

**Abhängigkeit der Behandlungsdauer von initialem Dislokationsausmaß und  
Therapieart bei Frakturen und Luxationen des Ellenbogengelenkes im  
Wachstumsalter**

—

**Eine Analyse an der Universitätsklinik und Poliklinik für Kinderchirurgie Halle  
zwischen 1992 und 2015**

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Medizin (Dr. med.)

vorgelegt

der Medizinischen Fakultät

der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

von Tina Straube

Betreuer: Prof. Dr. med. Martin M. Kaiser

Gutachter\*innen:

Professor Dr. Philipp Kobbe

Professor Dr. med. habil Guido Fitze

Datum der Verteidigung: 28.11.2025

## **Referat**

Frakturen und Luxationen des Ellenbogengelenkes im Wachstumsalter stellen aufgrund der Vielfalt der Verletzungsmuster, des altersabhängigen Korrekturpotenzials und der entsprechend differierenden Behandlungskonzepte eine besondere Herausforderung dar. Retrospektiv wurden 365 Patienten mit Frakturen und Luxationen des Ellenbogengelenkes ausgewertet, die zwischen 1992 und 2015 stationär an der Universitätsklinik und Poliklinik für Kinderchirurgie Halle (UKH) in Behandlung waren. Mittels etablierter Klassifikationen, der Beweglichkeit nach der Neutral-Null-Methode und den funktionellen Flynn-Kriterien wurde auf eine Korrelation zwischen der Schwere bzw. der Therapieform der Verletzung und der Behandlungsdauer sowie dem klinischen Outcome geprüft. Die Signifikanz-Testungen der Behandlungsdauer erfolgten anhand von Kaplan-Meier-Kurven mithilfe des Log-Rank-Tests ( $\alpha=0,05$ ), was entsprechend der Patientenzahlen bei fünf Verletzungen statistisch möglich war. Es zeigten sich signifikante Unterschiede in der Behandlungsdauer bei folgenden Verletzungen: supracondyläre Humerusfraktur (Klassifikation nach von Laer Typ I vs. III und IV), Condylus-radialis-Fraktur (Typ I vs. II und III nach Weiss), Epicondylus-ulnaris-Fraktur (undisloziert vs. disloziert) sowie Ellenbogenluxation (mit vs. ohne Begleitfraktur); bei der supracondylären Humerusfraktur traf dies zudem auf den Vergleich konservativer Therapie vs. offene Versorgung unabhängig des initialen Dislokationsausmaßes zu. Zudem erfolgte eine Prüfung gängiger Klassifikationen zweier Frakturen hinsichtlich ihrer Eignung zur Therapieentscheidung: Die Klassifikation der supracondylären Humerusfraktur nach von Laer war ebenso wie die Judet-Klassifikation der proximalen Radiusfraktur am besten für eine optimale Therapieentscheidung geeignet. Beide Klassifikationen könnten als Ergebnis der Analyse zu diesem Zweck noch vereinfacht werden.

Insgesamt konnte das funktionelle Endergebnis bei 254 von 365 Patienten ermittelt werden, wobei in 211 Fällen ein gutes bis sehr gutes Ergebnis vorlag. Neben der Komplexität der Verletzungen war die Qualität der operativen Versorgung ausschlaggebend und verweist auf die Bedeutung der Behandlung an einem kindertraumatologischen Zentrum hin.

Straube, Tina: Abhängigkeit der Behandlungsdauer von initialem Dislokationsausmaß und Therapieart bei Frakturen und Luxationen des Ellenbogengelenkes im Wachstumsalter – Eine Analyse an der Universitätsklinik und Poliklinik für Kinderchirurgie Halle zwischen 1992 und 2015, Halle (Saale), Univ., Med. Fak., Diss., 80 Seiten, 2025

## **Inhaltsverzeichnis**

Verzeichnis der Abkürzungen und Symbole .....	
1 Einleitung.....	1
1.1 Besonderheiten des wachsenden Skelettes .....	1
1.2 Die Anatomie des Ellenbogengelenkes.....	2
1.3 Bewegungsausmaße des Ellenbogengelenkes .....	3
1.4 Diagnostik von Frakturen des Ellenbogengelenkes im Wachstumsalter.....	4
1.5 Frakturen und Luxationen des Ellenbogengelenkes .....	4
1.5.1 Supracondyläre Humerusfraktur.....	5
1.5.2 Transcondyläre Humerusfrakturen .....	7
1.5.3 Capitulum-humeri-Fraktur (koronare Abscherfrakturen).....	9
1.5.4 Epicondyläre Humerusfrakturen .....	10
1.5.5 Ellenbogenluxation.....	11
1.5.6 Frakturen des proximalen Unterarmes und Monteggia-Läsion.....	11
1.6 Nervenverletzungen im Ellenbogenbereich.....	15
1.7 Beurteilung des klinischen Outcomes .....	16
1.8 Gender-Hinweis .....	16
2 Zielstellung .....	17
3 Material und Methoden .....	19
4 Ergebnisse .....	22
4.1 Ergebnisse nach supracondylärer Humerusfraktur.....	23
4.2 Ergebnisse nach Condylus-radialis-Fraktur .....	29
4.3 Ergebnisse nach Condylus-ulnaris-Fraktur .....	33
4.4 Ergebnisse nach Y-Fraktur .....	34
4.5 Ergebnisse nach Capitulum-humeri-Fraktur.....	36
4.6 Ergebnisse nach Epicondylus-ulnaris-Apophyseolyse .....	37
4.7 Ergebnisse nach Epicondylus-radialis-Apophyseolyse.....	40
4.8 Ergebnisse nach Ellenbogenluxation .....	41
4.9 Ergebnisse nach Frakturen der proximalen Ulna.....	44
4.9.1 Ergebnisse nach Olecranonfraktur .....	45
4.9.2 Ergebnisse nach Processus-coronoideus-Fraktur .....	47
4.10 Ergebnisse nach Fraktur des proximalen Radius .....	48
4.11 Ergebnisse nach Monteggia-Läsion .....	52
5 Diskussion .....	53
5.1 Diskussion der supracondylären Humerusfraktur .....	54
5.2 Diskussion der Condylus-radialis-Fraktur.....	59
5.3 Diskussion der Y-Fraktur .....	61

5.4	Diskussion der Epicondylus-ulnaris-Apophyseolyse.....	62
5.5	Diskussion der Ellenbogenluxation.....	64
5.6	Diskussion der Olecranonfraktur .....	66
5.7	Diskussion der Fraktur des proximalen Radius.....	67
5.8	Diskussion der Monteggia-Läsion .....	70
5.9	Stärken und Limitationen der Studie sowie daraus resultierende Schlussfolgerungen.....	71
6	Literatur .....	75
7	Thesen .....	80
	Erklärungen.....	
	Danksagung.....	

**Verzeichnis der Abkürzungen und Symbole**

Abb.	Abbildung
AO	Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen
AWMF	Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften e. V.
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
C	zervikal
CT	Computertomographie
E/F	Extension/Flexion
ESIN	elastisch-stabile intramedulläre Nagelung
et al.	et alii; und andere
ggf.	gegebenenfalls
K-Draht	Kirschnerdraht
MEPS	Mayo Elbow Performance Score
MRT	Magnetresonanztomographie
o. g.	oben genannte/ oben genannter/ oben genanntes
OP	Operation
Tab.	Tabelle
Th	thorakal
UKH	Universitätsklinik und Poliklinik für Kinderchirurgie Halle
vs.	versus

## **1 Einleitung**

Etwa drei Viertel der Frakturen der langen Röhrenknochen (Humerus, Radius und Ulna, Femur, Tibia und Fibula) im Wachstumsalter treten an der oberen Extremität auf (76,3%). Der Anteil der Frakturen im Ellenbogengelenksbereich (distaler Humerus und proximaler Unterarm) beträgt etwa ein Fünftel dieser Frakturen (19,4%) (1).

Die Diagnostik und Therapie dieser Ellenbogengelenksverletzungen erfordern sowohl Kenntnisse der komplexen Anatomie als auch der Wachstumsphysiologie des kindlichen Skelettes und sind daher sehr anspruchsvoll (2).

Nach einem Überblick über die Besonderheiten des wachsenden Skelettes und des Ellenbogengelenkes sowie der einzelnen Frakturformen werden die Ergebnisse der Patienten analysiert, die zwischen 1992 und 2015 mit Frakturen und Luxationen des Ellenbogengelenkes an der Universitätsklinik und Poliklinik für Kinderchirurgie Halle stationär behandelt wurden. Der Schwerpunkt liegt dabei auf den Therapiestrategien, der Behandlungsdauer und dem funktionellen Outcome. Zudem werden häufig verwendete Klassifikationen zweier Frakturformen hinsichtlich ihrer Eignung zur leitliniengerechten Therapieentscheidung überprüft.

### **1.1 Besonderheiten des wachsenden Skelettes**

Das Knochenwachstum setzt sich aus zwei Komponenten zusammen: dem enchondralen Längenwachstum und dem Dickenwachstum des periost-endostalen Systems.

Das Längenwachstum ist dadurch bedingt, dass das knorpelige Grundmodell im Wachstumsverlauf abgebaut, durch neu gebildeten Geflechtknochen ersetzt und dieser im weiteren Verlauf zu Lamellenknochen umgebaut wird. Dies zeigt sich radiologisch in Form von Knochenkernen oder im Bereich der Epiphysenfugen. An jedem Ende der großen Röhrenknochen ist eine Wachstumsfuge (Physe) angelegt, deren Anteil am Längenwachstum variiert. Die Fugen im Bereich des Ellenbogengelenkes haben jeweils 20% Anteil am Längenwachstum.

Die Physe liegt zwischen der Epiphyse (Gelenkanteil) und der Metaphyse (Übergang zum Knochenschaft). Direkt an die Epiphyse angrenzend findet im Stratum germinativum durch Proliferation von Knorpelzellen das Knochenwachstum statt. Die Knorpelzellen ordnen sich in Richtung der Metaphyse zunehmend an und bilden den Säulenknorpel. Auf Kosten der Grundsubstanz werden die Knorpelzellen zunehmend größer und bilden den Blasenknorpel. Im metaphysären Physenbereich sind diese Zellen zunehmend mineralisiert und werden in Knochensubstanz umgebaut. Die

Versorgung der gesamten Fuge erfolgt über die kommunizierenden periostalen, epiphysären und metaphysären Gefäßsysteme. Der Proliferation des epiphysären Phasenanteils steht die Mineralisation des metaphysären Anteils gegenüber. Die Wachstumsfuge durchläuft drei unterschiedliche zeitliche Entwicklungsphasen. Während der Wachstumsphase sind die Proliferation und die Mineralisation im Gleichgewicht. Danach tritt aufgrund hormoneller Einflüsse eine kurze Ruhephase ein, in der das Knochenwachstum sistiert, aber noch ein Wachstumspotenzial vorhanden ist. Die Verschlussphase zeichnet sich durch abnehmende Proliferation und zunehmende Mineralisation aus, mit der konventionell radiologisch sichtbaren Verschmelzung der Meta- und Epiphyse. Dieser physiologische Fugenschluss ist individuell und sowohl genetisch, hormonell als auch geschlechts- und lokalisationsabhängig (3, 4).

Das Dickenwachstum resultiert aus dem Gleichgewicht zwischen dem Knochenanbau durch Osteoblasten im Bereich des Periosts und dem Knochenabbau im endostalen Anteil. Dies gewährleistet, dass die spezifische Form des Röhrenknochens erhalten bleibt.

Dieses Prinzip dominiert auch bei der Frakturheilung, bei der zunächst Osteoblasten Kallus zur Überbrückung der Fraktur anbauen, im weiteren Verlauf Osteoklasten durch Remodeling die Knochenstruktur wiederherstellen und so Achsabweichungen korrigiert werden können (4, 5).

Verletzungen der Wachstumsfuge können je nach Schwere und Ausmaß zu unterschiedlichen Komplikationen führen: ein partieller Brückenkallus bedingt eine Achsabweichung, ein vollständiger Verschluss bedeutet einen frühzeitigen Wachstumsstillstand (4, 6).

## 1.2 Die Anatomie des Ellenbogengelenkes

Das Ellenbogengelenk setzt sich aus dem distalen Humerus sowie den proximalen Anteilen von Radius und Ulna zusammen. Es besteht aus drei Teilgelenken: Die Articulatio humeroulnaris wird von der Trochlea humeri als Gelenkkopf und der Incisura trochlearis der Ulna als Gelenkpfanne gebildet und dient als Scharniergelenk (Streckung und Beugung). Die Articulatio humeroradialis mit Capitulum humeri als Gelenkkopf und der Fovea articularis des Radius als Gelenkpfanne erlaubt als Kugelgelenk sowohl die Flexion und Extension als auch Pro- und Supination des Unterarmes. Die Articulatio radioulnaris proximalis als Radgelenk besteht aus der Circumferentia articularis des Caput radii und der Incisura radialis der Ulna als

Gelenkpfanne. Es dient der Umwendbewegung des Unterarmes. Insgesamt bilden diese drei Teilgelenke ein Drehscharniergegenkeln (7).

Wichtige Bänder im Bereich des Ellenbogengelenkes sind das ulnare Ligamentum collaterale, welches medial vom Epicondylus ulnaris des Humerus zum Processus coronoideus (Pars anterior) und zum Olecranon (Pars posterior) zieht, das radiale Ligamentum collaterale, welches lateral von der Unterseite des Epicondylus radialis bis in das Ringband hineinreicht, und das Ligamentum anulare radii (Ringband), welches an Vorder- und Hinterkante der Incisura radialis der Ulna befestigt ist (7).

Die Arteria brachialis geht am Oberarm aus der Arteria axillaris hervor und tritt medial in die Ellenbeuge ein – sie kann insbesondere bei stark dislozierten Frakturen in diesem Bereich betroffen sein (7).

Die drei Hauptnerven des Armes entstammen dem Plexus brachialis. Der Nervus radialis (aus den Nervenwurzeln C5-Th1) verläuft lateral in der Fossa cubitalis und teilt sich dort in den Ramus profundus und in den Ramus superficialis. Der Nervus medianus (C6-Th1) zieht in seinem Verlauf in der Ellenbeuge nach radial und trennt sich dort von der Arteria brachialis. Der Nervus ulnaris (C8-Th1) verläuft im Sulcus nervi ulnaris dorsal des Epicondylus medialis humeri und zieht dann auf die Beugeseite des Unterarmes (7, 8).

### **1.3 Bewegungsausmaße des Ellenbogengelenkes**

Bei vollständiger Streckung und Supination liegt eine physiologische Valgusstellung des Armes vor: der Kubitalwinkel zwischen Humerus- und Ulnaschaft beträgt dann ca. 170°.

Die Bewegungsachse für die Extension (Streckung) und Flexion (Beugung) verläuft durch das Capitulum humeri und die Trochlea humeri. Eine Flexion von maximal 150° und eine Streckung von physiologischerweise 0° bis teilweise 10°-20° (Hyperextension) sind möglich. Die Beugung ist durch den Weichteilmantel und die Extension durch den Kontakt von Olecranon und Fossa olecrani individuell limitiert (9). Mittels Neutral-Null-Methode würde dementsprechend bei freier physiologischer Beweglichkeit die Extension/Flexion (E/F) mit 0°/0°/150° dokumentiert werden. Die Umwendbewegung des Unterarmes (in 90° Beugung im Ellenbogengelenk) setzt sich physiologisch aus 90° Pronation (Überkreuzung der Ulna durch den Radius) und 90° Supination (parallele Stellung der Unterarmknochen) zusammen (90°/0°/90°) (7, 9).

## **1.4 Diagnostik von Frakturen des Ellenbogengelenkes im Wachstumsalter**

Nach wie vor ist die Röntgenuntersuchung der Standard der Diagnostik bei Frakturverdacht. Diese ist im Wachstumsalter unter dem Aspekt der Strahlenhygiene streng zu indizieren. Zeigt sich in der ersten Röntgenaufnahme eine eindeutige operationspflichtige Fraktur oder Luxation, ist eine weitere Aufnahme zu vermeiden. Die Computertomographie wird im Wachstumsalter selten zur Therapieplanung bei komplexen Frakturen genutzt. Mithilfe der Magnetresonanztomographie (MRT) werden auch die nicht-knöchernen Skelettanteile wie Epiphysen, Wachstumsfugen, Knorpel, Bänder, Sehnen und Muskulatur dargestellt und deren Verletzungen in die Therapieplanung einbezogen. Bei der Indikationsstellung sind auf der einen Seite die fehlende Strahlenbelastung und auf der anderen Seite die längere Untersuchungsdauer und die damit ggf. notwendige Sedierung bzw. Narkose gegeneinander abzuwägen (3).

## **1.5 Frakturen und Luxationen des Ellenbogengelenkes**

Verletzungen des Ellenbogengelenkes treten überwiegend bei Sport und Spiel, z.B. Sturz von einem Sportgerät, von einem Fahrrad oder bei Trendsportarten wie Inlineskating oder Skateboardfahren auf (10, 11). Im Wachstumsalter sind Jungs häufiger als Mädchen von einer Verletzung betroffen bzw. erleiden schwerere Verletzungen (12, 13); 63% zu 37% bei Sananta et al. 2019 (14); 2:1 bei Shanmugam et al. 2008 (15). Gründe dafür sind eine höhere Aktivität und Risikobereitschaft bei Jungen.

Die Verletzungen des Ellenbogengelenkes umfassen sowohl Frakturen des distalen Humerus und des proximalen Unterarmes, Luxationen des Ellenbogengelenkes und des proximalen Radius (im Rahmen einer Monteggia-Läsion) als auch deren Kombinationen (Abb. 1). Begleitverletzungen der Gefäße und Nerven beeinflussen zusätzlich das therapeutische Vorgehen und dessen Dringlichkeit (z.B. bei Durchblutungsdefizit umgehende Reposition und chirurgische Exploration).

Die Aspekte Patientenalter und Frakturart (Lokalisation, Dislokationsausmaß, Stabilität), Wachstumsprognose, Ausmaß des Spontankorrekturpotenzials oder Gefahr von Wachstumsstörungen werden bei der Wahl der kindgerechten konservativen bzw. operativen Therapie berücksichtigt (1, 16).

Folgende Therapieformen werden unterschieden:

- Konservative Therapie (Anlage einer Ruhigstellung)
- Geschlossene Reposition der Fraktur und Anlage einer Ruhigstellung
- Geschlossene oder offene Reposition und Fixierung mittels Osteosynthese mit/ohne weitere Ruhigstellung.

Weitere Operationsindikationen sind offene Frakturen, begleitende Gefäß- oder Nervenverletzungen und ein Kompartmentsyndrom. Ein offenes Verfahren wird bei frustraner geschlossener Reposition sowie bei einem primären Nerven- oder Gefäßschaden angewandt (3, 16).

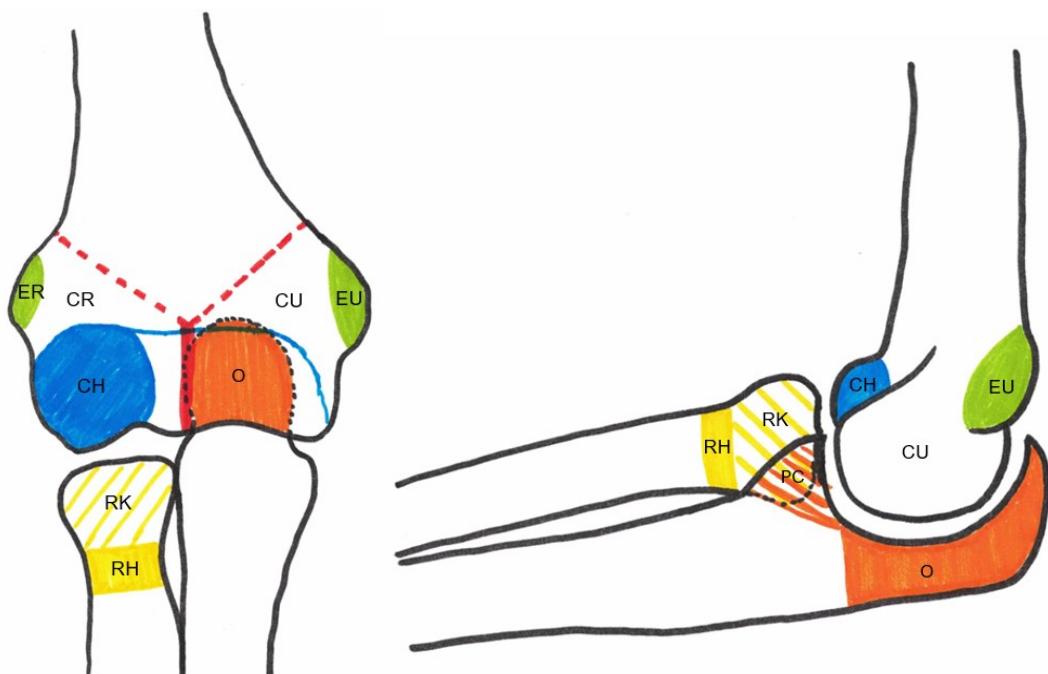


Abbildung 1: Anatomie des knöchernen Ellenbogengelenkes rechts (linkes Bild a.p., rechtes Bild von medial): gestrichelte rote Linie = supracondyläre Ebene, rote Linien = Y-Fraktur, CR= Condylus radialis, CU= Condylus ulnaris, CH = Capitulum humeri, EU = Epicondylus ulnaris, ER = Epicondylus radialis, O = Olecranon, PC = Processus coronoideus, RK = Radiuskopf, RH = Radiushals

### 1.5.1 Supracondyläre Humerusfraktur

Die supracondyläre Humerusfraktur ist die häufigste ossäre Verletzung des Ellenbogengelenkes (55% bei Landin et al. 1986 (17) bzw. 69,8% bei Matussek 2013 (18)). Sie verläuft am distalen Humerus extraartikulär metaphysär ohne die Wachstumsfuge zu tangieren (18). Es existieren mehrere Klassifikationen:

Gartland-Klassifikation (in der englischsprachigen Literatur gebräuchlich):

Grad 1: Undislozierte Fraktur

Grad 2: Dislokation mit intakter dorsaler Kortikalis

Grad 3: Vollständige Dislokation (19);

### Baumann-Klassifikation:

Grad 1: Fissuren oder Frakturen ohne bedeutende Verschiebung, die keine oder geringe geschlossene Einrichtungsmaßnahmen erfordern

Grad 2: Verschiebungen bis zu Schaftbreite mit Achsenabweichungen, Verdrehungen, Verkürzung, Bruchstücke in der Regel im gegenseitigen Kontakt

Grad 3: Große Verschiebungen mit völligem Verlust des Kontaktes der Fragmente (20);

### Klassifikation nach von Laer (im deutschsprachigen Raum weit verbreitet):

Typ I: undisloziert

Typ II: Dislokation in einer Ebene

Typ III: Dislokation in zwei Ebenen

Typ IV: Dislokation in drei Ebenen (21).

Von Laer unterscheidet zudem zwischen stabilen (Typ I und Typ IIa, bei Antekurvation < 20° bei Kindern < 6 Jahre), drohend instabilen (Typ IIb, bei Antekurvation > 20° bei Kindern < 6 Jahre oder Rekurbation mit erhaltenen Condylenpfeilern) und instabilen Frakturen (Typ III und Typ IV) (4, 22).

Die Rogers-Hilfslinie verläuft im seitlichen Röntgenbild an der vorderen Humeruskortikalis und schneidet in der Verlängerung physiologischerweise das Capitulum humeri am Übergang vom mittleren zum dorsalen Drittel. Zeigt sich eine Abweichung der Rogers-Hilfslinie liegt eine supracondyläre Extensions- oder Flexionsfraktur vor. Bei einer Extensionsfraktur schneidet sie das Capitulum humeri ventral bzw. bei Flexionsfrakturen dorsal davon (2–4, 18, 23).

Ziel der Therapie der supracondylären Humerusfraktur ist eine achsgerechte Frakturstellung sowie die Vermeidung einer weiteren bzw. erneuten Abkipfung oder einer verbleibenden Rotationsfehlstellung. Konservativ behandelt werden nicht-dislozierte, supracondyläre Humerusfrakturen (Typ I nach von Laer) oder gering dislozierte supracondyläre Extensionsfrakturen (Typ IIa nach von Laer). Toleriert werden kann bei Kindern unter sechs Jahren eine Antekurvation bis 20° und ein Valgus bis 10° Abweichung. Es wird eine Ruhigstellung in Spitzwinkelstellung in Form einer Oberarmgipsschiene oder eines Blount-Verbandes („cuff and collar“) angelegt. Eine Röntgenkontrolle ist eine Woche später indiziert. Bei Patienten über sechs Jahren und einer Antekurvation über 20° oder einer Rekurbation (Typ IIb) ist eine geschlossene Reposition mit anschließender Ruhigstellung und radiologischer Stellungskontrolle des Ergebnisses notwendig (24). Eine radiologische Kontrolle erfolgt nach einer Woche

zum Ausschluss einer sekundären Dislokation. Die Dauer der Ruhigstellung beträgt drei bis vier Wochen.

Eine operative Versorgung erfolgt bei Typ IIb nach von Laer jenseits der o. g. Altersgrenzen und Achsenabweichung oder bei erfolgloser Redression sowie immer bei Typ-III- und Typ-IV-Frakturen nach von Laer. Das operative Vorgehen besteht in einer Reposition (geschlossen oder offen) mit anschließender Osteosynthese. Diese erfolgt mittels Kirschnerdrähten (K-Drähten, perkutan oder versenkt), welche gekreuzt eingebracht werden und so das Repositionsergebnis stabilisieren. Die Kreuzungsstelle der Drähte sollte dabei nicht auf Höhe des Frakturpaltes liegen, um eine Rotationsstabilität zu erreichen. Nach K-Draht-Osteosynthese wird ein Gips angelegt, der für vier Wochen belassen wird (25–27).

Alternative Osteosyntheseverfahren sind eine deszendierende elastische intramedulläre Nagelung (ESIN) sowie seltener ein Fixateur externe oder Modifikationen der Bohrdraht-Osteosynthese wie z.B. die radiale parallele Anordnung der K-Drähte (3, 28, 29).

### 1.5.2 Transcondyläre Humerusfrakturen

Bei den transcondylären Humerusfrakturen liegen sowohl eine Gelenkbeteiligung als auch ein Kreuzen der Wachstumsfuge mit metaphysärem Keil vor. Der Frakturspalt verläuft meist medial des Capitulumkernes, kreuzt die Trochlea und zieht Richtung Gelenk. Diese Frakturen entstehen typischerweise durch einen Sturz auf den gebeugten Ellenbogen oder seltener durch ein direktes Trauma. Sie unterteilen sich in Frakturen des Condylus radialis sowie des Condylus ulnaris und Y-Frakturen (3, 4).

Die Fraktur des Condylus radialis ist die häufigste intraartikuläre Fraktur im Wachstumsalter (1). Sie kann nach Weiss et al. eingeteilt werden, wobei hierbei der Fokus auf Frakturdislokation und der jeweiligen Komplikationshäufigkeit liegt:

- Typ I: weniger als 2mm Dislokation, äußerst selten mit Komplikationen
- Typ II: Dislokation von  $\geq 2\text{mm}$ , Gelenkfläche kongruent, erhöhte Komplikationsrate
- Typ III: Dislokation von  $\geq 2\text{mm}$ , fehlende Gelenkkongruenz, etwa 3-fach erhöhte Komplikationsrate (30).

Im Vergleich dazu unterteilen die Autoren von Laer et al. die Condylus-radialis-Frakturen nach Vorliegen einer Dislokation und der Stabilität in undislozierte, stabile

(inkomplette, „hängende“) Frakturen, undislozierte instabile (komplette) Frakturen und dislozierte Frakturen (21).

Bei undislozierten Condylus-radialis-Frakturen erfolgt zunächst eine konservative Therapie in Form einer breiten dorsolateralen Gipsschiene (21). Eine gipsfreie Röntgenkontrolle wird nach vier bis sieben Tagen zum Ausschluss einer sekundären Dislokation empfohlen. Nach insgesamt vier Wochen Ruhigstellung erfolgt eine radiologische Konsolidierungskontrolle mit ggf. anschließender Freigabe zur spontanen Mobilisierung.

Eine operative Therapie ist bei dislozierten Frakturen und bei sekundärer Dislokation indiziert. Ziel ist die exakte Wiederherstellung der Gelenkfläche. Eine geschlossene Reposition dieser Fraktur ohne Osteosynthese mit anschließender Ruhigstellung stellte sich meist als ineffektiv heraus (31). Fowles und Rizkallah berichteten bereits 1976, dass bei dislozierter Condylus-Fraktur mittels offener Reposition und Fixierung ein besseres klinisches Ergebnis erreicht wird (32). Die Fixierung erfolgt mittels metaphysärer von distal dorso-radial nach ulnar proximal verlaufender Zugschraubenosteosynthese unter Kompression. Alternativ können zwei aszendierende K-Drähte als Osteosynthese eingebracht werden. Zur Verbesserung der Stabilität kann epiphysär ein K-Draht oder eine weitere Schraube platziert werden (21). Bei stabiler Versorgung kann der Arm direkt funktionell freigegeben werden. Nach vier Wochen wird eine radiologische Konsolidationskontrolle durchgeführt. Die Entfernung des Osteosynthesematerials erfolgt acht bis zwölf Wochen nach Implantation. Bis zwei Jahre nach dem Unfall werden Beweglichkeit und Ellenbogenachse kontrolliert (3, 4).

Die sehr seltene Condylus-ulnaris-Fraktur wird wie die Condylus-radialis-Fraktur therapiert. Bei kleinen Kindern (mittleres Patientenalter 7,5 Jahre) wird empfohlen, eine Osteosynthese mit zwei bis drei divergierenden K-Drähten, welche in der Gegenkortikalis verankert werden, durchzuführen (27).

Bei Adoleszenten werden zwei quer verlaufende Schrauben mit Fixation des medialen Condylus an das Capitulum und den Schaft eingebracht. Mittels dorsomedialer Hautinzision erfolgt sowohl eine Frakturversorgung als auch die Exploration des Nervus ulnaris. Eine Komplikation sowohl nach konservativer als auch operativer Therapie besteht in einer Osteonekrose der Trochlea (33–35).

Die Y-Fraktur verläuft transcondylär mit proximalen Ausläufern nach medial und lateral. Die Therapieentscheidung wird anhand des Dislokationsausmaßes und des Patientenalters getroffen.

Eine konservative Therapie erfolgt bei Kindern mit undislozierten Y-Frakturen. Eine operative Therapie wird bei allen Patienten mit dislozierten Y-Frakturen durchgeführt bzw. bei Jugendlichen mit undislozierten Frakturen empfohlen, um nach dem dazu erforderlichen schweren Trauma eine möglichst bewegungsstabile Osteosynthese zu erzielen. Zunächst werden beide Condylenfragmente mittels quer eingebrachter Zugschraube zu einem Block verbunden. Anschließend wird dieser „Condylenblock“ mittels Schrauben, Platten oder Drähten an den Schaft fixiert. Je nach Art der Fixierung ist eine Gipsruhigstellung von ca. vier Wochen erforderlich.

