der natürlichen und der primären Knochenbruchheilung bei osteosynthetisch versorgten Frakturen beobachtet. Hierbei bildet sich unter funktioneller Belastung einer nicht absolut stabilisierten Fraktur ein durch Mikrobewegungen verursachter „Reizkallus“ aus.

1.7.1 Störung der Frakturheilung und Komplikationen

Beide Frakturheilungsprozesse können Störungen unterliegen, die zu einer verzögerten (3-6 Monate) oder sogar zu einer ausbleibenden Heilung (nach mehr als 6-8 Monaten) führen, die man als „Pseudarthrose“ oder „non-union“ bezeichnet. Gerade im Bereich der kindlichen Unterarmschaftfrakturen hängt das Resultat in großem Maße von diesen Knochenheilungsstörfaktoren ab. Locker sitzende Gipsverbände können zu sekundären Dislokationen führen, die unbemerkt zu starken Achsabweichungen oder Pseudarthrosen führen können.

Als lokale Störfaktoren gelten übermäßige mechanische Beanspruchung, die eine Gefäßeinsprossung verhindert sowie fehlende lokale Durchblutung bei Gewebeschäden (nekrotische Knochendefekte, Infektionen, Weichteilschäden u.a.).

Bei übermäßiger mechanischer Beanspruchung kommt es zu einer hypertrophen Pseudarthrose mit fehlender Heilungsreaktion und porotischen Knochenveränderungen. Auch fehlender Kontakt der Fragmentenden durch Distraction, Weichteilinterponat oder bestimmte Frakturformen (Quer- und kurze Schräg-

frakturen, segmentale Trümmerfrakturen) und –lokalisationen erhöhen das Pseudarthrosrisiko.

Hypertrophe Pseudarthrosen werden über eine stabile Fixation und atrophe Pseudarthrosen über eine Resektion des avitalen Knochens und eine Defektauffüllung mit spongiösem Knochentransplantat therapiert. Größere Knochendefekte können z.B. mittels vaskularisiertem Fibulaknochen überbrückt werden. Auch biochemische Substanzen (Wachstumsfaktoren, immunologische Faktoren) sowie Elektro- und Ultraschallstimulation können die Knochenheilung positiv beeinflussen.

1.7.2 Frakturbegleitende Verletzungen und Komplikationen

Die häufigste Komplikation kindlicher Unterarmfrakturen ist eine persistierende Einschränkung der Unterarmrotation. Diese wird von den jungen Patienten durch entsprechende Bewegungen in den angrenzenden Gelenken kompensiert und bleibt deshalb häufig unbemerkt. Auch wenn der Röntgenbefund nicht in allen Fällen mit dem klinischen Bild korreliert [65], so liegen die Ursachen meist in posttraumatischen Fehlstellungen, die bei adäquater Therapie und richtiger Indikationsstellung vermeidbar sein sollten (Fehlrotationen und nicht kompensierbare Abknickungen).

Kindliche Pseudarthrosen nach konservativer Behandlung sind eine Rarität. Sehr selten kann es durch unterschiedlich schnelle Frakturkonsolidierung von Radius und Ulna zur Pseudarthrosenbildung kommen. Ursache kann die schnelle Heilung eines nur durch eine Grünholz-Fraktur betroffenen Knochens sein, der die Heilung des korrespondierenden, komplett frakturierten Knochens verhindert [29].

Häufiger sind Pseudarthrosen nach invasivem Vorgehen. Bei offenen Frakturen mit schwerem Weichteilschaden kann es genau wie nach großzügiger intraoperativer Freilegung (Plattenosteosynthese, Drahtfixation in Diastase) bei interner Stabilisierung aufgrund der gestörten Durchblutung zur Heilungsverzögerung kommen.

Die Re-Fraktur einer behandelten Extremitätenfraktur kann unterschiedlicher Ätiologie sein. Die unwahrscheinlichste Variante ist die des adäquaten Traumas, das zu genau der gleichen Fraktur geführt hat. Häufig führt nach frühzeitiger Gipsabnahme ein inadäquates Trauma zu einer Re-Fraktur. Unter Umständen wurde die Diagnose der Frakturkonsolidation zu früh gestellt oder der Patient hat den Arm zu früh zu stark belastet.

Auch Konsolidierungsstörungen nach dislozierten Grünholz-Frakturen sind möglich. Dabei kommt es an der komplett frakturierten (konvexseitigen) Kortikalis aufgrund von mangelndem Fragmentkontakt bei stärker dislozierten Grünholz-Frakturen nicht mehr zu einer suffizienten Kallusbildung. Dadurch ist auch längere Zeit nach dem Unfall eine potenzielle Re-Fraktur-Gefahr gegeben [79]. Um diese Komplikation zu vermeiden, wird empfohlen, z. B. bei Grünholz-Schaftfrakturen mit mehr als 20° Angulation bei der Reposition auch die Gegenkortikalis zu brechen, um durch die höhere Instabilität eine bessere Kallusbildung zu induzieren. Bei Frakturen mit einem Angulationswinkel unterhalb von 20° kann durch Gipskeilung ein besserer Kontakt der konvexseitigen Kortikalisenden geschaffen werden [43].

Eine unbemerkte sekundäre Dislokation führt - je größer sie ist und je weiter proximal sie gelegen ist - zu unterschiedlich großen Komplikationen, die entweder eine erneute Reposition oder ggf. eine operative Stabilisierung erfordern.

Ehemalige gelenknahe Frakturen können zu so genannten „sekundären post-traumatischen Arthrosen“ führen, falls sich eine Stufe im gerade verheilten Knochen befindet oder die Stellung der Knochen vorübergehend – gerade bei Frakturen im Kindesalter - eine Fehlstellung aufweist.

Der zur Verfestigung einer Frakturstelle auftretende Kallus kann Probleme bereiten, wenn er in überschießendem Maße gebildet wird. Gerade im Bereich der Unterarmknochen kann es durch diesen so genannten „Brücken-Kallus“ oder „Callus luxurians“ wegen der engen Nachbarschaft der Knochen zu einer para-artikulären Spange kommen, die die Beweglichkeit der Knochen in den angrenzenden Gelenken einschränkt. Außerdem können Nerv- oder Gefäß-kompressionen auftreten.

Die Wundinfektion zählt zu den häufigsten Komplikationen nach Frakturen. Mit ca. 5-10% tritt sie nach einer offenen Fraktur auf. Sie kann in manchen Fällen sogar zu einer Osteomyelitis führen [53]. Aus diesem Grund sollten offene Frakturen antibiotisch behandelt werden.

Eine Verletzung von Gefäßen und Nerven im traumatisierten Bereich kann auf den Unfallmechanismus zurückzuführen sein oder iatrogen bei der Versorgung des Patienten entstehen. Handelt es sich um eine Nervkontusion oder –dehnung (Neurapraxie) können sich die Ausfallerscheinungen in Form von sensiblen oder motorischen Defiziten nach Zeiträumen von ca. 6-8 Monaten zurückbilden [53].

Sekundär auftretende Ausfallserscheinungen im Innervationsgebiet eines Nerven nach einer geschlossenen Frakturposition sollten dagegen umgehend exploriert werden.

Gefäßverletzungen müssen verständlicherweise sofort revidiert werden. Ein sich ausbreitendes Hämatom kann zu einer sekundären Nervirritation bis zu dessen irreversiblen Ausfall führen. Zudem können Weichteilnekrosen im Endstromgebiet der Arterien von Extremitäten entstehen, weshalb die Extremitäten letztlich nur noch zu amputieren wären.

Das Phänomen des Kompartment-Syndroms entsteht aufgrund einer Logenraumforderung nach einer inneren Blutung und eines Ödems nach einer Gefäßverletzung. Im Bereich der Unterarmbeuger wird es als Volkmann-Muskelkontraktur bezeichnet.

In einer Studie von Yuan et al. [88] wurde die Inzidenz des Kompartment-Syndroms nach kompletter Unterarmfraktur bei 285 kindlichen Patienten untersucht. 235 geschlossene Frakturen lagen vor. 205 davon wurden geschlossen reponiert und im Gips immobilisiert, kein Kind entwickelte ein Kompartment-Syndrom. 30 Patienten erhielten zusätzlich eine intramedulläre Fixierung, wovon drei (10%) ein Kompartment-Syndrom entwickelten. 50 Patienten erlitten offene Frakturen und wurden mit Debridement, offener Reposition und intramedullärer Fixation behandelt. Davon entwickelten drei Patienten (6%) ein Kompartment-Syndrom. In der Gruppe mit operativem Vorgehen stieg das Risiko, ein Kompartment-Syndrom zu entwickeln, mit der Länge der Operationszeit und dem Gebrauch von intraoperativer Fluoroskopie.

Bei osteosynthetischen Verfahren kann es im Nachhinein zu einem Metallimplantatbruch durch Ermüdung des Materials, durch Frühbelastung oder Fehlbelastung bei Nichtbeachten biomechanischer Prinzipien kommen.

Die Immobilisation einer Extremität allgemein muss auch als mögliche Komplikation angesehen werden, da von ihr Thrombosen mit der Gefahr der Thromboembolie und Drucknekrosen ausgehen können. Zur Dekubitusprophylaxe sollte bei frischem Trauma daher immer erst ein gespaltener Gips oder eine Gipsschiene angelegt werden und eine - zunächst tägliche - Kontrolle anberaumt werden.

1.8 Die Therapie kindlicher Unterarmfrakturen

Die Lehre und Praktizierung der konservativen Frakturbehandlung wurde von Böhler beschrieben [6].

1.8.1 Die Therapie der kindlichen Unterarmschaftfrakturen

Auch heute ist die Unterarmschaftfraktur bei Kindern noch eine Domäne der konservativen Behandlung [44, 85].

Hierbei müssen folgende Korrekturmechanismen und Korrekturgrenzen berücksichtigt werden: Grundsätzlich werden im Bereich des Unterarmschafts Dislokationen nach Frakturen nur eingeschränkt ausgeglichen [76].

Klinische Studien zeigten, dass Seit-zu-Seit-Verschiebungen bei Kleinkindern bis zu einer halben Schaftbreite toleriert werden könnten. Dislokationen in longitudinaler Richtung sollten bis zu einer Verkürzung von 0,5 cm akzeptiert werden können.

Zur Achsabweichung in Frontal- und Sagittalebene sind - wie bei den beiden erstgenannten Dislokationsformen - besondere Altersgrenzen zu berücksichtigen. Im Gegensatz zu anderen Frakturlokalisationen werden die Korrekturgrenzen am Schaft in der Literatur allgemein als niedriger angegeben. Bis zu einem Alter von vier Jahren sind Achsenknicke bis 20° akzeptabel, bei Kindern im Alter über vier Jahren sind nur noch Achsenknicke bis zu 10° zu akzeptieren. Bei Kindern über dem zehnten Lebensjahr ist bei einer Fehlstellung kein wesentliches Remodelling zu erwarten [45]. Hier sollte eine anatomische Stellung der Knochen angestrebt werden.

Besondere Vorsicht ist bei gegenläufigen Achsabweichungen zwischen Radius und Ulna geboten. Darüber hinaus muss berücksichtigt werden, dass, je proximaler die Achsabweichung (fern der distalen Epiphysenfuge) liegt, Korrekturen um so weniger zu erwarten sind. Rotationsfehlstellungen bei Unterarmschaftfrakturen, die oftmals schwierig zu diagnostizieren sind, werden meist nicht spontan korrigiert, so dass in diesem Fall eine korrekte anatomische Reposition gefordert werden muss. Dies kann nur mit Hilfe einer Plattenosteosynthese garantiert werden.

Sollten aber keine besonderen Schwierigkeiten hinsichtlich der Reposition und Immobilisation vorliegen, so kann ein konservativer Therapieweg eingeschlagen werden.



**Abb. 4: Reponierte und immobilisierte Unterarmschaftfraktur
(Quelle: E., P.; Eigenes Patientenarchiv)**

Die adäquate Retention ist der Oberarmgipsverband, der abhängig vom Alter des Kindes für drei bis vier Wochen zu belassen ist, von dem dann ggf. für weitere zwei bis drei Wochen zu einer Unterarmgipschiene gewechselt werden kann.

Sollte sich bei Stellungskontrollen im Verlauf eine korrekturbedürftige Fehlstellung zeigen, besteht z. B. die Möglichkeit einer Gipskeilung oder des Umgipsens. Grünholz-Frakturen mit Abkippen zwischen 10° und 20° lassen sich mit dieser Methode gut sekundär in ihrer Stellung verbessern. Nach primärer Gipsanlage und Zirkulieren sollte der Gips nach etwa einer Woche gekeilt werden, bevor die Konsolidierung der Fraktur zu weit fortgeschritten ist. Eine anschließende radiologische Stellungskontrolle ist obligat.

Ein Gips sollte altersabhängig für etwa vier bis sechs Wochen getragen werden. Röntgenkontrollen sind nach Reposition und Gipsabnahme indiziert. Bei nicht dislozierten Frakturen kann in Absprache mit den Eltern auf unnötige Röntgenkontrollen verzichtet werden.

Nach Gipsabnahme ist eine umgehende Mobilisation möglich. Physiotherapie ist nicht zwingend geboten.

Die Mehrzahl der dislozierten Frakturen ist jedoch - sofern keine stabile Retention nach Reposition erreicht werden kann - operativ zu versorgen:

Als Verfahren stehen die intramedulläre Markraumschienung (Bündel-Nagelung nach Hackethal [25], Prevot-Pinnung, Nancy-Nagelung, Rush-Pinnung, TENS, ESIN, etc.), die Plattenosteosynthese und der Fixateur externe zur Verfügung.

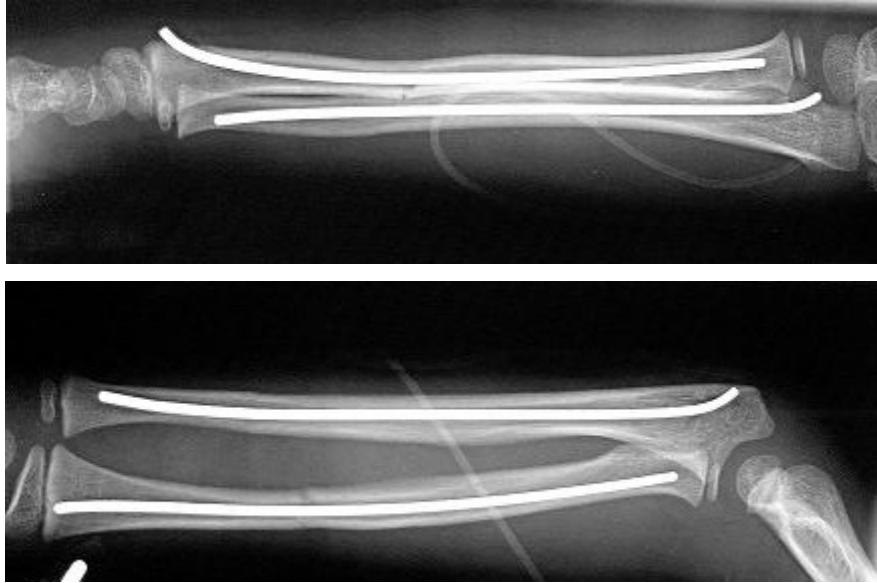
Standardverfahren im Wachstumsalter am kindlichen Unterarmschaft ist heute die intramedulläre Markraumschienung [12, 13, 47, 71, 77, 84, 85]. Sie wird am Radius in aufsteigender Technik, an der Ulna in der Regel absteigend, in den letzten Jahren vermehrt auch in aufsteigender Technik durchgeführt. Bei der aufsteigenden Nagelung an der Ulna ist sorgfältig die Eintrittsstelle zu wählen.

Die anterograde Nagelung des Radius ist wegen der Gefährdung des N. radialis profundus kontraindiziert. Bei distal gelegenen Radiusfrakturen, bei denen mit intramedullärer Schienung keine gute Reposition zu erwarten ist, muss deswegen ein anderes Verfahren gewählt werden: Die Kirschner-Draht-Osteosynthese oder in Ausnahmefällen die Plattenosteosynthese.

Die Verbindung der beiden Knochen über die Membrana interossea antebrachii und die radioulnaren Ligamente erlaubt, den Unterarm bei der intramedullären Schienung als eine funktionelle Einheit anzusehen [13]. Die längs des Frakturspaltes einwirkenden Zug- und Scherkräfte werden durch diese Methode in axiale Kompressionskräfte umgewandelt [7, 37, 64].

Das Prinzip der Bündel-Nagelung geht auf Prof. K.H. Hackethal zurück [25]. Sein 1961 vorgestelltes Verfahren dient der übungstabilen Versorgung von Schaftfrakturen.

Bündel-Nägel waren früher Rundnägel aus einer korrosionsbeständigen Stahllegierung (1,5-2 mm Durchmesser), dann seit 1985 auch aus Titan, meistens 50 cm lang. Das Prinzip beruht auf einer Kombination zwischen dem Versorgen mit elastischen Rush-Pins und der Füllung des Querschnitts mit einer in sich elastischen Schiene [12].



**Abb. 5: Intramedulläre Schienung nach kompletter Unterarmschaftfraktur
(Quelle: P., A.; Eigenes Patientenarchiv)**

Postoperativ ist keine weitere Ruhigstellung erforderlich. In Einzelfällen kann eine angewickelte Unterarmgipsschiene zur Schmerzreduktion in den ersten Tagen dienen. Die Mobilisation kann unmittelbar postoperativ erfolgen.

Die Plattenosteosynthese hingegen ist bei Frakturen im Wachstumsalter am Unterarm nur bestimmten Problemfällen vorbehalten: In Einzelfällen kann sie bei einer Monteggia-Fraktur, bei der die exakte Reposition und Längenwiederherstellung der Ulna erfolgen muss, indiziert sein, sofern dies nicht durch eine intramedulläre Markraumschienung erreicht werden kann. Weitere Indikationen sind z.B. Frakturen, die geschlossen nicht reponiert werden können, Frakturen mit schweren Weichgewebsverletzungen, offene Frakturen sowie Re-Frakturen und die bei Kindern selten auftretenden Pseudarthrosen. Ebenso findet die Plattenosteosynthese bei älteren Kindern Anwendung, wenn deren Epiphysenfugen kurz vor dem Verschließen stehen. Bei richtiger Abwägung der Indikation sind die Ergebnisse nach Plattenosteosynthesen zufriedenstellend [4, 59, 87]. In jedem Fall einer Stabilisierung mit Platten sind jedoch die bekannten Grundregeln einer Plattenosteosynthese am Unterarm (Implantatdimension, Plattenlänge, Plattenpositionierung, Nachbehandlung nach den Kriterien der Übungsstabilität) zu respektieren, sonst sind komplikationsträchtige und problematische Verläufe programmiert.



**Abb. 6: Plattenosteosynthese am Unterarmschaft
(Quelle: M., A.; Eigenes Patientenarchiv)**

Bei den zu verwendenden Materialien gibt es verschiedene Ausführungen:

So genannte DC-Platten (DC = dynamic compression), die auch Spann-Gleitlochplatten genannt werden, zeichnen sich durch eine exzentrische Bohrung aus, wodurch die Schrauben auf einer schiefen Ebene aufeinander zugleiten. Dadurch wird eine dynamische Kompression auf den Frakturspalt ausgeübt.

LC-Platten (LC = limited contact) liegen nicht mehr komplett (sondern nur noch ca. 50%) auf dem Knochen auf. Dies ermöglicht eine bessere Heilung durch weniger Mikrozirkulationsstörungen am Periost.

Heutzutage werden diese oben genannten Platten als LC-DC-Platten verwendet, um beide Vorteile in einer Platte zu vereinen. Besonders geeignet sind dafür winkelstabile Platten, die eine sehr hohe Bruchstabilisierung erreichen. Die Platten allgemein unterscheiden sich ansonsten durch ihre „Anatomie“.

Die Fixation der Platten auf dem Knochen gelingt mit Schrauben, die man in Kortikalis- und Spongiosaschrauben unterscheiden kann. Ihre unterschiedliche Indikation rührt oft auch von der Knochenbeschaffenheit im Operationsgebiet her.

Wegen der Gefahr der Re-Fraktur nach Metallentfernung [11] und der nicht unerheblichen Narben sowie der Notwendigkeit eines großen Zweiteingriffs zur Metallentfernung, hat die Plattenosteosynthese allerdings als Standardverfahren am kindlichen Unterarm nur noch einen geringen Stellenwert. Das postoperative Anlegen einer Gipsschiene ist nicht notwendig. Physiotherapeutische Übungsmaßnahmen können gleich nach der Operation beginnen. Die aus Titan bestehenden Platten müssen nicht unbedingt entfernt werden, liegen allerdings keine Kontraindikationen dafür vor, sollte eine Metallentfernung nach ca. einem Jahr erfolgen.

1.8.2 Die Therapie der kindlichen, distalen Radiusfrakturen

Zu ca. 90 % können die distalen Radiusfrakturen („loco typico“) konservativ behandelt werden [9, 42, 43, 74, 78], da das Korrekturpotenzial beim Wachsenden vor allem am distalen Unterarm (ca. 80% des Längenwachstums) sehr groß ist. Dies hängt jedoch von der Frakturlokalisation, der Abweichung von der anatomischen Stellung nach und ohne Reposition sowie vom Alter des Patienten ab.

Grünholz-Frakturen im metaphysären Bereich des Radius werden sogar fast ausschließlich konservativ behandelt [27]. Die Fraktur besteht zwar aus einer Kombination einer Stauchungs- und Grünholz-Fraktur, bringt aber selten Wachstumsstörungen hervor. Die sehr breite Frakturabstützung am distalen Radius sorgt für genügend Stabilität [43]. Biegungsfrakturen am distalen Radius neigen dagegen eher zu sekundären Dislokationen [43].

Das Alter des Kindes ist allerdings ebenso zu berücksichtigen, da Kinder, die altersabhängig kurz vor dem Schluss ihrer Epiphysenfugen stehen, weniger gute Voraussetzungen für eine eventuell noch nötige Spontankorrektur mitbringen [43].

Ein Oberarmgips mit volarer Vorderarmverstärkung wird mit oder ohne Reposition für drei bis vier Wochen angelegt.

Der Unterarm sollte bei unter Zehnjährigen und muss bei über Zehnjährigen um den achten Tag nach Fraktur geröntgt werden. Bei Dislokationsbefund muss über eine Gipskeilung oder eine operative Drahtspickung nachgedacht werden.



Abb. 7: Distale Radiusfraktur
(Quelle: F.-T., N.; Eigenes Patientenarchiv)



Abb. 8: Distale Radiusfraktur nach der Reposition
(Quelle: F.-T., N.; Eigenes Patientenarchiv)

Bei primär starker Abkipfung wird ein Oberarmgips bis zum Abschwellen (ca. 4 Tage) getragen, der dann zirkuliert wird. Um den achten Tag herum beginnt man mit der Keilung, die bei Patienten jenseits des zehnten Lebensjahres ein ideales Stellungsergebnis der Unterarmknochen hervorbringen sollte. Bei Jüngeren kann die Stellung annähernd anatomisch belassen werden, „da die Spontankorrektur noch greift“.

Kontraindikationen für die konservative Therapie stellen instabile Repositionsergebnisse bei Patienten jeden Alters und stärker dislozierte Frakturen bei Patienten, deren Epiphysenfugen altersbedingt kurz vor dem Verschließen stehen, dar. Hinzu kommen Frakturen, die begleitende Weichgewebsverletzungen aufweisen sowie sekundäre Dislokationen vorheriger konservativer Therapien.

