

Aus der Klinik für Unfallchirurgie, Orthopädie und Plastische Chirurgie

(Prof. Dr. med. W. Lehmann)

der Medizinischen Fakultät der Universität Göttingen

# **Distale Humerusfrakturen im Kindes- und Jugendalter**

**Retrospektive Analyse im Rahmen der Qualitätssicherung**

**INAUGURAL-DISSERTATION**

zur Erlangung des Doktorgrades  
der Medizinischen Fakultät der  
Georg-August-Universität zu Göttingen

vorgelegt von

**Jana Philine Kurzbuch**

aus

Kassel

Göttingen 2020

Dekan:	Prof. Dr. med. W. Brück
Referent/in:	Prof. Dr. med. K. Dresing
Ko-Referent/in:	Prof. Dr. med. A.-K. Hell
Drittreferent/in:	Prof. Dr. hum. biol. M. Schön

Datum der mündlichen Prüfung: 21.07.2021

Hiermit erkläre ich, die Dissertation mit dem Titel "Distale Humerusfrakturen im Kindes- und Jugendalter: Retrospektive Analyse im Rahmen der Qualitätssicherung" eigenständig angefertigt und keine anderen als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet zu haben.

Göttingen, den .....  
(Unterschrift)

## Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>III</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>VI</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>VII</b>
<b>1 Einleitung und Fragestellung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Anatomie des distalen Humerus .....	2
1.2 Besonderheiten des distalen Humerus im Wachstumsprozess .....	5
1.3 Kindliche Frakturformen und Frakturheilung .....	5
1.4 Suprakondyläre, epi- und transkondyläre Humerusfrakturen .....	7
1.4.1 Ätiologie und Epidemiologie .....	7
1.4.2 Klinik und Diagnose.....	11
1.4.3 Fraktur-Klassifikation .....	14
1.4.4 Therapieverfahren .....	19
1.4.5 Begleitverletzungen und Komplikationen .....	28
1.4.6 Nachbehandlung und Prognose .....	31
<b>2 Material und Methoden</b> .....	<b>34</b>
2.1 Datenerhebung .....	34
2.1.1 Ein- und Ausschlusskriterien .....	34
2.1.2 Erhobene Daten .....	35
2.2 Datenverarbeitung und statistische Auswertung .....	39
<b>3 Ergebnisse</b> .....	<b>40</b>
3.1 Geschlechts- und Altersverteilung .....	40
3.2 Jahreszeitliche Verteilung .....	46
3.3 Unfalltag, Unfallzeit und klinische Erstvorstellung.....	46
3.4 Unfallort, Unfallhergang und Sturzhöhe .....	50
3.5 Verteilung der Frakturtypen und Frakturlokalisierung .....	55
3.6 Versorgung der suprakondylären Fraktur in der Universitätsmedizin Göttingen .....	58
3.6.1 Aufnahmebefund, Untersuchung und Diagnosestellung .....	58
3.6.2 Begleitverletzungen .....	61
3.6.3 Therapieverfahren .....	62
3.6.3.1 Ambulant vs. stationär .....	62
3.6.3.2 Konservativ vs. operativ .....	65
3.6.3.3 Verfahren .....	68
3.6.4 Osteosynthesematerialentfernung .....	68

---

3.6.5	Funktionelle Beweglichkeit .....	69
3.6.6	Komplikationen.....	69
3.6.7	Weiterbehandlung .....	72
3.6.8	Behandlungsdauer in Göttingen .....	72
3.7	Versorgung der epi- und transkondylären Humerusfrakturen in der Universitätsmedizin Göttingen .....	74
3.7.1	Aufnahmebefund, Untersuchung und Diagnosestellung .....	74
3.7.2	Begleitverletzungen.....	76
3.7.3	Therapieverfahren .....	78
3.7.3.1	Ambulant vs. stationär .....	78
3.7.3.2	Konservativ vs. operativ .....	82
3.7.3.3	Verfahren .....	86
3.7.4	Osteosynthesematerialentfernung .....	88
3.7.5	Funktionelle Beweglichkeit .....	88
3.7.6	Komplikationen.....	89
3.7.7	Weiterbehandlung .....	91
3.7.8	Behandlungsdauer in Göttingen .....	91
<b>4</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>93</b>
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>123</b>
<b>6</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>126</b>
6.1	Fall 186 .....	126
6.2	Fall 193 .....	128
6.3	Fall 269 .....	130
6.4	Fall 189 .....	133
6.5	Fall 301 .....	135
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>137</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Knöchernen Strukturen des Ellenbogengelenkes .....	3
Abbildung 2: Bewegungsausmaß für alltägliche Aktivitäten .....	4
Abbildung 3: Einteilung der suprakondylären Humerusfrakturen mit Hilfe der Rogers-Hilfslinie .....	13
Abbildung 4: AO-Klassifikationssystem für Frakturen der langen Röhrenknochen im Kindesalter .....	15
Abbildung 5: Codes für Knochen, Segmente und Subsegmente für Frakturen der langen Röhrenknochen im Kindesalter .....	16
Abbildung 6: Empfohlener Algorithmus für dislozierte suprakondyläre Humerusfrakturen .....	17
Abbildung 7: AO-Klassifikation von distalen Humerusfrakturen der langen Röhrenknochen im Kindesalter .....	18
Abbildung 8: Fall 186: konventionelles Röntgenbild des rechten Ellenbogens in zwei Ebenen, Diagnose: Frakturtyp I .....	36
Abbildung 9: Fall 193: konventionelles Röntgenbild des rechten Ellenbogens in zwei Ebenen, Diagnose: Frakturtyp II (Extensionsfraktur) .....	36
Abbildung 10: Fall 269: konventionelles Röntgenbild des rechten Ellenbogens in zwei Ebenen, Diagnose: Frakturtyp II (Flexionsfraktur) .....	37
Abbildung 11: Fall 189: konventionelles Röntgenbild des rechten Ellenbogens in zwei Ebenen, Diagnose: Frakturtyp III .....	37
Abbildung 12: Fall 301: konventionelles Röntgenbild des rechten Ellenbogens in zwei Ebenen, Diagnose: Frakturtyp IV .....	38
Abbildung 13: Geschlechtsverteilung supra-, epi- und transkondyläre Humerusfrakturen .....	41
Abbildung 14: Altersverteilung zum Unfallzeitpunkt .....	42
Abbildung 15: Altersverteilung zum Unfallzeitpunkt – suprakondyläre Humerusfrakturen .....	43
Abbildung 16: Altersverteilung zum Unfallzeitpunkt – epikondyläre Humerusfrakturen .....	44
Abbildung 17: Altersverteilung zum Unfallzeitpunkt – transkondyläre Humerusfrakturen .....	44
Abbildung 18: Jahreszeitliche Verteilung .....	46
Abbildung 19: Analyse der Unfallzeit nach Tageszeit .....	48
Abbildung 20: Analyse der Aufnahmezeit nach Tageszeit .....	48
Abbildung 21: Zeitintervall Unfallzeitpunkt – Erstaufnahme .....	49
Abbildung 22: Zeitintervall Erstaufnahme – Operationsbeginn .....	50
Abbildung 23: Unfallort .....	51
Abbildung 24: Unfallhergang nach Altersgruppen bei Mädchen .....	53
Abbildung 25: Unfallhergang nach Altersgruppen bei Jungen .....	54
Abbildung 26: Fraktüreinteilung nach der AO-Klassifikation für Kinder – PCCF .....	55
Abbildung 27: Prozentuale Häufigkeit der suprakondylären Humerusfrakturen .....	56

Abbildung 28: Frakturlokalisierung distale Humerusfrakturen .....	57
Abbildung 29: Anzahl der suprakondylären Frakturen pro Jahr .....	58
Abbildung 30: Stationäre Aufenthaltsdauer im jahreszeitlichen Verlauf $\geq 1$ Tag – suprakondyläre Humerusfrakturen .....	63
Abbildung 31: Verweildauer – suprakondyläre Humerusfrakturen .....	64
Abbildung 32: Altersverteilung konservativ vs. operativ – suprakondyläre Humerusfrakturen .....	65
Abbildung 33: Altersverteilung konservativ vs. operativ – Patientenalter $< 6$ und $> 6$ Jahre.....	66
Abbildung 34: Frakturklassifikation konservativ vs. operativ – suprakondyläre Humerusfrakturen .....	67
Abbildung 35: Komplikationen mit therapeutischer Intervention – suprakondyläre Humerusfrakturen .....	71
Abbildung 36: Anzahl der epikondylären und transkondylären Humerusfrakturen pro Jahr .....	74
Abbildung 37: Stationäre Aufenthaltsdauer im jahreszeitlichen Verlauf – epikondyläre Humerusfrakturen .....	79
Abbildung 38: Stationäre Aufenthaltsdauer im jahreszeitlichen Verlauf – transkondyläre Humerusfrakturen .....	79
Abbildung 39: Verweildauer – epikondyläre Frakturen.....	80
Abbildung 40: Verweildauer – transkondyläre Frakturen .....	81
Abbildung 41: Altersverteilung – epikondyläre Frakturen konservativ vs. operativ .....	83
Abbildung 42: Altersverteilung – transkondyläre Frakturen konservativ vs. operativ ...	83
Abbildung 43: Frakturklassifikation konservativ vs. operativ der epi- und transkondylären Frakturen .....	85
Abbildung 44: Komplikationen der epi- und transkondylären Frakturen mit therapeutischer Intervention .....	90
Abbildung 45: Fall 186: Röntgenbild am Unfalltag .....	126
Abbildung 46: Fall 186: Röntgenbild fünf Tage posttraumatisch .....	127
Abbildung 47: Fall 186: Röntgenbild 25 Tage posttraumatisch .....	127
Abbildung 48: Fall 193: Röntgenbild am Unfalltag .....	128
Abbildung 49: Fall 193: Röntgenbild fünf Tage posttraumatisch .....	129
Abbildung 50: Fall 193: Röntgenbild zwölf Tage posttraumatisch .....	129
Abbildung 51: Fall 193: Röntgenbild 33 Tage posttraumatisch .....	130
Abbildung 52: Fall 269: Röntgenbild vier Tage posttraumatisch .....	131
Abbildung 53: Fall 269: Röntgenbild zwei Tage postoperativ.....	131
Abbildung 54: Fall 269: Röntgenbild 13 Tage postoperativ.....	132
Abbildung 55: Fall 269: Bildwandlerkontrolle 49 Tage postoperativ .....	132
Abbildung 56: Fall 189: Röntgenbild zwei Tage postoperativ.....	133
Abbildung 57: Fall 189: Röntgenbild 22 Tage postoperativ.....	134
Abbildung 58: Fall 189: Bildwandlerkontrolle 68 Tage postoperativ .....	134

---

Abbildung 59: Fall 301: Röntgenbild zwei Tage postoperativ.....	135
Abbildung 60: Fall 301: Röntgenbild 22 Tage postoperativ.....	136
Abbildung 61: Fall 301: Röntgenbild 36 Tage postoperativ.....	136



## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Altersverteilung zum Unfallzeitpunkt .....	42
Tabelle 2: Altersverteilung zum Unfallzeitpunkt – suprakondyläre Humerusfrakturen .....	43
Tabelle 3: Altersverteilung zum Unfallzeitpunkt – epikondyläre Humerusfrakturen .....	44
Tabelle 4: Altersverteilung zum Unfallzeitpunkt – transkondyläre Humerusfrakturen ...	45
Tabelle 5: Patienten mit zweifacher Humerusfraktur.....	45
Tabelle 6: Zeitdifferenz in Tagen – Unfalltag bis klinische Erstvorstellung in Göttingen .....	47
Tabelle 7: Verspäteter Therapiebeginn.....	47
Tabelle 8: Zeitintervall Unfallzeitpunkt – Erstaufnahme .....	49
Tabelle 9: Zeitintervall Erstaufnahme – Operationsbeginn .....	50
Tabelle 10: Unfallhergang nach Geschlecht und Unfallursache .....	51
Tabelle 11: Periphere Durchblutung, Motorik und Sensibilität – suprakondyläre Humerusfrakturen .....	59
Tabelle 12: Schweregrad der Weichteilverletzung der suprakondylären Humerusfrakturen – Klassifikation nach Tscherne und Oestern .....	60
Tabelle 13: Begleitverletzungen der suprakondylären Humerusfrakturen .....	61
Tabelle 14: Verweildauer – suprakondyläre Humerusfrakturen .....	64
Tabelle 15: Übersicht der angewandten Repositionsverfahren – suprakondyläre Humerusfrakturen .....	68
Tabelle 16: Bewertung nach der multizentrischen Effizienzstudie der Sektion Kindertraumatologie der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie .....	69
Tabelle 17: Sensomotorische Komplikationen mit rückläufigem Verlauf .....	70
Tabelle 18: Schweregrad der Weichteilverletzung der epi- und transkondylären Humerusfrakturen – Klassifikation nach Tscherne und Oestern .....	75
Tabelle 19: Begleitverletzungen der epi- und transkondylären Humerusfrakturen .....	77
Tabelle 20: Verweildauer – epikondyläre Frakturen .....	80
Tabelle 21: Verweildauer – transkondyläre Frakturen .....	81
Tabelle 22: Operationsverfahren und Frakturtypen der epikondylären Humerusfrakturen .....	87
Tabelle 23: Operationsverfahren und Frakturtypen der transkondylären Humerusfrakturen .....	87
Tabelle 24: Bewertung bei Therapieabschluss – epi- und transkondyläre Frakturen ...	89

## Abkürzungsverzeichnis

A.	<i>Arteria</i>
AO	Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen
Art.	<i>Articulatio</i>
ESIN	Elastisch stabile intramedulläre Nagelung
K-Drähte	Kirschnerdrähte, Syn. Bohrdrähte
Lig.	<i>Ligamentum</i>
M.	<i>Musculus</i>
N.	<i>Nervus</i>
PACS	<i>Picture Archiving and Communication System</i>
PCCF	<i>Pediatric Comprehensive Classification of Long-Bone Fractures</i>
pDMS	Periphere Durchblutung, Motorik und Sensibilität
SD	Standardabweichung
V.	<i>Vena</i>

## 1 Einleitung und Fragestellung

Die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten einer Fraktur im Kindes- und Jugendalter liegt bei ca. 10-25 % (Landin 1997). Knöcherne Verletzungen kommen in Mitteleuropa durchschnittlich bei 21-25/1000 Kindern pro Jahr vor (Kraus et al. 2005). Laut der *Dunedin Multidisciplinary Health and Development Study* bleibt die Hälfte der Kinder, 60,1 % Mädchen und 49,3 % Jungen, im Wachstumsalter bruchfrei (Jones et al. 2002). In diversen Studien sind Jungen häufiger betroffen als Mädchen, wobei nach Kraus et al. (2005) in jungen Jahren das Geschlechterverhältnis noch annähernd ausgeglichen ist. Das generelle Frakturrisiko steigt bis zum 11.-14. Lebensjahr an und fällt mit dem Eintritt in das Adoleszenzalter. Je nach Frakturlokalisierung und Frakturtyp werden verschiedene Altersgipfel beschrieben (Landin 1983; Landin 1997; Joeris et al. 2014; Kraus et al. 2005; Kamphaus et al. 2014; Brudvik und Hove 2003; Saß et al. 2014). Im Vergleich zu Erwachsenen sind Frakturen im Kindes- und Jugendalter häufiger und betreffen ca. 76-77 % die obere Extremität und lediglich ca. 23-24 % die untere Extremität (Kraus und Wessel 2010; Kamphaus et al. 2014). Von allen Frakturen der langen Röhrenknochen ist der Humerus in ca. 21 % betroffen (Joeris et al. 2014; Kraus et al. 2005; Kraus und Wessel 2010, Kamphaus et al. 2014). Nach den distalen Unterarmfrakturen stellt die distale Humerusfraktur die zweithäufigste Frakturlokalisierung der oberen Extremität dar (Kraus und Wessel 2010). Die Inzidenz von distalen Humerusfrakturen variiert von < 5 % (Landin 1983; Brudvik und Hove 2003) bis ca. 15 % (Kraus et al. 2005; Kraus und Wessel 2010). Laut der Schlichtungsstellen der Deutschen Ärztekammern liegt die Behandlungsfehlerquote von Frakturen im Bereich des Ellenbogengelenkes bei 77 %. Vermeidbar seien vor allem Behandlungsfehler bezüglich der suprakondylären und dislozierten Condylus-radialis-Frakturen in dem auf eine genaue klinische Befunderhebung, eine richtige Beurteilung der radiologischen Befunde, eine adäquate konservative oder operative Frakturversorgung und ausreichende Verlaufskontrollen geachtet wird. Nach Kraus und Wessel (2010) entstehen Behandlungsfehler seltener auf Grund von technischen Mängeln, sondern vielmehr in Folge von Fehleinschätzungen bezüglich der Besonderheiten von Frakturen im Wachstumsalter (Kraus und Wessel 2010). Ziel sollte die Wiederherstellung der anatomischen Verhältnisse mit voller Funktionalität im Ellenbogengelenk sein. Für eine erfolgreiche altersgerechte Behandlung ist die Kenntnis der Anatomie, das Verständnis der Gelenkfunktion, die Besonderheiten des distalen Humerus im Wachstumsprozess und das Erkennen von potenziellen Komplikationen essenziell. Genauso wichtig sind Informationen über die Epidemiologie und Ätiologie, die Erhebung der Anamnese, die

klinische Untersuchung, die radiologische Diagnostik, die Kenntnis der aktuellen Therapiemöglichkeiten und Verfahren sowie die Standards der Nachbehandlung.

Die vorliegende retrospektive Analyse detektiert epidemiologische Daten und veranschaulicht die Diagnose- und Therapiestandards von 278 Patienten mit distalen Humerusfrakturen im Kindes- und Jugendalter. Berücksichtigt wurden konservativ und operativ versorgte Frakturen der Klinik für Unfallchirurgie, Orthopädie und Plastische Chirurgie Göttingen in dem Zeitraum von 2005 bis 2015. Im Folgenden werden epidemiologische Daten präsentiert wie die Alters- und Geschlechtsverteilung, jahreszeitliche Verteilung, Unfallort und Unfallhergang. Anschließend wird die Verteilung der Frakturtypen und die Versorgung der supra-, epi- und transkondylären Humerusfrakturen dargestellt. Die Ergebnisse werden in Bezug zur Literatur evaluiert und dienen als eine Bestandsaufnahme der Frakturversorgung an der Universitätsklinik Göttingen. Der Vergleich mit anderen Publikationen ermöglicht eine kritische Reflexion der bisherigen Behandlungsstandards. Weiterhin können anhand von unseren epidemiologischen Basisdaten ggf. zukünftige Präventionsstrategien überdacht werden. Da die suprakondyläre Humerusfraktur im Kindesalter die häufigste Ellenbogenfraktur und die zweithäufigste Fraktur der oberen Extremität ist (Kraus und Wessel 2010; Dallek et al. 1985; Wessel 1998; Landin und Danielsson 1986), wurde besonders diese in Bezug zur Literatur evaluiert.

## **1.1 Anatomie des distalen Humerus**

Voraussetzung für eine erfolgreiche Behandlung ist die Kenntnis der Anatomie und das Verständnis der Gelenkfunktion (Wegmann et al. 2016). Der Humerus zählt zu den langen Röhrenknochen und besteht aus dem proximalen Caput humeri, metaphysären Corpus humeri und distalen Condylus humeri. Der distale Humerus kann anhand seiner knöchernen Strukturen in den Condylus humeri lateralis/medialis und Epikondylus lateralis/medialis eingeteilt werden. Der Epikondylus medialis dient als Muskelsehnenansatz für die oberflächlichen Flexoren des Unterarmes und den M. pronator teres. Der Epikondylus lateralis dient als Ansatz für die Extensoren und den M. supinator. Die Epikondylen liegen extraartikular. Die Gelenkfläche des distalen Humerus, der Condylus humeri, setzt sich zusammen aus dem Capitulum humeri auf der lateralen und der Trochlea humeri auf der medialen Seite. Das Capitulum humeri artikuliert mit dem proximalen radius und die Trochlea humeri mit der proximalen ulna. Das Ellenbogengelenk, Art. cubiti, setzt sich aus drei Gelenken zusammen: Art. humeroradialis, Art. humeroulnaris und dem proximalen Art. radioulnaris. Die Art.

humeroradialis ist ein Kugelgelenk und besitzt lediglich zwei Freiheitsgrade: Flexion/Extension und Pronation/Supination. Die Art. humeroulnaris ist ein Scharniergelenk, in dem die Extensions- und Flexionsbewegung stattfindet. Bei dem proximalen Art. radioulnaris handelt es sich um ein Zapfengelenk mit Möglichkeit zur Pronation und Supination (Schünke et al. 2011).

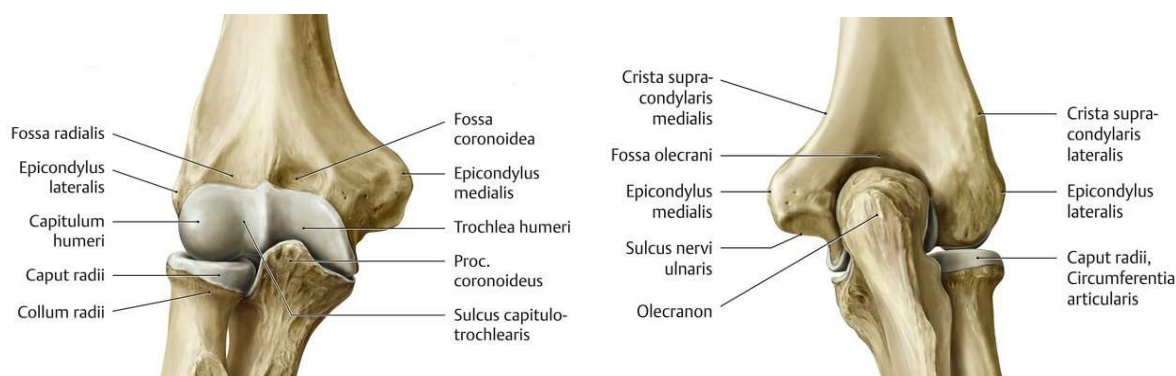


Abbildung 1: Knöchernen Strukturen des Ellenbogengelenkes

(Genehmigung nach § 60c des Urheberrechts-Wissensgesellschafts-Gesetzes, modifiziert, Schünke et al. (2011); S. 276)

Die Stabilität des Ellenbogengelenkes wird durch intakte knöchernen Strukturen und einen funktionierenden Kapsel-Band-Apparat gewährleistet (Wegmann et al. 2016; Letsch et al. 2001; Wenzl et al. 2007). Nach dem Zweisäulenmodell kann der distale Humerus in eine radiale und mediale Säule eingeteilt werden (Letsch et al. 2001). Die Stabilität in der Metaphyse wird vor allem über die radiale und ulnare Säule sichergestellt. Bei Belastung des Ellenbogens in Extensionsstellung erfolgt die Lastverteilung im Verhältnis 3:2 zu Gunsten der radialen Säule (Wenzl et al. 2007). Knöchern stabilisiert insbesondere der Processus coronoideus der proximalen ulnar und verhindert die Dislokation des distalen Humerus (Wenzl et al. 2007; Wegmann et al. 2016). Dem Varus- und Valgusstress wirkt der ventrale Kapselapparat entgegen (Wegmann et al. 2016). Die Gelenkkapsel wird durch das Lig. collaterale laterale, Lig. collaterale mediale und das Lig. annulare verstärkt (Schünke et al. 2011). Das Lig. collaterale laterale verläuft vom Epikondylus lateralis zur lateralen Ulna und ist ein Stabilisator gegenüber Varusbelastungen. Das Lig. collaterale mediale zieht mit dem pars anterior vom Epikondylus ulnaris zum Processus coronoideus und mit der Pars posterior zum Olecranon. Das mediale Seitenband stabilisiert gegenüber Valgusbelastungen (Ball et al. 2002; Letsch et al. 2001). Weiterhin wird das Gelenk durch folgende Muskeln stabilisiert: Mm. triceps und biceps brachii, M. brachialis und M. brachioradialis (Letsch et al. 2001).

Je nach Lokalisation der Fraktur können neurovaskuläre Strukturen geschädigt werden. Topografisch verlaufen die Gefäß- und Nervenbahnen in dem Sulcus bicipitalis medialis, zwischen dem M. biceps brachii und M. triceps brachii sowie in dem Sulcus bicipitalis lateralis, zwischen dem M. biceps brachii und M. brachialis (Wegmann et al. 2016). Der N. medianus verläuft neben der A. brachialis im Sulcus bicipitalis medialis und im Verlauf in der Regio cubiti ventromedial. Der N. ulnaris verläuft dorsal des Epikondylus medialis in dem Sulcus nervi ulnaris und ist besonders durch den direkten Knochenkontakt sowie dem fehlenden Weichteilschutz gefährdet. Der N. radialis verläuft im Sulcus bicipitalis lateralis und im Verlauf ventral des Epikondylus medialis. Die Gefäßversorgung des distalen Humerus erfolgt insbesondere durch Anastomosen, dem Rete articulare cubiti der A. brachialis. Der venöse Abfluss wird vor allem durch die V. brachialis und V. basilica gewährleistet (Letsch et al. 2001; Wegmann et al. 2016).

Das Ellenbogengelenk hat eine physiologische Valgusstellung mit einem durchschnittlichen Kubitalwinkel von ca.  $168^\circ$  (Keats et al. 1966; Paraskevas et al. 2004). Achsabweichungen  $> 15^\circ$  führen zum cubitus valgus und  $< 5^\circ$  zum cubitus varus (Hefti 2015). In der lateralen Ebene ist das Capitulum humeri bei offenen Epiphysenfugen physiologisch um ca.  $30^\circ$  -  $40^\circ$  nach ventral abgekippt (von Laer 1979; Morrey et al. 2018). Der Bewegungsumfang nach der Neutral-Null-Methode ist individuell unterschiedlich. Dieser wird unter anderem durch den knöchernen Kontakt und der Weichteilhemmung limitiert. Ein physiologisches Bewegungsausmaß reicht von  $150^\circ$  Flexion bis  $10^\circ$  Extension, sowie  $90^\circ$  Pronation und Supination (Schünke et al. 2011). Für alltägliche Aktivitäten sind laut Morrey et al. (1981) folgende Bewegungsumfänge ausreichend: Extension/Flexion  $0^\circ/30^\circ/130^\circ$  und Pronation/Supination  $50^\circ/0^\circ/50^\circ$ .

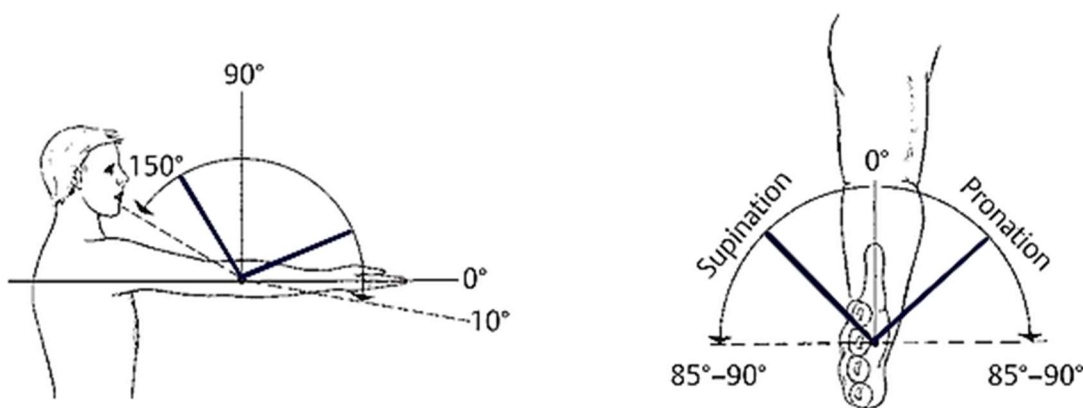


Abbildung 2: Bewegungsausmaß für alltägliche Aktivitäten

(Genehmigung nach § 60c des Urheberrechts-Wissensgesellschafts-Gesetzes, modifiziert, Buckup K und Buckup J (2012); S. 157)

## 1.2 Besonderheiten des distalen Humerus im Wachstumsprozess

Die Kenntnis über die Besonderheiten des distalen Humerus im Kindes- und Jugendalter ermöglicht eine individuelle altersgerechte Therapie. Im Vergleich zu Erwachsenen befindet sich der kindliche Knochen im Wachstumsprozess. Zu unterscheiden sind das Längen- und das Dickenwachstum. Das Dickenwachstum ist durch das periostale/endostale System gewährleistet. Die Wachstumsfuge ist essenziell für das Längenwachstum, welches beim distalen Humerus im Vergleich zu den anderen langen Röhrenkochen mit 20 %igen Anteil eher gering ausfällt. Die Fuge besteht aus einem epiphysären und metaphysären Anteil. Die Proliferation findet im Stratum germinativum im epiphysären Anteil der Fuge statt, wohingegen die Mineralisation/Verknöcherung im metaphysären Anteil erfolgt. Der Fugenschluss ist individuell unterschiedlich und unter anderem vom Geschlecht abhängig. Bei Mädchen verschließen die Fugen früher. Vor allem bis zum 10.-12. Lebensjahr findet das Wachstum statt, im Alter von 16 Jahren schließt sich die Fuge und das Längenwachstum des distalen Humerus sollte abgeschlossen sein (von Laer 2016). Bei der Therapie von distalen Humerusfrakturen im Wachstumsprozess ist das Patientenalter, die Lokalisation der Fraktur mit eventueller Beteiligung der Epiphysenfuge, die Achsabweichung und funktionelle Belastung zu berücksichtigen. Durch die geringe Beteiligung der distalen Wachstumsfuge am Wachstumsprozess spielen Spontankorrekturen eine eher untergeordnete Rolle. Achsabweichungen in der Sagittalebene können nur bedingt korrigiert werden (Breitfuss et al. 2006). Bis zu einem Alter von sechs Jahren kann eine Antekurvatur, respektive Rekurvatur von ca. 20 ° ausgeglichen werden. Die dislozierte suprakondyläre Humerusfraktur ist bis zum fünften/sechsten Lebensjahr mit einer Antekurvaturstellung von ca. 20 ° - 30 ° in der Sagittalebene akzeptabel, da die Achsabweichung in der Hauptbewegungsebene liegt. Achsabweichungen in der Frontalebene mit Valgus- und Varusdeformität werden schlechter korrigiert, akzeptabel belassen werden können diese mit bis zu ca. 10 ° Abweichung. Bei älteren Patienten ist keine Achsabweichung tolerabel (von Laer et al. 2007; von Laer 1979). Bei Rotationsfehlstellungen ist das Korrekturpotential begrenzt (Breitfuss et al. 2006; von Laer et al. 2007).

## 1.3 Kindliche Frakturformen und Frakturheilung

Frakturen können Folge eines adäquaten direkten oder indirekten Traumas sein. Dabei entsteht die direkte Fraktur am Ort der Gewalteinwirkung, die indirekte durch eine frakturferne Gewalteinwirkung. Andere für die Datenanalyse irrelevante Ursachen sind nicht traumatische respektive pathologische- und Ermüdungsfrakturen. Je nach Art der

Krafteinwirkung gibt es unterschiedliche Bruchformen und Entstehungsmechanismen, auf die bei den einzelnen Frakturen im nächsten Unterpunkt eingegangen wird (Pschyrembel 2012).

Die Reposition und Stabilisierung der Fraktur sowie eine ausreichende Durchblutung und Ruhigstellung bilden das Fundament für eine optimale Frakturheilung (Schünke et al. 2011). Kinder haben im Vergleich zu Erwachsenen ein dickes, stabiles und gut vaskularisiertes Periost sowie einen schnelleren Heilungsprozess (Wilkins 2005, Schünke et al. 2011). Je nach Wahl des Repositionsverfahrens kommt es zur direkten/primären oder indirekten/sekundären Frakturheilung (Dresing 2011). Bei Kindern erfolgt die Knochenbruchheilung fast ausschließlich sekundär über eine Kallusbildung (von Laer 2016). Dabei kommt es zur enchondralen Ossifikation, wobei vier Frakturheilungsstufen unterschieden werden können. In der ersten Phase, der Entzündungsphase entsteht ein Frakturhämatom mit Granulozyten, Makrophagen und Mastzellen. Es kommt zur Einsprossung von Kapillaren, Gefäßerweiterung und zur Hyperthermie. Diese Phase dauert ca. zwei bis drei Tage an. Anschließend kommt es zur Reparations-/Granulationsphase, die ca. drei bis vier Wochen fortwährt. Durch Einwandern von pluripotenten mesenchymalen Stammzellen kommt es zur Entstehung von Granulationsgewebe mit Fibroblasten, Kollagenfasern und Kapillaren: Es bildet sich zunächst ein weicher Kallus (Fixations-/fibrokartilaginärer Kallus). In der dritten Phase kommt es zur Kallushärtung, wobei der entstandene Knorpel durch Mineralisationsvorgänge in Geflechtknochen umgewandelt wird. Nach ca. sechs bis zwölf Wochen entsteht ein knöcherner Kallus. In der letzten Phase wird der Geflechtknochen zu Lamellenknochen differenziert und an die mechanisch funktionelle Beanspruchung angepasst. Das Remodeling, der Knochenumbau durch die Druck- und Zugkräfte, kann Monate oder Jahre andauern. Die Knochenheilung ist bei Wiederherstellung des medullären Knochenkanals abgeschlossen (Dresing 2011; Schünke et al. 2011; Wilkins 2005). Nach von Laer (2016) dauert die Konsolidation des Frakturspaltes beim distalen Humerus ca. drei bis vier Wochen und die komplette Restitution mit guter Bewegungs- und Belastungsstabilität Monate oder Jahre, vor allem bei bestehen einer Achsdeviation mit Spontankorrektur (von Laer 2016). Bei der seltenen primären Frakturheilung kommt es durch desmale Ossifikation zur direkten Neubildung von lamellären Knochen. Dabei überbrücken Osteone den Frakturspalt und stabilisieren diesen direkt, es wird kein Kallus gebildet. Voraussetzung ist ein Frakturspalt  $< 0,5$  mm (Spaltheilung) oder eine absolute Stabilität, die durch eine operative osteosynthetische Versorgung sichergestellt wird (Kontaktheilung). Die Frakturheilung dauert ca. sechs bis zwölf Wochen (Dresing 2011; Schünke et al. 2011). Unterschiedliche Faktoren können die



Frakturheilung beeinflussen. Leichte Bewegungen und Dehnungen können die Gewebedifferenzierung fördern, wohingegen Gewebsschäden und eine nicht ausreichende Durchblutung zur verzögerten Frakturheilung führen können (Dresing 2011). Bleibt die Konsolidierung teilweise (sechs bis acht Wochen) oder vollständig (> sechs Monate) aus, kann es zur Pseudarthrose und Störung des Dickenwachstums kommen. Möglich ist dies bei konservativ versorgten dislozierten instabilen Condylus radialis und selten bei epikondylären Frakturen. Die Folge bei der Condylus-radialis-Fraktur ist eine Gelenkdeformität und klinische Beschwerden, die nur noch bedingt verbessert werden können. Es kommt zur Fragmentdeformation, Dislokation nach dorsoradial oder proximal radial mit möglicher Valgisierung und Ulnarisirritation (Gogola 2006, von Laer et al. 2007). Ursachen für Pseudarthrosen sind eine fehlende achs-gerechte Fragmentstabilisierung oder instabile Osteosynthesen mit Bewegung der Fraktarenden, zu große Fragmentdehiszenz mit Verhinderung der Brückenbildung sowie Frakturen mit Weichteilschaden (Dresing 2011). Pseudarthrosen im Kindes- und Jugendalter sind ein seltenes Ereignis (Wilkins 2005).

## **1.4 Suprakondyläre, epi- und transkondyläre Humerusfrakturen**

### **1.4.1 Ätiologie und Epidemiologie**

Es werden verschiedene Einflüsse auf die höhere Inzidenz von knöchernen Verletzungen im Wachstumsalter diskutiert, wie z. B. die anatomischen Eigenschaften oder eine höhere Unfallgefährdung durch das bei Kindern und Jugendlichen bedingte Risikoverhalten und Gefahrenbewusstsein (Richter et al. 2006; Kraus und Wessel 2010). Im Vergleich zu anderen EU-Ländern existiert in Deutschland keine systematische Erfassung von Unfallverletzungen mit Angaben zum Unfallort, -art und -mechanismus (Saß et al. 2014; Ellsäßer und Diepgen 2002). Da das Sturzereignis ein häufiger Verletzungsmechanismus ist, führten Ellsäßer und Diepgen eine epidemiologische Studie von Sturzunfällen im Kindes- und Jugendalter durch. Demnach ereignen sich schätzungsweise 700.000 Sturzereignisse pro Jahr in Deutschland, die eine ärztliche Behandlung notwendig machen. In allen Altersgruppen sind nicht ebenerdige Stürze mit ca. 14 % ein seltenes Ereignis im Vergleich zu ebenerdigen Stürzen. Sturzursachen sind häufig unebene Untergründe, fehlende Erfahrung, Überforderung und Ereignisse mit hohen Beschleunigungen bzw. Geschwindigkeiten. Je nach Alter ereignet sich das Sturzereignis zu Hause, während der Freizeitaktivitäten oder in öffentlichen Einrichtungen (Kindergarten, Schule). Im Säuglings- und Kleinkindalter (< fünf Jahre) ist der typische Unfallort zu Hause mit Sturz vom Wickeltisch, Bett / Hochbett, Stuhl / Hochstuhl, Tisch oder von der Treppe. Im

Kleinkindalter kommt der Spielplatz als Unfallort hinzu, mit Sturz vom Klettergerüst, von der Rutsche oder Schaukel. Im Schulalter (5-14 Jahre) verlagert sich der Unfallort in den Schulalltag oder in den Freizeitbereich. Sturzunfälle ereignen sich beim Sport, Spielen und/oder Benutzen von Geräten im Bereich Fahren, Rollen, Gleiten (z. B. Fahrradfahren, Inline Skaten, Skateboarden etc.) oder in der freien Natur (z. B. Sturz vom Zaun, von der Mauer, vom Baum etc.) (Ellsäßer und Diepgen 2002). In der Schweiz führten Joeris et al. (2014) eine epidemiologische Studie mit insgesamt 2716 Kindern mit Frakturen an den langen Röhrenknochen durch. Demnach war ein Sturzereignis mit 27 % die häufigste Ursache für Frakturen der langen Röhrenknochen. In 21 % erfolgte der Sturz aus einer Höhe von mehr als einem Meter, in 57 % von weniger als einem Meter. Unfälle in der Freizeit machten einen Anteil von 25 % aus, gefolgt von Haus- (14 %), Spielplatz- (11 %), Straßenverkehrs- (11 %) und Schulunfällen (8 %). Bei den Unfällen, die sich in der Freizeit ereigneten, war das Fußballspielen mit 26 % der häufigste Grund. Auf dem Spielplatz verunfallten die Kinder in 32 % beim Schaukeln, in 29 % beim Rutschen und in 22 % beim Trampolinspringen (Joeris et al. 2014). In der multizentrischen Studie von Kraus et al. (2005) war der Sport die häufigste Ursache für eine Fraktur an den langen Röhrenknochen, gefolgt von Haus- und Spielplatzunfällen. Bei distalen Humerusfrakturen verletzen sich die Kleinkinder vor allem auf dem Spielplatz (Kraus et al. 2005). Das Auftreten von Frakturen variiert mit den Jahreszeiten. Landin (1983) beschreibt Höchstwerte im Mai und August, wohingegen im Juli und Dezember weniger Unfälle passierten.

Im Wachstumsalter treten Ellenbogenverletzungen in 7-15 % auf, wobei der distale Humerus in ca. 85-86 % betroffen ist (Shrader 2008; Wessel 1998). In 55-70 % handelt es sich um eine extraartikuläre **suprakondyläre Humerusfraktur**, die häufigste Ellenbogenfraktur im Kindes- und Jugendalter (Dallek et al. 1985; Wessel 1998; Landin und Danielsson 1986), mit einer Gesamtinzidenz von 3 % (Zorrilla S. de Neira et al. 2015) bis 7 % (Fernandez und Eberhardt 2012) angesichts aller pädiatrischen Frakturen. Nach der aktuellen Leitlinie der deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie liegt die Inzidenz der suprakondylären Humerusfrakturen bei 4,5-6,5 %, basierend auf der Literatur von Hanlon und Estes (1954) sowie Landin und Danielsson (1986) (S1-Leitlinie 2014). Die suprakondyläre Humerusfraktur tritt im ersten Lebensjahrzehnt auf, typischerweise im Alter von drei bis zehn Jahren, wobei der Altersgipfel je nach Literatur um das 5.-7. Lebensjahr liegt (Shrader 2008; Fernandez und Eberhardt 2012; Omid et al. 2008). Das Durchschnittsalter liegt bei ca. sechs Jahren (Weinberg et al. 2002; Barr 2014; Houshian et al. 2001). Jungen verletzen sich öfter als Mädchen (Weinberg et al.

2002; Barr 2014; Landin und Danielsson 1986). Nach Weinberg et al. (2002) und Barr (2014) sind 53 % Jungen betroffen. Die Frakturlinie der suprakondylären Humerusfraktur liegt metaphysär oberhalb der Epiphysenlinie des distalen Humerus, das Gelenk oder die Fuge ist nicht betroffen (Wessel 1998). Der häufigste Unfallmechanismus ist ein Sturz auf den ausgestreckten Arm. Dabei kommt es zu einer Hyperextension im Ellenbogengelenk mit vertikaler Krafteinwirkung, es entsteht eine Extensionsfraktur (97-99 %) (John et al. 1996, Zorrilla S. de Neira et al. 2015). Nach Wessel (1998) und Fernandez et al. (2016) entsteht diese Fraktur an der physiologisch anatomischen Schwachstelle, am distalen Humerus suprakondylär. Bei der Extensionsfraktur verläuft die Frakturlinie von proximal dorsal nach distal ventral, es kommt zu einer Antekurvationsfehlstellung ggf. mit Rotationsabweichung und ventralem Fraktursporn. Bei einem Sturz auf den in Flexion befindlichen Ellenbogen entsteht die seltene Flexionsfraktur (2 %). Die Frakturlinie verläuft von proximal ventral nach distal dorsal, es kommt zu einer Rekurvationsfehlstellung ggf. mit Rotationsabweichung und dorsalem Fraktursporn (S1-Leitlinie 2014; Weinberg und Castellani 2006). Laut Fernandez und Eberhardt treten die Frakturen in ca. 60 % am nicht dominanten Arm auf, da dieser häufiger zum Schutz eingesetzt wird (Farnsworth et al. 1998; Fernandez und Eberhardt 2012). Bei Frakturen der oberen Extremität ist nach Landin (1983) die linke Seite am häufigsten betroffen.

Ebenfalls zu den extraartikulären distalen Humerusfrakturen gehören die epikondylären Frakturen, zu denen die **Epikondylus-radialis- und Epikondylus-ulnaris-Fraktur** zählen. Die Inzidenz angesichts aller pädiatrischen Frakturen liegt bei ca. 1,3 % (von Laer et al. 2007). Die epikondylären Frakturen repräsentieren 7,9-12,5 % der distalen Humerusfrakturen im Kindes- und Jugendalter (Kraus et al. 2005; Landin und Danielsson 1986; Wessel 1998; Pathy und Dodwell 2015) und treten typischerweise im zweiten Lebensjahrzehnt auf (Stans und Lawrence 2015). Das Durchschnittsalter liegt je nach Literatur bei 11,3-13,7 Jahren. In diversen Studien sind Jungen häufiger betroffen als Mädchen (Smith et al. 2010; Louahem et al. 2010; Fowles et al. 1990; Haxhija et al. 2006; Lee et al. 2005). Bei über 90 % handelt es sich um eine Epikondylus-ulnaris-Fraktur (Ulrich und Marzi 2016). Der häufigste Unfallmechanismus ist ein Sturz auf den ausgetreckten Arm, wobei es durch Valgusstress, ggf. auf Grund einer Ellenbogenluxation, zu einem metaphysären Apophysenabriss kommt (Ferlic et al. 2012; Nuber et al. 2018). Die Fraktur tritt häufig in Kombination mit einer Ellenbogenluxation (75 %) auf, die jedoch in 25 % bei Diagnosestellung aufgrund einer Spontanreposition nicht mehr sichtbar ist. Lediglich in 25 % der Fälle treten isolierte

Frakturen auf (von Laer et al. 2007). Der Anstieg von epi- und auch transkondylären Humerusfrakturen im Wachstumsalter ist durch den protrahierten Fugenschluss bedingt, da bei geschlossener Fuge die gelenkprotektive „Sollbruchstelle“ wegfällt (Kraus et al. 2005). Anstatt einer suprakondylären Humerusfraktur werden auf Grund der veränderten Bandstabilität und größeren Festigkeit des Knochens Ellenbogenluxationen begünstigt (Ulrich und Marzi 2016; von Laer et al. 2007).