Bei kleineren Kindern werden zwei bis drei K-Drähte zur Fixation der Fragmente verwendet und anschließend ein Oberarmgips angelegt. Diese verbleiben für ca. 4 Wochen, während Schrauben nach ca. zwölf Wochen entfernt werden. Klinische Bewegungskontrollen und die Entwicklung der Ellenbogenachse sind bis mindestens zwei Jahre nach dem Unfall zu beobachten (3, 4).

#### 1.5.3 Capitulum-humeri-Fraktur (koronare Abscherfrakturen)

Frakturen im Bereich des Capitulum humeri sind mit 1% der Ellenbogengelenkfrakturen bzw. 6% der distalen Humerusfrakturen selten (36). Sie betreffen meist Adoleszente mit nahezu geschlossenen Wachstumsfugen. Der Unfallmechanismus besteht in einer Abscherverletzung der vorderen Gelenkfläche des lateralen Condylus durch das Radiusköpfchen. Daher können Radiusköpfchen- oder Radiushalsfrakturen assoziiert sein (33, 35).

Die Frakturen werden in der Sagittalebene nach Dubberley wie folgt klassifiziert:

Typ 1: Einfache Abscherfraktur des Capitulum mit oder ohne Beteiligung der lateralen Trochleakante

Typ 2: Einfache Abscherfraktur des Capitulum mit Trochleabeteiligung als ein Fragment

Typ 3: Mehrfragmentäre Abscherfraktur des Capitulum mit Trochleabeteiligung (37).

Die operative Therapie der Capitulum-humeri-Fraktur erfolgt durch offene Reposition und Osteosynthese mit (z.T. resorbierbaren) Zugschrauben, bei ausgedehnten Trümmerfrakturen mittels Plattenosteosynthese. Die Hauptkomplikation besteht in der

Nekrose des Fragmentes (33, 35). Isolierte Typ-I- oder II-Frakturen haben ein besseres klinisches Outcome als Mehrfragment-Frakturen (37).

#### 1.5.4 Epicondyläre Humerusfrakturen

Die epicondylären Humerusfrakturen betreffen zu 99% den Epicondylus ulnaris und zu 1% den Epicondylus radialis. Sie treten nur in einem Viertel der Fälle isoliert auf. Zu ca. 50% kommen sie im Rahmen einer Ellenbogenluxation vor, zu einem weiteren Viertel im Rahmen einer bereits wieder spontan reponierten Luxation (4).

Die Wahl der Therapie ist abhängig von der Stabilität des Ellenbogengelenks sowie der Dislokation der Fraktur. Bei isolierten medialen epicondylären Humerusfrakturen unterscheidet von Laer das Dislokationsmaß in „tolerabel disloziert“, bei dem eine Ventralisierung und Distalisierung um ca. 1 cm akzeptiert wird und konservativ behandelt werden kann, und in „nicht tolerabel disloziert“, bei dem eine Dislokation  $\geq$  1 cm vorliegt und operativ versorgt werden sollte (4).

Die Therapie des undislozierten epicondylären Ausrisses bei stabilem Ellenbogengelenk erfolgt konservativ mit einem Oberarmgips bzw. einer Oberarmschiene für drei bis vier Wochen. Die Therapie bei nach von Laer tolerierbar dislozierten epicondylären Ausrisen und stabilem Ellenbogengelenk sollte patientenorientiert gewählt werden. Bei sportlich weniger aktiven Patienten kann eine konservative Therapie erfolgen. Bei aktiven Patienten ist die operative Versorgung mit einer übungsstabilen Schraubenosteosynthese empfehlenswert.

Bei klinischer Seitenbandinstabilität nach reponierter Ellenbogenluxation ist eine operative Versorgung mittels Schraubenosteosynthese gelegentlich indiziert. Vorteilhaft dabei ist, dass es sich um eine bewegungsstabile Osteosynthese handelt und somit die durch die Luxation empfohlene postoperative Ruhigstellung nur 10-14 Tage beträgt. Die Entfernung des Osteosynthesematerials erfolgt nach acht bis zwölf Wochen.

Rockwood et al. teilen die Operationsindikation in absolut (Lage des Fragmentes im Gelenkspalt) und in relativ (Nervus-ulnaris-Dysfunktion und die Notwendigkeit der Ellenbogenstabilität) ein und orientieren sich zudem an der sportlichen Aktivität des Patienten (33, 35).

Eine radiologische Konsolidierungskontrolle sollte sowohl bei konservativer als auch operativer Therapie vier Wochen nach dem Trauma durchgeführt werden (21).

Das klinische Outcome dieser Frakturen ist in der Literatur bei assoziierter Ellenbogenluxation unabhängig von der Therapieart schlechter als bei isolierten epicondylären Humerusfrakturen (33, 35). Das therapeutische Vorgehen bei

radialseitiger epicondylärer Humerusfraktur orientiert sich an der o. g. Therapie der Epicondylus-ulnaris-Fraktur.

### 1.5.5 Ellenbogenluxation

Ellenbogenluxationen treten gehäuft nach dem zehnten Lebensjahr, meist erst vor Fugenschluss etwa im Alter von 13–14 Jahren, auf (3, 38). Am häufigsten ist die dorsoradiale Ellenbogenluxation. Die Diagnosestellung kann anhand der Anamnese und Klinik erfolgen. Nach einer Spontanreposition ist die Luxation anhand von möglichen Begleitverletzungen oder einer Seitenbandinstabilität zu erkennen. Der Epicondylus-ulnaris-Abriss ist die häufigste ossäre Begleitverletzung neben Abscherverletzungen des Radiusköpfchens, des Capitulum humeri oder des Epicondylus radialis, seltener des Condylus radialis oder des Processus coronoideus ulnae. Nach einer ausgeprägten Dislokation des Ellenbogengelenkes besteht die Möglichkeit, dass der abgerissene Epicondylus bzw. sehr selten der Nervus ulnaris oder der Nervus medianus in den Gelenkspalt eingeschlagen sind (4, 33, 35).

Die Therapie besteht in einer sofortigen geschlossenen Reposition der Ellenbogenluxation. Dies sollte in einer Kurznarkose bzw. Analogosedierung erfolgen. Anschließend wird die Stabilität des Ellenbogengelenkes unter Durchleuchtungskontrolle geprüft (Seitenbandinstabilität und Neigung zu Relaxation) und das Repositionsergebnis in zwei Ebenen dokumentiert. Die Wahrscheinlichkeit für eine Relaxation ist umso größer, je leichter die Reposition gelingt (5). Bei Stabilität wird konservativ für 10-14 Tage in einem Oberarmgips oder einer Bewegungsorthese behandelt. Eine radiologische Kontrolle nach einer Woche dient dem Ausschluss einer Subluxation bzw. Relaxation. Die Indikation zur operativen Therapie wird bei einem knöchernen dislozierten Seitenbandausriss, bei dislozierten Begleitfrakturen, neurovaskulären Verletzungen, rezidivierenden Luxationen oder Seitenbandinstabilität gestellt. Eine frühzeitige Rehabilitation des Ellenbogengelenkes ohne Belastung für sechs Wochen ist indiziert. Je früher eine Reposition der Ellenbogenluxation erfolgt, desto besser ist das klinische Outcome (5, 21, 33, 35).

### 1.5.6 Frakturen des proximalen Unterarmes und Monteggia-Läsion

Die Frakturen im Bereich der proximalen Ulna werden in Olecranonfrakturen und Frakturen des Processus coronoideus ulnae unterteilt. Die Olecranonfrakturen werden zum einen unterschieden in intra- und extraartikuläre Frakturen sowie in Schräg- oder Querfrakturen. Sie entstehen typischerweise durch ein direktes Trauma auf die

Ellenbogenspitze (39). Meist treten sie in Kombination mit weiteren Verletzungen auf, insbesondere mit einer Monteggia-Läsion oder einer Fraktur des proximalen Radius (4).

Bei intraartikulären Olecranonfrakturen ist das Therapieziel eine Heilung ohne Gelenkstufe. Eine undislozierte Fraktur ohne artikuläre Stufe und max. 2 mm Dehiszenz wird konservativ mittels Oberarmgips für drei bis vier Wochen behandelt. Die operative Therapie erfolgt bei dislozierten intraartikulären Olecranonfrakturen mit Gelenkstufe (meist durch offene Reposition). Eine Olecranonquerfraktur wird bei Patienten unter fünf Jahren mit zwei K-Drähten retiniert, bei älteren Kindern mittels Zuggurtungsosteosynthese. Im Falle einer Längs- oder Schrägf Fraktur des Olecranon erfolgt eine Schraubenosteosynthese. Bei diesen übungsstabilen Formen der Versorgung kann eine Ruhigstellung optional bis zur abgeschlossenen Wundheilung angelegt werden.

Die Zuggurtung wird in Abhängigkeit des umgebenden Weichteilzustandes nach ein bis drei Monaten entfernt, eine Schraubenosteosynthese nach ca. drei Monaten. Perkutane K-Drähte verbleiben für vier Wochen, versenkte K-Drähte ggf. länger (3, 21).

Eine Fraktur des Processus coronoideus ulnae ist sehr selten. Oft ist diese eine Begleitverletzung einer Ellenbogenluxation (4). Die größte Verbreitung findet die Fraktur-Klassifikation nach Regan und Morrey:

- Typ 1: Abriss der Koronoidspitze, stabil
- Typ 2: Koronoidabriss bis zu 50% der Processusgröße, stabil
- Typ 3: Koronoidabriss von >50% der Processusgröße, instabil, erhöhte Gefahr der Ellenbogeninstabilität mit ventraler Luxationstendenz (21, 40).

Die Therapie der Processus-coronoideus-Fraktur ist abhängig vom Ausmaß der Dislokation und der Instabilität des Ellenbogengelenkes (33, 35).

Nach einer Ruhigstellung im Oberarmgips wird bei Typ-I- oder Typ-II-Frakturen innerhalb von drei Wochen nach der Verletzung eine frühe Mobilisation empfohlen. Typ-III-Frakturen werden durch eine primär offene Reposition und Fixierung durch eine transossäre Naht, Schrauben- oder K-Draht-Osteosynthese mit anschließend früher Mobilisation behandelt (21, 40).

Die Frakturen des proximalen Radius sind zu etwa einem Drittel Fugenschaftfrakturen (mit und ohne metaphysärem Keil) und zu etwa zwei Dritteln subkapitale Radiushalsfrakturen (4).

Echte Radiuskopffrakturen sind im Kindesalter eine absolute Ausnahme. Das Therapieziel dieser epiphysären Verletzungen ist die exakte Wiederherstellung der Gelenkfläche.

Undislozierte Frakturen werden zwei bis drei Wochen in einer Oberarmschiene ruhiggestellt. Die operative Therapie ist bei Radiuskopffrakturen mit einer Gelenkstufe oder Dehiszenz der Gelenkfläche indiziert. Dabei erfolgt die offene Reposition und anschließende Fixation des Repositionsergebnisses mittels K-Draht, Minischraube oder resorbierbarem Pin. Eine Ruhigstellung erfolgt anschließend für sieben bis zehn Tage. Der Zeitpunkt der Materialentfernung variiert je nach Versorgung. Die Osteosynthese mittels K-Draht wird nach drei bis vier Wochen und die Schraube nach vier bis sechs Wochen entfernt (3, 41).

Die Radiushalsfraktur tritt typischerweise nach einem Sturz auf den pronierten Arm bei Streckung im Ellenbogengelenk auf. Sie kann isoliert oder als typische Begleitverletzung bei Ellenbogenluxation oder einer Ulna-Parier-Fraktur vorkommen (3). Bezüglich der Radiushalsfrakturen existieren mehrere Klassifikationen. Judet et al. unterteilen:

- Typ I: keine/ geringe Abkippung
- Typ II: Abkippung bis 30°, Dislokation bis halbe Schaftbreite, Synovialkapsel und Periost nur teilweise zerrissen
- Typ III: Abkippung 30°-60°, variable Dislokation mit variablem interfragmentärem Kontakt
- Typ IV: Abkippung 60°-90°, vollständige Dislokation, zusätzlich kann das Ringband zerrissen sein (Yarar et al. zitieren Judet et al. 1962, modifiziert nach Weber 1978) (42).

Die AO hat alternativ eine Klassifikation für Radiushalsfrakturen festgelegt:

- Typ I: keine Dislokation
- Typ II: Dislokation < 50% der Frakturfläche
- Typ III: Dislokation > 50% der Frakturfläche (43).

Da die Durchblutung der proximalen Radiusepiphysen nur über metaphysäre periostale Gefäße erfolgt, ist das oberste Ziel die Aufrichtung des proximalen Radiusfragmentes ohne die Durchblutung durch die Maßnahmen weiter zu kompromittieren (43).

Die konservative Therapie mittels Oberarmgipsschiene für drei Wochen ist bei Patienten bis zehn Jahre bei einer Abkippung bis max. 30° und einer Verschiebung um weniger als halbe Schaftbreite indiziert, über zehn Jahre liegt die Grenze bei einer Abkippung des Radiusköpfchens von 10 bis 20° (33, 35, 43).

Eine geschlossene Reposition durch Druck auf das proximale Fragment unter Varusstress und Extension des Ellenbogengelenkes kann bei älteren Patienten mit dem Ziel einer Reduktion der Fehlstellung unter 20° Abkipfung eine Therapieoption sein. Die Indikation zur operativen Therapie wird bei Überschreitung der o. g. Grenzen gestellt. Die meisten Autoren bevorzugen die geschlossene Reposition durch einen aszendierenden Nagel als Joystick (das proximale Fragment wird aufgefädelt und mittels Drehung reponiert) und zur Retention. Es handelt sich dabei um eine übungsstabile Osteosynthese, eine Ruhigstellung ist nicht notwendig. Die Entfernung des Nagels wird nach zwei bis drei Monaten empfohlen. Weitere Autoren beschreiben lediglich die Reposition mithilfe des intramedullären Nagels, direkt folgend dessen Entfernung sowie Anlage einer Ruhigstellung. Alternativ kann eine indirekte Reposition mittels K-Draht von dorsoradial erfolgen bei anschließend identischem Vorgehen. Selten, insbesondere bei kompletter Verkipfung des Fragmentes, ist eine offene Reposition erforderlich (3, 21, 41, 43).

Monteggia beschrieb 1814 als erster ein Verletzungsmuster als Beobachtung bei Autopsien, welches später von Bado als Dislokation des Radius kombiniert mit einer Ulnafraktur klassifiziert wurde. Die Fraktur der Ulna führt zu einer relativen Verkürzung, wodurch die proximale Radiusluxation resultiert. Die zusätzliche Frakturierung des proximalen Radius entspricht einer „monteggia-like-lesion“ (4, 44). Es ergab sich nach Bado für Monteggia-Läsionen folgende Klassifikation:

- Typ I: Ulnafraktur der Diaphyse mit anteriorer Dislokation des Radiusköpfchens
- Typ II: Ulnafraktur der proximalen Metaphyse oder Diaphyse mit posteriorer Dislokation des Radiusköpfchens
- Typ III: Ulnafraktur der proximalen Metaphyse mit lateraler oder anterolateraler Dislokation des Radiusköpfchens
- Typ IV: Ulnafraktur der proximalen Metaphyse oder Diaphyse mit anteriorer Dislokation des Radiusköpfchens und zusätzlicher Fraktur des proximalen Radius (33, 35).

Zeigt sich ein positives „ulnar bow sign“ (ein maximaler senkrechter Abstand der dorsalen Ulna-Kortikalis um  $> 0,01 \pm 0,1\text{mm}$  von einer geraden Linie zwischen distaler Ulna und Olecranon in der streng seitlichen Röntgenaufnahme) in Kombination mit der proximalen Radiuskopfluxation ist dies als Monteggia-Variation einzustufen (45).

Die Therapie muss die Gelenkkongruenz im Ellenbogengelenk wiederherstellen. Eine konservative Therapie (ohne Osteosynthese) ist nur selten bei kleinen Kindern

indiziert. In Narkose wird die Ulnafraktur bzw. deren Verkürzung korrigiert und somit indirekt die Radiuskopfluxation reponiert. Anschließend wird ein Oberarmgips für drei bis vier Wochen angelegt. Eine operative Therapie der Monteggia-Läsion ist meist notwendig, insbesondere bei instabilen oder dislozierten Ulnaschaftfrakturen. Bei diaphysären und teilweise auch bei metaphysären Ulnafrakturen wird eine übungsstabile ESIN-Osteosynthese von den Autoren favorisiert (3, 6, 21, 46). Alternativen für die metaphysären Ulnafrakturen (Olecranon) sind Schrauben-, K-Draht-, Zuggurtungs- oder Plattenosteosynthesen mit anschließender Ruhigstellung für vier Wochen. In seltenen Fällen ist bei eingeschlagenen Weichteilen (z.B. Ligamentum anulare) eine offene Reposition notwendig.

Die im Fall einer Typ-IV-Monteggia-Läsion nach Bado begleitende proximale Radiusfraktur wird, wie oben beschrieben, mitbehandelt.

Die Entfernung des Osteosynthesematerials erfolgt nach acht bis zwölf Wochen (3, 6, 21, 46).

## 1.6 Nervenverletzungen im Ellenbogenbereich

Verletzungen des Nervus radialis treten selten bei einer Ellenbogenluxation oder Radiuskopfluxation im Rahmen einer Monteggia-Läsion auf. Während der offenen Reposition einer proximalen Radiusfraktur kann der Ramus profundus des Nervus radialis iatrogen geschädigt werden. Eine mögliche Folge einer Nervus-radialis-Läsion ist der Ausfall aller Unterarmstrecker, der mit dem klinischen Bild einer „Fallhand“ einhergeht.

Der Nervus medianus kann im Bereich der Ellenbeuge durch distale Humerusfrakturen in Mitleidenschaft gezogen werden, als Rarität ist im Rahmen einer Ellenbogenluxation eine Einklemmung im Gelenkspalt möglich. Es zeigt sich das klinische Bild einer sogenannten "Schwurhand"-Stellung. Dabei können Daumen, Zeige- und Mittelfinger im Mittel- und Endglied nicht mehr gebeugt werden.

Die häufigste Nervenläsion betrifft den Nervus ulnaris. Eine Irritation kann traumatisch Folge einer Epicondylus-ulnaris-Fraktur, einer Ellenbogenluxation oder selten einer Monteggia-Läsion sein. Iatrogen ist eine Verletzung bei perkutaner Osteosynthese mittels K-Drähten, durch eine Schraube, Kleinfragmentplatten oder bei einer Zuggurtungsosteosynthese bei ulnarem oder dorsalem Zugang möglich. Bei einer Nervus-ulnaris-Läsion zeigt sich das Bild einer "Krallenhand". Dabei sind die Beugung in den Grundgelenken und die Streckung in den Endgelenken der Finger gestört (3, 7, 33, 35).

## **1.7 Beurteilung des klinischen Outcomes**

Die klinische Einschätzung des Ellenbogengelenkes nach Flynn besteht aus dem „kosmetischen“ Faktor (Ellenbogengelenkachse) und dem „funktionellen“ Faktor (Einschränkung der Beweglichkeit). Da die Achse des Ellenbogengelenkes sowie der Umfang der Unterarmumwendbewegung in den meisten Fällen nicht dokumentiert waren, wurde nur die Beweglichkeit des Ellenbogengelenkes kategorisiert. Flynn teilt den funktionellen Aspekt folgendermaßen ein (47):

exzellent	0°-5° Bewegungsdefizit
gut	5°-10° Bewegungsdefizit
ausreichend	10°-15° Bewegungsdefizit
schlecht	>15° Bewegungsdefizit.

## **1.8 Gender-Hinweis**

Es wird auf die Verwendung geschlechtsspezifischer Bezeichnungen zur besseren Lesbarkeit verzichtet. Personenbezeichnungen wie beispielsweise „Patient“ bzw. „Patienten“ – sofern nicht anders kenntlich gemacht – gelten gleichermaßen für alle Geschlechter.

## 2 Zielstellung

Ziel dieser Arbeit war es, im Hinblick auf Therapieoptimierung und Prognoseabschätzung bestehende Klassifikationen der Kindertraumatologie auf ihren Wert im klinischen Alltag zu vergleichen und zu prüfen, ob eine Korrelation mit dem klinischen Endergebnis vorliegt. Ebenso sollte überprüft werden, ob eine Abhängigkeit vom Grad der initialen Dislokation der Fraktur bzw. von der Therapieart mit der Behandlungsdauer besteht. Dazu wurden retrospektiv die Daten der Kinder und Jugendlichen mit Frakturen und Luxationen des Ellenbogengelenkes analysiert, die zwischen 1992 und 2015 an der Universitätsklinik und Poliklinik für Kinderchirurgie Halle stationär behandelt wurden. Daraus ergaben sich die folgenden Fragestellungen:

A Supracondyläre Humerusfrakturen:

- A1 Welche der drei verwendeten Klassifikationen (von Laer, Gartland oder Baumann) ist im klinischen Alltag am besten geeignet, um eine Operationsindikation zu stellen?
- A2 Besteht eine Korrelation der Frakturklassifizierung nach von Laer mit der Dauer und dem Ergebnis der Behandlung?
- A3 Besteht eine Korrelation der Therapieart der supracondylären Humerusfraktur mit der Dauer der Behandlung?

B Condylus-radialis-Fraktur:

- B1 Besteht ein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Dauer und dem Ergebnis der Therapie nach Condylus-radialis-Fraktur und den von Weiss definierten Schweregraden?
- B2 Besteht eine Korrelation der Therapieart der Condylus-radialis-Fraktur mit der Dauer der Behandlung?

C Epicondylus-ulnaris-Fraktur:

Besteht eine Korrelation des initialen Dislokationsausmaßes der Epicondylus-ulnaris-Fraktur hinsichtlich Therapiedauer und Ergebnis nach Therapieende?

D Ellenbogenluxation:

Besteht ein signifikanter Unterschied zwischen Ellenbogenluxationen ohne bzw. mit knöcherner Begleitverletzung bezogen auf die Behandlungsdauer und das klinische Endergebnis?

E Frakturen des proximalen Unterarmes:

- E1 Welche der zwei verwendeten Klassifikationen der Radiushalsfraktur (Judet oder AO- Klassifikation) erweist sich im klinischen Alltag die als beste Methode, um eine Operationsindikation zu stellen?
- E2 Besteht eine Korrelation des initialen Dislokationsausmaßes der Radiushalsfraktur klassifiziert nach Judet zur Beweglichkeit des Ellenbogengelenkes nach Therapieende?
- E3 Besteht eine Korrelation der Therapieart der Radiushalsfraktur mit der Dauer der Behandlung?

Ergänzend erfolgte eine deskriptive Auswertung der Y-Fraktur, der Condylus-ulnaris-Fraktur, der Epicondylus-radialis-Fraktur, der Capitulum-humeri-Fraktur, der Fraktur des Processus coronoideus sowie der Monteggia-Läsionen.

### **3 Material und Methoden**

Bei der vorliegenden Arbeit handelt es sich um eine klinische retrospektive Studie. Die Datenauswertung erfolgte anonymisiert. Ein Ethikvotum wurde initial nicht eingeholt. Die Ethikkommission der Medizinischen Fakultät Halle (Saale) bestätigte im Verlauf, dass das Studienvorhaben bei ordnungsgemäßer Einreichung hätte positiv bewertet werden können.

Eingeschlossen wurden Patienten (Kinder und Jugendliche bis 18 Jahre) mit Ellenbogengelenksverletzungen (Frakturen und Luxationen), welche im Zeitraum von 1992 bis Ende 2015 in der Universitätsklinik und Poliklinik für Kinderchirurgie Halle stationär in Behandlung waren. Ausgeschlossen wurden Patienten mit zeitgleicher Verletzung beider Arme sowie Patienten mit Folge-Verletzungen im Ellenbogengelenksbereich nach einem erneuten Unfall.

Es konnten insgesamt 365 Patienten in die Studie eingeschlossen werden. Alle patientenbezogenen Daten wurden anonymisiert erfasst. Es erfolgte die Erhebung folgender Daten:

- aus der Akte des stationären Aufenthaltes und dem Entlassbrief:
  - Stammdaten des Patienten (Geburtsdatum, Geschlecht)
  - Aufnahme- und Entlassdaten
  - Unfalldatum und Unfallmechanismus, Seite des betroffenen Ellenbogengelenkes
  - Informationen über externe Vorbehandlung und ggf. Diagnostik
  - Zeitpunkt des Therapiebeginns
  - Auftreten von Begleitverletzungen (ossär, arteriell, neurologisch, ligamentär, muskulär)
  - Art der Ruhigstellung
  - Komplikationen
  - Art der Diagnostik sowie radiologisch-diagnostische Bildgebung (Röntgen-, MRT-, CT-Aufnahmen) und deren Befund
- aus den Operationsberichten:
  - Datum der Operation und Art der operativen Versorgung (Art der Reposition und der Osteosynthese)
  - ggf. Zweiteingriff und Revisionsvorgehen

- Datum der Entfernung des Osteosynthesematerials falls operativ (in Sedierung oder Narkose) erfolgt
- aus der Akte der ambulanten Vorstellungen:
  - Daten der ambulanten Vorstellungen
  - Datum der Entfernung des Osteosynthesematerials falls ohne Sedierung oder Narkose erfolgt
  - Datum der Abnahme der Ruhigstellung
  - Datum der Erhebung des klinisch funktionellen Untersuchungsbefundes
  - Klinisch funktioneller Befund: entweder als deskriptive Einschätzung des Untersuchers oder Bewegungsausmaß des Ellenbogengelenkes (Extension und Flexion) anhand der Neutral-Null-Methode
  - ggf. Empfehlung und Ort der weiteren Behandlung
  - Datum des Behandlungsabschlusses

Anhand dieser Daten wurde das Patientenalter zum Unfallzeitpunkt, die Dauer der Ruhigstellung und der Therapie sowie der Bewegungsumfang des Ellenbogengelenkes bzw. dessen Defizit berechnet.

Unter der Annahme, dass ein Bewegungsumfang des Ellenbogengelenkes (Extension/Flexion) von 135° im Alltag zu keinerlei Einschränkung führt, wurde dies als Therapieziel festgelegt. Die Ergebnisse der klinischen Untersuchung wurden orientierend an den funktionellen Flynn-Kriterien (Kapitel 1.7) eingeordnet und bewertet. Da der Bewegungsumfang der Supination und Pronation sowie die Ellenbogenachse (kosmetischer Aspekt) des betroffenen Armes als auch die Beweglichkeit der Gegenseite nur selten dokumentiert waren, konnten diese nicht in die Auswertung eingehen bzw. zum Vergleich herangezogen werden.

Alle Frakturen und Luxationen wurden anhand der vorliegenden bildgebenden Diagnostik bzw. der vorliegenden radiologischen Befunde mithilfe der genannten Klassifikationen eingeteilt. Patienten mit Kombinationsverletzungen wurden jeweils nur in einem Kapitel erläutert. Mehrfachnennungen bzw. erneute Erwähnungen in späteren Kapiteln dienen der Vollständigkeit.

Es erfolgte zusätzlich zu den o. g. ambulanten Vorstellungen keine klinisch funktionelle Abschlussuntersuchung der Patienten. Aufgrund des Untersuchungszeitraumes von 1992 bis 2015 (insgesamt 24 Jahre) waren die meisten Patienten zum Zeitpunkt der Datenerhebung (2012-2015) bereits erwachsen. Eine allumfassende Erhebung und Beurteilung von Einflussparametern auf die Ellenbogenbeweglichkeit zum Zeitpunkt einer möglichen Nachuntersuchung wie beispielsweise der Wachstumsverlauf, die Art

und Anzahl weiterer Unfälle sowie deren Heilung, sportliche Aktivität, Lebens- und Ernährungsgewohnheiten war aufgrund des zeitlichen Abstandes zur initialen Verletzung nicht möglich. Der Umfang dieser Erhebung hätte die Kapazität einer einzelnen Person bei weitem überschritten.

Bei der Erstellung dieser Arbeit erfolgte die Zuhilfenahme von Microsoft Word 2010, Microsoft Excel 2010, Citavi 5, Online-Bibliotheken (PubMed, Springer-Link, eref des Thiemeverlages, Google Scholar) sowie ab 2023 des Statistikprogrammes DATatab.

Mithilfe von DATatab wurden zur Veranschaulichung und Analyse der o. g. Fragestellungen Kaplan-Meier-Kurven erstellt. Auf der x-Achse wurde die Behandlungsdauer in Tagen (entsprechend der Überlebenszeit) bis zum Erreichen des gewünschten klinischen Outcomes „sehr gute und gute Beweglichkeit im Ellenbogengelenk“ (maximal 10° Bewegungsdefizit; entspricht dem Ereignis bzw. Endpunkt) und auf der y-Achse der Anteil der laufenden Behandlungen eingetragen. Es wurden Kaplan-Meier-Kurven für die einzelnen Frakturklassifizierungen bzw. die Therapieart (entsprechen jeweils der unabhängigen Variable) erstellt. Diese wurden hinsichtlich der Behandlungsdauer einer Signifikanz-Testung mithilfe des Log-Rank-Tests unterzogen. Das Signifikanzniveau wurde mit  $\alpha=0,05$  festgelegt.

Bei der Erstellung der Kaplan-Meier-Kurven und deren zugehörigen Signifikanz-Berechnungen eingeschlossen wurden alle Patienten, bei denen die Ellenbogengelenksverletzung jeweils eindeutig in einer gängigen Klassifikation kategorisiert werden konnte und eine sehr gute bzw. gute Ellenbogenbeweglichkeit erreicht wurde, sodass ein Behandlungsabschluss erfolgte. Patienten mit externer Weiterbehandlung oder eines notwendigen Zweiteingriffes aufgrund eines erneuten Traumas wurden ausgeschlossen. Anhand des daraus resultierenden Patientenkollektivs ergaben die Signifikanzberechnungen der Behandlungsdauer (Kaplan-Meier-Kurven) für die supracondyläre Humerusfraktur, die Condylus-radialis-Fraktur, die Epicondylus-ulnaris-Fraktur, die Ellenbogenluxation und die proximale Radiusfraktur verwertbare Ergebnisse. Die weiteren Frakturen wurden deskriptiv ausgewertet.

## **4 Ergebnisse**

In den Jahren von 1992 bis Ende 2015 wurden 365 Patienten mit Frakturen und Luxationen des Ellenbogengelenkes stationär in der Universitätsklinik und Poliklinik für Kinderchirurgie Halle behandelt. Es wurden 166 Mädchen (45,5%) und 199 Jungen (54,5%) kinderchirurgisch versorgt. Das Durchschnittsalter beim Unfallereignis lag bei  $8,51 \pm 3,34$  Jahre (0,52 - 17,33 Jahre). Es war bei 215 Patienten (59%) der linke und bei 150 Patienten (41%) der rechte Ellenbogen betroffen.

Die Unfallmechanismen - soweit in den Unterlagen adäquat dokumentiert - zeigten Stürze als dominantes Unfallereignis: dies waren bei 90 Patienten ein Sturz aus größerer Höhe (Rutsche, Klettergerüst, Mauer, vom Pferd etc.), 44mal ein bodennaher Sturz und in 36 Fällen ein Sturz mit, auf oder von einem Spielgerät (Fahrrad, Skateboard, Inlineskates, etc.). Ein Sturz beim Sport (Fußball, Handball, Ringen, etc.) wurde 17mal als Unfallursache dokumentiert. In einem Fall war ein Verkehrsunfall ursächlich. Ein Kind wurde durch einen Pferdetritt verletzt. Bei den weiteren 176 Patienten war in den vorliegenden Unterlagen der Unfallmechanismus nicht mehr sicher nachvollziehbar.