Ein Verfahren, das operativ, aber minimal-invasiv ist, ist die Kirschner-Draht-Osteosynthese. Dabei werden sog. Spickdrähte über den Proc. styloideus radii in den Radius eingeführt, um durch Überbrückung der Fraktur eine Stabilisierung der Bruchfragmente zu erreichen.



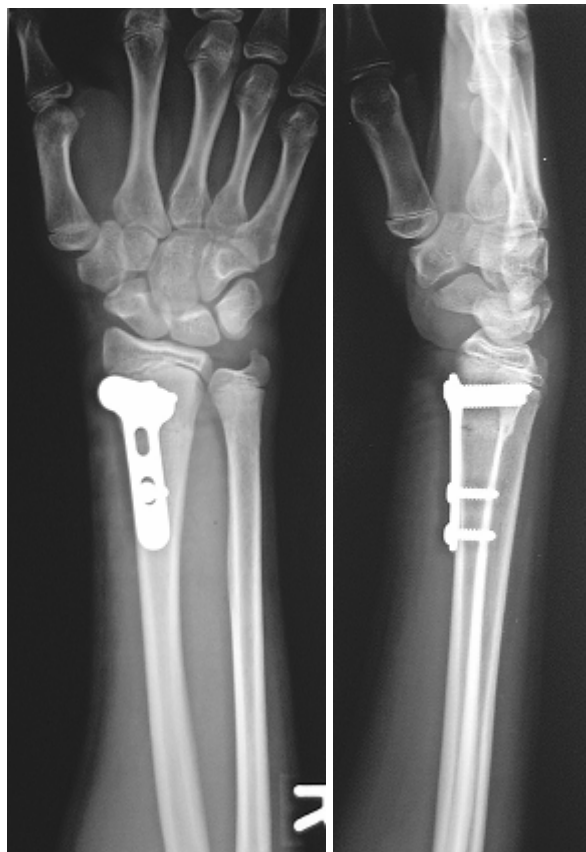
Abb. 9: Spickdrahtosteosynthese am distalen Radius
(Quelle: M., S.-P.; Eigenes Patientenarchiv)

Nach der Operation wird zusätzlich eine dorsale Gipsschiene angelegt, weil durch die Drähte allein meist keine übungsstabile Situation geschaffen wird. Um die Drahtenden sollte ein gipsfreier Hof geschaffen werden, der die Ruhigstellung des Drahtes erlaubt [43].

Ca. sechs Wochen nach der Operation können die eingebrachten Drähte in einem kleinen, ambulanten Eingriff in Lokalanästhesie entfernt werden.

Instabile Repositionsergebnisse oder distale Radiusfrakturen bei älteren Kindern müssen dagegen noch stabiler fixiert werden. Dieses dann durchzuführende Verfahren - die Plattenosteosynthese - ist mit starken Einschränkungen für den Patienten verbunden, da die Platten neben einer relativ starken Alteration des Strecksehnenapparates den Nachteil einer hohen Weichteiltraumatisierung sowohl intra- als auch postoperativ aufzeigen.

Die derzeit zur Stabilisierung distaler Radiusfrakturen eingesetzte 3,5-T-Platte führt zu diesen oben genannten Irritationen.



**Abb.10: Plattenosteosynthese am distalen Radius
(Quelle: S., E.; Eigenes Patientenarchiv)**

Es liegen derzeit jedoch schon erfolgreiche klinische Erfahrungen mit dem Einsatz kleinerer, z.T. winkelstabiler Platten vor.

Das postoperative Anlegen einer Gipsschiene ist allerdings nicht notwendig. Physiotherapeutische Übungsmaßnahmen können gleich nach der Operation beginnen. Die aus Titan bestehenden Platten sollten bei einem Folgeeingriff entfernt werden.

1.8.3 Die Therapie der kindlichen, kompletten, distalen Unterarmfrakturen

Die kompletten, distalen Unterarmfrakturen werden in mehrere Gruppen unterteilt. Es gibt Grünholz-Frakturen am Übergang zwischen Dia- und Metaphyse und undislozierte, abgekippte sowie vollständig dislozierte, metaphysäre Stauchungs- und Biegungsbrüche (inkl. Epiphysenlösungen).

Die Entscheidung sollte frühzeitig getroffen werden, ob eine solche Fraktur der Spontankorrektur überlassen wird oder eine Reposition die Achsenkorrektur ersetzt. Dann sollten allerdings perkutan einzubringende Bohrdrähte zur Hand sein, falls Instabilitäten bei der Reposition eintreten oder - wegen des schon fortgeschrittenen Alters des Patienten - eine anatomisch korrekte Stellung der Knochen gefordert ist.

Die konservative Therapie ist wegen des o.g. etwa 80-prozentigen Wachstumsanteils der distalen Epiphysenfuge am Unterarmflächenwachstum anzustreben. Diese Möglichkeit der Spontankorrektur ermöglicht ein Ausgleichen von Seit-zu-Seit-Verschiebungen und Achsenknicken in der Frontal- und Sagittalebene [10].

Mit Hilfe der Gipskeilung können Achsenknickungen sekundär ebenfalls ausgeglichen werden.

Distale, komplette Grünholz-Frakturen, die konservativ behandelt werden, können Konsolidierungsstörungen an der Konvexseite der Fraktur hervorbringen.

Undislozierte, metaphysäre Stauchungsfrakturen erhalten eine dorsale Unterarmgipsschiene für etwa drei Wochen und heilen zumeist rückstandslos aus.

Bei undislozierten, metaphysären Biegungsfrakturen und Epiphysenlösungen kann u.U. eine sekundäre Dislokation auftreten, die bei Kindern unterhalb des zehnten Lebensjahres mittels einer Röntgenkontrolle nach ca. einer Woche kontrolliert werden sollte, bei Kindern ab dem zehnten Lebensjahr aber kontrolliert werden muss.



**Abb. 11: Konservativ versorgte komplette, distale Unterarmfraktur
(Quelle: G., V.; Eigenes Patientenarchiv)**

Bei Verstärkung der Achsenknickung kann eine Gipskeilung durchgeführt werden. Generell sollte ein Oberarmgips mit volarer Vorderarmverstärkung zur Anwendung kommen, der für ca. drei bis vier Wochen angelegt wird.

Bei Achsenknickungen, die schon unfallbedingt bis zu 40° betragen, sollte sich zuerst um die Schwellung gekümmert werden: Ein Oberarmgips wird angelegt, die Achsabweichung primär belassen. Dieser Gips kann etwa um den vierten Tag geschlossen werden, nach ca. einer Woche beginnt man mit der ersten Gipskeilung am nun völlig abgeschwollenen Arm. Bei Kindern jenseits des zehnten Lebensjahres sollte das Keilungsergebnis wiederum röntgenologisch festgehalten werden.

Bei der Gipskeilung von Kindern unter zehn Jahren muss nicht die absolut anatomische Wiederherstellung der Unterarmknochen, sondern eine tolerable Stellung dieser erreicht werden. Der Oberarmgips sollte vier, mindestens drei Wochen belassen werden und Unterarme, deren Gips gekeilt wurden oder bei denen eine Epiphysenlösung vorlag, sollten röntgenologisch kontrolliert werden. Kinder, die das zehnte Lebensjahr überschritten haben, sollten anatomisch korrekt eingestellt werden, wenn dies rein konservativ nicht möglich erscheint, sollte es operativ mit Osteosynthesematerial angestrebt werden. Ausgeheilte Frakturen in

unbemerkt Fehlstellung können jedoch bei Beurteilung der Epiphysenfugen und noch zu erwartendem Wachstum der Spontankorrektur überlassen werden oder müssen – wenn kein Restwachstum mehr zu erwarten ist - per Korrekturosteotomie korrigiert werden.

Die Kirschner-Draht-Osteosynthese sollte aber nur besonderen Indikationen vorbehalten bleiben. Ein schon fortgeschrittenes, kindliches Alter oder eine Instabilität nach Reposition sind Indikationen zur Kirschner-Draht-Osteosynthese.

Die Bohrdräte werden möglichst steil in den Knochen über den Frakturspalt hinweg „vorgeschlagen“. Bei Bedarf können zwei Drähte gekreuzt eingeführt werden (meist im Radius). Die Ulna kann rein konservativ ausbehandelt werden oder auch sie wird - mit zumeist nur einem Kirschner-Draht - „gespickt“.

Unterhalb des Gipsniveaus und knapp über der Haut werden diese Drähte gekürzt und am Ende umgebogen. Eine Ruhigstellung der Fraktur erfolgt im Oberarmgips [43]. Dieser ist für ca. vier bis fünf Wochen anzulegen, um die Pro- und Supination zu hemmen.



Abb. 12: Komplette, distale Unterarmfraktur nach Kirschner-Draht-Osteosynthese

(Quelle: H., S.; Eigenes Patientenarchiv)

Wenn der Kallus nach der Gipsabnahme indolent geworden ist, kann mit Bewegungsübungen begonnen und nach ca. drei Wochen wieder am Sportunterricht teilgenommen werden. Eine vorübergehende Einschränkung der Pro- und Supination ist meist nach einem Vierteljahr aufgehoben.

Generell muss das Osteosynthesematerial nach konsolidierter Fraktur wieder entfernt werden. Längendifferenzen sind nach Kirschner-Draht-Osteosynthesen nicht zu erwarten [41].

Plattenosteosynthesen bei kindlichen, kompletten, distalen Unterarmfrakturen sind ebenso eine Therapievariante mit zufriedenstellenden Ergebnissen:



Abb. 13: Plattenosteosynthese am Radius bei einer kompletten, distalen Unterarmfraktur

(Quelle: K., D.; Eigenes Patientenarchiv)

Die Smith-fracture beim Kind stellt unter Umständen (z.B. Instabilität) eine Indikation zur Plattenosteosynthese dar. Der Zugang wird meist von dorsal her gewählt und zum Einsatz kommt z.B. eine winkelstabile 3,5 T-Platte im Bereich des

Radius, welche zur Stabilisierung der Ulna-Fraktur ausreicht [30, 31, 52, 67]. Eine intraoperative Dokumentation des Operationsergebnisses mit dem Bildwandler reicht aus.

Bei der Colles-Fraktur wird der Zugang ebenfalls von dorsal gewählt. Bei älteren Kindern mit bereits geschlossenen Wachstumsfugen, die bezüglich ihrer Knochenbruchheilung wie Erwachsene beurteilt werden müssen, ist die Plattenosteosynthese ebenso indiziert.

Während bei der konservativen Behandlung eine Ruhigstellung für vier bis sechs Wochen - abhängig vom Alter des Kindes - erforderlich ist, ist bei Plattenosteosynthesen in der Regel eine frühfunktionelle Behandlung möglich. In der Regel verwenden die Kinder die verletzte Extremität ohne weitere Probleme. Bei Funktionseinschränkungen ist ggf. ergänzende Physiotherapie zu verordnen.

Eine weitere Röntgenkontrolle ist nach vier bis sechs Wochen angeraten, bevor die weitere - vor allem sportliche - Aktivität aufgenommen wird.

Die Metallentfernung wird üblicherweise nach Ablauf eines Jahres durchgeführt. Plattenosteosynthesen sind zur Sanierung von Pseudarthrosen und bei Korrektur Eingriffen anderen Fixationsmethoden überlegen.

Eine abschließende Röntgenkontrolle ist vor der Indikationsentscheidung zur Metallentfernung zu fordern.

2) Material und Methodik

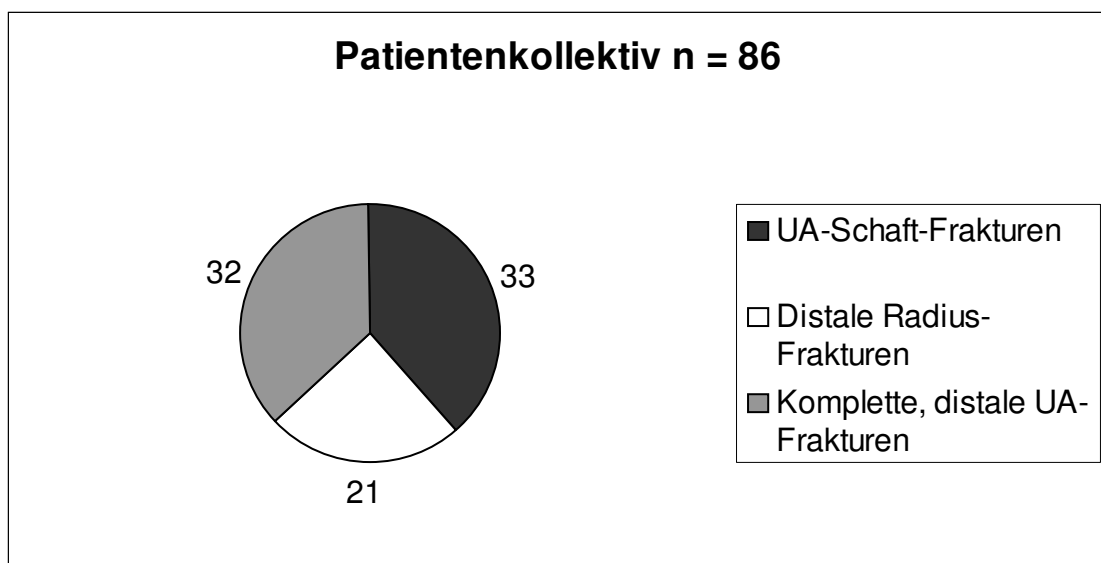
Es sollte die Effizienz der Bündel-Nagelung im Vergleich zu einem Kollektiv mit Plattenosteosynthese-Therapien sowie konservativen Therapien bei kindlichen Unterarmschaftfrakturen dargestellt werden. Es war augenscheinlich, dass die Methode der Plattenosteosynthese trotz einiger Ausnahmen gegen Mitte der 1990´er Jahre von der Methode der Bündel-Nagelung im Bereich des Unterarm-schaftes bei Kindern abgelöst wurde.

Desweiteren wurden kindliche, distale Radius- sowie komplette, distale Unterarm-frakturen bezüglich konservativer und operativer Verfahren einander gegenüber-gestellt.

Da es sich bei diesen drei o.g. Gruppen um ein sehr heterogenes Patientenkollektiv handelte (Alter, Art der Fraktur, Lokalisation der Fraktur, etc.), konnten nicht gänzlich alle Ergebnisse einander gegenübergestellt werden. Separate Vergleiche mussten daher gesondert abgehandelt werden.

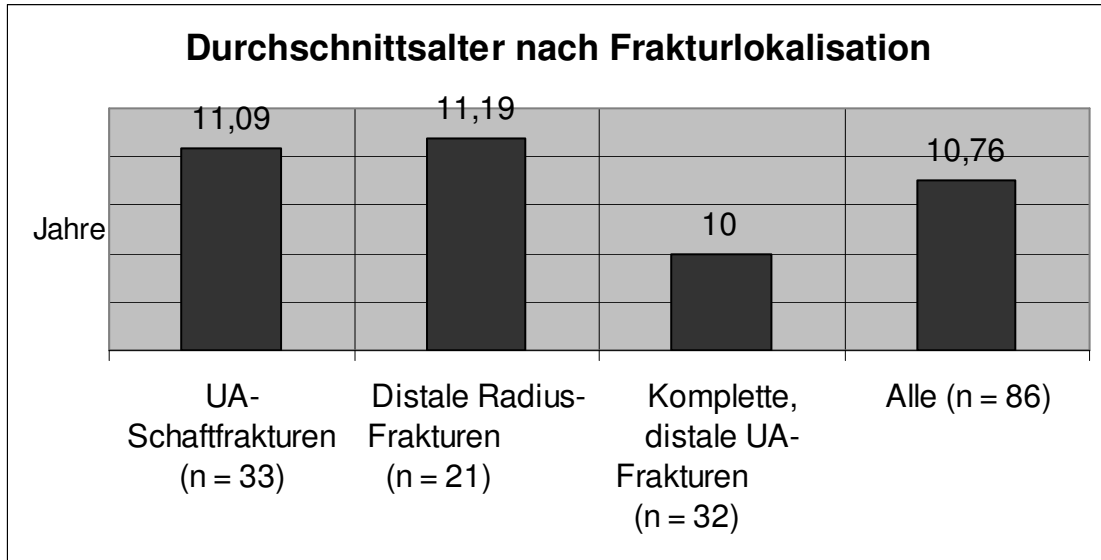
2.1 Patienten

In dieser retrospektiven Studie wurden die Behandlungsergebnisse von 86 Patienten (n=86) im Alter bis 16 Jahre nach Unterarmschaftfrakturen, distalen Radiusfrakturen und kompletten, distalen Unterarmfrakturen ausgewertet, die sich vom 01. Januar 1981 bis zum 31. Dezember 2002 ereigneten und in der Klinik und Poliklinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster behandelt wurden.



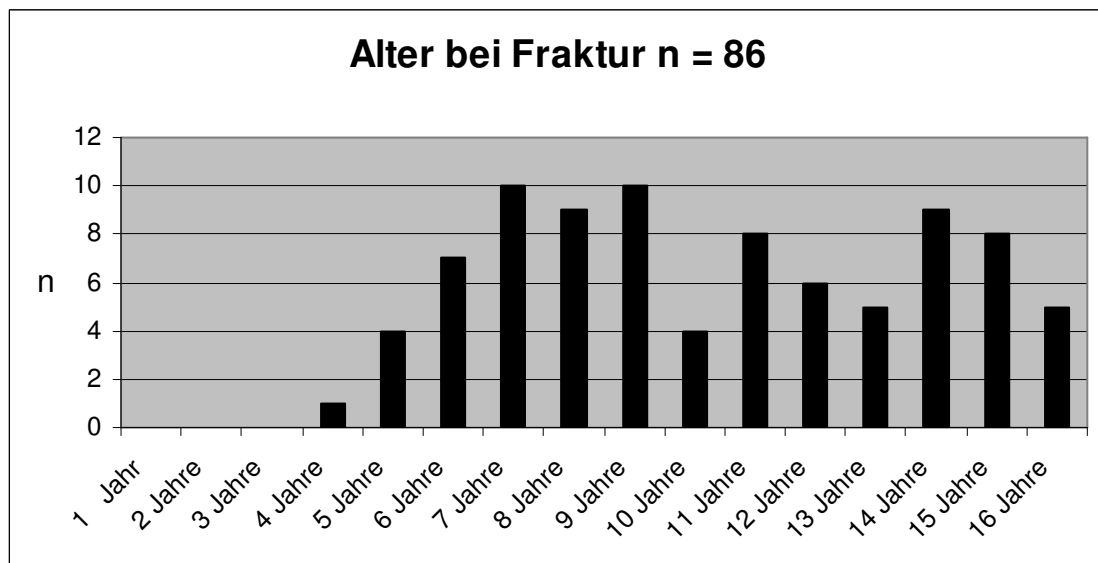
Tab.1: Frakturverteilung im Patientengut

44 Frakturen (51,16%) waren am linken Arm lokalisiert, folglich 42 (48,84%) am rechten. Das Durchschnittsalter aller Patienten lag bei 10,76 Jahren (4-16) und der Follow up-Median aller Patienten bei 91,5 Monaten (6-261) .



Tab. 2: Durchschnittsalter der Patienten je nach Frakturlokalisierung

In dieser Studie liegt der höchste Altersgipfel zum Zeitpunkt der Fraktur im Alter von sechs bis neun Jahren (45,35% aller Frakturen) und der nächstgroße im Alter zwischen 14 und 15 Jahren (20,93% aller Frakturen).



Tab. 3: Altersverteilung bei Fraktur

34 Mädchen (39,53%), die Frakturen erlitten, standen 52 Jungen (60,47%) gegenüber. Das ist ein Verhältnis von 1:1,5.

2.2 Behandlungsstatistik

Unterarmschaftfrakturen

Bündel-Nagelung:

Insgesamt lagen 14 dieser Frakturen (n=15) als komplette Schaftfrakturen vor. Davon wurden bei 13 Patienten auch beide Knochen intramedullär geschient. In einem Fall wurde nur der Radius geschient und die Ulna lediglich reponiert.

Eine Fraktur lag isoliert am Radius vor und nur dieser wurde auch mit Bündel-Nägeln versorgt.

12 dieser Therapien waren Ersttherapien, eine war nach sekundärer Dislokation bei vorangegangener konservativer Therapie indiziert sowie zwei nach frühzeitiger Re-Fraktur. Die vorherigen Ersttherapien davon waren einmal eine konservative und einmal eine Plattenosteosynthese-Therapie.

Plattenosteosynthese:

Alle 12 Unterarmschaftfrakturen, die verplattet wurden, waren komplette Schaftfrakturen.

Bei allen Primärtherapien (n=5) wurden immer beide Unterarmknochen verplattet.

Bei den Plattenosteosynthese-Therapien nach sekundärer Dislokation (n=5) bei vorheriger konservativer Therapie wurden dreimal beide Unterarmknochen verplattet und zweimal nur isoliert die Ulna, da nur sie in diesen beiden Fällen sekundär disloziert war.

Plattenosteosynthesen als Therapie von frühen Re-Frakturen (n=2) nach Konsolidation von ehemaligen kompletten Schaftfrakturen, die konservativ therapiert wurden, wurden immer mit Osteosyntheseplatten an beiden Unterarmknochen vorgenommen.

Die Platten variierten in ihrer Größe von 4-Loch-DC-Platten bis zu 8-Loch-DC-Platten.

Konservative Therapie:

Von den sechs konservativ versorgten Unterarmschaftfrakturen lagen fünf als komplette Frakturen vor, wovon bei einer der Radius nur eine Grünholz-Fraktur zeigte.

Eine Fraktur betraf nur isoliert den Radius.

Distale Radiusfrakturen

Kirschner-Draht-Osteosynthese:

Bei den distalen Radiusfrakturen wurden alle Kirschner-Draht-Osteosynthesen (n=6) des Radius mit jeweils zwei Kirschner Drähten durchgeführt.

Nur eine Therapie war nach sekundärer Dislokation bei konservativer Ersttherapie indiziert. Alle anderen Therapien waren Ersttherapien. Zwei der sechs Drahtspickungen waren offen durchgeführt worden.

Plattenosteosynthese:

Alle Plattenosteosynthesen des distalen Radius (n=2) wurden mit einer 5-Loch-T-Platte mit 4 Schrauben vorgenommen und waren Ersttherapien.

Konservative Therapie:

Alle konservativ versorgten distalen Radiusfrakturen (n=13) konnten geschlossen reponiert werden.

Komplette, distale Unterarmfrakturen

Kirschner-Draht-Osteosynthese:

Die Kirschner-Draht-Osteosynthesen bei kompletten, distalen Unterarmfrakturen (n=11) waren achtmal Ersttherapien und dreimal nach sekundärer Dislokation eingeleitet worden. Davon war eine Ersttherapie ebenso eine Kirschner-Draht-Osteosynthese und zweimal eine konservative Therapie. Eine Osteosynthese war offen durchgeführt worden.

In fünf Fällen wurden beide Knochen gespickt, in weiteren fünf nur der Radius und in einem Fall isoliert die Ulna.