Zu den intraartikulären distalen Humerusfrakturen gehören die transkondylären Frakturen, zu denen die **Fraktur des Condylus radialis, Condylus ulnaris und die bikondylären T-/Y-Frakturen** zählen. Es handelt sich um die häufigste Gelenkfraktur im Kindes- und Jugendalter, die 10-20 % der Ellenbogenfrakturen ausmachen und mit einer Gesamtinzidenz von 1,8-2 % angesichts aller pädiatrischen Frakturen auftreten (von Laer et al. 2007; S2k-Leitlinie 2015). Nach der suprakondylären Humerusfraktur ist die **Condylus-radialis-Fraktur** die zweithäufigste Ellenbogenfraktur (Cates und Mehlman 2012; Tejwani et al. 2011) und einer der häufigsten Gelenkfrakturen im Wachstumsalter (von Laer 1998). Die Frakturen repräsentieren 12-20 % der distalen Humerusfrakturen im Kindes- und Jugendalter (Landin und Danielsson 1986; Wessel 1998; Beaty et al. 2006; Tejwani et al. 2011) und treten durchschnittlich im Alter von sechs Jahren (Launay et al. 2004; Sawyer und Beaty 2015), im Median im sechsten Lebensjahr auf (Ayubi et al. 2010; Pirker et al. 2005). Nach der aktuellen Leitlinie der deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie liegt der Altersgipfel im 4.-5. Lebensjahr (S2k-Leitlinie 2015). Jungen sind häufiger betroffen als Mädchen (Ayubi et al. 2010; Pirker et al. 2005; Launay et al. 2004). Bezüglich des Unfallmechanismus gibt es unterschiedliche Annahmen (Weise et al. 1997). Bei allen transkondylären Frakturen sind meist Stürze auf den ausgetreckten Arm oder ein direkter Sturz auf den Ellenbogen die Ursache (Nuber et al. 2018). Die Condylus-radialis-Fraktur kann einerseits durch Muskelzug der Extensoren und andererseits durch lokalen Druck entstehen (Müller 2005). Laut Jakob et. al. (1975) kommt es meist zu einem Sturz auf den ausgestreckten Arm, wobei die Fraktur durch starke varisierende Krafteinwirkung ausgelöst wird. Die Frakturlinie der transkondylären Frakturen verlaufen epi- und metaphysär, somit ist die Fuge mitbetroffen (Nuber et al. 2018). Die **Condylus-ulnaris-Frakturen** sind seltene Frakturen mit einem Anteil von < 1 % (Wessel 1998) bis 2 % (Bensahel et al. 1986) der Ellenbogenfrakturen im Kindes- und Jugendalter. Das Durchschnittsalter liegt zwischen 4,7 und 9,5 Jahren. Jungen sind häufiger betroffen als Mädchen (Fernandez et al. 2018; Leet et al. 2002; Bensahel et al. 1986; Papavasiliou et al. 1987). Es wird angenommen, dass die Condylus-ulnaris-Fraktur durch eine valgisierende Krafteinwirkung auf den

ausgestreckten Arm ausgelöst wird, wobei durch Muskelzug der Flexoren sowie des medialen Kollateralbandes Druck auf den Condylus ausgeübt wird (Fowles und Kassab 1980). Ebenfalls selten ist die **T-Y-Fraktur**, die weniger als 1 % der Ellenbogenfrakturen ausmachen (Wessel 1998, Landin und Danielsson 1986) und durchschnittlich im Alter von 12,5-14 Jahren auftreten (Ducic et al. 2014; Julfiqar et al. 2013). Nach der aktuellen Leitlinie der deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie treten die Frakturen im Alter von 9-16 Jahren auf, bei einem Altersgipfel im 15. Lebensjahr (S2k-Leitlinie 2015). Jungen sind häufiger betroffen als Mädchen (Re et al. 1999; Julfiqar et al. 2013; Ducic et al. 2014). Die Ursache ist häufig ein Sturz auf den gebeugten Ellbogen oder ein direkter Schlag (Popkin et al. 2017; Julfiqar et al. 2013). Die Frakturlinie verläuft nach proximal und trennt die mediale und laterale Knochensäule des distalen Humerus. Es handelt sich um eine fugenkreuzende Gelenkfraktur mit Beteiligung der Metaphyse (Shore und Waters 2015).

#### 1.4.2 Klinik und Diagnose

Zunächst erfolgt eine **Anamnese** bezüglich des Unfallhergangs mit der Frage nach einem adäquaten Trauma als Frakturursache. Eruiert werden soll die mögliche Frakturlokalisierung, die Schmerzlokalisierung sowie das Ausmaß der Schmerzen und mögliche Begleitverletzungen. Es ist zu beachten, dass der Unfallmechanismus im Vergleich zum Erwachsenen eine eher untergeordnete Rolle spielt. Viel wichtiger für die Art der Läsion ist der Reifezustand des Skeletts respektive der Epiphysenfugen. Eine zu gründliche Anamnese lässt die Kinder mit ihren Eltern nur ungeduldig und unzufrieden werden (von Laer et al. 2012).

Im Anschluss erfolgt die **körperliche Untersuchung** mit Beginn der Inspektion. Diese ist von besonderer Bedeutung, da die körperliche Untersuchung bei Kindern schonend, möglichst schmerzfrei und auf ein Minimum beschränkt werden sollte (Müller-Mai et al. 2006). Inspektorisch sollte unter anderem auf Schwellungen, Hämatome, Deformierungen und Asymmetrien im Vergleich zur Gegenseite geachtet werden (von Laer et al. 2012). Als unsichere Frakturzeichen gelten Schwellungen, Hämatome, Schmerzen und eine aufgehobene oder eingeschränkte Funktion. Sichere Frakturzeichen sind Fehlstellung, abnorme Beweglichkeit, Krepitation und sichtbare Knochenfragmente (Pschyrembel 2012). Eine klinisch-manuelle Diagnostik mit Testung der Frakturzeichen wie abnorme Beweglichkeit und Krepitation ist schmerzhaft, ineffizient und somit zu unterlassen. Die Kontrolle der peripheren Durchblutung, Motorik und Sensibilität

(pDMS) ist jedoch unverzichtbar und dient der primären Orientierung (von Laer et al. 2012).

Die suprakondyläre Humerusfraktur präsentiert sich üblicherweise mit einer Schwellung und Deformierung sowie Bewegungseinschränkung. Es können vor allem Nervenläsionen am N. medianus gefolgt von N. radialis- und N. ulnaris-Läsionen auftreten. Bei Störung der Durchblutung ist in den meisten Fällen die A. brachialis betroffen (Weinberg et al. 2008). Dies liegt daran, dass bei der häufig vorkommenden Extensionsfraktur der N. medianus und die A. brachialis durch die direkte Fragmenteinwirkung, das Abkippen des proximalen Frakturfragmentes nach ventral, geschädigt werden können (Letsch et al. 2001; Wegmann et al. 2016). Bei den epikondylären Humerusfrakturen kommt es häufig zu einer Bewegungseinschränkung in Kombination mit einem Hämarthros. Möglich ist auch eine Schwellung ohne Einschränkung der Beweglichkeit. Bei Dislokation oder Rotation der Frakturfragmente kann es zu einer Blockierung der Extension und Flexion kommen (Weinberg et al. 2008). Die transkondylären Humerusfrakturen präsentieren sich meistens mit einer lateral betonten Schwellung, lokalisierten Einblutung in die Weichteile, Gelenkerguss und Einschränkung der Beweglichkeit (S2k-Leitlinie 2015).

Ein gängiges und standardisiertes **bildgebendes Verfahren** ist die konventionelle Röntgenaufnahme des Ellenbogens in zwei Ebenen (Kraus et al. 2007). Eine exakte a. p. Aufnahme in Extensionsstellung sowie eine Aufnahme in 90 ° Flexionsstellung des Ellenbogengelenkes kann schwierig sein (Wenzl et al. 2007). Nichtachsengerechte Aufnahmen können häufig zu einer Fehleinschätzung eines möglichen Rotationsfehlers führen (Gercek et al. 2015). Bei klinisch sichtbarer Dislokation genügt eine Übersichtsaufnahme für die Diagnosestellung und Therapieentscheidung. Die zweite Ebene muss präoperativ nicht erzwungen werden, kann intraoperativ in Narkose nachgeholt werden. Das Röntgen der Gegenseite ist obsolet (von Laer et al. 2012; Kraus et al. 2007). Bei der Beurteilung der Röntgenbilder mit Augenmerk auf eine distale Humerusfraktur ist zu beachten, dass je nach Alter und Geschlecht der Patienten Ossifikationszentren oft multifokal vorkommen und nicht mit Ausrissfrakturen oder freien Gelenkkörpern zu verwechseln sind (von Laer et al. 2012). Ist auf der konventionellen Röntgenaufnahme keine genaue Frakturlinie sichtbar, kann das sogenannte anteriore oder posteriore *fat pad sign* ein radiologischer Hinweis auf eine (okkulte) Fraktur sein (Hasler 2001; Gercek et al. 2015). Die Sensitivität für das Bestehen einer Fraktur bei Vorliegen eines Fettpolsterzeichen liegt bei ca. 75 % (Shrader 2008). Dabei kommt es zu einer

Abhebung des intrakapsulären Fettpolsters, als Hinweis auf einen Gelenkerguss respektive Hämarthros (Hasler 2001; Jakob et al. 2013).

Die anteriore Humeruslinie ist eine adäquate Hilfe zur Detektion und Dislokationsbeurteilung einer suprakondylären Humerusfraktur. Mit einer Markierungslinie entlang der vorderen Humeruskortikalis, der sogenannten Rogers-Hilfslinie, ist die Unterscheidung zwischen einer Extensions- und Flexionsfehlstellung möglich (Rogers et al. 1978; von Laer et al. 2012).

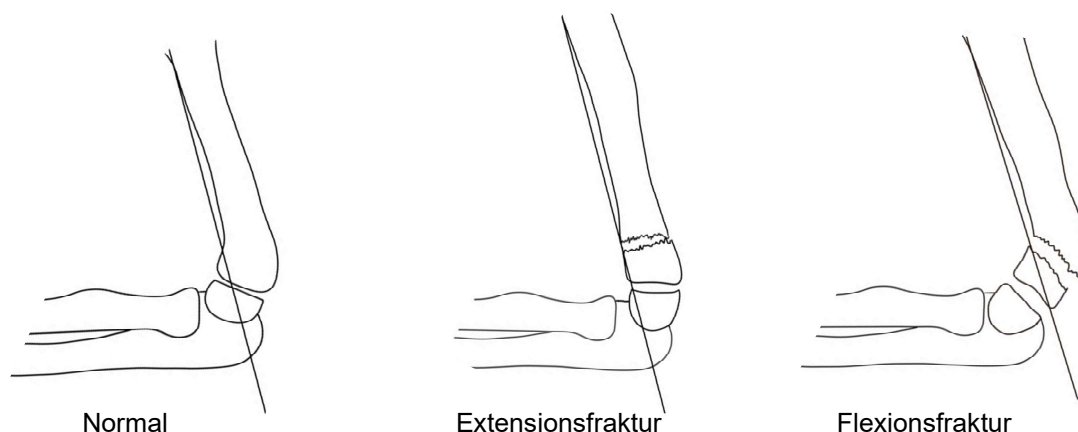


Abbildung 3: Einteilung der suprakondylären Humerusfrakturen mit Hilfe der Rogers-Hilfslinie

(Eigene Darstellung in Anlehnung an von Laer et al. (2007))

In der lateralen Ebene ist das Capitulum humeri bei offenen Fugen physiologisch um ca. 30 °- 40 ° nach ventral abgekippt (von Laer 1979; Morrey et al. 2018). Die Rogers-Hilfslinie schneidet gewöhnlich das Capitulum humeri am Übergang vom mittleren zum hinteren Drittel. Handelt es sich um eine Antekurvationsfehlstellung respektive Extensionsfraktur verläuft die Linie im vorderen Bereich des Capitulum humeri oder vor dem Capitulum humeri. Bei einer Rekurvationsfehlstellung bzw. Flexionsfraktur liegt der Schnittpunkt entsprechend weiter dorsal (Rogers et al. 1978; von Laer et al. 2012). Liegt eine Rotationsabweichung vor, kann im seitlichen Röntgenbild ein ventraler oder seltener ein dorsaler Rotationssporn sichtbar werden. Zur Beurteilung wird das Verhältnis der Breite vom proximalen und distalen Fragment betrachtet. Ist das proximale Fragment deutlich breiter als das distale, ist von einem Rotationsfehler auszugehen (von Laer et al. 2012). Um die Strahlenbelastung im Kindes- und Jugendalter zu minimieren, könnte zukünftig die Sonographie ein sensitives Screeningverfahren zur Detektion einer möglichen Ellenbogenfraktur sein. Bei negativen Fettpolsterzeichen und fehlender Klinik ist eine Fraktur unwahrscheinlich, sodass zusätzliche Röntgenaufnahmen entbehrlich sein können (Eckert et al. 2014; Rabiner et al. 2013; Ackermann

et al. 2015). Die hochauflösende Ultraschalluntersuchung kann bei der Unterscheidung zwischen stabilen inkompletten und instabilen kompletten artikularen Frakturen hilfreich sein, da in der konventionellen Röntgenaufnahme der Frakturverlauf im knorpeligen Anteil der Trochlea nicht sichtbar ist (von Laer et al. 2012; Vocke-Hell und Schmid 2001). Diskutiert wird der Einsatz auch in Hinblick auf Verlaufskontrollen (Grechenig et al. 2002). Die Ultraschalldiagnostik stellt eine kostengünstige und schmerzfreie Alternative da (May et al. 2000). Die Magnetresonanztomographie (MRT) und Computertomographie (CT) haben in der primären Diagnostik keine Relevanz (Gercek et al. 2015; Kraus et al. 2007; von Laer et al. 2012). Nicht selten haben Kinder mit einer dislozierten suprakondylären Humerusfraktur initial keinen palpablen radialen Puls. Eine geschlossene Reposition stellt in ca. 80 % den peripheren Puls wieder her. Ist der Puls nicht palpabel kann die Doppler-Sonographie als eine einfache und nicht-invasive Methode eingesetzt werden, um den Puls zu generieren (Hasler 2001). Eine chirurgische Notfallsituation besteht bei kalter und blasser Hand mit mangelhafter Rekapillarierungszeit. In dem Fall ist eine sofortige operative Versorgung indiziert (Shrader 2008).

### **1.4.3 Fraktur-Klassifikation**

Eine umfassende Klassifizierung pädiatrischer Frakturen ist notwendig für Studien, Qualitätskontrollen und eine optimale Patientenversorgung (Slongo et al. 2007b; von Laer et al. 2000; Marsh et al. 2007). Von Interesse ist eine einheitliche Kommunikation zum Kodieren und Klassifizieren (Marsh et al. 2007). Im Gegensatz zu Frakturen bei Erwachsenen sollten Klassifizierungen bei Kindern die Frakturlokalisierung, Morphologie und den Wachstumsprozess berücksichtigen (Slongo et al. 2007b; von Laer et al. 2000). Es gibt zahlreiche Klassifikationssysteme, die sich auf einzelne Frakturtypen beziehen. Die *AO Pediatric Comprehensive Classification of Long-Bone Fractures* (PCCF) und LiLa-Klassifikation sind zwei aktuelle Klassifikationssysteme für pädiatrische Frakturen der langen Röhrenknochen, die sich in den letzten Jahren entwickelt haben (Fernandez und Eberhardt 2010; Slongo et al. 2007b; Slongo et al. 2006; Schneidmüller et al. 2011).

In dieser Arbeit wird eine Einteilung nach der PCCF vorgenommen. Zur besseren Vergleichbarkeit mit anderen Studien wurde die Klassifikation nach von Laer für suprakondyläre Humerusfrakturen berücksichtigt und die kondylären Frakturen in Condylus-radialis und Condylus-ulnaris-Frakturen unterschieden.



Die PCCF berücksichtigt bekannte pädiatrische Klassifikationen und stellt eine Erweiterung der international anerkannten AO-Klassifikation von Frakturen der langen Röhrenknochen bei Erwachsenen nach Müller da (Müller et al. 1990; Audigé et al. 2004; Slongo et al. 2007b). Entwickelt wurde die PCCF von der *Paediatric Expert Group* (PAEG) der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen (AO) in Zusammenarbeit mit der *AO Clinical Investigation and Documentation* (AOCID) und der *International Working-Group for Paediatric Traumatology* (IAGKT). In der Klassifikation werden die Frakturen alphanumerisch codiert.

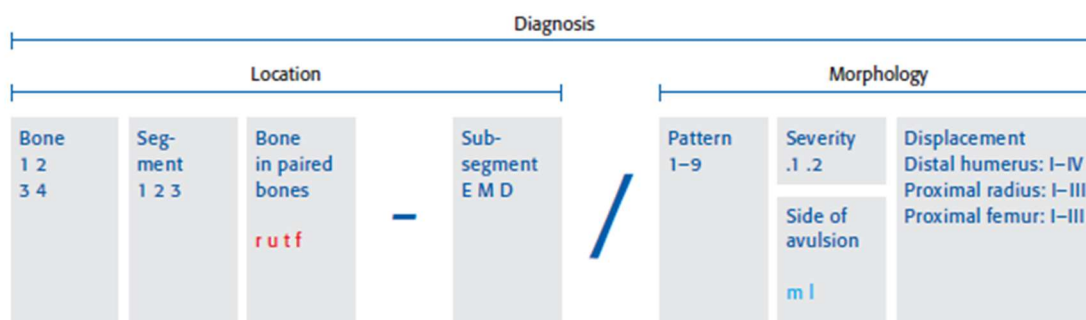


Abbildung 4: AO-Klassifikationssystem für Frakturen der langen Röhrenknochen im Kindesalter

(Mit freundlicher Genehmigung der AO Foundation, Slongo et al. (2007a); S. 4, Copyright © 2010 by AO Foundation, Switzerland)

Die erste Zahl bezieht sich auf einen der vier langen Röhrenknochen (1-4), wobei die eins für den Humerus steht. Die zweite Zahl gibt die Segmentlokalisierung an (1-3). Die drei steht für die distale Epiphyse und Metaphyse. Statt der Einteilung der Erwachsenenklassifikation von A bis C, werden die Bruchmuster in Untersegmente mit E (Epiphyse), M (Metaphyse) und D (Diaphyse) gruppiert. Bestimmte pädiatrische Merkmale werden als „Kindercode“ mit einem Schrägstrich und einer nachfolgenden Zahl berücksichtigt. Beispielsweise werden die Epiphysenfrakturen nach Salter und Harris unter Verwendung der Kindercodes E/1 bis E/4 eingeteilt. Eine Einteilung nach dem Schweregrad bzw. der Anzahl der Frakturfragmente kann mit der Zahl eins (einfach) und zwei (multifragmentär) angegeben werden. Die Buchstaben m (medial) und l (lateral) geben die Seite der Avulsion an. Zuletzt kann der Dislokationsgrad, wie bei den suprakondylären Humerusfrakturen, mit dem Code I bis IV angegeben werden (Slongo et al. 2007b).

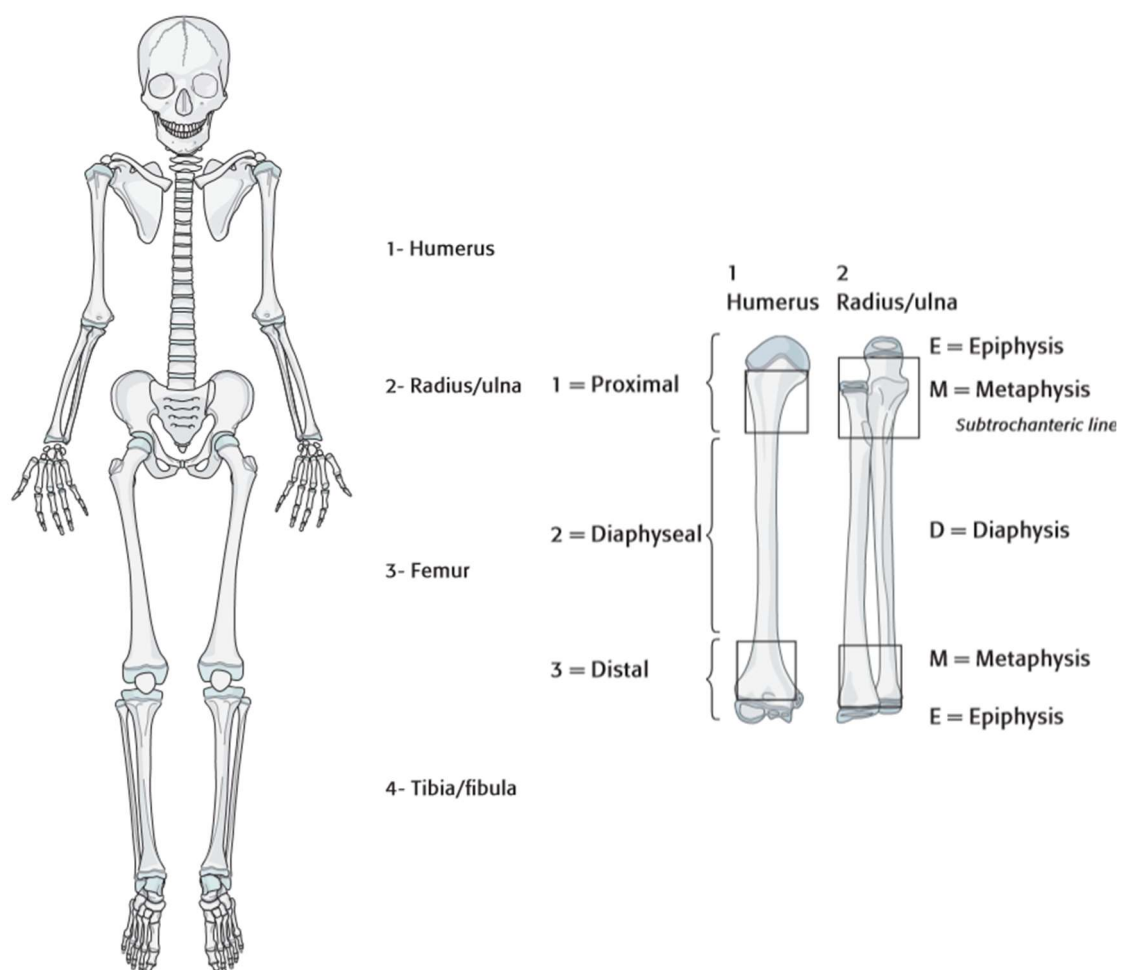


Abbildung 5: Codes für Knochen, Segmente und Subsegmente für Frakturen der langen Röhrenknochen im Kindesalter

(Mit freundlicher Genehmigung der AO Foundation, Slongo et al. (2007a); S. 5-6, Copyright © 2010 by AO Foundation, Switzerland)

Rechts neben dem empfohlenen Algorithmus für dislozierte suprakondyläre Humerusfrakturen (Abbildung 6) ist die die Klassifikation nach Laer dargestellt (von Laer et al. 2007).

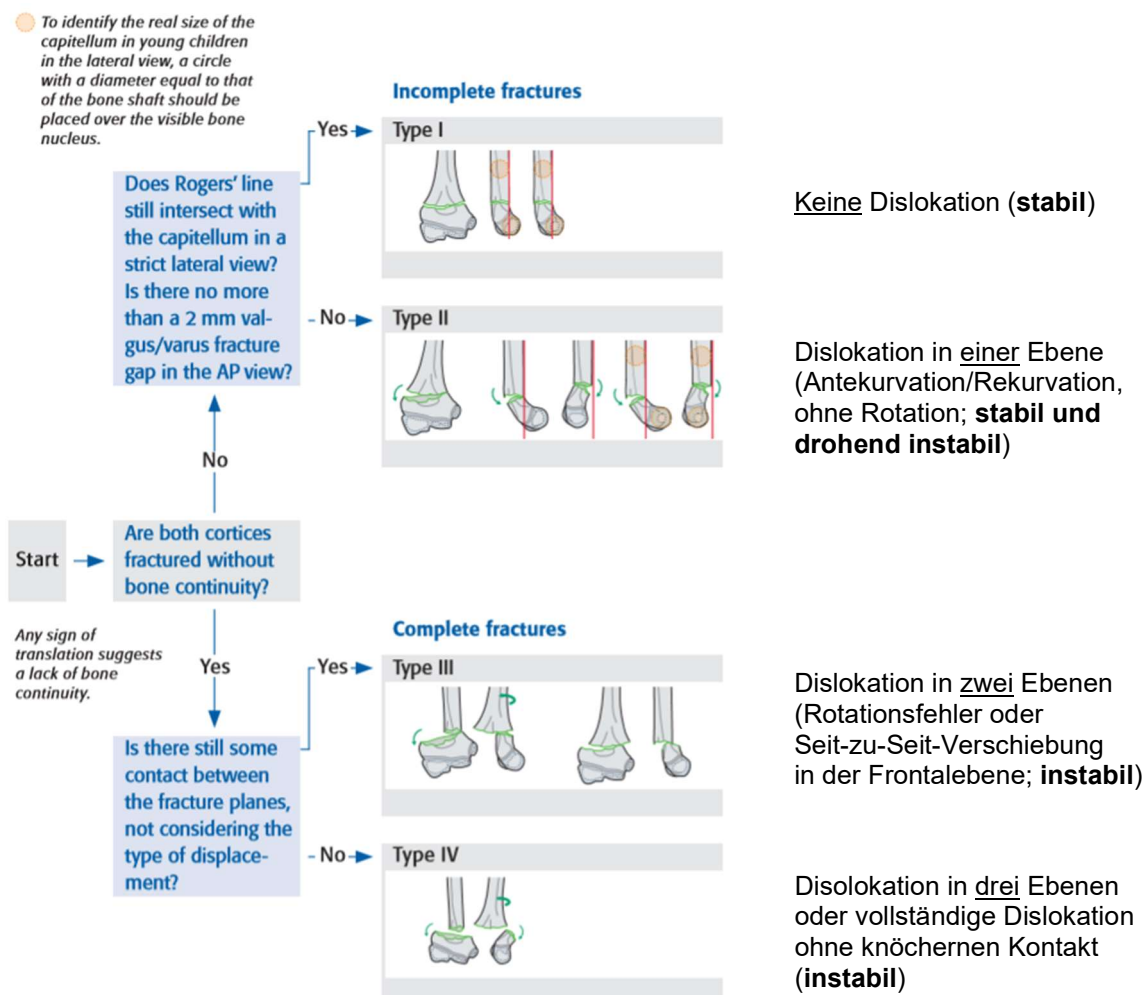


Abbildung 6: Empfohlener Algorithmus für dislozierte suprakondyläre Humerusfrakturen

(Mit freundlicher Genehmigung der AO Foundation, Slongo et al. 2007a; S. 9, Copyright © 2010 by AO Foundation, Switzerland)

### 13-M Distal metaphyseal fractures

Simple

Multifragmentary

13-M/3.1 I



Incomplete, nondisplaced

13-M/3.1 II



Incomplete, displaced

13-M/3.2 II



13-M/3.1 III



Complete with contact between fracture planes

13-M/3.2 III

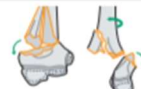


13-M/3.1 IV



Complete without contact between fracture planes

13-M/3.2 IV



13-M/7m

Avulsion of the epicondyle  
(extraarticular)

### 13-E Distal epiphyseal fractures

Simple

Multifragmentary

Simple

Multifragmentary

13-E/1.1



Epiphysiolysis, SH I

13-E/4.1



Epi-/metaphyseal, SH IV

13-E/4.2



13-E/2.1

Epiphysiolysis with metaphyseal  
wedge, SH II

13-E/7I

Avulsion of/by the collateral  
ligament

13-E/3.1



Epiphyseal, SH III

13-E/3.2



13-E/8.1



Intraarticular flake

13-E/8.2



Abbildung 7: AO-Klassifikation von distalen Humerusfrakturen der langen Röhrenknochen im Kindesalter

(Mit freundlicher Genehmigung der AO Foundation, Slongo et al. (2007a); S. 15-16, Copyright © 2010 by AO Foundation, Switzerland)

Es gibt zahlreiche internationale Klassifikationen für suprakondyläre Humerusfrakturen. Im anglo-amerikanischen Raum werden vor allem Klassifikationen nach Gartland oder Holmberg verwendet. In der deutschen Literatur sind erste Einteilungen nach Baumann, Lubinus oder Felsenreich vorgenommen wurden (Weinberg et al. 2002; Gartland 1959; Holmberg 1945; Baumann 1995; Lubinus 1924; Felsenreich 1931). Aktuell wird vermehrt der empfohlene Algorithmus nach der AO-Klassifikation unter der Berücksichtigung der Dislokationsgrade I bis IV, gemäß der Klassifikation nach von Laer, verwendet (Fernandez et al. 2016; Slongo et al. 2007; Lutz et al. 2011; von Laer 1997).

#### **1.4.4 Therapieverfahren**

Bei Frakturen im Kindes- und Jugendalter sollte eine definitive Therapie angestrebt werden. Es gilt Verfahrenswechsel oder erneute Eingriffe zu vermeiden. Ziel ist zunächst eine suffiziente Schmerztherapie und das Erstellen einer Wachstumsprognose, wobei Spontankorrekturmöglichkeiten und Wachstumsstörungen für die weitere Therapieplanung berücksichtigt werden sollten (Kraus und Wessel 2010). Mehrere unterschiedliche Faktoren beeinflussen die Wahl der Therapieform. Nicht ausschließlich das Patientenalter, der Frakturtyp oder die Lokalisation, sondern auch die verfügbare Ausrüstung und die Erfahrung des Operateurs, sowie das postoperative Management spielen bei der Frakturbehandlung eine Rolle (Slongo 2005). Um eine optimale Frakturversorgung anzubieten, gilt es alle konservativen und operativen Therapiemethoden gleichermaßen zu beherrschen und indikationsgerecht einzusetzen (Kraus und Wessel 2010). Die konservativen und operativen Behandlungsmethoden sind nicht konkurrenz, sondern ergänzen sich vielmehr (Illian et al. 2012; Kraus und Wessel 2010). Erstrebenswert ist eine ambulante oder kurze stationäre Aufenthaltsdauer, sowie eine rasche Mobilisation. Folgeschäden wie Bewegungseinschränkungen oder Wachstumsstörungen sollen vermieden werden. Handelt es sich nicht um eine Notfallversorgung sollten Patient und Eltern bei der Therapieentscheidung berücksichtigt werden (von Laer et al. 2007; Kraus und Wessel 2010).

Frakturen im Kindes- und Jugendalter werden in ca. 60 % konservativ und in 40 % operativ versorgt (von Laer 2005). Zu der konservativen Therapie zählen nicht invasive Fixationen wie Verbände, Schienen, Gipse oder Kunststoffäquivalente sowie die geschlossene Reposition. Diese erfolgt allerdings ohne invasive Manipulation am Knochen (von Laer 2005). Bei der konservativen Versorgung der distalen Humerusfrakturen werden elastische Verbände wie der *Cuff-and-Collar*-Verband, auch Blount-

Schlinge genannt, und stabile Verbände verwendet (von Laer und Kraus 2007; von Laer et al. 2007). Bei der operativen Therapie werden geschlossene oder offene Repositionen durchgeführt, wobei eine invasive Manipulation am kindlichen Knochen stattfindet (von Laer 2005). Die Zunahme der operativen Versorgung kindlicher Frakturen ist u. a. auf die Entwicklung minimal-invasiver Techniken zurückzuführen. Zu den minimal-invasiven Osteosyntheseverfahren gehört unter anderem die Bohrdrahtosteosynthese, Schraubenosteosynthese, ESIN (Elastisch stabile intramedulläre Nagelung) und der radiale Fixateur (Illian et al. 2012). Durch die minimal-invasiven Operationstechniken kommt es zu einer Minimierung von iatrogenen zusätzlichen Schäden an Weichteilen und Knochen, sodass eine ungestörte und regelhafte Frakturheilung ablaufen kann (Dresing 2012). Die Plattenosteosynthese ist eine weitere operative Versorgungsmöglichkeit am kindlichen Ellenbogen (Ferlic et al. 2012) und findet selten, in Ausnahmefällen, Anwendung bei gelenknahen Frakturen im Adoleszentenalter (Kraus und Wessel 2010).

Im Folgenden werden die an der Universitätsmedizin Göttingen häufigsten verwendeten Osteosyntheseverfahren am distalen Humerus dargestellt.

Die Indikation für die **Kirschner-Draht-Spickung** umfasst die Epiphyseolysen und Epiphysenfrakturen, die Metaphysenfrakturen sowie suprakondylären Humerusfrakturen. Durch die perkutane Einbringung werden die Knochenfragmente punktuell erfasst und adaptiert. Es wird keine Kompression auf die Fraktur ausgeübt. Für eine ausreichende Stabilität dürfen beidseits eingeführte K-Drähte (Kirschnerdrähte) nicht auf Frakturhöhe kreuzen. Die K-Drähte sind nicht übungstabil, sodass die Möglichkeit einer Dislokation besteht. Aus diesem Grund erfolgt eine postoperative Ruhigstellung im Gips (Illian et al. 2012). Die K-Drähte können epikutan belassen oder subcutan versenkt werden. Der Vorteil der epikutanen Einbringung ist die ambulante Entfernung ohne erneute Vollnarkose. International wird die epikutane Technik empfohlen. Kritiker äußern Bedenken bezüglich einer potenziellen Infektionsquelle und der Gefahr einer Weichteilirritation. Außerdem ist ein sichtbarer Fremdkörper eventuell psychisch traumatisch für die Kinder und Eltern. In Deutschland wird auf Grund der oben genannten Faktoren, aber vor allem vor Angst einer potenziellen Infektion, in 73 % die subcutane Versenkung bevorzugt (Schneidmueller et al. 2018). Mehrfache Bohrversuche sollten vermieden werden, da es zur Schädigung der Fuge kommen kann. Die Materialentfernung erfolgt nach drei bis sechs Wochen (Marzi 2011). Zusammenfassend ist die Bohrdrahtosteosynthese ein wenig traumatisches Verfahren, wobei ein

kleiner Schnitt bei perkutaner Spickung ausreichend ist. Die Methode gewährleistet eine relativ hohe Stabilität und ermöglicht eine Kreuzung der Wachstumsfugen. Durch die relative Stabilität sind sekundäre Dislokationen und Drahtwanderungen möglich, sodass postoperativ ein Gips erforderlich ist. Es kann zu Hautirritationen im Bereich der zu liegenden K-Drähte, sowie zu Infektionen bei perkutaner Spickung kommen (Kiderlen und Schlickewei 2008).

Die Indikation für die **Schraubenosteosynthese** umfasst Epiphysenfrakturen und Epiphyseolysen mit metaphysärem Keil (Kraus und Wessel 2010). Das Osteosyntheseverfahren bietet eine hohe Stabilität nach exakter Reposition und Fixierung der Frakturfragmente. Es wird eine Kompression auf die Fraktarenden ausgeübt. Damit sollen sekundäre Dislokationen verhindert werden. Es ist zu beachten, dass die Wachstumsfuge nicht tangiert wird. Die Kombination mit Kirschnerdrähten ist möglich, findet Anwendung bei kleinen Fragmenten und dient der Vorbeugung einer Rotation (Illian et al. 2012). Mit diesem Osteosyntheseverfahren sollen Wachstumsstörungen vermieden werden. Durch die hohe Stabilität ist eine frühfunktionelle Mobilisation mit einer Schiene oder eine nur kurze Ruhigstellung im Gips für ca. zwei bis vier Wochen notwendig (Kiderlen und Schlickewei 2008). Die Materialentfernung erfolgt nach drei bis sechs Monaten (Marzi 2011). Diese wird in Narkose durchgeführt. Bei möglicher Fehllage des Osteosynthesematerials kann es zur Kompression der Wachstumsfuge kommen (Kiderlen und Schlickewei 2008).

Ziel der **Therapie der suprakondylären Humerusfraktur** ist eine achsgerechte, anatomische Wiederherstellung mit vollem Bewegungsumfang (Fernandez et al. 2016). Für eine seitengleiche Funktion ist eine perfekte Reposition und eine suffiziente Stabilisierung notwendig (Slongo 2018). Die **Typ-I-Fraktur** ist stabil, benötigt keine Reposition, kann ambulant und konservativ mittels Oberarmgipsschiene behandelt werden (von Laer et al. 2007; von Laer et al. 2002). Der Ellenbogen wird in der Regel in 90 ° Flexion und Neutralstellung ruhiggestellt (Gercek et al. 2015). Nach Khare et al. ist ein Oberarmgips mit 100 ° Flexion in Pronation des Unterarms am stabilsten (Khare et al. 1991). Eine Alternative stellt der *Cuff-and-Collar*-Verband dar, bei der das Ellenbogengelenk in ca. 110 ° Flexionsstellung und ebenfalls mit Pronation des Unterarms fixiert wird (Gercek et al. 2015). Die **Typ-II-Fraktur** wird nicht operativ therapiert, wenn diese reponier- und retinierbar ist und der o. g. Toleranzbereich (nach von Laer) primär oder nach erfolgter Reposition eingehalten wird (S1-Leitlinie 2014). Bei der Extensionsfraktur besteht die Möglichkeit unter Analgosedierung eine

geschlossene Reposition durchzuführen und im Anschluss einen modellierten Oberarmgips anzulegen. Eine Alternative ist die Reposition der Fraktur durch ein sukzessives mehrfaches Nachziehen der Blount-Schlinge in die zunehmende Spitzwinkelstellung. Ist das Repositionsergebnis nach radiologischer Kontrolle (nach ca. zwei bis drei Tagen) nicht zufriedenstellend, kann die Fraktur immer noch über eine geschlossene Reposition stabilisiert werden (Fernandez 2016; Nuber et al. 2018; Gercek et al. 2015). Flexionsfrakturen lassen sich nach erfolgter Reposition nicht gut in der gewünschten Stellung im Oberarmgips halten, da die Modellierung des Gipses die ventrale Dislokation des Fragmentes nicht verhindern kann. Der *Cuff-and-Collar*-Verband ist ebenfalls kein geeignetes Mittel, da die Stellung die ventrale Dislokation sogar begünstigt. Indiziert ist normalerweise eine operative Frakturversorgung (Fernandez et al. 2016; Gercek et al. 2015). Die **stabile Typ-II-Fraktur** sollte ambulant und konservativ versorgt werden. Es handelt sich um eine leichte Dislokation in der Sagittalebene, die nach von Laer bis zum 5.-6. Lebensjahr akzeptabel belassen werden kann, da eine Spontankorrektur zu erwarten ist. Liegt eine Antekurvatur vor, sollte die Ruhigstellung mittels Blount-Schlinge in Spitzwinkelstellung erfolgen. Bei einer leichten Rekurvatur wird der Ellenbogen möglichst in Extension ruhiggestellt. **Drohend instabile Typ-II-Frakturen** mit über 20 °-30 ° Antekurvations- oder Rekurvationsfehlstellung benötigen eine Redression. Nach von Laer et al. (2007) sollen die drohend instabilen Extensionsfrakturen zunächst konservativ mittels Blount-Schlinge in die Spitzwinkelstellung gebracht werden. Falls dies auf Grund einer starken Schwellung nicht möglich ist, soll nachdem die Weichteilschwellung abgenommen hat (um den zweiten bis vierten Tag) unter Analgosedierung die gewünschte Stellung erreicht werden (von Laer et al. 2007). Die pDMS ist bei starker Schwellung zu kontrollieren, da durch eine forcierte Flexion die Gefahr einer Durchblutungsstörung bis hin zum Kompartmentsyndrom besteht (S1-Leitlinie 2014). Zum Ausschluss einer sekundären Dislokation (Rotationsfehler), soll ca. am vierten Tag nach dem Unfall oder bei Erreichen der gewünschten Spitzwinkelstellung eine laterale Röntgenaufnahme zur Stellungskontrolle erfolgen. Bei instabiler Fraktur ist die Reposition und stabile Retention indiziert (von Laer et al. 2007). Relevant dislozierte Typ-II-Frakturen, die sich nicht sicher retinieren lassen und alle Typ-III- und-IV-Frakturen werden operativ versorgt (Nuber et al. 2018; S1-Leitlinie 2014). Die dislozierten **Typ-III- und-IV-Frakturen** sind instabil, werden notfallmäßig in Anästhesie fixiert und stationär versorgt. Eine medikamentöse Schmerztherapie und ggf. Infektionsprophylaxe bei offenen Frakturen können notwendig sein (von Laer et al. 2007). Allgemeine Indikationen für eine operative Versorgung der suprakondylären Humerusfraktur sind: drohendes



Kompartmentsyndrom (sehr selten), dislozierte Flexionsfrakturen, dislozierte Extensionsfrakturen vom Typ II die nicht sicher retinierbar sind, sekundär dislozierte Frakturen, offene Frakturen, Frakturen mit Gefäß- oder Nervenschäden, Extensionsfrakturen vom Typ III und IV mit Achsabweichung und Rotationsabweichung (Fernandez et al. 2016; S1-Leitlinie 2014). Es besteht eine kontroverse Diskussion bezüglich der besten Behandlung für dislozierte suprakondyläre Humerusfrakturen im Kindesalter (Mulpuri und Wilkins 2012). Die operative Versorgung sollte möglichst primär erfolgen, eine definitive Therapie darstellen und minimal-invasiv sein (Fernandez et al. 2016). Falls keine besonderen Umstände vorliegen sollte zunächst eine geschlossene Reposition erfolgen (Slongo 2018; von Laer et al. 2002; Pretell-Mazzini et al. 2010; Nuber et al. 2018; Lehner et al. 2014). Eine offene Reposition hat nach von Laer et al. (2002) gegenüber der geschlossenen keinen Vorteil (von Laer et al. 2002). Letztere erziele eine ebenso gute Stabilität und sogar bessere funktionelle Ergebnisse (Slongo 2018). Ist nach einem oder zwei Versuchen keine zufriedenstellende Reposition möglich, sollte eine offene Reposition durchgeführt werden (Nuber et al. 2018; Gercek et al. 2015; Lehner et al. 2014), da sonst durch wiederholte Manipulationen eine Gelenksteifigkeit und vorübergehende Neuropraxie entstehen kann (Pretell-Mazzini et al. 2010). Eine primär offene operative Versorgung sollte als Notfallindikation bei Gefäß- und Nervenverletzungen (sensorischem und motorischem Ausfall) erfolgen (Gercek et al. 2015; von Laer et al. 2007). Nach von Laer sollte bei fehlendem Puls der A. radialis zunächst eine geschlossene Reposition versucht werden und nachfolgend bei verbliebener Durchblutungsstörung sofort offen retiniert werden (von Laer et al. 2007). Für die Reposition wird der Ellenbogen in Extensionsstellung geführt und in Neutralstellung (keine Pro-/Supination) Zug ausgeübt. Anschließend wird der Unterarm je nach Rotationsfehler pro- oder supiniert, um die Fehlstellung zu korrigieren. Der Ellenbogen wird in Spitzwinkelstellung gebracht, die Reposition mittels Bildwandler/ Röntgen kontrolliert und stabilisiert (Fernandez und Eberhardt 2012; von Laer et al. 2007; Fernandez et al. 2016; Flynn 1993). Die Kirschner-Draht-Osteosynthese ist für die dislozierte suprakondyläre Humerusfraktur ein akzeptiertes und weit verbreitetes Standardverfahren (Skaggs et al. 2001; Zions et al. 2009). Es gibt verschiedene K-Draht-Konfigurationen. Die ascendierende gekreuzte K-Draht Fixation von radial und ulnar mit postoperativer Ruhigstellung in einer Oberarmgipsschiene oder gespaltenem Oberarmgips ist die weitverbreitetste Variante (Wang et al. 2012; Slongo 2018; Zions et al. 1994; Brauer et al. 2007). Aus biomechanischer Sicht bieten zwei bis drei gekreuzte K-Drähte die größte Stabilität (Zions et al. 1994; Brauer et al. 2007). Um einer iatrogenen Verletzung des N. ulnaris vorzubeugen ist es ratsam den Epikondylus

ulnaris mit Hilfe einer kleinen Inzision darzustellen. Dies verhindert eine Verletzung des N. ulnaris und ermöglicht auch bei ausgeprägter Schwellung eine sichere Identifizierung des Epikondylus für die K-Draht Fixation (Green et al. 2005; Slongo 2018). Für eine ausreichende Rotationsstabilität soll die Kreuzung der K-Drähte oberhalb der Frakturlinie erfolgen (Slongo 2018; S1-Leitlinie 2014). Seltener wird die radial ascendierend und divergierende oder gekreuzte (von distal ascendierende und von proximal deszendierende) K-Draht Fixation verwendet, wobei letzteres die stabilere Konfiguration darstellt. Bei ersterem ist das Risiko für eine iatrogene Nervenläsion gering, jedoch ist es technisch anspruchsvoll beide Pfeiler ausreichend stabil zu fixieren. Bei letzterem besteht das Risiko einer iatrogenen N. radialis Verletzung. Um dies zu verhindern ist zu beachten, dass der proximale radiale Eintritt nicht höher als 2 cm über der Fraktur ist und eher von dorsal gebohrt wird, da der N. radialis nach Überkreuzung des Humerus nach ventral verläuft (Slongo 2018). Mit dem Hintergrund der potenziellen N. ulnaris Läsion ist laut Skaggs et al. (2001) und Eberhardt et al. (2007) eine einseitige laterale Pin-Konfiguration ausreichend stabil und effektiv für die Fixierung einer dislozierten suprakondylären Humerusfraktur. Die operative Versorgung erfolgt entweder in Bauchlage, wobei der Oberarm aufliegt und der Unterarm herabhängt oder in Rückenlage (S1-Leitlinie 2014). In Rückenlage ergeben sich verschiedene Repositionsmöglichkeiten im Vergleich zur Bauchlage, bei der die maximale Flexionsmöglichkeit limitiert sein kann. Für die Visualisierung und Behandlung von Gefäß- und Nervenverletzungen ist mit der Rückenlage ein ventraler Zugang möglich (Gercek et al. 2015). In Bauchlage kann die Reposition leichter sein (Fernandez et al. 2016). Als Alternativverfahren kommt die descendierende elastische Markraumschienung (ESIN) oder der radiale Fixateur externe in Frage (von Laer et al. 2007). Der radiale Fixateur externe ist eine gute Möglichkeit zur Stabilisierung von schwierigen Frakturen und kann eine offene Reposition vermeiden. Dieses Verfahren ist eine Alternative, wenn mit Standardmethoden keine hinreichende Stabilität erreicht wird (Slongo et al. 2008; Slongo 2018). Der Fixateur extern gewährleistet eine ausreichende Stabilität auch bei initial suboptimaler Reposition. Das Verfahren wurde erstmalig 2004 in dem *International Symposium of Pediatric Surgical Research* vorgestellt. Laut Slongo bietet der Fixateur extern im Vergleich zu den anderen beschriebenen Verfahren die größte Stabilität und kein Risiko für eine Cubitus varus Deformität. Es ist eine gipsfreie funktionelle Nachbehandlung möglich, da das Verfahren bewegungsstabil ist. Bei folgenden Indikationen kann der Fixateur externe in Erwägung gezogen werden: nicht reponierbare Frakturen, bei nicht ausreichend stabiler Fixierung, Flexionsfrakturen, bei Gefäß- und Nervenverletzungen,

schwerwiegender Schwellung, späte Behandlung der Fraktur bis 14 Tage nach dem Unfall und bei einer Re-Operation. Bei richtiger Anwendung ist eine Verletzung des N. radialis sicher zu vermeiden (Slongo 2018). Bei der elastisch stabilen intramedullären Nagelung (ESIN) werden zwei intramedulläre Nägel von lateral proximal in den Oberarm, jeweils in die beiden Pfeiler des distalen Humerus, eingebracht (Fernandez et al. 2016). Die Methode ermöglicht eine stabile Fixierung in anatomisch korrekter Stellung (Slongo 2018). Eine iatrogene N. ulnaris Läsion oder sekundäre Dislokationen mit resultierendem Cubitus varus können vermieden werden (Weinberg et al. 2003). Durch die Übungsstabilität ist eine gipsfreie Nachbehandlung möglich (Fernandez et al. 2016; Weinberg et al. 2003; Slongo 2018). Nachteilig ist, dass dieses Verfahren technisch sehr anspruchsvoll und aufwändig ist, sodass viel Erfahrung des Operateurs vorausgesetzt wird (Fernandez et al. 2016; Slongo 2018). Es ist eine präzise Reposition und eine zweite Narkose für die ESIN-Entfernung notwendig (Slongo 2018). Welches Osteosyntheseverfahren, welcher Operationszugang und welche Lagerung gewählt wird, obliegt dem Operateur und ist von seinen Fähigkeiten abhängig (von Laer et al. 2012).