In 308 Fällen trat eine isolierte Fraktur am Ellenbogengelenk auf. 57mal bestand eine ossäre Kombinationsverletzung am Ellenbogengelenk. Bei 21 Patienten zeigte sich eine zusätzliche Fraktur am ipsilateralen Arm.

Im Bereich des distalen Humerus traten 174 supracondyläre Frakturen, 52 transcondyläre Frakturen (16 Y-Frakturen, 33 Condylus-radialis-Frakturen, zwei Condylus-ulnaris-Frakturen), vier Capitulum-humeri-Frakturen und 58 epicondyläre Frakturen (50 Epicondylus-ulnaris-Frakturen, acht Epicondylus-radialis-Frakturen) auf. 54 Patienten erlitten eine Ellenbogenluxation, davon in 34 Fällen mit einer begleitenden Fraktur am Ellenbogengelenk. An der proximalen Ulna traten 30 Frakturen des Olecranon und 10 Verletzungen des Processus coronoideus auf. 39 Frakturen betrafen den proximalen Radius (37 Radiushalsfrakturen, zwei Radiuskopffrakturen). 16 Kinder erlitten Monteggia-Läsionen.

Als Begleitverletzungen zeigten sich sechs Verletzungen der Arteria brachialis, bei 24 Patienten Nervenverletzungen (neun Nervus-radialis-, neun Nervus medianus- und zwölf Nervus-ulnaris-Verletzungen) sowie vier Muskelverletzungen (eine Musculus-biceps-, drei Musculus- brachialis-Verletzungen). Es traten vier offene Frakturen auf, davon zwei zweitgradig und zwei drittgradig klassifiziert nach Tscherne und Oestern (48).

Im Rahmen von Polytraumata (Verkehrsunfall oder Sturz aus dem vierten Obergeschoss) mussten drei Patienten aufgrund zusätzlicher Verletzungen (eine

Beckenfraktur, eine distale Femurfraktur, eine Lungen- und Leberkontusion, ein Schädel-Hirn-Trauma und eine Unterkieferkörpfchenfraktur) behandelt werden.

Es ergaben sich zum Abschluss der Behandlung bzw. zum Zeitpunkt der letzten klinischen Untersuchung am UKH kategorisiert nach den funktionellen Flynn-Kriterien bei 195 eine sehr gute, bei 16 eine gute, bei sechs eine ausreichende und bei 37 Patienten eine schlechte Ellenbogenbeweglichkeit. 67mal war in den vorliegenden Unterlagen nur eine beschreibende und keine objektive Einschätzung der Ellenbogengelenksfunktion nach Neutral-Null-Methode dokumentiert. Von diesen wurde in 34 Fällen eine gute Funktion, in zwölf Fällen eine Streckhemmung, in fünf Fällen eine Einschränkung der Extension und Flexion, in fünf Fällen eine Beugehemmung und in elf Fällen eine Bewegungseinschränkung im Seitenvergleich beschrieben. Bei 44 Patienten konnte kein klinischer Abschlussbefund aufgrund externer Weiterbehandlung erhoben werden.

#### 4.1 Ergebnisse nach supracondylärer Humerusfraktur

Es wurden 174 Patienten mit supracondylärer Humerusfraktur stationär behandelt. 92 Patienten waren männlich und 82 weiblich. Das mittlere Alter zum Unfallzeitpunkt betrug  $7,29 \text{ Jahre} \pm 2,83 \text{ Jahre}$  (0,52-14,52 Jahre). Die linke Seite war mit 109 Fällen (62,6%) deutlich häufiger betroffen als die rechte Seite mit 65 Fällen (37,4%). Bei 163 Patienten konnte das Dislokationsausmaß eindeutig bestimmt werden. Bei elf Patienten war dies aufgrund nicht vorliegender radiologischer Diagnostik bzw. Befunde und fehlender schriftlicher Dokumentation nicht möglich.

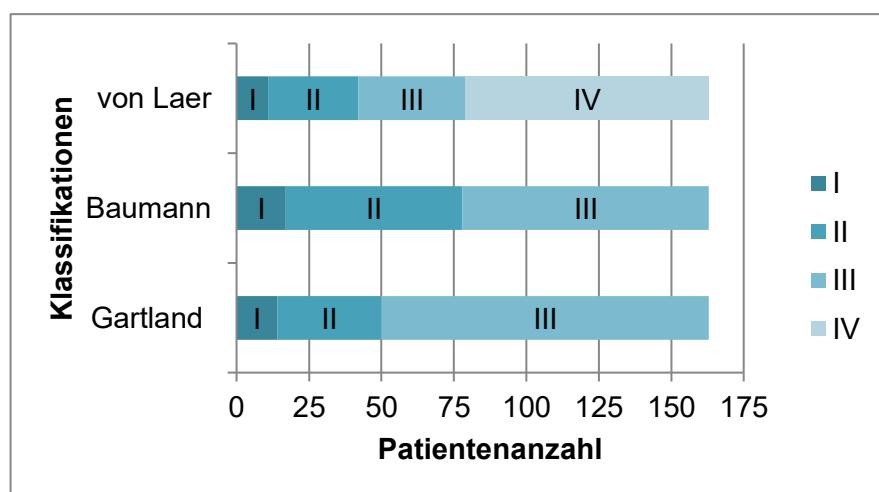


Abbildung 2: Einteilung der supracondylären Humerusfrakturen anhand der Klassifikationen nach von Laer, Baumann und Gartland

Auf Grundlage der radiologischen Diagnostik wurden die supracondylären Humerusfrakturen anhand von drei Klassifikationen eingeteilt (Abb. 2): nach von Laer handelte es sich in elf Fällen um eine Typ-I-, in 31 Fällen um eine Typ-II-, 37mal um eine Typ-III- und 84mal um eine Typ-IV-Fraktur. Anhand der Baumann-Klassifikation erlitten 17 Patienten eine Typ-I-, 61 Patienten eine Typ-II- und 85 Patienten eine Typ-III-Verletzung. Nach Gartland lagen 14 Typ-I-, 36 Typ-II- und 113 Typ-III-Frakturen vor. Stellt man die Ergebnisse der Klassifikationen nebeneinander, zeigt sich, dass die Fallzahlen des Dislokationsgrades Typ I bei allen drei Klassifikationen ähnlich ausfällt (11 vs. 17 vs. 14). Ebenso ist die Patientenzahl der nach Baumann Typ-III- (85 Patienten) und nach von Laer Typ-IV-Verletzungen (84 Patienten) nahezu identisch. Zusammengenommen stellen Typ-II- und Typ-III-Frakturen nach von Laer (68 Fälle) überwiegend eine weitere Differenzierung des Frakturtyps II nach Baumann (61 Fälle) dar. Die Frakturzuordnung zu Gartland Typ III (113 Patienten) entspricht mit ca. 93% Typ-III- und Typ-IV-Frakturen nach von Laer (zusammen 121 Patienten).

Anhand der Rogers-Hilfslinie handelte es sich in 135 Fällen um eine Extensionsfraktur und in 13 Fällen um eine Flexionsfraktur. Aufgrund nicht vorliegender oder nicht streng seitlich aufgenommener Röntgenbilder konnte die Rogers-Hilfslinie 15mal nicht bestimmt werden. Bei 11 Patienten mit nicht dislozierten Frakturen war die Rogers-Hilfslinie dementsprechend physiologisch.

Bei vier Patienten mit supracondylärer Humerusfraktur bestand unfallbedingt zeitgleich eine weitere ossäre Verletzung am Ellenbogengelenk: zweimal eine Epicondylus-ulnaris-Fraktur, in einem Fall eine Stauchung des Radiuskopfes und einmal eine Fraktur des Processus coronoideus.

Bei 18 Patienten zeigte sich ein neurologisches Defizit, bei denen siebenmal der Nervus radialis, neunmal der Nervus medianus und achtmal der Nervus ulnaris betroffen war. Bei zwei Patienten waren alle drei Nerven betroffen. Bei jeweils einem Patienten bestanden neben einem Defizit des Nervus radialis auch eine Auffälligkeit im Versorgungsgebiet des Nervus medianus bzw. des Nervus ulnaris. Klassifiziert nach von Laer betraf dies einen Patienten mit Typ-II-, zwei Patienten mit Typ-III- und 14 mit Typ-IV-Fraktur sowie einen Patienten, bei dem die Dislokation aus o. g. Gründen nicht bekannt war. Eine Arteria-brachialis-Verletzung wurde in fünf Fällen jeweils im Zusammenhang mit einer supracondylären Humerusfraktur Typ IV nach von Laer diagnostiziert. Bei vier Patienten mit Typ-IV-Fraktur nach von Laer und jeweils offener Frakturversorgung wurde eine muskuläre Begleitverletzung festgestellt: in drei Fällen zeigte sich eine Zerreißung des Musculus brachialis und in einem Fall ein Anriß des Musculus biceps brachii. Einschränkend sei darauf hingewiesen, dass bei geschlossenem Vorgehen Begleitverletzungen in möglicherweise nicht unerheblicher

Anzahl übersehen werden können. Je eine Typ-IV-Fraktur nach von Laer war zweit- bzw. drittgradig offen.

**Tabelle 1: Supracondyläre Humerusfrakturen: Klassifikationen und Therapieart**

	Klassifikation nach von Laer				Klassifikation nach Baumann			Klassifikation nach Gartland			*
	I	II	III	IV	I	II	III	I	II	III	
Therapie											
Konservative Therapie	11	7	4	0	11	11	0	12	7	3	0
Reposition in Narkose / Ruhigstellung	0	18	14	13	6	26	13	1	18	26	8
Geschlossene Reposition und Osteosynthese	0	2	10	21	0	12	21	1	5	27	1
K-Draht	–	2	10	21	–	12	21	1	5	27	1
Offene Reposition und Osteosynthese	0	4	9	50	0	12	51	0	6	57	2
K-Draht	–	4	7	49	–	10	50	–	5	55	2
Schraube und K-Draht	–	–	2	1	–	2	1	–	1	2	–
<b>Insgesamt</b>	<b>11</b>	<b>31</b>	<b>37</b>	<b>84</b>	<b>17</b>	<b>61</b>	<b>85</b>	<b>14</b>	<b>36</b>	<b>113</b>	<b>11</b>

\* Kein initiales Röntgenbild vorliegend oder anhand des vorliegenden Röntgenbildes nicht exakt messbar

Tabelle 1 zeigt die Therapie der supracondylären Humerusfrakturen in Korrelation zu den Frakturklassifikationen nach von Laer, Baumann und Gartland.

22 Patienten erhielten eine konservative Therapie im Sinne einer Ruhigstellung: dreimal einen Gipsverband, 18mal eine Blount-Schlinge sowie einmal einen Gilchrist-Verband. Die Dauer der Ruhigstellung betrug im Mittel 27,4 Tage (zwischen 20 bis 44 Tage). In 53 Fällen wurde die supracondyläre Humerusfraktur in Narkose geschlossen reponiert und anschließend ruhiggestellt. Davon wurden vier Frakturen im Gips und 49 in einem Blount-Verband retiniert. Die Zeit zwischen Therapiebeginn und Abnahme der Ruhigstellung lag im Mittel bei 35 Tagen. 34 supracondyläre Humerusfrakturen wurden in Narkose geschlossen reponiert und anschließend mittels K-Draht-Osteosynthese und Oberarmgips versorgt. Die Ruhigstellung wurde im Mittel für 37,9 Tage (16 bis 59 Tage) belassen. Bei 65 Patienten war eine offene Reposition der supracondylären Humerusfraktur mit anschließender Osteosynthese erforderlich. K-Drähte wurden dabei in allen Fällen verwendet, bei drei Patienten erfolgte zusätzlich im Rahmen atypischer Verläufe bzw. einer Revision eine Fixierung mittels Schraube. Es wurde in 63 Fällen ein Gips angelegt, ein Gilchristverband, einmal konnte aus der Dokumentation die Art der Ruhigstellung nicht erfasst werden. Die Ruhigstellungzeit betrug im Mittel 41,8 Tage (zwischen neun und 117 Tage, Median 39 Tage).

Bei 22 Patienten war ein Zweiteingriff notwendig. Gründe dafür waren eine erneute Fehlstellung nach initialer geschlossener Reposition und Ruhigstellung (n=3), eine

Redislokation nach geschlossener Reposition und Osteosynthese (n=5), Re-OP bei Fehlstellung trotz Ersteingriff (n=5), K-Draht-Perforation (n=3), Revision (Wechsel des operativen Verfahrens) nach externer Operation (n=3), Dislokation durch erneuten Sturz (n=1), Wundinfektion zum Wunddebridement (n=5) und Neurolyse bei neurologischem Defizit (n=1).

Die Entfernung der Osteosynthese wurde in Narkose bei 77 und ohne Narkose bei 20 Patienten durchgeführt. In drei Fällen erfolgte die Metallentfernung in einem anderen Krankenhaus. Das Osteosynthese-Material wurde im Mittel nach 41,6 Tagen (zwischen 19 und 240 Tagen, Median 33 Tage) entfernt.

Die Behandlungsdauer bzw. Nachbeobachtung betrug bei Typ-I-Frakturen nach von Laer im Mittel 55,2 Tage (zwischen 29 und 143 Tagen, Median 40,5 Tagen), bei Typ II-Frakturen im Mittel 99,6 Tage (zwischen 21 und 434 Tagen, Median 51 Tage), bei Typ-III-Frakturen im Mittel 257,1 Tage (zwischen 32 und 1883 Tagen, Median 90 Tage) und bei Typ-IV-Frakturen im Mittel 157 Tage (zwischen 31 und 1688 Tagen, Median 88,5 Tage). Insgesamt 13 Patienten wurden über ein Jahr behandelt (zwischen 369 und 1883 Tagen). Bei Patienten mit einer Behandlungsdauer über zwei Jahre (n=4) wurden entweder die Entwicklung der unfallbedingten neurologischen Defizite nach Nervenverletzung kontrolliert oder es erfolgten bei zunehmender Innenrotation sowie Varusfehlstellung des betroffenen Armes langfristige Bewegungskontrollen nach Revisionsoperation (subtraktive Valgisations- und Derotationsosteotomie).

**Tabelle 2: Supracondyläre Humerusfrakturen: Klassifikation nach von Laer und klinisches Outcome nach Flynn**

<b>Klassifikation nach von Laer</b>	<b>Klinisches Outcome nach Flynn-Kriterien</b>				
	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>	<b>**</b>
<b>I</b>	6 (1)	0	0	2	3
<b>II</b>	13 (1)	0	0	7	11
<b>III</b>	18 (1)	1	1	1	16
<b>IV</b>	46	7	4	5	22 (1)
*	5	0	0	1	5
<b>Insgesamt</b>	<b>88 (3)</b>	<b>8</b>	<b>5</b>	<b>16</b>	<b>57 (1)</b>

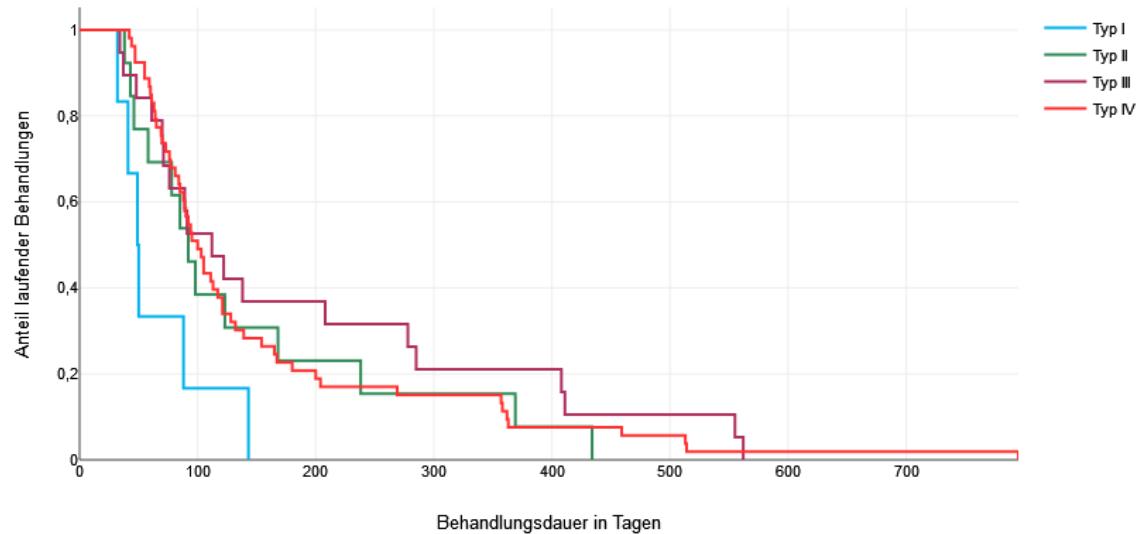
\* Kein initiales Röntgenbild vorliegend oder anhand des vorliegenden Röntgenbildes Dislokation nicht exakt messbar. \*\* Fehlende Dokumentation des exakten Bewegungsumfanges, daher keine Einteilung nach Flynn möglich. (N) = Anzahl der Kombinationsverletzungen.

Tabelle 2 zeigt die supracondylären Humerusfrakturen klassifiziert nach von Laer und deren Ergebnisse der klinischen Untersuchung bei Behandlungsabschluss bzw. zur letzten Vorstellung am UKH kategorisiert nach Flynn. Bei insgesamt 88 Patienten lag eine exzellente, bei acht eine gute, bei fünf eine ausreichende und bei 16 Patienten eine schlechte Ellenbogenfunktion vor. In 57 Fällen konnte die Einteilung nach Flynn

nicht vorgenommen werden. Davon wurden vier Fälle am UKH abgeschlossen. In 25 Fällen sollte eine Beübung des Ellenbogengelenkes durchgeführt werden, die anschließende Wiedervorstellung erfolgte nicht. An externen Kliniken wurden 28 Patienten weiterbehandelt, sodass bei diesen das Behandlungsergebnis nicht bekannt ist. Zwölf der 21 Patienten mit ausreichender oder schlechter Funktion des Ellenbogengelenkes sollten eine physiotherapeutische Beübung des betroffenen Armes durchführen, die anschließende Wiedervorstellung am UKH blieb aus. Drei dieser 21 Fälle wurden an einer externen Klinik weiter behandelt. Sechs Patienten stellten sich nicht erneut zur klinischen Verlaufskontrolle vor.

Ein gutes bis sehr gutes funktionelles Ergebnis (nach Flynn) konnte nach supracondylärer Humerusfraktur am UKH im Durchschnitt nach 154 Tagen (32 bis 562 Tagen, Median 93 Tagen) erreicht werden.

Wie in Kapitel 3 beschrieben, wurden die Kaplan-Meier-Kurven für die supracondyläre Humerusfraktur erstellt (Abb. 3 und 4). Eingeschlossen wurden dazu sechs Typ-I-, 13 Typ-II-, 19 Typ-III- und 53 Typ-IV-Verletzungen.



**Abbildung 3: Supracondyläre Humerusfraktur: Behandlungsdauer und Nachbeobachtung nach der Klassifikation nach von Laer**

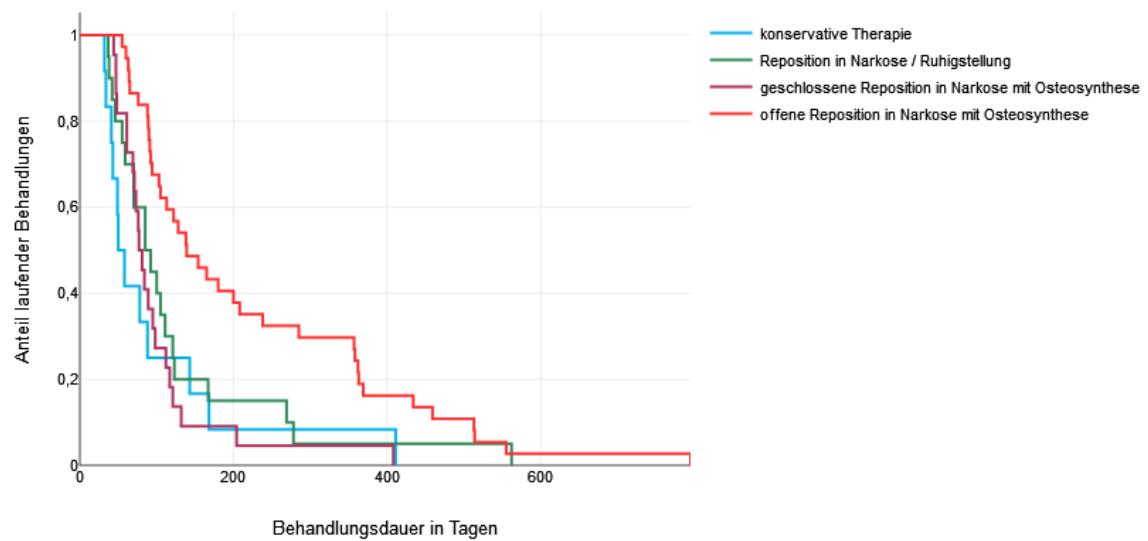
Die Abbildung 3 stellt den Anteil noch laufender Behandlung der supracondylären Humerusfrakturen klassifiziert nach von Laer in Abhängigkeit der Behandlungsdauer in Tagen dar. Die mittlere Behandlungsdauer betrug bei Typ-I- 67 Tage (Median 49,5 Tage), bei Typ-II- 144 Tage (Median 92 Tage), bei Typ-III- 192 Tage (Median 112 Tage) und bei Typ-IV-Frakturen 156 Tage (Median 100 Tage).

**Tabelle 3: Ergebnisse der Signifikanztestung: Behandlungsdauer der supracondylären Humerusfraktur klassifiziert nach von Laer**

Mittels Log-rank gegeneinander getestete Behandlungsdauer der supracondylären Humerusfrakturen klassifiziert nach von Laer	p-Wert
von Laer I vs. II	0,093
von Laer I vs. III	0,025
von Laer I vs. IV	0,009
von Laer II vs. III	0,396
von Laer II vs. IV	0,744
von Laer III vs. IV	0,395

Die Ergebnisse der Signifikanztestung der Behandlungsdauer der supracondylären Humerusfraktur klassifiziert nach von Laer jeweils gegeneinander korreliert zeigt Tabelle 3.

Zwischen der Behandlungsdauer der Frakturen Typ I und II bestand kein signifikanter Unterschied. Zwischen I vs. III bzw. Typ I vs. Typ IV war der Unterschied der Behandlungsdauer statistisch signifikant. Die Signifikanztestung der Behandlungsdauer von Grad II, III und IV untereinander ergab jeweils ein statistisch nicht signifikantes Ergebnis.



**Abbildung 4: Supracondyläre Humerusfraktur: Behandlungsdauer und Nachbeobachtung nach Therapieart**

Abbildung 4 zeigt den Anteil laufender Behandlungen und Nachkontrollen der supracondylären Humerusfrakturen kategorisiert nach Therapieart in Abhängigkeit der Behandlungsdauer in Tagen.

**Tabelle 4: Ergebnisse der Signifikanztestung: Behandlungsdauer der supracondylären Humerusfraktur nach der Therapieart**

Mittels Log-rank gegeneinander getestete Behandlungsdauer der supracondylären Humerusfrakturen kategorisiert nach Therapiearten	p-Wert
Konservative Therapie vs. Reposition in Narkose / Ruhigstellung	0,395
Konservative Therapie vs. geschlossene Reposition in Narkose mit Osteosynthese	0,868
Konservative Therapie vs. offene Reposition in Narkose mit Osteosynthese	0,002
Reposition in Narkose / Ruhigstellung vs. geschlossene Reposition in Narkose mit Osteosynthese	0,439
Reposition in Narkose / Ruhigstellung vs. offene Reposition in Narkose mit Osteosynthese	0,023
Geschlossene Reposition in Narkose mit Osteosynthese vs. offene Reposition in Narkose mit Osteosynthese	<0,001

In Tabelle 4 werden die Ergebnisse der Signifikanztestung der Behandlungsdauer der jeweiligen Therapiearten gegeneinander zusammengefasst. Es zeigte sich ein signifikanter Unterschied in der Behandlungsdauer offener Repositionen mit Osteosynthese (n= 37; Mittelwert 224 Tage; Median 139 Tage) zu den jeweils anderen Therapieformen: zu rein konservativem Vorgehen (n=12; Mittelwert 100 Tage; Median 54 Tage), zu Reposition in Narkose mit anschließender Ruhigstellung (n=20; Mittelwert 126 Tage; Median 88,5 Tage) und zu geschlossener Reposition mit Osteosynthese (n=22; Mittelwert 101 Tage; Median 79 Tage). Bei der Korrelation der Behandlungsdauer der weiteren Therapien jeweils untereinander ergaben sich keine signifikanten Unterschiede.

#### **4.2 Ergebnisse nach Condylus-radialis-Fraktur**

33 Frakturen betrafen den Condylus radialis. Die Patienten waren im Mittel 7,13 Jahre alt, wobei der jüngste Patient sechs Monate alt und der Älteste fast 15 Jahre alt war (männlich:weiblich = 16:17). Zwölf Frakturen waren rechts bzw. 21 links. Nach der Klassifikation von Weiss lagen elf Typ-I-Frakturen, sechs Typ-II-Frakturen und elf Typ-III-Frakturen vor. In fünf Fällen war die Ermittlung des Dislokationsausmaßes und der Gelenkkongruenz aufgrund fehlender initialer Röntgenbilder nicht möglich.

Die Condylus-radialis-Fraktur war fünfmal Folge einer Ellenbogenluxation, die zusätzlich in je einem Fall zu einem Abriss des Epicondylus ulnaris bzw. des Processus coronoideus ulnae geführt hatte; ebenso trat eine Läsion des Nervus ulnaris auf. Dreimal bestand eine Kombinationsverletzung mit einer Olecranonfraktur.

**Tabelle 5: Condylus-radialis-Frakturen: Klassifikation nach Weiss und Therapie**

<b>Therapie</b>	<b>Klassifikation nach Weiss</b>			*
	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	
Konservative Therapie	8	0	0	0
Reposition in Narkose / Ruhigstellung	0	1	1	1
Geschlossene Reposition und Osteosynthese	1	1	1	0
Schraube	1	0	0	0
K-Draht	0	0	1	0
Schraube und K-Draht	0	1	0	0
Offene Reposition und Osteosynthese	2	4	9	4
Schraube	2	3	7	1
K-Draht	0	1	1	3
Schraube und K-Draht	0	0	1	0
<b>Insgesamt</b>	<b>11</b>	<b>6</b>	<b>11</b>	<b>5</b>

\* Kein initiales Röntgenbild vorliegend oder anhand des vorliegenden Röntgenbildes Dislokation nicht exakt messbar.

Acht Typ-I-Frakturen wurden rein konservativ behandelt, eine wurde geschlossenen und zwei offen reponiert mit jeweils anschließender Schraubenosteosynthese. Eine Typ-II-Fraktur wurde in Narkose geschlossen reponiert und im Gips ruhiggestellt. In einem Fall einer Typ-II-Fraktur erfolgte die geschlossene Reposition mit anschließender K-Draht- und Schraubenosteosynthese. Bei den weiteren vier Typ-II-Frakturen war eine offene Reposition notwendig. Anschließend wurde in drei Fällen eine Schrauben- und in einem Fall eine K-Draht-Osteosynthese durchgeführt. Bei Condylus-radialis-Frakturen vom Typ III nach Weiss erfolgte je einmal eine geschlossene Reposition mit anschließender Ruhigstellung im Gips bzw. eine geschlossene Reposition mit K-Draht-Osteosynthese. Neun Typ-III-Frakturen wurden offen reponiert und siebenmal mit einer Schrauben-, zweimal mit einer K-Draht-Osteosynthese und in einmal mit einer Kombination beider Osteosyntheseverfahren behandelt (Tab. 5). Bei zwei Typ-I-Frakturen des Condylus radialis war ein Zweiteingriff aufgrund sekundärer Dislokation notwendig. In beiden Fällen erfolgte initial eine konservative Behandlung und im Verlauf eine offene Reposition mit anschließender Schraubenosteosynthese und Gipsverband. Die Ruhigstellungsdauer nach Osteosynthese-Implantation betrug im Mittel 32 Tage (13 bis 66 Tage). Bei fünf Patienten konnte die Ruhigstellungszeit und der klinische Befund nicht ermittelt werden, da die weitere Behandlung extern erfolgte.

Der Zeitpunkt der Entfernung des Osteosynthesematerials in Narkose lag im Mittel 85 Tage nach der Implantation (33 bis 212 Tage, Median 64 Tage), einmal wurde sie in einem externen Krankenhaus durchgeführt.

**Tabelle 6: Condylus-radialis-Fraktur: Klassifikation nach Weiss und klinisches Outcome nach Flynn**

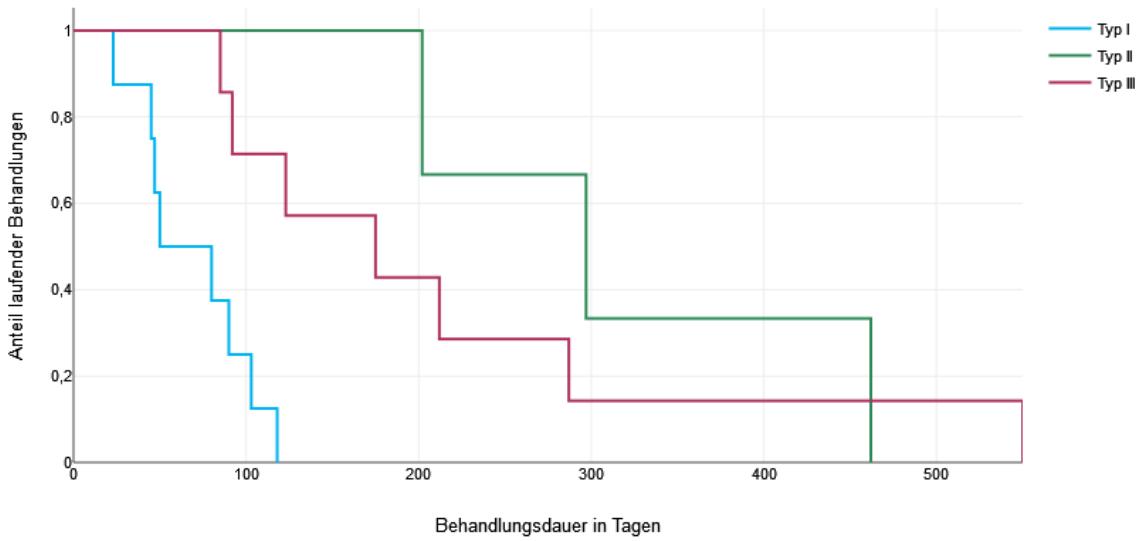
<b>Klassifikation nach Weiss</b>	<b>Klinisches Outcome nach Flynn-Kriterien</b>				
	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>	<b>**</b>
Typ I (Dislokation <2mm)	8 (2)	0	0	1	2
Typ II (Dislokation ≥2mm, Gelenkfläche kongruent)	3	0	0	2 (1)	1
Typ III (Dislokation ≥2mm, keine Gelenkkongruenz)	6 (1)	1	0	2 (1)	2 (1)
*	3 (1)	1 (1)	0	0	1
<b>Insgesamt</b>	<b>20 (4)</b>	<b>2 (1)</b>	<b>0</b>	<b>5 (2)</b>	<b>6 (1)</b>

\* Kein initiales Röntgenbild vorliegend oder anhand des vorliegenden Röntgenbildes Dislokation nicht exakt messbar. \*\* Fehlende Dokumentation des exakten Bewegungsumfanges, daher keine Einteilung nach Flynn möglich. (N) = Anzahl der Kombinationsverletzungen.