Plattenosteosynthese:

Die Plattenosteosynthesen (n=2) wurden bei kompletten, distalen Unterarmfrakturen nur am Radius durchgeführt. Dies geschah jeweils mit einer 5-Loch-T-Platte mit vier Schrauben. Beide Therapien erfolgten primär.

Konservative Therapie:

Von allen konservativ behandelten kompletten, distalen Unterarmfrakturen (n=19) waren 14 Frakturen primär disloziert, in einem Fall lagen Ulna und Radius und in vier Fällen nur die Ulna als Grünholz-Fraktur vor. Alle Therapien konnten geschlossen durchgeführt werden.

2.3 Kriterien

Einschlusskriterien:

Die Patienten durften zum Zeitpunkt der Fraktur höchstens 16 Jahre alt sein, um auch bei Mädchen zu gewährleisten, dass zumindest noch ein Restwachstum des Unterarms zu erwarten war. Zudem war es Voraussetzung, dass die Therapie in der Klinik und Poliklinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie Münster begonnen, begleitet und beendet wurde.

Ausschlusskriterien:

Patienten, die alio loco primär versorgt wurden und sich dann in der Ambulanz der Uniklinik-Münster vorstellten, wurden nicht in das Kollektiv aufgenommen. Ebenso wurden Patienten ausgeschlossen, die Kombinationsverletzungen (Monteggia-, Galeazzi-Frakturen), ausgedehnte Trümmerfrakturen (Fixateurbehandlungen) sowie gelenkbeteiligende Frakturen erlitten.

Allgemeine Operationsindikationen:

Absolute Indikationen zum operativen Vorgehen waren gegeben, wenn eine Fraktur geschlossen irreponibel oder instabil war. Zudem lag diese Indikation bei offenen Frakturen und Frakturen mit Gefäß- und Nervverletzungen vor. So genannte halb stabile Frakturen (einer der beiden Knochen war nicht vollständig durchgebrochen) wurden in Operationsbereitschaft in Narkose reponiert und stabilisiert (konservativ oder operativ).

Sekundäre Dislokationen und Re-Frakturen waren nicht zwingend mit Osteosynthesematerial stabil zu fixieren. Bei polytraumatisierten Patienten und Patienten, deren Epiphysenfugen altersbedingt kurz vor dem Verschluss sind, lag ebenfalls nur eine relative Indikation zur internen Fixation vor.

Kontraindikationen für invasives Vorgehen:

Eine Kontraindikation für ein invasives Vorgehen lag vor, wenn durch eine geschlossene Reposition und externe Fixation ein mindestens ebenso gutes Ergebnis erzielt werden konnte.

Datenerfassung:

Erfasst wurden Krankenblätter mit Ambulanzkarten, Anamnesen, Verläufen, Operationsberichten, Epikrisen, Gutachten und Nachbehandlungsvermerken aus dem Archiv der Abteilung für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie und dem Zentralarchiv der Universitäts-Klinik-Münster (UKM).

Alle, die Therapie begleitend, angefertigten Röntgenbilder, die noch im Besitz der UKM waren, wurden fotografiert, vermessen, ausgewertet und gespeichert.

42 von 86 Patienten (48,84%) stellten sich für eine Nachuntersuchung im Sommer 2003 zur Verfügung, bei der ein eigens erstellter Frage- und Vermessungsbogen (siehe: 6.2) und der DASH-Fragebogen [21] ausgefüllt wurde.

Datenauswertung:

Für die Auswertung der objektiven und subjektiven Daten wurden verschiedene Analysen und allgemein in der medizinischen Literatur anerkannte Verfahren angewandt:

Signifikanzprüfung: Die Prüfung auf Signifikanz erfolgte mit dem T-Test für unverbundene Stichproben mit dem Statistikprogramm SPSS (Statistical package for the social sciences, Version 12; SPSS Inc., Chicago, I.L., U.S.A.).

Median-Berechnung: Der Median wurde teilweise zur Darstellung von Werten herangezogen, da er, anders als das arithmetische Mittel, nicht so sehr auf Extremwerte reagiert und daher bei geringeren Fallzahlen wertvollere Aussagen treffen kann. Er eignet sich daher insbesondere zur Charakterisierung der

zentralen Tendenz bei schiefen Verteilungen. Der Median ist der mittlere Messwert einer Verteilung. Die eine Hälfte der Messwerte ist größer als der Median, die andere Hälfte ist kleiner. Handelt es sich um eine ungerade Anzahl von Messwerten, ist der Median ganz einfach der in der Mitte sich befindliche Messwert, der übrig bleibt, wenn man den jeweils höchsten und jeweils niedrigsten Wert streicht. So ist z. B. der Median der Messwerte 2, 4, 7 die 4.

Handelt es sich um eine gerade Anzahl von Messwerten, berechnet sich der Median aus den beiden letzten übrig gebliebenen Werten, wenn wiederum die jeweils höchsten und niedrigsten Werte gestrichen wurden. Von den beiden übrig gebliebenen Zahlen wird der Mittelwert gebildet und dieser ergibt den Median.

Angulationsmessung:

Es wurde entlang des proximalen, nicht verlagerten Bruchstücks (Radius oder Ulna) die Längsachse des Knochens festgelegt, indem zwei weit voneinander entfernte Punkte, die die Hälfte des Knochendurchmessers an der Stelle markierten, durch eine Linie miteinander verbunden wurden. Gleiches wurde am distalen Bruchstück durchgeführt und dann der Winkel zwischen diesen beiden Geraden gemessen.

Definition der Frakturkonsolidation:

Die röntgenologische Frakturkonsolidierung ist in dieser Studie definiert als der Zeitpunkt, an dem im Röntgenbild mit anteroposteriorem und lateralem Strahlengang an allen vier Cortices frakturüberbrückender Kallus zu sehen ist.

Definition der Frakturkonsolidationsstörung:

Die Konsolidationsstörung von kindlichen Unterarmfrakturen liegt vor, wenn eine inkomplette „Heilung“ der Fraktur bei Kindern unter neun Jahren noch nach zehn Wochen und bei Kindern ab neuntem Lebensjahr noch nach 12 Wochen besteht [23].

Outcome-Definition:

Price [65] entwickelte ein Schema - später von Duruwalla [15] modifiziert - welches das Outcome von Patienten nach Unterarmfraktur eines oder beider Knochen

ermittelt. Die Parameter „Unterarm-Rotation“ und „Beschwerden“ wurden dabei zu Rate gezogen, deren Einteilung im unten aufgeführten Schema erläutert wird.

Outcome nach Price et al.[65]:

-excellent: keine Beschwerden bei starker körperlicher Anstrengung, < 10° Verlust von Unterarm-Rotation

-good: milde Beschwerden bei starker körperlicher Anstrengung, 11°-30° Verlust von Unterarm-Rotation

-fair: milde Beschwerden bei täglicher Aktivität oder 31°-90° Verlust von Unterarm-Rotation oder beides

-poor: schlechte Resultate, die nicht bei den o.g. einzuordnen sind

DASH-Score:

Zur Beurteilung des Behandlungsergebnisses hinsichtlich der Lebensqualität und der subjektiven Empfindungen der Patienten wurde der DASH-Fragebogen (Disabilities of the Arm Shoulder and Hand) [21] dokumentiert. Dieser von der „American Society for Surgery of the Hand“ (ASSH), der American Academy of Orthopedic Surgeons“ (AAOS), dem „Institute for Work and Health“, Toronto, der „American Association for Hand Surgery“ (AAHS) und der “American Society for Plastic and Reconstructive Surgery” (ASPRS) seit 1996 offiziell eingesetzte Fragebogen versucht, die subjektiven Wahrnehmungen des Patienten im Hinblick auf seine aktuelle Situation und der Gebrauchsfähigkeit der oberen Extremität zu erfassen. Benutzt wurde die deutsche Übersetzung mit den Teilen A Funktion und B Symptomatik.

Zur Berechnung des DASH-Punktwertes wurde von der erreichten Gesamtpunktzahl (minimal: 30, maximal: 150) der Minimalscore von 30 subtrahiert und anschließend durch den Score Range (1,20) dividiert. Ein DASH-Punktwert von z. B. 0 entsprach einem Ergebnis mit optimaler Funktion ohne Behinderung. Ein DASH-Punktwert von z. B. 100 entsprach einer maximalen Behinderung.

$$\text{DASH Punktwert} = \frac{\text{Gesamtpunktzahl} - 30 \text{ (Minimalpunktzahl)}}{1,20 \text{ (Bandbreite)}}$$

Follow up:

Das Follow up wurde definiert als das Zeitintervall, das zwischen dem Unfalltag und dem Tag der o.g. Nachuntersuchung lag (in Monaten).

Nachuntersuchung:

Die Maximalbewegungen des Ellenbogengelenks (EBG), die Pro- und Supination (P/S), die Palmarflexion (PF) und Dorsalextension (DE) sowie die Radialduktion (RD) und Ulnarduktion (UD) wurden beidseitig anhand der Neutral-Null-Methode ermittelt. Dabei wurde der Maßstab auf den Vergleich mit dem kontralateralen Arm gesetzt. Winkelwerte, die mehr als 10° in Richtung geringerer Beweglichkeit von denen des anderen Armes abwichen, wurden als Verschlechterung eingeschätzt. Ein Quotient aus der Anzahl der Patienten mit mehr als 10° Bewegungsverschlechterung und der Anzahl der Patienten, die aus dem Frakturkollektiv nachuntersucht wurden, vermittelte die Verschlechterungsquote.

Normalwerte nach der Neutral-Null-Methode:

- a) EBG: $150^\circ / 0^\circ / 10^\circ$
- b) P/S: $80^\circ - 90^\circ / 0^\circ / 80^\circ - 90^\circ$
- c) PF/DE: $50^\circ - 60^\circ / 0^\circ / 35^\circ - 60^\circ$
- d) RD/UD : $25^\circ - 30^\circ / 0^\circ / 30^\circ - 40^\circ$

Die grobe Griffkraft konnte mit einem Ballonvigorimeter (Standardballgröße 5) festgehalten werden. Die Bewegungen im EBG wurden gegen den Unterarm des Untersuchers auf Gleichwertigkeit in Hinsicht auf die Kraft der beiden Arme untersucht.

Die Pro- und Supinationskraft konnte auf Gleichwertigkeit mit Hilfe des „Handgebens“ mit dem Untersucher bemessen werden.

Eine Umfangmessung wurde an reproduzierbaren Orten des Ellenbogengelenks (ca. 1cm distal des Epicondylus medialis humeri) und des Handgelenks (ca. 1cm proximal des Caput ulnae) durchgeführt sowie auf Seitenunterschiede untersucht.

Ebenfalls wurde die Unterarmlänge medial und lateral auf Seitenunterschiede untersucht. Es wurden folgende Strecken gemessen:

Epicondylus medialis humeri <> Caput ulnae
Epicondylus lateralis humeri <> Processus styloideus radii

Fragen nach Schmerzen, Wetterfühligkeit, Par- bzw. Anästhesien, beruflichen Einschränkungen und Re-Frakturen komplettierten die Nachuntersuchung.

2.4 Methoden

Kinder, die Unterarmfrakturen erlitten haben, erfuhren zunächst eine adäquate Schmerzbehandlung. Meist half initial das Anlegen einer provisorischen Oberarmgipsschiene nach Prüfung von Motorik, Sensibilität und Gabe von Analgetika.

Alle undislozierten-, Grünholz- und stabil reponierbaren Frakturen konnten grundsätzlich konservativ behandelt werden.

Nicht reponible und offene Frakturen wurden immer sowie solche, die sekundär disloziert waren, bedingt operativ versorgt.

Konservative Therapie:

Im Vornherein musste mit den Eltern des Kindes die Diagnose und die angestrebte Vorgehensweise bei der Therapie mit dem Hinweis auf mögliche Komplikationen erörtert werden. Auch bei scheinbar rein konservativ zu behandelnden Frakturen wurde der Hinweis einer möglichen operativen Intervention während des Repositionsversuches und im Anschluss an die Ersttherapie gegeben.

Besonders wegen des jungen Alters war bzgl. der Behandlung immer auf eine suffiziente Analgesie zu achten. Bei sehr jungen Patienten war dazu fast immer eine Vollnarkose vonnöten; nur selten konnte mit regionaler Anästhesie gearbeitet werden.

Wenn keine Reposition erforderlich war, galt die Immobilisation im Oberarmgips für mindestens drei bis vier Wochen als Mittel der Wahl. Traten keine Komplikationen auf, konnte danach für zwei bis drei Wochen auf eine Unterarmgipsschiene gewechselt werden. Nur bei distal gelegenen, nicht dislozierten Frakturen, war eine dorsale Unterarmgipsschiene in manchen Fällen primär ausreichend.

Zeigte sich jedoch bei Stellungskontrollen eine korrekturbedürftige Fehlstellung der Unterarmknochen, bestand die Möglichkeit der Gipskeilung oder der operativen Intervention, um diese zu beheben. Grünholz-Frakturen ließen sich mittels einer Keilung gut sekundär in ihrer Stellung verbessern. Nach der Gipsanlage und dem

Zirkulieren wurde der Gips in diesen Fällen nach ca. einer Woche gekeilt, bevor die Konsolidierung der Fraktur zu weit fortgeschritten wäre. Anschließend wurde verpflichtend eine Röntgenkontrolle durchgeführt, um die Stellung der Knochen zu analysieren. War das Ergebnis zufriedenstellend, konnte im Gips ausbehandelt werden.

Frühestens nach vier Wochen wurde eine weitere Röntgenaufnahme angefertigt. Wenn die Konsolidation der Fraktur diagnostiziert wurde (Definition der Frakturkonsolidation s.o.), konnte der Gips abgenommen werden und mit einer unmittelbaren Mobilisation der Extremität begonnen werden.

Operative Therapie:

Als Varianten wurden vom Frakturtyp, vom Alter des Patienten sowie dem Ausmaß des Weichteilschadens die Bündel-Nagelung, die Plattenosteosynthese und die Kirschner-Draht-Osteosynthese angewandt.

Frakturen, die am Unterarmschaft lokalisiert waren und deren Repositionsergebnis unbefriedigend war oder deren Retention in anatomischer Position nicht gesichert war oder nach anfänglicher, konservativer Therapie eine sekundäre Dislokation aufwiesen, wurden mit Bündel-Nägeln behandelt.

Diese wurden am Radius dorsal zwischen dem III. und IV. Strecksehnenfach (Tuberculum Lister) aufsteigend und ulnar distal der Epiphysenfuge absteigend in die Markräume eingebracht. Die Nägel wurden durch den Markraum über den Frakturspalt hinweg in das jeweilige zweite Bruchfragment geschoben. Konnte der Eintrittspunkt in die Medulla des zweiten Bruchfragments trotz eines Bildwandlers nicht aufgefunden werden, wurde über eine kleine Inzision über der Fraktur der Eintritt unter Sicht vorgenommen. Diese Schienung geschah so oft, bis der Unterarm durch vollständige, pralle Auffüllung des Markraums stabil und formgerecht durch Verspreizung der Nägel und einem Vielpunkteprofil eine Rotationsstabilität erreichte. Zusätzlich stabilisierend wirkte die fächerförmige Verteilung der Nagelenden in der metaphysären Spongiosa.

Die Nagelenden wurden etwas über dem Hautniveau eingekürzt und bei der eventuellen Anlage eines Gipses post OP wurde um sie herum ein gipsfreier Hof gestaltet.

Nur bei Kindern, die als hyperaktiv erschienen, konnte man sich dessen bedienen, da eine Immobilisation ansonsten überflüssig war. Die Implantate wurden kurz

nach dem Befunden der Konsolidation der Fraktur in regionaler Anästhesie entfernt. Nur bei sehr ängstlichen Kindern war wiederum eine Vollnarkose nötig. Plattenosteosynthesen waren ebenfalls Bestandteil des operativen Behandlungsspektrums. Diese wurden sowohl im Schaftbereich, als auch am distalen Unterarm durchgeführt. Unter Vollnarkose wurden die Inzisionen über der Frakturstelle von dorsal her gewählt und am Unterarmschaft gerade LC-DC-3,5 mm-Platten aus Titan mit mindestens vier bis maximal acht Löchern inseriert. Da proximale Radiusfrakturen von dieser Studie ausgeschlossen waren, spielte die mögliche Verletzungsgefahr des N. radialis profundus keine Rolle.

Distale Frakturen, komplett oder isoliert am Radius, wurden ebenfalls mit Platten - von dorsal her eingebracht – fixiert. Am Radius kamen nur winkelstabile 3,5mm-T-Platten mit fünf Löchern zur Anwendung. An der distalen Ulna wurden keine Plattenosteosynthesen durchgeführt. Nach der Platteninsertion sowie vor der Metallentfernung war es Standard, eine Röntgenkontrolle vorzunehmen.

Das postoperative Anlegen einer Gipsschiene war nicht notwendig. Physiotherapeutische Übungsmaßnahmen konnten gleich nach der Operation beginnen.

In einer zweiten Operation wurden die Platten nach der Frakturkonsolidation entfernt. Dabei wurde jeweils derselbe Zugang gewählt.

Perkutane oder offene Kirschner-Draht-Osteosynthesen wurden nur am distalen Unterarm vorgenommen. In regionaler Anästhesie wurde der Draht über den Proc. styloideus radii in den Radius eingeführt. Der Winkel zwischen Draht und Kortikalis wurde möglichst steil gewählt, um eine gute Verankerung des Drahtes zu erreichen.

An der Ulna verlief die Kirschner-Draht-Osteosynthese ebenfalls von lateral nach medial.

Zur Immobilisation diente ein Oberarmgips. Um die Drahtenden wurde - ähnlich wie bei der Bündel-Nagelung - ein gipsfreier Hof geschaffen, der die Ruhigstellung des Drahtes bis zu dessen Entfernung unter nochmaliger regionaler Anästhesie erlaubte. Fixateurbehandlungen von Unterarmfrakturen wurden generell von dieser Studie ausgeschlossen.

3) Ergebnisse

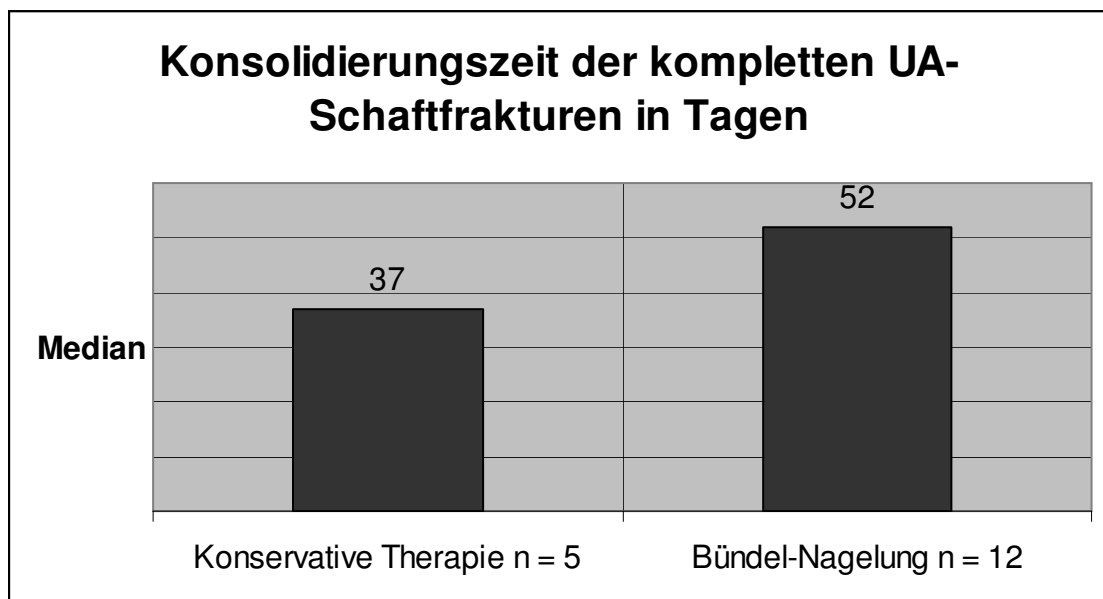
3.1 Die Frakturkonsolidierungszeiten

Es wurden nur Werte für die Medianwert-Berechnung herangezogen, die durch Röntgenbilder fundiert waren (n). Plattenosteosynthesen wurden nicht in die Auswertung mit einbezogen, da das Osteosynthesematerial unabhängig vom Zeitpunkt der Konsolidation immer für ca. ein Jahr in situ belassen wurde.

Bezüglich der Diagnosestellung „Fraktur konsolidiert“ sei auf den Teil Material und Methodik verwiesen.

3.1.1 Die Konsolidierungszeit-Medianwerte der Unterarmschaftfrakturen

Es wurde bei 31 kompletten Unterarmschaftfrakturen (zwei der insgesamt 33 Unterarmschaftfrakturen waren isolierte Radiuschaftfrakturen) vierzehnmal eine intramedulläre Schienung mittels Bündel-Nagelung, zwölfmal eine Plattenosteosynthese und fünfmal eine konservative Versorgung durchgeführt.



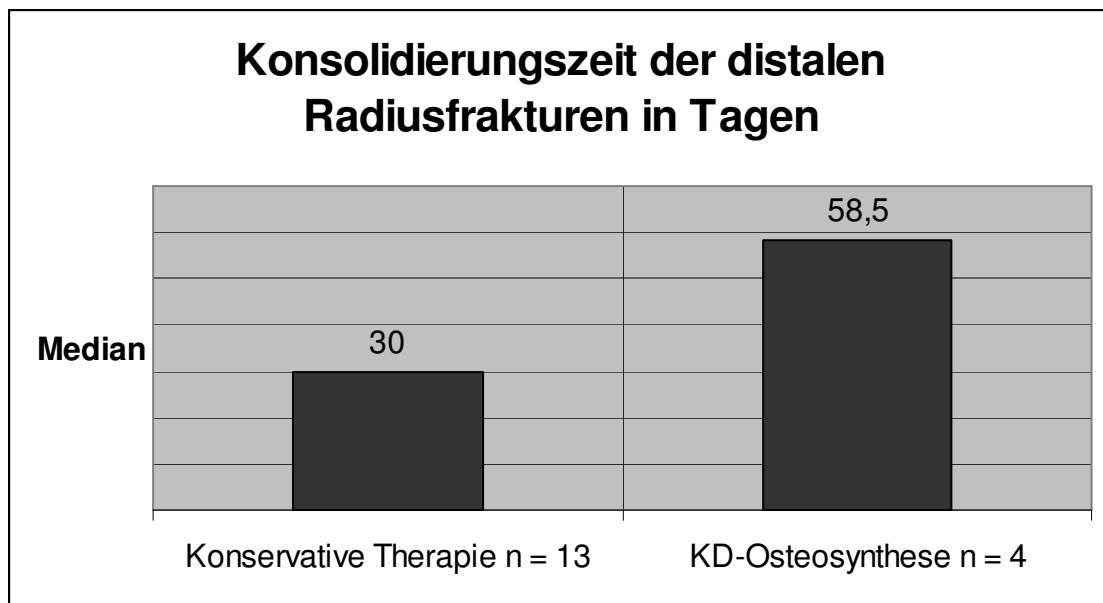
Tab. 4: Konsolidierungszeiten der kompletten Unterarmschaftfrakturen in Tagen

Osteosyntheseplatten wurde im Durchschnitt nach 13,1 Monaten wieder entfernt. Die isolierte Radiuschaftfraktur heilte unter konservativer Therapie nach 123 Tagen aus. Die Konsolidierungszeit der isolierten Radiuschaftfraktur nach Bündel-Nagelung geht aus der Patientenakte und den Röntgenbildern nicht sicher hervor.