Die nicht dislozierte isolierte **epikondyläre Ausrissfraktur** wird konservativ versorgt. Bei Kindern jünger als fünf Jahre erfolgt eine klinische Diagnose mit konservativer Therapie. Da der Kern radiologisch noch nicht sichtbar ist, bleibt die Dislokation in diesem Alter ohne Konsequenz (Ulrich und Marzi 2016). Bei einer leichten/tolerablen Dislokation (Ventralisierung und Distalisierung des Epikondylus ulnaris um ca. 1 cm) und konservativer Therapie mit Ruhigstellung im Gips kann sich eine Pseudarthrose entwickeln (von Laer et al. 2007). Es zeigen sich aber gute Langzeitergebnisse bezüglich der Ellenbogenfunktion, ähnlich derer die operativ versorgt wurden (Farsetti et al. 2001). Nach von Laer et al. (2007) kann die geringe Anzahl der Pseudarthrosen, welche Beschwerden verursachen, auch sekundär operiert und saniert werden. Es gilt den Nutzen und den Aufwand der jeweiligen Therapieformen abzuwägen. Es besteht eine relative Operationsindikation. Bei jungen Patienten ist die konservative Therapie im Gips ausreichend. Je älter der Patient ist desto eher bietet sich die bewegungsstabile Schraubenosteosynthese an (von Laer et al. 2007). Nach Louahem et al. (2010) weisen minimal dislozierte Ausrissfrakturen häufig eine unterschätzte Ellenbogeninstabilität auf, sodass er (auch auf Grund der guten postoperativen Ergebnisse) für ein operatives Management plädiert (Louahem et al. 2010). Bei der konservativen Therapie sollte nach ca. sieben Tagen eine Röntgenkontrolle erfolgen. Besteht eine sekundäre Dislokation oder Rotation wird eine operative Fixation durchgeführt (Nuber et al. 2018). Bei

jüngeren Kindern bzw./oder bei sehr kleinen Fragmenten wird die Fraktur mittels Kirschner-Draht fixiert (Haxhija et al. 2006; Nuber et al. 2018). Nach Lee et al. (2005) erzielt die K-Draht- im Vergleich mit der Schraubenosteosynthese gleichwertige Ergebnisse. Mit der K-Draht Fixation ist jedoch eine längere Immobilisation notwendig (Lee et al. 2005). Eine absolute Operationsindikation besteht bei dislozierten Frakturen, insbesondere bei intraartikulär eingeschlagenem Epikondylus. Eine dringliche Operation muss bei gleichzeitiger Ellenbogenluxation erfolgen. Besteht eine Reluxationstendenz nach Reposition oder eine ligamentäre Instabilität ist ebenfalls eine operative Therapie indiziert (Ulrich und Marzi 2016). Ziel der operativen Versorgung ist eine sichere Fixation der abgerissenen Apophyse, um auch eine Revision und Refixation des Kapsel-Band-Apparates und der Unterarmflexoren zu gewährleisten (Haxhija et al. 2006; Nuber et al. 2018). Therapie der Wahl ist eine offene Reposition und wenn möglich eine Retention mit funktionsstabilen Schrauben. Bei Epikondylus-ulnaris-Frakturen sollte eine iatrogene N. ulnaris Läsion vermieden werden. Eine intraoperative Darstellung kann dem vorbeugen. Intraoperativ ist die Gelenkstabilität zu prüfen (Nuber et al. 2018).

Die nicht dislozierte, inkomplette artikuläre **Condylus-radialis-Fraktur** wird konservativ behandelt. Besteht eine Dislokation ist die operative Therapie indiziert. Im Vergleich zur dislozierten Fraktur, ist radiologisch die nicht dislozierte inkomplette von der kompletten artikulären Fraktur schwer zu unterscheiden. Das liegt daran, dass der knorpelige Anteil der Trochlea nicht beurteilt werden kann. Die Differenzierung ist wichtig, da bei der kompletten Gelenksfraktur die Gefahr einer sekundären Dislokation besteht (Ferlic et al. 2012; von Laer 1998). Erfolgt zunächst eine konservative Therapie, ist eine gipsfreie radiologische Stellungskontrolle innerhalb von vier bis sieben Tagen nach dem Unfall obligat (von Laer 1998; Knapik et al. 2017). Bei Unsicherheiten bezüglich des Ausschlusses einer sekundären Dislokation ist eine zweite Röntgenkontrolle zu empfehlen, da nach sieben Tagen vereinzelt späte Dislokationen beschrieben wurden (Finnbogason et al. 1995; Badelon et al. 1988). Besteht eine sekundäre Dislokation, ist eine offene Reposition und Osteosynthese indiziert (Ferlic et al. 2012; von Laer 1998). In der Regel wird ein offenes Vorgehen mit osteosynthetischer Versorgung der primär oder sekundär dislozierten Fraktur angestrebt (Shirley et al. 2015; Ayubi et al. 2010; Mohan et al. 2000; Badelon et al. 1988; Hasler und von Laer 1998; Jakob et al. 1975). Die geschlossene Reposition ist meist ineffektiv (Launay et al. 2004). Vereinzelt zeigten sich Studien mit guten Ergebnissen bei geschlossener Reposition (Song et al. 2008). Im Vergleich zur K-Draht-Osteosynthese bietet die Schraubenosteosynthese eine

höhere biomechanische Stabilität (Schlitz et al. 2015). Durch die Nachteile bezüglich der Kompression und Stabilität der K-Drähte können stimulierende Wachstumsstörungen auftreten (Hasler und von Laer 2001). Falls möglich sollte mittels einer übungstabilen Schraubenosteosynthese retiniert werden (Nuber et al. 2018; Ferlic et al. 2012; Shirley et al. 2015; von Laer 1998; Hasler und von Laer 2001). Die Schraube soll metaphysär platziert werden und die Gegenkortikalis erfassen (Hasler und von Laer 2001; Mohan et al. 2000). Erfolgt die Retention zusätzlich durch einen trochlearen axialen K-Draht kann die Stabilität bezüglich der Rotation erhöht werden (von Laer 1998; Ayubi et al. 2010). Durch die metaphysäre Schraubenkompressionsosteosynthese lassen sich Komplikationen wie die Varusdeformität, Pseudarthrose und die Fischeschwanzdeformität vermeiden (von Laer 1998). Bei Kindern jünger als fünf Jahre oder kleinem Frakturfragment kann die K-Draht Fixierung indiziert sein (Ayubi et al. 2010; Ferlic et al. 2012). Die sicherste Fixierung sind zwei bis drei divergierende K-Drähte, die bis in die Gegenkortikalis verankert werden (Bloom et al. 2011; Launay et al. 2004). Um eine Dislokation zu verhindern wird empfohlen die K-Drähte im Periost zu versenken (Launay et al. 2004). Üblich ist die Durchführung der Operation in Rückenlage mit lateralem Zugang (Kiderlen und Schlickewei 2008; Ayubi et al. 2010; Ferlic et al. 2012). Alternativ kann ein posterolateraler Zugang gewählt werden (Mohan et al. 2000). Intraoperativ ist die Gelenkstabilität zu prüfen und Begleitverletzungen auszuschließen, vor allem nach Luxationen (S2k-Leitlinie 2015). Eine alternative Behandlungsoption zur offenen Reposition stellt die kombinierte diagnostische Arthroskopie und Fixation bei minimal dislozierten Frakturen dar (Temporin et al. 2015; Hausman et al. 2007). Die Diagnostik, Therapieentscheidung und Behandlung der **Condylus-ulnaris-Fraktur** erfolgt analog der Condylus-radialis-Fraktur (S2k-Leitlinie 2015). Insbesondere bei jüngeren Kindern kann es schwierig sein die Fraktur bei noch nicht verknöchert Trochlea radiologisch zu diagnostizieren (Leet et al. 2002; Fernandez et al. 2018). Die Läsion kann übersehen oder mit epikondylären Abrissfrakturen verwechselt werden (Fernandez et al. 2018). Die Gefahr einer sekundären Dislokation wie bei der Condylus-radialis-Fraktur, bei der ein kontinuierlicher Druck durch den Radiuskopf auf das Fragment ausgeübt wird, besteht nicht. Bei konservativer Therapie ist dennoch nach ca. acht Tagen eine Stellungskontrolle indiziert. Im Vergleich zur Condylus-radialis-Fraktur erfolgt bei Vorliegen einer Dislokation und Therapieentscheidung für eine Schraubenosteosynthese die Fixierung mit ein bis zwei queren Schrauben (von Laer et al. 2007). Die operative Versorgung wird in Rückenlage mit medialem Zugang empfohlen (Kiderlen und Schlickewei 2008). Allgemeine Behandlungsalgorithmen für **T-/Y-Frakturen** sind auf Grund der Rarität der Frakturen schwierig

(Anari et al. 2017; Popkin et al. 2017). Nach von Laer et al. (2007) bestimmt das Ausmaß der Dislokation die Therapie. Nicht dislozierte T- oder Y-Frakturen werden konservativ, dislozierte Frakturen operativ versorgt (von Laer et al. 2007). Begleitende Gefäß- und Nervenverletzungen oder offene Frakturen stellen eine dringende Operationsindikation dar (Popkin et al. 2017). In der Regel wird für eine stabile interne Fixation die Plattenosteosynthese in Kombination mit Schrauben oder K-Drähten eingesetzt (Nuber et al. 2018; Ferlic et al. 2012). Welche die sicherste oder effektivste Methode darstellt ist noch nicht gänzlich geklärt (Popkin et al. 2017). Nach Ducic et al. (2014) zeigen geschlossene als auch offene Repositionen gute Ergebnisse (Ducic et al. 2014). Bei kleineren Kindern kann eine perkutane K-Draht Fixation in Erwägung gezogen werden. Bei älteren Kindern sollte eine offene Reposition und Osteosynthese erfolgen (Popkin et al. 2017). Nach Julfiqar et al. (2013) sind sogar bei Jugendlichen mit dislozierter Fraktur nach geschlossener Reposition und Fixation mittels K-Drähten zufriedenstellende Ergebnisse zu erwarten. Der Zugang kann von dorso-medial oder dorso-lateral erfolgen (S2k-Leitlinie 2015). Alternativ kann für eine bessere Übersicht eine Olekranonosteotomie erfolgen (Dreyfuss und Eidelman 2014; Ferlic et al. 2012). Keine Olekranonosteotomie erfordert hingegen der *Newcastle* Zugang (Salvador et al. 2020).

#### **1.4.5 Begleitverletzungen und Komplikationen**

Bei **suprakondylären Humerusfrakturen** können Begleitverletzungen wie Gefäß- und Nervenläsionen auftreten. Der N. medianus und die A. brachialis können vor allem bei Extensionsfrakturen durch die direkte Fragmenteinwirkung, das Abkippen des proximalen Frakturfragmentes nach ventral, geschädigt werden (Letsch et al. 2001; Wegmann et al. 2016). In 10-20 % kommt es zu peripheren Nervenschäden, wobei die meisten im protrahierten Verlauf rückläufig sind. Bei einer Neuropraxie ist in über 90-95 % mit einer Remission innerhalb von drei Monaten zu rechnen (Fernandez und Eberhardt 2012). Eine elektrophysiologische Untersuchung mittels EMG- und NLG sollte, wenn keine spontane funktionelle Regeneration stattfindet, in den ersten Wochen durchgeführt werden. Eine periphere Neuropraxie kommt vor allem bei Extensionsfrakturen vor. Bei posteromedialer Frakturdislokation des proximalen Fragmentes besteht die Gefahr einer N. radialis Läsion, bei posterolateraler Frakturdislokation einer N. medianus Läsion. Tritt eine iatrogene N. ulnaris Läsion im Rahmen einer K-Draht-Osteosynthese auf, ist eine Revision und ggf. erneute Platzierung notwendig (Fernandez et al. 2016). Nach von Laer sollte die Fraktur in diesem Fall zunächst ca. drei Wochen ausheilen und bei ausbleibender Besserung eine umgehende Revision

erfolgen (von Laer et al. 2007). In ca. 1-2 % treten Gefäßkomplikationen auf (Fernandez und Eberhardt 2012). Insbesondere bei den Typ-III- und-IV-Frakturen kann es zu Gefäßeinklemmung im Frakturbereich, Intimaläsionen oder Gefäßspasmen kommen (Parsch 2011). Ist initial kein Puls palpabel, die Hand warm, rosa und mit guter Rekapillarierungszeit, ist eine Gefäßverletzung unwahrscheinlich. Häufig lässt sich der Puls nach Reposition palpieren (Shrader 2008). In weniger als 1 % tritt das Kompartmentsyndrom mit nachfolgender Ausbildung einer Volkmann-Kontraktur auf (Lehner et al. 2014). Aufgrund der guten Prognosen kann bei neurovaskulären Komplikationen häufig ein konservativer Therapieansatz verfolgt werden. Entscheidend sind eine frühzeitige Reposition und Fixierung der Fraktur. Ischämien und Nervendurchtrennungen sind sehr selten (Louahem et al. 2006). Bei der operativen Behandlung von dislozierten suprakondylären Humerusfrakturen liegt die Komplikationsrate zwischen 2-8 %, wobei am häufigsten eine Drahtmigration, Draht-Infektion und ein Repositionsverlust vorliegt (Oetgen et al. 2015). Nach geschlossener Reposition und Fixation mittels K-Draht-Osteosynthese zeigte sich in 1,8-6,5 % eine Drahtmigration (Bashyal et al. 2009; Ulmar et al. 2012). Das Risiko für eine Wundinfektion/Pin-Infektion liegt zwischen ca. 1-4,5 % (Bashyal et al. 2009; Skaggs et al. 2008; Weinberg et al. 2002). Tiefe Infektionen bis hin zu einer Osteomyelitis sind äußerst selten (Bashyal et al. 2009). Bei der multizentrischen Studie der Sektion Kindertraumatologie der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie wurden in 6 % der Fälle Nachrepositionen vorgenommen (Weinberg et al. 2002). Ipsilaterale Begleitfrakturen treten in ca. 1 % auf, wobei die distale Radiusfraktur am häufigsten ist (Fernandez und Eberhardt 2012). Die häufigste Spätkomplikation mit ca. 10-30 % ist die meist kosmetische Varusdeformität in der Frontalebene (Fernandez und Eberhardt 2012). Die Ursache ist direkt oder indirekt ein Rotationsfehler. Besteht ein Rotationsfehler verringert sich die Kontaktfläche der Frakturfragmente, dies führt zur Instabilität und Abkipfung des distalen Fragments nach ulnar mit möglicher cubitus varus Deformität (von Laer et al. 2012; Slongo 2018). Häufig bildet sich die Bewegungseinschränkung zurück und die Achsfehlstellung verbleibt als kosmetisches Handicap (Fernandez und Eberhardt 2012; Ippolito et al. 1990).

Bei den **epikondylären Humerusfrakturen** sind keine Wachstumsstörungen zu erwarten. Wie bereits erwähnt, tritt die Fraktur in ca. 75 % in Kombination mit einer Ellenbogenluxation auf. Es kann zu einer chronischen Instabilität mit Reluxation sowie selten (ca. 10 %) zu einer klinisch relevanten Pseudarthrose kommen (von Laer et al. 2007). Eine Irritation des N. ulnaris ist möglich (Nuber et al. 2018).

Die **transkondylären Humerusfrakturen** sind mit Begleitverletzungen wie Ellenbogenluxationen, Epikondylus-ulnaris-Abrissfrakturen, Radiushalsfrakturen oder Olekranonfrakturen assoziiert (S2k-Leitlinie 2015). Vor allem die Condylus-ulnaris-Fraktur kann in Kombination mit einer Ellenbogenluxation auftreten und ist selten isoliert betroffen (Ferlic et al. 2012). Nach Launay et al. (2004) treten bei Condylus-radialis-Frakturen in 8,2 % ipsilaterale Ellenbogenverletzungen auf. Dies sei mit den in der Literatur angegeben 1,4-17 % vergleichbar (Launay et al. 2004). Werden dislozierte transkondyläre Frakturen nicht erkannt oder erfolgt keine stabile und exakte Reposition können Bewegungsstörungen, Wachstumsstörungen und eine Pseudarthrose auftreten (von Laer et al. 2007).

Im Folgenden soll auf die Thematik der Wachstumsstörungen eingegangen werden, die Pseudarthrose wurde im Unterpunkt „Frakturheilung“ erörtert. Bei der suprakondylären Humerusfraktur besteht die Gefahr für das Auftreten eines cubitus varus, cubitus antecurvatus/recurvatus oder einer Rotationsdeformität. Bei transkondylären Frakturen kann es, vor allem bei der Condylus-radialis-Fraktur, zum cubitus valgus kommen. Dabei ist die Valgusdeformität Folge einer Pseudarthrose und kann zur Instabilität mit Ulnarisirritation führen. Es gilt funktionell und kosmetisch störende posttraumatischen Deformitäten zu vermeiden und eine ausreichende Primärtherapie sicherzustellen. Besteht eine relevante Achsabweichung ist eine Korrekturosteotomie zu erwägen (von Laer 2004). Bei distalen Humerusfrakturen sind Komplikationen wie transient stimulative oder hemmende Wachstumsstörungen mit vorzeitigem Fugenschluss möglich. Diese können durch die Beeinflussung der offenen distalen Humerusfuge im Wachstumsprozess auftreten und zur Achsfehlstellung führen. Hierbei ist nicht der Ort der Fraktur entscheidend, sondern vielmehr das Alter respektive in welcher Phase sich die Fuge am Unfalltag befindet. In der Wachstumsphase kann es zur Längenzunahme kommen. In der frühen Ruhephase ist aufgrund der Hyperämie eine passagere Längenzunahme mit anschließendem vorzeitigem Fugenschluss möglich. In der Verschlussphase ist eine frühzeitige Ausreifung der Wachstumsfuge mit dezenter Verkürzung möglich. Auf Grund der fehlenden statischen Belastung spielen Längendifferenzen der oberen Extremität eine eher untergeordnete Rolle, vielmehr bestehe ein kosmetisches als ein funktionelles Problem (von Laer et al. 2012). Bei suprakondylären Humerusfrakturen kann es zur radialen Stimulation, frühzeitigem Fugenschluss und zunehmender Achsabweichung kommen. Die Ursachen für die Wachstumsstörungen sind noch nicht gänzlich geklärt (von Laer 1979; Wessel et al. 2003). Bei Frakturen des Condylus radialis können Wachstumsstörungen in Form von einer passageren



Stimulation der radialen Fuge auftreten. Das lokale knöchernen Mehrwachstum kann zu einem cubitus varus führen (Hasler und von Laer 2001). Die Stimulation ist zeitlich begrenzt und wird begünstigt durch eine instabile Frakturversorgung, fehlende Frakturfragmentkompression und verlängerter Konsolidierung. Die Folge ist eine stark ausgeprägte Varisierung. Entscheidend für die Verhinderung der transienten Wachstumsstörungen ist eine kurze Stimulations- und Remodellierungszeit (von Laer 2016). Der vorzeitige Fugenschluss kann bei distalen Humerusfrakturen auf Grund von mehrfachen Repositionen oder Bohrversuchen und den damit einhergehenden vaskulären Schädigungen entstehen. Es gilt häufige Manipulationen zu vermeiden und eine ausreichende Primärtherapie sicherzustellen (von Laer et al. 2007). Glücklicherweise sind Wachstumsstörungen auf Grund der geringen Wachstumsfugenpotenz des distalen Humerus selten (Wessel et al. 2003).

#### 1.4.6 Nachbehandlung und Prognose

Die **suprakondylären Humerusfrakturen** werden bei konservativer Therapie für drei bis vier Wochen, bei operativer Versorgung für zwei Wochen ruhiggestellt (von Laer et al. 2007). Allgemein werden die Konsolidationskontrollen vier bis fünf Wochen, die Funktionskontrollen zwei bis drei Wochen nach Freigabe der Bewegung empfohlen (von Laer et al. 2012). Die Bohrdrähte können bei knöcherner Konsolidierung nach drei bis sechs Wochen postoperativ entfernt werden (Fernandez et al. 2016). Bei der **Typ-I-Fraktur** sind prinzipiell keine radiologischen Stellungs- oder Konsolidationskontrollen notwendig. Empfohlen werden klinische Verlaufskontrollen zur primären Gipskontrolle, bei Gipsabnahme mit Konsolidationskontrolle und der Frage nach periostaler Kallusbildung, sowie ein bis zwei Funktionskontrollen. Bei der konservativen Versorgung der **Typ-II-Fraktur** sind nach der radiologischen Stellungskontrolle im Gips, zum Ausschluss eines Rotationsfehlers (ca. am vierten Tag), keine weiteren Stellungskontrollen notwendig. Konsolidationskontrollen können fakultativ durchgeführt werden. Es genügen drei bis vier weitere Funktionskontrollen bis zum Therapieabschluss. Bei den **Typ-III- und-IV-Frakturen** liegt die stationäre Aufenthaltsdauer zwischen ein bis drei Tagen. Nach der radiologischen Kontrolle des Repositionsergebnisses sind keine weiteren Stellungskontrollen nötig. Vor der Materialentfernung sollte unbedingt eine radiologische Konsolidationskontrolle durchgeführt werden. Klinische Verlaufskontrollen sind bei diesen Frakturtypen häufiger erforderlich. Zwischen sechs und zwölf Kontrollen werden für regelmäßige Wundinspektionen, Osteosynthesekontrollen sowie Funktionskontrollen vorgenommen (von Laer et al. 2002). Die Nachkontrollen können in drei bis vier wöchigen Abständen bis zum Therapieabschluss, mit dem Ziel der freien

Funktion mit symmetrischer Ellenbogenachse, erfolgen. Nach Konsolidierung der suprakondylären Humerusfraktur und Gipsabnahme erfolgt die Mobilisation spontan (von Laer et al. 2007). In der Regel wird die freie Beweglichkeit/Funktion nach sechs bis zwölf Wochen erreicht (Wessel et al. 2003; Fernandez et al. 2016). Nach geschlossener Reposition und operativer Versorgung mittels K-Draht-Osteosynthese ist nach sechs Wochen ein Bewegungsverlust von ca. 45 ° und nach zwölf Wochen von ca. 22 ° zu erwarten. Eine normale Beweglichkeit im Ellenbogengelenk soll in 94 % nach sechs Monaten erreicht werden (Zionts et al. 2009). Nach offener Reposition und operativer Versorgung mittels K-Draht-Osteosynthese ist nach sechs bis sieben Wochen ein Bewegungsverlust von ca. 72 %, nach zwölf bis dreizehn Wochen von ca. 35 ° zu erwarten. Nach ca. einem Jahr liegt lediglich ein Bewegungsdefizit von ca. 5 ° vor (Keppler et al. 2005). Verbesserungen der Beweglichkeit können bis zu einem Jahr postoperativ eintreten (Zionts et al. 2009; Keppler et al. 2005). Bei älteren Patienten mit konstant schlechter Funktion, kann nach acht bis zehn Wochen eine physiotherapeutische Behandlung hilfreich sein. Die Sportfähigkeit ist bei Schmerzfreiheit und Konsolidierung nach ca. vier bis fünf Wochen gegeben (von Laer et al. 2007).

Die **epikondylären Humerusfrakturen** werden bei konservativer Therapie für zwei bis drei Wochen in einer Oberarmgipsschiene ruhiggestellt. Bei operativer Versorgung kann die Mobilisierung bei stabiler Osteosynthese sofort und spontan erfolgen (von Laer et al. 2007). Bei K-Draht-Osteosynthese sollte die Ruhigstellung für zwei bis vier Wochen in einer Oberarmgipsschiene erfolgen (Nuber et al. 2018). Die Nachkontrollen sollten in vier bis sechs wöchige Abstände bis zur freien Funktion und Therapieabschluss durchgeführt werden. Eine radiologische Konsolidationskontrolle sollte nach drei Wochen erfolgen (von Laer et al. 2007). Die Schrauben können zwölf Wochen, die K-Drähte sechs Wochen postoperativ entfernt werden (Nuber et al. 2018). Die freie Beweglichkeit ist posttraumatisch nach zehn bis vierzehn Wochen zu erwarten. Falls sich bei Jugendlichen durch die Mobilisation nach ca. drei bis vier Wochen keine Verbesserung der Ellenbogenfunktion einstellt, kann eine physiotherapeutische Behandlung erwogen werden. Sportliche Aktivitäten können fünf bis sechs Wochen nach Konsolidierung freigegeben werden (von Laer et al. 2007).

Die **transkondylären Humerusfrakturen** werden bei konservativer Therapie für vier Wochen in einem zirkulären Oberarmgips, bei operativer Versorgung für zwei bis drei Wochen in einer Oberarmgipsschiene ruhiggestellt (von Laer et al. 2007). Die Einstellung erfolgt in 90 ° Flexion und Neutralstellung des Unterarms (S2k-Leitlinie 2015).

Die Nachsorge sollte auf Grund der Komplikationen und möglichen Spätfolgen länger erfolgen. In drei bis vier wöchigen Abständen, bis zur freien Funktion und Therapieabschluss, sollten Nachkontrollen durchgeführt werden. Danach wird eine jährliche Kontrolle, bis zwei Jahre nach dem Unfall, empfohlen (von Laer et al. 2007). Eine radiologische Konsolidationskontrolle sollte nach vier Wochen, sowie ggf. vor der Implantatentfernung und bei Komplikationen oder Wachstumsstörungen erfolgen (S2k-Leitlinie 2015). Die Osteosynthesematerialentfernung erfolgt bei alleiniger K-Draht-Fixation fünf bis sechs Wochen, bei Verwendung von Schrauben zwölf Wochen postoperativ (Nuber et al. 2018). Die Mobilisierung erfolgt nach der Gipsabnahme spontan, eine physiotherapeutische Behandlung ist i. d. R. nicht indiziert (von Laer et al. 2007). Liegt eine relevante Bewegungseinschränkung ( $> 20^\circ$ ) nach drei Monaten vor kann eine Physiotherapie erfolgen. Frühe Bewegungsübungen sind wegen der Gefahr von Wachstumsstimulationen, Instabilitäten und heterotoper Ossifikationen zu vermeiden (S2k-Leitlinie 2015). Bei der Condylus-radialis-Fraktur ist innerhalb der ersten zwölf Wochen mit einer initialen Bewegungseinschränkung gefolgt von einer raschen Besserung der Beweglichkeit im Ellenbogengelenk auszugehen. Danach ist eine bis zu einem Jahr andauernde schrittweise Verbesserung zu erwarten. Dieser Prozess dauert länger je älter das Kind, je schwerer die Verletzung und je länger die Immobilisierung war. Unabhängig von der Therapie wird ein Jahr nach dem Unfall, ohne physiotherapeutischer Behandlung, in 97 % die Beweglichkeit im Vergleich zu Gegenseite wieder erreicht (Bernthal et al. 2011). Ist die Condylus-radialis-Fraktur stabil versorgt wurden, ist die Wahrscheinlichkeit für ein varsisierendes Fehlwachstum gering (von Laer et al. 2007). Die Prognose der Condylus-ulnaris-Frakturen ist auf Grund von schwereren Begleitverletzungen meistens ungünstiger. Bei jüngeren Kindern zeigen T- und Y-Frakturen bessere Behandlungsergebnisse als im Adoleszentenalter (S2k-Leitlinie 2015). Sportliche Aktivitäten können vier bis sechs Wochen nach Konsolidierung wieder aufgenommen werden (von Laer et al. 2007).

## **2 Material und Methoden**

Bei der vorliegenden Arbeit handelt es sich um eine retrospektive Qualitätsanalyse der Diagnose- und Therapiestandards von distalen Humerusfrakturen im Kindes- und Jugendalter im Rahmen der Qualitätsoffensive der Klinik für Unfallchirurgie, Plastische und Wiederherstellungschirurgie (CUNF), jetzt Klinik für Unfallchirurgie, Orthopädie und Plastische Chirurgie (CUOP) der Universitätsmedizin Göttingen. Berücksichtigt wurden Patienten in dem Zeitraum von 2005 bis 2015. Klinische Nachuntersuchungen im Rahmen dieser Arbeit erfolgten nicht. Lt. Ethikkommission (Prof. Brockmüller) ist für eine Qualitätssicherungsstudie kein Votum erforderlich.

### **2.1 Datenerhebung**

Bei der Erhebung der Patientendaten wurden digital gespeicherte Daten aus dem Bildarchivierungssystem PACS (*Picture Archiving and Communication System*), dem Klinikinformationssystem (SAP), der Operationsdatenbank der Klinik (Dresoda), als auch händische Daten aus den archivierten Patientenakten standardisiert entnommen. In dem oben genannten Zeitraum wurden mit Hilfe des Röntgensystems PACS 1186 Patienten ausfindig gemacht.

#### **2.1.1 Ein- und Ausschlusskriterien**

Die Patientendaten wurden nach folgenden Kriterien selektiert und eingeteilt:

##### **Einschlusskriterien**

- Patientenalter unter 18 Jahren
- Patienten mit diagnostizierter distaler suprakondylärer, epikondylärer oder transkondylärer Humerusfraktur im Zeitraum von 2005 bis 2015
- Konservative und operative Behandlungen in der Klinik für Unfallchirurgie, Orthopädie und Plastische Chirurgie der Universität Göttingen
- Ambulante und stationäre Behandlungen in der Klinik für Unfallchirurgie, Orthopädie und Plastische Chirurgie der Universität Göttingen
- Vollständige Krankenaktendokumentation
- Vollständige Röntgendokumentation
- Adäquate Qualität der Röntgenbilder

### **Ausschlusskriterien**

- Patientenalter über 18 Jahre
- Patienten bei denen sich der anfängliche Verdacht auf eine distale Humerusfraktur im Zeitraum von 2005 bis 2015 nicht bestätigte
- Patienten mit initialer operativer Frakturversorgung in einem auswärtigen Haus, bei nachfolgender konservativer oder operativer Weiterbehandlung an der Universitätsmedizin Göttingen
- Unvollständige Krankenaktendokumentation
- Inkomplette Röntgendokumentation
- Inadäquate Qualität der Röntgenbilder

### **2.1.2 Erhobene Daten**

Anhand der Patientenakten wurden neben den personenbezogenen Daten wie Name, Alter und Geschlecht auch die unfallbezogenen Daten erfasst. Diese wurden für die weitere Verarbeitung pseudonymisiert. Es wurden Unfall- und Aufnahmedatum, der Unfallhergang und die Lokalisation der Fraktur berücksichtigt. Weiterhin wurden alle Informationen zur primären Diagnostik, zu möglichen Begleitverletzungen und zur ambulanten oder operativen therapeutischen Versorgung der Fraktur gesammelt. Berücksichtigt wurden Komplikationen sowie die poststationäre Therapie. Relevant waren Daten aus der Krankenakte mit Verlauf der Genese, radiologische Röntgendokumentationen, Arztbriefe und ggf. Operationsberichte. Weiterhin wurden folgende Zeiträume untersucht: vom Unfalltag/Unfallzeit bis zur Erstvorstellung, vom Unfalltag/Unfallzeit bis zum Therapiebeginn, die Behandlungsdauer, die stationäre Aufenthaltsdauer, die Dauer der Ruhigstellung sowie das Operationsdatum und die Zeit bis zur Metallentfernung.

Die suprakondylären Humerusfrakturen wurden nach der *AO Pediatric Comprehensive Classification of Long-Bone Fractures* (PCCF) in Anlehnung nach von Laer klassifiziert (Slongo et al. 2007a; von Laer et al. 2007). Außerdem konnte anhand der Rogers-Hilfslinie eine Einteilung in Extensions- und Flexionsfrakturen vorgenommen werden (Rogers et al. 1978). Nachfolgend sind Beispiele für die Frakturklassifikation und das Beurteilungsschema dargestellt.

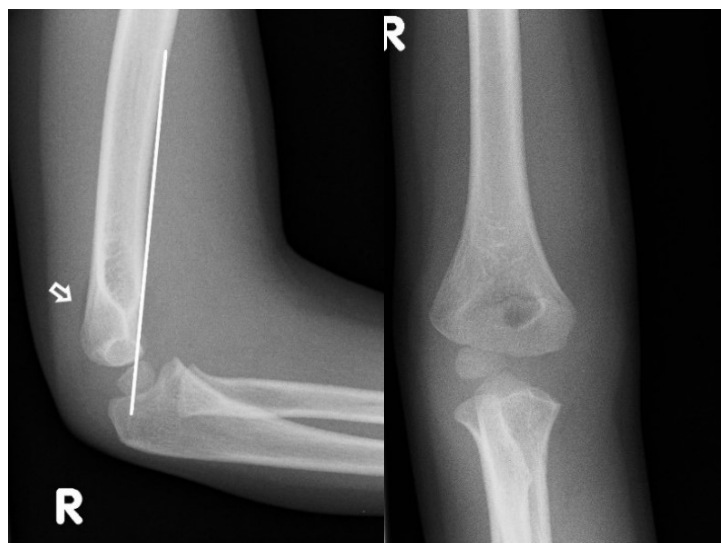


Abbildung 8: Fall 186: konventionelles Röntgenbild des rechten Ellenbogens in zwei Ebenen, Diagnose: Frakturtyp I

Pfeil: positives dorsales Fettpolsterzeichen. Linie: Rogers-Hilfslinie.



Abbildung 9: Fall 193: konventionelles Röntgenbild des rechten Ellenbogens in zwei Ebenen, Diagnose: Frakturtyp II (Extensionsfraktur)

Pfeil: positives dorsales und ventrales Fettpolsterzeichen. Linie: Rogers-Hilfslinie.



Abbildung 10: Fall 269: konventionelles Röntgenbild des rechten Ellenbogens in zwei Ebenen, Diagnose: Frakturtyp II (Flexionsfraktur)

Pfeil: positives dorsales und ventrales Fettpolsterzeichen. Linie: Rogers-Hilfslinie.

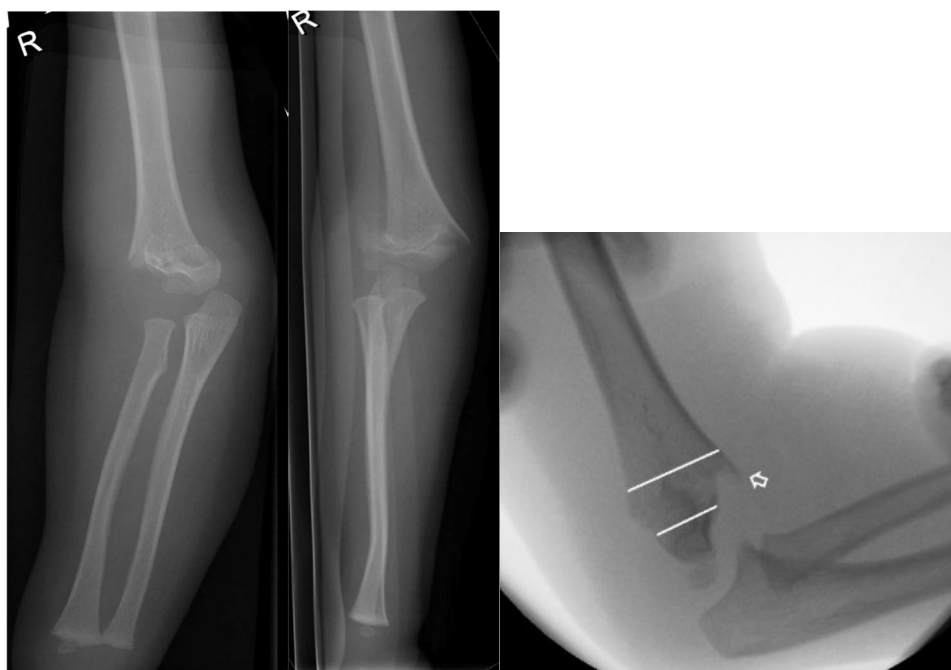


Abbildung 11: Fall 189: konventionelles Röntgenbild des rechten Ellenbogens in zwei Ebenen, Diagnose: Frakturtyp III

Pfeil: ventraler Rotationssporn. Linien: Breitendiskrepanz zwischen dem proximalen und distalen Frakturfragment.



Abbildung 12: Fall 301: konventionelles Röntgenbild des rechten Ellenbogens in zwei Ebenen, Diagnose: Frakturtyp IV

Bei der Einteilung der Operationsverfahren wurden die Angaben im Operationsbericht hinsichtlich geschlossener und offener Reposition übernommen.

Entsprechend der multizentrischen Effizienzstudie der Sektion Kindertraumatologie der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie wurden die Angaben des Bewegungsumfanges nach der Neutral-Null-Methode mit einem residuellen Bewegungsdefizit zwischen null und zehn Grad als befriedigend eingestuft. Als unbefriedigend wurden hingegen verbleibende Einschränkungen von über zehn Grad bewertet (von Laer et al. 2002).



## **2.2 Datenverarbeitung und statistische Auswertung**

Die in der Sekundärerhebung gewonnenen Daten wurden zur weiteren Be- und Verarbeitung in das Programm Excel 2016 eingepflegt. Für die Deskriptiv- und Inferenzstatistik wurden die gesammelten Informationen in Zahlen kodiert und mit Hilfe des Programms Statistica Version 13.1 ausgewertet. Des Weiteren wurde die Software Microsoft Word 2016 für das Erstellen von einfachen Tabellen und der Verfassung der Arbeit verwendet. Nach Beratung durch die Medizinstatistik wurden für die Deskriptivstatistik Parameter wie Minimum, Maximum, Mittelwert, Standardabweichung, Median, 25. und 75. Perzentile ermittelt. Vor Anwendung von statistischen Tests wurden die Skalenniveaus und Verteilungstypen bestimmt. Handelte es sich um metrische Skalen wurden die Hypothesen über Mittelwertunterschiede getestet, wohingegen bei kategorialen Skalen Häufigkeiten geprüft wurden. Zur Prüfung auf Normalverteilung wurde der Shapiro-Wilk-Test angewandt. Lag eine Normalverteilung vor wurden parametrische Tests angewandt, andernfalls kamen parameterfreie Tests zum Einsatz. Richtungsweisend für die jeweilige Testung waren außerdem die Stichprobenanzahl und Stichprobenbeschaffenheit. Die Signifikanztestung erfolgte bei metrischen Skalenniveau, Nicht-Normalverteilung, zwei unabhängigen bzw. unverbundenen Stichproben mittels Mann-Whitney-U-Test. Handelte es sich um mehrere Stichproben wurde der Kruskal-Wallis-Test angewandt. Hauptsächlich wurde bei kategorialen Skalenniveau und zwei unabhängigen bzw. unverbundenen Stichproben der Chi-Quadrat-Test verwendet. Das Signifikanzniveau wurde auf 5 % (Irrtumswahrscheinlichkeit:  $p < 0,05$ ) festgelegt.

### **3 Ergebnisse**

Ursprünglich wurden Daten von 1186 Patienten, die eine radiologisch gesicherte distale Humerusfraktur oder den hinreichenden Verdacht vorwiesen in die Bewertung eingeschlossen. Von dieser Gesamtmenge wurden 58 Patienten ausgeschlossen, die das Einschlusskriterium Patientenalter unter 18 Jahren nicht erfüllten. Anhand der Beurteilung der Röntgenbilder und dem klinischen Verlauf wurden die Fälle ausgeschlossen, bei denen sich der Verdacht auf eine distale Humerusfraktur nicht bestätigte. Es verblieben 501 Patienten, teilweise noch mit fraglicher distaler Humerusfraktur. Die weitere Selektion des Patientenkollektivs und die endgültige Einteilung der Frakturtypen erfolgte mit Hilfe der Revision der Patientenakte, die in der Regel den detaillierten Aufnahme- und Operationsbericht, sowie den Entlassungsbrief und den Verlauf der Genese beinhaltete. Es bestand bei einigen Patienten eine Divergenz zwischen der mittels Röntgenbildes diagnostizierten Fraktur und der Diagnose im weiteren klinischen Verlauf. Aus diesem Grund wurde die Fraktureinteilung an Letzteres angelehnt. Es verblieben 344 Patienten, die das Kriterium des Alters erfüllten und sich in dem Zeitraum von 2005 bis 2015 eine distale Humerusfraktur zuzogen. Nach Anwendung der übrigen Ein- und Ausschlusskriterien wurden 32 Patienten aus folgenden Gründen aussortiert: zwölf Patienten bei denen die operative Frakturbehandlung im auswärtigen Krankenhaus und die Weiterbehandlung an der Universitätsmedizin Göttingen erfolgte; fünf Patienten mit initial operativer Versorgung im auswärtigen Krankenhaus und Korrekturosteotomie an der Universitätsmedizin Göttingen; sechs Patienten mit unvollständiger Röntgendokumentation; fünf Patienten mit unvollständiger Aktendokumentation und vier Sonderfälle (Osteogenesis Imperfekta, komplizierter Verlauf nach einem Motorradunfall, osteochondrale Läsionen). Bei weiteren 34 Patienten war die Fraktureinteilung oder die Kontrolle der Fraktureinteilung nicht möglich, da die Röntgenbilder vom Unfalltag nicht vorlagen. 278 Kinder und Jugendliche erfüllten die Ein- und Ausschlusskriterien und wurden in die Studie aufgenommen. Da sich sechs Patienten zu einem späteren Zeitpunkt erneut eine distale Humerusfraktur zuzogen, wurden 284 Patientenfälle analysiert.