Die Zeitspanne zwischen Unfall und dem letzten ambulant erhobenen, klinischen Befund lag im Mittel bei 150 Tagen (zwölf bis 550 Tage, Median 110,5 Tage).

Bei acht Patienten mit Condylus-radialis-Frakturen Typ I nach Weiss wurde ein sehr gutes klinisches Ergebnis am Behandlungsende und einmal 58 Tage nach Unfall zum Zeitpunkt der Ruhigstellungsabnahme ein schlechtes Ergebnis dokumentiert. In zwei Fällen war eine Einteilung nach Flynn nicht möglich, da nur eine deskriptive Dokumentation, nicht aber eine Messung mittels Neutral-Null-Methode erfolgt war (je einmal „gute Ellenbogengelenksfunktion“ bzw. „leichte Streckhemmung“). Bei Typ-II-Frakturen hatten drei ein sehr gutes klinisches Outcome nach Flynn, zwei ein schlechtes (51 Tage nach Unfall bei Ruhigstellungsabnahme sowie 122 Tage nach Unfall ein Streckdefizit von 18°), einmal war eine „Beugehemmung“ dokumentiert. Bei Patienten mit Typ-III-Frakturen des Condylus radialis zeigte sich in der klinischen Untersuchung siebenmal eine sehr gute bis gute Ellenbogengelenksfunktion, in zwei Fällen eine schlechte (129 Tage nach Unfall mit E/F 0°/10°/90° und 53 Tage nach Unfall mit Streckdefizit von 20° bei kombinierter Olecranonfraktur) und zwei Patienten wurden extern weiter behandelt (Tab. 6). Alle Patienten mit einer Condylus-radialis-Fraktur und einer eingeschränkten Ellenbogenbeweglichkeit sollten den betroffenen Arm beüben, die geplante ambulante Wiedervorstellung am UKH zur klinischen Kontrolle war nicht erfolgt.

Eingeschlossen wurden acht Typ-I-, drei Typ-II- und sieben Typ-III-Condylus-radialis-Frakturen, um die Kaplan-Meier-Kurven in Abbildung 5 darzustellen.



**Abbildung 5: Condylus-radialis-Fraktur: Behandlungsdauer und Nachbeobachtung nach der Klassifikation nach Weiss**

Abbildung 5 zeigt den Anteil der Condylus-radialis-Frakturen (klassifiziert nach Weiss) in Abhängigkeit der Behandlungsdauer in Tagen.

Die mittlere Behandlungsdauer betrug bei Typ-I-Frakturen 70 Tage (Median 65 Tage), bei Typ II bei 320 Tage (Median 297 Tage) und bei Typ III 218 Tage (Median 175 Tage).

**Tabelle 7: Signifikanztestung der Behandlungsdauer der Condylus-radialis-Frakturen klassifiziert nach Weiss**

gegeneinander getestete Behandlungsdauern der Condylus-radialis-Frakturen klassifiziert nach Weiss	p-Wert
Typ I vs. II	0,008
Typ I vs. III	0,003
Typ II vs. III	0,491

Somit wies die Behandlungsdauer der Condylus-radialis-Frakturen einen signifikanten Unterschied zwischen den nach Weiss klassifizierten Typ-I-Frakturen zu den höhergradigen Frakturen auf. Zwischen der Behandlungsdauer der Condylus-radialis-Fraktur Grad II und III nach Weiss bestand kein signifikanter Unterschied (Tab. 7).

Abbildung 6 zeigt den Anteil laufender Behandlungen und Nachkontrollen der Condylus-radialis-Frakturen kategorisiert nach Therapieart in Abhängigkeit der Behandlungsdauer in Tagen.

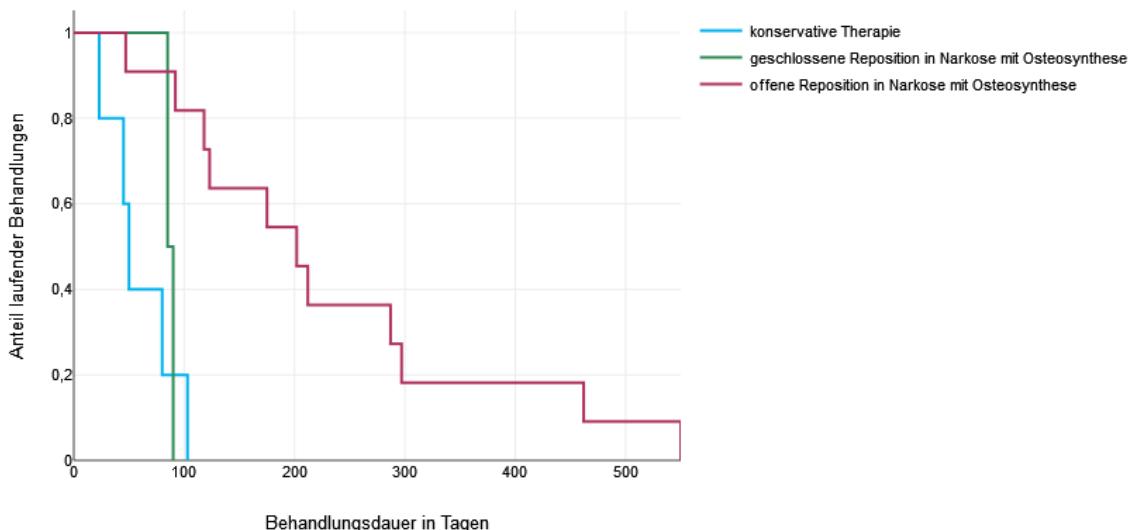


Abbildung 6: Condylus-radialis-Fraktur: Behandlungsdauer und Nachbeobachtung nach Therapieart

Die Ergebnisse der Signifikanztestung der Behandlungsdauer der jeweiligen Therapiearten gegeneinander sind in Tabelle 8 zusammengefasst. Es zeigte sich ein signifikanter Unterschied in der Behandlungsdauer nach offener Reposition mit Osteosynthese ( $n= 11$ ; Mittelwert 233 Tage; Median 202 Tage) zu den jeweils anderen Therapieformen: rein konservatives Vorgehen ( $n=5$ ; Mittelwert 60 Tage; Median 50 Tage) bzw. geschlossene Reposition mit Osteosynthese ( $n=2$ ; Mittelwert 87,5 Tage). Bei der Korrelation der Behandlungsdauer der konservativen Therapie gegenüber geschlossener Reposition mit Osteosynthese ergab sich kein signifikanter Unterschied. Die Therapieart „Reposition in Narkose mit anschließender Ruhigstellung“ konnte aufgrund der Ausschlusskriterien nicht in die Berechnung einfließen.

Tabelle 8: Ergebnisse der Signifikanztestung: Behandlungsdauer der Condylus-radialis-Fraktur nach der Therapieart

Mittels Log-rank gegeneinander getestete Behandlungsdauer der Condylus-radialis-Frakturen kategorisiert nach Therapiearten	p-Wert
Konservative Therapie vs. geschlossene Reposition in Narkose mit Osteosynthese	0,561
Konservative Therapie vs. offene Reposition in Narkose mit Osteosynthese	<0,001
Geschlossene Reposition in Narkose mit Osteosynthese vs. offene Reposition in Narkose mit Osteosynthese	0,007

#### 4.3 Ergebnisse nach Condylus-ulnaris-Fraktur

In zwei Fällen bestand eine Condylus-ulnaris-Fraktur. Diese Verletzung betraf je ein Mädchen (11,5 Jahre) und einen Jungen (9,2 Jahre). Es handelte sich jeweils um eine Typ-II-Fraktur nach Weiss des linken Ellenbogengelenkes, welche offen reponiert, mittels Schraubenosteosynthese fixiert und im Gips ruhiggestellt wurde. Die

Ruhigstellungsdauer betrug 40 bzw. 25 Tage. Die Entfernung der Osteosynthese in Narkose erfolgte nach 145 bzw. 65 Tagen nach der Implantation.

Klinisch zeigte sich bei dem Mädchen nach 246 Tagen eine gute und bei dem Jungen nach 39 Tagen eine sehr gute Ellenbogengelenksfunktion nach Flynn. Aufgrund der geringen Fallzahl wurde keine weitere Berechnung durchgeführt.

#### 4.4 Ergebnisse nach Y-Fraktur

16 Patienten (sieben Mädchen und neun Jungen) erlitten eine Y-Fraktur des Humerus. Das Durchschnittsalter betrug 9,25 Jahre (3,6 bis 16,1 Jahre). Sechsmal war das rechte bzw. zehnmal das linke Ellenbogengelenk betroffen. Bei fünf Patienten wurde eine Fraktur Typ I nach Weiss diagnostiziert, zweimal Typ II sowie neunmal Typ III. Einmal war eine Ellenbogenluxation ursächlich. In je einem Fall lag eine Kombination mit einer Monteggia-Läsion bzw. mit einer Condylus-radialis-Fraktur vor. Weitere Begleitverletzungen traten nur bei Typ-III-Frakturen auf: eine Läsion des Nervus ulnaris, eine Einklemmung der Arteria brachialis, eine Fraktur war zweitgradig offen. Bei einem Polytrauma nach Sturz aus dem vierten Obergeschoß zeigte sich eine Trümmerfraktur des distalen Humerus, welche am ehesten einer tiefen T-Fraktur mit proximalem Fraktausläufer zuzuordnen ist, sowie Frakturen des distalen Unterarmes und des Beckens als auch Kontusionen der Leber und Lunge.

**Tabelle 9: Y-Frakturen: Klassifikation nach Weiss und Therapie**

<b>Therapie</b>	<b>Klassifikation nach Weiss</b>		
	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>
Konservative Therapie	4	0	0
Reposition in Narkose / Ruhigstellung	1	0	0
Geschlossene Reposition und Osteosynthese	0	1	1
Schraube	0	1	0
K-Draht	0	0	1
Offene Reposition und Osteosynthese	0	1	8
K-Draht	0	1	6
Schraube und K-Draht	0	0	1
Plattenosteosynthese	0	0	1
<b>Insgesamt</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>9</b>

Vier Typ-I-Frakturen wurden konservativ behandelt: zwei Patienten mit Gipsverband und zwei Patienten im Blount. Die Dauer der Ruhigstellung betrug im Mittel 28 Tage (20 und 33 Tage). Eine Y-Fraktur nach Weiss Typ I wurde im Rahmen des o. g. Polytraumas geschlossen reponiert und mittels Gips retiniert. Die Ruhigstellungsdauer

konnte nicht erhoben werden. Bei beiden Typ-II-Frakturen erfolgte in Narkose eine Reposition sowie jeweils einmal eine Schrauben- bzw. K-Draht-Osteosynthese. Zusätzlich wurde ein Gips für 15 bzw. 53 Tage angelegt. Eine Typ-III-Fraktur konnte in Narkose geschlossen reponiert und mit einer K-Draht-Osteosynthese behandelt werden. Die übrigen Typ-III-Frakturen wurden offen reponiert. Sechs von ihnen erhielten eine K-Draht-Osteosynthese, ein Patient eine Kombination aus K-Draht- und Schraubenosteosynthese und eine Fraktur eine Versorgung mittels Plattenosteosynthese (Tab. 9). Acht Patienten wurde anschließend ein Gipsverband angelegt, ein Patient erhielt eine Ellenbogengelenksorthese. Die Dauer der Ruhigstellung betrug im Mittel 40 Tage (28 bis 66 Tage, Median 35 Tage). In einem Fall war bei instabiler Erstversorgung ein Zweiteingriff notwendig. Dabei wurde die zunächst offen reponierte und mittels K-Draht-Osteosynthese versorgte Fraktur mit einer Kombination aus Schrauben- und Plattenosteosynthese fixiert und die im Ersteingriff eingebrachten K-Drähte entfernt. Die Metallentfernung erfolgte im Mittel nach 79 Tagen (32 bis 195 Tage, Median 55 Tage) in Narkose.

**Tabelle 10: Y-Frakturen: Klassifikation nach Weiss und klinisches Outcome nach Flynn**

<b>Klassifikation nach Weiss</b>	<b>Klinisches Outcome nach Flynn-Kriterien</b>				
	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>	<b>**</b>
Typ I (Dislokation < 2mm)	1 (1)	1	0	0	3
Typ II (Dislokation ≥ 2mm, Gelenkfläche kongruent)	0	0	0	2 (1)	0
Typ III (Dislokation ≥ 2mm, keine Gelenkkongruenz)	3	2 (1)	1	1	2
<b>Insgesamt</b>	<b>4 (1)</b>	<b>3 (1)</b>	<b>1</b>	<b>3 (1)</b>	<b>5</b>

\*\* Fehlende Dokumentation des exakten Bewegungsumfanges, daher keine Einteilung nach Flynn möglich. (N) = Anzahl der Kombinationsverletzungen.

Die Dauer der Behandlung und Nachbeobachtung betrug im Mittel 262 Tage (37 bis 1576 Tagen, Median 170 Tage). Nur ein Patient (Y-Fraktur Typ III nach Weiss) wurde länger als ein Jahr bei rezidivierenden Schmerzen, Beugehemmung und Fehlstellung behandelt.

Es zeigte sich bei Patienten mit Typ-I-Frakturen in einem Fall eine sehr gute und in einem weiteren eine gute Ellenbogengelenksfunktion nach Flynn bei Behandlungsabschluss. Bei zwei Patienten wurde eine „gute Funktion“ dokumentiert und in einem Fall erfolgte eine externe Weiterbehandlung. In der letzten klinischen Untersuchung der Typ-II-Frakturen nach Weiss bestand in einem Fall 222 Tage nach

dem Unfall ein Streckdefizit von 20° und bei kombinierter Monteggia-Läsion 170 Tage nach dem Unfall ein Beugedefizit von 35°. Eine erneute Vorstellung in der kinderchirurgischen Ambulanz am UKH erfolgte nicht. Bei fünf Patienten mit einer Typ-III-Fraktur wurde eine sehr gute bzw. gute Funktion erhoben. In zwei Fällen bestand eine eingeschränkte Ellenbogenbeweglichkeit in der letzten ambulanten klinischen Untersuchung am UKH (195 Tage nach Unfall mit E/F 0°/10°/130° bzw. 48 Tage nach Unfall zur Ruhigstellungsabnahme). Eine erneute Wiedervorstellung war nicht erfolgt. Es ist von einer externen Weiterbehandlung auszugehen. Zwei weitere Typ-III-Frakturen wurden extern weiterbetreut (Tab. 10).

Da lediglich zwei Y-Frakturen Typ I nach Weiss und fünf Typ-III-Frakturen in die Erstellung der Kaplan-Meier-Kurven eingegangen wären, war aufgrund der geringen Fallzahl und fehlender Typ-II-Frakturen ein Vergleich der Behandlungsdauer nicht sinnvoll.

#### **4.5 Ergebnisse nach Capitulum-humeri-Fraktur**

Viermal trat eine Fraktur des Capitulum humeri auf. Die Geschlechterverteilung und die Seite des betroffenen Ellenbogengelenkes waren jeweils ausgeglichen. Das Durchschnittsalter der Patienten lag bei 9,6 Jahren (6,8 bis 11,5 Jahre).

Aufgrund nicht vorliegender radiologischer Diagnostik konnte das Ausmaß der Dislokation in keinem der Fälle bestimmt werden. Bei zwei Patienten wurde neben der Röntgendiagnostik eine CT durchgeführt. Zweimal bestand zeitgleich eine Ellenbogenluxation und davon in einem Fall eine zusätzliche Fraktur des Processus coronoideus. Einmal waren die Begleitverletzungen eine Epicondylus-radialis-Fraktur und eine Olecranonfraktur.

Die Therapie erfolgte jeweils konservativ in einem Gips. Zweimal konnte die Ruhigstellungsdauer ermittelt werden, diese betrug 21 bzw. 36 Tage. In einem Fall war nach 47 Tagen eine sehr gute Ellenbogengelenksfunktion nach Flynn dokumentiert. Die weiteren drei Patienten mit einer Capitulum-humeri-Fraktur wurden extern weiter behandelt, das klinische Outcome ist nicht bekannt.

Aufgrund der geringen Fallzahl und der überwiegend externen Weiterbehandlung wurde keine weitere Berechnung durchgeführt.

#### 4.6 Ergebnisse nach Epicondylus-ulnaris-Apophyseolysen

Eine Apophyseolysen des Epicondylus ulnaris lag bei 50 Patienten vor, das Geschlechterverhältnis zeigte sich ausgeglichen. Der Altersdurchschnitt zum Unfallzeitpunkt lag bei 11,2 Jahren (6,3 bis 17,3 Jahren, Median 11,35 Jahre). 29mal war der rechte und 21mal der linke Epicondylus ulnaris betroffen.

Drei Verletzungen wurden als undisloziert gewertet, bei 23 Patienten zeigte sich eine Dislokation < 1cm und bei zehn Patienten eine Dislokation ≥ 1cm. Das Dislokationsausmaß konnte 14mal nicht eindeutig bestimmt werden. Ursächlich für die Epicondylus-ulnaris-Fraktur war in 20 Fällen eine Ellenbogenluxation, bei diesen trat zusätzlich dreimal eine proximale Radiusfraktur und je einmal eine Fraktur des Condylus radialis und des Epicondylus radialis auf. Weitere Begleitfrakturen waren zwei supracondyläre Humerusfrakturen, zwei proximale Radiusfrakturen und eine Olecranonfraktur.

Bei zwei Patienten zeigte sich eine Verletzung des Nervus ulnaris. Einmal bestand eine drittgradig offene Fraktur (Ellenbogenluxation mit Fraktur beider Epicondylen).

**Tabelle 11: Epicondylus-ulnaris-Frakturen: Ausmaß der Dislokation und Therapie**

<b>Therapie</b>	<b>Ausmaß der Dislokation</b>			*
	<b>Keine</b>	<b>&lt; 1cm</b>	<b>≥ 1cm</b>	
Konservative Therapie	3	0	0	1
Reposition in Narkose / Ruhigstellung	0	1	1	0
Geschlossene Reposition und Osteosynthese	0	3	0	1
Schraube	0	0	0	1
K-Draht	0	3	0	0
Offene Reposition und Osteosynthese	0	19	9	12
Schraube	0	15	4	2
K-Draht	0	4	4	9
Schraube und K-Draht	0	0	0	1
K-Draht und Drahtcerclage	0	0	1	0
<b>Insgesamt</b>	<b>3</b>	<b>23</b>	<b>10</b>	<b>14</b>

\* Kein initiales Röntgenbild vorliegend oder anhand des vorliegenden Röntgenbildes Dislokation nicht exakt messbar.

Eine konservative Therapie erfolgte bei allen drei undislozierten Epicondylus-ulnaris-Frakturen. Gering (< 1cm) dislozierte Apophyseolysen wurden einmal geschlossen reponiert und ruhiggestellt, dreimal erfolgte eine geschlossene Reposition mit anschließender K-Draht-Osteosynthese und 19mal eine offene Reposition mit Osteosynthese (15 Schrauben- und vier K-Draht-Osteosynthesen). ≥ 1cm dislozierte Epicondylus-ulnaris-Abrisse wurden wie folgt versorgt: in einem Fall in Narkose reponiert und ruhiggestellt, in neun Fällen mittels offener Reposition und

Osteosynthese, davon viermal mittels Schraube, viermal mittels K-Draht und einmal mittels K-Draht sowie Drahtcerclage (Tab. 10).

Ein Zweiteingriff war bei sechs Patienten notwendig: eine Epicondylus-ulnaris-Fraktur bei Ellenbogenluxation wurde bei der initialen Reposition in Narkose übersehen und somit zeitversetzt operiert, bei einer Fraktur zeigte sich eine unvollständige Reposition nach dem Ersteingriff und es erfolgte eine offene Reposition sowie Osteosynthese als auch eine Neurolyse des Nervus ulnaris, einmal war eine Wundinfektion ausschlaggebend, zweimal war eine sekundäre Dislokation der Epicondylus-ulnaris-Apophyseolyse (jeweils trotz initialer Schraubenosteosynthese) und einmal der begleitenden supracondylären Humerusfraktur (nach initialer Reposition ohne Osteosynthese) ursächlich. Die Metallentfernung wurde im Mittel 74 Tage (22 bis 203 Tage, Median 70 Tage) nach Implantation jeweils in Narkose durchgeführt.

Die Ruhigstellung erfolgte in zwei Fällen mittels Ellenbogengelenksorthese, alle weiteren Epicondylus-ulnaris-Abrisse wurden im Gipsverband behandelt. Die Dauer der Ruhigstellung betrug im Mittel 34,5 Tage (fünf bis 93 Tage, Median 29 Tage). Bei acht Patienten konnte die Ruhigstellungsdauer aufgrund externer Weiterbehandlung nicht bestimmt werden.

**Tabelle 12: Epicondylus-ulnaris-Fraktur: Ausmaß der Dislokation und klinisches Outcome nach Flynn**

Dislokation	Klinisches Outcome nach Flynn-Kriterien				
	I	II	III	IV	**
Keine	2 (1)	0	0	1	0
< 1cm	12 (7)	0	2 (1)	1 (1)	8 (2)
≥ 1cm	6 (4)	0	0	0	4 (3)
*	9 (4)	1	0	0	4 (2)
<b>Insgesamt</b>	<b>29 (16)</b>	<b>1</b>	<b>2 (1)</b>	<b>2 (1)</b>	<b>16 (7)</b>

\* Kein initiales Röntgenbild vorliegend oder anhand des vorliegenden Röntgenbildes Dislokation nicht exakt messbar. \*\* Fehlende Dokumentation des exakten Bewegungsumfanges, daher keine Einteilung nach Flynn möglich. (N) = Anzahl der Kombinationsverletzungen.

Patienten mit undislozierter Epicondylus-ulnaris-Fraktur zeigten in zwei Fällen eine sehr gute und bei Abnahme der Ruhigstellung in einem extern weiterbehandelten Fall eine schlechte Ellenbogengelenksfunktion. Zwölf der gering dislozierten Epicondylus-ulnaris-Abrissen wurde eine sehr gute, zweien eine ausreichende (273 Tage nach Unfall 15° Streckdefizit bzw. 77 Tage nach Unfall E/F 0°/10°/130°) und einer eine schlechte Ellenbogenbeweglichkeit (E/F 0°/25°/115° 136 Tage nach Unfall trotz intensiver Physiotherapie) nach Flynn zugeordnet. Diese drei Patienten mit Bewegungseinschränkungen stellten sich nicht erneut am UKH vor bzw. wurden extern weiterbehandelt. In sechs Fällen mit ≥ 1 cm disloziert Epicondylus-ulnaris-Fraktur

bestand eine sehr gute Funktion. Eine Zuordnung der funktionellen Flynn-Kategorie war bei allen weiteren Fällen aufgrund der nur beschriebenen und nicht anhand der Neutral-Null-Methode erfassten Funktion nicht möglich (Tab. 12). Der klinische Befund wurde ambulant im Mittel 147 Tage (31 bis 544 Tage, Median 111 Tage) nach dem Unfall erhoben.

Die Behandlungsdauer kategorisiert nach der initialen Dislokation von 20 Epicondylus-ulnaris-Frakturen ist in Abbildung 7 dargestellt. Die mittlere Behandlungsdauer betrug bei den zwei undislozierten Epicondylus-ulnaris-Frakturen 54,5 Tagen, bei zwölf gering dislozierten bei 158 Tagen (Median 125 Tage) und bei den sechs stärker dislozierten bei 211 Tagen (Median 114 Tage). Klassifiziert nach von Laer ergibt sich für Typ I (Dislokation <1 cm inkl. undisloziert) die mittlere Behandlungsdauer 144 Tage (Median 112,5 Tage).

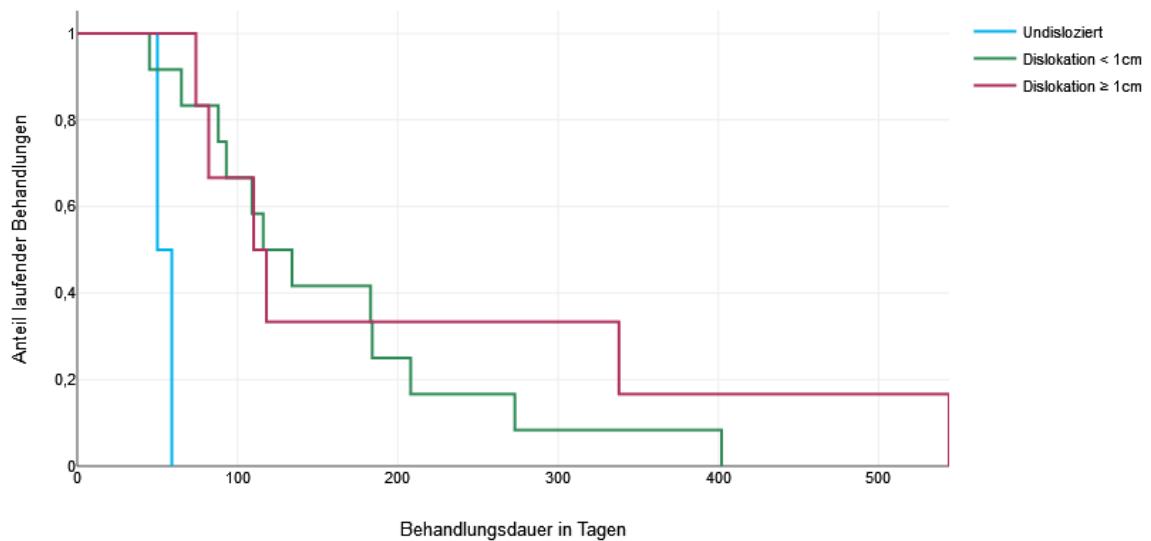


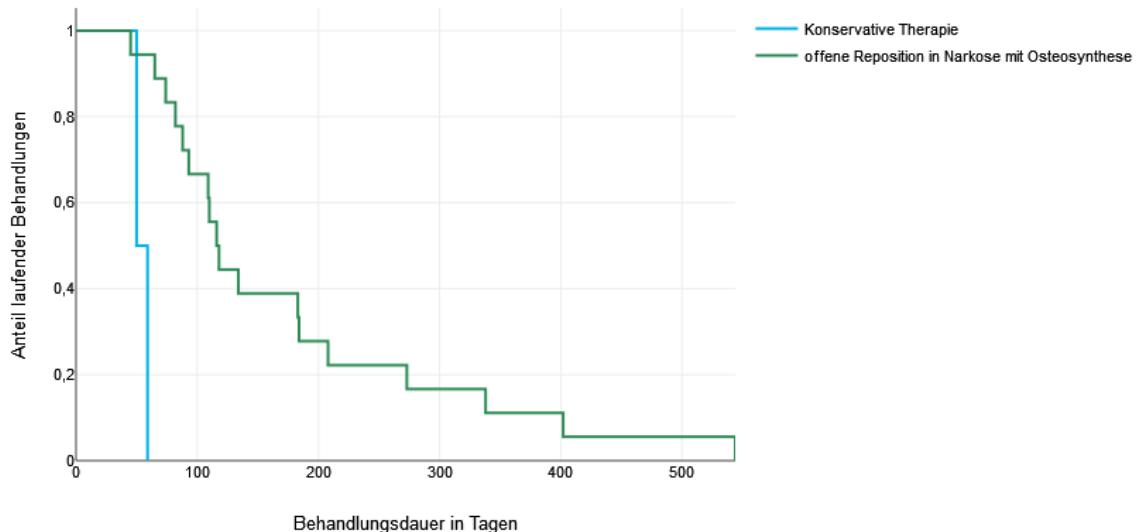
Abbildung 7: Epicondylus-ulnaris-Fraktur: Behandlungsdauer und Nachbeobachtung nach dem Dislokationsausmaß

Tabelle 13: Signifikanztestung der Behandlungsdauer der Epicondylus-ulnaris-Frakturen und Dislokationsausmaß

Mittels Log-rank gegeneinander getestete Behandlungsdauer der Epicondylus-ulnaris-Frakturen je nach Dislokationsausmaß	p-Wert
Undisloziert vs. Dislokation < 1cm	0,005
Undisloziert vs. Dislokation ≥ 1cm	0,004
Dislokation < 1cm (ohne undisloziert) vs. Dislokation ≥ 1cm	0,519
Undisloziert und Dislokation < 1 cm vs. Dislokation ≥ 1cm	0,362

Es bestanden signifikante Unterschiede der Behandlungsdauer von nicht-dislozierten Frakturen zu dislozierten Frakturen. Die Korrelation der Behandlungsdauer der Epicondylus-ulnaris-Frakturen mit einer Dislokation < 1cm versus denen ≥ 1cm ergab keinen signifikanten Unterschied.

Fasst man die Gruppen entsprechend der Einteilung nach von Laer zusammen (Typ I Dislokation  $< 1\text{cm}$  inklusive undislozierter Frakturen, Typ II Dislokation  $\geq 1\text{cm}$ ) bestand kein signifikanter Unterschied bezogen auf die Behandlungsdauer (Tab. 13).



**Abbildung 8: Epicondylus-ulnaris-Fraktur: Behandlungsdauer und Nachbeobachtung nach Therapieart**

In Abbildung 8 ist der Anteil laufender Behandlungen und Nachkontrollen der Epicondylus-ulnaris-Frakturen kategorisiert nach Therapieart in Abhängigkeit der Behandlungsdauer in Tagen dargestellt. Es konnte lediglich die Behandlungsdauer der Therapiearten „konservative Therapie“ ( $n=2$ , Mittelwert 54,5 Tage) und „offene Reposition in Narkose mit Osteosynthese“ ( $n=18$ ; Mittelwert 176 Tage; Median 117 Tage) miteinander verglichen werden. Dabei ergab sich ein signifikanter Unterschied ( $p$ -Wert  $<0,001$ ).

#### 4.7 Ergebnisse nach Epicondylus-radialis-Apophyseolyse

Acht Patienten (ein Mädchen und sieben Jungen) erlitten eine Epicondylus-radialis-Apophyseolyse. Die Patienten waren zum Unfallzeitpunkt im Mittel 11,2 Jahre (6,8 bis 14,8 Jahre) alt. Sechsmal war der linke und zweimal der rechte Epicondylus radialis betroffen. In drei Fällen bestand eine Dislokation  $< 1\text{cm}$  und in einem Fall eine Dislokation  $\geq 1\text{cm}$ . Das Dislokationsausmaß der weiteren Epicondylus-radialis-Frakturen konnte nicht bestimmt werden.

Einmal trat die Verletzung isoliert auf. Bei vier Patienten war eine Ellenbogenluxation ursächlich, zweimal führte dies zusätzlich zu einer Fraktur des Processus coronoideus und einmal zu einer Epicondylus-ulnaris-Fraktur. Dreimal lag zusätzlich eine

Olecranonfraktur vor, einmal weiterhin kombiniert mit einer Fraktur des Processus coronoideus bzw. einer Capitulum-humeri-Fraktur.