3.1.2 Die Konsolidierungszeit-Medianwerte der distalen Radiusfrakturen

Von 21 Patienten mit distaler Radiusfraktur wurden 13 Patienten einer konservativen Therapie zugeführt.

In sechs Fällen wurde eine Kirschner-Draht-Osteosynthese und in zwei Fällen eine Plattenosteosynthese durchgeführt.



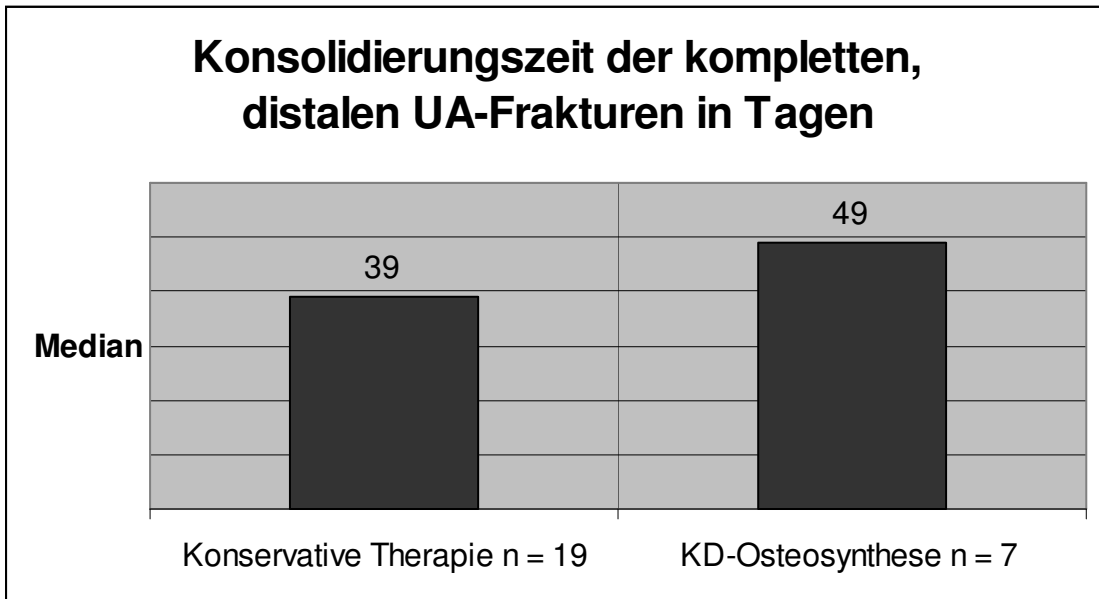
Tab. 5: Konsolidierungszeiten der distalen Radiusfrakturen in Tagen

Osteosyntheseplatten wurden im Durchschnitt nach 12,5 Monaten entfernt.

3.1.3 Die Konsolidierungszeit-Medianwerte der kompletten, distalen Unterarmfrakturen

Bei den gesamten 32 kompletten, distalen Unterarmfrakturen wurden 19 der Frakturen konservativ behandelt, elf mit Kirschner-Draht-Osteosynthesen und zwei mit Plattenosteosynthesen.

Das Osteosynthesematerial nach Plattenosteosynthesen wurde im Durchschnitt nach 10,5 Monaten entfernt.

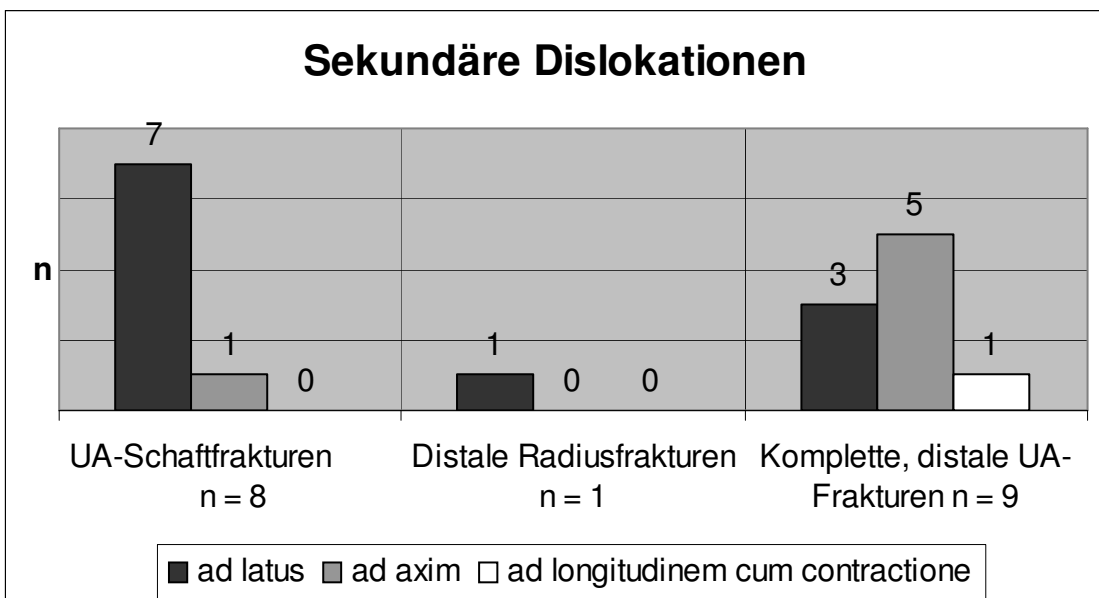


Tab. 6: Konsolidierungszeit der kompletten, distalen Unterarmfrakturen

3.2 Komplikationen

Sekundäre Dislokationen:

Bei allen konservativen Therapien, bei denen aufgrund einer sekundären Dislokation ein schlechtes Endergebnis zu erwarten war, ist ein Therapiewechsel durchgeführt worden. Sekundäre Dislokationen traten ausschließlich nach konservativen Therapien auf:



Tab. 7: Sekundäre Dislokationen als Indikationen für Therapiewechsel

Beim Kollektiv der Unterarmschaftfrakturen wurde nach insgesamt acht Fällen mit sekundären Dislokationen einmal die Indikation zur Bündel-Nagelung gestellt, dreimal wiederum eine konservative Therapie angewandt und viermal eine Plattenosteosynthese als Zweittherapie durchgeführt.

Bei der einen konservativ versorgten, distalen Radiusfraktur, bei der die Indikation zu einem Therapiewechsel bestand, wurde als Zweittherapie eine perkutane Kirschner-Draht-Osteosynthese durchgeführt.

Wenn eine Indikation zu einem Therapiewechsel bei kompletten, distalen Unterarmfrakturen aufgrund von sekundären Dislokationen gestellt wurde, waren viermal konservative Therapien und viermal Kirschner-Draht-Osteosynthesen die Zweittherapie. Einmal wurde eine Plattenosteosynthese durchgeführt.

Re-Frakturen:

Zwei Fälle von Re-Frakturen traten im Gesamtkollektiv (n=86) auf (2,33%).

Ein Fall von Re-Fraktur nach einem Bagateltrauma war nach der zum normalen Zeitpunkt indizierten Metallentfernung bei vorausgegangener Plattenosteosynthese einer Unterarmschaftfraktur aufgetreten. Der Behandlungsfall ist unter Punkt **3.3.1** „Das Outcome nach Unterarmschaftfrakturen“ dargestellt.

Re-Frakturen traten nach Versorgungen von distalen Radiusfrakturen nicht auf.

Fall: Ein Patient erlitt drei Wochen nach perkutaner Kirschner-Draht-Fixation isoliert am Radius (ein Implantat) bei kompletter, distaler Unterarmfraktur eine Re-Fraktur mit 18° Achsenknickung, die neu reponiert und mittels zweier neuer Kirschner-Drähte im Radius wiederhergestellt wurde.

Nervschäden:

Fall: Bei einem Patienten (1,16%) entstand vermutlich durch die vorausgegangenen Repositionsvorgänge bei einer distalen Radiusfraktur, die nach palmar disloziert war, eine Kompression des N. medianus. Die dadurch entstandenen Hyposensibilitäten im Bereich der Fingerendglieder zeigten allerdings nach ca. zwei Monaten eine vollständige restitutio ad integrum.

Zwei weitere Nervschäden bei anderen Patienten entstanden unfallbedingt.

Infektionen:

Es lagen bei keinem Patienten (0,00%) Anzeichen für eine Infektion vor.

Heilungsverzögerungen:

Es lagen insgesamt drei Fälle (3,49%) von Heilungsverzögerungen im gesamten Patientenkollektiv vor:

Fall: Eine Radiuschaftfraktur eines Patienten im diaphysär-mittleren Drittel, die konservativ versorgt wurde, war erst nach 123 Tagen konsolidiert. Das Outcome war später nur als „good“ zu benennen, da die Unterarm-Pronation mit 70° eingeschränkt war.

Fall: Eine distale Radiusfraktur heilte erst nach 138 Tagen vollständig aus. Viele geschlossene Repositionsmanöver wurden vorher unternommen, bis die Reposition offen durchgeführt wurde und mit Kirschner-Drähten die Knochenfragmente fixiert wurden.

Fall: Eine komplette, distale Unterarmfraktur konsolidierte erst nach 116 Tagen. Die Restachsabweichung betrug 15° nach palmar bei Konsolidation, obwohl das Repositionsergebnis zunächst achsengerecht war.

Implantatprobleme:

Drei Fälle von Implantatproblemen (3,49%) lagen vor:

Fall: Bei einem Patienten kam es nach Drahtspickung einer kompletten, distalen Unterarmfraktur zum Bruch des Implantats in der Ulna. Das Restfragment musste belassen werden und ein weiterer Draht wurde in den Knochen eingeführt.

Fall: Bei einer Patientin konnte im Rahmen der Metallentfernung nach distaler Radiusfraktur ein perkutaner Spickdraht erst bei einer Zweit-Operation entfernt werden. Das Ende dieses Drahtes war lange Zeit radial fühlbar.

Fall: Nach der Insertion von Bündel-Nägeln bei einer Patientin nach kompletter Unterarmschaftfraktur zeigten sich bei der intraoperativen Röntgenkontrolle metalldichte Splitter im Bereich des streckseitigen Handgelenks. Dieses sog. Phänomen der Metallose war durch das Vorantreiben der Nägel in den Markkanal erklärt worden.

Allgemeine Bewegungseinschränkung:

Zwei Fälle von allgemeiner Bewegungseinschränkung (2,33%) lagen vor:

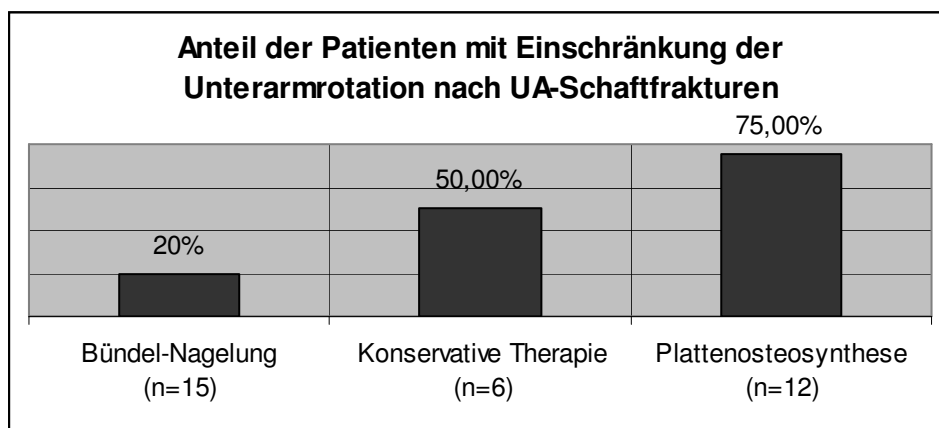
Fall: Bei einem Fall nach Plattenosteosynthese einer kompletten Schafffraktur zeigte sich eine Streckhemmung der Finger, die bis zum Ende der Liegezeit der

Platten bestand und zu großen Einschränkungen für die Patientin im Alltag führte. Diese Fraktur wurde mit zwei 5-Loch-Platten fixiert.

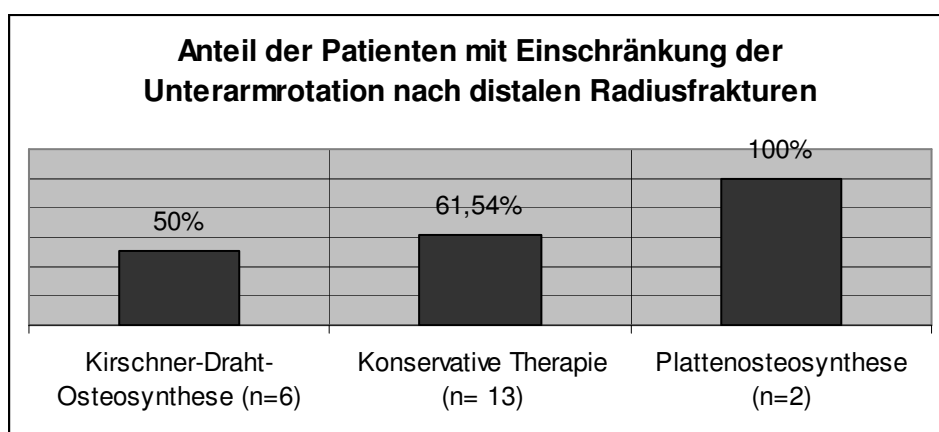
Fall: Bei einem zweiten Fall nach Plattenosteosynthese einer Unterarmschaftfraktur zeigten sich Bewegungseinschränkungen im Handgelenk.

Unterarmrotationseinschränkung:

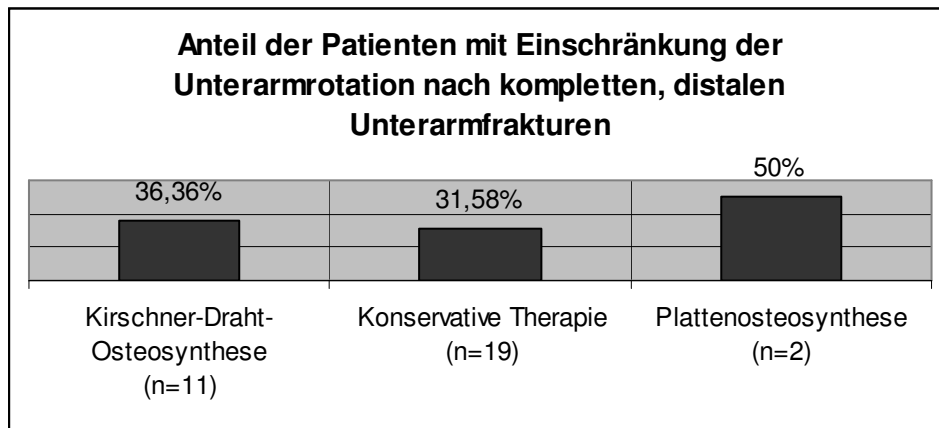
Einschränkungen der Unterarmrotation lagen vor, wenn die Bewegung mehr als 10° weniger weit durchführbar war, als der geringste Normalwert für diese Bewegung (Normalwerte der Neutral-Null-Methode: siehe Punkt 2.3 Nachuntersuchung).



Tab. 8: Unterarmrotationseinschränkung nach Unterarmschaftfrakturen



Tab. 9: Unterarmrotationseinschränkung nach distalen Radiusfrakturen



Tab. 10: Unterarmrotationseinschränkung nach kompletten, distalen Unterarmfrakturen

Pseudarthrosen:

Es lagen keine Pseudarthrosen (0,00%) vor.

Weichteilirritationen:

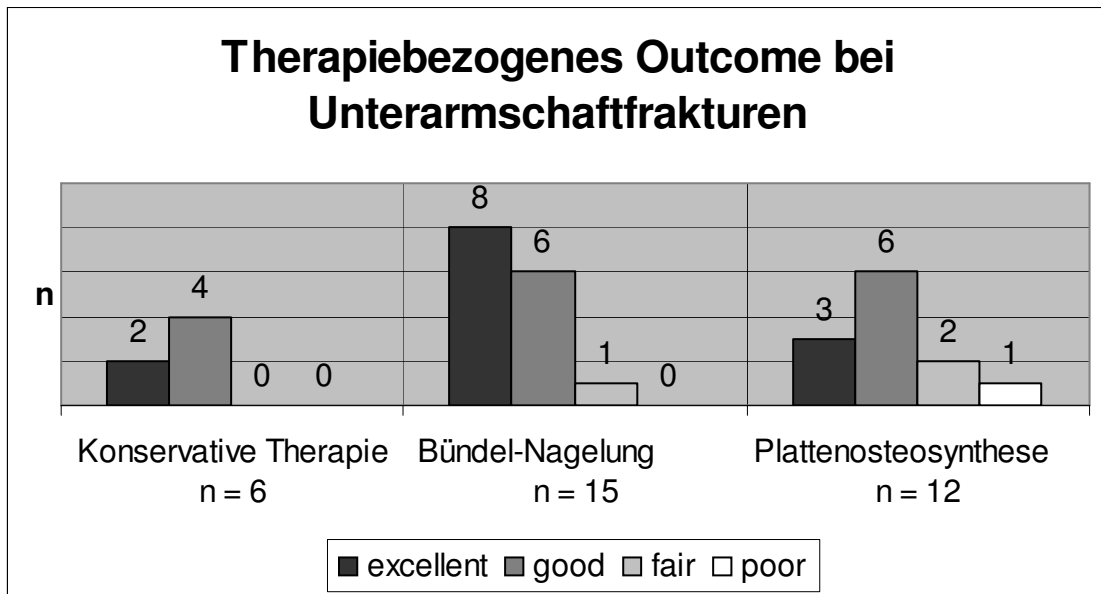
Zwei Fälle von Weichteilirritationen (2,33%) lagen vor:

Fall: Ein Patient mit Bündel-Nagelungstherapie zeigte postoperativ ein Erythem am Oberarm, welches durch die Blutdruckmanschette entstanden war, die zur Er-langung der Operationsblutleere im Unterarm angelegt wurde. Dieses Phänomen war eine Woche später rückstandslos verschwunden.

Fall: Eine Patientin zeigte eine keloidartig veränderte Narbe am Unterarm nach Plattenosteosynthese einer Unterarmschaftfraktur, die später einer Narbenkosmetikoperation unterzogen wurde.

3.3 Das Outcome bei den drei Frakturkollektiven

3.3.1 Das Outcome nach Unterarmschaftfrakturen



Tab. 11: Therapiebezogenes Outcome bei Unterarmschaftfrakturen

Fall: Der Patient mit dem Resultat „fair“ nach Bündel-Nagelung zeigte eine stark eingeschränkte Pronationsfähigkeit bei der Unterarmdrehung von 38° (Follow up: 52 Monate). Als erst die zweite Re-Fraktur desselben Unterarmes mit Bündel-Nägeln versorgt wurde, hatte vorher initial schon eine Bündel-Nagelung und bei der darauffolgenden Re-Fraktur eine Plattenosteosynthese stattgefunden.

Fall: Das eine Outcome mit dem Resultat „fair“ nach Plattenosteosynthese begründete sich durch eine Valgusstellung der Unterarmknochen im Bereich der ehemaligen Fraktur mit einer Pronationseinschränkung von 70° endgradig mit starken Beschwerden.

Fall: Das zweite Resultat, das „fair“ war, begründete sich in einem persistierenden Medianus-Kribbeln (Daumen, Zeige- und Mittelfinger) nach kompletter, distal gelegener Unterarmschaftfraktur noch sieben Jahre post OP.

Fall: Das Resultat „poor“ erhielt eine Patientin, die eine komplette Unterarmschaftfraktur im diaphysär-mittleren Drittel erlitt. Sie wurde mit zwei 6-Loch-3,5-DC-Platten versorgt. Nach ca. einem Jahr fand die Metallentfernung statt und 14 Wochen post OP entstand eine Re-Fraktur nach einem Bagateltrauma:



**Abb. 13: Re-Fraktur 14 Wochen nach Metallentfernung
(Plattenosteosynthese)
(Quelle: T., R.; Eigenes Patientenarchiv)**



**Abb. 14: Vier Wochen nach Re-Fraktur und konservativer Therapie im
Oberarmgips
(Quelle: T., R.; Eigenes Patientenarchiv)**

Die Unterarmschaftfraktur wurde reponiert und im Oberarmgips immobilisiert. Nach vier Wochen wurde ein Röntgenbild ohne Gipsverband angefertigt und die unveränderte Stellung der Fraktarenden mit Kallusbildung war zu diagnostizieren (s.o.).

Wiederum vier Wochen später ist der Oberarmgips entfernt worden und ein weiteres Röntgenbild wurde angefertigt:



Abb. 15: Acht Wochen nach Re-Fraktur und unmittelbar nach der Gipsabnahme

(Quelle: T., R.; Eigenes Patientenarchiv)

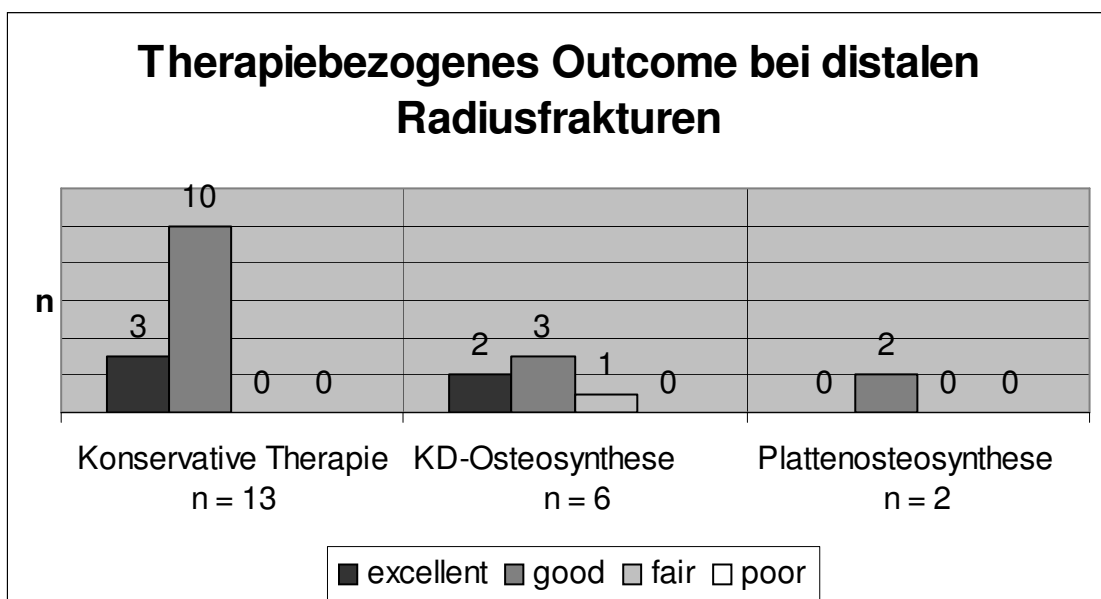
Ein halbes Jahr später zeigte die Röntgenaufnahme eine starke Bogenbildung des Radius und die vollständige Durchbauung der ehemaligen Frakturstellen:



Abb. 16: Vollständige knöcherne Durchbauung beider Knochen und starke Bogenbildung des Radius sowie geringe Bogenbildung der Ulna (Quelle: T., R.; Eigenes Patientenarchiv)

Letztlich lag eine Minusvariante der Ulna und eine Bogenbildung beider Unterarmknochen vor. Klinisch hatten sich eine endgradig eingeschränkte Pro- und Supination sowie Behinderungen bei Handgelenksbewegungen manifestiert.