#### **3.1 Geschlechts- und Altersverteilung**

Ausgehend von einem Gesamtkollektiv von 278 Patienten waren 120 (43,17 %) weiblich und 158 (56,83 %) männlich. Unter Berücksichtigung aller Patientenfälle (n = 284) wurde eine Aufteilung der distalen Humerusfrakturen in supra-, epi- und transkondyläre Frakturen und in ihre Untergruppen vorgenommen.

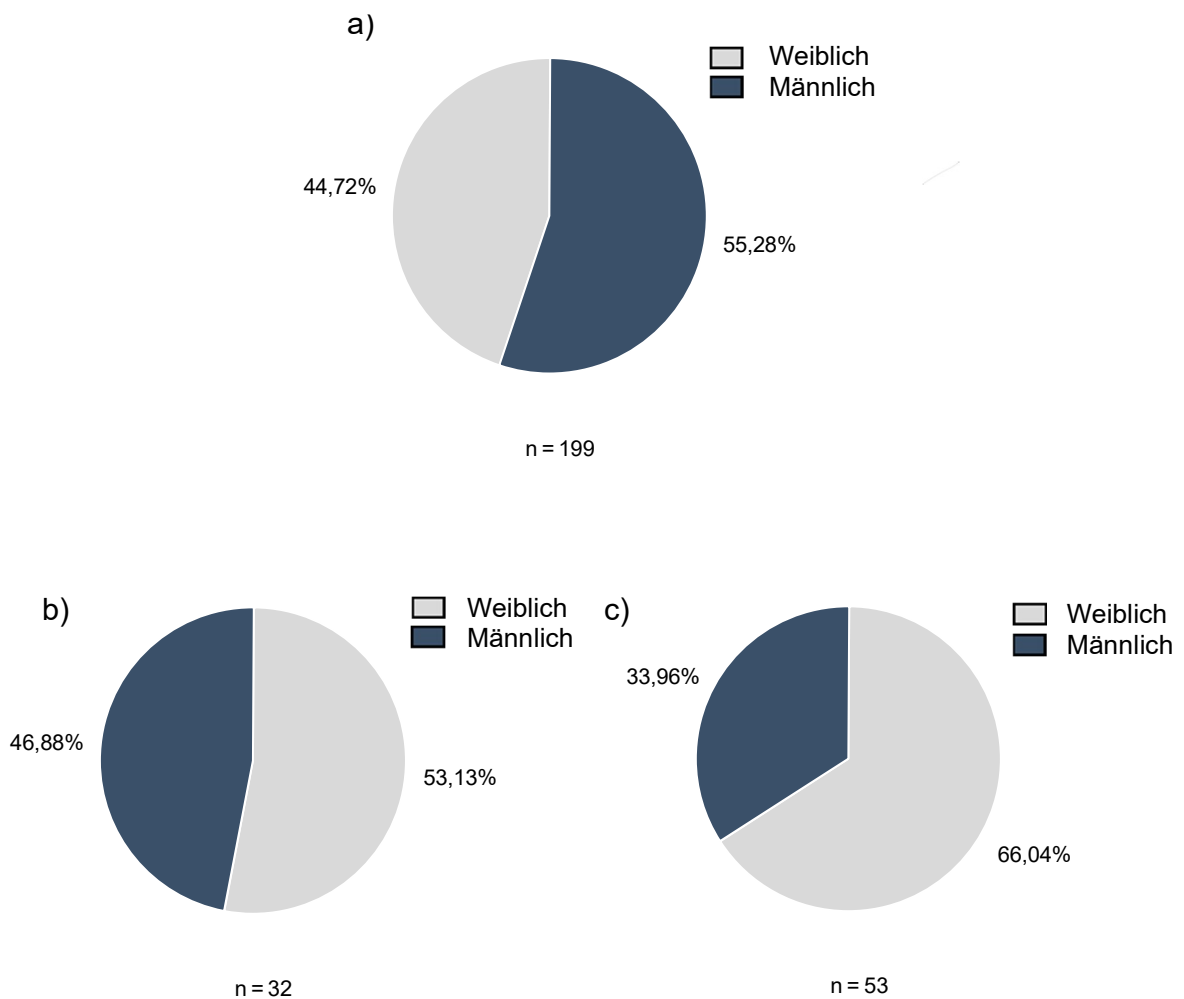


Abbildung 13: Geschlechtsverteilung supra-, epi- und transcondyläre Humerusfrakturen

a) suprakondyläre Humerusfrakturen b) epikondyläre Humerusfrakturen  
c) transcondyläre Humerusfrakturen

Bei den Patienten mit suprakondylären Humerusfrakturen waren 89 (44,72 %) weiblich und 110 (55,28 %) männlich. Fünf Patienten hatten sich in dem oben genannten Zeitraum zwei suprakondyläre Humerusfrakturen zugezogen und ein Patient sowohl eine suprakondyläre als auch eine transcondyläre Humerusfraktur. Aus diesem Grund weichen die Häufigkeiten von der Gesamthäufigkeit  $n = 278$  ab. Bei den epikondylären Humerusfrakturen waren 15 (46,88 %) Patienten weiblich und 17 (53,13 %) männlich. Bei Betrachtung der Untergruppen zeigten sich bei den weiblichen Patienten 13 13-M/7m (13 von 24  $\hat{=} 54,17$  %) und zwei 13-M/7I (2 von 8  $\hat{=} 25,00$  %) Frakturen. Bei den männlichen Patienten zeigte sich eine Verteilung von elf 13-M/7m (11 von 24  $\hat{=} 45,83$  %) und sechs 13-M/7I (6 von 8  $\hat{=} 75,00$  %) Frakturen. Werden die trans-

kondylären Humerusfrakturen betrachtet waren 18 (33,96 %) Patienten weiblich und 35 (66,04 %) männlich. Bei den weiblichen Patienten zeigten sich 16 13-E4.1 Frakturen, darunter zwölf Condylus radialis (12 von 40  $\hat{=}$  30,00 %) und vier Condylus ulnaris (4 von 8  $\hat{=}$  50,00 %), sowie zwei 13-E/4.2 Frakturen (2 von 5  $\hat{=}$  40,00 %). Bei den männlichen Patienten zeigte sich eine Verteilung von 35 13-E4.1 Frakturen, darunter 28 Condylus radialis (28 von 40  $\hat{=}$  70,00 %) und vier Condylus ulnaris (4 von 8  $\hat{=}$  50,00 %), sowie drei 13-E/4.2 Frakturen (3 von 5  $\hat{=}$  60,00 %).

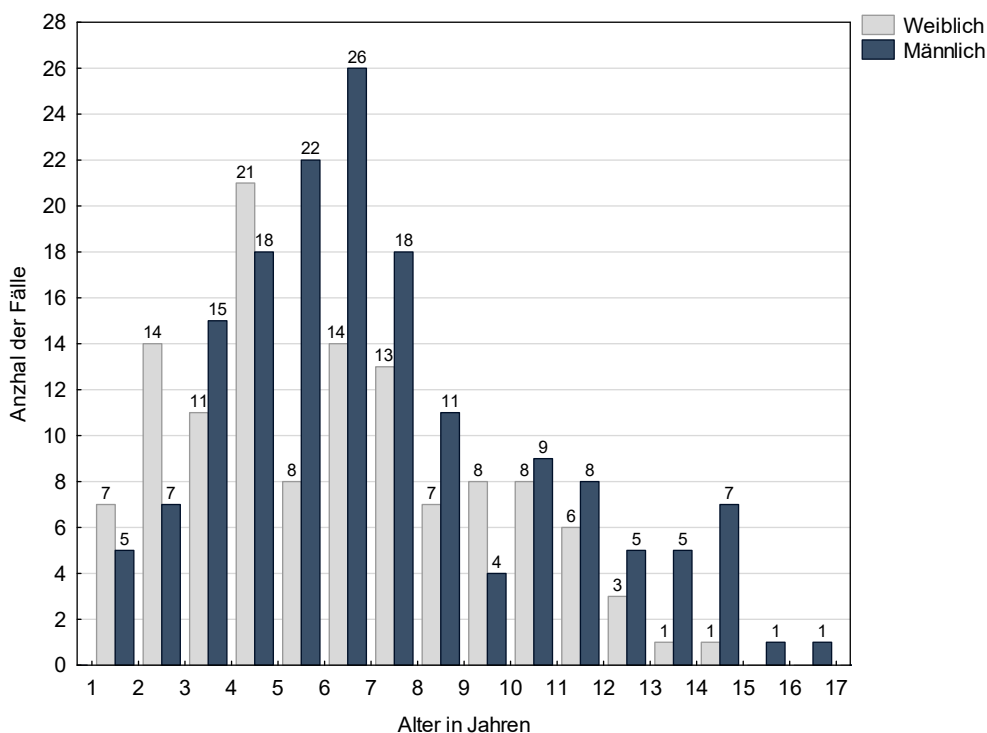


Abbildung 14: Altersverteilung zum Unfallzeitpunkt (n = 284)

Tabelle 1: Altersverteilung zum Unfallzeitpunkt (n = 284)

Alter	n	Min.	Max.	Mittelw.	SD	Median	25. Perzentile	75. Perzentile
<b>Weiblich</b>	122	1,67	14,17	6,29	3,13	6,00	4,00	8,67
<b>Männlich</b>	162	1,33	16,33	7,21	3,40	6,50	4,83	8,92
<b>Gesamt</b>	284	1,33	16,33	6,82	3,31	6,25	4,50	8,75

Das Durchschnittsalter der 278 Patienten mit 284 Frakturen (sechs Patienten mit zwei asynchronen Frakturen) lag bei  $6,82 \pm 3,31$  Jahren. Der jüngste behandelte Patient war zum Unfallzeitpunkt ein Jahr und vier Monate, der Älteste sechzehn Jahre und vier Monate alt. Eingeteilt in Altersgruppen waren 32 (11,27 %) zum Unfallzeitpunkt im Kleinkindesalter zwischen 1-2 Jahren, 94 (33,10 %) im Kindergartenalter zwischen 3-5 Jahren, 102 (35,91 %) im Grundschulalter zwischen 6-9 Jahren und 56 (19,72 %) im Adoleszentenalter zwischen 10-16 Jahren.

Bei den suprakondylären Humerusfrakturen lag das Durchschnittsalter bei  $6,06 \pm 2,61$  Jahren. Das durchschnittliche Alter der epikondylären Frakturen lag bei  $10,45 \pm 3,52$  (13-M/7m:  $11,17 \pm 3,35$  (Altersspanne 2,08-16,33); 13-M/7l:  $8,30 \pm 3,32$  (Altersspanne 2,75-11,92)) und der transkondylären Frakturen bei  $7,45 \pm 3,96$  Jahren (13-E4.1: Condylus radialis  $7,05 \pm 3,91$  (Altersspanne 1,33-14,83) und Condylus ulnaris  $6,61 \pm 3,72$  (Altersspanne 2,08-14,67); 13-E4.2:  $11,95 \pm 1,57$  (Altersspanne 10,58-14,17)).

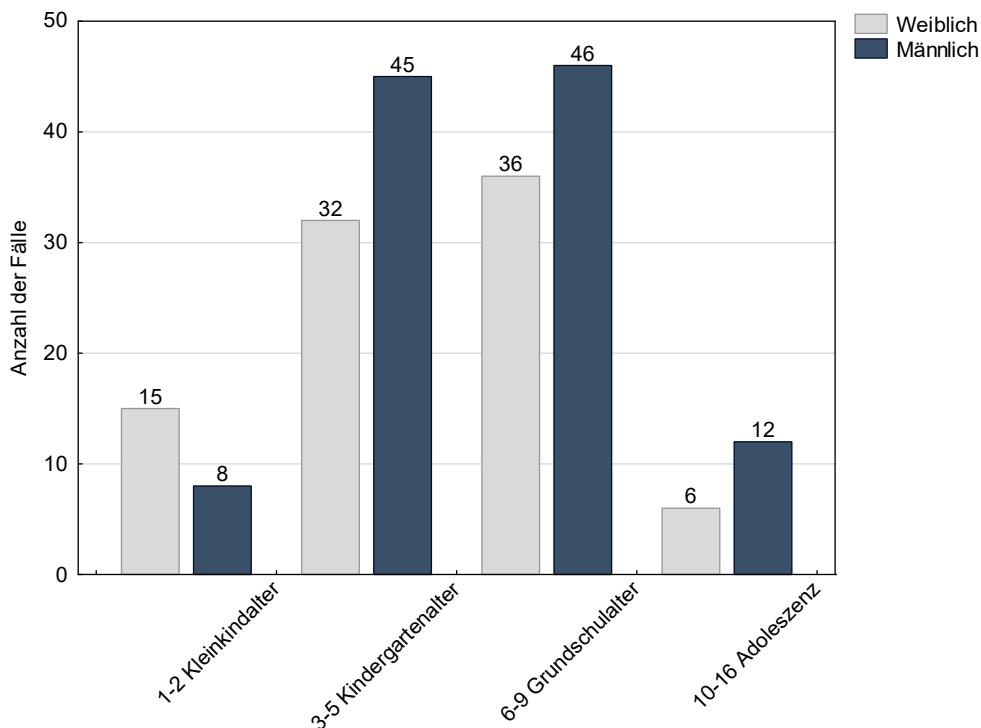


Abbildung 15: Altersverteilung zum Unfallzeitpunkt – suprakondyläre Humerusfrakturen (n = 199)

Tabelle 2: Altersverteilung zum Unfallzeitpunkt – suprakondyläre Humerusfrakturen (n = 199)

Alter	n	Min.	Max.	Mittelw.	SD	Median	25. Perzentile	75. Perzentile
<b>Weiblich</b>	89	1,67	11,75	5,83	2,64	5,50	4,00	7,92
<b>Männlich</b>	110	1,83	14,25	6,25	2,58	6,04	4,67	7,42
<b>Gesamt</b>	199	1,67	14,25	6,06	2,61	5,92	4,25	7,58

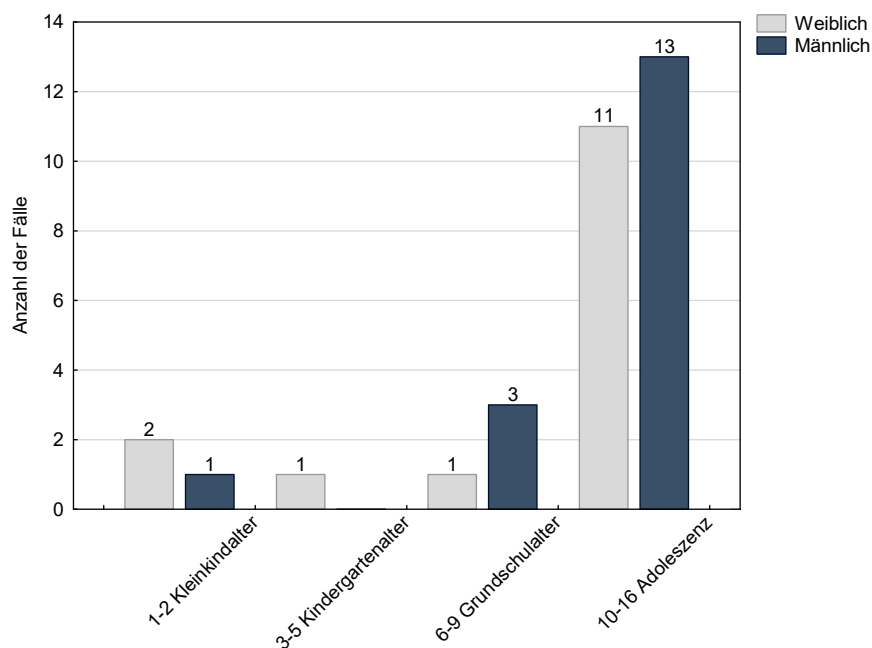


Abbildung 16: Altersverteilung zum Unfallzeitpunkt – epikondyläre Humerusfrakturen (n = 32)

Tabelle 3: Altersverteilung zum Unfallzeitpunkt – epikondyläre Humerusfrakturen (n = 32)

Alter	n	Min.	Max.	Mittelw.	SD	Median	25. Perzentile	75. Perzentile
<b>Weiblich</b>	15	2,08	13,67	9,47	3,60	10,58	7,58	11,42
<b>Männlich</b>	17	2,75	16,33	11,32	3,31	11,67	10,42	13,67
<b>Gesamt</b>	32	2,08	16,33	10,45	3,52	11,25	9,88	12,00

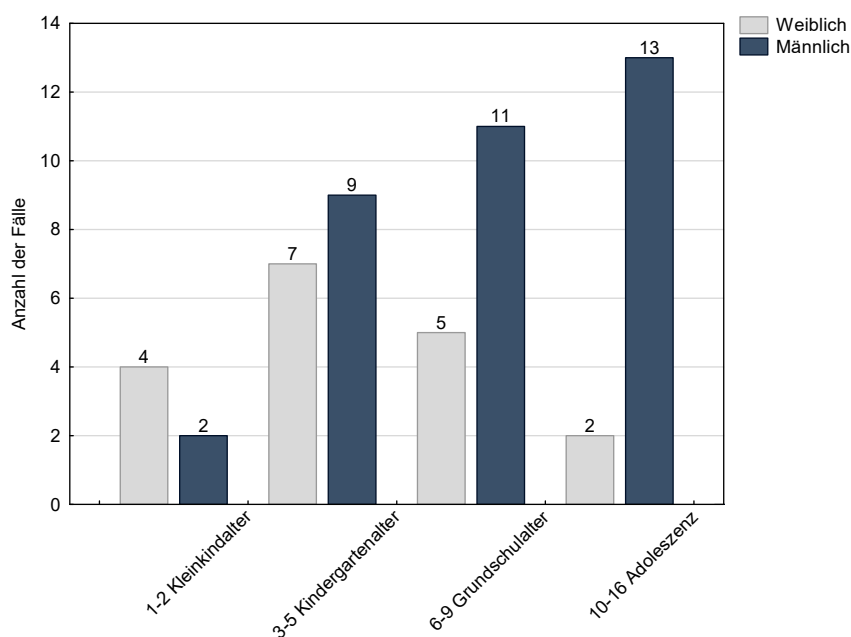


Abbildung 17: Altersverteilung zum Unfallzeitpunkt – transkondyläre Humerusfrakturen (n = 53)

Tabelle 4: Altersverteilung zum Unfallzeitpunkt – transkondyläre Humerusfrakturen (n = 53)

Alter	n	Min.	Max.	Mittelw.	SD	Median	25. Perzentile	75. Perzentile
<b>Weiblich</b>	18	1,67	14,17	5,91	3,56	5,13	2,08	13,00
<b>Männlich</b>	35	1,33	14,83	8,24	3,97	7,08	3,58	14,67
<b>Gesamt</b>	53	1,33	14,83	7,45	3,96	6,50	2,25	13,83

Die Geschlechtsverteilung, Altersverteilung, der Frakturtyp und die Frakturlokalisierung der sechs Patienten mit zweimaliger Humerusfraktur wird in der folgenden Tabelle 5 abgebildet.

Tabelle 5: Patienten mit zweifacher Humerusfraktur

	Frakturtyp	Geschlecht	Alter	Lokalisation
<b>Patient 1</b>	suprakondylär	M	4,92	Rechts
	suprakondylär		6,08	Rechts
<b>Patient 2</b>	suprakondylär	W	3,75	Rechts
	suprakondylär		4	Rechts
<b>Patient 3</b>	suprakondylär	M	5,83	Rechts
	suprakondylär		10,75	Links
<b>Patient 4</b>	suprakondylär	W	2,5	Links
	suprakondylär		4,5	Links
<b>Patient 5</b>	suprakondylär	M	3	Links
	transkondylär		7,08	Links
<b>Patient 6</b>	suprakondylär	M	3,33	Links
	suprakondylär		3,83	Links

In fünf von sechs Fällen trat zu einem späteren Zeitpunkt erneut eine suprakondyläre Humerusfraktur auf. Dabei war derselbe Arm betroffen. In einem Fall ereignete sich zweizeitig am selben Arm sowohl eine suprakondyläre als auch eine transkondyläre Humerusfraktur.

### 3.2 Jahreszeitliche Verteilung

Die folgende Grafik veranschaulicht die jahreszeitliche Verteilung der distalen Humerusfrakturen. Im Mai verletzen sich die Kinder- und Jugendlichen am häufigsten, wohingegen im Dezember die niedrigsten Fallzahlen ermittelt wurden.

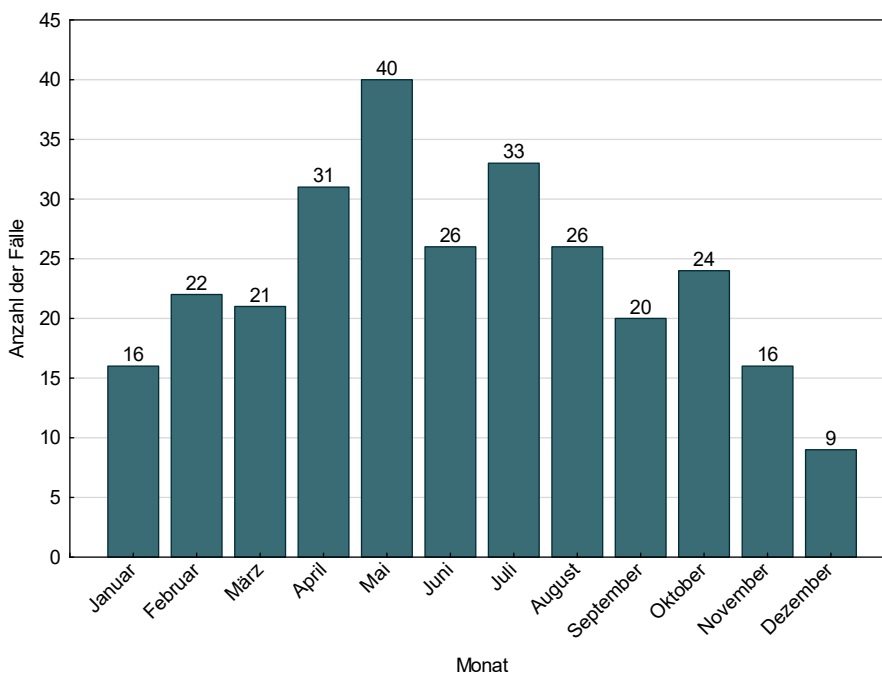


Abbildung 18: Jahreszeitliche Verteilung (n = 284)

### 3.3 Unfalltag, Unfallzeit und klinische Erstvorstellung

Ausgehend von 284 Patientenfällen kamen 251 Patienten (88,38 %) am Unfalltag in die Universitätsmedizin Göttingen. Von den 251 wurden 28 Patienten entweder in einem auswärtigen Krankenhaus, bei einem niedergelassenen Haus- oder Facharzt oder bei einem Radiologen erstmals untersucht, respektive behandelt. Diese wurden im Anschluss ohne definitive Therapie an die unfallchirurgische Abteilung Göttingen weitergeleitet. Bei einem Patienten war unklar, ob eine anderweitige Erstvorstellung erfolgte. Demnach kamen 223 Patienten (78,52 %) direkt in die Universitätsmedizin Göttingen.



Eine weitere Einteilung der Latenz vom Unfalltag bis zur ersten klinischen Vorstellung in der Universitätsmedizin Göttingen zeigt die Tabelle 6.

Tabelle 6: Zeitdifferenz in Tagen – Unfalltag bis klinische Erstvorstellung in Göttingen (n = 284)

Klinische Erstvorstellung Angabe in Tagen nach Unfalltag	0	1	2	3	4	5	6	21
284 Patientenfälle	251	21	6	1	1	1	2	1

33 Patienten (11,62 %) wurden erst nach einem oder mehreren Tagen des Ereignisses in der Universitätsmedizin Göttingen vorstellig. Bei 20 Patienten erfolgte die erste ärztliche Konsultation und der Therapiebeginn an der Universitätsmedizin Göttingen nach einer „Patienten-/Elternverschuldeten“ Verzögerung. Es wurde von einem verspäteten Therapiebeginn ausgegangen, da keine anderweitige ärztliche Vorstellung aus der Patientenakte hervorging. 13 Patienten wurden erstmals entweder in einem auswärtigen Krankenhaus, bei einem niedergelassenen Hausarzt oder bei einem Radiologen untersucht und in den Folgetagen an die Universitätsmedizin Göttingen weitergeleitet. Bei zehn von diesen 13 Patienten erfolgte die auswärtige Vorstellung am Unfalltag, somit wurde nicht von einem verspäteten Therapiebeginn ausgegangen. Die übrigen drei Fälle wurden hingegen als verzögerte Vorstellung gewertet. Im Rahmen der auswärts erfolgten Primärversorgung wurde die Verdachts-diagnose oder Diagnose gestellt und eine erste Stabilisierung mittels Gipsverband oder *Cuff-and-Collar*-Verband vorgenommen. Anschließend erfolgte die Überweisung an die Universitätsmedizin Göttingen zur definitiven Versorgung.

Tabelle 7: Verspäteter Therapiebeginn (n = 23)

Verspäteter Therapiebeginn Angabe in Tagen nach dem Unfallereignis	1	2	3	4	5	6	21
20 Patientenfälle	17	2	-	-	-	1	-
3 Patientenfälle	1	-	1	1	-	-	-

Der Unfallzeitpunkt wurde bei 216 Patientenfällen angegeben. Im Median lag die Unfallzeit bei 16:00 Uhr.

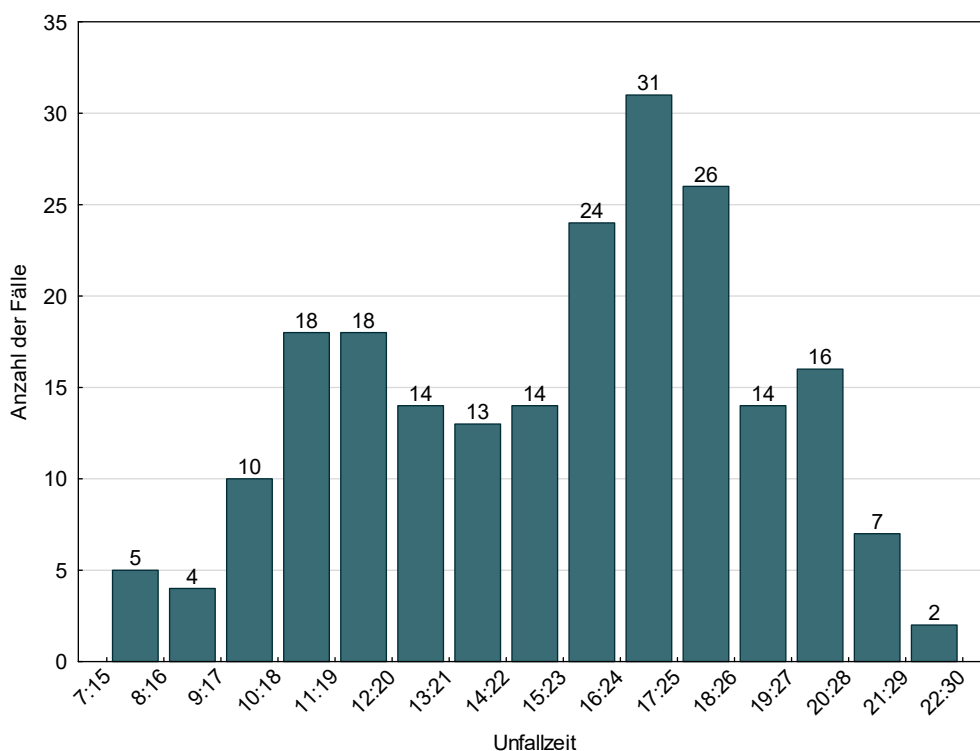


Abbildung 19: Analyse der Unfallzeit nach Tageszeit (n = 216)

Der Aufnahmezeitpunkt wurde bei 249 Patientenfällen dokumentiert. Im Median lag die Aufnahmezeit bei 17:00 Uhr.

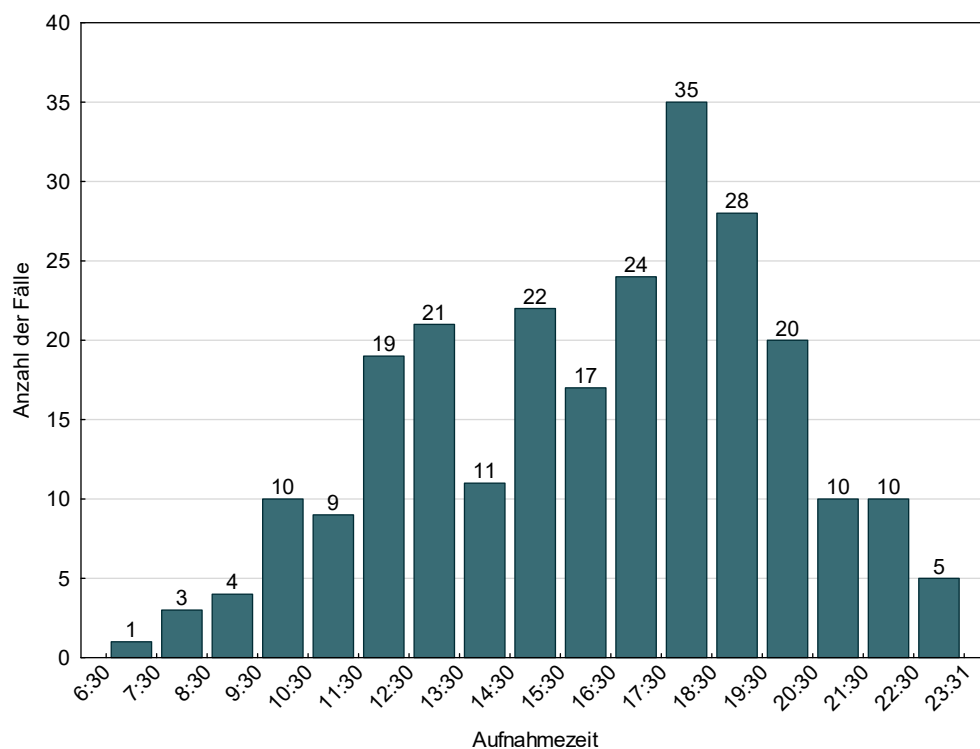


Abbildung 20: Analyse der Aufnahmezeit nach Tageszeit (n = 249)

Im Folgenden werden die Zeitintervalle vom Unfallzeitpunkt bis zur Erstaufnahme in der Universitätsmedizin Göttingen und von der Erstaufnahme bis zum Operationsbeginn veranschaulicht.

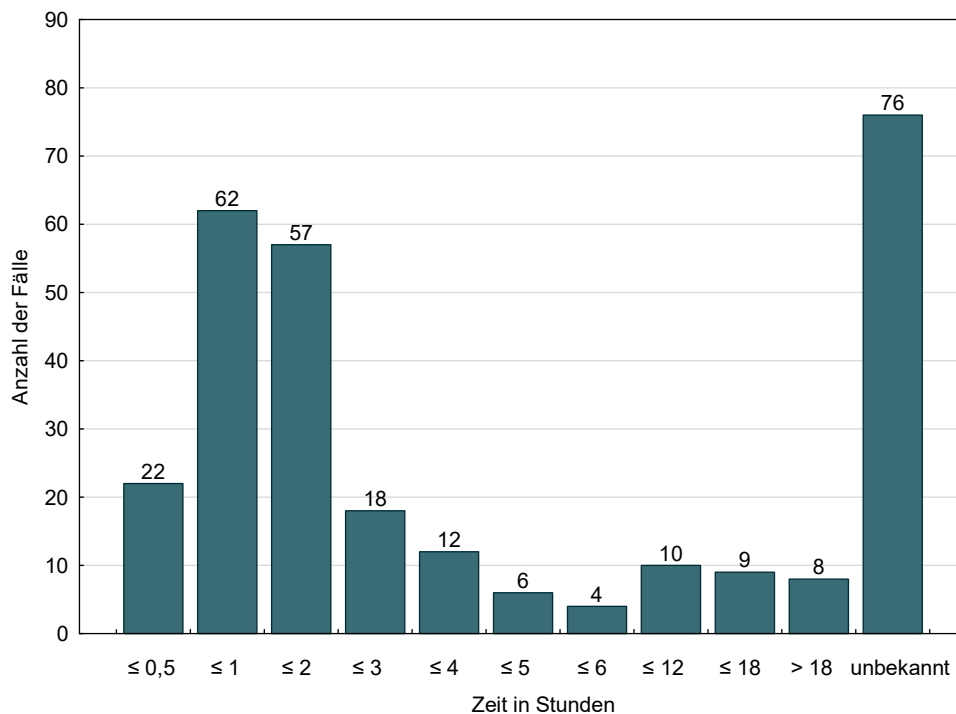


Abbildung 21: Zeitintervall Unfallzeitpunkt – Erstaufnahme (n = 284)

Tabelle 8: Zeitintervall Unfallzeitpunkt – Erstaufnahme (n = 284)

Zeitintervall	n	Min.	Max.	Mittelw.	SD	Median	25. Perzentile	75. Perzentile
<b>Bekannt</b>	208	0,17	425,87	7,36	34,19	1,33	0,83	3,00
<b>Unbekannt</b>	76	-	-	-	-	-	-	-

Bei 208 Patientenfällen wurde eine Zeitdifferenz bestimmt, in 76 Fällen war keine Angabe möglich. Im Median vergingen 1,33 Stunden bis das verunfallte Kind in der unfallchirurgischen Klinik der Universitätsmedizin Göttingen vorstellig wurde. In 181 Fällen (63,73 % von n = 284) stellten sich die Patienten innerhalb von sechs Stunden vor. Die schnellste Vorstellung erfolgte zehn Minuten nach dem Unfallereignis. Bezüglich der Vorstellungsmodi ergaben sich bei 32 (11,27 %) Fällen keinerlei Informationen, 70 (24,65 %) wurden durch einen Rettungswagen eingeliefert und 182 (64,08 %) von ihren Eltern oder Aufsichtspersonen begleitet.

Spätestens nach der Erstaufnahme in der unfallchirurgischen Klinik in der Universitätsmedizin Göttingen begann die konservative oder operative Versorgung der Humerusfrakturen. Bei der Therapieentscheidung für eine operative Reposition wurde das Zeitintervall der Erstaufnahme bis zum Operationsbeginn ermittelt. Die Indikation für

eine operative Versorgung wurde bei 136 Patientenfällen gestellt. In 17 Fällen wurde zunächst konservativ therapiert und anschließend auf eine operative Behandlung umgestiegen. Diese Gruppe wurde im Verlauf der Arbeit separat betrachtet.

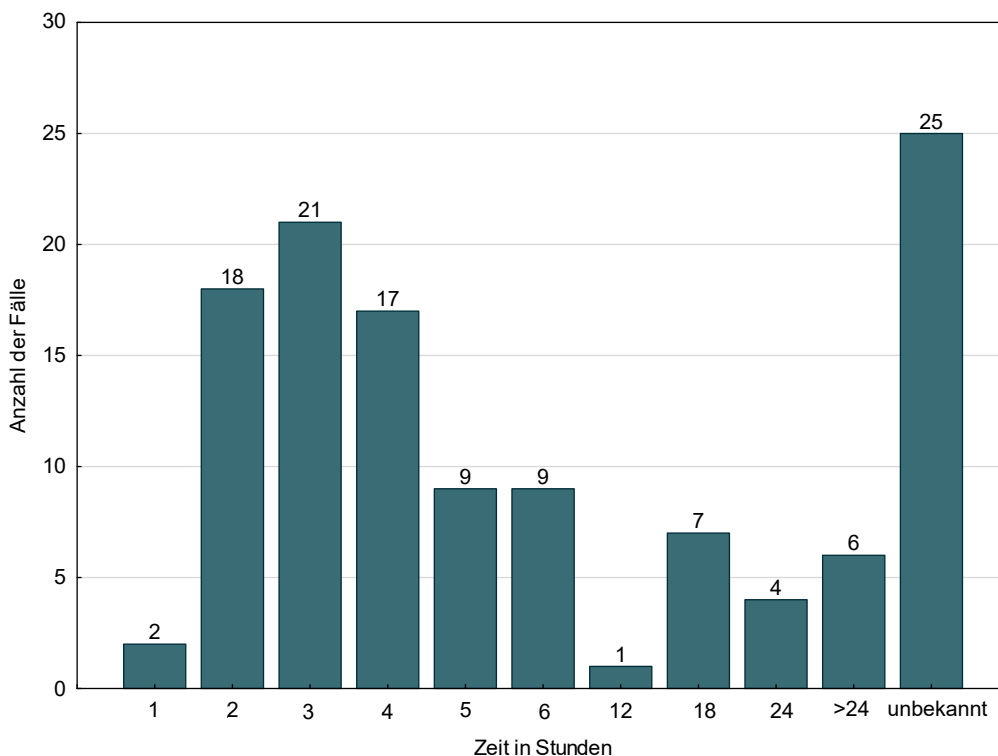


Abbildung 22: Zeitintervall Erstaufnahme – Operationsbeginn (n = 119)

Tabelle 9: Zeitintervall Erstaufnahme – Operationsbeginn (n = 119)

Zeitintervall	n	Min.	Max.	Mittelw.	SD	Median	25. Perzentile	75. Perzentile
Bekannt	94	0,25	141,54	8,61	18,29	3,49	2,13	5,32
Unbekannt	25	-	-	-	-	-	-	-

In 119 Patientenfällen wurde primär operativ therapiert. In 25 Fällen fehlte entweder die Aufnahmezeit oder die Schnitt-Naht-Zeit, um das gewünschte Intervall zu berechnen. Im Median vergingen 3,49 Stunden bis zum Operationsbeginn. In 76 Fällen (80,85 % von n = 94) wurde innerhalb von sechs Stunden eine operative Therapie begonnen.

### 3.4 Unfallort, Unfallhergang und Sturzhöhe

Ausgehend von 284 Patientenfällen verunfallten 74 Patienten (26,06 %) bei Aktivitäten im Freien, wie beispielsweise beim Fahrrad- oder Dreiradfahren, bei denen kein genauer Ort ermittelt wurde. In häuslicher Umgebung verunglückten 44 Patienten (15,49 %), gefolgt von Schulunfällen mit 39 Patienten (13,73 %) und Kindergartenunfällen mit 32 Patienten (11,27 %). 25 Patienten (8,80 %) verletzten sich in einer Sportstätte und 17 Patienten (5,99 %) auf einem Spielplatzgelände. Lediglich ein

Patient verunfallte beim Fahrradfahren im Straßenverkehr. Dieser wurde von einem PKW erfasst. Bei 52 Patienten (18,31 %) konnte kein Unfallort ermittelt werden.

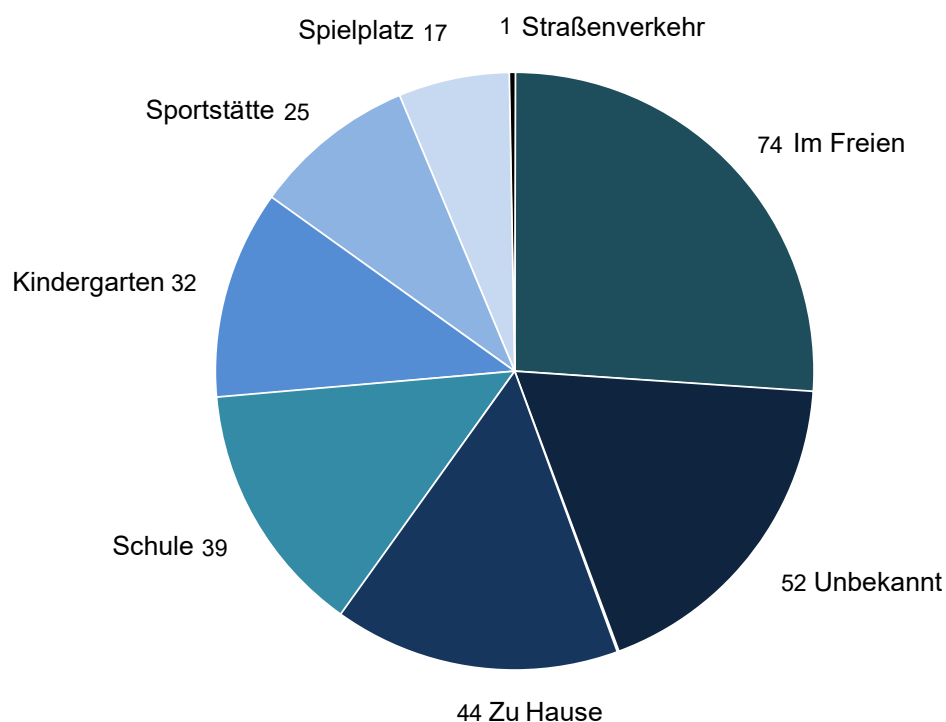


Abbildung 23: Unfallort (n = 284)

Sturzereignisse waren die häufigste Unfallursache. In 20,77 % (n = 59) wurden keine weiteren Angaben gemacht. 33 (11,62 %) Patienten stürzten beim Spielen, 24 (8,45 %) beim Klettern und 18 (6,34 %) stürzten vom Fahrrad oder Dreirad. In der folgenden Tabelle 10 werden alle Unfallursachen nach Häufigkeit und Geschlecht aufgelistet.

Tabelle 10: Unfallhergang nach Geschlecht und Unfallursache (n = 284)

Patientenfälle	Männlich	Weiblich	Gesamt
Sturz unklarer Ursache	33	26	59
Sturz beim Spielen	17	16	33
Sturz beim Klettern	14	10	24
Sturz vom Fahrrad / Dreirad	13	5	18
Sturz beim Trampolinspringen	9	9	18
Sturz von der Schaukel	9	8	17
Sturz beim Reiten	1	9	10
Sturz beim Turnen	4	6	10
Sturz beim Fußballspielen	9	-	9
Sturz vom Hochbett / Gitterbett / Bett	5	4	9
Sturz vom Baum	3	5	8
Sturz vom Stuhl / Hochstuhl / Hocker	5	3	8
Sturz beim Rutschen / Anpralltrauma	4	2	6
Sturz von der Wippe	5	-	5

Patientenfälle	Männlich	Weiblich	Gesamt
Geschupst und gestürzt	4	1	5
Sturz vom Kasten	2	2	4
Treppensturz	2	1	3
Sturz vom Bobby-Car/Kettcar	2	-	2
Sturz vom Skateboard / Waveboard	-	2	2
Sturz vom City Roller / Tretroller	-	2	2
Sturz vom Heuballen	1	1	2
Sturz von der Fensterbank	2	-	2
Sturz von der Leiter	1	1	2
Sturz von der Mauer	1	1	2
Sturz vom Barren	-	1	1
Sturz beim Tanzen	-	1	1
Sturz beim Kampfsport	1	-	1
Sturz beim Rugbyspielen	1	-	1
Sturz beim Handballspielen	1	-	1
Sturz beim Rollschuhlaufen	-	1	1
Sturz beim Schlittschuhfahren	1	-	1
Sturz beim Skifahren	-	1	1
Sturz vom Dach	1	-	1
Sturz vom Zaun	1	-	1
Sturz vom Sofa	-	1	1
Sturz vom Drehkarussell	1	-	1
Sturz Brücke	1	-	1
Sturz aus dem Auto	1	-	1
Anpralltrauma Tür	1	-	1
Schlag mit einem Gegenstand	3	-	3
Torsionstrauma	2	1	3
Vom Pferd getreten	-	1	1
Sturz im Arm eines Elternteils	1	1	2

Um eine bessere Übersicht und Einteilung nach Geschlecht und Alter vorzunehmen, wurden folgende Gruppen gebildet.