Die Behandlung bestand in einem Fall aus geschlossener Reposition mit anschließender Ruhigstellung. Die weiteren sieben Frakturen wurden mittels offener Reposition sowie Osteosynthese versorgt (vier Schrauben- und drei K-Draht-Osteosynthesen). Die Entfernung der Osteosynthese erfolgte im Mittel 82 Tage (25 bis 137 Tage, Median 91 Tage) nach der Implantation in Narkose. Im Fall der Ellenbogenluxation mit grob dislozierter Epicondylus-radialis-Fraktur und Fraktur des Processus coronoideus erfolgte bei Beuge- und Streckdefizit des Ellenbogengelenkes ein Zweiteingriff (159 Tage nach dem Unfall). Dieser bestand aus offener Reposition sowie Korrekturosteotomie der proximalen Ulna und Anlage eines Fixateur externe.

Alle operierten Epicondylus-radialis-Frakturen wurden im Gips ruhiggestellt; eine konservativ therapierte Fraktur erhielt einen Gilchristverband. Die Dauer der Ruhigstellung betrug im Durchschnitt 29 Tage (14 bis 45 Tage).

Der klinische Untersuchungsbefund wurde im Mittel 133 Tage (73 bis 216 Tage, Median 120 Tage) nach dem Unfall erhoben. Bei der letzten dokumentierten Untersuchung hatten fünf Patienten eine sehr gute (nach durchschnittlich 134 Tagen) bzw. ein Patient eine schlechte Ellenbogengelenksfunktion (145 Tage nach Unfall E/F 0°/20°/90°, anschließend Korrekturosteotomie der Ulna). Einmal war lediglich „Bewegungseinschränkung“ nach 120 Tagen vermerkt. Der o. g. Patient mit der schlechten Ellenbogengelenksfunktion und ein weiterer Patient wurden extern weiter behandelt, die Abschlussbefunde liegen nicht vor. Auf Kaplan-Meier-Kurven und Log-Rank-Test wurde verzichtet.

#### **4.8 Ergebnisse nach Ellenbogenluxation**

54 Ellenbogenluxationen wurden stationär behandelt. 32 Patienten waren männlich und 22 weiblich. Im Mittel lag das Alter zum Unfallzeitpunkt bei 11,3 Jahren (5,8 bis 17,3 Jahre). In 29 Fällen war das rechte und in 25 Fällen das linke Ellenbogengelenk luxiert. 20 Ellenbogenluxationen traten isoliert auf, bei 25 lagen eine bzw. bei neun mehrere ossäre Begleitverletzungen vor: es handelte sich um 20 Epicondylus-ulnaris-Frakturen, sechs Processus-coronoideus-Abrisse, fünf Condylus-radialis-Frakturen, vier Epicondylus-radialis-Frakturen, vier proximale Radiusfrakturen, zwei Capitulum-humeri-Verletzungen, zwei Olecranon-Frakturen und eine transcondyläre Humerusfraktur. Tabelle 14 fasst die Begleitfrakturen zusammen.

**Tabelle 14: Begleitfrakturen der Ellenbogenluxation (n = 54) und deren Häufigkeit**

Begleitfraktur	Fallzahl	Häufigkeit
Epicondylus-ulnaris-Fraktur	20	37%
Processus-coronoideus-Fraktur	6	11%
Condylus-radialis-Fraktur	5	9%
Epicondylus-radialis-Fraktur	4	7%
Radiuskopf-/hals-Fraktur	4	7%
Capitulum-humeri-Fraktur	2	4%
Olecranonfraktur	2	4%
Transcondyläre Humerusfraktur	1	2%

In drei Fällen bestand eine Nervenverletzung (zweimal Nervus ulnaris und einmal Nervus radialis bei begleitender distaler Humerusschaftfraktur).

Lediglich zwei Ellenbogenluxationen hatten sich spontan reponiert. Zehn Ellenbogenluxationen mussten in Analgesie bzw. Sedierung reponiert werden, 40 in Narkose. Die Therapie der isolierten Ellenbogenluxation bestand bei 19 Patienten aus geschlossener bzw. einem Patienten aus offener Reposition sowie jeweils anschließender Ruhigstellung. Ellenbogenluxationen mit knöcherner Begleitverletzung wurden zweimal konservativ (bei Zustand nach spontaner Reposition), 31mal mithilfe geschlossener und einmal mittels offener Reposition behandelt. In einem Fall erfolgte ein Revisionseingriff nach externer Vorbehandlung neun Monate nach dem Unfall (Arthrolyse mit Resektion eines knöchernen Exophyten) aufgrund eines bestehenden Bewegungsdefizites.

Ein Zweiteingriff war bei vier Patienten aufgrund der Begleitverletzungen notwendig: in einem Fall wurde die Epicondylus-ulnaris-Fraktur verzögert diagnostiziert und behandelt, einmal dislozierte die begleitende Epicondylus-ulnaris-Fraktur sekundär; eine begleitende Epicondylus-ulnaris-Fraktur war nicht zufriedenstellend reponiert, so dass bei Irritation des Nervus ulnaris offen revidiert wurde, im vierten Fall erfolgte nach fünf Monaten eine offene Reposition mit Korrekturosteotomie der Ulna und Anlage eines Fixateur externe.

Die Entfernung des eingebrachten Osteosynthesematerials wurde im Mittel nach 89 Tagen (30 bis 212 Tagen, Median 76 Tage) durchgeführt.

Die Ruhigstellung erfolgte 43mal mithilfe eines Gipsverbandes, achtmal mittels Gilchrist, je einmal im Blount-Verband bzw. einer Ellenbogengelenksorthese. Nach der o. g. Arthrolyse wurde zeitnah auf einer Motorschiene beübt. Die Ruhigstellung der Ellenbogenluxationen ohne knöcherne Begleitverletzung erfolgte im Mittel für 21 Tage (13 bis 31 Tage), mit zusätzlicher Fraktur im Mittel 30 Tage (elf bis 54 Tage).

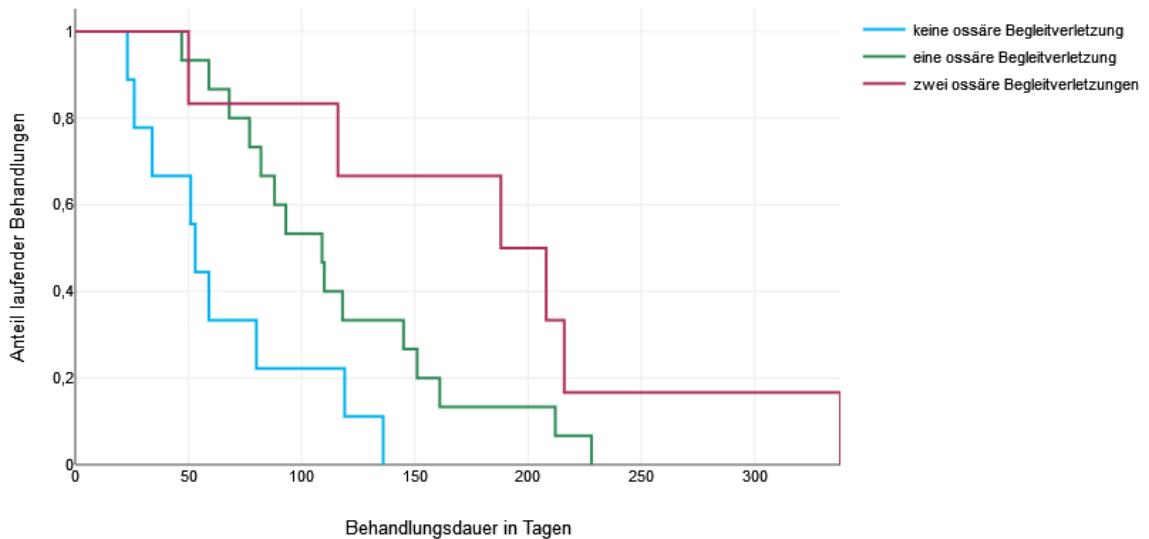
**Tabelle 15: Ellenbogenluxation ohne und mit Begleitfraktur: klinisches Outcome nach Flynn**

<b>Ellenbogenluxation</b>	<b>Klinisches Outcome nach Flynn-Kriterien</b>				
	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>	<b>**</b>
Ohne Begleitfraktur	9	0	0	1	10
Mit ossärer Verletzung	19	2	1	5	7
mit einer Begleitfraktur	13	2	1	4	5
mit zwei Begleitfrakturen	6	0	0	1	2
<b>Insgesamt</b>	<b>28</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>6</b>	<b>17</b>

\*\* Fehlende Dokumentation des exakten Bewegungsumfanges, daher keine Einteilung nach Flynn möglich.

Bei neun isolierten Ellenbogenluxationen zeigte sich eine sehr gute (nach durchschnittlich 65 Tagen) und in einem Fall eine schlechte Ellenbogengelenksfunktion (28 Tage nach Unfall zur Abnahme der Ruhigstellung) nach Flynn. In fünf Fällen war nur eine deskriptive Einschätzung erfolgt (zweimal „geringes Bewegungsdefizit“, dreimal „Streckhemmung“). Weitere fünf isolierte Ellenbogenluxationen wurden extern weiterbetreut. Bei Patienten mit einer Ellenbogenluxation und zeitgleicher ossärer Verletzung bestand bei 21 Fällen eine gute bis sehr gute (nach durchschnittlich 136 Tagen), einmal eine ausreichende (15° Streckdefizit 273 Tage nach Unfall) und bei fünf Patienten eine schlechte Ellenbogengelenksfunktion nach Flynn (durchschnittlich nach 149 Tagen in Behandlung). In vier Fällen war eine beschreibende Dokumentation der Beweglichkeit erfolgt (einmal „geringes Defizit“, dreimal „Bewegungseinschränkung“). Aufgrund externer Weiterbehandlung konnte in acht Fällen keine klinische Funktionsprüfung am UKH erfasst werden. Von den sechs Patienten mit unzureichender Ellenbogengelenksfunktion stellten sich vier nicht erneut am UKH vor und zwei wurden extern weiterbehandelt (Tab. 15). Somit konnten neun isolierte Ellenbogenluxationen sowie 15 Luxationen mit einer bzw. sechs mit zwei Begleitfrakturen anhand von Kaplan-Meier-Kurven analysiert werden (Abb. 9).

Die Behandlungsdauer der isolierten Ellenbogenluxationen betrug im Mittel 65 Tage (23 bis 136 Tage, Median 53 Tage), mit einer ossären Begleitverletzung im Mittel 117 Tage (47 bis 228 Tage, Median 109 Tage) und mit zwei Begleitfrakturen 186 Tage (50 bis 338 Tage, Median 198 Tage).



**Abbildung 9: Ellenbogenluxation: Behandlungsdauer und Nachbeobachtung bei isolierter Luxation und in Kombination mit ossären Begleitverletzungen**

**Tabelle 16: Signifikanztestung der Behandlungsdauer der Ellenbogenluxation und der Anzahl ossärer Begleitverletzungen**

Mittels Log-rank gegeneinander getestete Behandlungsdauer der Ellenbogenluxation in Abhängigkeit der Anzahl ossärer Begleitverletzungen	p-Wert
Keine Begleitfraktur vs. eine Begleitfraktur	0,016
Keine Begleitfraktur vs. zwei Begleitfrakturen	0,010
Eine Begleitfraktur vs. zwei Begleitfrakturen	0,099
Keine Begleitfraktur vs. ossäre Begleitverletzung/en	0,003

Es zeigte sich ein signifikanter Unterschied in der Behandlungsdauer der Ellenbogenluxationen mit zusätzlicher ossärer Verletzung, wobei die Differenzierung eine vs. zwei Begleitverletzungen statistisch nicht signifikant war (Tab. 16).

#### 4.9 Ergebnisse nach Frakturen der proximalen Ulna

Eine Fraktur der proximalen Ulna lag bei 38 Patienten vor: 28 Olecranonfrakturen, acht Frakturen des Processus coronoideus und zwei Kombinationen beider Frakturformen. 26 Jungen und zwölf Mädchen waren von einer proximalen Ulnafraktur betroffen. Das Alter zum Unfallzeitpunkt lag im Mittel bei 9,4 Jahren (2,2 bis 16,1 Jahre). Das Seitenverhältnis war ausgeglichen.

#### 4.9.1 Ergebnisse nach Olecranonfraktur

Die Olecranonfraktur wurde neunmal als undisloziert, elfmal als gering ( $\leq 2\text{mm}$ ) und in sieben Fällen als stark disloziert ( $> 2\text{mm}$ ) eingestuft. Alle Olecranonfrakturen zeigten einen intraartikulären Verlauf. Bei drei Patienten war die Dokumentation unvollständig. Bei 18 Patienten bestand zeitgleich eine weitere knöcherne Verletzung: acht Frakturen des proximalen Radius (zweimal im Rahmen einer Monteggia-Läsion sowie in einem dieser zwei Fälle zusätzlich eine transcondyläre Humerusfraktur), drei Condylus-radialis-Frakturen, eine Epicondylus-ulnaris-Fraktur, drei Frakturen des Epicondylus radialis (zusätzlich jeweils einmal eine Verletzung des Capitulum humeri bzw. Fraktur des Processus coronoideus) und zwei Ellenbogenluxationen (in einem Fall mit einer Processus-coronoideus-Fraktur). In einem weiteren Fall trat die Olecranonfraktur im Rahmen einer Monteggia-Läsion auf.

Die Therapie und das funktionelle klinische Outcome der Olecranonfrakturen werden in den Tabellen 17 und 18 zusammengefasst.

**Tabelle 17: Olecranonfrakturen: Ausmaß der Dislokation und Therapie**

<b>Therapie</b>	<b>Dislokation</b>			*
	<b>Keine</b>	<b><math>\leq 2\text{mm}</math></b>	<b><math>&gt; 2\text{mm}</math></b>	
Konservative Therapie	9	2	0	0
Reposition in Narkose / Ruhigstellung	0	2	1	0
Geschlossene Reposition und Osteosynthese	0	1	1	0
Schraube	0	1	1	0
Offene Reposition und Osteosynthese	0	6	4	3
Schraube	0	2	2	0
K-Draht	0	2	1	1
Schraube und K-Draht	0	0	1	0
Zuggurtungsosteosynthese	0	3	0	2
Arthrollyse	0	0	1	0
<b>Insgesamt</b>	<b>9</b>	<b>11</b>	<b>7</b>	<b>3</b>

\* Kein initiales Röntgenbild vorliegend oder anhand des vorliegenden Röntgenbildes nicht exakt messbar.

Eine konservative Therapie erfolgte bei allen neun undislozierten Olecranonfrakturen.  $\leq 2\text{mm}$  dislozierte Olecranonfrakturen erhielten in einem Fall konservative Versorgung, zweimal eine geschlossene Reposition und Ruhigstellung, einmal eine geschlossene Reposition mit anschließender Schraubenosteosynthese und siebenmal eine offene Reposition sowie Osteosynthese (zwei Schrauben-, zwei K-Draht- bzw. drei Zuggurtungsosteosynthesen).  $> 2\text{mm}$  dislozierte Olecranonfrakturen wurden wie folgt therapiert: einmal mittels geschlossener Reposition und anschließender Ruhigstellung, einmal mithilfe geschlossener Reposition und Schraubenosteosynthese, viermal durch

offene Reposition und Osteosynthese (zwei Schrauben-, eine K-Draht, eine kombinierte Schrauben- sowie K-Draht-Osteosynthese). In einem Fall erfolgte nach externer Vorbehandlung eine Arthrose. Die Olecranonfrakturen mit unklarem Dislokationsausmaß wurden jeweils offen reponiert und mit einer Osteosynthese (eine K-Draht- und zwei Zuggurtungsosteosynthesen) versorgt. Die Entfernung des Osteosynthesematerials erfolgte im Mittel nach 73 Tagen (30 bis 189 Tage, Median 57 Tage).

28 Olecranonfrakturen wurden im Gips- bzw. einmal im Gilchristverband ruhiggestellt. In einem Fall konnte die Art der Ruhigstellung nicht ermittelt werden. Die Ruhigstellungsdauer lag im Mittel bei 38 Tagen (sieben bis 90 Tage, Median 37 Tage).

**Tabelle 18: Olecranonfraktur: Ausmaß der Dislokation und klinisches Outcome nach Flynn**

Dislokation	Klinisches Outcome nach Flynn-Kriterien				
	I	II	III	IV	**
Keine	4	1	0	3 (3)	1 (1)
≤ 2mm	6 (5)	0	0	2 (1)	3 (1)
> 2mm	4 (1)	0	0	2 (1)	1
*	1	0	0	1 (1)	1 (1)
<b>Insgesamt</b>	<b>15 (6)</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>8 (6)</b>	<b>6 (3)</b>

\* Kein initiales Röntgenbild vorliegend oder anhand des vorliegenden Röntgenbildes Dislokation nicht exakt messbar. \*\* Fehlende Dokumentation des exakten Bewegungsumfanges, daher keine Einteilung nach Flynn möglich. (N) = Anzahl der Kombinationsverletzungen.

Die Erhebung der Ellenbogenbeweglichkeit nach Olecranonfraktur erfolgte im Mittel 128 Tage (22 bis 724 Tage, Median 73 Tage) nach dem Unfall. Eine Patientin mit der Behandlungsdauer von 724 Tagen wurde aufgrund einer anhaltenden Streckhemmung länger betreut.

Bei Patienten mit einer undislozierten Olecranonfraktur bestand in fünf Fällen eine gute bis sehr gute (durchschnittlich nach 60 Tagen, 22 bis 88 Tage) und dreimal eine schlechte Ellenbogenfunktion (nach 43 Tagen bei Abnahme der Ruhigstellung, nach 53 Tagen 20° Streckdefizit bei begleitender Condylus-radialis-Verletzung, 28 Tage nach zeitgleicher Ellenbogenluxation E/F 0°/25°/100°). Die Behandlung der ≤ 2 mm dislozierten Olecranonfrakturen konnte sechsmal mit einer sehr guten Ellenbogengelenksfunktion im Mittel nach 124 Tagen (45 bis 248 Tage, Median 109 Tage) abgeschlossen werden. Zweimal zeigte sich eine schlechte Ellenbogenbeweglichkeit in der letzten ambulanten Kontrolle (222 Tage nach Unfall mit Y-Fraktur E/F 5°/0°/115° und 45 Tage nach offener Fraktur). In drei Fällen wurde nur eine deskriptive Einschätzung („geringes Defizit“) dokumentiert. Bei den > 2 mm dislozierten Olecranonfrakturen ergab sich bei vier Patienten eine sehr gute (durchschnittlich nach 105 Tagen, Median 92,5 Tage) und bei zwei Patienten eine

schlechte Ellenbogenbeweglichkeit nach Flynn (nach 90 Tagen 20° Streckdefizit, nach 365 Tagen nach Ellenbogenluxation E/F 0°/45°/95°). Bei einem Patienten war nur eine beschreibende Beurteilung („nahezu freie Beweglichkeit“) vermerkt.

Die Patienten mit einer noch eingeschränkten Funktion stellten sich nicht erneut ambulant am UKH vor, ein Abschlussbefund liegt somit nicht vor.

#### 4.9.2 Ergebnisse nach Processus-coronoideus-Fraktur

Eine Processus-coronoideus-Fraktur war undisloziert, sechs gering und zwei komplett disloziert. In einem Fall konnte das Dislokationsausmaß nicht ermittelt werden.

Acht Frakturen des Processus coronoideus traten ursächlich bzw. in Kombination mit Begleitverletzungen auf: fünfmal im Rahmen einer Ellenbogenluxation (kombiniert mit zwei Epicondylus-radialis-, einer Condylus-radialis- und einer Capitulum-humeri-Fraktur), einer supracondylären Humerusfraktur und zwei Frakturen des Olecranon (siehe auch Abschnitt 4.9.1).

Fünf der sieben Patienten mit keiner bzw. geringer Dislokation der Processus-coronoideus-Fraktur erhielten eine konservative Therapie, eine wurde geschlossen reponiert und anschließend ruhiggestellt. In einem weiteren Fall erfolgten nach initialer externer Behandlung eine offene Gelenkrevision sowie die Entfernung eines Knochenflakes. Je ein Patient mit kompletter Dislokation wurde mittels offener Reposition sowie K-Draht-Osteosynthese bzw. Arthroseversorgung. Eine konservative Versorgung erfolgte bei dem Processus-coronoideus-Abriss unklarer Dislokation (initial Gips, im Rahmen des Zweiteingriffes wie im Abschnitt 4.7 beschrieben mit Fixateur externe). Die Entfernung der o. g. K-Draht-Osteosynthese wurde nach 91 Tagen durchgeführt. Die Ruhigstellung jeweils im Gips betrug im Mittel 26 Tage (20 bis 35 Tage).

Der klinische Befund der Processus-coronoideus-Frakturen wurde im Mittel 121 Tage (34 bis 386 Tage, Median 70 Tage) erfasst. Es zeigte sich in fünf Fällen eine sehr gute Ellenbogenfunktion nach Flynn nach durchschnittlich 96 Tagen (50 bis 188 Tage, Median 70 Tage). Bei einem Patienten war lediglich der Vermerk „Bewegungseinschränkung“ nach 34 Tagen dokumentiert. Bei drei Patienten bestand zum Zeitpunkt der letzten ambulanten Vorstellung eine schlechte Ellenbogenbeweglichkeit (in einem Fall nach 145 Tagen weitere externe Behandlung, nach 46 Tagen E/F 5°/0°/110° bzw. nach 386 Tagen E/F 0°/45°/95° nach empfohlener weiterer Beübung keine erneute ambulante Wiedervorstellung). Ein Patient wurde nur extern weiterbehandelt.

#### 4.10 Ergebnisse nach Fraktur des proximalen Radius

39 Frakturen betrafen den proximalen Radius, davon bei 16 Jungen und 23 Mädchen. Im Mittel waren die Patienten 10 Jahre alt (3,2 und 17,3 Jahre, Median 10 Jahre). 14 Frakturen waren rechts bzw. 25 links.

Es bestanden zwei Aitken-II-Frakturen des Radiuskopfes sowie 37 Radiushals- bzw. Fugenschaftfrakturen. Klassifiziert nach Judet lagen 14 Typ-I-, drei Typ-II-, 16 Typ-III- und vier Typ-IV-Verletzungen vor, mittels AO-Klassifikation waren es sieben Typ-I-, 21 Typ-II- und neun Typ-III-Frakturen.

Bei 24 Patienten trat die proximale Radiusfraktur isoliert auf. 15mal bestand eine weitere knöcherne Verletzung: sechs Olecranonfrakturen, fünf Epicondylus-ulnaris-Frakturen (dreimal im Zusammenhang mit einer Ellenbogenluxation), eine Ellenbogenluxation ohne weitere begleitende Fraktur, zwei Monteggia-Läsionen (bei einer zusätzlich eine transcondyläre Humerusfraktur) und eine supracondyläre Humerusfraktur.

Eine Radiuskopffraktur wurde konservativ behandelt und eine nach Reposition im Gips immobilisiert.

**Tabelle 19: Radiushalsfrakturen: Klassifikationen und Therapie**

Therapie	Judet-Klassifikation				AO-Subklassifikation		
	I	II	III	IV	I	II	III
Konservative Therapie	5	0	1	0	4	2	0
Reposition in Narkose / Ruhigstellung	6	2	4	0	2	8	2
Geschlossene Reposition und Osteosynthese	1	1	9	0	0	9	2
ESIN	1	1	9	0	0	9	2
Offene Reposition und Osteosynthese	2	0	2	3	1	2	4
ESIN	1	0	0	0	1	0	1
K-Draht	1	0	2	3	0	2	3
Reposition und Naht des Ringbandes	0	0	0	1	0	0	1
<b>Insgesamt</b>	<b>14</b>	<b>3</b>	<b>16</b>	<b>4</b>	<b>7</b>	<b>21</b>	<b>9</b>

Sechs Patienten mit einer Radiushalsfraktur erhielten eine konservative Therapie. Es erfolgte zwölfmal eine Reposition in Narkose sowie Ruhigstellung. Elf Frakturen wurden geschlossen reponiert und mit einer ESIN-Osteosynthese versorgt. Bei sieben Patienten war eine offene Reposition notwendig, sechsmal wurde mittels K-Draht bzw. einmal mit einem Nagel retiniert. Einmal erfolgte die Reposition mit anschließender

Naht des Ringbandes (Tab. 19). Ein Zweiteingriff war aufgrund einer sekundären Dislokation der begleitenden Epicondylus-ulnaris-Fraktur notwendig.

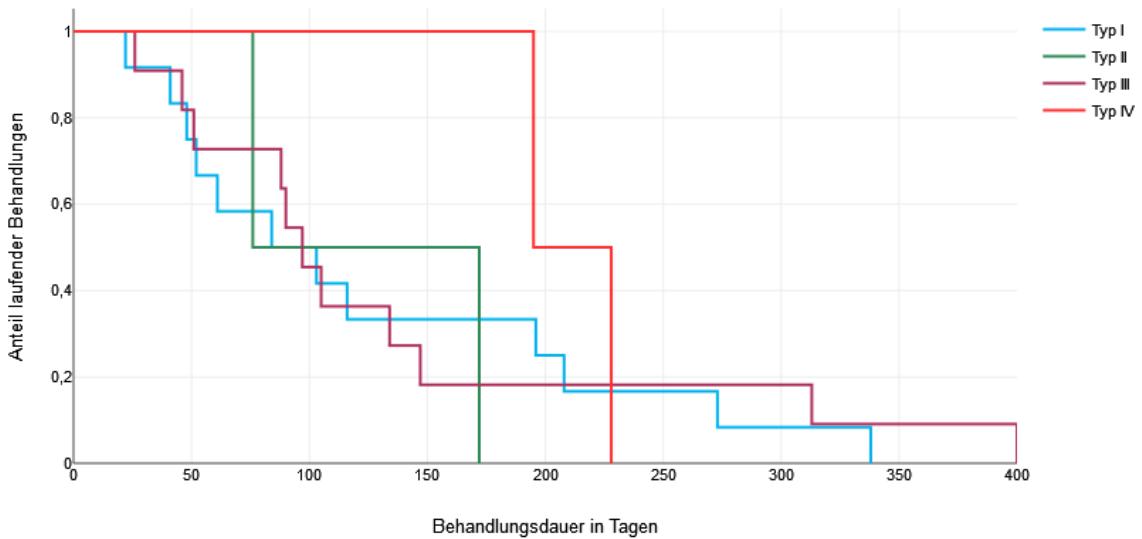
Die Entfernung der Osteosynthese erfolgte im Mittel nach 71 Tagen (24 bis 203 Tage, Median 57 Tage). 37 der 39 proximalen Radiusfrakturen wurden in einem Gipsverband und je eine in einem Blount bzw. Gilchrist-Verband für durchschnittlich 32 Tage (elf bis 65 Tage, Median 31 Tage) ruhigestellt.

**Tabelle 20: Radiushalsfrakturen: Klassifikation nach Judet und klinisches Outcome nach Flynn**

Klassifikation nach Judet	Klinisches Outcome nach Flynn-Kriterien				
	I	II	III	IV	**
I	12 (8)	0	0	0	2
II	2 (1)	0	0	0	1
III	11 (2)	0	0	1 (1)	4 (1)
IV	2 (1)	0	0	0	2
<b>Insgesamt</b>	<b>27 (12)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1 (1)</b>	<b>9 (1)</b>

\*\* Fehlende Dokumentation des exakten Bewegungsumfanges, daher keine Einteilung nach Flynn möglich. (N) = Anzahl der Kombinationsverletzungen.

Bei Radiushalsfrakturen Typ I nach Judet zeigte sich in 12 Fällen eine sehr gute Ellenbogengelenksfunktion im Mittel nach 129 Tagen (22 bis 338 Tage, Median 93,5 Tage). Bei zwei Patienten war lediglich je einmal ein „geringes Bewegungsdefizit“ (nach 87 Tagen) bzw. „Bewegungseinschränkung“ (nach 79 Tagen) vermerkt. Bei zwei der Typ-II-Frakturen nach Judet bestand eine sehr gute Ellenbogenbeweglichkeit nach durchschnittlich 124 Tagen, einmal war „nahezu frei“ nach 195 Tagen dokumentiert. Elf der Radiushalsfrakturen Typ III nach Judet zeigten ein sehr gutes klinisches Outcome im Mittel nach 136 Tagen (26 bis 400 Tage, Median 97 Tage), eine ein schlechtes (43 Tage nach Unfall bei Abnahme der Ruhigstellung) (Tab. 20). Eine erneute ambulante Vorstellung des Patienten war nicht erfolgt. Viermal wurde lediglich deskriptiv beurteilt (dreimal „Funktion gut“, einmal „Bewegungseinschränkung“). Die zwei Typ-IV-Frakturen hatten eine sehr gute Ellenbogengelenksfunktion in der Abschlussuntersuchung nach durchschnittlich 212 Tagen. Die Radiuskopffrakturen zeigten bei einem Patienten nach 28 Tagen eine sehr gute und in einem Fall nach 222 Tagen eine ausreichende Ellenbogenbeweglichkeit (keine erneute Wiedervorstellung). Analysiert wurden 12 Judet-Typ-I-, zwei Typ-II-, elf Typ- III- und zwei Typ-IV-Frakturen des proximalen Radius (Abb. 10).



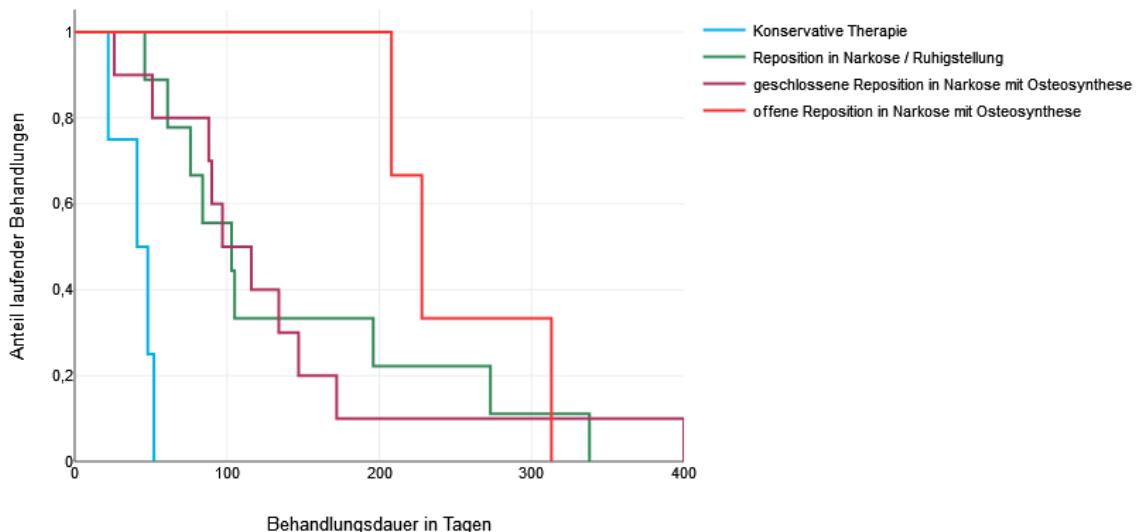
**Abbildung 10: Radiushalsfraktur: Behandlungsdauer und Nachbeobachtung entsprechend der Klassifikation nach Judet**

Die Behandlung der Radiushalsfrakturen betrug im Mittel bei Typ-I- 129 Tage (Median 84 Tage), bei Typ-II- 124 Tage, bei Typ-III- 136 Tage (Median 97 Tage) und bei Typ-IV-Frakturen 212 Tage, ein signifikanter Unterschied der Behandlungsdauer lag zwischen den Judet-Typen nicht vor (Tab. 21).