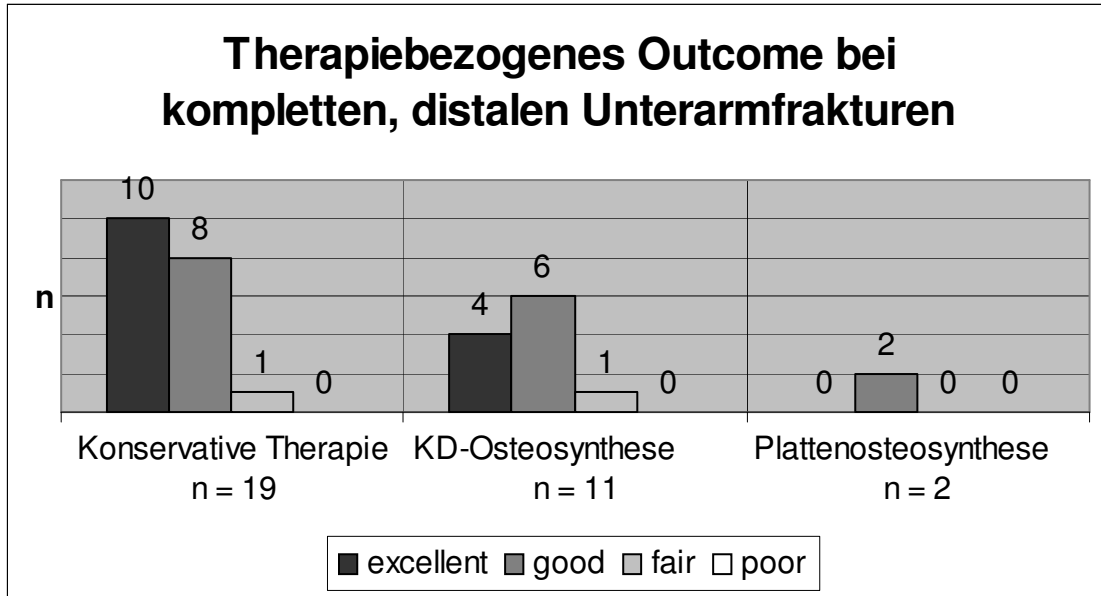
3.3.2 Das Outcome nach distalen Radiusfrakturen



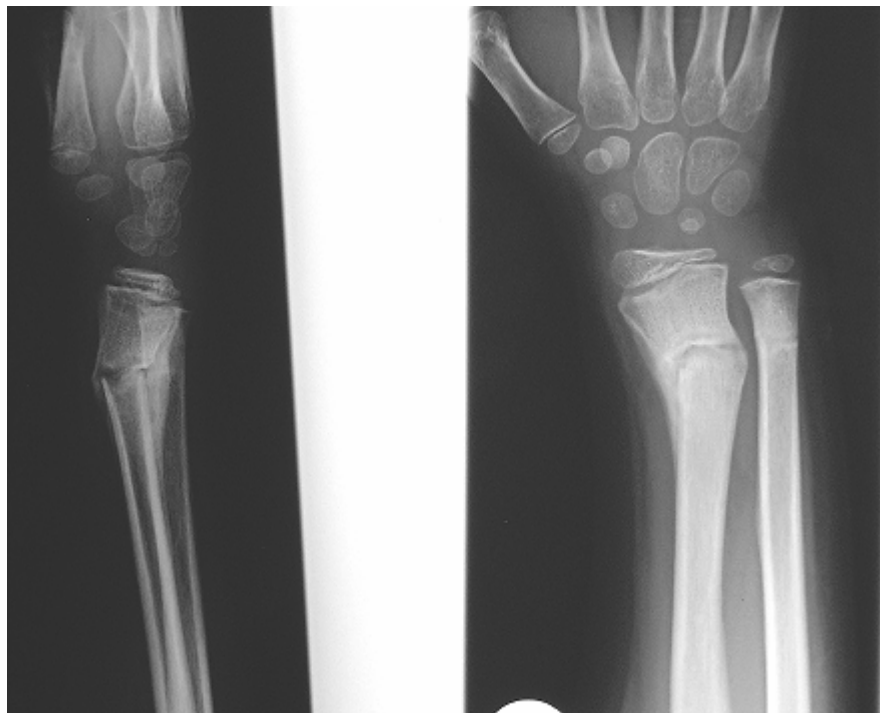
Tab. 11: Therapiebezogenes Outcome bei distalen Radiusfrakturen

Fall: Das Ergebnis „fair“ bei einem Patienten nach Kirschner-Draht-Osteosynthese war durch verminderte Pronationsfähigkeit am Unterarm von endgradig 50° wenige Monate post OP (Follow up: 6 Monate) begründet.

3.3.3 Das Outcome nach kompletten, distalen Unterarmfrakturen



Tab. 12: Therapiebezogenes Outcome bei kompletten, distalen Unterarmfrakturen



**Abb. 17: 39 Tage nach Reposition
(Quelle: H., D.; Eigenes Patientenarchiv)**

Fall (s.o.): Bei einem Patienten wurde nach der Reposition einer Bajonettfraktur eine Verschiebung des distalen Radiusfragments um doppelte Kortikalisbreite nach radial und um Kortikalisbreite nach dorsal belassen.

39 Tage nach der Reposition zeigte sich der Befund im obigen Röntgenbild.

Der Frakturspalt war noch deutlich zu erkennen, aber die Konsolidierung schritt voran. Der Radius zeigte einen deutlichen Restachsknick nach ulnar.

Etwa 3 Jahre und 3 Monate später zeigte ein Röntgenbild den noch verbliebenen Restbefund dieses o.g. Achsknicks. Der Patient zeigte selbst bei der Nachuntersuchung (sechs Jahre nach dem Unfall) Einschränkungen bei der Pro- und Supination ($50^\circ / 0^\circ / 60^\circ$):



**Abb. 18: Etwa dreieinviertel Jahre nach dem Unfall
(Quelle: H., D.; Eigenes Patientenarchiv)**

Fall: Eine Patientin mit dem Ergebnis „fair“ nach Kirschner-Draht-Osteosynthese gab bei der Nachuntersuchung (Follow up: 199 Monate) an, noch immer an milden Beschwerden bei der täglichen Arbeit zu leiden, wenn sie viel schreiben müsse.

Damals wurde der Radius mit zwei Kirschner-Drähten versorgt und es hatte sich eine Exostose im dorso-metaphysären Anteil des Radius gebildet, welche die Strecksehnen irritierte. Alle Bewegungen zeigten natürliche Ausmaße:



Abb. 19: Exostosenbildung
(Quelle: R., D.; Eigenes Patientenarchiv)

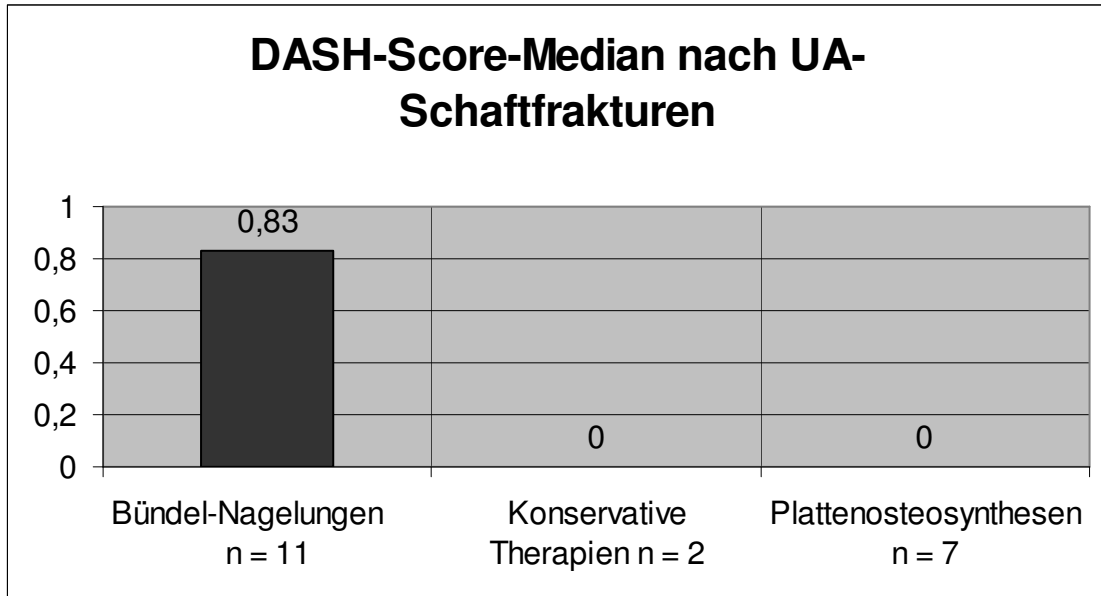
Das Outcome der Patienten nach konservativer Behandlung von kompletten, distalen Unterarmfrakturen war signifikant um 0,47 Duruwalla-Outcome-Punkte besser ($p = 0,003$) als das der Plattenosteosynthese-Patienten, wenn man die Resultate („excellent“ = 1, „good“ = 2, „fair“ = 3 und „poor“ = 4) der besseren Vergleichbarkeit halber numerisch anwandt.

3.4 Der DASH-Score und Follow up nach Unterarmschaftfrakturen

Im Rahmen dieser Studie wurde ein subjektiver Score bei allen Patienten angewandt, die sich zu einer Nachuntersuchung bereiterklärten. Ebenso wurde das Follow up für jeden einzelnen Patienten errechnet. 42 von 86 Patienten (48,84%) nahmen an der Nachuntersuchung teil. 20 der nachuntersuchten Patienten (47,62%) hatten Unterarmschaftfrakturen erlitten, 16 Patienten (38,10%) komplette, distale Unterarmfrakturen und sechs Patienten (14,29%) distale Radiusfrakturen.

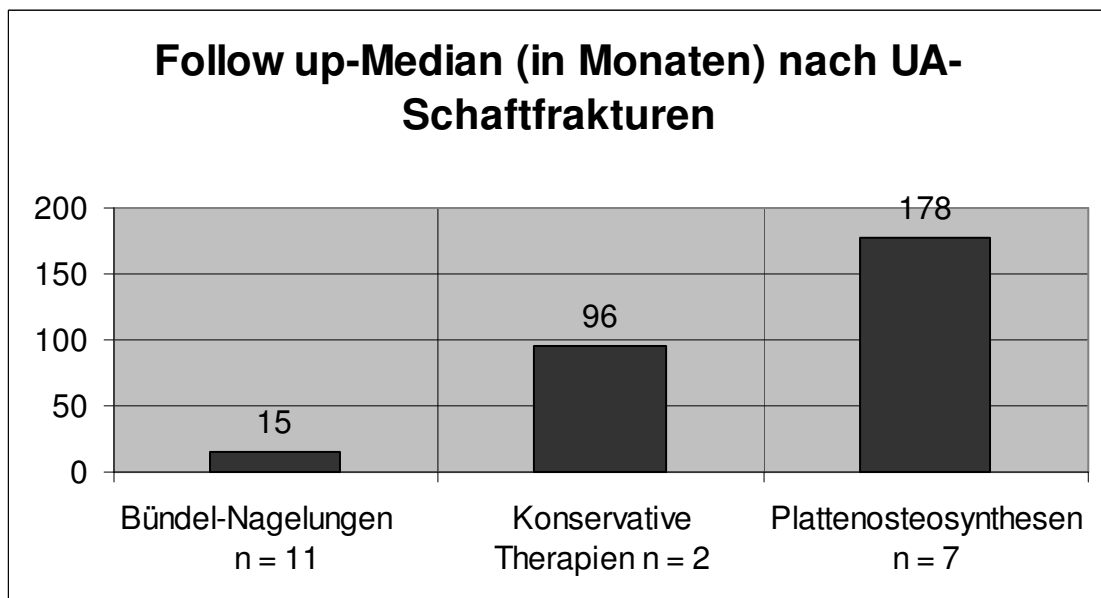
3.4.1 DASH-Score nach Unterarmschaftfrakturen

Für die Ergebnisanalyse der DASH-Score-Werte sei hier auf den Teil Material und Methodik verwiesen.



Tab. 13: DASH-Score-Median nach Unterarmschaftfrakturen

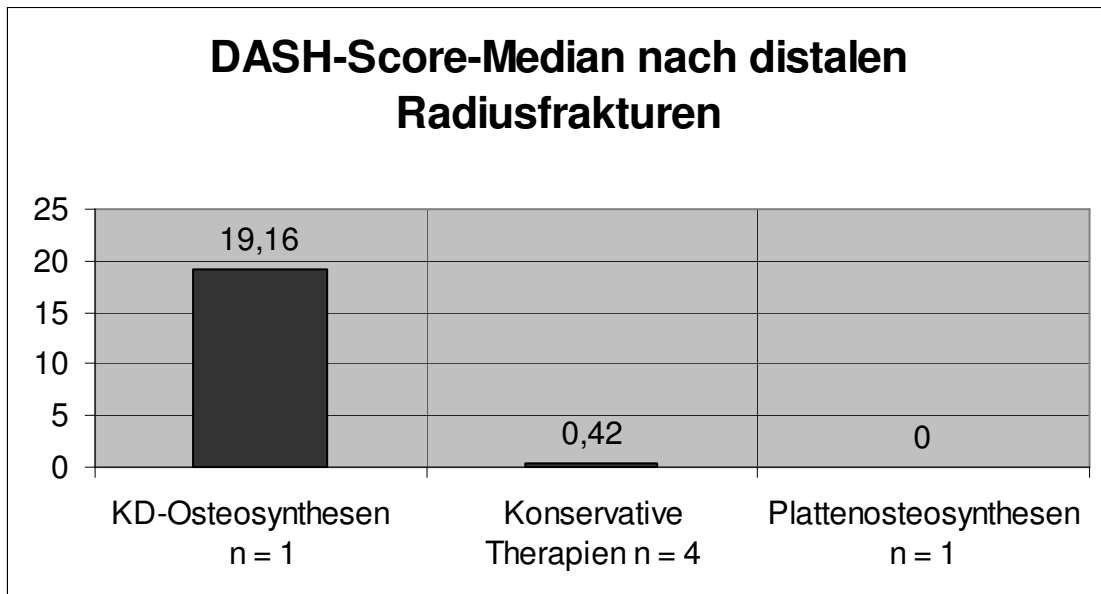
3.4.2 Follow up nach Unterarmschaftfrakturen



Tab. 14: Follow up-Median nach Unterarmschaftfrakturen

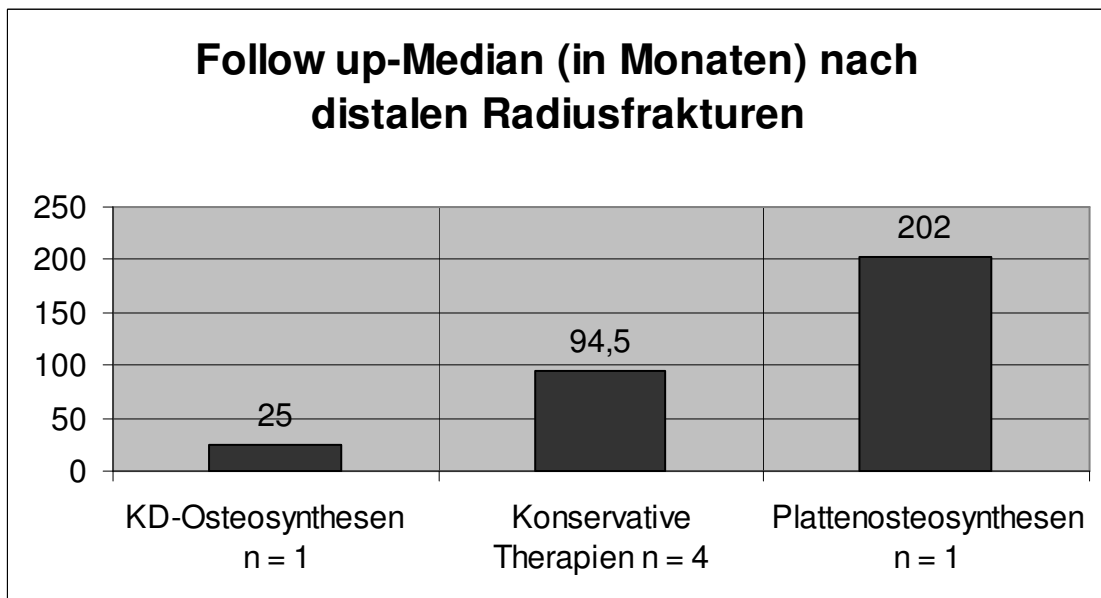
3.5 DASH-Score und Follow up nach distalen Radiusfrakturen

3.5.1 DASH-Score nach distalen Radiusfrakturen



Tab. 15: DASH-Score nach distalen Radiusfrakturen

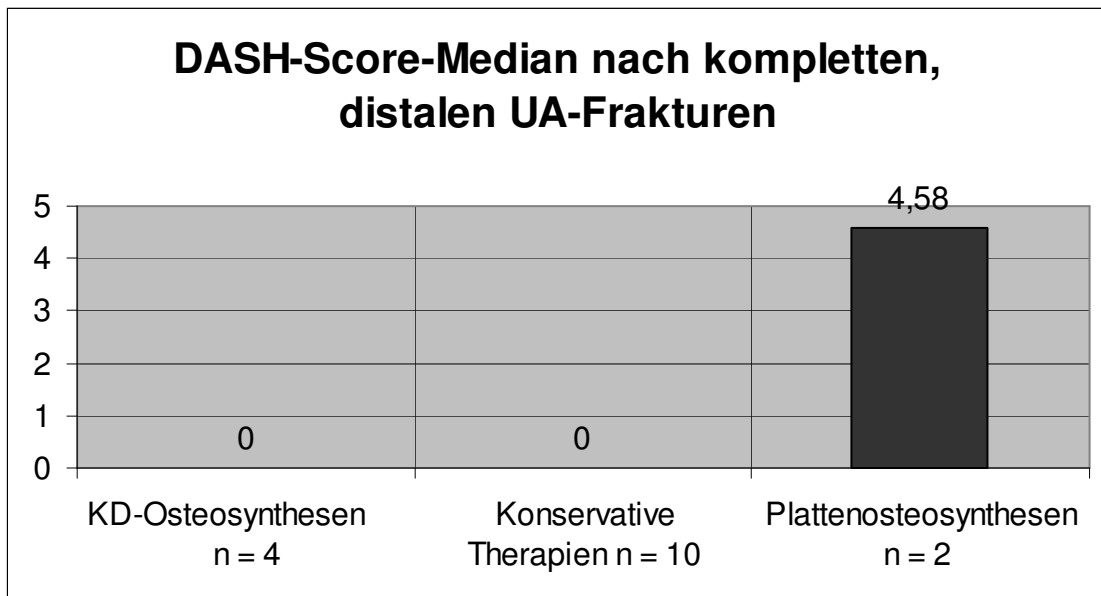
3.5.2 Follow up nach distalen Radiusfrakturen



Tab. 16: Follow up nach distalen Radiusfrakturen

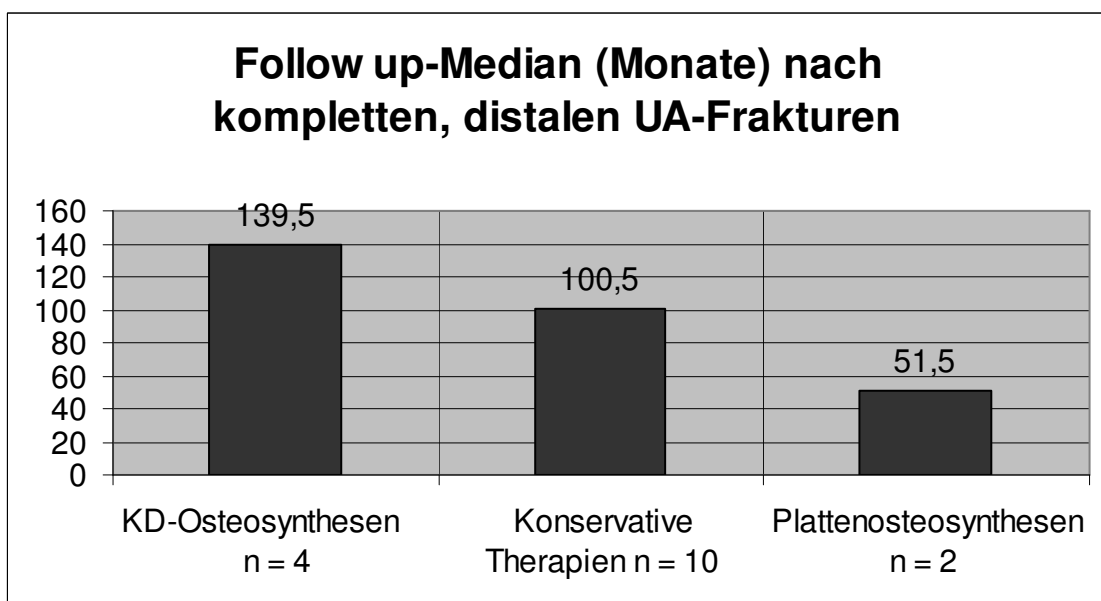
3.6 DASH-Score und Follow up nach kompletten, distalen Unterarmfrakturen

3.6.1 DASH-Score nach kompletten, distalen Unterarmfrakturen



Tab. 17: DASH-Score nach kompletten, distalen Unterarmfrakturen

3.6.2 Follow up nach kompletten, distalen Unterarmfrakturen



Tab. 18: Follow up nach kompletten, distalen Unterarmfrakturen

3.7 Das funktionelle Endergebnis nach eigener, klinischer Untersuchung

3.7.1 Eigene, klinische Untersuchung des Kollektivs der Patienten nach Unterarmschaftfrakturen

1) Winkelmessung: (Quotient = Patienten mit mehr als 10° verschlechtertem Wert / n)

- a) EBG: $2/20 = 10\%$
- b) P/S: $4/20 = 20\%$
- c) PF/DE: $5/20 = 25\%$
- d) RD/UD: $8/20 = 40\%$

2) Kraftmessung: Die Kraftmessung gestaltete sich im Kollektiv der Patienten nach Unterarmschaftfraktur bis auf einen Fall unauffällig:

Fall: Der Patient wies eine große Kraftverminderung im Ellenbogengelenk des ehemals frakturierten Unterarms auf, da er eine - jedoch unfallbedingte – Plexusparese im Schulterbereich davontrug.

3) Umfangmessung: Die Umfangmessung zeigte sich bei einem Patienten auffällig:

Fall: Ein Patient mit unfallbedingter Plexusparese (s.o.) wies sogar einen 13 cm geringeren Umfang am EBG des verunfallten Armes auf.