- Sturz unklarer Ursache (n = 58; 20,42 %)
- Spielen: schaukeln, rutschen, wippen, Drehkarussell fahren (n = 63; 22,18 %)
- Klettern: Leiter, Mauer, Zaun, Dach, Baum, Fensterbank, Kasten, Heuballen, Sofa, Brücke (n = 48; 16,90 %)
- Fahren, Rollen, Gleiten: Fahrrad, Dreirad, Bobby- und Kettcar, City- und Tretroller, Skate- und Waveboard, Ski, Schlittschuh, Rollschuh (n = 27; 9,51 %)
- Sport: Trampolinspringen, Kampfsport, Ballsport (Fußball, Handball, Rugby), reiten, turnen, tanzen (n = 52; 18,31 %)
- Andere: Stuhl / Hochstuhl / Hocker, Bett / Hochbett / Gitterbett, geschupst / gestürzt, Treppe, Sturz aus dem Auto, Anpralltrauma, Schlag mit einem Gegenstand, Torsionstrauma, vom Pferd getreten, Sturz im Arm eines Elternteils (n = 36; 12,68 %)

Die folgenden Abbildungen 24 und 25 zeigen den Unfallhergang nach Altersgruppe sowie Geschlecht und schließen alle Patientenfälle ein.

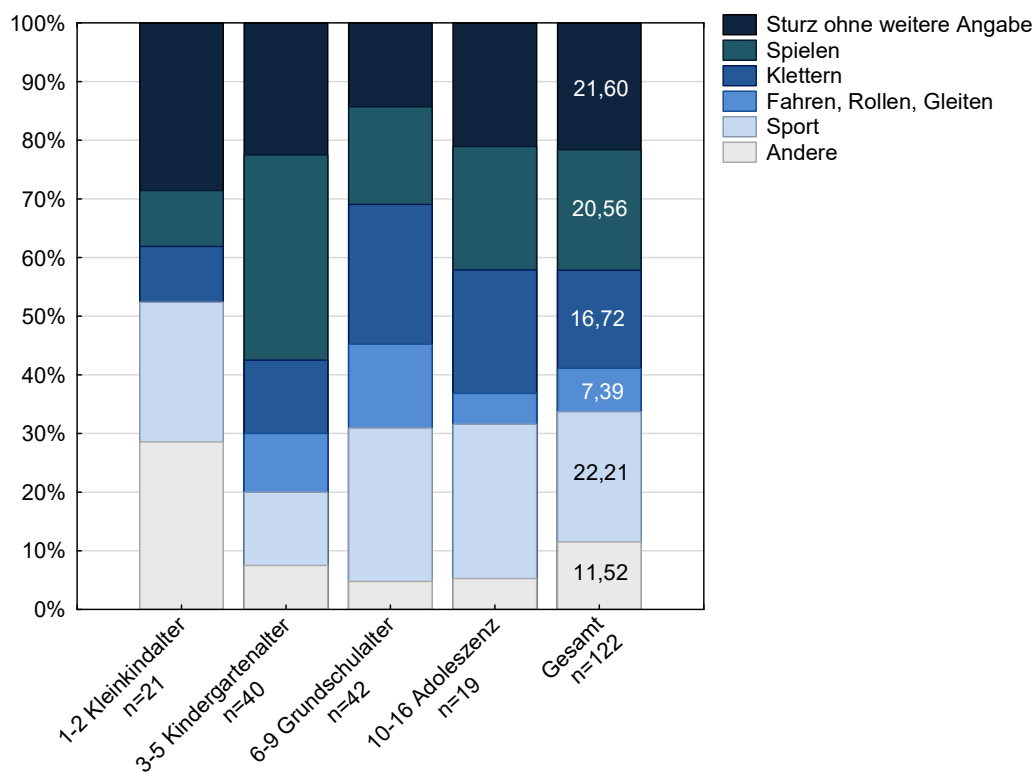


Abbildung 24: Unfallhergang nach Altersgruppen bei Mädchen (n = 122)

Es standen innerhalb der Altersgruppen unterschiedliche Unfallursachen im Vordergrund. Bei Mädchen im Alter zwischen ein bis zwei Jahren (n = 21) war die häufigste Ursache der „Sturz ohne weitere Angabe“ sowie die Kategorie „Andere“, bei der vor allem der Sturz vom Stuhl / Hochstuhl / Hocker oder Bett / Hochbett / Gitterbett im Vordergrund stand. Im Alter zwischen drei bis fünf Jahren (n = 40) verletzten sich die Mädchen vor allem während des Spielens. Zwischen sechs bis neun Jahren (n = 42) verunfallten die Mädchen am häufigsten bei sportlichen Aktivitäten und beim Klettern. Im Alter zwischen zehn und sechzehn Jahren (n = 19) war die häufigste Ursache der Sport, dicht gefolgt von Klettern, Spielen und Sturz ohne Angabe.

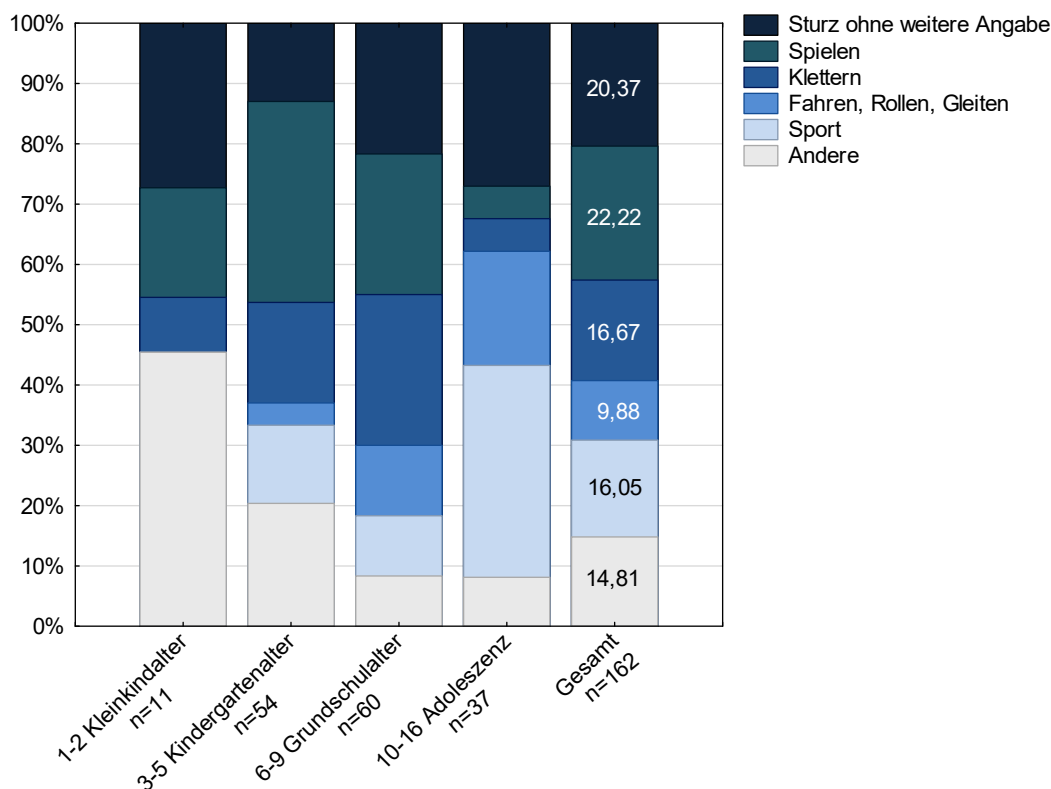


Abbildung 25: Unfallhergang nach Altersgruppen bei Jungen (n = 162)

Jungen im Alter von ein bis zwei Jahren (n = 11) zeigten die meisten Ereignisse in der Kategorie „Andere“. Im Alter von drei bis fünf Jahren (n = 54) verletzten sich die Jungen, ähnlich wie die Mädchen, vor allem beim Spielen. Zwischen sechs bis neun Jahren (n = 60) verunfallten die Jungen häufig beim Klettern, gefolgt von Spielen und Sturz ohne Angabe. Im Alter von zehn bis sechzehn Jahren (n = 37) war die häufigste Ursache der Sport.

In einigen Patientenfällen wurde eine Sturzhöhe angegeben. Bei fehlender Angabe erfolgte eine willkürliche Einteilung in Anlehnung an den Unfallhergang. Demnach stürzten die Patienten in 24 Fällen (8,45 %) „ebenerdig“, in 152 Fällen (53,52 %) „nicht ebenerdig“ und in 98 Fällen (34,51 %) war die Sturzhöhe nicht einschätzbar. In zehn Patientenfällen (3,52 %) fand kein Sturz statt, die Frakturen entstanden hierbei beispielsweise im Rahmen eines Anpralltraumas, Rotationstraumas oder von Gewalteinwirkung.



### 3.5 Verteilung der Frakturtypen und Frakturlokalisation

Die Frakturen wurden eingeteilt in extraartikuläre distale Humerusfrakturen, zu denen die suprakondylären und epikondylären Frakturen gehören, sowie in intraartikuläre Frakturen. Die intraartikulären distalen Humerusfrakturen wurden in Condylus radiales, Condylus ulnaris und bikondyläre T-/Y-Frakturen untergliedert. Eine weitere Einordnung der Frakturtypen wurde nach der AO-Klassifikation für Frakturen der langen Röhrenknochen im Kindesalter vorgenommen (Slongo et al. 2007a). Demnach lag in 223 Patientenfällen (78,52 %) eine distale metaphysäre und in 61 (21,48 %) eine epiphysäre Humerusfraktur vor. Hinsichtlich der Metaphysenfrakturen bildeten die suprakondylären Frakturen mit 70,07 % (n = 199) die größte Gruppe. Darunter kamen sowohl einfache (57,39 %, n = 163: 13-M/3.1 I, 13-M/3.1 II, 13-M/3.1 III und 13-M/3.1 IV) als auch mehrfragmentäre Frakturen vor (12,68 %, n = 36: 13-M/3.2 II, 13-M/3.2 III und 13-M/3.2 IV). In 8,45 % der Fälle trat eine Abrissfraktur des Epikondylus ulnaris auf (n = 24: 13-M/7m). Bezüglich der Epiphysenfrakturen bildeten die transkondylären respektive die nach Salter-Harris Typ IV klassifizierten Frakturen mit 18,66 % die größte Gruppe (n = 53: 13-E/4.1 darunter 14,08 % (n = 40) Condylus-radialis und 2,82 % (n = 8) Condylus-ulnaris-Frakturen sowie 1,76 % (n = 5) 13-E/4.2), gefolgt von 2,82 % Epikondylus-radialis-Abrissfrakturen (n = 8: 13-E/7l).

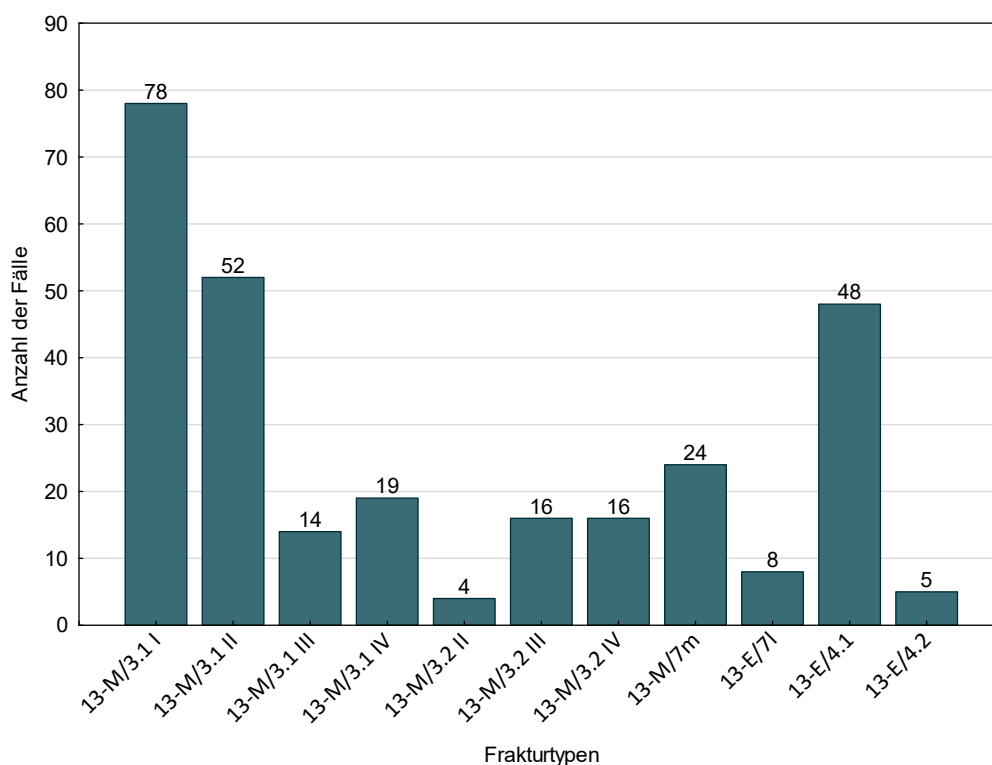


Abbildung 26: Fraktуреinteilung nach der AO-Klassifikation für Kinder – PCCF (n = 284)

Eine weitere Einteilung der suprakondylären Humerusfrakturen erfolgte nach dem Dislokationsgrad und wird in Abbildung 27 veranschaulicht.

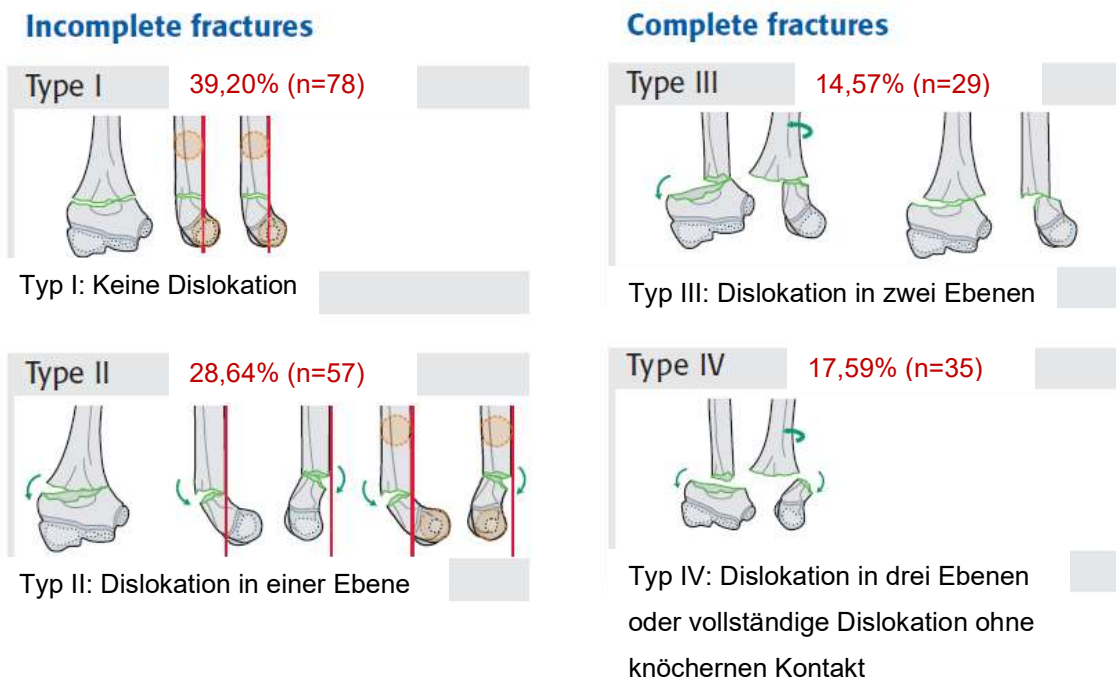


Abbildung 27: Prozentuale Häufigkeit der suprakondylären Humerusfrakturen (n=199)

(Genehmigung nach § 60c des Urheberrechts-Wissensgesellschafts-Gesetzes. In Anlehnung an die PCCF-Klassifikation und nach von Laer, modifiziert, Slongo et al. (2007a); von Laer et al. (2007))

Eine signifikante Korrelation zwischen Dislokationsgrad und Geschlecht wurde nicht festgestellt (Chi-Quadrat-Test  $p = 0,327$ ). Zwischen Altersgruppe und Frakturtyp wurde grafisch ein Trend beobachtet, der sich jedoch als nicht signifikant herausstellte (Kruskal-Wallis-Test  $p = 0,230$ ).

In 93,97 % der Fälle ( $n = 187$ ) lag eine Extensionsfraktur vor. Die Flexionsfraktur mit 3,52 % ( $n = 7$ ) ist als Seltenheit einzustufen. Fünf Patienten ließen sich nicht zweifelsfrei diesen Kategorien zuteilen, da weder mittels des Unfallherganges noch mit Hilfe der Rogers-Hilfslinie eine eindeutige Einteilung erfolgen konnte. Beispielsweise fehlten in zwei Fällen die lateralen Röntgenaufnahmen zur sicheren Befundung.

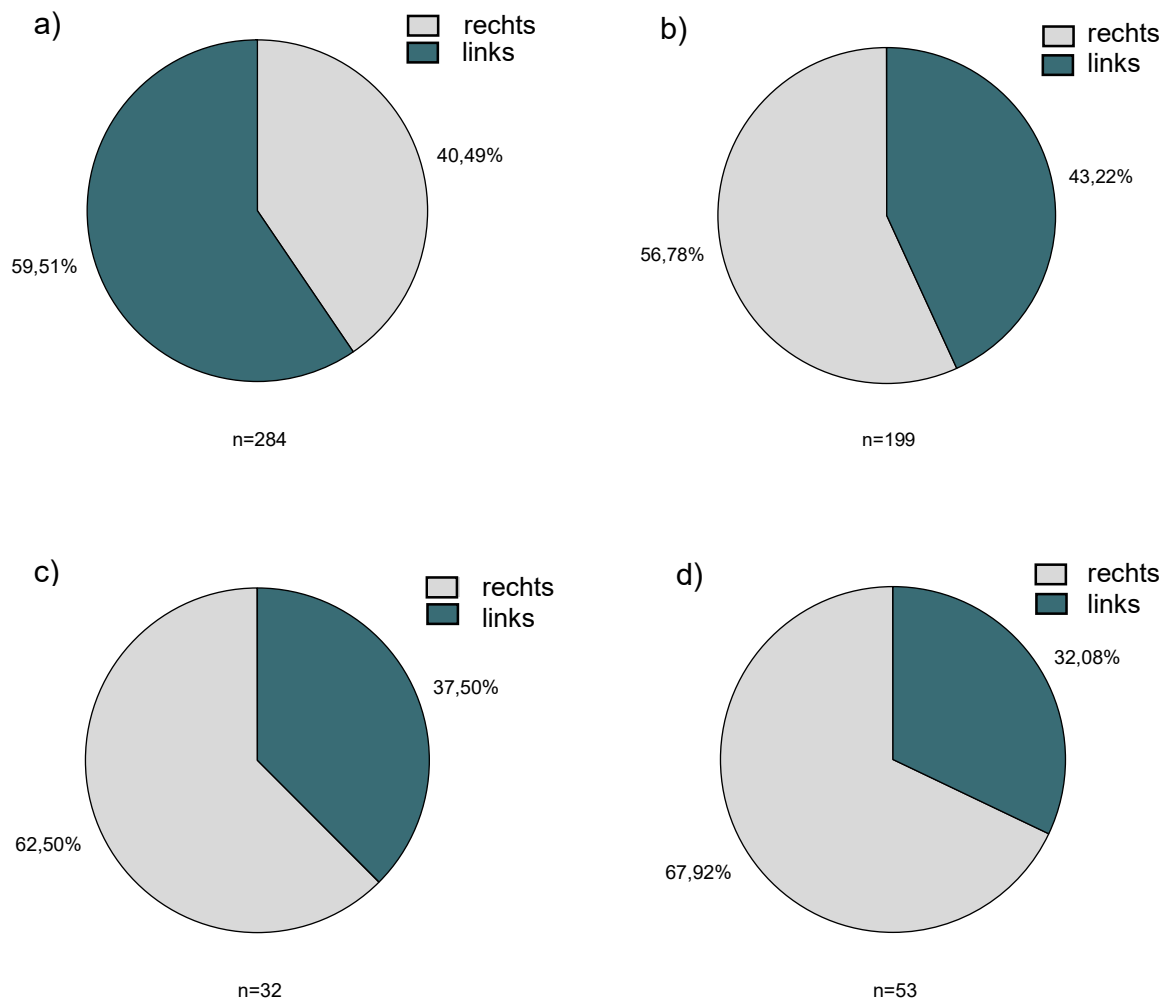


Abbildung 28: Frakturlokalisation distale Humerusfrakturen

- a) Frakturlokalisation distale Humerusfrakturen b) Frakturlokalisation suprakondyläre Humerusfrakturen  
c) Frakturlokalisation epikondyläre Humerusfrakturen  
d) Frakturlokalisation transkondyläre Humerusfrakturen

Ausgehend von der mehrheitlich vorkommenden Rechtshändigkeit war insgesamt der nicht dominante, linke Arm, häufiger betroffen.

### 3.6 Versorgung der suprakondylären Fraktur in der Universitätsmedizin Göttingen

Unter Berücksichtigung der untersuchten Patienten und dem festgelegten Zeitraum, stellten sich durchschnittlich  $18,09 \pm 4,99$  Patienten pro Jahr mit einer suprakondylären Humerusfraktur in der unfallchirurgischen Ambulanz vor.

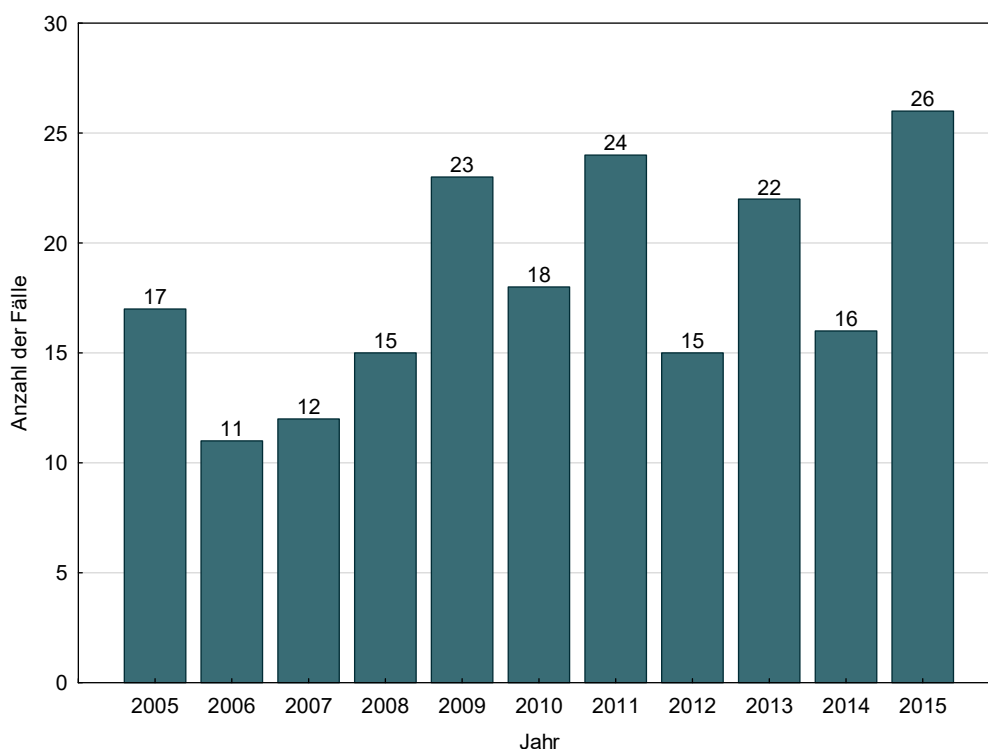


Abbildung 29: Anzahl der suprakondylären Frakturen pro Jahr (n = 199)

#### 3.6.1 Aufnahmebefund, Untersuchung und Diagnosestellung

Bei der klinischen Erstvorstellung wurde zunächst eine Anamnese erhoben und im Anschluss eine körperliche Untersuchung durchgeführt. In 96,48 % (n = 192) der Fälle wurde Ruheschmerz angegeben oder über Druckschmerz geklagt, in 68,34 % (n = 136) eine Bewegungseinschränkung dokumentiert. Bei 7,54 % (n = 15) wurden die Bewegungsmaße nach der Neutral-Null-Methode dokumentiert. In 99,50 % (n = 198) wurde der Status der peripheren Durchblutung, Motorik und Sensibilität (pDMS) erhoben. Bei 93,47 % (n = 186) zeigte sich ein unauffälliger Befund der pDMS-Testung. Die folgende Tabelle 11 veranschaulicht den Aufnahmebefund der zwölf Patienten (6,03 %), bei denen die periphere Durchblutung, Motorik und Sensibilität pathologische Abweichungen zeigte.

Tabelle 11: Periphere Durchblutung, Motorik und Sensibilität – suprakondyläre Humerusfrakturen (n = 12)

Patientenfälle pDMS	Anzahl der Fälle	Dopplersonografie
Pulsdefizit bei vorhandener Mikrozirkulation	1	-
Hypästhesie gesamte Langfinger	1	-
Puls nicht palpabel, Taubheitsgefühl in den Fingern	1	Guter Fluss
A. ulnaris Puls nicht sicher palpabel, Hypästhesie Dig. I	1	-
A. radialis Puls nicht palpabel, Kribbelparästhesie Hand	1	Guter Fluss
Kribbelparästhesie Dig. V	1	-
Kribbelparästhesie Dig. I	1	Guter Fluss
Kribbelparästhesie Hand	2	-
A. radialis Puls nicht palpabel	1	Nicht darstellbar
Hypästhesie Dig. I, motorisches Defizit bei Handgelenksexension und Fingerspreizung	1	-
Parästhesie Dig. IV und V	1	-

Insgesamt gab es zwei Fälle (1,01 %) mit Durchblutungsstörungen und sieben (3,52 %) mit Sensibilitätsstörungen. Bei drei Patientenfällen (1,51 %) kam es zu einer kombinierten Durchblutungs- und Sensibilitätsstörung. Die Dopplersonografie wurde bei vier Patientenfällen (2,01 %) angewendet, wobei in drei Fällen alle Gefäße gut darstellbar waren. Eine Störung der peripheren Durchblutung, Motorik und Sensibilität kam bei beiden Geschlechtern gleich häufig vor. Im Durchschnitt waren die Patienten  $8,73 \pm 2,86$  Jahre alt. Im Verhältnis 11:1 war die Fraktur linksseitig. Bei sechs Patientenfällen (3,02 %) handelte es sich um Typ-IV-Frakturen. Die anderen verteilten sich wie folgt: zwei Typ-III-(1,00 %), drei Typ-II-(1,51 %) und eine Typ-I-Fraktur (1,00 %). Es lagen elf Extensionsfrakturen vor. In einem Fall konnte keine Differenzierung vorgenommen werden. In elf von zwölf Patientenfällen erfolgte der Sturz aus einer größeren Höhe respektive nicht ebenerdig. In einem Fall war die Sturzhöhe nicht einschätzbar. Bei allen zwölf Patientenfällen lag eine geschlossene Fraktur vor.

Hinsichtlich aller suprakondylären Frakturen war in 56,78 % (n = 113) der Fälle eine Schwellung und in 8,54 % (n = 17) ein Hämatom sichtbar. Bei elf Patientenfällen (5,53 %) lag eine Weichteilverletzung vor. In einem Fall war keine Zuteilung möglich. Nachfolgend die Einteilung nach Tscherne und Oestern.

Tabelle 12: Schweregrad der Weichteilverletzung der suprakondylären Humerusfrakturen – Klassifikation nach Tscherne und Oestern (n = 198)

Klassifikation	Geschlossene Frakturen	Offene Frakturen
Grad 0	185	2
Grad I	7	1
Grad II	-	2
Grad III	1	-
Grad IV	-	-

Sechs Jungen und fünf Mädchen hatten einen dokumentierten primären Weichteilschaden. Durchschnittlich waren die Patienten  $6,04 \pm 2,39$  Jahre alt. Im Verhältnis 6:5 war die Fraktur linksseitig lokalisiert. Mit der Verteilung 4:7 kamen ausschließlich Typ-III- oder IV-Frakturen vor. In zehn Fällen handelte es sich um Extensionsfrakturen. In einem Fall war keine Einteilung möglich. In zehn von elf Patientenfällen erfolgte der Sturz aus einer größeren Höhe respektive nicht ebenerdig. In einem Fall war die Sturzhöhe nicht einschätzbar.

Insgesamt lagen 193 (97,47 %) geschlossene und fünf (2,53 %) offene Typ-IV-Frakturen vor. In einem Fall war keine Zuteilung möglich. Hinsichtlich der offenen Frakturen lag das Geschlechterverhältnis bei 3:2 zu Gunsten der Jungen. Durchschnittlich fand sich ein Patientenalter von  $7,28 \pm 1,79$  Jahren. In vier von fünf Fällen war die Fraktur linksseitig lokalisiert. Es handelte sich um vier Extensionsfrakturen und einer Flexionsfraktur. In einem Fall war keine Einteilung möglich. Bei allen fünf Patientenfällen erfolgte der Sturz aus einer größeren Höhe respektive nicht ebenerdig.

Bei klinischem Frakturverdacht erfolgte die radiologische Darstellung zur Diagnosesicherung und Therapieplanung. Lagen bereits externe Röntgenbilder vor, wurde auf eine erneute bildgebende Diagnostik verzichtet. Diagnostische Kriterien waren sowohl direkte als auch indirekte Frakturzeichen. Als indirektes Frakturzeichen wurde in 53,77 % (n = 107) ein sogenanntes *fat pad sign* nachgewiesen. In Zusammenschau der Anamnese, der körperlichen Untersuchung und des konventionellen Röntgenbildes war bei allen Patienten eine Diagnosestellung möglich.

Radiologische Befunde wurden in 3,52 % der Fälle (n = 7) im Verlauf der Behandlung durch zusätzliche bildgebende Verfahren ergänzt. In zwei Patientenfällen wurde auf Grund des Verdachts auf eine sekundäre Dislokation postoperativ eine Computertomografie durchgeführt, welche sich in einem Fall durch eine neuauftretene Rotationsabweichung bestätigte. Die Fragmentstellung war jedoch akzeptabel, sodass keine erneute Operationsindikation bestand. Eine Magnetresonanztomografie kam in

vier Patientenfällen zum Einsatz. Der Verdacht auf ossäre Läsionen oder sekundäre Dislokationen bestätigte sich in drei konservativ versorgten Patientenfällen nicht. In einem Fall erhärtete sich der Verdacht der zunehmenden sekundären Dislokation, woraufhin ein Therapiewechsel von der konservativen zur operativen Versorgung erfolgte. Beim siebten Patientenfall wurde sowohl präoperativ als auch postoperativ eine Angio-Magnetresonanztomographie durchgeführt. Präoperativ war eine intakte Perfusion der A. radialis et ulnaris in Höhe des Unterarms und Handgelenks darstellbar, allerdings wurde eine deutliche Flussminderung in Höhe der Fraktur festgestellt. Dies führte zu einem notfallmäßigen chirurgischen Eingriff mit Gefäßexploration und Osteosynthese. Bei der postoperativen Kontrolle herrschte eine freie Durchgängigkeit der arteriellen Gefäßversorgung.

### 3.6.2 Begleitverletzungen

Bei acht Patienten (4,02 %) trat die suprakondyläre Fraktur im Rahmen einer Ellenbogenluxation auf. In 6,53 % (n = 13) wurden Begleitverletzungen festgestellt. Die folgende Tabelle listet alle zusätzlichen Traumata auf.

Tabelle 13: Begleitverletzungen der suprakondylären Humerusfrakturen (n = 13)

Begleitverletzungen	Anzahl der Fälle
Ipsilaterale Radiusluxation	1
Ipsilaterale Unterarmwulstfraktur	1
Ipsilaterale Schürfwunde bei Erstvorstellung mit beginnenden oberflächlichen Weichteilinfekt	1
Ipsilateral dislozierte distale Radiusfraktur	1
Ipsilateral dislozierte distale Unterarm-Grünholzfraktur	1
Ipsilaterale distale Radiuswulstfraktur	1
Ipsilaterale nicht dislozierte Ulnafraktur	1
Ipsilaterale nicht dislozierte Radiusfraktur	1
Ipsilaterale distale Unterarmfraktur (radius + ulnar)	1
Schädelhirntrauma I °	2
Commotio cerebri ohne neurologisches Defizit, multiple Kontusionen und Distorsion, Ipsilaterale stabile Aitken I Fraktur des proximalen Humerus, Kontralaterale leicht dislozierte Radiuskopffraktur, Kontralaterale nicht dislozierte Olecranonfraktur	1
Nach lateral subluxiertes Akromion	1

In 4,02 % (n = 8), knapp der Hälfte der Fälle, trat eine ipsilaterale Unterarmfraktur auf. In einem Fall wurde sowohl eine ipsilaterale als auch eine kontralaterale Oberarm- mit einhergehender Unterarmfraktur festgestellt. Bei den übrigen Begleitverletzungen handelte es sich nicht um Frakturen. Das Geschlechterverhältnis lag bei 3:1 zu Gunsten der männlichen Patienten. Im Durchschnitt waren die Patienten  $6,19 \pm 3,21$  Jahre alt.

In vier von acht Fällen war die Fraktur linksseitig, in einem beidseits und in drei Fällen rechtsseitig lokalisiert. Die Frakturtypen verteilten sich wie folgt: drei Typ-IV-, eine Typ-III-, eine Typ-II- und drei Typ-I-Frakturen. Es handelte sich bei allen Fällen um eine Extensionsfraktur. In vier von acht Patientenfällen erfolgte der Sturz aus einer größeren Höhe respektive nicht ebenerdig. In den anderen Fällen war die Sturzhöhe nicht einschätzbar. In sieben Patientenfällen lag eine geschlossene und in einem Fall eine offene Fraktur vor.

### **3.6.3 Therapieverfahren**

#### **3.6.3.1 Ambulant vs. stationär**

39,70 % (n = 79) der konservativ versorgten Frakturen wurden primär ambulant therapiert. In 15,08 % (n = 30) der Patientenfälle wurde im klinischen Verlauf eine stationäre Aufnahme veranlasst. Dieser Entschluss wurde z. B. zur Überwachung der potenziellen Entstehung eines Kompartmentsyndroms, zur adäquaten Schmerztherapie oder aufgrund eines Therapiewechsels zum operativen Verfahren getroffen. Die stationäre Aufenthaltsdauer dieser Gruppe lag im Median bei einem Tag ( $1,30 \pm 0,88$ ). 44,72 % (n = 89) der operativ versorgten Frakturen wurden primär stationär versorgt. Die Aufenthaltsdauer der stationär versorgten Patienten lag im Median bei drei Tagen ( $3,57 \pm 1,83$ ).



Im jahreszeitlichen Verlauf zeigt sich eine rückläufige Tendenz der Liegedauer ohne Signifikanz.

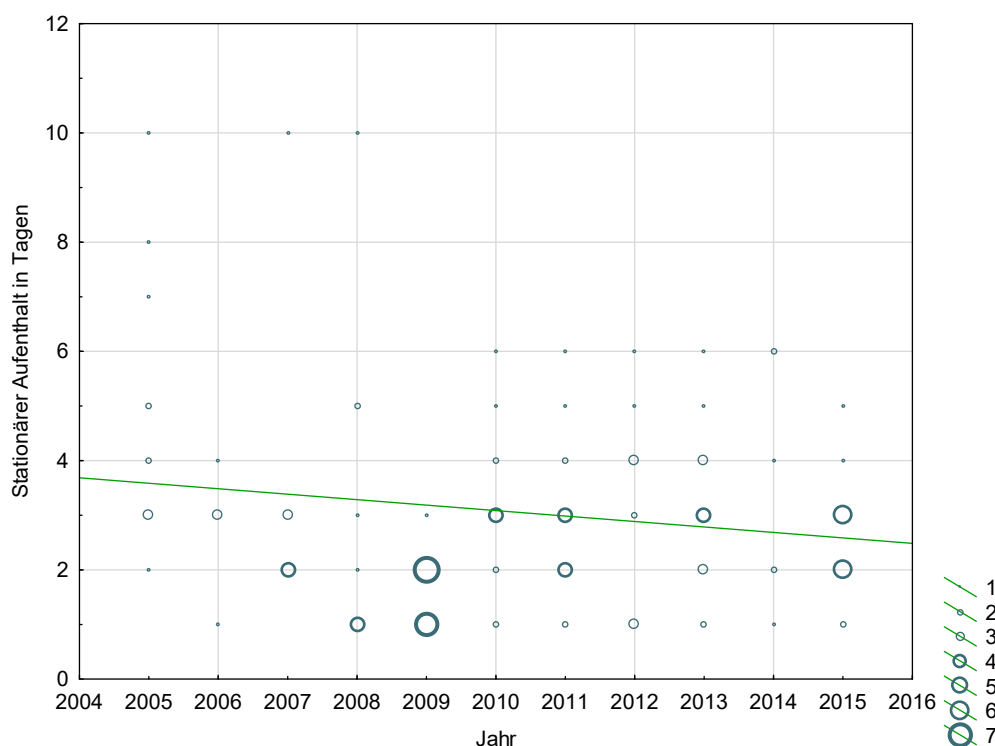


Abbildung 30: Stationäre Aufenthaltsdauer im jahreszeitlichen Verlauf  $\geq 1$  Tag – suprakondyläre Humerusfrakturen (n = 117)

Die nachfolgende Grafik zeigt die Verweildauer in Bezug zur konservativen und operativen Therapie. Bei einem operativ versorgten Patienten, mit Frakturtyp IV, war die Dauer des stationären Aufenthaltes nicht eindeutig. Dieser Patient wurde aus der Bewertung genommen.

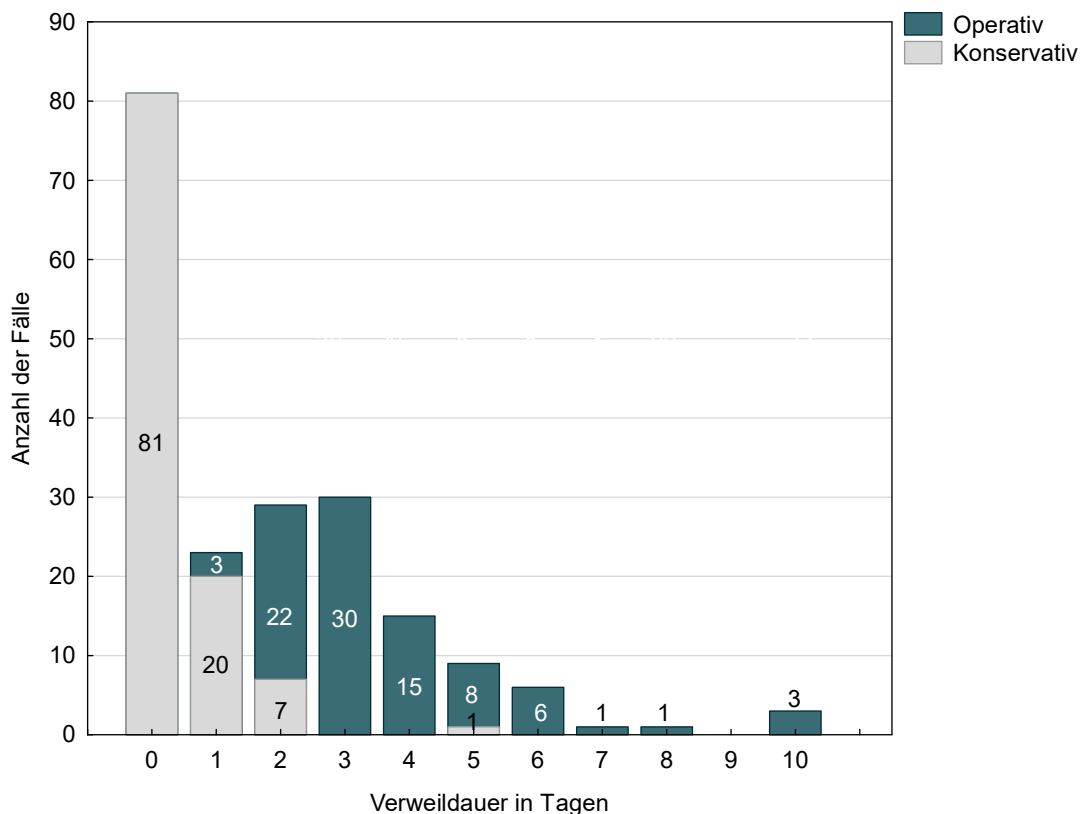


Abbildung 31: Verweildauer – supracondyläre Humerusfrakturen (n = 198)

Tabelle 14: Verweildauer – supracondyläre Humerusfrakturen (n = 198)

Verweildauer	n	Min.	Max.	Mittelw.	SD	Median	25. Perzentile	75. Perzentile
<b>Tage</b>	198	0	10	1,80	2,09	1,00	0	3,00

Wird der durchschnittliche Klinikaufenthalt in Relation zum Frakturtyp gesetzt, hat die Schwere der Verletzung einen signifikanten Einfluss auf die stationäre Aufenthaltsdauer (Kruskal-Wallis-Test  $p < 0,001$ ). Zwischen Frakturtyp III und IV bestand hingegen kein signifikanter Unterschied bezüglich der Liegedauer. Der stationäre Aufenthalt ist abhängig von dem gewählten Therapieverfahren: konservativ versus operativ (Mann-Whitney-U-Test  $p < 0,001$ ).

### 3.6.3.2 Konservativ vs. operativ

54,77 % (n = 109) wurden primär konservativ und 41,71 % (n = 83) primär operativ behandelt. In 3,52 % (n = 7) der Fälle erfolgte aufgrund zunehmender sekundärer Dislokation ein Therapiewechsel. Die Patienten wurden primär konservativ und sekundär operativ versorgt. Diese Gruppe wurde in den folgenden Grafiken den operativ versorgten Patienten zugeteilt. Bezüglich der Geschlechterverteilung wurden 61 (55,45 %) Jungen konservativ und 49 (44,55 %) operativ, 48 (53,93 %) Mädchen konservativ und 41 (46,07 %) operativ behandelt. Das Geschlecht hat keinen signifikanten Einfluss auf die Wahl der Therapieform.

Hinsichtlich der Altersverteilung und der operativen versus konservativen Therapie liegt ein hochsignifikanter Unterschied vor (Mann-Whitney-U-Test p = 0,0064). Die Patienten mit operativer Frakturversorgung waren signifikant älter, als die konservativ therapierten.

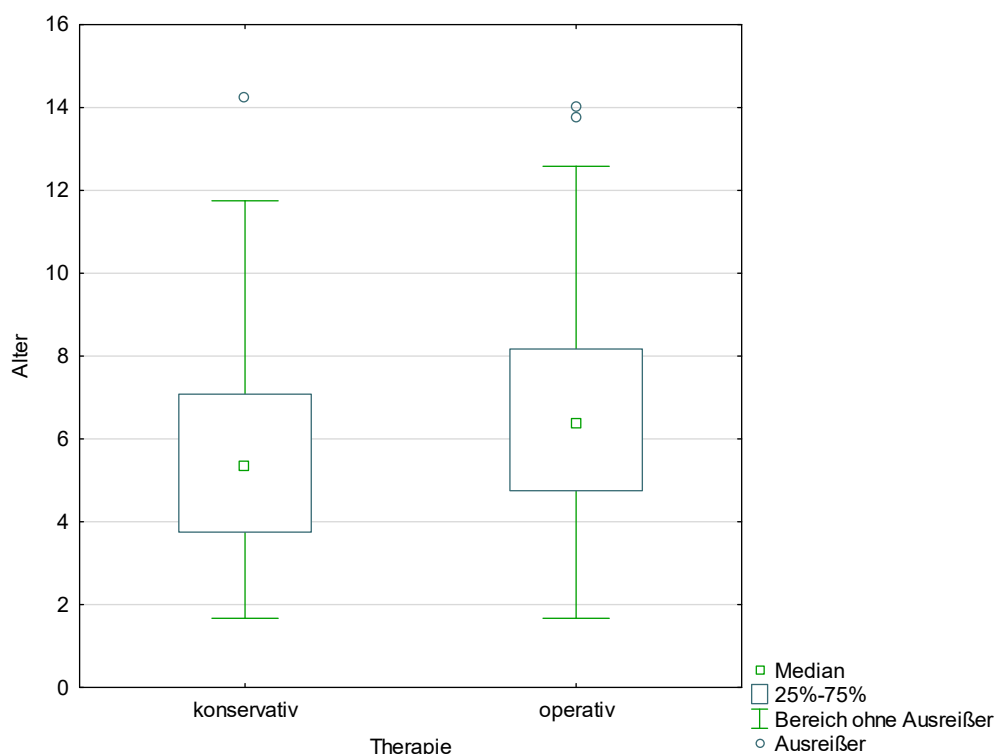


Abbildung 32: Altersverteilung konservativ vs. operativ  
– suprakondyläre Humerusfrakturen (n = 199)

Das durchschnittliche Alter der konservativ behandelten Patienten betrug  $5,60 \pm 2,45$  Jahre (1,67-14,25). Das Alter operativ versorgter Patienten erreichte einen Mittelwert von  $6,61 \pm 2,70$  Jahren (1,67-14).