**Tabelle 21: Signifikanztestung der Behandlungsdauer der Radiushalsfrakturen klassifiziert nach Judet**

Mittels Log-rank gegeneinander getestete Behandlungsdauer der Radiushalsfraktur klassifiziert nach Judet	p-Wert
Judet Typ I vs. Typ II	0,801
Judet Typ I vs. Typ III	0,741
Judet Typ I vs. Typ IV	0,616
Judet Typ II vs. Typ III	0,980
Judet Typ II vs. Typ IV	0,090
Judet Typ III vs. Typ IV	0,476

Abbildung 11 zeigt den Anteil laufender Behandlungen und Nachkontrollen der Radiushalsfrakturen kategorisiert nach Therapieart in Abhängigkeit der Behandlungsdauer in Tagen.



**Abbildung 11: Radiushalsfrakturfraktur: Behandlungsdauer und Nachbeobachtung nach Therapieart**

Tabelle 22 fasst die Signifikanztestungen der Behandlungsdauer der jeweiligen Therapiearten gegeneinander zusammen. Es bestand ein signifikanter Unterschied in der Behandlungsdauer der konservativen Therapie ( $n= 4$ ; Mittelwert 41 Tage; Median 44,5 Tage) zu den jeweils anderen Therapieformen: zu Reposition in Narkose mit anschließender Ruhigstellung ( $n=9$ ; Mittelwert 142 Tage; Median 103 Tage), zu geschlossener Reposition mit Osteosynthese ( $n=10$ ; Mittelwert 132 Tage; Median 106,5 Tage) und zu offener Reposition mit Osteosynthese ( $n=3$ ; Mittelwert 250 Tage; Median 228 Tage). Bei der Korrelation der Behandlungsdauer der weiteren Therapien jeweils untereinander ergaben sich keine signifikanten Unterschiede.

**Tabelle 22: Ergebnisse der Signifikanztestung: Behandlungsdauer der supracondylären Humerusfraktur nach der Therapieart**

Mittels Log-rank gegeneinander getestete Behandlungsdauer der Radiushalsfrakturen kategorisiert nach Therapiearten	p-Wert
Konservative Therapie vs. Reposition in Narkose / Ruhigstellung	0,001
Konservative Therapie vs. geschlossene Reposition in Narkose mit Osteosynthese	0,003
Konservative Therapie vs. offene Reposition in Narkose mit Osteosynthese	0,018
Reposition in Narkose / Ruhigstellung vs. geschlossene Reposition in Narkose mit Osteosynthese	0,946
Reposition in Narkose / Ruhigstellung vs. offene Reposition in Narkose mit Osteosynthese	0,379
Geschlossene Reposition in Narkose mit Osteosynthese vs. offene Reposition in Narkose mit Osteosynthese	0,173

#### 4.11 Ergebnisse nach Monteggia-Läsion

Es wurden 16 Monteggia-Läsionen behandelt. Davon betroffen waren 14 Jungen und zwei Mädchen, welche zum Unfallzeitpunkt im Mittel 7,6 Jahre (4,2 und 16,1 Jahre, Median 6,1 Jahre) alt waren; die Verletzung war siebenmal rechts und neunmal links.

In 14 Fällen bestand eine Ulnafraktur mit einer Radiusköpfchenluxation (Typ I-III nach Bado). Bei einem dieser Patienten zeigte sich zusätzlich eine Y-Fraktur des distalen Humerus. Zweimal lag eine Monteggia-like-lesion vor (Radiusköpfchenluxationsfraktur bzw. dislozierte Radiushalsfraktur, Bado Typ IV). In einem Fall bestand eine Nervus-radialis-Irritation.

Zehn Monteggia-Läsionen wurden geschlossenen reponiert und anschließend im Gips ruhiggestellt. Sechs Ulnafrakturen wurden geschlossen reponiert und erhielten zusätzlich zu der ESIN-Osteosynthese sechsmal eine Ruhigstellung (fünfmal Gips bzw. einmal Gilchrist).

Eine Refraktur bei liegendem ESIN mit erneuter Radiusköpfchenluxation führte zu einem Austausch des Nagels; bei einem weiteren Patienten wurde erst geschlossen und im Verlauf offen reponiert sowie das Ringband gerafft. Die Entfernung des Osteosynthesematerials erfolgte im Mittel nach 125 Tagen (32 bis 301 Tage, Median 110 Tage), die Ruhigstellung durchschnittlich für 34 Tage (15 bis 93 Tage, Median 28 Tage).

Zwölf Monteggia-Läsionen zeigten nach durchschnittlich 89 Tagen (26 bis 292 Tage, Median 43 Tage) eine sehr gute Ellenbogenbeweglichkeit. Dreimal war das klinische Ergebnis schlecht (28 Tage nach Unfall zur Abnahme der Ruhigstellung, nach 222 Tagen E/F 5°/0°/115° bei Zustand nach begleitender Y- und proximaler Radiusfraktur, 69 Tage nach Unfall E/F 0°/10°/115°). Eine Wiedervorstellung war jeweils nicht erfolgt. In einem Fall erfolgte die postoperative Behandlung extern, somit lag kein Abschlussbefund vor.

## **5 Diskussion**

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Komplexität der Verletzungen des Ellenbogengelenkes im Wachstumsalter sowie die unterschiedlichen Behandlungsformen mit ihren Ergebnissen und der Behandlungsdauer zu erfassen. Weiterhin sollten anhand des großen Kollektivs und des langen Untersuchungszeitraumes von 1992 bis 2015 gängige Klassifikationen auf ihre klinische Anwendbarkeit geprüft werden.

Die Auswertung ergab, dass männliche Patienten häufiger stationär behandelt wurden als Mädchen und junge Frauen ( $\text{♂}:\text{♀}$  1,2:1). Verglichen mit den Studien von Behdad et al. ( $\text{♀}:\text{♂}$  1:2,6) oder Biruk et al. ( $\text{♀}:\text{♂}$  1:3,1), die jeweils keine Angabe zum therapeutischen Vorgehen (stationär oder ambulant) machen, zeigte sich jedoch ein ausgeglicheneres Verhältnis. Brudvik und Hove, die sowohl stationär als auch ambulant betreute Patienten auswerteten, bestätigten, dass Jungen im Wachstumsalter häufiger als Mädchen von Verletzungen und insbesondere Frakturen betroffen sind. Soziokulturelle und Lebenstil-bedingte Unterschiede (Angebot an altersspezifischen Aktivitäten) der betrachteten Regionen spielen bei der Diskrepanz der Geschlechterverteilung eine entscheidende Rolle. Da in den genannten Studien nicht alle Frakturarten der vorliegenden Arbeit betrachtet wurden, sind die Häufigkeitsangaben der einzelnen Verletzungen kaum vergleichbar. Es lässt sich lediglich festhalten, dass die supracondyläre Humerusfraktur jeweils die häufigste Fraktur war ( $174/365 = 47,7\%$ , bei Behdad et. al 58%, bei Biruk et al. 69,1%) (49, 50). Am Beispiel der supracondylären Humerusfraktur zeigt sich, dass Frakturhäufigkeiten einen Anhalt hinsichtlich der Inzidenz ergeben, jedoch je nach Studienaufbau (Ein- und Ausschlusskriterien), Region und Lebensstil auch größere Unterschiede aufweisen können (13). Weitere Unterschiede sind in der Zukunft durch wechselnde Gewohnheiten und Trendsportarten zu erwarten (3).

Bei der Erstellung und Auswertung der Kaplan-Meier-Kurven wurde die Complete-Cases-Analyse angewandt. D.h. es wurden nur die Patienten eingeschlossen, bei denen die Behandlung am UKH abgeschlossen wurde. In 70% der Fälle (254 von 365 Patienten) lag eine verwertbare Beurteilung der Ellenbogenbeweglichkeit anhand der Neutral-Null-Methode vor, 67mal lediglich eine beschreibende Einschätzung der Funktion und 44mal war das klinische Outcome nicht bekannt. Hier muss kritisch angemerkt werden, dass der Zeitpunkt der letzten klinischen Befunderhebung variierte: z.B. bei stationärer Entlassung, direkt nach Abnahme der Ruhigstellung, zur

Metallentfernung oder zum definitiven Behandlungsabschluss. Dies könnte zu einer Verzerrung der Ergebnisse führen, da ggf. Patienten mit deutlich abweichender Behandlungsdauer am UKH eine externe Weiterbehandlung bevorzugten und somit in dieser Auswertung ausgeschlossen wurden. Lane bezeichnet die Complete-Cases-Analyse als ineffizient bei einer Drop-out-Rate von >5%. Andererseits betreffen diese „drop-outs“ in der vorliegenden Arbeit sowohl wenig dislozierte Frakturen als auch sehr komplexe Verletzungsmuster. Alternativ hätte die Methode „Last observation carried forward“ angewandt werden können, bei der fehlende Daten mit denen zum letzten Beobachtungszeitpunkt erhobenen vervollständigt werden. Dies würde laut Lane aber zu einer Verzerrung jeder Schätzung der Behandlungsvergleiche führen (51). Daher bietet sich dieses Vorgehen bei den gewählten Fragestellungen nicht an.

Eine standardisierte Nachuntersuchung und Dokumentation der klinischen Ergebnisse sind für die Erkennung von Bewegungsdefiziten und Achsenfehlstellungen essentiell und bilden die Grundlage für Änderungen und Optimierung der Therapie. Zudem sollten komplexe Frakturen prinzipiell soweit möglich in der Hand eines Nachbehandlers bleiben. Die erstellten Tabellen sind daher bei häufigen Frakturen sicher ein guter Anhalt ohne absolute Sicherheit.

## 5.1 Diskussion der supracondylären Humerusfraktur

Die supracondyläre Humerusfraktur hatte in der vorliegenden Arbeit die häufigste Inzidenz. Die Einteilung dieser Verletzung erfolgte anhand von drei Klassifikationen: nach von Laer (11 Typ I, 31 Typ II, 37 Typ III, 84 Typ IV), nach Baumann (17 Typ I, 61 Typ II, 85 Typ III) und nach Gartland (14 Typ I, 36 Typ II, 113 Typ III). Elf supracondyläre Humerusfrakturen konnten aufgrund fehlender Diagnostik bzw. Befunde nicht kategorisiert werden. Bei Sichtung der klinischen Dokumente wurde teilweise die initial zugeordnete Frakturkategorie anhand der radiologischen bzw. intraoperativen Befunde korrigiert. Es fiel dabei trotz des nur geringen Unterschiedes der jeweiligen Grad-I-Definition der o.g. Klassifikationen auf, dass die Fallzahlen variierten. Die höhere Patientenzahl der Grad-I-Verletzung nach Baumann erklärt sich mit der zugeordneten geringen Verschiebung der Fraktur, die Gartland Grad II bzw. von Laer Typ II entsprechen. Die Fallzahlen nach von Laer Typ I und nach Gartland Grad I sollten sich nicht unterscheiden. Diese Diskrepanz resultiert möglicherweise aus der Nachbefundung. Je eine Grad-I-Fraktur nach Gartland wurde geschlossen reponiert mit anschließender konservativer Therapie bzw. mit einer K-Draht-Osteosynthese versorgt. Daraus ergibt sich die Vermutung, dass die Zuordnung zu Grad I falsch war, da eine Reposition definitionsgemäß nicht notwendig ist. Grad-II-

Frakturen nach von Laer wurden in sieben Fällen konservativ behandelt. Da bei der Blount-Anlage (n=5) das Ellenbogengelenk in eine Spitzwinkelstellung gebracht wird, kann diese Therapie als „konservativ“ bezeichnet (wie in der vorliegenden Arbeit) oder einer geschlossenen Reposition zugeordnet werden. Sechs Patienten mit einer supracondylären Humerusfraktur Grad II nach von Laer erhielten eine Reposition und Osteosynthese in Narkose. Das Vorgehen ist darin begründet, dass in zwei Fällen eine Flexionsfraktur und bei vier Patienten eine instabile Extensionsfraktur (Grad IIb) bestand. Es zeigt sich anhand dieser Fälle die Unschärfe der Kategorie Grad II nach von Laer und betont die Wichtigkeit einer exakten Befunddokumentation. Frakturen vom Typ III und VI nach von Laer sollten operativ (Osteosynthese nach Reposition) versorgt werden. Viermal wurde jedoch ausschließlich eine konservative Therapie und in 27 Fällen eine geschlossene Reposition mit anschließender Ruhigstellung durchgeführt. Fünf der 31 Patienten wurden nach einem Tag zur zeitnahen externen (heimatnahen) operativen Weiterbehandlung entlassen, in einem Fall erfolgte ein Zweiteingriff (Revisionseingriff nach externer Behandlung drei Monate nach Unfall). Eine unzutreffende Zuordnung der Frakturkategorie, inadäquates therapeutisches Vorgehen, mangelnde operative Erfahrung mit Frakturen im Wachstumsalter oder auch die Weiterentwicklung von Behandlungskonzepten könnten mögliche Gründe sein. Daten einer eventuell vorstationären Reposition durch den Notarzt wurden nicht erhoben.

Das Dislokationsausmaß sowie das Vorliegen einer Rotation sind für die Therapieentscheidung ausschlaggebend. Grad II nach Baumann beschreibt lediglich einen Fragmentkontakt, nicht aber das Ausmaß der Dislokation bzw. eine Rotationsfehlstellung der Fragmente zueinander. Es ist daher nicht möglich, eine Therapieentscheidung allein anhand der Baumann-Klassifikation zu treffen. Frakturen Grad III nach Baumann sollten mittels Reposition und Osteosynthese versorgt werden. Bei 14 Fällen erfolgte lediglich eine Reposition mit anschließender Ruhigstellung. Mögliche Gründe wie inkorrekte Zuordnung der Frakturkategorie oder kurzzeitige Therapie der Ellenbogengelenksfraktur bei Kombinationsverletzungen bzw. Polytraumata wurden im vorangegangenen Abschnitt bereits angegeben. Weiterhin hat sich die Therapie dieser Verletzungen in Kenntnis der ansonsten schlechten Ergebnisse zunehmend zur Reposition und Retention gewandelt.

Nach der ursprünglichen Klassifikation von Gartland handelt es sich bei Typ II um supracondyläre Humerusfrakturen mit intakter dorsaler Kortikalis, jedoch ohne auf die Stabilität oder das Ausmaß der Abkipfung der Fragmente einzugehen. Daher sind unterschiedliche Therapiearten in dieser Gruppe vertreten. Der Umfang der Abkipfung und die daraus resultierende Frakturstabilität sind für die Therapiewahl entscheidend.

Drei Patienten mit einer Gartland-Typ-III-Verletzung wurden konservativ und 26 mittels Reposition und Ruhigstellung ohne Osteosynthese versorgt. Wie in den vorherigen Abschnitten bereits erläutert, sind eine falsche Frakturkategorisierung oder inadäquate Therapiewahl mögliche Erklärungen (52). Kaiser betont, dass bei supracondylären Humerusfrakturen vom Typ II nach von Laer je nach Abkippungsgrad und Alter des Patienten zwischen dem stabilen Typ IIa und dem instabilen Typ IIb unterschieden werden muss, um eine Therapieentscheidung zu treffen (24).

In Zusammenschau der o. g. Diskussion ist die Klassifikation der supracondylären Humerusfraktur nach von Laer am ehesten geeignet, eine leitliniengerechte Therapieentscheidung und Operationsindikation zu treffen. Die Analyse der Gartland- bzw. Baumann-Klassifikation erbrachte demgegenüber keine Vorteile im klinischen Alltag. Eine Anpassung der Klassifikation nach von Laer zur Erleichterung einer Therapieentscheidung wäre möglich, indem die Typen I, IIa, IIb, III und IV in einer dreiteiligen Klassifikation umverteilt würden:

- Typ I undislozierte supracondyläre Humerusfraktur → konservativ
- Typ II stabile supracondyläre Extensionsfraktur mit Überschreitung der altersabhängig tolerablen Achsenabweichung → geschlossene Reposition und wenn möglich anschließend konservative Therapie
- Typ III in einer Ebene dislozierte instabile oder in mehreren Ebenen dislozierte supracondyläre Humerusfraktur → Reposition und Osteosynthese.

Die Differenzierung zwischen stabilen (Typ IIa) und instabilen (Typ IIb) supracondylären Humerusfrakturen nach von Laer war anhand des vorliegenden Materials nicht vollständig möglich. Somit konnte der o. g. Kategorisierungsvorschlag nicht mit den gängigen Klassifikationen bezüglich einer Erleichterung der Therapiewahl verglichen werden. Eine Folgestudie diesbezüglich wäre sinnvoll.

Der Behandlungsabschluss am UKH konnte bei supracondylären Humerusfrakturen kategorisiert nach von Laer bei Typ I nach durchschnittlich 67 Tagen (32 bis 143 Tage, Median 49,5 Tage), bei Typ II 144 Tagen (38 bis 434 Tage, Median 92 Tage), bei Typ III 192 Tagen (34 bis 562 Tage, Median 112 Tage) und bei Typ IV 156 Tagen (42 bis 795 Tage, Median 100 Tage) erfolgen. Der Zeitpunkt der letzten ambulanten Vorstellung am UKH aufgrund externer Weiterbehandlung oder nicht erfolgter Wiedervorstellung aller weiteren supracondylären Humerusfrakturen variiert sehr: Typ-I-Frakturen 35 Tage (29 und 40 Tage), Typ II nach 36 Tage (21 bis 51 Tage), Typ III 756 Tage (47 bis 1464 Tage) und Typ IV 245 Tage (31 bis 1688 Tage). Anhand unserer Daten ergibt sich ein statistisch signifikanter Unterschied der Behandlungsdauer zwischen von Laer Typ I vs. III bzw. Typ I vs. Typ IV. Begründet

liegt dies im erforderlichen Vorgehen, um ein optimales Behandlungsergebnis zu erzielen: Typ-I-Frakturen können konservativ bzw. Frakturen vom Typ III bzw. IV müssen operativ versorgt.

Zudem ist bei höherem Dislokationsausmaß der Fraktur die Verletzung des umgebenden Gewebes (Muskulatur, Nerven, Gefäße, Sehnen) größer, welche mit vermehrten Schmerzen, stärkerer Umgebungsreaktion, längerer Ruhigstellung und somit Schonung des Gelenkes einhergeht. Damit wird die Heilungs- bzw. Behandlungsdauer verlängert. Für eine sichere Beurteilung sollten in einer Folgestudie ebenso alle ambulant behandelten Patienten eingeschlossen werden.

Aufgrund der unterschiedlichen Behandlungsintervalle ist die Prüfung einer Korrelation zwischen Schweregrad der Fraktur und des klinischen Outcomes nicht möglich. Bei definierten Untersuchungszeitpunkten im Behandlungsverlauf hätte eine Aussage dazu getätigt werden können. Weinberg et al. konnten von insgesamt 886 Patienten (400 ambulant und 486 stationär behandelt) 540 Patienten nachuntersuchen. Die Ergebnisse ihrer klinischen Untersuchung geben die zu erwartenden Einschränkungen wider: Typ I in 8,6%, Typ II in 15,4%, Typ III in 27% und Typ IV in 27% der Fälle. Es zeigte sich eine seitengleiche Funktion bei 82,6% der Patienten. Im Vergleich zur vorliegenden Arbeit schlossen Weinberg et al. die ambulant behandelten Verletzungen, die an sich eher einen geringeren Schweregrad aufweisen, mit ein und bildeten so ein realistischeres Patientenkollektiv ab. Zudem beobachteten sie die Patienten deutlich länger (durchschnittlich 21,3 Monate, min. 6 bis max. 30 Monate), sodass auch klinische Verbesserungen im späteren Verlauf erfasst werden konnten (53). Moraleda et al. untersuchten das klinische Outcome konservativ behandelter Gartland-Typ-II-Frakturen. Sie beobachteten die Patienten für  $6,6 \pm 2,8$  Jahre und damit deutlich länger als in der vorliegenden Arbeit. Moraleda et al. fanden dabei signifikante Unterschiede im Seitenvergleich bezogen auf Extension, Flexion und die Armachse (Varusdeformität) mit zufriedenstellenden Ergebnissen nach Flynn bei 80,4% der Patienten (54). Somit muss mit persistierenden Einschränkungen nach dislozierten supracondylären Humerusfrakturen prinzipiell gerechnet werden. Es ist jedoch bei längerer Behandlung mit Physiotherapie und Nachbeobachtung mit besseren Ergebnissen zu rechnen.

Aslan et al. untersuchten Patienten mit Gartland-Typ-III-Fraktur, die zwischen 2004 und 2012 nach fehlgeschlagenem geschlossenem Repositionsversuch eine offene Reposition sowie Osteosynthese benötigten. Angaben zur Anzahl erfolgreicher geschlossener Repositionen zum Vergleich werden nicht gemacht. Bei 48 von 54 (89%) zeigten sich nach durchschnittlich 14,36 Monaten (437 Tage) ausreichende bis sehr gute Ergebnisse nach Flynn (funktionell und kosmetisch). Im Vergleich dazu ergibt

sich in der vorliegenden Arbeit ein besseres Ergebnis nach kürzerer Beobachtungsdauer der offen reponierten und mittels Osteosynthese versorgten Gartland-Typ-III-Frakturen (37 von 39 Patienten = 95% mit sehr guter bis befriedigender funktioneller Beurteilung nach Flynn nach durchschnittlich 244 Tagen, Median 122 Tage). Ein möglicher Grund könnte bei Aslan et al. die Anwendung von vier verschiedenen offenen Zugangswegen mit unterschiedlichen Erfahrungswerten der Operateure sein. Angaben über eine mögliche klinische Besserung im weiteren Verlauf werden von Aslan et al. nicht gemacht (55).

Kaewpornsawan verglich das klinische Outcome nach geschlossener vs. offener Reposition jeweils mit Osteosynthese der vollständig dislozierten supracondylären Humerusfraktur (n=28, Alter <13 Jahre). Ein gutes bis sehr gutes Outcome nach Flynn zeigte sich nach einer Beobachtungsdauer von durchschnittlich 140 Tagen (98 bis 210 Tage) nach geschlossener Reposition in 100% bzw. 93% nach offener Reposition. Der Unterschied des klinischen Outcomes zwischen diesen zwei Gruppen war statistisch nicht signifikant (56). In der vorliegenden Arbeit bestanden bei vollständig disloziertem supracondylärer Humerusfraktur bei 14 von 16 Patienten (87,5%) mit geschlossener Reposition und Osteosynthese nach durchschnittlich 89 Behandlungstagen und bei Patienten nach offener Reposition in 28 von 34 Fällen (82%) nach 209 Tagen eine gute bis sehr gute Ellenbogenbeweglichkeit nach Flynn. Eine Ursache der vermeintlich besseren Ergebnisse von Kaewpornsawan nach durchschnittlich 140 Tagen (98 bis 210 Tage) Beobachtung könnte der Ausschluss von Patienten mit offenen Frakturen, begleitenden Unterarmfrakturen am gleichen Arm, Gefäßverletzungen oder verzögerter Vorstellung sein. Sie schlossen im Vergleich zur vorliegenden Arbeit somit komplexere Fälle mit voraussichtlich längerer Behandlungsdauer von vornherein aus. Kritisch zu betrachten ist, dass bei Kaewpornsawan die Patienten nach der Studienaufklärung und Einwilligung in die Gruppen (geschlossenes vs. offenes operatives Vorgehen) randomisiert eingeteilt wurden und das nicht dem Behandlungstandard entspricht. Es sollte immer die geschlossene Reposition bevorzugt werden und nur bei frustriertem Ergebnis auf ein offenes Vorgehen gewechselt werden. Zusammenfassend ist das klinische Outcome nach supracondylärer Humerusfraktur von multiplen Faktoren abhängig: Zeitpunkt der Untersuchung, Compliance und Zufriedenheit des Patienten, bei Bedarf Anpassung des Therapiekonzeptes, Anbindung an die Klinik der Operateure und Dauer der objektiven Nachbeobachtung nach standardisiertem Konzept.

Vergleicht man die Behandlungsdauer nach Therapieart der supracondylären Humerusfraktur (unabhängig der Frakturklassifikation) miteinander, zeigt sich eine statistisch signifikant längere Behandlung nach offener Reposition und Osteosynthese. Konservative Therapie vs. geschlossene Reposition mit anschließender Ruhigstellung

vs. geschlossene Reposition mit Osteosynthese ergaben keine signifikanten Unterschiede. Ein längerer Heilungsprozess ist die Folge aus dem initialen größeren Verletzungsausmaßes sowie aus der weiteren Gewebeschädigung durch das offene Vorgehen.

Daraus ergibt sich bei niedrigerem Verletzungsgrad sowie bei nicht-invasiven Verfahren eine kürzere Beobachtungszeit als bei einem größeren Verletzungsausmaß und invasiven Verfahren.

Retrospektiv betrachtet ist eine Bewertung der o. g. Ergebnisse nur eingeschränkt möglich, da Patienten z.T. nach sehr kurzer oder nach sehr langer Beobachtungsdauer und funktionell nicht zufriedenstellendem Ergebnis aus dem Studienkollektiv ausschieden und das klinische Outcome unklar bleibt. Dies impliziert ein strukturiertes Nachbehandlungskonzept und von Beginn an eine Aufklärung von Patienten und Eltern über eine Nachbehandlungsdauer von mindestens 3 Monaten bzw. 6 – ggf. 12 Monaten bei höhergradigen Frakturen.

## 5.2 Diskussion der Condylus-radialis-Fraktur

Condylus-radialis-Frakturen wurden in der vorliegenden Arbeit nach Weiss kategorisiert: elfmal Typ I, sechsmal Typ II und elfmal Typ III. Davon wurden acht Typ-I-Frakturen mit einer mittleren Behandlungsdauer von 70 Tagen (Median 65 Tage), drei Typ-II-Verletzungen mit durchschnittlich 320 Behandlungstagen (Median 297 Tage) und sieben Typ-III-Condylus-radialis-Frakturen mit durchschnittlich 218 Tagen (Median 175 Tage) bis zum Behandlungsabschluss am UKH verfolgt. Condylus-radialis-Frakturen Typ I nach Weiss zeigten zu 89%, Typ-II-Frakturen zu 60% und Typ-III-Frakturen zu 78% ein sehr gutes bis gutes klinisches Ergebnis nach Flynn. Auffällig waren eine unerwartet lange Behandlungsdauer der Typ-II-Frakturen im Vergleich zu Typ III nach Weiss sowie ein schlechteres klinisches Outcome gegenüber den beiden anderen Frakturtypen.

Patienten mit schlechtem funktionellem Untersuchungsergebnis stellten sich im Mittel nach 83 Tagen (51 bis 129 Tage, Median 58 Tage) zuletzt am UKH vor. Es bestand somit eine deutlich kürzere Beobachtungsdauer als bei Patienten mit gutem Outcome oder als bei Weiss et al. (2009): In einer Beobachtungszeit sechs Wochen bis sechs Monate hatten operativ versorgte Typ-II- und -III-Frakturen zusammen in 83% eine vollumfängliche bzw. 17% eine eingeschränkte Ellenbogenbeweglichkeit (ohne Angabe des exakten Defizites); davon waren sechs Typ-II- und 13 Typ-III-Frakturen. Die Autoren fanden keine signifikante Korrelation zwischen Bewegungsumfang und Klassifikation. Unsere Daten sind kaum zu vergleichen, da Weiss et al. nur operierte

Frakturen eingeschlossen hatten. Durch deren längere Nachuntersuchungszeiten kann von einer Besserung der Beweglichkeit ausgegangen werden.

Die Klassifikation nach Weiss soll neben der eingeschränkten Beweglichkeit zur Prognose von Komplikationen wie Deformation, Infektion, Pseudarthrose, avaskuläre Nekrose bzw. vorzeitiger Epiphysenschluss oder der Notwendigkeit einer erneuten Operation dienen. Dabei traten in deren Studie bei Typ-III-Frakturen mehr als dreimal so viele Komplikationen (34%) wie bei Typ-II-Frakturen (11%) auf, wobei die Deformation der deutlich sichtbaren Vorwölbung des Condylus radialis inkludiert wurde. Ohne diese sanken die Komplikationsraten bei Typ III auf 16% und bei Typ II auf 12% und waren somit nicht mehr statistisch signifikant (30). In der vorliegenden Arbeit wurden als Komplikationen sowohl die Notwendigkeit einer operativen Versorgung (sekundäre Dislokation, initiale unvollständige Reposition) und Infektion (unabhängig einer antibiotischen Therapie) als auch eine iatrogene Nervenverletzung, Dislokation, Perforation bzw. Bruch des Osteosynthesematerials erhoben. Bei vier der 33 Condylus-radialis-Frakturen (12%; drei Typ-I-, eine Typ-III-Fraktur) war aufgrund einer sekundären Dislokation ein Therapiewechsel zu einem operativen Vorgehen notwendig. Zu diskutieren bleibt, ob ein übermäßiges Wachstum des Condylus radialis ohne Bewegungseinschränkung, Schmerzen oder psychische Belastung als kosmetische Auffälligkeit oder Komplikation gewertet werden sollte. Daher wurde der „lateral bump“ bei uns nicht als Komplikation erfasst. Tan et al. geben dazu in ihrem Review (44 Studien, 2440 Patienten) an, dass die prominente laterale Kondyle zwar die häufigste Komplikation ist, aber dass weder deren Vorhandensein noch die Größe einen Einfluss auf die klinischen Ergebnisse haben (57). Die Komplikationsraten verschiedener Publikationen (z.B. Saris et al. 2023 (58); Tan et al. 2018 (57)) sind nicht vergleichbar, da die Definition der Komplikationen stark variiert und die Angaben zur Häufigkeit oft nicht aufgeschlüsselt sind.