4) Längenvergleich: Zwei Patienten zeigten einen Längenunterschied:

Fall: Eine Patientin wies (Follow up: 120 Monate) eine 0,5 cm große Plus-Variante des Radius am ehemals frakturierten Arm auf. Sie hatte eine komplette Unterarmschaftfraktur im diaphysär-mittleren Drittel erlitten, die konservativ therapiert wurde:

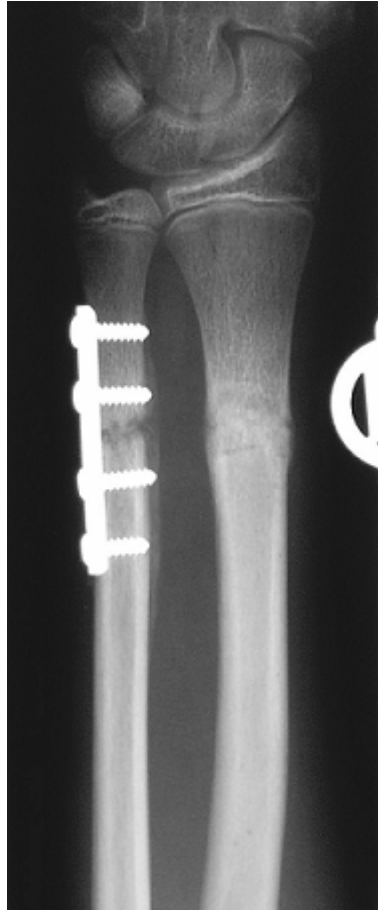


Abb. 20: Am Tag der Fraktur
(Quelle: K., L.; Eigenes Patientenarchiv)

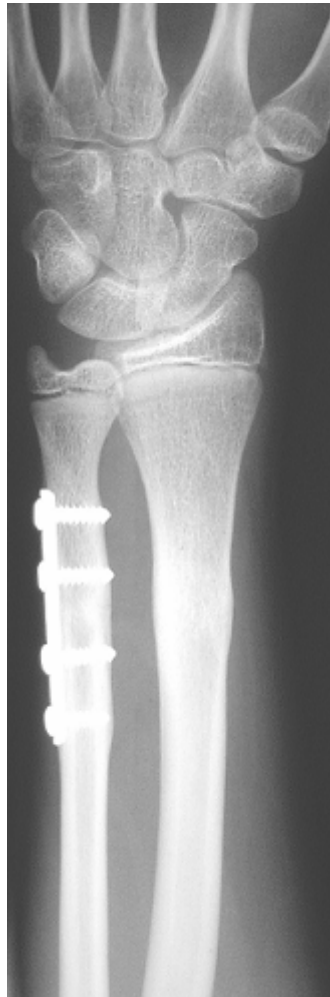


Abb. 21: Ein Tag nach der Reposition
(Quelle: K., L.; Eigenes Patientenarchiv)

Fall: Ein Patient mit kompletter Unterarmschaftfraktur im diaphysär-distalen Drittel zeigte eine Minus-Variante der Ulna um 1 cm. Die Ulna war erst sechs Tage nach dem Unfall mit einer Platte versorgt worden, da eine sekundäre Dislokation auftrat. Der Radius hingegen wurde konservativ austherapiert.



**Abb. 22: Verplattung der Ulna sechs Tage nach konservativer Reposition
(Quelle: K., M.; Eigenes Patientenarchiv)**



**Abb. 23: Vier Monate nach Verplattung mit Ulna-Minus-Variante
(Quelle: K., M.; Eigenes Patientenarchiv)**

5) Fragen: Die Patienten wurden persönlich nach Auffälligkeiten nach der durchgeführten Therapie befragt und gaben folgendes an:

Fälle: Zwei Patienten bemerkten nach operativ versorgter Unterarmschaftfraktur ein zwischenzeitlich unregelmäßig auftretendes N.-Medianus-Kribbeln. Bei dem einen wurde eine Plattenosteosynthese und bei dem anderen eine Bündel-Nagelung durchgeführt.

Fälle: Fünf Patienten zeigten allgemeine Parästhesien im Bereich der Narben nach Plattenosteosynthese und Bündel-Nagelung.

Fälle: Bei zwei Patienten traten hin und wieder Schmerzen bei mittlerer Belastung auf.

Fall: Ein Patient gab an, in seinem Beruf als Elektriker öfter an Schmerzen am Unterarm nach schwerem Tragen zu leiden. Seine Fraktur wurde mit einer Bündel-Nagelung therapiert.

3.7.2 Eigene, klinische Untersuchung des Kollektivs der Patienten nach distalen Radiusfrakturen

1) Winkelmessung: (Quotient = Patienten mit mehr als 10° verschlechtertem Wert / n)

- a) EBG: $3/6 = 50\%$
- b) P/S: $4/6 = 66,67\%$
- c) PF/DE: $0/6 = 0\%$
- d) RD/UD: $2/6 = 33,33\%$

2) Kraftmessung: Keine Auffälligkeiten

3) Umfangmessung: Keine Auffälligkeiten

4) Längenvergleich: Keine Auffälligkeiten

5) Fragen: Die Patienten wurden persönlich nach Auffälligkeiten nach der durchgeführten Therapie befragt und gaben folgendes an:

Fälle: Bei zwei Patienten traten einerseits nach Plattenosteosynthese und andererseits nach Kirschner-Draht-Osteosynthese Parästhesien im Bereich der Narben auf.

3.7.3 Eigene, klinische Untersuchung des Kollektivs der Patienten nach kompletten, distalen Unterarmfrakturen

1) Winkelmessung: (Quotient = Patienten mit mehr als 10° verschlechtertem Wert / n)

- a) EBG: $1/16 = 6,25\%$
- b) P/S: $2/16 = 12,5\%$
- c) PF/DE: $5/16 = 31,25\%$
- d) RD/UD: $3/16 = 18,75\%$

2) Kraftmessung : Keine Auffälligkeiten

3) Umfangmessung: Keine Auffälligkeiten

4) Längenvergleich:

Fall: Eine Patientin zeigte nach kompletter, distaler Unterarmfraktur, die konservativ behandelt wurde, eine 0,5 cm verkürzte Ulna am ehemals gebrochenen linken Unterarm. Ca. 1 cm proximal des ehemaligen Frakturspalt ist im Röntgenbild eine Woche nach der Reposition ein annähernd kreisrunder, knöcherner Defekt von 0,5 cm Durchmesser zu erkennen.

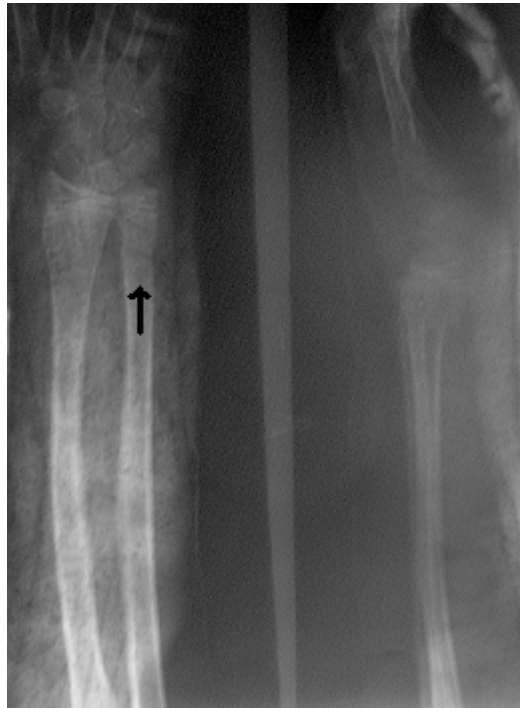


Abb. 24: Eine Woche nach konservativer Therapie einer kompletten, distalen Unterarmfraktur zeigt sich ein kreisrunder, knöcherner Defekt (Quelle: L., A.; Eigenes Patientenarchiv)

5) Fragen: Die Patienten wurden persönlich nach Auffälligkeiten nach der durchgeführten Therapie befragt und gaben folgendes an:

Fälle: Drei Patienten gaben an, unter zwischenzeitlich auftretenden Schmerzen im Bereich des ehemals gebrochenen Unterarmes zu leiden.

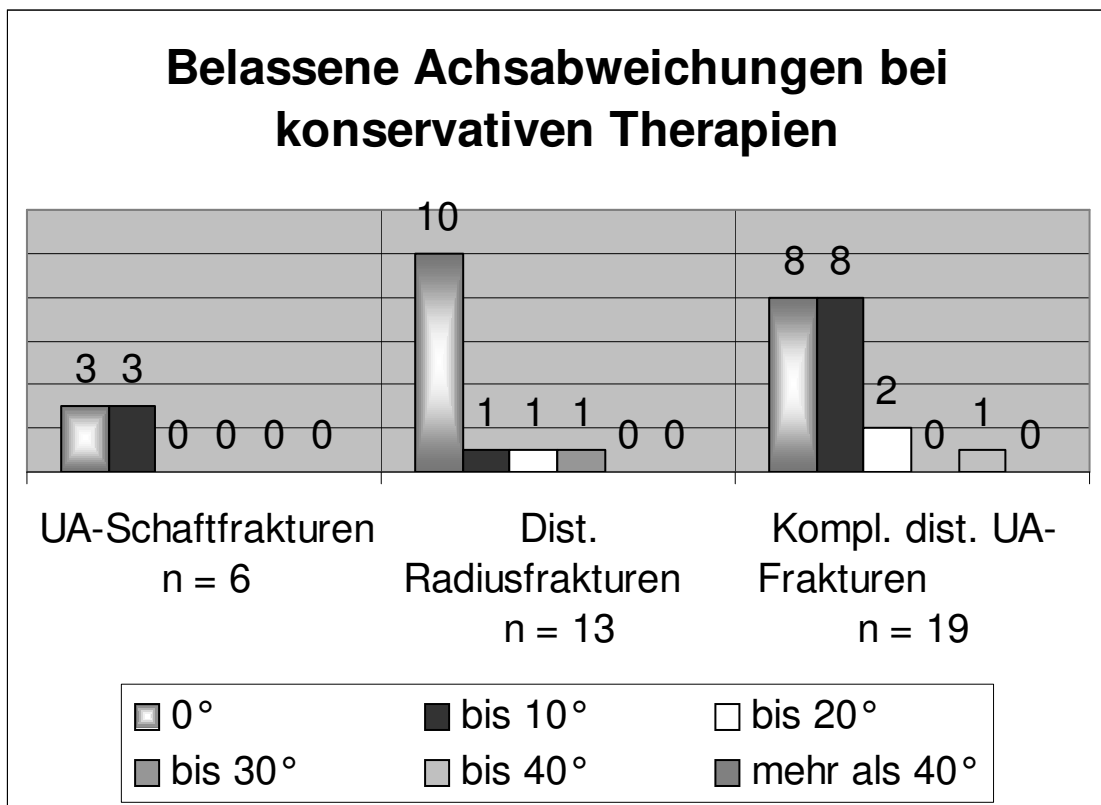
Fälle: Vier Patienten berichteten von Parästhesien.

Fall: Eine Patientin zeigte 17 Jahre nach der OP eine Exostose an der dorsalen Fläche des distalen Radius, die bei längeren Schreibarbeiten Schmerzen bereite (siehe: **3.3.3**). Die Fraktur war damals mit zwei Kirschner-Drähten im Radius und einem Kirschner-Draht in der Ulna stabilisiert worden.

3.8 Das Outcome speziell nach konservativer Therapie

3.8.1 Tolerierte Restachsabweichungen bei konservativen Therapien

In der unten aufgeführten Tabelle sind alle Achsabweichungen der Frakturbruchstücke nach konservativer Ersttherapie aufgezählt, die derart belassen und konservativ austerapiert wurden.

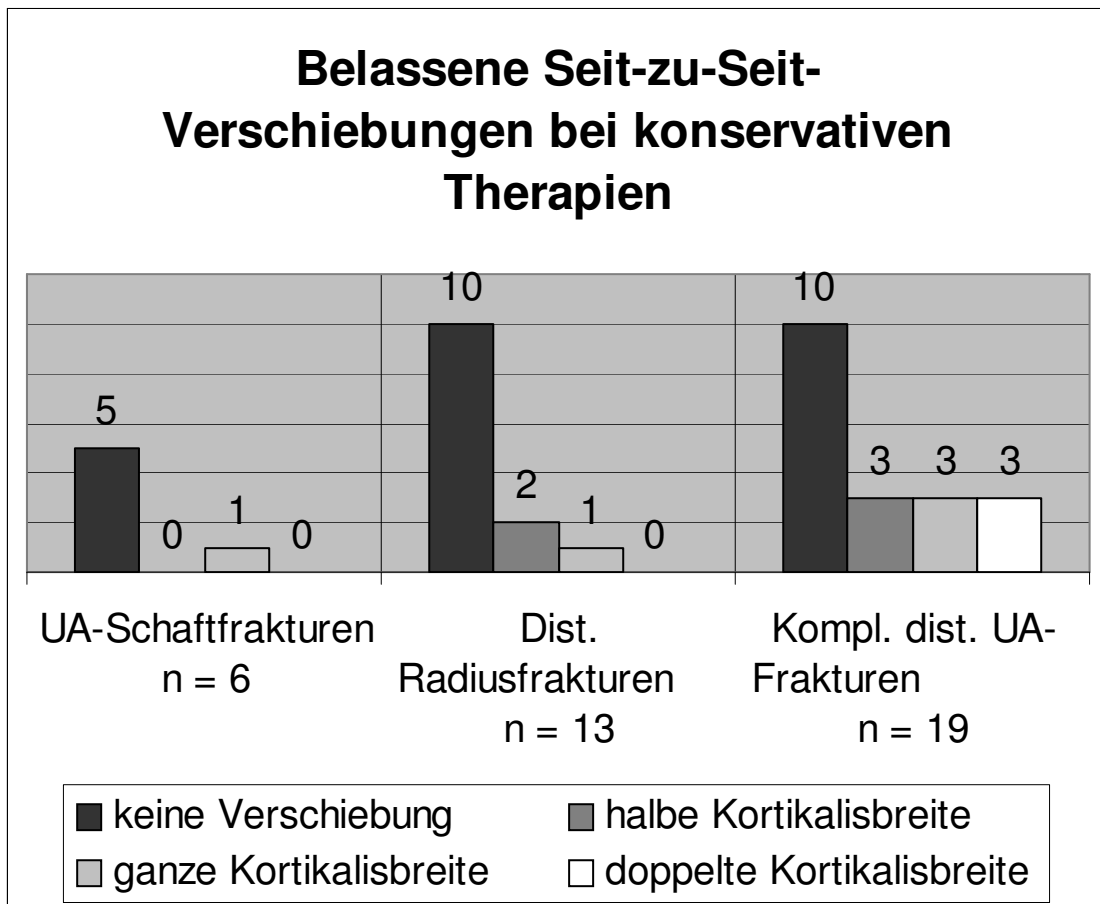


Tab. 19: Belassene Achsabweichungen bei konservativen Therapien

Alle konservativ versorgten Unterarmschaftfrakturen wurden durch eine Reposition in ihrer Stellung verbessert.

Bei den distalen Radiusfrakturen wurden vier von 13 Frakturen (30,77%) gar nicht reponiert und bei kompletten, distalen Unterarmfrakturen wurden fünf von 19 Frakturen (26,32%) ebenfalls nicht reponiert und lediglich der Spontankorrektur überlassen.

3.8.2 Belassene Seit-zu-Seit-Verschiebungen bei konservativen Therapien



Tab. 20: Belassene Seit-zu-Seit-Verschiebungen bei konservativen Therapien

Fall: Der Patient, bei dem die Seit-zu-Seit-Verschiebung um Kortikalisbreite nach Unterarmschaftfraktur belassen wurde war vier Jahre alt zum Frakturzeitpunkt.

Fälle: Die Patienten, bei denen Seit-zu-Seit-Verschiebungen um halbe Kortikalisbreiten nach distalen Radiusfrakturen belassen wurden, waren zum Unfallzeitpunkt 13 bzw. 15 Jahre alt.

Fall: Der Patient mit Verschiebung um ganze Kortikalisbreite war 10 Jahre alt.

Bei den kompletten, distalen Unterarmfrakturen wurden mehrere Seit-zu-Seit-Verschiebungen belassen:

Fälle: Das Alter der Patienten mit belassener Verschiebung um halbe Kortikalisbreite war neun, elf und 13 Jahre.

Fälle: Das Alter der Patienten mit belassener Verschiebung um ganze Kortikalisbreite war sieben, zehn und 12 Jahre.

Fälle: Das Alter der Patienten mit belassener Verschiebung um doppelte Kortikalisbreite war fünf, sieben und neun Jahre.

4) Diskussion

Die allgemeine Fragestellung nach dem Finden von adäquaten, erfolgversprechenden und einfach anzuwendenden Therapievarianten bei definierten Frakturen des Unterarmes bei Kindern ist der Leitgedanke der gesamten Studie.

An der Klinik und Poliklinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie Münster haben sich über Jahre Standards in der Therapie kindlicher Unterarmfrakturen entwickelt und bewährt, die in der Mehrzahl zu sehr guten Ergebnissen führten. Diese haben aber natürlich nicht den Anspruch, die einzig gültige und erfolgversprechende Therapie für einen Typ Unterarmfraktur darzustellen.

Die Fragestellung wurde aufgeworfen, als sich bei den kindlichen Unterarm-schaftfrakturen die Therapie der Bündel-Nagelung mehr und mehr zu einem Standard in der operativen Therapie entwickelte. Die kürzeren Operationszeiten [28], die geringere Invasivität [28, 33, 37, 47, 63] und die besseren Outcomes (siehe: **3.3.1**) dieser Therapie zählen zu den Vorteilen der Bündel-Nagelung gegenüber der Plattenosteosynthese.

Bei den distalen Radiusfrakturen und kompletten, distalen Unterarmfrakturen entstand die Frage nach der womöglich besseren Therapie dadurch, dass bei derart lokalisierten Frakturen bisher zumeist ein prozentual hoher Anteil an konservativen Therapieformen angewandt werden konnte [27], jedoch dieser in manchen Fällen komplikationsträchtig war und einige nicht zufriedenstellende Endergebnisse hervorbrachte (siehe: **3.7.2**, Punkt 1; **3.7.3**, Punkt 4).

Das Geschlechterverhältnis von 1:1,5 (Mädchen vs. Jungen) spiegelt den allgemein etwas höheren Aktivitätsradius von Jungen im Kinder- und Jugendlichenalter gegenüber Mädchen wieder und deckt sich mit Angaben (1:1,2 – 1,6) von Studien zum Thema Epidemiologie von kindlichen Frakturen der Röhrenknochen [40]. Jungen neigen eher zu risikoreichem Spielen und ziehen sich dadurch eher Verletzungen zu.

Ebenso decken sich die Angaben zur Altersverteilung von Unterarmfrakturen unabhängig vom Verletzungsmechanismus und Frakturtyp mit denen in der Literatur. Demnach liegen Betonungen des dritten und vierten sowie des siebten und achten Lebensjahres und ein höherer Gipfel zwischen dem 13. und 14. Lebensjahr vor (siehe: **2.1 Tab. 3**) [40].

Bei kindlichen Unterarmfrakturen handelt es sich allgemein zumeist um gutartige Verletzungen, die abgesehen von Frakturen mit schweren Gefäß- oder Nervläsionen, mit gutem Ergebnis und einer vollständigen restitutio ad integrum ausheilen können [4, 7, 9, 28, 78, 86]. In keinem Fall dieser Studie ist von einer nicht mehr möglichen Gebräuchlichkeit eines Unterarmes durch iatrogene Fehleinschätzung zu berichten (siehe: **3.4.1**, **3.5.1**, **3.6.1**). Wenn, dann brachten zu versorgende Re-Frakturen Probleme mit sich, die nicht mehr auszugleichen waren. Daher sollte bei Kindern darauf geachtet werden, dass bei der Erstbehandlung – wenn möglich – immer eine definitive Therapie angestrebt wird [28, 43].

Bezüglich der Operationsindikationen kommt es darauf an, diejenigen Frakturen zu erkennen, die nicht allein durch Reposition und Gipsimmobilisation mit zufriedenstellenden Ergebnissen behandelt werden können [27]. So ist einem konservativen Therapieversuch mit hohem Risiko einer sekundären Dislokation und der Notwendigkeit einer erneuten Reposition nicht der Vorzug gegenüber einer operativen Versorgung (Bündel-Nagelung, Plattenosteosynthese, Kirschner-Draht-Osteosynthese) zu geben.

Wenn lediglich die operativen Therapieregime ungeachtet der Frakturlokalisierung und des Alters des Kindes betrachtet werden, ist ein Vergleich zu einer 1996 von Ortega et al. [59] erstellten Studie möglich: Ortega kam bei 16 kindlichen Patienten mit 17 Frakturen (sechs Osteosynthesen am Radiuschaft, sieben am distalen Radius, vier am dia-metaphysären Übergang des Radius) mit den Methoden Plattenosteosynthese (n=8), perkutane Steinmann-Pinnung (n=7) und intramedullärer Steinmann-Pinnung (n=2) ausschließlich zu den Endergebnissen „excellent“ nach Duruwalla [15]. Hinzuzufügen ist, dass in 12 Fällen lediglich der Radius und in fünf Fällen beide Unterarmknochen frakturiert waren. In unserer Studie traten nach operativ versorgten Schafffrakturen (n=27; davon komplette Schafffrakturen n=26; darunter Bündel-Nagelungen n=15, Plattenosteosynthesen n=12) nur vier unbefriedigende Ergebnisse („fair“ oder „poor“ nach Duruwalla [15]) auf.

Diese waren allesamt vorher frühe (nach 14 Wochen) oder späte (nach zwei Jahren) Re-Frakturen. Dieses Ergebnis zeigt, dass nicht nur dafür Sorge getragen werden muss, dass keine sekundären Dislokationen während der Immobilisation auftreten, sondern, dass ebenso mögliche frühe Re-Frakturen, die korrekt ausgeheilt schienen, durch richtige Retention und Immobilisation der Frakturen

vermieden werden müssen. Gerade im Schaftbereich ist dies von außerordentlicher Wichtigkeit.

Bei den operativ versorgten distalen Radiusfrakturen und kompletten, distalen Unterarmfrakturen (n=21) lagen lediglich zwei unbefriedigende Ergebnisse vor: Zum einen eine eingeschränkte Pro- und Supination nach gespickter, distaler Radiusfraktur und zum anderen ein Persistieren von milden Beschwerden bei täglicher Arbeit nach gespickter, kompletter, distaler Unterarmfraktur.

Es bleibt festzuhalten, dass operative Therapievarianten dieser Studie zum großen Teil gute bis exzellente Ergebnisse hervorbringen können, die Gründe für das schlechtere Ergebnis (insgesamt sechs unbefriedigende Endergebnisse) gegenüber Ortega et al. [59] jedoch in der größeren Fallzahl (n=48 vs. n=17) und dem Einbeziehen von Re-Fraktur-Versorgungen in die Studie begründet liegen.

Bei undislozierten, metaphysären Stauchungsfrakturen des Radius, der Ulna oder beider Knochen am distalen Unterarm sollte prinzipiell eine funktionelle Behandlung möglich sein, wenn sicherheitshalber zur Immobilisation ein Unterarmgips angelegt wird [5, 17].