Die folgende Grafik zeigt den Trendwechsel bezüglich der Altersverteilung und Therapieform.

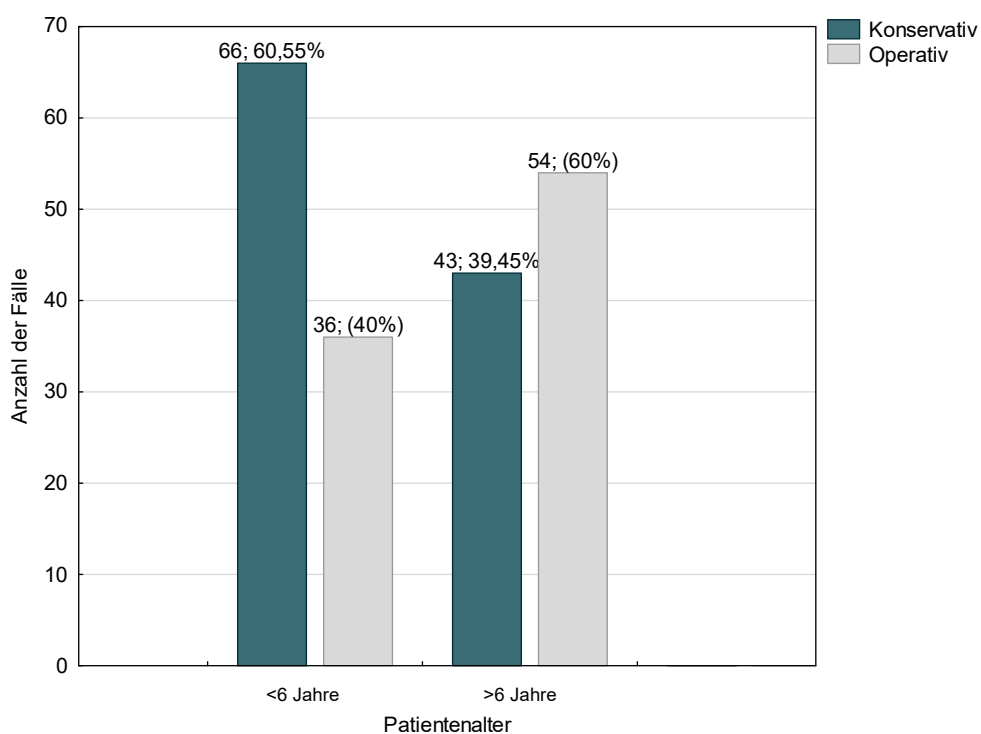


Abbildung 33: Altersverteilung konservativ vs. operativ  
– Patientenalter < 6 und > 6 Jahre (n = 199)

Hinsichtlich der Einteilung der Frakturtypen wurden alle Typ-I-Frakturen konservativ und alle Typ-III- und-IV- Frakturen operativ versorgt. Typ-II-Frakturen wurden sowohl konservativ als auch operativ behandelt.

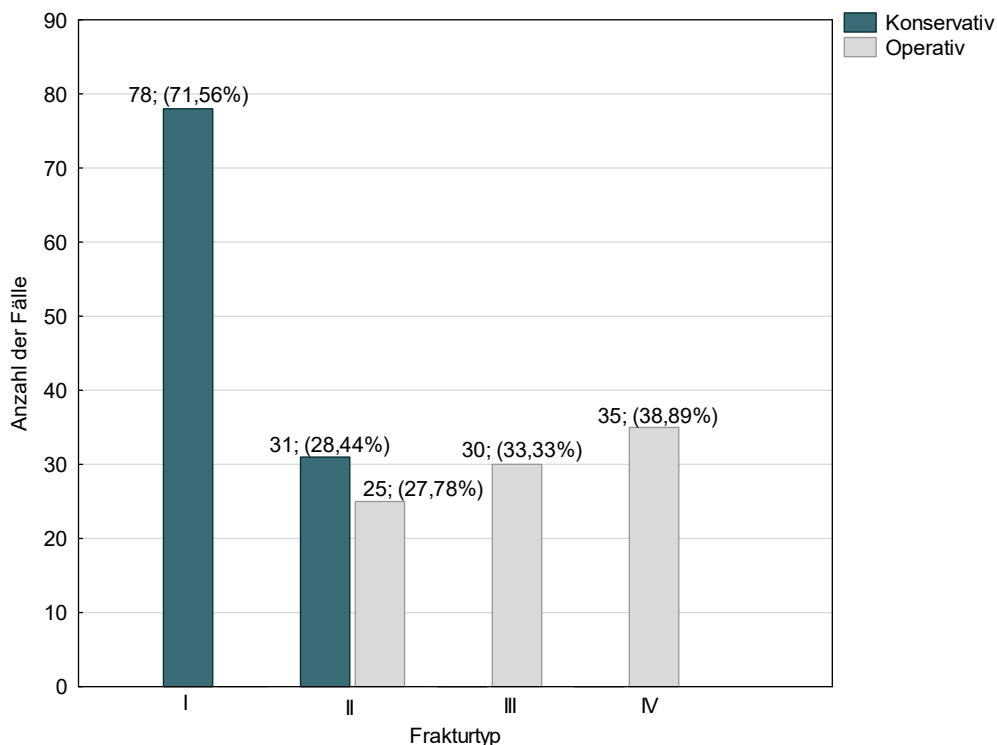


Abbildung 34: Frakturklassifikation konservativ vs. operativ – suprakondyläre Humerusfrakturen (n = 199)

Konservativ therapierte Patienten wurden mit einem *Cuff-and-Collar*, Gipsverband oder Kunststoffgips versorgt. Insgesamt wurde in 81,65 % der Fälle (n = 89) die Dauer der Ruhigstellung ermittelt. Durchschnittlich dauerte die Ruhigstellung  $22,74 \pm 7,09$  Tage. 40,37 % (n = 44) trugen einen *Cuff-and-Collar*, davon 37 mit genauer Angabe der Tragedauer. 40,37 % (n = 44) erhielten einen Gips, von diesen wiesen 34 eine genaue Angabe der Tragedauer auf. 19,27 % (n = 21) wurden sowohl mit einem *Cuff-and-Collar* als auch mit einem Gips therapiert, in 17 Fällen wurde eine genaue Tragedauer angegeben. Bezüglich der operativen Therapie wurde in insgesamt 86,67 % (n = 78) der Fälle die Dauer der Ruhigstellung ermittelt. In allen Fällen trugen die Patienten einen Gipsverband oder Kunststoffgips. Durchschnittlich dauerte die Ruhigstellung  $31,23 \pm 7,33$  Tage.

Die Operationsdauer wurde in 85 Patientenfällen über die Schnitt-Naht-Zeit berechnet. In fünf Fällen war keine Bestimmung möglich. Die Revisionsoperationen wurden nicht berücksichtigt. Im Mittel dauerte die operative Versorgung  $89,58 \pm 51,78$  Minuten. Tendenziell stieg die Operationszeit mit dem Frakturtyp an. In 71,11 % (n = 64) wurden die Patienten in Bauchlage und 26,67 % (n = 24) in Rückenlage operiert. In zwei Patientenfällen wurde keine Angabe zur Lagerung gemacht. Patienten mit operativer Therapie wurden in 83,33 % (n = 75) der Fälle mit einer antibiotischen Therapie

abgedeckt. Lediglich zwei konservativ versorgte Patienten erhielten eine Antibiose aufgrund einer beginnenden oberflächlichen Weichteilinfektion.

### 3.6.3.3 Verfahren

Bei nicht-achsgerechter Stellung des Ellenbogengelenks wurde eine Reposition angestrebt. Bei der Mehrzahl der Patienten mit dislozierter Fraktur und operativer Versorgung erfolgte zunächst ein geschlossener Repositionsversuch. In 15,56 % (n = 14) der Fälle war dieser erfolgreich, sodass im Anschluss die Stellung mit perkutan eingeführten K-Drähten fixiert wurde. In 84,44 % (n = 76) wurde eine offene Reposition durchgeführt.

Tabelle 15: Übersicht der angewandten Repositionsverfahren – suprakondyläre Humerusfrakturen (n = 90)

GR: geschlossene Reposition; OR: offene Reposition

Zugang	Insertionsort der K-Drähte			Gesamt
	radial	ulnar	radial & ulnar	
GR	2	-	12	14 (15,56 %)
OR radial & ulnar	-	-	55	55 (61,11 %)
OR radial	9	-	4	13 (14,44 %)
OR ulnar	-	-	3	3 (3,33 %)
OR keine Angabe	-	-	5	5 (5,56 %)
<b>Gesamt</b>	11 (12,22 %)	-	79 (87,78 %)	90

In allen Patientenfällen wurden K-Drähte und in einem Fall zusätzlich eine sieben-Loch-Rekonstruktionsplatte verwendet. In fünf Fällen war keine Angabe bezüglich des Operationszugangs möglich. Durchschnittlich wurden pro Operation  $1,54 \pm 0,74$  K-Drähte radial und  $1,09 \pm 0,61$  ulnar eingeführt.

### 3.6.4 Osteosynthesematerialentfernung

In 93,33 % (n = 84) der Patientenfälle erfolgte die Osteosynthesematerialentfernung in der Universitätsmedizin Göttingen. Im Median wurde nach 56 Tagen ( $61,04 \pm 24,79$ ) das Osteosynthesematerial entfernt. Vier Frakturversorgungen erforderten einen Wechsel des Osteosynthesematerials aufgrund einer Re-Osteosynthese. In sechs Fällen ist keine Angabe möglich.

### 3.6.5 Funktionelle Beweglichkeit

84,42 % (n = 168) stellten sich im Rahmen der Kindertraumatologie-Sprechstunde in der Universitätsmedizin Göttingen zum vereinbarten Therapieabschlusstermin vor. Die Beurteilung des Behandlungserfolges erfolgte anamnestisch und mittels körperlicher Untersuchung. In lediglich 58,33 % (n = 98) Patientenfällen wurden Angaben zum Bewegungsumfang dokumentiert. In 15,58 % (n = 31) der Fälle kann nicht von einem offiziellen Therapieabschluss unsererseits ausgegangen werden, da der Patient beispielsweise nicht zur nächsten Kontrolluntersuchung erschien. Nach der Einteilung der multizentrischen Effizienzstudie der Sektion Kindertraumatologie der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (von Laer et al. 2002) erreichten 56 (60,22 %; n = 93) ein befriedigendes und 37 Patienten (39,78; n = 93) ein unbefriedigendes Ergebnis. Insgesamt wurden in zehn Patientenfällen Nachuntersuchungen durchgeführt, die in zwei weiteren Fällen erneute Nachkontrollen notwendig machten. In neun von zehn Fällen war das Ergebnis befriedigend, in einem Fall als unbefriedigend einzustufen.

Tabelle 16: Bewertung nach der multizentrischen Effizienzstudie der Sektion Kindertraumatologie der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (n = 199)

Frakturtyp und Therapie	Befriedigend	Unbefriedigend	Keine Angabe	Gesamt
Typ I konservativ	31 (39,74 %)	9 (11,54 %)	38	78
Typ II konservativ	7 (22,58 %)	11 (35,48 %)	13	31
Typ II operativ	7 (28,00 %)	4 (16,00 %)	14	25
Typ III operativ	6 (20,00 %)	8 (26,67 %)	16	30
Typ IV operativ	5 (14,29 %)	6 (17,14 %)	24	35
<b>Gesamt</b>	56	37	105	199

Bei der operativen Versorgung der Typ-II-Fraktur zeigt sich bei der Abschlussuntersuchung ein besseres Resultat als bei der konservativen Behandlung. Auf eine Einteilung nach Flynn wurde auf Grund der kleinen Gruppengröße verzichtet.

### 3.6.6 Komplikationen

Die Komplikationen während der Behandlung von suprakondylären Humerusfrakturen stellten sich vielfältig dar. In 5,53 % (n = 11) traten Komplikationen auf, die im protrahierten Verlauf nach Reposition und Stabilisierung rückläufig waren und keine Intervention an Nerven oder Gefäßen notwendig machten. Dabei handelte es sich in einem Fall um ein primär bzw. traumatisch sensomotorisches Defizit und in zwei Fällen um eine kombinierte Durchblutungs- und Sensibilitätsstörung. Bei acht Patientenfällen lag ein sekundär bedingtes sensomotorisches Defizit vor.

Tabelle 17: Sensomotorische Komplikationen mit rückläufigem Verlauf (n = 11)

Protrahierter Verlauf	Anzahl der Fälle
Radialisparese mit motorischem Defizit (Fallhand)	2
Hypästhesie des Digitus IV und V	1
N. radialis assoziierte Symptomatik mit Läsion im Sinne einer Axonotmesis	1
Sensomotorisches Defizit im Bereich des N. ulnaris und radialis	1
Medianusläsion mit Sensibilitätsminderung	1
Kribbelparästhesien der Digiti I-III palmarseitig	1
N. ulnaris Symptomatik bei erhaltener Sensibilität mit leichter Krallenhandbildung	1
Leichte Dysästhesie am Handrücken	1
Hypästhesie der Digiti II-IV, Spitz/Stumpf Dysästhesie lateraler Unterarm und der Digiti II-IV, teils unsichere Diskrimination	1
N. ulnaris assoziierte Symptomatik mit Hypästhesie des Digitus V	1

Es handelte sich hierbei um jeweils geschlossene Frakturen, zehn Extensionsfrakturen und eine Flexionsfraktur. Die Frakturtypen verteilten sich wie folgt: drei Typ-II-, drei Typ-III-, fünf Typ-IV-Frakturen. In zwei Fällen erfolgte eine konservative Frakturversorgung, in neun Fällen eine operative Behandlung. Die operative Versorgung mit K-Draht-Osteosynthese wurde in sieben von neun Fällen in Bauch- und in einem Fall in Rückenlage durchgeführt. Bei zwei Patientenfällen erfolgte zur Prüfung der Muskel- und Nervenfunktion eine elektromyographische Untersuchung und Nervenleitgeschwindigkeitsmessung. In einem Fall war die Untersuchung unauffällig und die Beschwerdesymptomatik bildete sich innerhalb von kurzer Zeit zurück. Bei dem zweiten Fall war die Sensibilitätsstörung im Bereich des N. radialis und ulnaris zwar rückläufig, eine motorische Schwäche bestand jedoch weiterhin. Die inkomplette Parese des N. ulnaris und des N. radialis mit Dorsalextensionsdefizit des Handgelenkes und Abduktions-/Adduktionsdefizit der Finger bildete sich nach physio- und ergotherapeutischer Behandlung vollständig zurück. Eine statistische Auswertung ist aufgrund der kleinen Fallzahl nicht repräsentativ. In 13,07 % (n = 26) der Fälle traten Komplikationen auf, bei denen therapeutische Interventionen notwendig wurden.



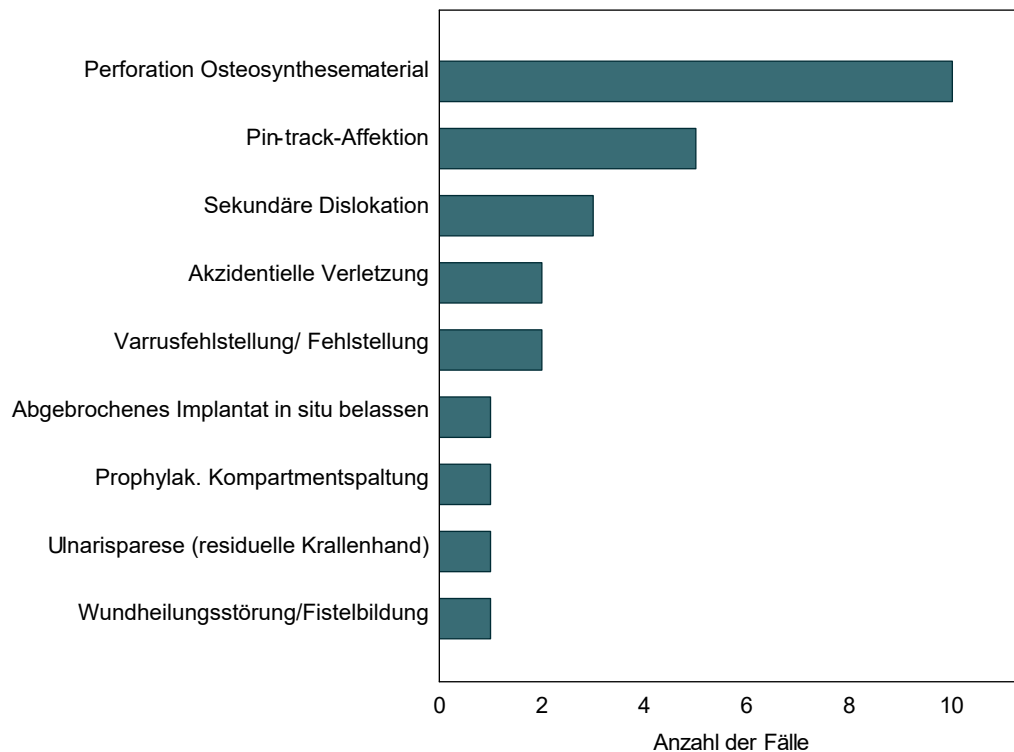


Abbildung 35: Komplikationen mit therapeutischer Intervention – suprakondyläre Humerusfrakturen (n = 26)

Komplikationen, die häufig zur vorzeitigen Entfernung des Osteosynthesematerials führten, entstanden vor allem durch die Perforation des Osteosynthesematerials und Pin-track-Affektionen. Weiterhin kam es in zwei Fällen zu iatrogenen akzidentellen Verletzungen: Zum einen zu einer Inzision der V. basilica, die mittels eines Venenpatches gedeckt werden musste und zum anderen zu einer oberflächlichen Schnittwunde am rechten Oberarm, die mit einer Hautnaht versorgt wurde. In zwei Fällen trat sekundär ein sensomotorisches Defizit, im Rahmen eines beginnenden Kompartmentsyndroms sowie eine residuelle Krallenhand, auf. In einem Fall brach intraoperativ die Spitze des Stahl-Gewinde des K-Drahts ab. Diese wurde in Situ belassen. In 3,52 % (n = 7) der Patientenfälle wurden keine zufriedenstellenden Stellungsverhältnisse erreicht, sodass ein Therapiewechsel von der primär konservativen zur operativen Therapie stattfand. Dabei handelte es sich um sechs Typ-II- und eine Typ-III-Fraktur, sowie um fünf Extensions- und zwei Flexionsfrakturen. In 2,51 % (n = 5) der Fälle mit einer primären operativen Versorgung fand eine Re-Operation statt: drei Fälle einer sekundären Dislokation, wobei in einem Fall auch eine Perforation des Osteosynthesematerials vorlag. Die erneute Operation erfolgte durchschnittlich nach vier Tagen. Ein Fall mit inakzeptabler Fehlstellung, bei der ca. zwei Monate nach operativer Erstversorgung eine Korrekturosteotomie durchgeführt

wurde und ebenfalls eine Perforation des Osteosynthesematerials vorlag. Ein Fall einer prophylaktischen Kompartmentspaltung, da sich am ersten postoperativen Tag ein motorisches Defizit mit Kraftverlust zeigte.

Bei den fünf revidierten Frakturen handelte es sich jeweils um geschlossene Extensionsfrakturen, die offen reponiert und mit K-Draht-Osteosynthese versorgt wurden. Die Verteilung der Frakturtypen war wie folgt: zwei Typ-III- und drei Typ-IV-Frakturen. Bei den Re-Operationen wurden dieselben Operationsverfahren angewandt.

Unter Berücksichtigung der Aufnahmeuntersuchung kam es in insgesamt 10,05 % (n = 20) zu Nerven- und in 3,02 % (n = 6) zu Gefäßkomplikationen. Dabei kam es in 5,03 % (n = 10) zu primären bzw. traumatisch bedingten sensomotorischen Defiziten und in 2,51 % (n = 5) zu Gefäßkomplikationen. In 5,03 % (n = 10) trat sekundär ein sensomotorisches Defizit auf und lediglich in einem Fall kam es zu einer sekundär bzw. iatrogenen akzidentellen Gefäßverletzung mit Inzision der V. basilica die mittels eines Venenpatches gedeckt wurde. Werden alle Komplikationen betrachtet, nimmt mit Zunahme der Verletzungsschwere die Komplikationsrate zu. Offene Repositionen wiesen zudem eine in Relation höhere Komplikationsrate auf. Weiterhin steigt die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Komplikationen, wenn sich der Unfall beim Spielen, Sport oder Klettern ereignete. Im Jahr 2008 traten die meisten Komplikationen auf. Durchschnittlich behandelt die Universitätsmedizin Göttingen drei Patienten mit Komplikationen pro Jahr.

### **3.6.7 Weiterbehandlung**

In 40,20 % (n = 80) der Patientenfälle sollten Bewegungsübungen fortgesetzt werden, um die funktionelle Beweglichkeit zu verbessern. Bei diesen Patienten handelte es sich zu 86,25 % (n = 69) um operativ versorgte suprakondyläre Humerusfrakturen. Die Frakturtypen verteilten sich wie folgt: sieben Typ-I-, 24 Typ-II-, 19 Typ-III-, 30 Typ-IV-Frakturen.

### **3.6.8 Behandlungsdauer in Göttingen**

Verschiedene Faktoren beeinflussten die Behandlungsdauer an der Universitätsmedizin Göttingen, wie beispielsweise die Wahl der Therapie. Es stellten sich 84,42 % (n = 168) in der kindertraumatologischen Sprechstunde zum vereinbarten Therapieabschlussstermin vor. Der Zeitraum der ärztlichen Betreuung bis zum festgesetzten Endpunkt betrug im Median 42,5 Tage ( $48,54 \pm 31,97$ ). Bei zehn Patienten wurden, in dem Zeitraum von einem Jahr nach dem Unfallereignis, zusätzliche Nachkontrollen

durchgeführt. In 15,58 % (n = 31) der Fälle erschienen die Patienten nicht zur nächsten Kontrolluntersuchung, sodass davon auszugehen ist, dass die Weiterbehandlung extern erfolgte oder ein bereits zufriedenstellendes Ergebnis eintrat. Diese Gruppe wurde durchschnittlich  $9,03 \pm 8,52$  Tage betreut. Insgesamt stellten sich die Patienten im Median fünf Mal ( $5,91 \pm 2,59$ ) vor, miteingeschlossen und als eine Vorstellung galt die ggf. stationäre Versorgung. Die radiologischen Röntgenkontrollaufnahmen des Ellenbogens in zwei Ebenen wurden bei konservativ therapierten Patienten im Median zwei Mal ( $1,97 \pm 1,20$ ) durchgeführt, bei operativ therapierten Patienten vier Mal ( $3,42 \pm 1,30$ ). Da die Röntgenaufnahmen zu unterschiedlichen Zeitpunkten stattfanden wurde auf eine weitere Statistik verzichtet.

### 3.7 Versorgung der epi- und transkondylären Humerusfrakturen in der Universitätsmedizin Göttingen

Unter Berücksichtigung des untersuchten Patientenkollektivs und dem festgelegten Zeitraum, stellten sich durchschnittlich  $2,91 \pm 1,64$  Patienten pro Jahr mit einer epikondylären und  $4,82 \pm 1,25$  Patienten pro Jahr mit einer transkondylären Humerusfraktur in der unfallchirurgischen Ambulanz in Göttingen vor.

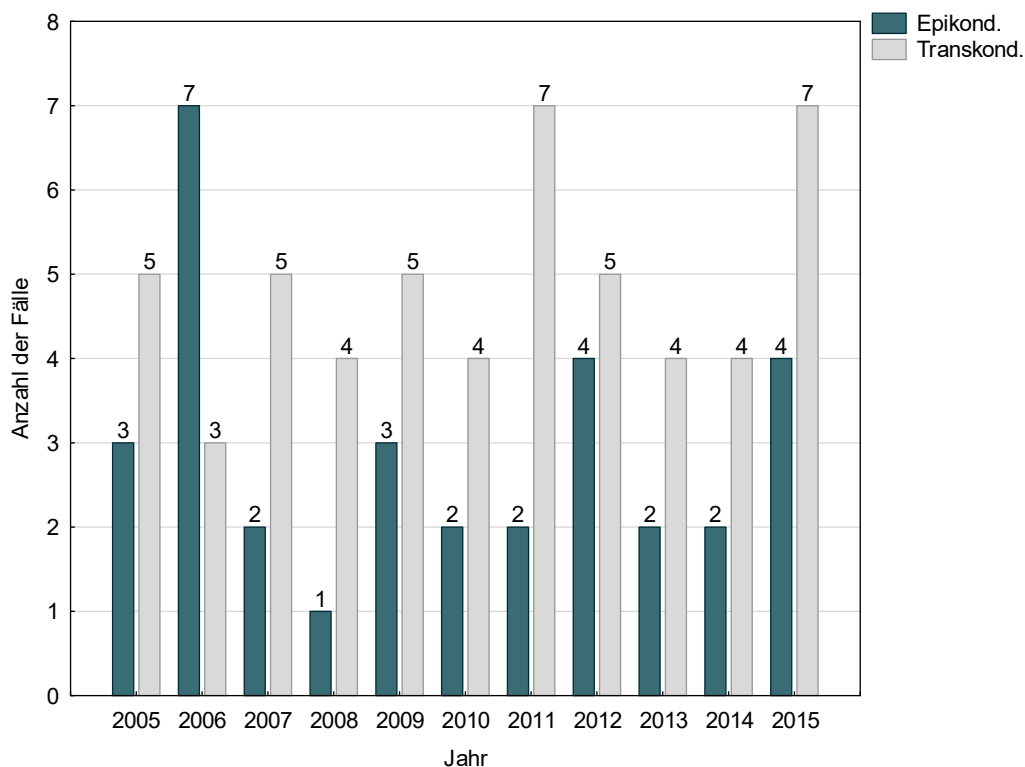


Abbildung 36: Anzahl der epikondylären (n = 32) und transkondylären (n = 53) Humerusfrakturen pro Jahr (n = 85)

#### 3.7.1 Aufnahmebefund, Untersuchung und Diagnosestellung

Bei der klinischen Erstvorstellung wurde bei den Kindern eine Anamnese erhoben und im Anschluss eine körperliche Untersuchung durchgeführt. Ein Ruheschmerz oder Druckschmerz wurde in 93,75 % (n = 30) bei epikondylären Humerusfrakturen, davon 23 13-M7m (23 von 24  $\hat{=}$  95,83 %) und sieben 13-E/7I (7 von 8  $\hat{=}$  87,50 %), angegeben. Bei den transkondylären Humerusfrakturen waren es 96,23 % (n = 51), 47 13-E/4.1 darunter 39 Condylus radialis (39 von 40  $\hat{=}$  97,50 %) und acht Condylus ulnaris (8 von 8  $\hat{=}$  100,00 %) sowie vier 13-E/4.2 (4 von 5  $\hat{=}$  80,00 %) Frakturen. Eine Bewegungseinschränkung wurde bei allen epikondylären und in 83,02 % (n = 44) der transkondylären Frakturen, 40 13-E/4.1 darunter 33 Condylus radialis (33 von 40  $\hat{=}$  82,50 %) und sieben Condylus ulnaris (7 von 24  $\hat{=}$  29,17 %) sowie vier 13-E/4.2 (4 von 5  $\hat{=}$

80,00 %) Frakturen, dokumentiert. Lediglich in 7,55 % (n = 4) der transkondylären und 9,38 % (n = 3) der epikondylären Humerusfrakturen wurde der Bewegungsumfang nach der Neutral-Null-Methode angegeben. Die periphere Durchblutung, Motorik und Sensibilität (pDMS) war bei allen transkondylären Humerusfrakturen unauffällig. Lediglich bei einer (3,13 %) Epikondylus-ulnaris-Fraktur (1 von 24  $\hat{=}$  4,17 %) kam es zur Durchblutungsstörung mit livider Verfärbung des Armes und fehlenden peripheren Puls. Zur Prüfung des Gefäßstatus wurde eine Dopplersonografie durchgeführt, diese zeigte einen guten Fluss aller Gefäße. Es handelte sich um einen männlichen Patienten mit einer geschlossenen 13-M/7m Fraktur links mit Ellenbogenluxation. Der Sturz erfolgte aus einer größeren Höhe respektive nicht ebenerdig. Eine Schwellung wurde in 46,88 % (n = 15) bei epikondylären Humerusfrakturen, davon elf 13-M/7m (11 von 24  $\hat{=}$  45,83 %) und vier 13-E/7I (4 von 8  $\hat{=}$  50,00 %), dokumentiert. Bei den transkondylären Humerusfrakturen waren es 54,72 % (n = 29), 27 13-E/4.1 darunter 23 Condylus radialis (23 von 40  $\hat{=}$  57,50 %) und vier Condylus ulnaris (4 von 8  $\hat{=}$  50,00 %) sowie zwei 13-E/4.2 (2 von 5  $\hat{=}$  40,00 %) Frakturen. Ein Hämatom zeigte sich bei 9,38 % (n = 3) der epikondylären und 11,32 % (n = 6) der transkondylären Frakturen. Bei einem Mädchen und einem Jungen kam es zu einer primären Weichteilverletzung. Es handelte sich um eine rechtsseitig lokalisierte 13-M/7m (geschlossen, Grad II) und linksseitige Condylus radialis (geschlossen, Grad I) Fraktur. Die folgende Grafik zeigt die Einteilung nach Tscherne und Oestern.

Tabelle 18: Schweregrad der Weichteilverletzung der epi- und transkondylären Humerusfrakturen – Klassifikation nach Tscherne und Oestern (n = 85)

Klassifikation	Geschlossene Fraktur	Offene Fraktur
Grad 0	83	-
Grad I	1	-
Grad II	1	-
Grad III	-	-
Grad IV	-	-

Nach Aufnahme der Befunde und der ersten körperlichen Untersuchung wurde zur Diagnosestellung und Therapieplanung eine Röntgenaufnahme angefertigt. Bei bereits bestehender radiologischer Bildgebung wurde diese zur weiteren Therapieplanung verwendet. Diagnostische Kriterien waren direkte und indirekte Frakturzeichen sowie die klinische Symptomatik. Als indirektes Frakturzeichen wurde in 15,63 % (n = 5) der epikondylären Humerusfrakturen, davon vier 13-M/7m (4 von 24  $\hat{=}$  16,67 %) und eine 13-E/7I (1 von 8  $\hat{=}$  12,50 %), ein sogenanntes *fat pad sign* nachgewiesen. Bei den transkondylären Humerusfrakturen waren es 24,53 % (n = 13), 13 13-E/4.1 darunter

zehn Condylus radiales (10 von 40  $\hat{=}$  25,00 %) und drei Condylus ulnaris (3 von 8  $\hat{=}$  37,50 %) sowie zwei 13-E/4.2 (2 von 5  $\hat{=}$  40,00 %) Frakturen. In einigen Patientenfällen wurden im Verlauf zusätzliche radiologische Untersuchungsverfahren verwendet, um den Verdacht der Fraktur zu erhärten und eine sekundäre Dislokation oder eventuell vorliegende Begleitverletzungen zu detektieren. Die Computertomographie wurde in 9,38 % (n = 3) bei epikondylären Humerusfrakturen, allesamt 13-M/7I Frakturen (3 von 8  $\hat{=}$  37,50 %), eingesetzt. In 11,32 % (n = 6) wurde die Bildgebung bei transkondylären Frakturen verwendet. Dabei handelte es sich um drei 13-E/4.1 Condylus radialis (3 von 40  $\hat{=}$  7,50 %) und drei 13-E/4.2 (3 von 5  $\hat{=}$  60,00 %) Frakturen. Die Magnetresonanztomographie wurde in 18,75 % (n = 6) bei epikondylären Humerusfrakturen, davon drei 13-M/7m (3 von 24  $\hat{=}$  12,50 %) und drei 13-M/7I (3 von 8  $\hat{=}$  37,50 %), durchgeführt. Bei den transkondylären Humerusfrakturen waren es 11,32 % (n = 6), vier 13-E/4.1 Condylus radiales (4 von 40  $\hat{=}$  10,00 %) und zwei 13-E/4.2 (2 von 5  $\hat{=}$  40,00 %) Frakturen. In vier dieser Patientenfälle (zwei 13-M/7m, eine 13-E/7I und eine 13-E/4.1 Fraktur) erhärtete sich der Verdacht der zunehmenden sekundären Dislokation, woraufhin der Therapiewechsel von der konservativen zur operativen Versorgung erfolgte. Lediglich in einem Fall, einer 13-M/7m Fraktur, wurde die Computertomographie zur Planung einer komplexen Korrekturosteotomie verwendet. Dabei wurde eine Derotation um 25 ° nach radial sowie eine Aufrichtung des Epikondylus humeri radialis um 45 ° vorgenommen. Die Osteosynthese wurde mittels einer Medartis und distaler fünf-Loch Platte durchgeführt.

### 3.7.2 Begleitverletzungen

Eine Ellenbogenluxation lag in 37,50 % (n = 12) bei epikondylären Humerusfrakturen, allesamt 13-M/7m Frakturen (12 von 24  $\hat{=}$  50,00 %), vor. Bei den transkondylären Humerusfrakturen waren es 3,77 % (n = 2), zwei 13-E/4.1 darunter eine Condylus radialis (1 von 40  $\hat{=}$  2,50 %) und eine Condylus ulnaris (1 von 8  $\hat{=}$  12,50 %) Fraktur. Begleitverletzungen wurden in 15,63 % (n = 5) bei epikondylären Frakturen, davon drei 13-M/7m (3 von 24  $\hat{=}$  12,50 %) und zwei 13-E/7I (2 von 8  $\hat{=}$  25,00 %), festgestellt. Das Geschlechterverhältnis lag bei 1:4 zu Gunsten der männlichen Patienten, das Durchschnittsalter bei  $10,67 \pm 2,56$  Jahren. Bei den transkondylären Humerusfrakturen wurde in 13,21 % (n = 7), fünf 13-E/4.1 darunter vier Condylus radiales (4 von 40  $\hat{=}$  10,00 %) und eine Condylus ulnaris (1 von 8  $\hat{=}$  12,50 %) sowie zwei 13-E/4.2 (2 von 5  $\hat{=}$  40,00 %) Frakturen, Begleitverletzungen festgestellt. Das Geschlechterverhältnis lag bei 2:5 zu Gunsten der männlichen Patienten, das Durchschnittsalter bei  $10,37 \pm 3,75$  Jahren.

Tabelle 19: Begleitverletzungen der epi- und transkondylären Humerusfrakturen (n = 12)

Begleitverletzungen	Frakturtyp
Ipsilaterale distale Radiuswulstfraktur, Abriss des Processus styloideus ulnae	13-E/4.1 (Condylus-radialis-Fraktur)
Ipsilateral nicht dislozierte Radiusköpfchenfraktur	13-M/7m 13-E/4.1 (Condylus-radialis-Fraktur)
Ipsilateral dislozierte mehrfragmentäre Olecranonfraktur	13-E/7I
Ipsilaterale nicht dislozierte Radiusfraktur	13-M/7m
Ipsilaterale Claviculafraktur, Schädelhirntrauma I °, Thoraxprellungen, abdominell freie Flüssigkeit, Pankreas und Leberkontusion	13-E/4.1 (Condylus-ulnaris-Fraktur)
Ipsilaterale traumatische ulnare Seitenbandruptur	13-M/7m
Ipsilaterale subcapitale Wulstfraktur der Schulter	13-E/4.1 (Condylus-radialis-Fraktur)
Schädelhirntrauma I °	13-E/7I
Kontralaterale dezent dislozierte distale Radiuswulstfraktur	13-E/4.1 (Condylus-radialis-Fraktur)
Kontralaterale dezent dislozierte Radiuskopffraktur, nicht dislozierte Olecranonfraktur, Schädelhirntrauma I °, multiple Kontusionen/Verstauchungen	13-E/4.2
Fraktur der rechten Massa lateralis des Os sacrum mit intraarticulärer Beteiligung, nicht dislozierte Fraktur des rechten oberen Schambeinastes	13-E/4.2

In 9,38 % (n = 3) der Patientenfälle mit epikondylärer Fraktur, zwei 13-M/7m (2 von 24  $\hat{=}$  8,33 %) und eine 13-E/7I (1 von 8  $\hat{=}$  12,50 %), trat eine ipsilaterale Unterarmfraktur auf. Bei den transkondylären Humerusfrakturen trat in 3,77 % (n = 2), bei zwei 13-E/4.1 Condylus-radialis-Frakturen (2 von 40  $\hat{=}$  5,00 %), eine ipsilaterale Unterarmfraktur auf. In 3,77 % (n = 2), eine 13-E/4.1 Condylus radiales (1 von 40  $\hat{=}$  2,50 %) und eine 13-E/4.2 (1 von 5  $\hat{=}$  20,00 %) Fraktur, wurde eine kontralaterale Unterarmfraktur ermittelt.

### 3.7.3 Therapieverfahren

#### 3.7.3.1 Ambulant vs. stationär

37,50 % (n = 12) der konservativ versorgten epikondylären Humerusfrakturen, darunter sechs 13-M/7m (6 von 24  $\hat{=}$  25,00 %) und sechs 13-M/7l (6 von 8  $\hat{=}$  75,00 %) Frakturen, wurden primär ambulant versorgt. 43,75 % (n = 14) der operativ versorgten epikondylären Frakturen, 13 13-M/7m (13 von 24  $\hat{=}$  54,17 %) und eine 13-M/7l (1 von 8  $\hat{=}$  12,50 %), wurden primär stationär versorgt. Bei sechs Patientenfällen (18,75 %) kam es zum Verfahrenswechsel. Es wurden drei primär (13-M/7m: 3 von 24  $\hat{=}$  12,50 %) und drei sekundär (13-M/7m: 2 von 24  $\hat{=}$  8,33 %; 13-M/7l: 1 von 8  $\hat{=}$  12,50 %) stationär behandelt. Die Aufenthaltsdauer der stationär versorgten Patienten mit epikondylärer Fraktur lag im Median bei drei Tagen ( $3,75 \pm 2,05$ ).

45,28 % (n = 24) der konservativ versorgten transkondylären Humerusfrakturen, 22 13-E/4.1 darunter 19 Condylus radiales (19 von 40  $\hat{=}$  47,50 %) und drei Condylus ulnaris (3 von 8  $\hat{=}$  37,50 %) sowie zwei 13-E/4.2 (2 von 5  $\hat{=}$  40,00 %) Frakturen, wurden primär ambulant versorgt. 5,66 % (n = 3) der konservativ versorgten transkondylären Frakturen, zwei 13-E/4.1 Condylus ulnaris (2 von 8  $\hat{=}$  25,00 %) und eine 13-E/4.2 (1 von 5  $\hat{=}$  20,00 %), wurden primär stationär versorgt. Dabei wurden die Schwere der Begleitverletzungen, die Ablehnung der operativen Frakturversorgung und die Kompartmentkontrolle jeweils einmal als Grund erfasst. 41,51 % (n = 22) der operativ versorgten transkondylären Frakturen, 20 13-E/4.1, darunter 17 Condylus radiales (17 von 40  $\hat{=}$  42,50 %) und drei Condylus ulnaris (3 von 8  $\hat{=}$  37,50 %) sowie zwei 13-E/4.2 (2 von 5  $\hat{=}$  40,00 %) Frakturen, wurden primär stationär versorgt. Bei vier Patientenfällen (7,55 %) kam es zum Verfahrenswechsel. Es wurden vier 13-E/4.1, allesamt Condylus radialis (4 von 40  $\hat{=}$  10,00 %) Frakturen sekundär stationär behandelt. Die Aufenthaltsdauer der stationär versorgten Patienten mit transkondylärer Fraktur lag im Median bei drei Tagen ( $4,31 \pm 2,08$ ).

Die nachfolgenden Grafiken zeigen die stationäre Aufenthaltsdauer der konservativ und operativ versorgten Patienten. In einem Patientenfall mit konservativer Therapie einer transkondylären Humerusfraktur war die Dauer des stationären Aufenthaltes nicht eindeutig. Dieser Patient wurde in den folgenden Grafiken aus der Wertung genommen. Im jahreszeitlichen Verlauf zeigt sich bei den epikondylären Frakturen eine rückläufige Tendenz der Liegedauer.