Die Behandlungsart der Condylus-radialis-Fraktur kategorisiert nach Weiss unterschied sich je nach Einteilung: Typ I wurde konservativ, Typ II und III eher operativ versorgt. In Bezug auf die Behandlungsdauer der Condylus-radialis-Frakturen der vorliegenden Studie war der Unterschied Typ I vs. Typ II und Typ I vs. Typ III signifikant, nicht jedoch zwischen Typ II und Typ III. Ikwuezunma et al. dokumentierten 116 Fälle und unterschieden nach Jakob and Song in gering dislozierte Frakturen (Dislokation <2 mm; identisch zur Weiss-Klassifikation), mäßige Dislokation (2-5 mm) und komplexere Condylus-radialis-Frakturen (> 5 mm Verschiebung oder >2 mm Verschiebung mit Ellenbogenluxation). Überraschenderweise wurden nicht nur 34 Typ-I-Frakturen nicht-operativ behandelt, sondern auch sieben Typ-II- und drei Typ-III-Verletzungen. Die Behandlungsdauer war stark unterschiedlich: für Typ I mit OP (n=6)  $84 \pm 19$  Tage vs.

konservativ (n=33)  $79 \pm 17$  Tage, für Typ II operativ (n=22)  $127 \pm 104$  Tage vs. nicht-operativ (n=7)  $81 \pm 43$  Tage sowie Typ III operativ (n=43)  $227 \pm 291$  Tage vs. nicht-operativ (n=3)  $69 \pm 39$  Tage. Für die jeweilige Kategorie der Condylus-radialis-Frakturen ergaben sich dabei zwischen den Untergruppen „operativ“ und „nicht-operativ“ keine signifikanten Unterschiede in der Dauer der Nachbeobachtung ebenso wenig wie in der Behandlungsdauer bezogen auf ein offenes oder perkutanes Vorgehen bzw. ob eine Schrauben- bzw. K-Draht-Osteosynthese verwendet wurde (59). Übereinstimmungen mit unseren Daten existieren hinsichtlich der Korrelation „Schwere der Fraktur“ zu „Behandlungsdauer“ und einer längeren Nachbeobachtung nach Operation. Unsere Daten zeigten zudem, dass ein signifikanter Unterschied in der Behandlungsdauer besteht: die offenen Repositionen mit Osteosynthese wurden signifikant länger nachbeobachtet. Bezogen auf das klinische Outcome hat die Arbeit von Ikwuezunma et al. aber eine deutliche Limitation, da die Erhebung lediglich telefonisch erfolgte und dabei nur 44 der 116 Patienten erreicht werden konnten.

Zusammenfassend zeigt sich in der vorliegenden Arbeit und den o. g. Publikationen trotz unterschiedlicher Kategorisierung, dass eine Korrelation von Dislokation der Condylus-radialis-Fraktur und der Behandlungsdauer besteht. Dies bedeutet, dass Patienten und Eltern über die teils sehr langwierige Nachbehandlung aufgeklärt werden müssen. Die von Weiss et al. postulierte Korrelation zwischen Behandlungsergebnis und Frakturtyp ist anhand unserer Ergebnisse jedoch nicht gegeben. Entscheidend sind die korrekte Klassifikation und bei korrekter Indikation die Qualität der operativen Versorgung. In einer Folgestudie könnte durch Anpassung des Studienkonzeptes (multizentrischer Aufbau, längere Nachbeobachtung, definierte Untersuchungszeitpunkte, Erfassung von Komplikationen, etc.) die Patientenzahl erhöht und die drop-out-Rate verringert werden, um diese Fragestellung aussagekräftig zu beantworten.

### 5.3 Diskussion der Y-Fraktur

Die Y-Frakturen wurden in der vorliegenden Arbeit wie folgt versorgt: Ruhigstellung bei Typ-I-Frakturen nach Weiss, Reposition und Osteosynthese bei höhergradigen Frakturen, wobei die Typ-III-Frakturen überwiegend offen reponiert wurden (neun von elf Patienten = 82%). Der Review von Ducic et al. 2021 (neun Publikationen) ergab, dass alle Y- bzw. T-Frakturen (n=135) operativ behandelt wurden: 17 (= 13%) mit geschlossener Reposition und 118 (= 87%) mit offener Reposition und Osteosynthese. Die Beobachtungsdauer betrug zwischen 10 und 49 Monaten und somit länger als in der vorliegenden Arbeit. In unserer Studie konnte die Behandlung bei acht Patienten

nach durchschnittlich 320 Tagen (37 bis 1576 Tage, Median 125,5 Tage) abgeschlossen werden. Die weiteren Patienten stellten sich zuletzt nach 150 Tagen Behandlung (48 bis 222 Tagen) am UKH vor. Laut Ducic et al. ist das klinische Outcome der Y-Fraktur verglichen mit anderen pädiatrischen Ellenbogenfrakturen schlechter. Sie heben allerdings hervor, dass die Vergleichbarkeit der wenigen Publikationen zu den seltenen Y- bzw. T-Frakturen aufgrund uneinheitlicher Frakturklassifikationen sowie Scores des klinischen Outcomes schwierig ist (60). Allein in der AWMF-Leitlinie der intraartikulären distalen Humerusfrakturen im Kindesalter werden drei verschiedene Klassifikationen erwähnt (Jakob et al. 1975, von Laer 2001, Weiss et al. 2009 (30), aber keine dieser präferiert (61).

Zusammenfassend ist die Y-Fraktur eine seltene sowie schwierige Verletzung, bei der ein schlechtes klinisches Outcome möglich ist, insbesondere, wenn bei kompletter Dislokation der artikulären Fraktur durch einen ausgedehnten operativen Zugang ein zusätzlicher Weichteilschaden entsteht.

Aufgrund der geringen Fallzahl der Y-Frakturen (n=16) und der Tatsache, dass nur Frakturen des Typs I und III nach Weiss bis zum Behandlungsabschluss verfolgt werden konnten, ließen sich keine Signifikanz-Berechnungen der Behandlungsdauer nach Kategorie anhand von Kaplan-Meier-Kurven durchführen. Auch hier wäre im Sinne der Therapieoptimierung seltener Frakturen eine multizentrische Studie weiterführend.

#### **5.4 Diskussion der Epicondylus-ulnaris-Apophyseolyse**

Epicondylus-ulnaris-Apophyseolysen wurden in drei Kategorien unterteilt: undisloziert (n=3), Dislokation < 1cm (n=23) und Dislokation  $\geq$  1cm (n=10). 14 Apophyseolysen konnte kein Dislokationsausmaß zugewiesen werden. Es wurden zwei undislozierte Frakturen für durchschnittlich 54,5 Tage, zwölf gering dislozierte im Mittel für 158 Tage (Median 125 Tage) und sechs stark dislozierte für 211 Tage (Median 114 Tage) am UKH bis zum Behandlungsabschluss verfolgt. Klassifiziert nach von Laer zeigte sich für Typ I (Dislokation <1 cm inkl. undisloziert) eine mittlere Behandlungsdauer von 144 Tagen (Median 112,5 Tage). Es ergibt sich ein signifikanter Unterschied in der Behandlungsdauer der nicht-dislozierten zu den dislozierten Epicondylus-ulnaris-Frakturen. Dies ist mit dem therapeutischen Vorgehen erklärbar: dislozierte Epicondylus-ulnaris-Frakturen wurden größtenteils (94%) reponiert und mittels Osteosynthese versorgt. Eine offene Reposition erfolgte in 28 von 33 Fällen (85%) der dislozierten Frakturen: < 1cm dislozierte Frakturen wurden zu 83% (19/23) und  $\geq$  1cm dislozierte Frakturen zu 90% (9/10) offen reponiert. Zur Osteosynthese wurden

zwölfmal K-Drähte (39%), davon einmal zusätzlich eine Draht-Cerclage, und 19mal Schrauben verwendet (61%). Scherer et al. stellten die OP-Indikation bereits ab einer Dislokation des Epicondylus ulnaris > 2 mm deutlich großzügiger bzw. bei Instabilität des Ellenbogengelenkes. Sie versorgten diese Verletzungen offen und nutzten bei 30 von 79 Patienten (38%) K-Drähte, Schrauben bei 46 Patienten (58%), eine Kombination von K-Drähten und Schrauben in zwei Fällen und einmal eine PDS-Naht (62). Die Verteilung ähnelt somit der vorliegenden Arbeit. Im Vergleich dazu erfolgte nach offener Reposition die Osteosynthese bei Louahem et al. überwiegend durch K-Drähte (93%). Eine Begründung für dieses Vorgehen wird nicht angegeben (63).

Vergleicht man die Behandlungsdauer der < 1 cm dislozierten (inkl. undislozierten) zu den ≥ 1 cm dislozierten Epicondylus-ulnaris-Frakturen im Sinne der Klassifikation nach von Laer zeigt sich in unserer Arbeit kein signifikanter Unterschied mehr, obwohl sich die Gruppenstruktur kategorisiert nach von Laer aufgrund der geringen Patientenzahl nur geringfügig verändert hat. Es lässt sich schlussfolgern, dass die dreiteilige Kategorisierung der Epicondylus-ulnaris-Fraktur (undisloziert, Dislokation < 1cm, Dislokation ≥ 1cm) gegenüber der zweiteiligen Klassifikation nach von Laer sowohl für die Therapiewahl als auch prognostisch für die Behandlungsdauer besser geeignet ist. Dies wäre in einer Folgestudie zu überprüfen.

Eine gute bis sehr gute Ellenbogenbeweglichkeit (bei 67% der konservativ und 86% der operativ behandelten Verletzungen) konnte unabhängig des initialen Dislokationsausmaßes nach durchschnittlich 164 Tagen (45 bis 544 Tage, Median 113 Tage) erhoben werden. Konservativ versorgte Epicondylus-ulnaris-Ausrisse wurden 54,5 Tage und operativ behandelte 176 Tage beobachtet. Aus unseren Daten ergab sich dabei ein signifikanter Unterschied der Behandlungsdauer der konservativ therapierten zu den offen reponierten und mit einer Osteosynthese versorgten Epicondylus-ulnaris-Frakturen. Patienten mit schlechtem bis befriedigendem Ergebnis nach Flynn stellten sich nach 129 Tagen (31 bis 273 Tagen, Median 106 Tage) nicht erneut vor oder wurden extern weiterbehandelt. Im Vergleich beobachteten Louahem et al. die operativ versorgten Frakturen deutlich länger (im Mittel 3,9 Jahre, 2,3 bis 11,4 Jahre) und erhielten dabei gute Ergebnisse: bei 133 von 139 Patienten (96%) bestand ein normaler Bewegungsumfang, die übrigen sechs Patienten hatten ein Streckdefizit von < 20° (63). Demgegenüber beschreiben Scherer et al. bei den konservativ behandelten Epicondylus-ulnaris-Apophyseolysen (n=17) in 15 Fällen eine vollumfängliche Beweglichkeit und bei zwei Patienten >10° Bewegungsdefizit. Bei operativ versorgten Abrissen (n=79) bestand keinerlei Bewegungseinschränkung bei 46%, ein Defizit bis 10° bei 38% und > 10° bei 16% der Patienten. Dabei legten Scherer et al. recht streng E/F 5°/0°/145° als normalen Bewegungsumfang fest und

nicht wie an unserer Klinik E/F 0°/0°/135°. Entsprechend unserer Vorgaben besteht bei Scherer et al. bei mindestens 84% der operativ versorgten Apophyseolysen ein gutes bis sehr gutes funktionelles Ergebnis. Sie beobachteten die Patienten durchschnittlich 7,6 Monate (zwei bis 61 Monate) und damit auch länger als in der vorliegenden Arbeit: Epicondylus-ulnaris-Abriss mit konservativer Therapie im Mittel 4,6 Monate und nach operativer Therapie 8,1 Monate (62). Zusammenfassend waren die Ergebnisse von Scherer et al. (2021) und Louahem et al. (2010) besser als in der vorliegenden Studie, allerdings bei deutlich längerer Beobachtungszeit. Ein besserer klinischer Outcome der Epicondylus-ulnaris-Apophyseolyse ist bei den drop-outs des UKH mit längerer Nachbeobachtungsdauer zu erwarten. Es lässt sich aus den o. g. Studien und der vorliegenden Arbeit schließen, dass der klinische Outcome nicht mit dem initialen Dislokationsausmaß der Epicondylus-ulnaris-Fraktur korreliert und somit die Qualität der Versorgung einen wichtigen Anteil hat; generell ist die Heilungsprognose bei entsprechender Therapie als gut einzuschätzen.

## 5.5 Diskussion der Ellenbogenluxation

Ellenbogenluxationen traten in 20/54 Fällen (37%) isoliert auf bzw. mit Fraktur in 34/54 Fällen (63%); davon hatten 25 Patienten eine und 9 Patienten zwei Begleitfrakturen. Bei Lu et al. traten zu 10,45% (7/67) isolierte Ellenbogenluxationen auf, damit deutlich seltener als in der vorliegenden Arbeit. Entsprechend höher war der Anteil an Ellenbogenluxationen mit begleitenden Frakturen: mit einer Fraktur bei 58,21% (39/67) bzw. mehreren ossären Verletzungen bei 31,34% (21/67). Sie schlossen nur Patienten <14 Jahre ein (Durchschnittsalter 9,5 Jahre). Dagegen waren im vorliegenden Patientenkollektiv 10 der 54 erfassten Patienten mit Ellenbogenluxation älter als 14 Jahre, das Durchschnittsalter betrug 11,4 Jahre und war damit knapp 2 Jahre höher als bei Lu et al. 2017 (64). Hyvönen et al. (2019) werteten 104 Ellenbogenluxation bei Patienten <16 Jahren zwischen 1996-2014 u.a. anhand der Flynn-Kriterien aus. Das Durchschnittsalter von 11,3 Jahren sowie die Zeitspanne ähneln der vorliegenden Studie. Allerdings wurden mehr isolierte Ellenbogenluxationen (55,8%) als solche mit Begleitfraktur (44,2%) dokumentiert. Die Autoren geben als möglichen Grund dafür an, dass lediglich Röntgen-Aufnahmen zur Diagnostik herangezogen worden und dadurch mögliche osteochondrale Frakturen, welche in einer MRT-Untersuchung detektiert werden könnten, übersehen worden sein könnten (65). Am UKH erzielten 90% der isolierten Ellenbogenluxationen nach durchschnittlich 65 Tagen und 78% mit begleitender Fraktur im Mittel nach 136 Tagen ein klinisch gutes bis sehr gutes Outcome; in Kombination mit einer Fraktur waren es 117 Tagen, mit zwei Frakturen

186 Tage. Alle weiteren Patienten mit Ellenbogenluxation stellten sich nach durchschnittlich 94 Tagen (6 bis 368 Tagen) letztmalig vor. Hyvönen et al. fanden keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den klinischen Ergebnissen und der Art der Verletzung (Ellenbogenluxation mit und ohne gleichzeitige Fraktur) (65). Allerdings war die Beobachtungsdauer mit durchschnittlich 15 Wochen (Median vier Wochen, eine Woche bis 109 Wochen) deutlich kürzer als in unserer Studie. Murphy et al. (2017), deren Alterstruktur und durchschnittliche Nachbeobachtungszeit (im Mittel 3,7 Monate) ähnlich der vorliegenden Arbeit waren, erhielten in 90% der Fälle gute bis ausgezeichnete funktionelle Ergebnisse (Bewegungsdefizit <10°). Dabei zeigte sich ein durchschnittlicher Bewegungsumfang von E/F 5°/0°/126°, welcher einer leichten Hyperextension und einem Flexionsdefizit des Ellenbogengelenkes entspricht. Als Risikofaktoren für ein schlechteres klinisches Outcome identifizierten sie das Vorhandensein mehrerer Frakturen, die Notwendigkeit eines operativen Eingriffs, die Dauer der Ruhigstellung sowie das Auftreten von behandlungspflichtigen Komplikationen (66). Bei Lu et al. betrug die Nachbeobachtungszeit im Durchschnitt 5,3 Jahre (1,2 bis 10,1 Jahre) und war damit deutlich länger als in der vorliegenden Arbeit. Allerdings weisen sie die Behandlungsdauer nicht nach isoliert vs. mit Begleitfraktur aus. Das klinische Outcome war ähnlich bei Lu et al.: mit begleitender Fraktur konnten sie im Beobachtungszeitraum zu 80% (48/60) gute bis exzellente Ergebnisse nach dem Mayo Elbow Performance Score (MEPS; Score aus Bewegungsumfang, Schmerz, Stabilität und Funktion des Ellenbogens) erzielen. Bei Patienten mit mehreren Begleitfrakturen (12/21) zeigte sich zu 57% ein gutes bis exzellentes Outcome nach dem MEPS. Lu et al. schlussfolgern daraus, dass das schlechtere Ergebnis bei Ellenbogenluxationen mit multiplen Frakturen durch die Schwere der Verletzung bedingt ist (64).

Zusammenfassend ergibt sich, dass die Behandlungsdauer der isolierten Ellenbogenluxation gegenüber Ellenbogenluxationen mit ossärer Begleitverletzung signifikant kürzer ist. Es besteht somit ein Konsens mit den o. g. Studien darüber, dass die längere Behandlungsdauer bei Ellenbogenluxationen mit ossärer Begleitfraktur aufgrund der Verletzungsschwere und somit dem notwendigen operativen, ggf. invasiveren Vorgehen sowie einer längeren Ruhigstellungsdauer erklärbar ist. Patienten und Eltern sollten dementsprechend aufgeklärt werden. Im Gegensatz zu Murphy et al. bzw. Lu et al. zeigt unsere Studie keine Abhängigkeit der Behandlungsdauer von der Anzahl der Begleitfrakturen. Zudem ergab sich entgegen vergleichender Studien, dass das klinische Outcome der Ellenbogenluxation unabhängig des Vorliegens einer Begleitfraktur gut bzw. sehr gut ist. Eine

multizentrische Folgestudie der pädiatrischen Ellenbogenluxationen inklusive ambulant behandelter Patienten wäre zur Klärung dieser Diskrepanzen sinnvoll.

## 5.6 Diskussion der Olecranonfraktur

Die Olecranonfrakturen wurden nach dem Dislokationsausmaß in drei Kategorien eingeteilt: undisloziert (n=9), Dislokation  $\leq$  2mm (n=11) und  $>$  2mm (n=7). Drei Olecranon-Frakturen konnten bei fehlendem Dislokationsausmaß nicht kategorisiert werden. Die Behandlung am UKH konnte bei fünf der undislozierten Olecranonfrakturen nach durchschnittlich 60 Tagen, bei sechs der  $\leq$  2mm dislozierten im Mittel nach 124 Tagen und bei vier der  $>$  2mm dislozierten Olecranonfrakturen nach 105 Tagen abgeschlossen werden. Die weiteren Patienten mit Olecranonfraktur stellten sich im Durchschnitt nach 117 Tagen (28 bis 386 Tage) letztmalig am UKH vor oder wurden extern weiterbehandelt. Daraus ergibt sich vermeintlich, dass die  $\leq$  2mm dislozierten Olecranonfrakturen die längste Behandlungsdauer haben. Die letzte Vorstellung der drop-outs am UKH erfolgte bei diesen allerdings im Durchschnitt nach 127 Behandlungstagen und bei denen mit  $>$  2mm Dislokation deutlich später mit 238 Tagen.

In der systematischen Übersichtsarbeit von Holme et al. (15 Studien mit einer Nachbeobachtungszeit zwischen zwölf Wochen und 25 Jahren) war die Indikation zur operativen Versorgung ab einer Dislokation von  $\geq$  4 mm gegeben. Mit diesem therapeutischen Vorgehen wurden bei einem jeweiligen Durchschnittsalter zwischen 7,3 bis 13,5 Jahren generell gute bis sehr gute klinische Ergebnisse erzielt (67). Im Gegensatz zur vorliegenden Arbeit würde das bedeuten, dass eine Olecranonfraktur mit einer Dislokation von  $\leq$  4 mm nicht operativ versorgt werden muss. Holme et al. weisen allerdings auch darauf hin, dass das Dislokationsausmaß der Olecranonfraktur aufgrund der Gelenkknorpeldicke und des Ossifikationsstadiums schwierig zu beurteilen ist (67). Caterini et al. untersuchten 39 Patienten mit Olecranonfraktur nach durchschnittlich 24 Jahren (9-34 Jahre). 34 Patienten zeigten ein gutes (volumfängliche Beweglichkeit, keine Schmerzen; undislozierte sowie dislozierte und von weiterer Fraktur begleitete Olecranonfrakturen), zwei ein mittelmäßiges (Bewegungseinschränkung  $\leq$  20°; dislozierte Olecranonfrakturen mit Begleitfraktur) und drei ein schlechtes Outcome (Bewegungseinschränkung  $>$  20° und Schmerzen  $>$  2h täglich;  $>$  2 mm Dislokation, teils mit Begleitfraktur) (68). In der vorliegenden Arbeit ist eine isolierte Betrachtung des klinischen Outcomes der Olecranonfraktur schwierig, da diese in 60% der Fälle in Kombination mit weiteren ossären Verletzungen am Ellenbogengelenk auftrat. 56% der Patienten mit guter bis sehr guter Funktion nach

Flynn waren Kombinationsverletzungen, bei denen mit schlechter Funktion in der letzten ambulanten Vorstellung waren es 75%. Es bestätigt sich wie auch in den o. g. Studien, dass das Vorhandensein einer Begleitfraktur ein negativer Prognosefaktor für das klinische Outcome einer Olecranonfraktur ist (67, 68).

Zusammenfassend korreliert im vorliegenden Patientenkollektiv die Behandlungsdauer nicht mit dem Dislokationsausmaß der Olecranonfraktur. Einschränkend muss allerdings auf das frühe Ausscheiden aus der Nachbeobachtung sowie der Häufigkeit von Kombinationsverletzungen hingewiesen werden.

## 5.7 Diskussion der Fraktur des proximalen Radius

Es wurden 39 Frakturen des proximalen Radius erfasst: 37 Radiushals- und 2 Radiuskopffrakturen. Die Radiushalsfrakturen wurden nach Judet wie folgt eingeteilt: 14 Typ-I-, 3 Typ-II-, 16-Typ-III- und 4 Typ-IV-Verletzungen; nach der AO-Subklassifikation 7 Typ-I-, 21 Typ-II- und 9 Typ-III-Frakturen. Die unterschiedliche Verteilung ergibt sich aus der Definition der Klassifikationen: Typ I nach Judet umfasst im Vergleich zur AO-Subklassifikation neben der Dislokationsbeschreibung („keine Dislokation“) auch den Grad der Fragmentabkippung (keine bis gering). Judet Typ II schließt zusätzlich zu der in der AO-Subklassifikation als Typ-II-Fraktur beschriebenen Verschiebung bis halbe Schaftbreite eine Abkippung des proximalen Radiusfragmentes bis zu 30° ein. Typ III nach AO-Subklassifikation beschreibt lediglich eine Dislokation über halbe Schaftbreite. Im Vergleich dazu definiert Judet für Typ III und IV das Dislokationsausmaß und den Grad der Abkippung präziser.

Sechs Judet-Typ-I-Frakturen wurden geschlossen reponiert und ruhiggestellt, davon fünfmal bei der Versorgung einer Begleitverletzung (Reposition und Retention oder Osteosynthese). Bei drei Judet-Typ-I-Frakturen erfolgte eine Reposition (einmal geschlossen und zweimal offen) mit Osteosynthese: zweimal bestanden zusätzlich eine Ellenbogenluxation und eine Epicondylus-ulnaris-Fraktur (jeweils offene Reposition); eine Radiusfraktur war isoliert aufgetreten.

Betrachtet man die Versorgung und Ergebnisse entsprechend der AO-Klassifikation, ergibt sich folgendes: Vier von sieben Radiushalsfrakturen Typ I wurden konservativ versorgt. Zwei weitere Patienten (jeweils begleitende Epicondylus-ulnaris-Fraktur und einmal zusätzlich Ellenbogenluxation) erhielten nach geschlossener Reposition eine Ruhigstellung. Eine Fraktur (kombiniert mit Ellenbogenluxation und Epicondylus-radialis-Fraktur) wurde offen reponiert und mittels ESIN versorgt. Die Therapien der drei zuletzt beschrieben Fälle einer nicht bzw. kaum dislozierten Radiushalsfraktur ergab sich aus den Begleitverletzungen.

Zehn Typ-II-Frakturen nach AO-Subklassifikation erhielten eine nicht-operative bzw. elf eine operative Versorgung. Im Vergleich dazu wurden von den Typ-II-Frakturen nach Judet zwei reponiert und ruhiggestellt und ein Patient operativ versorgt. Daraus ergibt sich, dass aufgrund der Abkippung des Frakturfragmentes die weiteren Patienten nach Judet einem höheren Schweregrad zugeordnet wurden. In einem Fall einer Judet-Typ-III-Fraktur (begleitet von einer Olecranonfraktur) erfolgte eine rein konservative Therapie und vier Judet-Typ-III-Frakturen wurden reponiert mit anschließender Ruhigstellung. Das klinische Outcome dieser fünf Patienten war wie folgt: zweimal sehr gut, einmal E/F 0°/10°/100° nach 43 Tagen (Wiedervorstellung nicht erfolgt), einmal „geringes Defizit“ und einmal „Bewegungseinschränkung“ (keine erneute Wiedervorstellung nach Abnahme der Ruhigstellung).

Zum einen ergibt sich daraus, dass die Unterteilung der Typen III und IV nach Judet eher eine beschreibende Funktion erfüllt und hinsichtlich der OP-Indikation zusammengeführt werden könnte. Eine Folgestudie diesbezüglich wäre möglich. Zum anderen zeigen o. g. Daten, dass in der AO-Klassifikation zwar die einfache Klassifizierung der Radiushalsfraktur besteht, aber aufgrund der fehlenden Beachtung der Abkippung des proximalen Radiusfragmentes nicht optimal ist, um eine Therapieentscheidung sowie operative Indikation zu stellen. Daher wird am UKH die Judet-Klassifikation weiterhin standardmäßig verwendet und die Typen III und IV zusammengefasst.

Die Radiushalsfrakturen zeigen unabhängig des initialen Dislokationsausmaßes ein sehr gutes klinisches Outcome im Kindesalter im Mittel nach 137 Tagen (22 bis 400 Tage, Median 103 Tage). Lediglich einmal wurde eine schlechte Ellenbogenbeweglichkeit 43 Tage nach dem Unfall dokumentiert; eine geplante ambulante Wiedervorstellung erfolgte nicht.

Die Behandlung der Radiusfrakturen vom Typ I nach Judet konnte nach durchschnittlich 129 Tagen (22 bis 338 Tage), vom Typ II nach 124 Tagen, vom Typ III nach 136 Tagen (26 bis 400 Tage) und Typ IV nach 212 Tagen am UKH abgeschlossen werden. Schmittenbecher et al. (2005) werteten 66 Radiushalsfrakturen innerhalb von drei bis sechs Monaten Nachbeobachtungszeit (länger als bei der vorliegenden Arbeit) aus. Ähnlich unserer Arbeit wiesen 97,2 % (35/36, davon 14 mit Begleitfraktur) der Judet-Typ-I- und -II-Frakturen des Radiushalses (jeweils konservativ therapiert) eine uneingeschränkte Ellenbogenbeweglichkeit auf. In einem Fall bestand eine Bewegungseinschränkung <20°. Die Behandlung der 30 Typ-III- und -IV-Frakturen (14 Patienten mit Begleitfrakturen) war folgende: 25 geschlossene Repositionen, davon anschließend vier Ruhigstellungen und 21 Osteosynthesen mittels ESIN, und 5 offene Repositionen, davon zwei Osteosynthesen mit ESIN und dreimal mit K-Draht

(zusätzlich einmal Ringbandrekonstruktion). Es zeigte sich ab vier Monaten Nachbeobachtungszeit bei 74% eine vollumfängliche Bewegung. Anhand der Ergebnisse von Schmittenbecher et al. ist kein signifikanter Unterschied im Bezug auf die Behandlungsdauer nach Therapieart ersichtlich. Die maximale Nachbeobachtungszeit wurde zudem nicht angegeben. Anhand unserer Daten ergab sich im Gegensatz dazu ein signifikanter Unterschied zwischen der Behandlungsdauer bei konservativer Therapie zu den weiteren Therapiearten. Bewegungseinschränkungen erhoben Schmittenbecher et al. bei acht Patienten: jeweils einmal von <20° bzw. 20°-40° und bei sechs Patienten von >40°. Drei dieser acht Radiushalsfrakturen wurden offen versorgt. Dieses Ergebnis ist trotz etwas längerem Nachuntersuchungszeitraum und annähernd gleicher Rate an offenen Repositionen im Vergleich schlechter als zur vorliegenden Arbeit. Schmittenbecher et al. schlussfolgern, dass eine offene Reposition im Sinne eines Gelenkeingriffes mit Inzision der Gelenkkapsel das Hauptrisiko für Komplikationen darstellt (69). Daher ist aufgrund der besonderen Durchblutungssituation des proximalen metaphysären Radiusfragmentes bei offener Reposition und Osteosynthese und damit verbundener fehlender Schonung der verbleibenden periostalen Verbindungen ein schlechteres Behandlungsergebnis nachvollziehbar (43). Kaiser et al. halten dagegen, dass ein ungünstiges klinisches Ergebnis bei Radiushalsfrakturen abhängig von der Unfallenergie und dem Dislokationsausmaß und nicht von der offenen Reposition ist (70). In der vorliegenden Arbeit wurden sieben Radiushalsfrakturen offen reponiert: zweimal Judet Typ I, zweimal Typ III und dreimal Typ IV. Das klinische Outcome dieser Frakturen war dreimal sehr gut nach Flynn, dreimal wurde „nahezu freie Beweglichkeit“ und einmal nach 79 Tagen Behandlung „Bewegungseinschränkung“ angegeben. Daher zeigte sich nur in einem von sieben Fällen (14%) einer offenen Reposition ein vermeintlich schlechtes Ergebnis ohne Behandlungsabschluss am UKH.

Zusammenfassend ergibt sich, dass die initiale Abkipfung klassifiziert nach Judet bei unseren Patienten nicht mit dem klinischen Outcome korreliert. Eine fortführende multizentrische Studie könnte die Frage, ob das initiale Dislokationsausmaß bzw. die Unfallenergie (angelehnt an Kaiser et al. 2016) oder die Wahl der Therapie (geschlossen vs. offen, wie von Schmittenbecher et al. 2005 angegeben) das klinische Outcome beeinflussen oder ob nicht vielmehr das postoperative Ergebnis entscheidend ist.

## 5.8 Diskussion der Monteggia-Läsion

Die Monteggia-Läsionen wurden in 10 von 16 Fällen geschlossen reponiert und anschließend ruhiggestellt. Sechsmal erfolgte eine geschlossene Reposition und ESIN-Osteosynthese. Es zeigte sich nahezu kein Unterschied in der Behandlungsdauer nach Therapieart: bei geschlossener Reposition und Ruhigstellung betrug die Behandlungsdauer am UKH im Mittel 87 Tage (31 bis 292 Tage, Median 40 Tage), bei operativem Vorgehen im Mittel 90 Tage (26 bis 288 Tage, Median 52,5 Tage).