Vollständig dislozierte Frakturen am distalen Unterarm sind ebenfalls für die konservative Behandlung geeignet [4, 7, 9, 17, 78, 86]. So zeigten in dieser Studie alle Frakturen des distalen Radius (n=13), die primär disloziert waren (n=13) zufriedenstellende Ergebnisse nach primär-konservativer Therapie („excellent“: n=3, „good“: n=10; siehe: **3.3.2**). Hahn et al. [27] postulierten, dass diese fast ausschließlich der konservativen Frakturversorgung zugeführt werden sollten, da die breite Fragmentabstützung an der distalen Extremität einen guten Knochenkontakt erbebe [43].

Die häufig anzustrebende konservative Therapie wird ebenso wie an der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster auch von Dau et al. [10] bei kompletten, distalen Unterarmfrakturen angestrebt, da Achsknicke und Seit-zu-Seit-Verschiebungen fast gänzlich durch konservative Therapie und Spontan-korrektur zu verhindern seien.

Die Ergebnisse zeigen einen prozentual höheren Anteil an konservativen Verfahren (59,4%) und mit nur 5,3% (n=1) an unbefriedigenden Endergebnissen ein sehr gutes Outcome (siehe: **3.3.3**). Es sei angemerkt, dass davon (n=19) 18 Frakturen primär disloziert waren und nur eine Fraktur als Grünholz-Fraktur vorlag.

Liegt bei komplett dislozierter Fraktur des distalen Unterarms wegen der Möglichkeit der Spontankorrektur keine Indikation zur Reposition vor, so kann zunächst einmal eine Immobilisation durchgeführt werden.

Ein z.B. primär gespalten angebrachter Gips kann nach Abschwellen der Weichteile unter Kompression auf die Frakturstelle zirkuliert werden, so dass der ovaläre Querschnitt ein Auseinanderhalten der Knochen und ein Aufspannen der Membrana interossea verursacht. So wird die Unterarmdrehung nicht beeinträchtigt [5, 17].

Teilweise können bei Kindern im Vorschulalter bei derart belassenen Fehlstellungen im distal-metaphysären Bereich Achsabweichungen sogar bis zu 50° in der Frontal- und Sagittalebene spontan ausgeglichen werden [17].

An diesem Ort sind daher Frakturen, die sogar unbemerkt in dieser Fehlstellung ausheilen, bei unter Zehnjährigen nicht von vornherein eine Indikation zur Korrekturosteotomie. Die hohe Korrekturpotenz durch den ca. 80%-Anteil am Längenwachstum an den distalen Epiphysenfugen sorgt vor allem unterhalb des zehnten Lebensjahres dafür, dass verbleibende Fehlstellungen schnell und rückstandslos ausgeglichen werden [42, 55, 82]. Gravierende, kosmetisch und funktionell störende Unterschiede im Längenwachstum sind nach de Pablos et al. [60] nicht häufig zu erwarten und in dieser Studie zeigte sich nur eine Ulna-Minus-Variante (5,26%) nach konservativ versorgter, kompletter, distaler Unterarmfraktur. Bis zum Abschluss des Wachstums korrigiert sich die Längendifferenz zwischen Ulna und Radius in der Regel spontan [45].

Gleichmäßig verkürzte Unterarmfrakturen sind ebenso nicht zwingend eine sofortige Indikation zur Operation, wenn sie allerdings der Anatomie entsprechend reponiert und stabil fixiert werden können [27].

Prinzipiell können kindliche, distale Unterarmbrüche in derjenigen Stellung immobilisiert werden, die das beste und stabilste Repositionsergebnis ergeben.

Nach dem 12. Lebensjahr ist am distalen Unterarm jedoch von einer unzureichenden Spontankorrektur auszugehen [45, 18, 19, 20, 32, 34, 35, 46, 62]. Bei diesen Kindern muss möglichst primär ein stabiles Repositionsergebnis erzielt werden, um sekundäre Dislokationen zu vermeiden. Ansonsten besteht die Indikation zur sofortigen Operation in gleicher Narkose [26].

Hier kommen stabile Plattenosteosynthesen oder Kirschner-Draht-Osteosynthesen in Frage.

Aufgrund der Ergebnisse dieser Studie wird postuliert, dass, zu großen Anteilen - vor allem distal - die konservative Versorgung von kindlichen Frakturen anzuwenden ist, wenn die Indikation dazu besteht, da hierzu sehr viele zufriedenstellende Ergebnisse vorliegen (siehe: **3.3.2, 3.3.3**). So zeigten z.B. primär konservativ begonnene und derart beendete Therapien von Unterarmfrakturen (n=38) sogar jeglicher Lokalisation und Art ein zufriedenstellendes Endergebnis („excellent“ oder „good“ nach Duruwalla [15]) in 97,37% der Fälle. Nicht ungeachtet bleiben darf allerdings die Zahl der sekundär dislozierten primär konservativen Therapieversuche, die dann per Osteosynthese ausbehandelt wurden. Diese liegt - alle Kollektive zusammengenommen - bei 22,45% (n=11/49). Allerdings ist das Outcome aller dieser Frakturen mit Therapiewechsel ausschließlich „excellent“ oder „good“. Es besteht folglich kein Kausalzusammenhang zwischen Therapien mit einem Therapiewechsel und schlechten Endergebnissen. Im Gegensatz dazu kommen unbefriedigende Ergebnisse insgesamt nur durch Re-Frakturbehandlungen oder das Belassen von nicht spontan zu korrigierenden Fehlstellungen zustande. Da erscheint es als kindgerechter, eine bemerkte sekundäre Dislokation operativ zu beheben, als eine eventuelle frühe Re-Fraktur nach Konsolidationsstörung mit vermutlich schlechtem Endergebnis behandeln zu müssen.

Die konservative Behandlung von Unterarmschaftfrakturen im Kindesalter wird von vielen Autoren als komplikationsträchtig eingestuft [8, 57, 78]. Die Ergebnisse dieser Studie zeigen ebenfalls, dass sie dislokationsfreudig und damit komplikationsträchtig sind (siehe: **3.2**), doch die Endergebnisse stimmen zuversichtlich (siehe: **3.3.1**).

Bekannte Besonderheiten des Kindesalters wie z.B. schnellere Frakturheilung, spontane Achskorrekturen des noch in der Wachstumsphase befindlichen Knochens, die untergeordnete Rolle einer längeren Immobilisierung und Ruhigstellung der angrenzenden Gelenke dürfen nicht dazu führen, die kindlichen Unterarmschaftbrüche zu wenig differenziert zu beurteilen und auf einen zielgerichteten Behandlungsplan zu verzichten. Alle genannten „Vorteile“ der kindlichen Fraktur gegenüber den Frakturen des Erwachsenen sind – gleiches gilt auch für die Frakturtypen – stark lokalisations- und altersabhängig [15, 20].

Achsknicke können Literaturangaben zufolge altersabhängig z.B. bis zu 20° bei Kindern bis zum Ende des vierten Lebensjahres akzeptiert werden [76]. In dieser

Studie wurde bei Kindern jeglichen Alters lediglich eine Achsabweichung bis 10° im Schaftbereich toleriert und alle Endergebnisse waren „good“ bis „excellent“ (siehe: **3.8.1**).

Darüber hinaus gehende Dislokationen werden am Unterarmschaft nicht ausreichend ausgeglichen [76]. Seit-zu-Seit-Verschiebungen wurden allerdings im Bereich des Unterarmschaftes nur insgesamt einmal - und das bei einem vierjährigen Patienten - bis zu einer Dislokation um Kortikalisbreite belassen, da laut Literatur z. B. mitinbegriffene, schwer diagnostizierbare Rotationsfehler starke Einschränkungen der Unterarmrotation verursachen können. Diese werden an sich am Unterarmschaft allenfalls nur ungezielt und indirekt ausgeglichen [45, 66].

Die unberechtigte Duldung von Fehlstellungen, die dem Korrekturpotenzial des wachsenden Unterarmschaftes überlassen werden, führen zu schlechten Ergebnissen - vor allem in der Unterarmdrehung. Achsfehler nach palmar von 5°-30° sollen z. B. Supinationseinschränkungen von 5°-27°, Achsfehler nach dorsal sollen z.B. Pronationseinschränkungen von 10°-83° verursachen können [43, 57, 78].

Die Hauptkomplikation konservativ versorgter Schaftfrakturen stellt die Pseudarthrose durch Konsolidationsstörungen im Bereich des Bruchspalts und damit verbunden die frühe Re-Fraktur oder die sekundäre Dislokation dar (siehe: **3.2**). Ursache kann die schnelle Heilung eines nur durch eine Grünholz-Fraktur betroffenen Knochens sein, der die Heilung des korrespondierenden, komplett frakturierten Knochens, verhindert [29].

In der Literatur werden unbefriedigende Ergebnisse nach konservativer Unterarmschaftfrakturversorgung sogar bei jedem zweiten Fall angegeben [43, 78]. In unserer Studie ereigneten sich bei allen Unterarmschaftfrakturen (n=33) acht sekundäre Dislokationen, die jedoch alle zufriedenstellend ausbehandelt werden konnten. Viermal war die zu behandelnde Unterarmschaftfraktur allerdings eine Re-Fraktur und nur in diesen Fällen entwickelten sich inakzeptable Ergebnisse.

Der einzige Einspruch bei dem Verfahren des Therapiewechsels nach sekundärer Dislokation oder früher Re-Fraktur ist jedoch das Nichtbeachten eines kindgerechten Vorgehens, bei dem Nachrepositionen ausgeschlossen werden sollten.

Rang [68] behauptet sogar, dass am Unterarmschaft nur anatomisch reponierte und immobilisierte Frakturen ihre ehemalige Funktion wiedererlangen würden. In den dieser Studie zugrundeliegenden Fällen waren nicht alle konservativ versorgten Unterarmschaftfrakturen einwandfrei anatomisch reponiert worden,

doch alle Patienten hatten gut bis exzellente Ergebnisse (siehe: **3.8.1**, **3.8.2**). Sogar ein 13- und ein 14-Jahre alter Patient erlangten die exzellenten Ergebnisse bei nur „annähernd anatomischer Stellung“ der Bruchfragmente.

Generell müssen z.B. Grünholz-Frakturen des Unterarmschaftes in der Regel nur in seltenen Fällen operativ korrigiert werden und eignen sich daher gut zur konservativen Therapie. Mit z. B. einer Gipskeilung nach einigen Tagen kann ein gutes Ergebnis erzielt werden.

Die häufigste Ursache für Re-Frakturen sind Konsolidierungsstörungen nach dislozierten Grünholz-Frakturen. Dadurch ist auch längere Zeit nach dem Unfall eine potenzielle Re-Fraktur-Gefahr gegeben [79].

Zur Vermeidung dieser Heilungsstörungen sollte der Knochen bei mehr als 20° Achsabweichung bei der Reposition ganz durchgebrochen werden [43, 79]. Das gleiche gilt für Kombinationsverletzungen von Grünholz- und komplett dislozierter Fraktur, bei denen es sonst leicht zur Konsolidationsstörung des langsamer heilenden, komplett frakturierten Knochens kommen kann [5, 17, 29].

Falls sich allerdings von vornherein kein annähernd anatomisches Repositionsergebnis erzielen lässt, sollte in derselben Narkose auf das operative Verfahren gewechselt werden, da ein zweiter, geschlossen vorgenommener Repositionsversuch durch eine Heilungsverzögerung eine Ruhigstellung im Gips von bis zu 90 Tagen nach sich ziehen könne [72]. Von manchem wird die Notwendigkeit einer Nachreposition aufgrund primärer Fehleinschätzung der Fraktur sogar als Behandlungsfehler gewertet [43].

Mit den neuen minimal-invasiven Verfahren ist der zusätzliche Zeitaufwand zum konservativen Erstversuch dann nur noch gering [28, 33, 37, 47, 63].

Schafffrakturen, die z.B. stark disloziert sind, stellen zu großen Teilen primär eine Operationsindikation dar, wenn die o.g. tolerablen Mindestabweichungen überschritten werden [28, 69, 70]. Besonders instabil sind kurze Schrägfrakturen, Frakturen von Ulna und Radius in unterschiedlicher Höhe und Frakturen mit Keilbildung oder Trümmerzonen [73].

Eine rigide Plattenosteosynthese bei Schafffrakturen sollte jedoch bei unter Zwölfjährigen – wenn möglich - vermieden werden, da dieses Verfahren mit zu vielen Risiken vergesellschaftet ist: Die Plattenosteosynthese ist mit einem erheblichen Weichteiltrauma, der möglichen Denudierung der Fragmente und dem Verlust des wertvollen Frakturhämatoms verbunden [12, 27, 28]. Die Narben sind

oft mehrere Zentimeter lang und der Frakturbereich wird zur Metallentfernung nochmals eröffnet. Dabei können sich Infektionen entwickeln und im Frakturbereich kann großflächig narbiges Gewebe entstehen. Außerdem führt die Lage der Platten am dorsalen Unterarm häufig zu einer Strecksehnenirritation. Diese vielen und immensen Nachteile der Plattenosteosynthese führen zu der Erkenntnis, dass die Plattenosteosynthese bezüglich ihrer Indikation nur noch Ausnahmeindikationen, älteren Kindern, sowie Erwachsenen vorbehalten sein sollte. Bei z.B. primär offenen Frakturen kann sie gut eingesetzt werden. Zur Behandlung von instabilen Unterarmschaftfrakturen Jugendlicher (ab 12 Jahren) ist die Plattenosteosynthese z.B. ebenso geeignet, da sie durch die stabile Retention Rotationsfehler besser als bei der Bündel-Nagelung beseitigen kann [8, 20, 56]. Die Hauptintentionen dieser Methode sind also das Aufrechterhalten der adäquaten reponierten Knochenposition und Unterarmrotation [22, 50, 81] sowie das Vermeiden von Heilungsverzögerungen und daraus resultierenden Pseudarthrosen [2, 14, 51].

Lange Zeit war dieses operative Verfahren auch das Mittel der Wahl bei jungen Kindern bei Instabilitäten oder nicht reponiblen Frakturen, bis die Methode der intramedullären Schienung Ende der 1980er Jahre initiiert durch Prevot mehr und mehr Einzug erhielt [47]. Diese ermöglicht bei geringerem operativem Weichteiltrauma ohne Denudierung der Fragmente und bei gleichzeitigem Erhalt des biologisch wertvollen Frakturhämatoms die sichere Stabilisierung der Frakturfragmente [7, 27, 28, 47, 57, 64, 83, 89]. Eine Beeinträchtigung dieses wertvollen Frakturhämatoms erscheint allerdings unumgänglich, wenn die Reposition einer Schafffraktur bei der Bündel-Nagelung geschlossen nicht gelingt. Dann muss eine kleine Inzision (sog. halboffene Bündel-Nagelung) über der Frakturstelle durchgeführt werden, um das Vorantreiben der Nägel zu ermöglichen [20].

Wie die Plattenosteosynthese ermöglicht die elastisch stabile intramedulläre Nagelung eine gipsfreie funktionelle Nachbehandlung [64], wenngleich eine Reihe von Autoren über unterschiedlich lange Zeiträume der postoperativen Ruhigstellung im Oberarmgips berichten [7, 27, 28, 57, 83]. Das Anlegen eines Gipses aus psychologischen Gründen ist in manchen Fällen empfehlenswert.

Oberflächliche Wundinfekte und Hautirritationen werden in der Literatur als Problem angegeben [24, 28, 64, 80]. In dieser Studie trat nur in einem Fall das Phänomen der Metallose auf. Eine Migration des Osteosynthesematerials trat ebenfalls nicht auf. Infektionen sind aus dieser Arbeit nicht bekannt.

Die Bündel-Nagelung zeigte in der Operationsstatistik mehrere positive Charakteristika. Sie war eine verlässliche Ersttherapie und konnte gut bei gescheiterten anderen Ersttherapien und frühen Re-Frakturen eingesetzt werden (siehe: **3.2**).

Bündel-Nagelungen bei Kindern, die kurz vor dem Verschluss der Epiphysenfugen stehen, machen jedoch keinen Sinn, weil z.B. Einzelknochenrotationen oder Knochenverkürzungen nicht sicher verhindert werden können [37, 48]. Außerdem werden Probleme beim „Einschlagen“ des Nagels in die Medulla, beim Überqueren des Bruchspalts und beim Positionieren im bruchfernen Knochen berichtet [61].

Kinder, die Unterarmfrakturen erleiden, werden für eine bestimmte Zeit aus ihrem sozialen Umfeld herausgerissen. Daher sollte die kindgerechte Versorgung von Frakturen des Unterarms helfen, die aus der ungewohnten und beängstigenden Situation resultierenden Probleme zu minimieren [12, 43]. Als Konsequenz erhebt sich die Forderung nach einer unmittelbaren und gleichzeitig definitiven Versorgung [43]. Nachrepositionen und Wechsel auf ein Osteosynthese-Verfahren sollten – wenn möglich - vermieden werden [12, 43].

Die Ergebnisse der konservativen Behandlung von Unterarmschaftfrakturen im Kindesalter sind bei Nichtbeachten der tolerablen Abweichungen von der anatomischen Position mit vielen möglichen Komplikationen verbunden. Primär operativ werden wesentlich bessere Ergebnisse erzielt (siehe: **3.3.1**). Die Indikation zur Operation von Unterarmschaftfrakturen im Kindesalter stellt sich heutzutage abhängig vom Alter des Kindes und der Stabilität der Fraktur. Die Bündel-Nagelung kann im Gegensatz zur Plattenosteosynthese als kindgerechtes Verfahren angesehen werden, da durch sie primär eine definitive, komplikationsarme und funktionsstabile Versorgung möglich ist, die die biologischen Aspekte der Knochenbruchheilung berücksichtigt. Manche Autoren propagieren sogar die Verwendung der intramedullären Osteosynthese für pathologische Frakturen [39].

Durch die vom Kind selbstbestimmte frühfunktionelle Bewegungsmöglichkeit bei eventuellem Verzicht auf einen immobilisierenden Verband erfüllt die Bündel-Nagelung von Unterarmschaftfrakturen im Kindesalter wichtige Kriterien der modernen Frakturbehandlung. Sie wurde und wird weiterhin als Standardverfahren an der WWU Münster mit Erfolg angewandt.

5) Literaturverzeichnis

- 1)** Aitken, 1935; Salter und Harris, 1963
- 2)** Anderson LD, Sisk TD, Tooms RE, Park WI (1975) Compression - plate fixation in acute diaphyseal fractures of the radius and ulna. J Bone Joint Surg (Am); 57: 287 - 297
- 3)** Bacorn R, Kurtzke JF (1953) Colles` fracture. A study of Two Thousand Cases from the New York State Workmen`s Compensation Board. J Bone Joint Am Surg A - 35, 643 - 658
- 4)** Bauer G, Gonschorek O (1993) Zum Management instabiler Vorderarmschaftfrakturen bei Kindern. Unfallchirurg, 96: 224 – 228
- 5)** Blount WP (1957) Knochenbrüche bei Kindern. Thieme, Stuttgart
- 6)** Böhler L Die Technik der Knochenbruchbehandlung. Verlag Wilhelm Mandrich (Wien); 12. - 13. Auflage; I. Band: 4 – 8 / 16 - 55
- 7)** Buch J, Leixnering M, Hintringer W, Poigenfürst J (1991) Markdrahtung instabiler Unterarmschaftbrüche bei Kindern. Unfallchirurgie 17: 253 – 258
- 8)** Creasman C, Zaleske DJ, Ehrlich MG (1984) Analyzing forearm fractures in children. The more subtle signs of impending problems. Clin Orthop 188: 40 - 53
- 9)** Czerny F, Linhart W, Rueger JM, Sommerfeldt D, Pannike A (1994) Frakturen im Bereich des Unterarms bei Kindern. Unfallchirurgie 20: 203 - 210
- 10)** Dau W (1996) Behandlung von Unterarmbrüchen im Kindesalter. Chir Prax 10: 405 – 411
- 11)** Decula PA, Lindsey RW, Ruwe PA (1998) Refracture of bones of the forearm after the removal of compression plates. J Bone Joint Surg 70 A: 1372 – 1376
- 12)** Dietz HG, Schmittenbecher PP, Illing P (Hrsg) (1997) Intramedulläre Osteosynthese im Wachstumsalter. Urban & Schwarzenberg, München Wien Baltimore
- 13)** Dietz HG, Schmittenbecher PP, Slongo T, Wilkins K (2005) Elastic stable intramedullary nailing (ESIN) in children. AO Publishing (in press)
- 14)** Dodge HS, Cady GW (1972) Treatment of fractures of the radius and ulna with compression plates: a retrospective study of one hundred and nineteen fractures in seventy - eight patients. J Bone Joint Surg (Am); 54: 1167 - 1176
- 15)** Duruwalla JS (1979) A study of radio-ulnar movements following fractures of the forearm in children. Clin Orthop; 139: 114 – 120

- 16)** Feldkamp G, Daum R (1978) Langzeitergebnisse kindlicher Unterarmschaftbrüche. Unfallheilkunde 132: 389 – 392
- 17)** Freuler F, Weber BG, Brunner C (1978) Vorderarmschaftfrakturen. In: Weber BG, Brunner C, Freuler F (Hrsg.) Die Frakturbehandlung bei Kindern und Jugendlichen. Springer, Berlin Heidelberg New York
- 18)** Friberg KS (1979) Remodelling after distal forearm fractures in children. III. Correction of residual angulation in fractures of the radius. Acta Orthop Scand; 50: 741 – 749
- 19)** Friberg KS (1979) Remodelling after distal forearm fractures in children. II. The final orientation of the distal and proximal epiphyseal plates of the radius. Acta Orthop Scand; 50: 731 – 739
- 20)** Fuller DJ, Mc Cullough CJ (1982) Malunited fractures of the forearm in children. J Bone Joint Surg (Br); 64: 364 - 367
- 21)** Germann G, Wind G, Harth A (2000) Der DASH-Fragebogen – ein neues Instrument zur Beurteilung von Behandlungsergebnissen an der oberen Extremität. Handchir Mikrochir Plast Chir; 31: 149 - 152
- 22)** Grace TG, Eversmann WW (1980) Forearm fractures: treatment by rigid fixation with early motion. J Bone Joint Surg (Am); 62: 433 - 437
- 23)** Greenbaum B, Zions LE, Ebramzadeh E (2001) Open fractures of the forearm in children. J Orthop Trauma; 15: 111 - 118
- 24)** Griffet J, El Hayek T, Baby M (1999) Intramedullary nailing of forearm fractures in children. J Pediatr Orthop 8 - B: 88 - 89
- 25)** Hackethal KH (1961) Die Bündel-Nagelung. Springer; Berlin, Göttingen, Heidelberg
- 26)** Haddad FS, Williams RL (1995) Forearm fractures in children: avoiding redisplacement. Injury 26: 691 - 692
- 27)** Hahn MP, Richter D, Muhr G, Ostermann PAW (1997) Kindliche Unterarmfrakturen. Diagnostik, Therapie und Komplikationsmöglichkeiten; Unfallchirurg 100: 760 – 769
- 28)** Hahn MP, Richter D, Ostermann PAW, Muhr G (1996) Die elastische Markraumschienung – ein Konzept zur Behandlung der instabilen Unterarmschaftfraktur im Kindesalter. Chirurg 67: 409 – 412
- 29)** Hahn MP, Ostermann PAW, Richter D, Muhr G (1996) Pseudarthrosen im Kindesalter. Orthopäde 25: 470 – 477
- 30)** Heim U (1974) Osteosynthesen am distalen Radius. Z Unfallmed Berufskr 67, 31 - 34