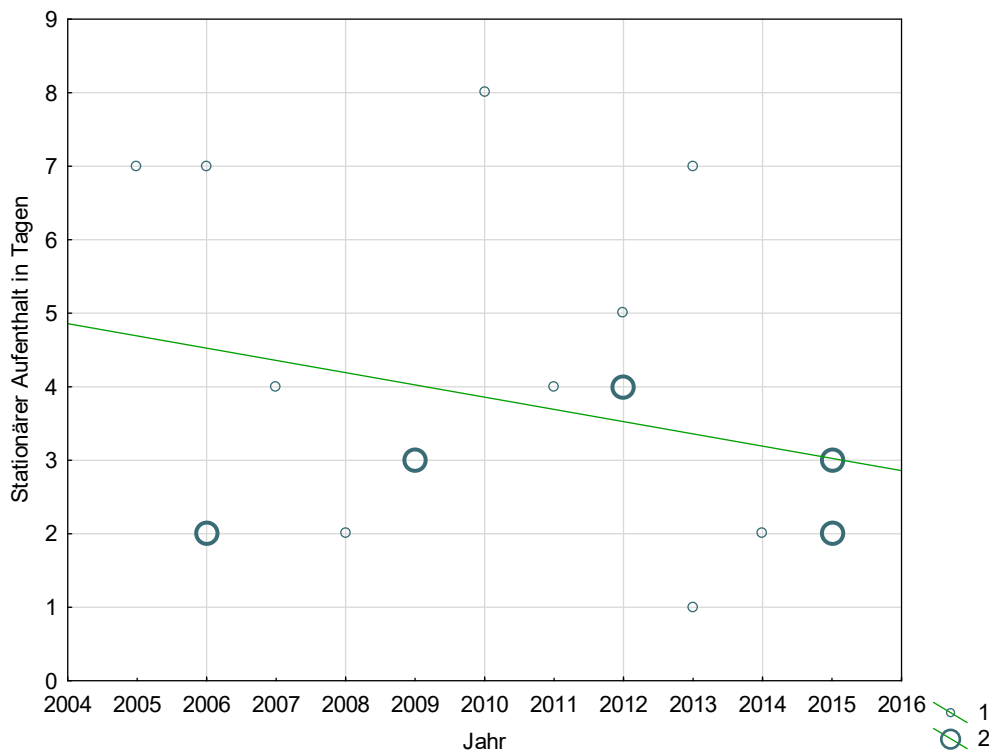


Abbildung 37: Stationäre Aufenthaltsdauer im jahreszeitlichen Verlauf – epikondyläre Humerusfrakturen (n = 20)

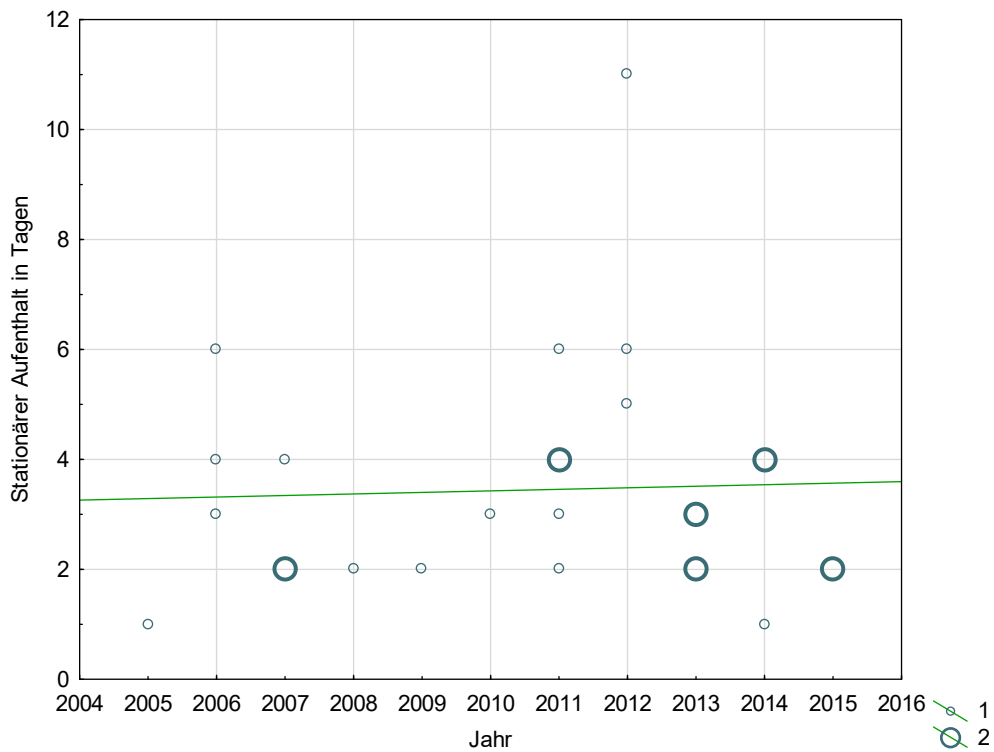


Abbildung 38: Stationäre Aufenthaltsdauer im jahreszeitlichen Verlauf – transkondyläre Humerusfrakturen (n = 26)

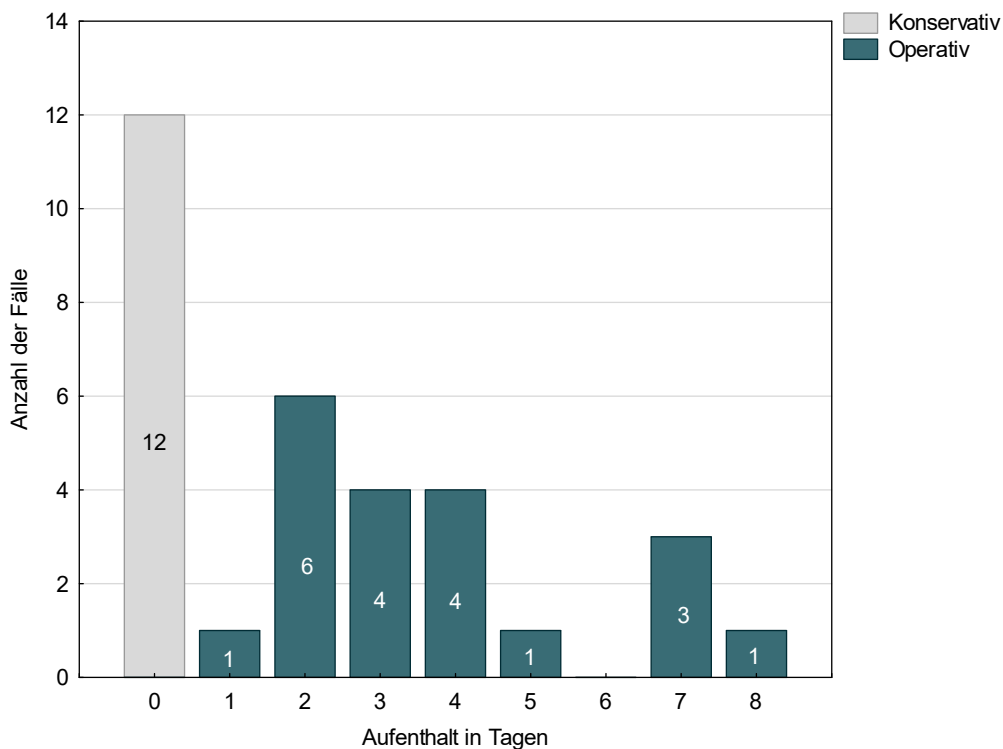


Abbildung 39: Verweildauer – epikondyläre Frakturen (n = 32)

Tabelle 20: Verweildauer – epikondyläre Frakturen (n = 32)

Verweildauer	n	Min.	Max.	Mittelw.	SD	Median	25. Perzentile	75. Perzentile
13-M/7m	24	0	8	2,54	2,17	2,00	0,50	4,0
13-M/7l	8	0	7	1,75	3,24	0	0	3,5
<b>Gesamt</b>	<b>32</b>	<b>0</b>	<b>8</b>	<b>2,34</b>	<b>2,44</b>	<b>2,00</b>	<b>0</b>	<b>4,00</b>

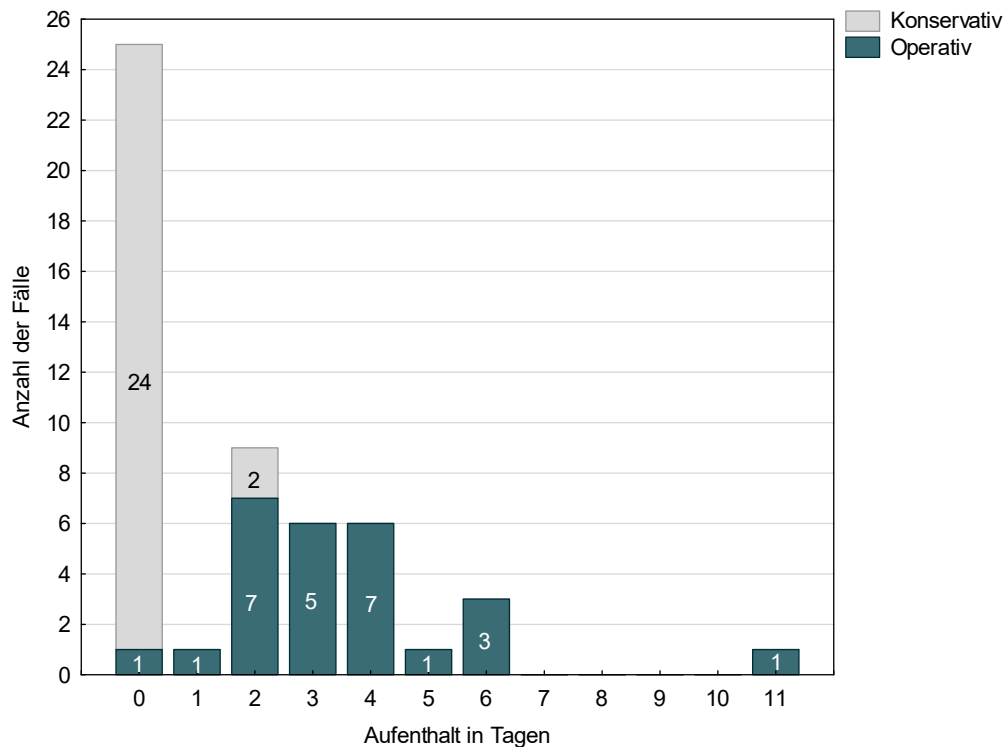


Abbildung 40: Verweildauer – transkondyläre Frakturen (n = 52)

Tabelle 21: Verweildauer – transkondyläre Frakturen (n = 52)

Verweildauer	n	Min.	Max.	Mittelw.	SD	Median	25. Perzentile	75. Perzentile
13-E/4.1	47	0	6	1,57	1,84	1,00	0	3,00
Cond. radialis	40	0	6	1,53	1,85	0,50	0	3,00
Cond. ulnaris	7	0	4	1,86	1,86	2,00	0	4,00
13-E/4.2	5	0	11	3,80	4,71	2,00	0	6,00
<b>Gesamt</b>	<b>52</b>	<b>0</b>	<b>11</b>	<b>1,79</b>	<b>2,29</b>	<b>1,00</b>	<b>0</b>	<b>3,00</b>

Die stationäre Aufenthaltsdauer ist bei beiden Frakturgruppen abhängig von dem gewählten Therapieverfahren konservativ versus operativ (Mann-Whitney-U-Test  $p < 0,001$ ). Bei der operativen Versorgung der transkondylären Humerusfrakturen mit Bohrdraht- und Schraubenosteosynthese zeigte sich eine Liegedauer von durchschnittlich  $2,40 \pm 1,35$  Tage im Vergleich zur alleinigen K-Draht-Osteosynthese  $3,18 \pm 0,94$ . Bei den epikondylären Humerusfrakturen zeigte sich bei der Versorgung mit Bohrdraht- und Schraubenosteosynthese eine Aufenthaltsdauer von durchschnittlich  $3,11 \pm 0,93$  Tagen im Vergleich zur alleinigen K-Draht-Osteosynthese  $3,67 \pm 2,66$ . Ein weiterer Vergleich ist auf Grund der geringen Gruppengröße nicht sinnvoll.

### 3.7.3.2 Konservativ vs. operativ

37,50 % (n = 12) der epikondylären Humerusfrakturen, sechs 13-M/7m (6 von 24  $\hat{=}$  25,00 %) und sechs 13-M/7l (6 von 8  $\hat{=}$  75,00 %), wurden primär konservativ behandelt. 43,75 % (n = 14), 13 13-M/7m (13 von 24  $\hat{=}$  54,17 %) und eine 13-M/7l (1 von 8  $\hat{=}$  12,50 %), wurden primär operativ behandelt. In 18,75 % (n = 6) der Patientenfälle, fünf 13-M/7m (5 von 24  $\hat{=}$  20,83 %) und eine 13-M/7l (1 von 8  $\hat{=}$  12,50 %), kam es zu einem Therapiewechsel von primär konservativ zu sekundär operativ. Die Gründe waren unterschiedlich. Zum Beispiel wurde die Operationsindikation im klinischen Verlauf bei unbefriedigenden Stellungsverhältnis gestellt oder es kam zu einer sekundären Disklokation. Bezüglich der Geschlechterverteilung wurden vier (26,67 %) Mädchen konservativ und elf (73,33 %) operativ, sowie acht (47,06 %) Jungen konservativ und neun (52,94 %) operativ behandelt. Das Geschlecht hat keinen signifikanten Einfluss auf die Wahl der Therapieform (p = 0,234).

50,94 % (n = 27) der transkondylären Humerusfrakturen, 24 13-E/4.1 darunter 19 Condylus radiales (19 von 40  $\hat{=}$  47,50 %) und fünf Condylus ulnaris (5 von 8  $\hat{=}$  62,50 %) sowie drei 13-E/4.2 (3 von 5  $\hat{=}$  60,00 %) Frakturen, wurden primär konservativ behandelt. 41,51 % (n = 22), 20 13-E/4.1 darunter 17 Condylus radiales (17 von 40  $\hat{=}$  42,50 %) und drei Condylus ulnaris (3 von 8  $\hat{=}$  37,50 %) sowie zwei 13-E/4.2 (2 von 5  $\hat{=}$  40,00 %), wurden primär operativ behandelt. In 7,55 % (n = 4) der Patientenfälle, allesamt 13-E/4.1 Condylus radiales (4 von 40  $\hat{=}$  10,00 %) Frakturen, kam es zu einem Therapiewechsel von primär konservativ zu sekundär operativ. In einem Fall wurde zunächst die Operation gegen ärztlichen Rat abgelehnt, in dem Anderen führte eine sekundäre Dislokation zum Therapiewechsel. Bezüglich der Geschlechterverteilung wurden acht (44,44 %) Mädchen konservativ und zehn (55,56 %) operativ, sowie 19 (54,29 %) Jungen konservativ und 16 (45,71 %) operativ behandelt. Zwischen den Gruppen ist kein signifikanter Unterschied verifizierbar (p = 0,139).

In den folgenden Grafiken werden die Patienten, bei denen ein Therapiewechsel stattfand, zu den operativ versorgten Kollektiv gezählt.

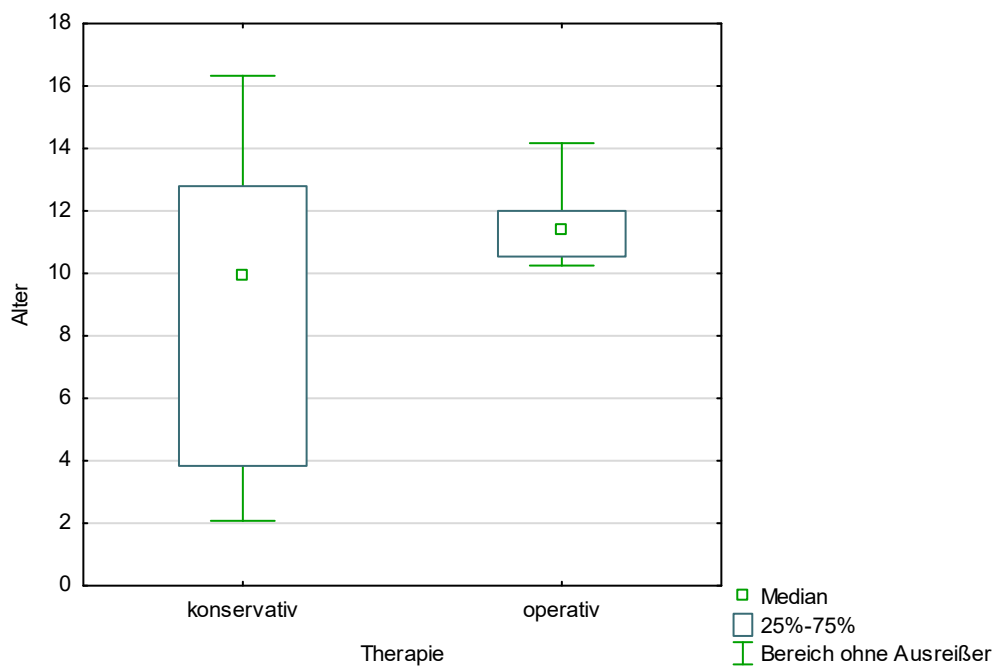


Abbildung 41: Altersverteilung – epikondyläre Frakturen konservativ vs. operativ (n = 32)

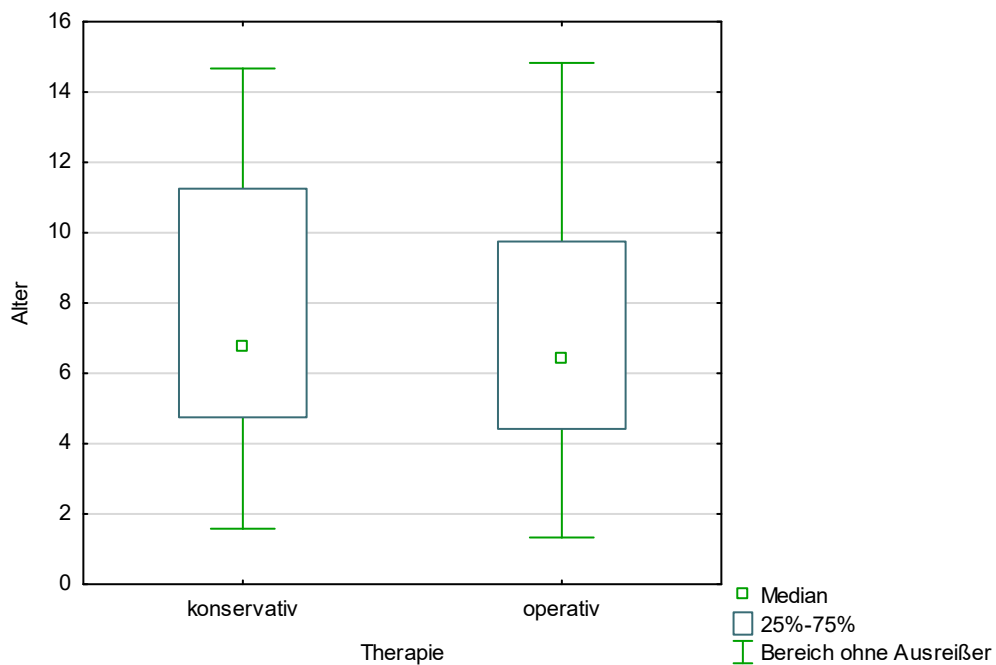


Abbildung 42: Altersverteilung – transkondyläre Frakturen konservativ vs. operativ (n = 53)

Das Durchschnittsalter der konservativ behandelten Patienten mit epikondylärer Humerusfraktur lag bei  $8,97 \pm 4,97$  Jahren, der operativ versorgten Patienten bei  $11,34 \pm 1,86$  Jahren. Bezüglich der transkondylären Humerusfrakturen lag das Durchschnittsalter der konservativ versorgten Patienten bei  $7,54 \pm 3,91$  Jahren, der operativ versorgten Patienten bei  $7,26 \pm 4,04$  Jahren. Anhand der erhobenen Daten lässt sich kein signifikanter Unterschied zwischen der Altersverteilung und dem Therapieverfahren verifizieren (13-M/7m und 13-M/7l:  $p = 0,206$ ; 13-E/4.1 und 13-E/4.2:  $p = 0,936$ ).

Bei beiden Frakturgruppen ist der Einfluss der Dislokation auf die Therapieentscheidung konservativ versus operativ hoch signifikant (Chi-Quadrat-Test,  $p < 0,001$ ). Handelte es sich bei den epikondylären Humerusfrakturen um eine nicht dislozierte Fraktur wurde in 91,67 % ( $n = 11$ ) konservativ therapiert. Lediglich in 8,33 % ( $n = 1$ ) kam es nach einem Therapiewechsel zur operativen Versorgung. Bei Vorliegen einer Dislokation wurde in 94,12 % ( $n = 16$ ) operativ therapiert, wobei in fünf Fällen ein Therapiewechsel erfolgte. Nur 5,88 % ( $n = 1$ ) wurden konservativ versorgt. Bei drei Patientenfällen war unklar ob tatsächlich eine Dislokation vorlag. Diese wurden aus der Wertung genommen. Handelte es sich bei den transkondylären Humerusfrakturen um eine nicht dislozierte Fraktur wurde in 86,67 % ( $n = 26$ ) konservativ therapiert. Lediglich in 13,33 % ( $n = 4$ ) kam es zur operativen Versorgung, wobei in 6,67 % ( $n = 2$ ) ein Therapiewechsel stattfand. Bei Vorliegen einer Dislokation wurde in 95,65 % ( $n = 22$ ) operativ therapiert, wobei in 8,70 % ( $n = 2$ ) ein Therapiewechsel erfolgte. Nur 4,35 % ( $n = 1$ ) wurden konservativ versorgt.

Die nachfolgende Grafik veranschaulicht die konservative und operative Therapie in Bezug zum Frakturtyp.

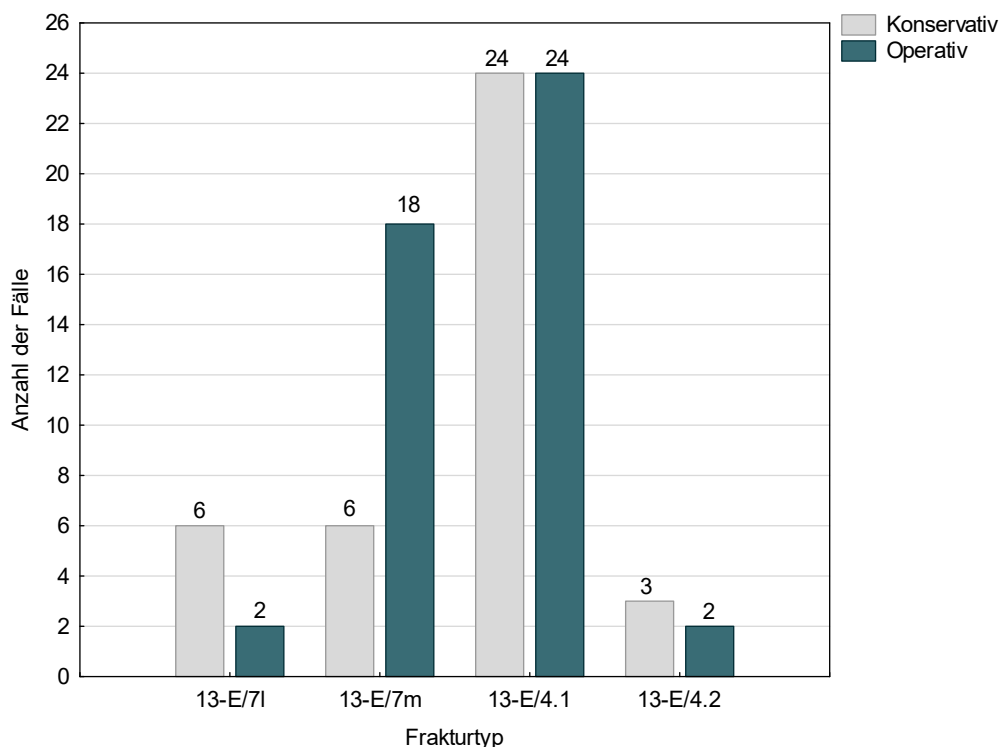


Abbildung 43: Frakturklassifikation konservativ vs. operativ der epi- und transkondylären Frakturen (n = 85)

Alle Patienten wurden mittels eines Gipsverbandes oder Kunststoffgips immobilisiert. Bezüglich der epikondylären Humerusfrakturen konnte in 66,67 % (n = 8) der Fälle die Dauer der Ruhigstellung von konservativ therapierten Patienten ermittelt werden. Diese betrug durchschnittlich  $18 \pm 6,09$  Tage (Median 20,5). Werden die 13-M/7m Frakturen betrachtet betrug die durchschnittliche Immobilisationszeit  $17 \pm 7,39$  Tage (Median 20). Bei den 13-M/7l Frakturen betrug die Dauer durchschnittlich  $19 \pm 5,42$  Tage (Median 21). In 95,00 % (n = 19) wurde die Dauer der operativ versorgten Patienten bestimmt, die im Durchschnitt bei  $27,79 \pm 7,17$  Tagen lag (Median 26). Werden die 13-M/7m Frakturen betrachtet betrug die durchschnittliche Immobilisationszeit  $27,41 \pm 7,43$  Tage (Median 25). Bei den 13-M/7l Frakturen betrug die Dauer durchschnittlich  $31 \pm 4,24$  Tage (Median 31).

Bei den transkondylären Humerusfrakturen konnte in 62,96 % (n = 17) der Fälle die Dauer der Ruhigstellung von konservativ therapierten Patienten ermittelt werden. Diese betrug durchschnittlich  $21,53 \pm 5,78$  Tage (Median 21). Werden die 13-E/4.1 Frakturen betrachtet wurden die Condylus-radialis-Frakturen im Mittel  $22,36 \pm 6,71$  Tage (Median 22) und die Condylus-ulnaris-Frakturen im Mittel  $20,75 \pm 2,22$  Tage (Median 20)

immobilisiert. Bei den 13-E4.2 Frakturen wurde im Mittel  $18,5 \pm 6,36$  Tage (Median 18,5) ruhiggestellt. In 88,46 % ( $n = 23$ ) wurde die Ruhigstellung der operativ versorgten Patienten bestimmt, die im Durchschnitt bei  $26,48 \pm 8,12$  (Median 26) Tagen lag. Werden die 13-E4.1 Frakturen betrachtet wurden die Condylus-radialis-Frakturen im Mittel  $27,32 \pm 8,60$  Tage (Median 27) und die Condylus-ulnaris-Frakturen im Mittel  $22,67 \pm 4,62$  Tage (Median 20) immobilisiert. Die 13-E4.2 Fraktur wurde 22 Tage ruhiggestellt.

Bei den epikondylären Frakturen wurde in 95,00 % ( $n = 19$ ) die Operationsdauer über die Schnitt-Naht-Zeit berechnet. Die Revisionsoperationen wurden nicht mitberücksichtigt. Im Mittel dauerte die operative Versorgung  $62,05 \pm 19,62$  Min., im Median 62 Min. (30-115 Min.). Werden die 13-M/7m Frakturen betrachtet dauerte die operative Versorgung im Mittel  $58,59 \pm 15,58$  Min., im Median 60 Min. (30-95 Min.). Bei den 13-M/7l Frakturen dauert die operative Versorgung im Mittel  $91,5 \pm 33,23$  Min., im Median 91,5 Min. (68-115). In 90,00 % ( $n = 18$ ) wurde eine Angabe zur operativen Lage der Patienten mit epikondylärer Humerusfraktur gemacht. In 83,33 % ( $n = 15$ ) erfolgte die Operation in Rückenlage und in 16,66 % ( $n = 3$ ) in Bauchlage. 95,00 % ( $n = 19$ ) wurden mit einer antibiotischen Therapie abgedeckt.

Bei den transkondylären Frakturen wurde in 84,62 % ( $n = 22$ ) die Operationsdauer über die Schnitt-Naht-Zeit berechnet. Die Revisionsoperationen wurden nicht mitberücksichtigt. Im Mittel dauerte die operative Versorgung  $100,14 \pm 60,56$  Min., im Median 77 Min. (42-300 Min.). Werden die 13-E4.1 Frakturen betrachtet dauerte die operative Versorgung der Condylus-radialis-Frakturen im Mittel  $83,74 \pm 36,37$ , im Median 67 Min. (42-182 Min.) und der Condylus-ulnaris-Frakturen im Mittel  $156 \pm 43,84$  Min., im Median 156 Min. (125-187 Min.). Bei der 13-E4.2 Fraktur dauerte die operative Versorgung 300 Minuten. Die operative Versorgung der transkondylären Frakturen wurde in 69,23 % ( $n = 18$ ) in Rückenlage und in 30,77 % ( $n = 8$ ) in Bauchlage durchgeführt. 80,77 % ( $n = 21$ ) wurden mit einer antibiotischen Therapie abgedeckt.

### **3.7.3.3 Verfahren**

Bei allen epikondylären Humerusfrakturen mit operativer Versorgung erfolgte eine offene Reposition. Zur Frakturfixation kamen K-Drähte, Schrauben und in einem Fall ein Fastak-Anker zum Einsatz. Zu den häufigsten Operationsverfahren zählte die Bohrdrahtosteosynthese in Kombination mit der Schraubenosteosynthese. Es wurden folgende Operationszugänge genutzt: zwei Mal radial bei den 13-E/7l und 18 ulnar bei



den 13-E/7m Frakturen. Im Folgenden werden den Frakturtypen die Operationsverfahren zugeordnet.

Tabelle 22: Operationsverfahren und Frakturtypen der epikondylären Humerusfrakturen (n = 20)

Frakturtyp	Operationsverfahren	Häufigkeit in %
13-E/7l	2x K-Draht	100 %
13-E/7m	4x K-Draht	22,22 %
	9x K-Draht + Schraube	50,00 %
	4x Schraube	22,22 %
	1x Fastak-Anker	5,56 %

Bei den operativ versorgten transkondylären Humerusfrakturen erfolgte in 7,69 % (n = 2) eine geschlossene und in 92,31 % (n = 24) eine offene Reposition. Bei der Versorgung der zwei Frakturen mit geschlossener Reposition wurde zur Frakturfixation in einem Fall ein radialer K-Draht und im zweiten Fall dorso-radial eine Schraube eingesetzt. Es handelte sich bei beiden um eine Condylus-radialis-Fraktur. Zu den Operationsverfahren zählte die Bohrdraht-, Schrauben- und Plattenosteosynthese. Bei der offenen Reposition wurden folgende Operationszugänge genutzt: 18 Mal radial (17 13-E/4.1 Condylus-radialis-Frakturen und eine 13-E/4.2 Fraktur), ein Mal ulnar (eine 13-E/4.1 Condylus-ulnaris-Fraktur), zwei Mal radial und ulnar (zwei 13-E/4.1 Condylus-ulnaris-Frakturen), drei Mal dorso-radial (zwei 13-E/4.1 Condylus-radialis-Frakturen und eine 13-E/4.2 Fraktur). Im Folgenden werden den Frakturtypen die Operationsverfahren zugeordnet.

Tabelle 23: Operationsverfahren und Frakturtypen der transkondylären Humerusfrakturen (n = 26)

Frakturtyp	Operationsverfahren	Häufigkeit in %
13-E/4.1 Cond. radialis	8x K-Draht	38,10 %
	10x K-Draht + Schraube	47,62 %
	1x K-Draht + Platte	4,76 %
	1x Platte + Schraube	4,76 %
	1x Schraube	4,76 %
13-E/4.1 Cond. ulnaris	3x K-Draht	100 %
13-E/4.2	1x Platte + Schraube	50,00 %
	1x Platte	50,00 %

### 3.7.4 Osteosynthesematerialentfernung

In 95,00 % (n = 19) der operativ versorgten epikondylären Humerusfrakturen erfolgte die Osteosynthesematerialentfernung in der Universitätsklinik Göttingen. Im Median wurde das Osteosynthesematerial nach 66 Tagen ( $93,74 \pm 92,12$ ) entfernt. Werden die Frakturtypen betrachtet erfolgte die Materialentfernung der 13-E/7m Frakturen im Median nach 73 Tagen ( $98,65 \pm 96,28$ ). Bei reiner Bohrdrahtosteosynthese betrug die Dauer bis zur vollständigen Materialentfernung im Median 58,5 Tage ( $58,50 \pm 6,95$ ), bei der Kombination K-Draht- und Schraubenosteosynthese 75 Tage ( $78,33 \pm 25,02$ ) und bei reiner Schraubenosteosynthese 106 Tage ( $184,5 \pm 185,75$ ). Bei den 13-E/7l Frakturen wurden im Median nach 56,5 Tagen ( $56,50 \pm 6,36$ ) die K-Drähte entfernt.

In 84,62 % (n = 22) der operativ versorgten transkondylären Humerusfrakturen erfolgte die Osteosynthesematerialentfernung in der Universitätsklinik Göttingen. Im Median wurde das Osteosynthesematerial nach 28,23 Tagen ( $61,86 \pm 28,23$ ) entfernt. Werden die einzelnen Frakturtypen betrachtet erfolgte die Materialentfernung der 13-E/4.1 Condylus-radialis-Frakturen im Median nach 54 Tagen ( $53,78 \pm 17,65$ ). Bei der Versorgung mit K-Drähten betrug die Dauer bis zur Materialentfernung im Median 55,5 Tage ( $52,38 \pm 18,96$ ) und bei der Kombination K-Draht- und Schraubenosteosynthese 52 Tage ( $57,00 \pm 17,15$ ). Bei den 13-E/4.1 Condylus-ulnaris-Frakturen wurden im Median nach 66,5 Tagen ( $66,5 \pm 14,85$ ) die K-Drähte entfernt, wobei in einem Fall außerdem eine Arthrolyse durchgeführt wurde. Ebenfalls zur Arthrolyse und zusätzlich zum Debridement der Fossa olecrani und der Abtragung von Knochengewebe kam es bei einer 13-E/4.2 Fraktur. In zwei Fällen, eine 13-E/4.1 Condylus radialis und eine 13-E/7m Fraktur, wurde zur Gelenkmobilisation ein Brisement forcé angewandt.

### 3.7.5 Funktionelle Beweglichkeit

87,50 % (n = 28) der Patienten mit epikondylärer und 71,70 % (n = 38) mit transkondylärer Humerusfraktur stellten sich im Rahmen der Kindertraumatologie-Sprechstunde in der Universitätsmedizin Göttingen zum vereinbarten Therapieabschlussstermin vor. Bei den anderen Patientenfällen kann nicht von einem offiziellen Therapieabschluss unsererseits ausgegangen werden, da der Patient beispielsweise nicht zur nächsten Kontrolluntersuchung erschien. Die Beurteilung des Behandlungserfolges erfolgte anhand der Anamnese und der körperlichen Untersuchung. In 46,88 % (n = 15) der epikondylären und 54,72 % (n = 29) der transkondylären Humerusfrakturen wurden Angaben zum Bewegungsumfang gemacht. Orientierend an der Bewertung der suprakondylären Humerusfrakturen erfolgte ebenfalls eine Einteilung mit befriedigendem und mit unbefriedigendem Ergebnis (siehe Tabelle 24). In vier

Patientenfällen (drei 13-M/7m und eine 13-E/4.2 Fraktur) erfolgte eine Nachuntersuchung, die in zwei Fällen erneute Nachkontrollen notwendig machten. Dabei zeigte sich bei einer 13-M/7m Fraktur ein befriedigendes, bei den anderen drei ein unbefriedigendes Ergebnis.

Tabelle 24: Bewertung bei Therapieabschluss – epi- und transkondyläre Frakturen (n = 44)

Frakturtyp	Befriedigend	Unbefriedigend	Keine Angabe	Gesamt
<b>13-M/7m</b>				
konservativ	3 (50,00 %)	-	3	6
operativ	4 (22,22 %)	4 (22,22 %)	10	18
<b>13-M/7l</b>				
konservativ	1 (16,67 %)	2 (33,33 %)	3	6
operativ	1 (50,00 %)	-	1	2
<b>13-E/4.1 Cond. radialis</b>				
konservativ	3 (15,79 %)	3 (15,79 %)	13	19
operativ	8 (38,10 %)	6 (28,57 %)	7	21
<b>13-E/4.1 Cond. ulnaris</b>				
konservativ	2 (40,00 %)	1 (20,00 %)	2	5
operativ	1 (33,33 %)	1 (33,33 %)	1	3
<b>13-E/4.2</b>				
konservativ	-	2 (66,66 %)	1	3
operativ	-	2 (100 %)	-	2
<b>Gesamt</b>	23	21	41	85

### 3.7.6 Komplikationen

Unter Berücksichtigung der Aufnahmeuntersuchung kam es lediglich in einem Fall zu einer traumatisch bedingten Gefäßkomplikation, die im protrahierten Verlauf nach Reposition und Stabilisierung rückläufig war. Hierbei handelte es sich um eine 13-M/7m Fraktur, die konservativ therapiert wurde und im Verlauf sekundär dislozierte, sodass ein Wechsel von konservativer zu operativer Therapie erfolgte.

Bei vier Patientenfällen (12,50 %) mit epikondylärer Humerusfraktur, allesamt 13-M/7m Frakturen (4 von 24  $\hat{=}$  16,67 %), traten Komplikationen auf, die eine therapeutische Intervention notwendig machten. Ebenfalls notwendig wurden therapeutische Interventionen bei fünf Fällen (9,43 %) mit transkondylärer Fraktur, vier 13-E/4.1 Condylus radialis (4 von 40  $\hat{=}$  10,00 %) und einer 13-E/4.2 Fraktur (1 von 5  $\hat{=}$  20,00 %). In allen Patientenfällen, bei denen eine Komplikation auftrat, kam es entweder zu einer primären oder sekundären operativen Therapie.

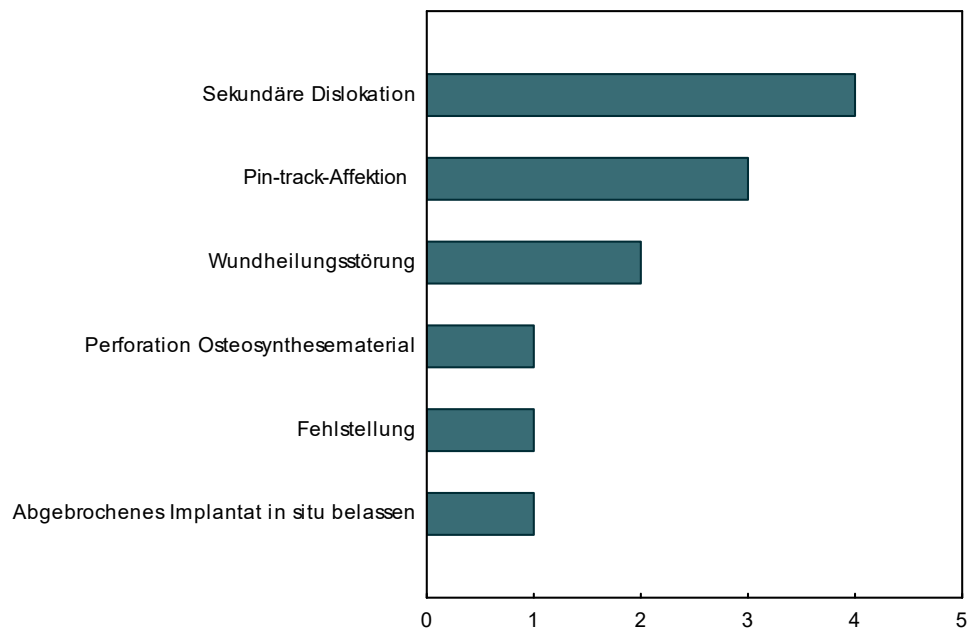


Abbildung 44: Komplikationen der epi- und transkondylären Frakturen mit therapeutischer Intervention (n = 12)

Drei 13-E/4.1 Condylus radialis (3 von 40  $\hat{=}$  7,50 %) und eine 13-M/7m (1 von 24  $\hat{=}$  4,17 %) Fraktur dislozierten sekundär. Aufgrund der unzufriedenstellenden Stellungsverhältnisse wurde eine primär operative Therapie oder Re-Operation durchgeführt. Bei einer 13-M/7m (1 von 24  $\hat{=}$  4,17 %), einer 13-E/4.1 Condylus radialis (1 von 40  $\hat{=}$  2,50 %) und einer 13-E/4.2 Fraktur (1 von 5  $\hat{=}$  20,00 %) kam es zu einer Pin-track-Affektion. Die 13-E/4.2 Fraktur konsolidierte zusätzlich in einer Fehlstellung, sodass eine Korrekturosteotomie notwendig wurde. Diese wurde ca. zehn Monate nach operativer Erstversorgung mit einer Medartis- und einer fünf-Loch Platte durchgeführt. Außerdem erhielt der Patient eine Arthrolyse des Ellenbogengelenkes. Bei zwei 13-M/7m Frakturen (2 von 24  $\hat{=}$  8,33 %) kam es zu Wundheilungsstörungen, in einem Fall aufgrund einer Wundinfektion und Perforation des Osteosynthesematerials, sodass ein K-Draht vorzeitig entfernt wurde. Bei einer 13-M/7m Fraktur (1 von 24  $\hat{=}$  4,17 %) brach intraoperativ die Spitze vom Stahl-Gewinde des K-Drahtes ab. Diese wurde in Situ belassen. Durchschnittlich behandelt die Universität Göttingen einen Patienten pro Jahr mit einer epikondylären oder transkondylären Humerusfraktur bei dem statistisch eine Komplikation auftritt.

### 3.7.7 Weiterbehandlung

In 59,38 % (n = 19) der epikondylären Humerusfrakturen, 17 13-M/7m Frakturen (17 von 24  $\pm$  70,83 %) und zwei 13-E/7I (2 von 8  $\pm$  25,00 %), sollten Bewegungsübungen fortgesetzt werden, um die funktionelle Beweglichkeit zu verbessern. Dabei handelte es sich in 95,00 % (n = 19) um operativ versorgte Frakturen. Ebenfalls Bewegungsübungen wurden in 45,28 % (n = 24) der transkondylären Humerusfrakturen, 22 13-E/4.1 Frakturen darunter 20 Condylus radialis (20 von 40  $\pm$  50,00 %) und zwei Condylus ulnaris (2 von 8  $\pm$  25,00 %) sowie zwei 13-E/4.2 (2 von 5  $\pm$  40,00 %) Frakturen, durchgeführt. Es handelte sich in 76,92 % (n = 20) um operativ therapierte transkondyläre Humerusfrakturen.

### 3.7.8 Behandlungsdauer in Göttingen

Wie bei den suprakondylären Humerusfrakturen war die Behandlungsdauer von verschiedenen Einflussfaktoren abhängig. Zum vereinbarten Therapieabschlussstermin stellten sich 87,50 % (n = 28) der Patienten mit epikondylärer Humerusfraktur, 22 13-M/7m Frakturen (22 von 24  $\pm$  91,67 %) und sechs 13-E/7I (6 von 8  $\pm$  75,00 %), in der Kindertraumatologie-Sprechstunde vor. Der Zeitraum vom Therapiebeginn bis zum festgesetzten Endpunkt betrug bei den epikondylären Humerusfrakturen im Median 71,5 Tage (83,39  $\pm$  85,22). Bei den 13-M/7m Frakturen lag die Behandlungsdauer im Median bei 81,5 Tagen (96,64  $\pm$  91,20), bei den 13-M/7I Frakturen im Median bei 22 Tagen (34,83  $\pm$  26,11). Bei vier Patienten wurden zusätzliche Nachkontrollen durchgeführt, die in dieser Berechnung keine Berücksichtigung fanden. In 12,50 % (n = 4: zwei 13-M/7m und zwei 13-E/7I Frakturen) erschien der Patient nicht zur nächsten Kontrolluntersuchung, sodass davon auszugehen ist, dass die Weiterbehandlung auswärts erfolgte oder ein bereits für den Patienten zufriedenstellendes Ergebnis eingetreten war. Diese Gruppe wurde durchschnittlich 5,25  $\pm$  4,43 Tage betreut. Insgesamt stellten sich die Patienten mit epikondylärer Humerusfraktur im Median 6 Mal (6,94  $\pm$  3,45) vor, miteingeschlossen und als eine Vorstellung galt die ggf. stationäre Versorgung. 71,70 % (n = 38) der Patienten mit transkondylärer Humerusfraktur, 35 13-E/4.1 Frakturen darunter 29 Condylus radialis (29 von 40  $\pm$  72,50 %) und sechs Condylus ulnaris (6 von 8  $\pm$  75,00 %) sowie drei 13-E/4.2 (3 von 5  $\pm$  60,00 %) Frakturen, stellten sich zum vereinbarten Therapieabschlussstermin vor. Der Zeitraum vom Therapiebeginn bis zum festgesetzten Endpunkt betrug bei den transkondylären Humerusfrakturen im Median 52 Tage (71,89  $\pm$  104,81). Bei den 13-E/4.1 Condylus-radialis-Frakturen lag die Behandlungsdauer im Median bei 52 Tagen (55,31  $\pm$  31,93), bei den 13-E/4.1 Condylus-ulnaris-Frakturen im Median bei 22 Tagen (50,33  $\pm$  50,55)

und bei den 13-E/4.2 Frakturen im Median 142 Tagen ( $275,33 \pm 339,26$ ). Bei einem Patienten wurde eine zusätzliche Nachkontrolle durchgeführt, die in dieser Berechnung keine Berücksichtigung fand. In 28,30 % ( $n = 15$ : elf 13-E/4.1 Condylus radialis, zwei 13-E/4.1 Condylus ulnaris und zwei 13-E/4.2 Frakturen) der Patientenfälle erschien der Patient nicht zur nächsten Kontrolluntersuchung, sodass davon auszugehen ist, dass die Weiterbehandlung auswärts erfolgte oder ein bereits für den Patienten zufriedenstellendes Ergebnis eingetreten war. Diese Gruppe wurde durchschnittlich  $19,60 \pm 36,02$  Tage betreut. Insgesamt stellten sich die Patienten mit transkondylärer Humerusfraktur im Median sechs Mal ( $6,34 \pm 4,33$ ) vor, miteingeschlossen und als eine Vorstellung galt die ggf. stationäre Versorgung. Bei konservativer Therapie wurde bei den epikondylären Humerusfrakturen im Median eine ( $0,92 \pm 0,67$ ) Kontrollröntgenaufnahme durchgeführt, bei operativer Therapie hingegen im Median drei ( $3,40 \pm 0,99$ ). Bei den transkondylären Humerusfrakturen erfolgte bei konservativer Therapie im Median zwei ( $1,82 \pm 1,04$ ) und bei operativer Therapie im Median drei ( $3,46 \pm 1,63$ ) Kontrollröntgenaufnahmen. Da die Röntgenaufnahmen zu unterschiedlichen Zeitpunkten stattfanden wurde auf eine weitere Statistik verzichtet.

## 4 Diskussion

Frakturen im Kindes- und Jugendalter betreffen in ca. 76-77 % die obere Extremität (Kraus und Wessel 2010; Kamphaus et al. 2014). Darunter ist die distale Humerusfraktur die zweithäufigste Frakturlokalisation (Kraus und Wessel 2010) mit einem Anteil von < 5 % (Landin 1983; Brudvik und Hove 2003) bis ca. 15 % (Kraus et al. 2005; Kraus und Wessel 2010). Die suprakondyläre Humerusfraktur stellt die häufigste Ellenbogenfraktur dar (Kraus und Wessel 2010; Dallek et al. 1985; Wessel 1998; Landin und Danielsson 1986).

Erstrebenswert ist eine effiziente Therapie mit möglichst schneller Mobilisation sowie die Vermeidung von Bewegungseinschränkungen oder Wachstumsstörungen. Um Behandlungsfehler zu verhindern, sind Besonderheiten von Frakturen im Wachstumsalter zu berücksichtigen. Es ist auf eine genaue klinische Befunderhebung sowie radiologische Diagnostik, eine adäquate Frakturversorgung und ausreichende Verlaufskontrollen zu achten (Kraus und Wessel 2010). Vor allem bei der suprakondylären Fraktur sollte das Korrekturpotential berücksichtigt und altersgerecht therapiert werden (Fernandez et al. 2016).