Ergänzend wurden zur klassischen Monteggia-Läsion (Bado I-III) in drei Fällen Begleitfrakturen wie folgt versorgt: eine zusätzliche Olecranonfraktur mittels offener Reposition und Zuggurtung, eine Radiushalsfraktur (Bado IV) mittels geschlossener Reposition und ESIN-Osteosynthese und in einem Fall einer Bado-Typ-IV-Verletzung (Radiuskopffraktur) zusätzlich eine Y-Fraktur mittels offener Reposition und K-Drähten. 2019 werteten He et al. 42 Monteggia-Frakturen mit einem Follow-up von mindestens einem Jahr aus und somit länger als in der vorliegenden Arbeit; Monteggia-Äquivalente wurden ausgeschlossen. Sie gaben an, dass von 25 „frischen“ Monteggia-Läsionen (Diagnosestellung  $\leq$  2 Wochen nach dem Unfall;  $1,73 \pm 1,7$  Tage nach Unfall, 1 Tag bis 5 Tage) die Ellenbogenfunktion nach dem MEPS bei 21 Patienten sehr gut (84%), in drei Fällen gut (12%) und in einem Fall befriedigend (4%) war. Erneute Luxationen oder Funktionsstörungen des Ellenbogengelenkes traten in dieser Gruppe nicht auf. Von den 17 verspätet diagnostizierten Monteggia-Läsionen (Diagnosestellung  $>$  2 Wochen nach Unfall; Vorstellung  $4,82 \pm 6,27$  Monate nach Unfall, von 1 bis 25 Monate) zeigten sich über sechs Monate nach der Operation anhand des MEPS zehn ausgezeichnete (59%), vier gute (24%) und drei mittelmäßige Ergebnisse (17%). Bei drei Patienten dieser Gruppe ( $3/17 = 17\%$ ) kam es zu wiederholten Radiuskopfluxationen. He et al. schließen aus ihren Ergebnissen, dass die Behandlung der verzögert diagnostizierten Monteggia-Läsionen komplexer ist als die von frischen und dass diese in der Regel mit einem schlechteren klinischen Outcome sowie mit einer höheren Rate wiederkehrender Luxationen und Ellenbogenfunktionsstörungen einhergehen (71). Diese Aussagen können mit den Daten der vorliegenden Arbeit weder bestätigt noch widerlegt werden, da in unserem Patientenkollektiv alle Monteggia-Läsionen innerhalb von acht Tagen nach dem Unfall therapiert wurden. Miller und Fishmann erklärten 2020, dass der Erfolg der Behandlung akuter Monteggia-Frakturen im Wachstumsalter von der frühzeitigen Diagnose und einer stabilen Reposition der Ulnafraktur und des Humeroradialgelenkes abhängt (72). Daher sollte eine möglichst übungsstabile Osteosynthese und Reposition innerhalb weniger Tage

nach dem Unfallereignis der Standard der Behandlung sein, um möglichst optimale Ergebnisse zu erzielen.

## **5.9 Stärken und Limitationen der Studie sowie daraus resultierende Schlussfolgerungen**

Hervorzuheben ist, dass aufgrund des langen Erhebungszeitraumes die vielfältigen knöchernen Verletzungen des wachsenden Ellenbogengelenkes erfasst und ausgewertet werden konnten. Die lange Beobachtungsdauer stärkt die getätigten Aussagen und ist im Vergleich zu anderen Studien mit zeitlich festgelegten Endpunkten ein Vorteil. Die resultierenden Vorschläge zur Vereinfachung der Klassifikation der supracondylären Humerusfrakturen nach von Laer und der Judet-Klassifikation der proximalen Radiusfraktur könnten den klinischen Alltag im Hinblick auf die Therapieentscheidung erleichtern. Zudem können Patienten und deren Angehörige bezogen auf die voraussichtliche Behandlungsdauer je nach Schweregrad und Behandlungsoptionen besser beraten werden.

Als Nachteil der vorliegenden Arbeit erwies sich, dass die Vollständigkeit der Daten vor allem bei den weiter zurückliegenden Fällen nicht gewährleistet war, da zur Analyse lediglich eine nicht standardisierte Dokumentation in Form von Papierakten vorlag. Zusätzlich erschwerten ausgedruckte oder fehlende Röntgenbilder bzw. nicht vorliegende Befunde die Klassifizierung der Frakturen. Die stationäre Patientendokumentation erfolgte am UKH ab 2012 überwiegend digital, sodass die Datenlage ab diesem Zeitpunkt umfangreicher und präziser war. Extern weiterbehandelte Patienten konnten nicht bis zum Behandlungsabschluss verfolgt werden.

Weiterhin zeigte sich, dass die Befunderhebung des klinischen Outcomes (Ellenbogenbeweglichkeit) nicht einheitlich anhand der Neutral-Null-Methode oder Scores erfolgte. Zum Teil waren nur beschreibende Beurteilungen dokumentiert; die Messungen der Pro- und Supination sowie der Ellenbogengelenk-Achse fehlten mehrheitlich. Der „kosmetische“ Aspekt der Flynn-Kriterien konnte somit nicht in die Kategorisierung des klinischen Outcomes einfließen. Die Fragestellungen waren daher rückblickend nur bedingt zu beantworten. Eine standardisierte, softwarebasierte Dokumentation sollte das daraus resultierende zukünftige Ziel sein. Sind Interessen des Patienten und datenschutzrechtliche Fragen adäquat berücksichtigt, wird die digitale Vernetzung von operierender Klinik und Nachbehandlern möglicherweise in Zukunft diese eklatant wichtigen Daten zusammenführen.

Eine erneute standardisierte klinische Nachuntersuchung der Patienten hätte die Aussagekraft der Studie gestärkt. Aufgrund des langen Untersuchungszeitraumes (rund 24 Jahre) wurde sich dagegen entschieden, da dies den Umfang und die Möglichkeiten einer retrospektiven Untersuchung aller Patienten durch eine Person bei weitem überschritten hätte. Unklar war und ist zudem der Einfluss auf das klinische Outcome durch Faktoren wie der sehr variable Zeitpunkt der Nachuntersuchung aufgrund des aktualisierten Patientenalters, die Intensität der erfolgten Nachbetreuung, weitere Unfälle oder Erkrankungen des betroffenen Armes.

Aufgrund der Länge des Untersuchungszeitraumes sind durch die Vielzahl der behandelnden Ärzte Unterschiede in der Versorgungsart und Qualität zu erwarten. Einfluss auf die Behandlung und das klinische Outcome im zeitlichen Verlauf der Studie hatten neben der klinikinternen Kompetenz und Erfahrung auch die Weiterentwicklung der Frakturbehandlung und Änderung der Behandlungskonzepte in der Kindertraumatologie: zunehmende ambulante Behandlung von weniger komplexen Frakturen, kürzerer postoperativer stationärer Aufenthalt, frühere Mobilisation durch verbessertes Schmerztherapieregime, kürzere Ruhigstellungsdauer bzw. der Einsatz von übungsstabilen Osteosynthesen. Da lediglich stationär behandelte Patienten eingeschlossen wurden, kann keine Aussage über die konservativ ambulant behandelten Verletzungen des Ellenbogengelenkes im Wachstumsalter und deren Ergebnisse getroffen werden. Der Einschluss dieses Patientenkollektives zur Signifikanztestung der Behandlungsdauer der jeweiligen Verletzungen und deren Klassifikation hätte ebenso zur Stärkung der Aussagekraft der Studie beitragen können. Diese Entwicklung war jedoch bei Planung der Studie nicht berücksichtigt worden.

Ob eine Korrelation zwischen initialem Dislokationsausmaß und dem klinischen Outcome besteht, konnte bei der supracondylären Humerusfraktur sowie den Frakturen des Condylus radialis und des Epicondylus ulnaris aufgrund der variierenden Zeitpunkte der Befunderhebung sowie einer höheren drop-out-Rate nicht mit Sicherheit analysiert werden. Patienten mit einer befriedigenden bzw. schlechten Ellenbogenbeweglichkeit in der letzten ambulanten Vorstellung am UKH stellten sich nicht erneut vor oder wurden extern weiterbehandelt, sodass kein abschließender Befund erhoben werden konnte.

Trotz der insgesamt großen Patientenzahl wurden etliche Frakturen erfasst, bei denen aufgrund der Seltenheit Signifikanz-Berechnungen der Behandlungsdauer anhand von Kaplan-Meier-Kurven nicht sinnvoll gewesen wären. Es erfolgte daher ein rein deskriptives Vorgehen in der Auswertung. Die Vergleichbarkeit wird zudem durch drop-outs und das Auftreten von kombinierten Verletzungen erschwert, da der Einfluss der

einzelnen Verletzung auf den Heilungsprozess unklar ist. Als weitere Schlussfolgerung müssen – um die Evidenz der Behandlung zu erhöhen – deutlich höhere Fallzahlen durch den Einschluss der ambulant behandelten Patienten ebenso wie die Initiierung von Multi-Center-Studien erreicht werden. Dies betrifft folgende Verletzungen: Y-Frakturen, Condylus-ulnaris-Frakturen, Capitulum-humeri-Frakturen, Epicondylus-radialis-Apophyseolysen, Radiuskopffrakturen, Frakturen des Olecranon und des Processus coronoideus sowie Monteggia-Läsionen. Folgestudien im Multicenter-Kontext könnten anhand größerer Fallzahlen zudem differenziert die Behandlungsdauer der Frakturen in Abhängigkeit der Therapieart innerhalb der Frakturkategorien auswerten.

Die Vergleichbarkeit mit anderen Publikationen ist aufgrund der unterschiedlichen Studienkonzepte nur schwer möglich: in der analysierten Literatur finden sich differente bzw. inhomogene Patientenkollektive sowie different erfasste Frakturen, Fallzahlen, Beobachtungszeiträume, Untersuchungszeitpunkte sowie regional verfügbare Therapien ebenso wie andere Frakturklassifikationen und Scores. Es wurden eigene Definitionen von Komplikationen und andere statistische Tests zur Auswertung verwendet. Unter Einbeziehung eigener Erfahrungen ließe sich somit die Qualität des Studiendesigns erhöhen – als Quintessenz wäre eine evidenzbasierte Mindestdauer der Nachuntersuchung zu definieren.

Insgesamt ist die Vergleichbarkeit der vorliegenden Arbeit aufgrund der angewandten Complete-Cases-Analyse mit anderen Publikationen erschwert. Anhand einer prospektiven, multizentrischen Folgestudie mit definierten Untersuchungszeitpunkten könnte für alle Frakturen anhand größerer Fallzahlen die Korrelation des klinischen Outcomes bzw. der Behandlungsdauer und dem initialen Dislokationsausmaß überprüft werden. Zudem könnte die vorgeschlagene Klassifikation der supracondylären Humerusfraktur (siehe Kapitel 5.1) sowie die vereinfachte Judet-Klassifikation der Radiushalsfrakturen und deren Wert bei der Therapiewahl untersucht werden.

Zusammenfassend zeigten Frakturen und Luxationen im Ellenbogengelenksbereich bei Patienten im Wachstumsalter nach variablen Beobachtungszeiträumen der letztmaligen Untersuchung am UKH eine relativ gute bis sehr gute Prognose im Bezug auf die Ellenbogengelenksfunktion, was auf die Bedeutung der Behandlung dieser komplexen und komplikationsträchtigen Verletzungen in einem Zentrum hinweist. Das breite Spektrum an isolierten und kombinierten ossären Ellenbogengelenksverletzungen stellt die behandelnden Ärzte in diesen Fällen vor besondere Herausforderungen. Das Patientenalter, die Wachstumsphysiologie, das

Korrekturpotenzial und das Dislokationsausmaß der jeweiligen Fraktur müssen stets in die Behandlungsentscheidung einbezogen werden. Patienten und deren Eltern sollten bei komplexen Verletzungsmustern neben den Behandlungsoptionen über die teilweise lange Nachbehandlung aufgeklärt werden.

## **6 Literatur**

1. Kraus R, Wessel L. The treatment of upper limb fractures in children and adolescents. *Dtsch Arztbl Int* 2010; 107(51-52):903–10. doi:10.3238/arztebl.2010.0903.
2. Martini A-K, Assmus H, Wirth CJ. Orthopädie und orthopädische Chirurgie: Ellenbogen, Unterarm, Hand Ellenbogen, Unterarm, Hand : 92 Tabellen. 1. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2003.
3. Marzi I. Kindertraumatologie. 3. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer; 2016.
4. Laer L von, Kraus R, Linhart WE. Frakturen und Luxationen im Wachstumsalter. 6., überarb. und erw. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2013.
5. Ruchholtz S, Wirtz DC. Orthopädie und Unfallchirurgie essentials. 3., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2019.
6. Söhling N, Voth M, Marzi I. Frakturen und Luxationen der oberen Extremität beim Kind. Teil 2. Orthopädie und Unfallchirurgie up2date 2018; 13(04):379–400. doi:10.1055/s-0043-119940.
7. Sobotta J, Paulsen F, Waschke J. Allgemeine Anatomie und Bewegungsapparat. 23. Auflage. München: Elsevier Urban & Fischer; 2010.
8. Aumüller G, Aust G, Conrad A, Engèle J, Kirsch J, Maio G et al. Duale Reihe Anatomie. 5. Auflage. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2020.
9. Schünke M, Schulte E, Schumacher U, Voll M, Wesker KH. PROMETHEUS Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem. 5. Auflage. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2018.
10. Popkin CA, Bayomy AF, Ahmad CS. Early Sport Specialization. *J Am Acad Orthop Surg* 2019; 27(22):e995-e1000. doi:10.5435/JAAOS-D-18-00187.
11. Weise K, Schwab E, Scheufele TM. Ellenbogenverletzungen im Kindesalter. *Unfallchirurg* 1997; 100(4):255–69. doi:10.1007/s001130050117.
12. Landin LA. Epidemiology of children's fractures. *J Pediatr Orthop B* 1997; 6(2):79–83. doi:10.1097/01202412-199704000-00002.
13. Brudvik C, Hove LM. Childhood fractures in Bergen, Norway: Identifying high-risk groups and activities. *J Pediatr Orthop* 2003; 23(5):629–34. doi:10.1097/00004694-200309000-00010.
14. Sananta P, Sintong L, Prasetio B, Putera MA, Andarini S, Kalsum U et al. Elbow Fracture in Children at Saiful Anwar General Hospital, Nine Years Experiences. *Open Access Maced J Med Sci* 2019; 7(23):4069–71. doi:10.3889/oamjms.2019.814.
15. Shanmugam C, Maffulli N. Sports injuries in children. *Br Med Bull* 2008; 86:33–57. doi:10.1093/bmb/ldn001.
16. Slongo TF. The choice of treatment according to the type and location of the fracture and the age of the child. *Injury* 2005; 36 Suppl 1:A12-9. doi:10.1016/j.injury.2004.12.008.

17. Landin LA, Danielsson LG. Elbow fractures in children. An epidemiological analysis of 589 cases. *Acta Orthop Scand* 1986; 57(4):309–12.
18. Matussek J. Kinderorthopädie und Kindertraumatologie. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2013.
19. Gartland JJ. Management of supracondylar fractures of the humerus in children. *Surg Gynecol Obstet* 1959; 109(2):145–54.
20. Baumann E.:Ellbogen. In: Nigst H. Spezielle Frakturen- und Luxationslehre: Ein kurzes Handbuch in fünf Bänden. Band II/1: Ellbogen. Stuttgart: Thieme; 1965.
21. Laer L von, Schneidmüller D, Hell A-K. Frakturen und Luxationen im Wachstumsalter. 7. Auflage. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2020.
22. Kaiser MM, Kamphaus A, Massalme E, Wessel LM. Gekreuzte Kirschner-Draht-Osteosynthese der suprakondylären Humerusfraktur bei Kindern. *Oper Orthop Traumatol* 2008; 20(4-5):297–309. doi:10.1007/s00064-008-1402-z.
23. Rogers LF, Malave S, White H, Tachdjian MO. Plastic bowing, torus and greenstick supracondylar fractures of the humerus: Radiographic clues to obscure fractures of the elbow in children. *Radiology* 1978; 128(1):145–50. doi:10.1148/128.1.145.
24. Kaiser MM. Suprakondyläre und subkapitale Humerusfrakturen. *Trauma Berufskrankh* 2014; 16(S1):68–75. doi:10.1007/s10039-013-2022-x.
25. Mulpuri K, Wilkins K. The treatment of displaced supracondylar humerus fractures: Evidence-based guideline. *J Pediatr Orthop* 2012; 32 Suppl 2:S143-52. doi:10.1097/BPO.0b013e318255b17b.
26. Wang X, Feng C, Wan S, Bian Z, Zhang J, Song M et al. Biomechanical analysis of pinning configurations for a supracondylar humerus fracture with coronal medial obliquity. *Journal of Pediatric Orthopaedics B* 2012; 21(6):495–8. doi:10.1097/BPB.0b013e328355d01f.
27. Abraham E, Gordon A, Abdul-Hadi O. Management of supracondylar fractures of humerus with condylar involvement in children. *J Pediatr Orthop* 2005; 25(6):709–16. doi:10.1097/01.bpo.0000184645.96356.fe.
28. Eberl R, Eder C, Smolle E, Weinberg AM, Hoellwarth ME, Singer G. Iatrogenic ulnar nerve injury after pin fixation and after antegrade nailing of supracondylar humeral fractures in children. *Acta Orthop* 2011; 82(5):606–9. doi:10.3109/17453674.2011.623574.
29. Lacher M, Schaeffer K, Boehm R, Dietz HG. The treatment of supracondylar humeral fractures with elastic stable intramedullary nailing (ESIN) in children. *J Pediatr Orthop* 2011; 31(1):33–8. doi:10.1097/BPO.0b013e3181ff64c0.
30. Weiss JM, Graves S, Yang S, Mendelsohn E, Kay RM, Skaggs DL. A new classification system predictive of complications in surgically treated pediatric humeral lateral condyle fractures. *J Pediatr Orthop* 2009; 29(6):602–5. doi:10.1097/BPO.0b013e3181b2842c.
31. Launay F, Leet AI, Jacopin S, Jouve J-L, Bollini G, Sponseller PD. Lateral humeral condyle fractures in children: A comparison of two approaches to treatment. *J Pediatr Orthop* 2004; 24(4):385–91.

32. Fowles JV, Rizkallah R. Intra-articular injuries of the elbow: Pitfalls of diagnosis and treatment. *Can Med Assoc J* 1976; 114(2):125–31.
33. Rockwood CA, Wilkins KE, Beaty JH. Rockwood and Wilkins' fractures in children. 5. ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2001.
34. Re PR, Waters PM, Hresko T. T-condylar fractures of the distal humerus in children and adolescents. *J Pediatr Orthop* 1999; 19(3):313–8.
35. Rockwood CA, Wilkins KE, Beaty JH. Rockwood and Wilkins' fractures in children. 9th edition. Philadelphia: Wolters Kluwer; 2020.
36. Dietz HG, Illing P, Schmittenbecher PP, Slongo T, Sommerfeldt DW. *Praxis der Kinder- und Jugendtraumatologie*. Berlin, Heidelberg: Springer; 2011.
37. Dubberley JH, Faber KJ, Macdermid, JCOY, Patterson SD, King GJW. Outcome after open reduction and internal fixation of capitellar and trochlear fractures. *J Bone Joint Surg Am* 2006; 88(1):46–54. doi:10.2106/00004623-200601000-00007.
38. Hefti F. *Kinderorthopädie in der Praxis*. 3., vollständig überarbeitete Auflage. Berlin Germany: Springer; 2015.
39. Keßler M: Häufige Frakturen des Ober- und Unterarms bei Kindern und Jugendlichen. *Infoletter Kinderchirurgie* 2007; (03):1–11.
40. Regan W, Morrey B. Fractures of the coronoid process of the ulna. *J Bone Joint Surg Am* 1989; 71(9):1348–54.
41. Müller LP, Hollinger B, Burkhardt KJ. *Expertise Ellenbogen*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2016.
42. Yarar S, Sommerfeldt DW, Gehrmann S, Rueger JM. Stark dislozierte Radiushalsfrakturen nach minimal-invasiver Joystick-Reposition und Prévot-Nagelung: Langzeitverlauf im Kindesalter. *Unfallchirurg* 2007; 110(5):460–6. doi:10.1007/s00113-006-1181-7.
43. Schmittenbecher PP, Menzel C. Frakturen im Kindesalter. In: Weigel B, Nerlich ML. *Praxisbuch Unfallchirurgie*. 2., vollständig überarbeitete und aktualisierte Auflage. Berlin: Springer; 2011. S. 773–825.
44. Bado JL. The Monteggia lesion. *Clin Orthop Relat Res* 1967; 50:71–86.
45. Lincoln TL, Mubarak SJ. "Isolated" traumatic radial-head dislocation. *J Pediatr Orthop* 1994; 14(4):454–7. doi:10.1097/01241398-199407000-00006.
46. Niethard FU, Biberthaler P, Pfeil J. *Orthopädie und Unfallchirurgie*; 2017 [Stand: 22.04.2020]. Verfügbar unter: [https://eref.thieme.de/ebooks/1945504?fromSearch=true#/ebook\\_1945504\\_SL75754859](https://eref.thieme.de/ebooks/1945504?fromSearch=true#/ebook_1945504_SL75754859).
47. Flynn JC, Matthews JG, Benoit RL. Blind pinning of displaced supracondylar fractures of the humerus in children. Sixteen years' experience with long-term follow-up. *J Bone Joint Surg Am* 1974; 56(2):263–72.
48. Tscherne H, Gotzen L. *Fractures with Soft Tissue Injuries*. Berlin, Heidelberg: Springer; 1984.
49. Behdad A, Behdad S, Hosseinpour M. Pediatric elbow fractures in a major trauma center in iran. *Arch Trauma Res* 2013; 1(4):172–5. doi:10.5812/atr.8098.

50. Biruk LW, Admassie D, Banchiamlak A. Fractures around child's elbow-Radiological patterns. *East and Central African Journal of Surgery* 2008; (Vol. 13 No. 2):23–8.
51. Lane P. Handling drop-out in longitudinal clinical trials: A comparison of the LOCF and MMRM approaches. *Pharm Stat* 2008; 7(2):93–106. doi:10.1002/pst.267.
52. S1-Leitlinie 012/014: Suprakondyläre Humerusfraktur beim Kind aktueller Stand: 12/2014 [Stand: 29.01.2017]. Verfügbar unter: [http://www.awmf.org/uploads/tx\\_szleitlinien/012-014I\\_Suprakondyl%C3%A4re\\_Humerusfraktur\\_Kind-2014-12.pdf](http://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/012-014I_Suprakondyl%C3%A4re_Humerusfraktur_Kind-2014-12.pdf).
53. Weinberg AM, Marzi I, Günter SM, Wessel L, Riedel J, Laer L von. Die suprakondyläre Oberarmfraktur im Kindesalter-eine Effizienzstudie. Ergebnisse der multizentrischen Studie der Sektion Kindertraumatologie der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie-Teil I: Epidemiologie, Effektivitätsprüfung und Klassifikation. *Unfallchirurg* 2002; 105(3):208–16. doi:10.1007/s001130100314.
54. Moraleda L, Valencia M, Barco R, González-Moran G. Natural history of unreduced Gartland type-II supracondylar fractures of the humerus in children: A two to thirteen-year follow-up study. *J Bone Joint Surg Am* 2013; 95(1):28–34. doi:10.2106/jbjs.l.00132.
55. Aslan A, Konya MN, Ozdemir A, Yorgancigil H, Maralcan G, Uysal E. Open reduction and pinning for the treatment of Gartland extension type III supracondylar humeral fractures in children. *Strategies Trauma Limb Reconstr* 2014; 9(2):79–88. doi:10.1007/s11751-014-0198-7.
56. Kaewpornsawan K. Comparison between closed reduction with percutaneous pinning and open reduction with pinning in children with closed totally displaced supracondylar humeral fractures: a randomized controlled trial. *Pediatr Orthop B*. 2001; 10(2):131–7.
57. Tan SHS, Dartnell J, Lim AKS, Hui JH. Paediatric lateral condyle fractures: A systematic review. *Arch Orthop Trauma Surg* 2018; 138(6):809–17. doi:10.1007/s00402-018-2920-2.
58. Saris TFF, Eygendaal D, The B, Colaris JW, van Bergen CJA. Lateral Humeral Condyle Fractures in Pediatric Patients. *Children (Basel)* 2023; 10(6):1033:1-12. doi:10.3390/children10061033.
59. Ikwuezunma IA, Suresh KV, Nhan DT, Bryant BR, Kotian RN, Lee RJ. Patient-reported outcomes after operative versus nonoperative treatment of pediatric lateral humeral condyle fractures. *Medicine (Baltimore)* 2021; 100(41):e27440. doi:10.1097/MD.00000000000027440.
60. Ducic S, Stojanovic B, Lazovic M, Bukva B, Radlovic V, Bumbasirevic V et al. T-condylar humerus fracture in children: Treatment options and outcomes. *Int Orthop* 2021; 45(4):1065–70. doi:10.1007/s00264-020-04827-z.
61. S2k-Leitlinie 006/126: Intraartikuläre Frakturen des distalen Humerus im Kindesalter aktueller Stand: 03/2015 [Stand: 06.03.2019]. Verfügbar unter: [https://www.awmf.org/uploads/tx\\_szleitlinien/006-126I\\_S2k\\_Intraartikul%C3%A4re\\_Frakturen\\_distaler\\_Humerus\\_2015-03-verlaengert.pdf](https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/006-126I_S2k_Intraartikul%C3%A4re_Frakturen_distaler_Humerus_2015-03-verlaengert.pdf).

62. Scherer S, Dietzel M, Jordan N, Tsiflikas I, Kirschner HJ, Fuchs J et al. Changes in the management of pediatric medial humeral epicondyle fractures with and without associated elbow dislocation. *Injury* 2021; 52(8):2257–64. doi:10.1016/j.injury.2021.05.041.
63. Louahem DM, Bourelle S, Buscayret F, Mazeau P, Kelly P, Dimeglio A et al. Displaced medial epicondyle fractures of the humerus: Surgical treatment and results. A report of 139 cases. *Arch Orthop Trauma Surg* 2010; 130(5):649–55. doi:10.1007/s00402-009-1009-3.
64. Lu X, Yan G, Lu M, Guo Y. Epidemiologic features and management of elbow dislocation with associated fracture in pediatric population. *Medicine (Baltimore)* 2017; 96(48):e8595. doi:10.1097/MD.0000000000008595.
65. Hyvönen H, Korhonen L, Hannonen J, Serlo W, Sinikumpu J-J. Recent trends in children's elbow dislocation with or without a concomitant fracture. *BMC Musculoskelet Disord* 2019; 20(1):294. doi:10.1186/s12891-019-2651-8.
66. Murphy RF, Vuillermin C, Naqvi M, Miller PE, Bae DS, Shore BJ. Early Outcomes of Pediatric Elbow Dislocation-Risk Factors Associated With Morbidity. *J Pediatr Orthop* 2017; 37(7):440–6. doi:10.1097/BPO.0000000000000676.
67. Holme TJ, Karbowiak M, Arnander M, Gelfer Y. Paediatric olecranon fractures: A systematic review. *EFORT Open Rev* 2020; 5(5):280–8. doi:10.1302/2058-5241.5.190082.
68. Caterini R, Farsetti P, D'Arrigo C, Ippolito E. Fractures of the olecranon in children. Long-term follow-up of 39 cases. *J Pediatr Orthop B* 2002; 11(4):320–8. doi:10.1097/00009957-200210000-00010.
69. Schmittenbecher PP, Haevernick B, Herold A, Knorr P, Schmid E. Treatment Decision, Method of Osteosynthesis, and Outcome in Radial Neck Fractures in Children. *J Pediatr Orthop* 2005; 25(1):45–50. doi:10.1097/00004694-200501000-00011.
70. Kaiser M, Eberl R, Castellani C, Kraus T, Till H, Singer G. Judet type-IV radial neck fractures in children: Comparison of the outcome of fractures with and without bony contact. *Acta Orthop* 2016; 87(5):529–32. doi:10.1080/17453674.2016.1203700.
71. He JP, Hao Y, Shao JF. Comparison of treatment methods for pediatric Monteggia fracture: Met vs missed radial head dislocation. *Medicine (Baltimore)* 2019; 98(2):e13942. doi:10.1097/MD.00000000000013942.
72. Miller TC, Fishman FG. Management of Monteggia Injuries in the Pediatric Patient. *Hand Clin* 2020; 36(4):469–78. doi:10.1016/j.hcl.2020.07.001.

## 7 Thesen

1. Die Klassifikation der supracondylären Humerusfraktur nach von Laer war am ehesten geeignet, im klinischen Alltag eine optimale Therapieentscheidung zu treffen, wobei sie hinsichtlich der Frage konservativ vs. operativ noch vereinfacht werden könnte.
2. Die Behandlungsdauer der supracondylären Humerusfrakturen vom Typ I nach von Laer zeigte in unserem Kollektiv einen signifikanten Unterschied jeweils zu der Behandlungsdauer der Typen III und IV.
3. Die Behandlungsdauer der offen reponierten und mittels Osteosynthese versorgten supracondylären Humerusfrakturen war signifikant länger im Vergleich zu den weiteren Therapiearten.
4. Es bestand ein signifikanter Unterschied der Behandlungsdauer der Condylus-radialis-Fraktur Typ I nach Weiss jeweils zu der Behandlungsdauer der Typen II und III, aber nicht zwischen Typ II und Typ III.
5. Die Behandlungsdauer der offen reponierten und mittels Osteosynthese versorgten Condylus-radialis-Fraktur ist signifikant länger im Vergleich zu den weiteren Therapiearten.
6. Während die Behandlungsdauer der undislozierten zu den dislozierten Epicondylus-ulnaris-Frakturen signifikant unterschiedlich war, traf dies hinsichtlich der Unterscheidung nach von Laer in < 1cm dislozierte bzw.  $\geq 1$  cm dislozierte Epicondylus-ulnaris-Frakturen nicht zu.
7. Die Beweglichkeit am Behandlungsende einer Ellenbogenluxation korrelierte nicht mit dem zeitgleichen Bestehen einer Begleitfraktur, jedoch führte eine Begleitfraktur zu einer signifikant längeren Behandlung.
8. Die Klassifikation nach Judet war im Vergleich zu der AO-Subklassifikation besser geeignet, um bei einer proximalen Radiusfraktur eine Indikation zur konservativen oder operativen Therapie zu stellen.
9. Das initiale Ausmaß der Dislokation und Abkipfung einer proximalen Radiusfraktur korrelierte nicht mit der Beweglichkeit des Ellenbogengelenkes am Behandlungsende.
10. Die Behandlungsdauer der konservativ behandelten Radiushalsfrakturen war signifikant kürzer gegenüber umfangreicherer Therapieformen.

**Erklärungen**

(1) Ich erkläre, dass ich mich an keiner anderen Hochschule einem Promotionsverfahren unterzogen bzw. eine Promotion begonnen habe.

(2) Ich erkläre, die Angaben wahrheitsgemäß gemacht und die wissenschaftliche Arbeit an keiner anderen wissenschaftlichen Einrichtung zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht zu haben.

(3) Ich erkläre an Eides statt, dass ich die Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe. Alle Regeln der guten wissenschaftlichen Praxis wurden eingehalten; es wurden keine anderen als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und die den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht.

Tina Straube

Leipzig, den 16.03.2025

### **Danksagung**

Der größte Dank gebührt meinem Doktorvater Professor Dr. med. Martin M. Kaiser, der die Betreuung dieser Doktorarbeit übernommen hat und mir mit seiner konstruktiven Kritik sowie Anregungen und wertvollen Ratschlägen bei der Fertigstellung geholfen hat.

Großer Dank gilt auch Oberarzt PD Dr. med. habil. Sven Höhne, der mich bei der Themenfindung und Erstellung der Arbeit unterstützt hat und für Fragen zur Seite stand.

Auch möchte ich mich bei Professor Dr. med. Rainer Finke bedanken, der mir die Möglichkeit einer Promotion gegeben hat und die Arbeit zu Beginn begleitete.

Ich danke meinem Ehemann Robert von ganzem Herzen für seine unglaubliche Unterstützung, Motivation und seine unendliche Geduld.

Ich möchte mich bei meinen Eltern Silka und Joachim Adler bedanken, die mich stets motiviert haben und mir meine Ausbildung und meinen Werdegang ermöglicht haben.

Besonderer Dank gilt meiner Tante und meinem Onkel, Brid und Dirk Michaelis, sowie meinen Großeltern, Gudrun und Joachim Neuhof, die immer für mich da waren und mich in jeder Lebenslage unterstützen.