- 31)** Heim U, Pfeiffer KM (1981) Periphere Osteosynthesen unter Verwendung des Kleinteilfragment-Instrumentariums der AO 2.Auflage Springer, Berlin-Heidelberg-New York
- 32)** Hogstrom H, Nilsson BE, Willner S (1976) Correction with growth following diaphyseal forearm fracture. Acta Orthop Scand; 47: 299 - 303
- 33)** Huber RI, Keller HW, Huber PM, Rehm KE (1996) Flexible intramedullary nailing as fracture treatment in children. J Pediatr Orthop 16: 602 – 605
- 34)** Hughston JC (1962) Fractures of the forearm in children. J Bone Joint Surg (Am); 44: 1678 – 1693
- 35)** Johari AN, Sinha M (1999) Remodelling of forearm fractures in children. J Pediatr Orthop B; 8: 84 - 87
- 36)** Jonasch E (1982) Knochenbruchbehandlung bei Kindern. de Gruyter, Berlin
- 37)** Keller HW, Huber R, Rehm KE (1993) Die intramedulläre Schienung von Frakturen im Wachstumsalter mit einem neuen Implantat. Chirurg 64: 180 – 184
- 38)** Kirchner R, Hüttl T, Krüger-Franke M, Rosemeyer B (1994) Ergebnisse nach perkutaner Bohrdrahtspickung bei distalen Radiusfrakturen. Z Orthop Ihre Grenzgeb 132: 129 - 135
- 39)** Knorr P, Schmittenebecher PP, Dietz HG (1996) Die Behandlung pathologischer Frakturen der langen Röhrenknochen im Kindesalter mittels elastisch stabiler Markraumschienung. Unfallchirurg; 99: 410 - 414
- 40)** Kraus R (2005) Dtsch Ärztebl; 102: A 838 – 842 [Heft 12]
- 41)** Kurz W, Vinz D, Wahl D (1982) Spätergebnisse nach Osteosynthese von Unterarmfrakturen im Kindesalter. Zbl. Chir. 107: 149 – 155
- 42)** Laer L von (1994) Spontanverläufe nach Frakturen im Wachstumsalter. Orthopädie 23: 211 - 219
- 43)** Laer L von (1996) Frakturen und Luxationen im Wachstumsalter. Thieme, Stuttgart New York
- 44)** Laer L von (2001) Frakturen und Luxationen im Wachstumsalter, 4. Aufl. Thieme, Stuttgart New York
- 45)** Laer L von, Hasler C (2000) Spontankorrektur, Wachstumsstörung und posttraumatische Deformität nach Frakturen im Bereich des Vorderarmes am wachsenden Skelett. Handchir Mikrochir Plast Chir 32: 231 – 241
- 46)** Larsen E, Vittas D, Torp-Pedersen S (1988) Remodelling of angulated distal forearm fractures in children. Clin Orthop; 1: 190 - 195

- 47)** Lascombes P, Prevot J, Ligier JN, Metaizeau JP, Poncelet T (1990) Elastic stable intramedullary nailing in forearm shaft fractures in children: 85 cases. J Pediatr Orthop 10: 167 – 171
- 48)** Ligier JN, Metaizeau JP, Prevot J, Lascombes P (1988) Elastic stable intramedullary nailing in femoral shaft fractures in children. J Bone Joint Surg; 70: 74 - 77
- 49)** Mann D, Schnabel M, Baacke M, Gotzen L (2003) Ergebnisse der elastisch stabilen intramedullären Nagelung (ESIN) bei Unterarmschaftfrakturen im Kindesalter. Unfallchirurg; 106: 102 - 109
- 50)** Matthews LS, Kaufer H, Garver DF, Sonstegard DA (1982) The effect on supination - pronation of angular malalignment of fractures of both bones of the forearm: an experimental study. J Bone Joint Surg (Am) ; 64 : 14 – 17
- 51)** Moed BR, Kellam JF, Foster RJ, Tile M, Hansen ST (1986) Immediate internal fixation of open fractures of the diaphysis of the forearm. J Bone Joint Surg (Am); 68: 1008 - 1017
- 52)** Müller ME, Allgöwer M, Willenegger H (1974) Manual der Osteosynthese. Springer, Berlin - Heidelberg - New York
- 53)** Müller M u. Mitarb. (Hrsg.) (1993) Chirurgie für Studium und Praxis; Med.-Verl.- und Informationsdienste
- 54)** Müller, Nazarian, Koch, Schatzker (1990) Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen
- 55)** Murray DW, Wilson – Mac Donald J, Morscher E, Rahn BA, Kaslin M (1996) Bone growth and remodelling after fracture. J Bone Joint Surg Br 78: 42 – 50
- 56)** Nielsen AB, Simonsen O (1984) Displaced forearm fractures in children treated with AO plates. Injury 15: 393 - 396
- 57)** Oestern HJ, Rieger G, Jansen T (2000); Intramedulläre Osteosynthesen beim Kind. Unfallchirurg 103: 2 - 11
- 58)** Oestern HJ, Tscherne H (1983) Pathophysiologie und Klassifikation des Weichteilschadens. Hefte Unfallheilkd 162: 1 – 10
- 59)** Ortega R, Loder RT, Louis DS (1996) Open reduction and internal fixation of forearm fractures in children. J Pediatr Orthop 16: 651 - 654
- 60)** Pablos J de, Franzreb M, Barrios C (1994) Longitudinal growth pattern of the radius after forearm fractures conservatively treated in children. J Pediatr Orthop 14: 492 – 495
- 61)** Pankovitch AM (1987) Flexible intramedullary nailing of long bone fractures: a review. J Orthop Trauma; 1: 78 - 95

- 62)** Perona PG, Light TR (1990) Remodelling of the skeletally immature distal radius. J Orthop Trauma; 4: 356 - 361
- 63)** Prevot J (1989) L'embrochage elastique stable. Z Unfallchir Vers Med Berufskr 82: 252 – 260
- 64)** Prevot J, Lascombes P, Ligier JN (1993) L'ECMES comme procede d'osteosynthese des fractures des membres chez l'enfant. Principe, application sur le femur. A propos de 250 fractures suivies depuis 1979. Chirurgie 119 : 473 - 476
- 65)** Price CT, Scott DS, Kurzner ME, Flynn JC (1990) Malunited forearm fractures in children. J Pediatr Orthop 10: 705 – 712
- 66)** Prommersberger KJ, Lanz U (2000) Fehlverheilte Frakturen des Unterarmes im Wachstumsalter unter besonderer Berücksichtigung der Unterarm-längsachse. Handchir Mikrochir Plast Chir; 32: 250 - 259
- 67)** Rahmanzadeh R (1990) Die Behandlung der distalen Radiusfraktur mit der Plattenosteosynthese. Langenbecks Arch Chir Suppl II Verh Dtsch Ges Chir
- 68)** Rang M (1983) Children's fractures. 2nd ed.; Philadelphia, Toronto: J. B. Lippincott Company: 197 - 220
- 69)** Richter D, Hahn MP, Ostermann PAW, Muhr G (1996) Die elastische Markraumschienung – ein Konzept zur Behandlung der instabilen Unterarmschaftfraktur im Kindesalter. Hefte Unfallchir 262: 109
- 70)** Richter D, Hahn MP, Ostermann PAW, Muhr G (1997) Elastic intramedullary nailing – a minimal invasive concept for the management of instable fractures of the forearm in children. Minimal – Invasive Traumatology, Salzburg
- 71)** Richter D, Ostermann PAW, Ekkernkamp A, Muhr G, Hahn MP (1998) Elastic intramedullary nailing: a minimal invasive concept in the treatment of unstable forearm fracture in children. J Pediatr Orthop 18: 457 – 461
- 72)** Rigault P (1980) Les fractures de l'avant bras chez l'enfant. Ann Chir Ann Chir; 34: 810 – 816
- 73)** Russe F, Pichler R (1989) Konservative Therapie von kindlichen Unterarmfrakturen. Unfallheilkunde 201: 375 - 385
- 74)** Schärli AF, Winiker H (1989) Schafffrakturen im Kindesalter. Z Unfallchir Versicherungsmed Berufskr 82: 216
- 75)** Schiebler TH, Schmidt W, Zilles K (1997) Anatomie. 7. Auflage; Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York
- 76)** Schlickewei W, Oberle M (2005) Die Unterarmschaftfraktur im Kindesalter. Unfallchirurg 108: 223 – 234

- 77)**Schlickewei W, Salm R (2001) Indications for intramedullary stabilization of shaft fractures in childhood. What is reliable, what is assumption? Kongressbd Dtsch Ges Chir Kongr 118: 431 – 434
- 78)**Schmittenebecher PP, Dietz HG, Uhl St (1991) Spätergebnisse nach Unterarmfrakturen im Kindesalter. Unfallchirurg 94: 186 – 190
- 79)**Schwarz AF, Hocker K, Schwarz N et al. (1996) Die Refraktur des kindlichen Unterarms. Unfallchirurg 99: 175 – 182
- 80)**Shoemaker SD, Comstock CP, Mubarak SJ, Wenger DR, Chambers HG (1999) Intramedullary Kirschner wire fixation of open or unstable forearm fractures in children. J Pediatr Orthop 19: 329 – 337
- 81)**Tarr RR, Garfinkel AI, Sarmiento A (1984) The effects of angular and rotational deformities of both bones of the forearm. J Bone Joint Surg (Am) ; 66 : 65 - 70
- 82)**Vittas D, Larsen E, Torp-Pedersen S (1989) Angular remodelling of midshaft forearm fractures in children. Clin Orthop 265: 261 – 264
- 83)**Waseem M, Paton RW (1999) Percutaneous intramedullary elastic wiring of displaced diaphyseal forearm fractures in children. A modified technique. Injury 30: 21 - 24
- 84)**Weinberg AM, Reilmann H (1999) Frakturen der Diaphyse im Kindesalter. Unfallchirurg 102: 132 – 140
- 85)**Wilkins K (1997) The incidence of fractures in children. In: Rockwood CA, Wilkins KE, Beaty JH (eds) Fractures in children. Lippincott, Philadelphia
- 86)**Würfel AM, Voigt A, Linke F, Hofmann von Kapherr S (1995) Neue Gesichtspunkte zur Behandlung der kompletten und isolierten diaphysären Unterarmfrakturen im Kindesalter. Unfallchirurgie 21: 70 - 76
- 87)**Wyrsh B, Mencio GA, Green NE (1996) Open reduction and internal fixation of pediatric forearm fractures. J Pediatr Orthop 16: 644 - 650
- 88)**Yuan PS, Pring ME, Gaynor TP, Mubarak SJ, Newton PO (2004) Compartment syndrome following intramedullary fixation of pediatric forearm fractures. J Pediatr Orthop. 2004 Jul - Aug; 24 (4): 370 – 5
- 89)**Yung SH (1998) Percutaneous intramedullary Kirschner wiring for displaced diaphyseal forearm fractures in children. J Bone Joint Surg 80 - B: 91 - 94

6) Anhang

6.1 Patientenbrief

Klinik und Poliklinik für
Unfall- und Handchirurgie
Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. E. Brug



Universitätsklinikum Münster ♦ Klinik und
Poliklinik für Unfall- und Handchirurgie ♦ D-
48129 Münster

D-48129 Münster, 17. März 2006

Hausadresse:
Waldeyerstraße 1
D-48149 Münster
Vermittlung: (02 51) 83 – 0

Durchwahl: (02 51) 83 – 5 63 55
Fax: (02 51) 83 – 5 63 18

OA Dr. M. Neuber

E-Mail: neuber@uni-muenster.de

Sehr geehrte

Sie befanden sich vor geraumer Zeit in unserer Klinik und Poliklinik für Hand- und Unfallchirurgie wegen eines Unterarmbruchs in stationärer bzw. ambulanter Behandlung.

Diese Behandlung ist mittlerweile abgeschlossen. Im Rahmen meiner Doktorarbeit, die ich seit kurzem unter der Leitung von Prof. Brug bearbeite, möchten ich Sie bitten, sich an einem Tag noch einmal in der Poliklinik vorzustellen. Im Rahmen der Untersuchungen wird es in Ausnahmefällen – abhängig vom Untersuchungsergebnis - eventuell nötig sein, ein diagnostisches Röntgenbild des Unterarmes anzufertigen. Wartezeiten werden natürlich nicht auftreten.

Diese Untersuchung, die ca. eine Stunde in Anspruch nehmen kann, dient dem Zweck, die Funktionalität Ihres ehemals gebrochenen Unterarms zu ermitteln. Auch wenn Sie subjektiv keine Beschwerden haben, würden wir uns freuen, gerade Sie zu untersuchen, um zukünftigen Patienten eine ebenso gute Möglichkeit der Unterarmbruchversorgung zu gewährleisten. Außerdem können wir uns so ein sicher auch für Sie aufschlußreiches Bild über das postoperative Ergebnis machen und eventuellen Fragen von Ihrer Seite (zu denen sonst meist die Zeit fehlt) entgegenkommen. Natürlich behandeln wir die Daten der Auswertung und Ihre Krankenakteinträge wie gehabt vertraulich.

Wir wären Ihnen sehr verbunden, wenn Sie sich kurz unter folgender Telefonnummer bei mir melden würden und wir mit Ihnen einen Termin vereinbaren können:

Mo.-Fr. 12-18⁰⁰ **0251/4816970**

Den Termin können Sie auch an den Wochenendtagen wahrnehmen, falls Sie in der Woche beruflich verhindert sein sollten.

Mit freundlichen Grüßen und Dank im voraus,

Christian Beckmann

Dr. M. Neuber,
Oberarzt der Klinik

6.2 Patienten-Untersuchungsbogen

Untersuchungsbogen

Name:
Vorname:
Straße:
Wohnort:
Geburtsdatum:
Unfalltag:
Telefon:

- Seite: _____

Gegenseite:

1) Winkelmessung:

a) EBG: _____°/_____°/_____°

EBG: _____°/_____°/_____°

b) P/S: _____°/_____°/_____°

P/S: _____°/_____°/_____°

c) HG: _____°/_____°/_____°

HG: _____°/_____°/_____°

RD/UD: _____°/_____°/_____°

RD/UD: _____°/_____°/_____°

2) Kraftmessung:

a) Ball: _____ bar

Ball: _____ bar

b) UA vs. Untersucher: _____ (+/=/-)

UA vs. Untersucher: _____ (+/=/-)

c) P/S (Hand geben): _____ (+/=/-)

P/S (Hand geben): _____ (+/=/-)

3) Umfangmessung:

a) EBG: ____ cm

EBG: ____ cm

b) HG: ____ cm

HG: ____ cm

4) Armlänge:

a) Epic. med.---Caput ulnae ____ cm
cm

Epic. med.---Caput ulnae ____

b) Epic. lat.--- Caput radii ____ cm

Epic. lat.---Caput radii ____cm

5) Fragen:

a) Schmerzen:

b) Wetterfühligkeit:

c) Par-bzw.Anästhesien:

d) berufl. Einschränkungen:

e) Re# (z.B.: außerhalb behandelt):

f) Sonstiges:

6.3 DASH-Score

DASH Score (Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand)

Anwendung	allgemein
Referenz	Germann G, Wind G, Harth A (1999) Der DASH-Fragebogen – Ein neues Instrument zur Beurteilung von Behandlungsergebnissen an der oberen Extremität. Handchir Mikrochir Plast Chir 31: 149–152
Anmerkung	Subjektiver Score. Es wird die Fähigkeit, die Tätigkeit auszuführen, bewertet und nicht die Art. Empfohlener Score nach Radiusfrakturen: K.M. Stürmer (Hrsg.): Leitlinien Unfallchirurgie. 2. Auflage, Thieme, Stuttgart New York 1999, S. 84 – 97 oder www.awmf-online.de DASH online: http://www.dash.iwh.on.ca/dash.htm
Cave	Zusätzlich gibt es noch 2 optionale Module, die hier nicht aufgeführt sind (Sport- und Musikmodul und Arbeits- und Berufsmodul).

Bitte schätzen Sie Ihre Fähigkeit ein, wie Sie folgende Tätigkeiten in der vergangenen Woche durchgeführt haben, indem Sie die entsprechende Zahl ankreuzen.

	Keine Schwierigkeiten	Geringe Schwierigkeiten	Mäßige Schwierigkeiten	Erhebliche Schwierigkeiten	Nicht möglich
Ein neues oder festverschlossenes Glas öffnen	1	2	3	4	5
Schreiben	1	2	3	4	5
Einen Schlüssel umdrehen	1	2	3	4	5
Eine Mahlzeit zubereiten	1	2	3	4	5
Eine schwere Tür aufstoßen	1	2	3	4	5
Einen Gegenstand über Kopfhöhe auf ein Regal stellen	1	2	3	4	5
Schwere Hausarbeit (z. B Wände abwaschen, Boden putzen)	1	2	3	4	5
Garten- oder Hofarbeit	1	2	3	4	5
Betten machen	1	2	3	4	5
Eine Einkaufstasche oder einen Aktenkoffer tragen	1	2	3	4	5
Einen schweren Gegenstand	1	2	3	4	5

tragen (über 5kg)					
Eine Glühbirne über Ihrem Kopf auswechseln	1	2	3	4	5
Ihre Haare waschen oder fönen	1	2	3	4	5
Ihren Rücken waschen	1	2	3	4	5
Einen Pullover anziehen	1	2	3	4	5
Ein Messer benutzen, um Lebensmittel zu schneiden	1	2	3	4	5
Freizeitaktivitäten, die wenig körperliche Anstrengung verlangen (z. B. Karten spielen, Stricken, usw.)	1	2	3	4	5
Freizeitaktivitäten, bei denen auf Ihren Arm, Schulter oder Hand Druck oder Stoß ausgeübt wird (z.B. Golf, Hämmern, Tennis, usw.)	1	2	3	4	5
Freizeitaktivitäten, bei denen Sie Ihren Arm frei bewegen (z. B. Badminton, Frisbee)	1	2	3	4	5
Mit Fortbewegungsmitteln zurecht zukommen (um von einem Platz zum anderen zu gelangen)	1	2	3	4	5
Sexuelle Aktivität	1	2	3	4	5

In welchem Ausmaß haben Ihre Schulter-, Arm- oder Handprobleme

Überhaupt nicht	Ein wenig	Mäßig	Ziemlich	Sehr
-----------------	-----------	-------	----------	------

Ihre normalen sozialen Aktivitäten mit Familie, Freunden, Nachbarn oder anderen Gruppen während der vergangenen Woche beeinträchtigt? (Bitte kreuzen Sie die entsprechende Zahl an)

1 2 3 4 5

Waren Sie in der vergangenen Woche durch Ihre Schulter-, Arm- oder Handprobleme in Ihrer Arbeit oder anderen alltäglichen Aktivitäten eingeschränkt? (Bitte kreuzen Sie die entsprechende Zahl an)

Überhaupt nicht eingeschränkt Ein wenig eingeschränkt Mäßig eingeschränkt Sehr eingeschränkt Nicht möglich

1 2 3 4 5

Bitte schätzen Sie die Schwere der folgenden Beschwerden während der letzten Woche ein. (Bitte kreuzen Sie in jeder Zeile die entsprechende Zahl an)

Keine Leichte Mäßige Starke Sehr starke

Schmerzen in Schulter, Arm oder Hand 1 2 3 4 5

Schmerzen in Schulter, Arm oder Hand während der Ausführung einer bestimmten Tätigkeit 1 2 3 4 5

Kribbeln (Nadelstiche) in Schulter, Arm oder Hand 1 2 3 4 5

Schwächegefühl in Schulter, Arm oder Hand 1 2 3 4 5

Steifheit in Schulter, Arm oder Hand 1 2 3 4 5

Wie groß waren Ihre Schlafstörungen in der letzten Woche aufgrund von Schmerzen im Schulter-, Arm- oder Handbereich? (Bitte kreuzen Sie die entsprechende Zahl an)

Keine Schwierigkeiten	Geringe Schwierigkeiten	Mäßige Schwierigkeiten	Erhebliche Schwierigkeiten	Nicht möglich
1	2	3	4	5

Aufgrund meiner Probleme im Schulter-, Arm- oder Handbereich empfinde ich meine Fähigkeiten als eingeschränkt, ich habe weniger Selbstvertrauen oder ich fühle, dass ich mich weniger nützlich machen kann. (Bitte kreuzen Sie die entsprechende Zahl an)

Stimme überhaupt nicht zu	Stimme nicht zu	Weder Zustimmung noch Ablehnung	Stimme zu	Stimme sehr zu
1	2	3	4	5

Resultat

Dieser Disability/Symptom Score kann nur berechnet werden, wenn mindestens 27 der 30 Fragen beantwortet wurden. Es gibt 2 verschiedene Formeln, die neuere lautet: $DASH = (Summe\ der\ beantworteten\ Fragen - 1) / Anzahl\ der\ beantworteten\ Fragen \times 25$

7) Lebenslauf

Name: Beckmann

Vorname: Christian

Geburtsdatum: 01.02.1977

Geburtsort: Emsdetten

Eltern: Franz Beckmann: Bilanzbuchhalter
geb.: 06.08.1940

Martha Beckmann: Bankkauffrau
geb.: 23.07.1941

Geschwister: Claudia Wilp, geb. Beckmann: Grundschullehrerin
geb.: 10.07.1969

Karin Beckmann-Döen: Grundschullehrerin
geb.: 28.07.1970

Schullaufbahn: Katholische Buckhoff-Grundschule Emsdetten:
1983 bis 1987

Gymnasium Martinum Emsdetten: 1987 bis 1996
Abitur: 22.06.1996

Studium: Naturwissenschaftliche Vorprüfung: 09.09.1998
Zahnärztliche Vorprüfung: 28.09.1999
Zahnärztliche Prüfung: 18.12.2002
Zahnärztliche Approbation: 03.01.2003

Berufslaufbahn: Zahnärztliche Assistententätigkeit:
Praxis
Dr. med. dent
Paul Möllers
Wilhelmstraße 8
48282 Emsdetten

01.08.2003 bis 31.01.2005

Zahnärztliche Assistententätigkeit:
Praxis
Dr. med. dent.
Heinrich Ströhmer
Karlstraße 23
48282 Emsdetten

01.02.2005 bis heute

8) Danksagung

Bedanken möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. M. Raschke und Herrn Prof. Dr. E. Brug für die Überlassung des Themas und die Gelegenheit, diese Arbeit in der Klinik durchführen zu können.

Ebenso bedanke ich mich bei Herrn Oberarzt Dr. M. Neuber und Herrn Priv.- Doz. Dr. M. Schult für die sehr gute Betreuung und Unterstützung bei der Erstellung dieser Arbeit. Die ständige Ansprechbarkeit von Herrn Dr. Neuber und Herrn Dr. Schult ermöglichte eine zügige Durchführung der Promotionsarbeit.

Desweiteren gilt mein besonderer Dank meiner Freundin Christiane, die sehr viel Toleranz zeigte, als die Arbeit für diese Dissertation unsere gemeinsame Freizeit sehr stark zeitlich einschränkte.

Meinen Eltern danke ich sehr für die Ermöglichung des Studiums der Zahnheilkunde.

Außerdem möchte ich mich bei Herrn Dr. G. Burkhardtmaier vom Institut für medizinische Informatik und Biomathematik für dessen Beratung in Fragen der Statistik bedanken.