Für eine optimale Behandlung von pädiatrischen Frakturen am distalen Humerus an der Universitätsmedizin Göttingen sind epidemiologische Daten und Informationen zu Diagnose- und Therapiestandards im Rahmen einer Qualitätssicherungsstudie unerlässlich. Mit der vorliegenden retrospektiven klinischen Studie können aktuelle Daten mit anderen Veröffentlichungen und der gängigen Literatur verglichen und die Qualität der Versorgung in der UMG validiert werden. Dies ermöglicht eine Einschätzung, kritische Reflexion sowie Weiterentwicklung bei der Behandlung von supra-, epi- und transkondylären Humerusfrakturen im Kindes- und Jugendalter. Unter Berücksichtigung der Ein- und Ausschlusskriterien wurden 278 Patienten, 284 Patientenfälle, an der Universitätsmedizin Göttingen in dem Zeitraum von 2005 bis 2015 detektiert. Zunächst wurden epidemiologische Daten wie die Alters- und Geschlechtsverteilung, die Frakturlokalisation, die jahreszeitliche Verteilung sowie der Unfallort und Unfallhergang verglichen. Zeitintervalle bezüglich der Erstvorstellung, dem Therapiebeginn, der Behandlungs-, ggf. stationären Aufenthalts- sowie Immobilisationsdauer, bis hin zur möglichen Osteosynthesematerialentfernung fanden Berücksichtigung. Anschließend wurden die einzelnen Frakturtypen betrachtet und die Ergebnisse zur Epidemiologie und Ätiologie, Anamnese, Diagnostik, Therapieverfahren, Komplikationen und Nachbehandlung in Bezug zur Literatur evaluiert. Die

Ergebnisse der suprakondylären Frakturen wurden vorwiegend mit der multizentrischen Studie der Sektion Kindertraumatologie der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie verglichen, da diese einen repräsentativen Querschnitt der Behandlungsstandards im deutschsprachigen Raum darstellt (Weinberg et al. 2002; von Laer et al. 2002). Der Vergleich der Ergebnisse der Epikondylus-radialis-Frakturen mit publizierten Studien ist durch die Rarität der Fraktur erschwert. Die Resultate werden zusammen mit der Epikondylus-ulnaris-Fraktur evaluiert.

Bei der Betrachtung unseres Gesamtkollektivs zeigte sich ein Geschlechterverhältnis von 43,17 % (n = 120) weiblichen und 56,83 % (n = 158) männlichen Patienten. Das Überwiegen der Jungen bezüglich pädiatrischer Frakturen ist in etlichen Studien beschrieben. Werden die Analysen von Frakturen der langen Röhrenknochen herangezogen, sind bei Joeris et al. (2014) 60 %, Kraus et al. (2005) 56,8 % und Kamphaus et al. (2014) 55,71 % der Jungen betroffen.

Beobachtungen zeigten, dass das generelle Frakturrisiko bis zum 11.-14. Lebensjahr ansteigt und mit dem Eintritt in das Adoleszentenalter abfällt (Joeris et al. 2014; Kraus et al. 2005; Kamphaus et al. 2014; Landin 1983; Landin 1997; Brudvik und Hove 2003; Saß et al. 2014; Joeris et al. 2017). Kamphaus et al. (2014) erklären sich dies durch die im Alter, vor allem bei Jungen, zunehmende Risikobereitschaft sowie sportliche Aktivitäten. Bei unserem Patientenkollektiv zeigte sich eine ähnliche Verteilung zum Unfallzeitpunkt. Das Durchschnittsalter lag bei  $6,82 \pm 3,31$  Jahren (1,33-16,33). Eingeteilt in Altersgruppen waren 11,27 % (n = 32) zum Unfallzeitpunkt im Kleinkindes-, 33,10 % (n = 94) im Kindergarten-, 35,91 % (n = 102) im Grundschul- und 19,72 % (n = 56) im Adoleszentenalter.

Bei insgesamt sechs Patienten wurde eine zweizeitige distale Humerusfraktur festgestellt, wobei bis auf einem Fall derselbe Arm betroffen war. Diesbezüglich konnten keine Angaben in der gängigen Literatur gefunden werden.

Das Auftreten von Frakturen variierte mit den Jahreszeiten. Eine Häufung der Unfälle ergab sich bei unserem Patientenkollektiv in den Monaten April bis August, mit einem Höchstwert im Mai. In den Wintermonaten, vor allem im Dezember, verunglückten im Vergleich weniger Kinder. Zu ähnlichen Ergebnissen kam Landin (1983), der Höchstwerte im Mai und August beschrieb, wohingegen er im Juli und Dezember Rückgänge



verzeichnete. Auch bei der epidemiologischen Studie nach Houshian et al. (2001) stieg die Inzidenz der Ellenbogenfrakturen in den Sommermonaten an.

In 88,38 % (n = 251) erfolgte die klinische Erstvorstellung in der Universitätsmedizin Göttingen am Unfalltag. Im Median lag die Unfallzeit bei 16 Uhr (n = 216) und die Aufnahmezeit bei 17 Uhr (n = 249), sodass im Median 1,33 Stunden (n = 208) vergingen bis das verunfallte Kind in der unfallchirurgischen Klinik der Universitätsmedizin Göttingen vorstellig wurde. 64,08 % (n = 182) wurden von ihren Eltern oder Aufsichtspersonen und 24,65 % (n = 70) durch den Rettungsdienst eingeliefert. Die Vergleichbarkeit dieser Ergebnisse ist erschwert, da diese Informationen bei anderen Autoren häufig keine Berücksichtigung fanden und nicht erhoben wurden. McRae und Nusem (2018) sowie Weinberg et al. (2002) betrachteten zeitliche Merkmale bei suprakondylären Humerusfrakturen. Diese ähneln unseren Beobachtungen, dass Kinder und Jugendliche insbesondere in den Nachmittagsstunden (12:00-17:59 Uhr; Gipfel: 17:00-17:59 Uhr) verunfallten (McRae und Nusem 2018). Die durchschnittliche Zeit bis zur Klinikaufnahme betrug  $2,28 \pm 2,05$  Stunden (Weinberg et al. 2002).

Bei der Therapieentscheidung für eine operative Reposition und Stabilisierung wurde bei unserem Patientenkollektiv das Zeitintervall der Erstaufnahme bis zum Operationsbeginn ermittelt. Dieser Parameter zeigt, ob eine zeitnahe Behandlung im beständigen Klinikbetrieb stattfand. 119 Patientenfälle wurden primär operativ behandelt. Das Zeitintervall konnte in 94 Patientenfällen bestimmt werden. Demnach vergingen im Median 3,49 Stunden bis zur primären operativen Versorgung der distalen Humerusfraktur. 80,85 % (n = 76) wurden innerhalb von sechs Stunden operativ versorgt. Im Vergleich zu den Ergebnissen anderer Autoren, wie Mohan et al. (2000), McRae und Nusem (2018) und Fowles et al. (1990), entspricht dies einer zeitigen Versorgung. In der Regel findet die operative Intervention innerhalb von 24 Stunden statt (Mohan et al. 2000; McRae und Nusem 2018; Fowles et al. 1990). Eine spätere Versorgung hinsichtlich der suprakondylären Humerusfraktur (> 24 Stunden) scheint nach Larson et al. (2014), Gupta et al. (2004) und Bales et al. (2010) bezüglich der Inzidenz von Komplikationen keinen Unterschied zu machen. Unseres Erachtens sollte dennoch eine zeitnahe Versorgung angestrebt werden, um den Krankenhausaufenthalt und die damit verbundene emotionale Belastung der kleinen Patienten gering zu halten. Zudem sollte der Operationszeitpunkt selbstverständlich von dem Ausmaß der Fraktur und der klinischen Symptomatik abhängig gemacht werden.

Wird der Unfallort betrachtet, zeigte sich bei unserem Gesamtkollektiv, dass Kinder und Jugendliche in 26,06 % (n = 74) bei Aktivitäten im Freien, 15,49 % (n = 44) in häuslicher Umgebung, 13,73 % (n = 39) in der Schule, 11,27 % (n = 32) im Kindergarten, 8,80 % (n = 25) in Sportstätten und 5,99 % (n = 17) auf Spielplätzen verunfallten. Die häufigste Unfallursache war ein Sturzereignis. 11,62 % (n = 33) Patienten verunfallten beim Spielen, 8,45 % (n = 24) beim Klettern, 6,34 % (n = 18) beim Fahrrad- oder Dreiradfahren, 6,34 % (n = 18) beim Trampolinspringen, 5,99 % (n = 17) beim Schaukeln und 3,52 % (n = 10) beim Reiten (weitere Angaben siehe Tabelle 10). Vergleichbare Ergebnisse wurden in anderen Studien präsentiert (Kraus et al. 2005; Weise et al. 1997; Landin 1983; Weinberg et al. 2002; Joeris et al. 2014). Demnach verunfallten Kinder und Jugendliche in der Regel bei sportlichen Aktivitäten und während des Spielens (Kraus et al. 2005; Weise et al. 1997; Landin 1983). Der Sturz erfolgte bei der Ausübung von Trendsportarten (z.B. beim Inlineskating, Rollschuhlaufen oder Skateboarden), an Turngeräten oder beim Fahrradfahren (Weise et al. 1997). Ein höheres Verletzungsrisiko bestehe nach Barr (2014) bei der Verwendung von Spielgeräten, wie Trampolin oder Klettergerüst. Nach Kraus et al. (2005) zeigte sich ähnlich unserer Beobachtungen eine höhere Inzidenz von Unfällen in häuslicher Umgebung und auf dem Spielplatz, wohingegen Verkehrsunfälle selten vorkamen. Im Vergleich mit der epidemiologischen Studie von Joeris et al. (2014) (25 % Freizeit-, 14 % Haus-, 11 % Spielplatz-, 11 % Straßenverkehrs-, 8 % Schulunfälle) zeigte sich bei unserem Patientenkollektiv eine geringe Abweichung bezüglich der Hausunfälle (15,49 %). Spielplatz- (5,99 %) und Verkehrsunfälle (< 1 %) traten weniger häufig, Schulunfälle (13,73 %) vermehrt auf. Ähnliche Ergebnisse mit 11 % bezüglich Schul- und Kindergartenunfälle zeigte die multizentrische Studie der Sektion Kindertraumatologie der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie von Weinberg et al. (2002). Nach unserer Auswertung führten banale Stürze, mit unklarer Sturzursache, in 20,42 % (n = 85) zu einer distalen Humerusfraktur. Nach Joeris et al. (2014) war ein Sturzereignis mit 27 % die häufigste Ursache für Frakturen der langen Röhrenknochen. In 21 % erfolgte der Sturz aus einer Höhe von mehr als einem Meter, in 57 % von weniger als einem Meter (Joeris et al. 2014). Auch Ellsäßer und Diepgen (2002) zeigten, dass nicht ebenerdige Stürze mit ca. 14 % ein seltenes Ereignis sind. In unserem Patientenkollektiv nahmen wir eine andere Einteilung vor. Demnach waren 53,52 % (n = 152) nicht ebenerdige und lediglich 8,45 % (n = 24) ebenerdige Stürze. Nach Ellsäßer und Diepgen (2002) sind Sturzursachen häufig unebene Untergründe, Unerfahrenheit, Überforderung und Ereignisse mit hohen Beschleunigungen/Geschwindigkeiten. Sturzunfälle ereigneten sich, wie bei unserem Kollektiv, beim Sport, Spielen und/oder Benutzen von Geräten

im Bereich Fahren, Rollen, Gleiten (Fahrradfahren, Inline Skaten, Skateboarden etc.) oder in der freien Natur (Sturz vom Zaun, von der Mauer, vom Baum etc.). Nach unseren Beobachtungen verunfallten die Kinder in 22,18 % (n = 63) beim Spielen, 18,31 % (n = 52) beim Sport, 16,90 % (n = 48) beim Klettern, 12,68 % (n = 36) durch einen Sturz vom Stuhl / Hochstuhl / Hocker, Bett / Hochbett / Gitterbett etc. (siehe Kategorie S.54) und 9,51 % (n = 27) beim Fahren, Rollen oder Gleiten. Bei beiden Geschlechtern standen innerhalb der Altersgruppen unterschiedliche Unfall-ursachen im Vordergrund. Im Kleinkindalter stürzten die Patienten vom Stuhl / Hochstuhl / Hocker und Bett / Hochbett / Gitterbett. Im Kindergartenalter verletzten sich die Kinder vor allem während des Spielens. Im Grundschulalter verunfallten die Mädchen am häufigsten bei sportlichen Aktivitäten und beim Klettern, die Jungen beim Klettern gefolgt vom Spielen und Sturz ohne Angabe. Im Adoleszentenalter war die häufigste Ursache der Sport. Dies entspricht den Angaben von Ellsäßer und Diepgen (2002), dass sich der Unfallort mit dem zunehmenden Alter vom häuslichen, in den Freizeit und öffentlichen Bereich verlagert. Unfallpräventive Maßnahmen sollten alters- und aktivitätsbezogene Risiken beachten (Ellsäßer und Diepgen 2002). Gegenwärtige Trendsportarten sollten, vor allem im Sport- und Freizeitbereich, in Präventionsstrategien Berücksichtigung finden (Kraus et al. 2005).

Wie bereits erwähnt, beruht der Unfallmechanismus der distalen Humerusfrakturen überwiegend auf Sturzereignissen. Der Sturz erfolgt in der Regel auf den in Extension befindlichen Arm mit variierender, respektive valgierender Krafteinwirkung (John et al. 1996, Zorrilla S. de Neira et al. 2015; Ferlic et al. 2012; Nuber et al. 2018; Jakob et al. 1975; Fowles und Kassab 1980). Dies scheint plausibel, da die Arme als Schutzfunktion instinktiv eingesetzt werden, um einen Sturz abzufangen. Vor allem der linke, in der Regel nicht dominante Arm, ist häufiger betroffen. Nach Fernandez und Eberhardt (2012) verletzten sich die Kinder und Jugendliche in 60 %, nach Lee et al. (2005) in 72 % am nicht dominanten Arm. Bei unserem Gesamtkollektiv zeigte sich bei allen Frakturen eine Dominanz der linken Seite (Gesamt: 59,51 % links und 40,49 % rechts; suprakondyläre Frakturen: 56,78 % links und 43,22 % rechts; epikondyläre Frakturen: 62,50 % links und 37,50 % rechts; transkondyläre Frakturen: 67,92 % links und 32,06 % rechts). Zu ähnlichen Ergebnissen kommen etliche Studien (Landin 1983; Fernandez und Eberhardt 2012; Weinberg et al. 2002; Barr 2014; Houshian et al. 2001; Haxhija et al. 2006; Launay et al. 2004; Pirker et al. 2005; Leet et al. 2002; Re et al. 1999; Ducic et al. 2014).

Eine Einteilung der Frakturtypen nach der *AO Pediatric Comprehensive Classification of Long-Bone Fractures* (PCCF) zeigte in unserem Patientenkollektiv 78,52 % (n = 223) distale Metaphysen- und 21,48 % (n = 61) Epiphysenfrakturen. Die suprakondyläre Humerusfraktur trat mit einer Inzidenz von 70,07 % (n = 199) am häufigsten auf. Darunter kamen sowohl einfache (57,39 %, n = 163: 13-M/3.1 I, M/3.1 II, M/3.1 III und M/3.1 IV) als auch mehrfragmentäre Frakturen vor (12,68 %, n = 36: 13-M/3.2 II, 13-M/3.2 III und 13-M/3.2 IV). Die transkondylären Frakturen, 13-E/4.1 und 13-E/4.2, waren mit 18,66 % (n = 53) die zweitgrößte Gruppe. Bei den 13-E/4.1 Frakturen handelte es sich in 14,08 % (n = 40) um Condylus radialis und 2,82 % (n = 8) Condylus-ulnaris-Frakturen. Die T-Y-Frakturen, 13-E/4.2, traten in 1,76 % (n = 5) auf. Die Epikondylus-ulnaris-Fraktur, 13-/7m, präsentierte sich mit 8,45 % (n = 24) und trat häufiger auf als die Epikondylus-radialis-Fraktur, 13-/7l, mit 2,82 % (n = 8). Die Verteilung ist vergleichbar mit der retrospektiven klinischen Studie von 2.292 Frakturen der oberen Extremität nach Joeris et al. (2017). Werden die distalen Humerusfrakturen betrachtet, traten in 77,75 % (n = 332) 13-M3, 15,46 % (n = 66) 13-E4, 4,92 % (n = 21) 13-M7 und 1,87 % (n = 8) 13-E7 Frakturen auf (Joeris et al. 2017).

In unserem Patientenkollektiv trat die suprakondyläre Humerusfraktur mit einer Inzidenz von 70,07 % (n = 199) auf. Dies entspricht den Angaben von Dallek et al. (1985) (70 %) und Wessel (1998) (69,8 %). Die suprakondyläre Fraktur ist mit 55-70 % die häufigste Ellenbogenfraktur im Kindes- und Jugendalter (Dallek et al. 1985; Wessel 1998; Landin und Danielsson 1986). Jungen verletzten sich öfter (n = 110; 55,28 %) als Mädchen (n = 89; 44,72 %). Zu ähnlichen Ergebnissen kommen Weinberg et al. (2002) und Barr (2014), bei denen in 53 % Jungen betroffen waren. Das Durchschnittsalter unserer Patienten lag bei  $6,06 \pm 2,61$  Jahren. Die Fraktur trat vor allem im Kindergarten- und Grundschulalter auf. Bei Weinberg et al. (2002) sowie bei Barr (2014) und Houshian et al. (2001), lag das durchschnittliche Alter ebenfalls bei ca. sechs Jahren. Zu vergleichbaren Ergebnissen kommen auch Shrader (2008), Fernandez und Eberhardt (2012) sowie Omid et al. (2008), die eine Prävalenz im ersten Lebensjahrzehnt beschreiben. Die Fraktur tritt demnach typischerweise im Alter von 3-10 Jahren auf, wobei der Altersgipfel zwischen dem 5.-7. Lebensjahr liegt (Shrader 2008; Fernandez und Eberhardt 2012; Omid et al. 2008).

Werden die Frakturtypen betrachtet, zeigte sich für die Göttinger Patienten eine Verteilung von 39,20 % (n = 78) Typ-I-, 28,64 % (n = 57) Typ-II-, 14,57 % (n = 29) Typ-III- und 17,59 % (n = 35) Typ-IV-Frakturen. Die prozentuale Häufigkeit in der Studie

von Weinberg et al. (2002), bei der die Frakturtypen nach von Laer eingeteilt wurden, ähnelt unseren Daten. Demnach traten 35,4 % Typ-I-, 21,9 % Typ-II-, 18,1 % Typ-III- und 24,6 % Typ-IV-Frakturen auf (Weinberg et al. 2002). Bei der Fragestellung ob die Schwere der Verletzung, in dem Fall die Zunahme des Frakturtyps von dem Geschlecht oder Alter abhängt, lässt sich in beiden Fällen kein Zusammenhang verifizieren. Nach Weinberg et al. (2002) zeigte sich ein Trend, dass die stark dislozierten Frakturen häufiger > fünf Jahre auftraten, jedoch stellte sich die Beobachtung, genau wie bei uns, als nicht signifikant heraus (Weinberg et al. 2002). In 93,97 % (n = 187) lag eine Extensions- und in 3,52 % (n = 7) eine Flexionsfraktur vor. Fünf Patienten ließen sich nicht zweifelsfrei den Kategorien zuordnen. Die hohe Prävalenz der Extensionsfraktur (96-99 %), im Vergleich zur seltenen Flexionsfraktur (2-5 %), gleicht sich mit unseren Ergebnissen (Zorrilla S. de Neira et al. 2015; Barr 2014; S1-Leitlinie 2014; Lehner et al. 2014; Fernandez und Eberhardt 2012; Hasler 2001).

Im Rahmen der Erstuntersuchung in der Universitätsmedizin Göttingen wurde in 68,34 % (n = 136) eine Bewegungseinschränkung dokumentiert. In lediglich 7,54 % (n = 15) erfolgte eine Bestimmung der Bewegungsgrade nach der Neutral-Null-Methode. Eine standardisierte Aufnahme mit Angabe der Beweglichkeit wäre nur für wissenschaftliche Zwecke eventuell wünschenswert, aber in keinsten Weise kindgerecht. Von Laer et al. (2012) sehen keine klinische Konsequenz aus diesen Messungen. Es seien unnötige Schmerzen, die nur die Kooperationsbereitschaft der Kinder herabsetzt. Auch Müller-Mai et al. (2006) plädierten für eine möglichst schonende, schmerzfreie und auf ein Minimum beschränkende körperliche Untersuchung. Die Kontrolle der pDMS ist jedoch unverzichtbar und dient der primären Orientierung (von Laer et al. 2012). Bei nahezu allen unserer Patienten (99,50 %, n = 198) wurde die pDMS erhoben bzw. dokumentiert. In 6,03 % (n = 12) traten primäre Gefäß- und/oder Nervenläsionen auf (1,01 % Durchblutungs-, 3,52 % Sensibilitäts-, 1,51 % kombinierte Durchblutungs- und Sensibilitätsstörung). Es handelte sich bei allen um geschlossene Extensionsfrakturen, darunter 3,02 % (n = 6) Typ-IV-Frakturen. In der Studie von Weinberg et al. (2002) wurden vergleichbare Ergebnisse detektiert. Demnach traten in 5,1 % primäre Nerven- und 0,7 % Gefäßschäden auf. Nach Fernandez und Eberhardt (2012) kommen periphere Nervenschäden in 10-20 % und Gefäßkomplikationen in ca. 1-2 % vor. Beobachtungen zeigten, dass periphere Neuropraxien, wie bei unseren Patienten, vor allem bei Extensionsfrakturen auftreten (Fernandez und Eberhardt 2012). Nach Parsch (2011) kann es insbesondere bei Typ-

III- und-IV-Frakturen zu Gefäßeinklemmung im Frakturbereich, Intimaläsionen oder Gefäßspasmen kommen.

Laut Fernandez und Eberhardt (2012) treten in ca. 1 % ipsilaterale Begleitfrakturen, vor allem distale Radiusfrakturen, auf. In der Studie von Bales et al. (2010) wurden 1,4 % distale Radiusfrakturen, bei Ulmar et al. (2012) 15 % begleitende Unterarmfrakturen und davon 11 % distale Radiusfrakturen detektiert. Nach Shrader (2008) besteht eine zehn bis fünfzehn prozentige Wahrscheinlichkeit für eine ipsilaterale distale Radiusfraktur. Bei unseren Patienten trat in 4,02 % die suprakondyläre Fraktur im Rahmen einer Ellenbogenluxation auf. Wir stellten in 6,53 % (n = 13) Begleitverletzungen fest. In 4,02 % (n = 8), knapp der Hälfte der Begleitverletzungen, trat eine ipsilaterale Unterarmfraktur auf und in einem Fall sowohl eine ipsilaterale als auch eine kontralaterale Oberarm- mit einhergehender Unterarmfraktur. Bei den übrigen Begleitverletzungen handelte es sich nicht um Frakturen. Bei unserem Patientenkollektiv traten in 97,47 % (n = 193) geschlossene und 2,53 % (n = 5) offene Frakturen auf. Es handelte sich bei den offenen Knochenbrüchen um Typ-IV-Frakturen nach einem nicht ebenerdigen Sturz. Nach Weinberg et al. (2002) waren 1,1 %, nach Ulmar et al. (2012) 2 % der Frakturen offen. Als indirektes Frakturzeichen wurde, in der konventionellen Röntgenaufnahme des Ellenbogens in zwei Ebenen, in 53,77 % (n = 107) ein anteriores und/oder posteriores Fettpolsterzeichen nachgewiesen. Nach Shrader (2008) liegt die Sensitivität für das Bestehen einer Fraktur bei Vorliegen eines Fettpolsterzeichens bei ca. 75 % (Shrader 2008). Radiologische Befunde wurden in 3,52 % (n = 7) im Verlauf der Behandlung durch zusätzliche bildgebende Verfahren ergänzt. Zum Einsatz kamen die Computertomografie, Magnetresonanztomografie und Angio-Magnetresonanztomographie. Um die Strahlenbelastung im Kindes- und Jugendalter zu minimieren, könnte nach Eckert et al. (2014), Rabiner et al. (2013) und Ackermann et al. (2015) die Sonographie zukünftig ein sensitives Screeningverfahren zur Detektion einer möglichen Ellenbogenfraktur sein. Diskutiert wird der Einsatz auch in Hinblick auf Verlaufskontrollen (Grechenig et al. 2002). Nach May et al. (2000) stellt die Ultraschalldiagnostik eine kostengünstige und schmerzfreie Alternative da. Nach Analyse unserer Daten stellte sich heraus, dass dieses bildgebende Verfahren im untersuchten Patientenkollektiv nicht verwendet wurde. Zur Umsetzung der Methode und Integration in den klinischen Alltag sind aus unserer Sicht vorerst weitere klinische Studien notwendig.

39,70 % (n = 79) wurden konservativ und primär ambulant therapiert. In 15,08 % (n = 30) wurde im klinischen Verlauf eine stationäre Aufnahme veranlasst. Die

stationäre Aufenthaltsdauer lag im Median bei einem Tag ( $1,30 \pm 0,88$ ). In 44,72 % ( $n = 89$ ) wurde die suprakondyläre Fraktur operativ und primär stationär behandelt. Die Aufenthaltsdauer der stationär therapierten Patienten lag im Median bei drei Tagen ( $3,57 \pm 1,83$ ). Im jahreszeitlichen Verlauf zeigt sich eine rückläufige Tendenz der Liegedauer ohne Signifikanz. In der multizentrischen Studie der Sektion Kindertraumatologie der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie überwog ebenfalls die stationäre Versorgung (55 %) im Vergleich zur ambulanten (45 %) Therapie. Die stationäre Aufenthaltsdauer lag im Mittel bei  $5,8 \pm 3,6$  Tage (von Laer et al. 2002). Der beobachtete Trend bezüglich der verkürzten Liegedauer hat nach von Laer et al. (2012) verschiedene Gründe. Zum einen der Einfluss der Eltern aber auch der logistische und wirtschaftliche Wandel von der Tagespauschale hin zu DRGs (diagnosebezogenen Fallgruppen) haben dazu beigetragen. Durch den Wandel hin zur operativen Therapie konnte nach Fernandez et al. (2016) nicht nur die Hospitalisierungsdauer, sondern auch die Komplikationsrate bezüglich der Cubitus varus Deformität gesenkt werden. Nach von Laer et al. (2012) und Kraus und Wessel (2010) ist eine ambulante oder kurze stationäre Aufenthaltsdauer sowie eine rasche Mobilisation erstrebenswert. Wird der durchschnittliche Klinikaufenthalt unserer Patienten in Relation zum Frakturtyp gesetzt, hat die Schwere der Verletzung einen signifikanten Einfluss auf die stationäre Aufenthaltsdauer. Die Beobachtung, dass mit zunehmendem Dislokationsgrad die stationäre Therapie zunimmt, konnte auch in der multizentrischen Studie der Sektion Kindertraumatologie der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie festgestellt werden. Zudem ist der stationäre Aufenthalt, wie bei unseren Patienten, abhängig von dem gewählten Therapieverfahren konservativ versus operativ (von Laer et al. 2002).

54,77 % ( $n = 109$ ) der in der Universitätsmedizin Göttingen behandelten Patienten wurden primär konservativ und 41,71 % ( $n = 83$ ) primär operativ behandelt. In 3,52 % ( $n = 7$ ) erfolgte auf Grund einer sekundären Dislokation ein Therapiewechsel von primär konservativ zur operativen Therapie. Dabei handelte es sich in sechs Fällen um eine Typ-II-Fraktur. Das Geschlecht zeigte, im Vergleich zu der Altersverteilung, keinen signifikanten Einfluss auf die Wahl der Therapieform. Die Patienten mit operativer Frakturversorgung waren signifikant älter als die konservativ therapierten. Bei einem Patientenalter unter sechs Jahren überwog die konservative Therapie (60,55 %), wohingegen bei Patienten älter sechs Jahren die operative Therapie dominierte (60,00 %). Nach von Laer et al. (2012) kann die dislozierte suprakondyläre Humerusfraktur bis zum fünften/sechsten Lebensjahr mit einer Antekurvationsstellung von ca.  $20^\circ$ - $30^\circ$  in der Sagittalebene akzeptabel belassen werden, da die Achsabweichung in

der Hauptbewegungsebene liegt und ausgeglichen werden kann. Es ist anzunehmen, dass das Alter mit dem einhergehenden Korrekturpotential bei unseren Patienten Berücksichtigung fand. Hinsichtlich der Einteilung der Frakturtypen wurden alle Typ-I-Frakturen konservativ und alle Typ-III- und-IV-Frakturen operativ versorgt. Die Typ-II-Frakturen wurden sowohl konservativ (55,36 %; n = 31) als auch operativ (44,64 %; n = 25) behandelt. Die Ruhigstellung der konservativen Gruppe erfolgte mittels *Cuff-and-Collar*-Verband oder Oberarmgips. Diese Vorgehensweise entspricht den Empfehlungen in der gängigen Literatur. Typ-I-Frakturen sollen konservativ, relevant dislozierte Typ-II-Frakturen, die sich nicht sicher retinieren lassen sowie alle Typ-III- und-IV-Frakturen operativ versorgt werden (Nuber et al. 2018; von Laer et al. 2012; von Laer et al. 2002; Khare et al. 1991; Gercek et al. 2015; S1-Leitlinie 2014). In der Studie von Barr (2014) wurden ebenfalls 41 % der suprakondylären Frakturen operiert. Nach der multizentrischen Studie der Sektion Kindertraumatologie der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie erfolgte in 54,1 % eine Reposition (72 % geschlossen; 28 % offen). Ein Therapiewechsel wurde in 5,1 % notwendig, darunter waren ca. die Hälfte Typ-II-Frakturen. Ähnlich unseren Ergebnissen wurden die Typ-I-Frakturen nicht reponiert, nahezu alle Typ-III- und-IV-Frakturen reponiert. Bei den Typ-II-Frakturen erfolgte in 55,2 % eine Reposition, 48,4 % geschlossen und 6,8 % offen, wobei im Anschluss in ca. 50 % eine osteosynthetische Versorgung der Fraktur vorgenommen wurde. Deren Ergebnisse zeigten, dass bei einer Dislokation in zwei Ebenen von einer Reposition in Narkose abgesehen werden kann, wenn als Redression und Ruhigstellung die Blount-Schlinge respektive der Gips in Spitzwinkelstellung verwendet wird. Falls eine Reposition nötig ist, sollte möglichst geschlossen reponiert werden, da die offene Reposition gegenüber der geschlossenen keinen Vorteil bietet (Weinberg et al. 2002; von Laer et al. 2002). Auch Slongo (2018) plädiert für eine geschlossene Versorgung, da diese eine ebenso gute Stabilität und sogar bessere funktionelle Ergebnisse erzielt. Ist nach ein bis zwei Versuchen keine zufriedenstellende Reposition möglich, sollte nach Nuber et al. (2018), Gercek et al. (2015) und Lehner et al. (2014) auf ein offenes Vorgehen gewechselt werden. Diesbezüglich zeigt sich im Vergleich mit unseren Daten eine deutliche Abweichung. Bei nicht-achsgerechter Stellung des Ellenbogengelenks wurde in 15,56 % (n = 14) der Fälle eine operative geschlossene Reposition mit anschließender perkutaner K-Draht Fixation durchgeführt. In 84,44 % (n = 76) erfolgte eine offene Reposition. Die Bohrdrahtosteosynthese ist ein minimal-invasives und wenig traumatisches Verfahren, wobei ein kleiner Schnitt bei perkutaner Spickung ausreichend ist (Kiderlen und Schlickewei 2008; Illian et al. 2012). Bei unseren Angaben ist anzumerken, dass eine Hautinzision als offener Zugang gewertet



wurde, wohingegen eine Stichinzision für die Einführung der Drähte als geschlossen galt. In allen Patientenfällen wurden K-Drähte und in einem Fall zusätzlich eine sieben-Loch-Rekonstruktionsplatte verwendet. Die Kirschner-Draht-Osteosynthese ist für die dislozierte suprakondyläre Humerusfraktur ein akzeptiertes und weit verbreitetes Standardverfahren (Skaggs et al. 2001; Zions et al. 2009). Durchschnittlich wurden pro Operation  $1,54 \pm 0,74$  K-Drähte radial sowie  $1,09 \pm 0,61$  ulnar platziert und zeigten bei Betrachtung der Komplikationen eine ausreichende Stabilität. Nach Zions et al. (1994) und Brauer et al. (2007) bieten zwei bis drei gekreuzte K-Drähte aus biomechanischer Sicht die größte Stabilität. Die gekreuzte K-Draht Fixation von ulnar und radial wurde bei unseren Patienten mit Abstand am häufigsten durchgeführt (87,78 %; n = 79) gefolgt von der einseitig lateralen Pin-Stabilisierung (12,22 %; n = 11). Eine einseitige mediale Fixation sowie Alternativverfahren wie ESIN oder der Fixateur externe fanden keine Anwendung an der Universitätsmedizin Göttingen. Die Operationsdauer wurde in 94,44 % (n = 85) über die Schnitt-Naht-Zeit berechnet. Im Mittel dauerte die operative Versorgung  $89,58 \pm 51,78$  Minuten. 71,11 % (n = 64) wurden in Bauchlage und 26,67 % (n = 24) in Rückenlage operiert. In der multizentrischen Studie der Sektion Kindertraumatologie der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie erfolgte die osteosynthetische Versorgung der suprakondylären Frakturen in 74,7 % mittels K-Draht, 10,9 % mittels Fixateur externe und 1,9 % mit anderen nicht näher bezeichneten Verfahren. Die Stabilisierung erfolgte ähnlich unseren Ergebnissen am häufigsten mit einer gekreuzten K-Draht Konfiguration (76,8 %), gefolgt von radial (7,5 %) und ulnar (2,8 %) platzierten K-Drähten (Weinberg et al. 2002; von Laer et al. 2002).

In 5,53 % (n = 11) traten Komplikationen auf, die nach protrahiertem Verlauf mit Reposition und Stabilisierung rückläufig waren und keine Intervention notwendig machten. Dabei handelte es sich in einem Fall um ein primär bzw. traumatisch sensomotorisches Defizit und in zwei Fällen um eine kombinierte Durchblutungs- und Sensibilitätsstörung. Bei acht Patientenfällen lag ein sekundär bedingtes sensomotorisches Defizit vor. Es handelte sich um geschlossene, zehn Extensions- und eine Flexionsfraktur. In zwei Fällen erfolgte eine konservative Frakturversorgung, in neun Fällen eine operative Behandlung. In 13,07 % (n = 26) traten Komplikationen auf, bei denen therapeutische Interventionen notwendig wurden. Unter Berücksichtigung der Aufnahmeuntersuchung kam es in insgesamt 10,05 % (n = 20) zu Nerven- und in 3,02 % (n = 6) zu Gefäßkomplikationen. Dabei traten in 5,03 % (n = 10) primär bzw. traumatisch bedingte sensomotorische Defizite und in 2,51 % (n = 5) Gefäßkomplikationen auf. In 5,03 % (n = 10) trat sekundär ein sensomotorisches Defizit auf

und lediglich in einem Fall kam es zu einer sekundär bzw. iatrogenen akzidentellen Gefäßverletzung. Nach Fernandez und Eberhardt (2012) kommt es insgesamt in 10-20 % zu peripheren Nervenschäden, wobei die meisten nach protrahiertem Verlauf rückläufig sind. Gefäßkomplikationen treten in ca. 1-2 % auf (Fernandez und Eberhardt 2012). Die rückläufige Tendenz der sensomotorischen Defizite zeigte sich auch bei unseren Daten. Die Inzidenz der Gefäßkomplikationen ist mit unserer Angabe vergleichbar. Nach Louahem et al. (2006) kann aufgrund der guten Prognose bei neurovaskulären Komplikationen häufig ein konservativer Therapieansatz verfolgt werden. Entscheidend sei eine frühzeitige Reposition und Fixierung der Fraktur. In der multizentrischen Studie der Sektion Kindertraumatologie der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie traten in 2,14 % sekundäre Nervenläsionen und in 4,5 % Infektionen auf. In 6,0 % war eine Nachreposition notwendig (Weinberg et al. 2002). Nach Oetgen et al. (2015) liegt die Komplikationsrate der operativ versorgten dislozierten supracondylären Humerusfrakturen zwischen 2-8 %, wobei am häufigsten eine Drahtmigration, Drahtinfektion und ein Repositionsverlust vorliegt. Nach geschlossener Reposition und Fixation mittels K-Draht-Osteosynthese zeigte sich bei Bashyal et al. (2009) in 1,8 % und bei Ulmar et al. (2012) in 6,5 % eine Drahtmigration. Das Risiko für eine Wundinfektion/Pin-Infektion liegt zwischen ca. 1-4,5 % (Bashyal et al. 2009; Skaggs et al. 2008; Weinberg et al. 2002). Die Angaben sind mit unseren Daten vergleichbar. In 5,03 % (n = 10) kam es zu einer Drahtmigration mit Perforation, in 2,51 % (n = 5) trat eine Pin-Infektion und in 0,50 % (n = 1) eine Wundheilungsstörung auf. Eine Korrektur der Stellungsverhältnisse wurde in 3,52 % (n = 7) vorgenommen, indem ein Therapiewechsel von primär konservativ zur operativen Therapie erfolgte. Dabei handelte es sich um sechs Typ-II- und eine Typ-III-, fünf Extensions- und zwei Flexionsfrakturen. In 2,51 % (n = 5) fand eine Re-Operation der primär operativ versorgten Fraktur statt. Bei drei Patienten trat eine sekundäre Dislokation auf, diese wurde durchschnittlich nach vier Tagen behoben. Bei einem Patienten wurde eine Korrekturosteotomie, bei einer in Fehlstellung verheilten Fraktur, nach ca. zwei Monaten durchgeführt und in einem Fall erfolgte ein Tag postoperativ eine prophylaktische Kompartmentspaltung. Bei den fünf revidierten Frakturen handelte es sich um zwei Typ-III- und drei Typ-IV-, allesamt geschlossene Extensionsfrakturen. Bei den Re-Operationen wurden dieselben Operationsverfahren angewandt. Werden alle Komplikationen betrachtet, nimmt mit Zunahme der Verletzungsschwere die Komplikationsrate zu. Offene Repositionen wiesen zudem eine in Relation höhere Komplikationsrate auf. Weiterhin steigt die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Komplikationen, wenn sich der Unfall beim Spielen, Sport oder Klettern ereignete. Im

Jahr 2008 traten die meisten Komplikationen auf. Durchschnittlich versorgte die Universitätsmedizin Göttingen drei Patienten pro Jahr bei denen eine Komplikation auftrat.

Wir haben die Dauer der Ruhigstellung der konservativ therapierten Patienten in 81,65 % (n = 89) und operativ versorgten Patienten in 86,67 % (n = 78) bestimmen können. Bei konservativer Therapie betrug die Ruhigstellungsdauer  $22,74 \pm 7,09$ , bei operativer Versorgung  $31,23 \pm 7,33$  Tage. Die Dauer der Ruhigstellung der konservativen Gruppe entspricht der Empfehlung nach von Laer et al. (2012), die der operativ versorgten übersteigt hingegen die angegebenen zwei Wochen. Diese ist vergleichbar mit der Empfehlung von Nuber et al. (2018), operativ mit K-Draht versorgte Frakturen für vier Wochen ruhigzustellen. Eine längere Ruhigstellungsdauer (> 4 Wochen) zeigte nach der multizentrischen Studie der Sektion Kindertraumatologie der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie keine besseren Ergebnisse. Durchschnittlich betrug diese  $3,75 \pm 1,6$  Wochen. Als unnötig wurde eine physiotherapeutische Behandlung eingestuft (von Laer et al. 2002). Bei unseren Patienten sollten 40,20 % (n = 80) Bewegungsübungen fortsetzen, um die funktionelle Beweglichkeit zu verbessern, jedoch selten wurde eine Physiotherapie verordnet. Bei diesen Patienten handelte es sich in 86,25 % (n = 69) um operativ versorgte Frakturen. In 93,33 % (n = 84) wurde der Zeitpunkt der Osteosynthesematerialentfernung bestimmt. Im Median erfolgte diese nach 56 Tagen ( $61,04 \pm 24,79$ ). Nach Fernandez et al. (2016) und Marzi (2011) können die Bohrdrähte bei knöcherner Konsolidierung allerdings schon nach drei bis sechs Wochen postoperativ entfernt werden. Es zeigte sich eine deutlich längere Zeitspanne bis zur Entfernung der K-Drähte.

84,42 % (n = 168) stellten sich im Rahmen der Kindertraumatologie-Sprechstunde in der Universitätsmedizin Göttingen zum vereinbarten Therapieabschlusstermin vor. In lediglich 58,33 % (n = 98) wurden Angaben zum Bewegungsumfang gemacht. Entsprechend der multizentrischen Effizienzstudie der Sektion Kindertraumatologie der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie wurden die Angaben des Bewegungsumfanges nach der Neutral-Null-Methode mit einem residuellen Bewegungsdefizit zwischen null und zehn Grad als befriedigend, verbleibende Einschränkungen von über zehn Grad als unbefriedigend eingestuft (von Laer et al. 2002). Von den dokumentierten Patienten erreichten demnach 60,22 % (n = 56 von 93) ein befriedigendes und 39,78 % (n = 37 von 93) ein unbefriedigendes Ergebnis. Bei der Typ-II-Fraktur zeigte sich in der Gegenüberstellung der konservativen und operativen Therapie tendenziell ein besseres

Ergebnis bei operativer Versorgung. Bei zehn Patientenfällen wurden Nachuntersuchungen durchgeführt, die in zwei weiteren Fällen erneute Nachkontrollen notwendig machten. In neun von zehn Fällen war das Ergebnis befriedigend, in einem Fall als unbefriedigend einzustufen. Nach Wessel et al. (2003) und Fernandez et al. (2016) wird die freie Beweglichkeit/Funktion nach sechs bis zwölf Wochen erreicht. Mit einer normalen Beweglichkeit nach geschlossener Reposition sowie Frakturfixation mittels K-Draht-Osteosynthese kann, laut Zions et al. (2009), nach sechs Monaten in 94 % gerechnet werden. Nach offener Reposition mit K-Draht-Osteosynthese können nach Zions et al. (2009) und Keppler et al. (2005) noch Verbesserungen der Beweglichkeit bis zu einem Jahr postoperativ eintreten (Zions et al. 2009; Keppler et al. 2005). Der Zeitraum der ärztlichen Betreuung bis zum festgesetzten Therapieabschlusstermin betrug im Median 42,5 Tage ( $48,54 \pm 31,97$ ). Dies ist ein vergleichsweise kurzes Intervall, um das Outcome der Patienten anhand der Beweglichkeit im Ellenbogengelenk zu evaluieren. Es ist davon auszugehen, dass die Anzahl der befriedigenden Ergebnisse deutlich höher ist als die angegebenen 60,22 %, wenn Nachuntersuchungen durchgeführt worden wären. Nach Morrey et al. (1981) ist für den alltäglichen Gebrauch ein Bewegungsausmaß von  $0^\circ/30^\circ/130^\circ$  Extension /Flexion und  $50^\circ/0^\circ/50^\circ$  Pronation/Supination ausreichend. Nach dieser Einteilung bestehen zum Abschluss der Therapie in 76,53 % ( $n = 98$ ) keine Einschränkung im Alltag. In 15,58 % ( $n = 31$ ) erschienen die Patienten nicht zur nächsten Kontrolluntersuchung, sodass entweder ein bereits zufriedenstellendes Ergebnis eintrat oder die Weiterbehandlung extern erfolgte. Insgesamt stellten sich die Patienten im Median fünf Mal ( $5,91 \pm 2,59$ ) vor. Dies entspricht den Angaben in der multizentrischen Studie der Sektion Kindertraumatologie der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie bei denen im Durchschnitt  $4,1 \pm 2,1$  Kontrollen pro Patient veranlasst wurden. Neben der klinischen Verlaufskontrolle werden entsprechend dem Frakturtyp radiologische Stellungs- und Konsolidationskontrollen empfohlen (von Laer et al. 2002). Bei unseren Patienten wurden bei konservativer Therapie im Median zwei ( $1,97 \pm 1,20$ ), bei operativer Versorgung im Median vier ( $3,42 \pm 1,30$ ) Röntgenkontrollaufnahmen des Ellenbogens in zwei Ebenen durchgeführt. Von einer Auswertung der Röntgenbilder mit Messung der Baumann- und Capitulumneigungswinkel, um Rückschlüsse auf das Therapieergebnis bzw. dem funktionellen Bewegungsumfang des Ellenbogens zu erhalten, wurde abgesehen. Nach Wessel et al. (2003) erlaubt eine radiologisch ideal verheilte Fraktur keine Aussage über die Ellenbogenfunktion.

In unserem Patientenkollektiv lag die Inzidenz der epikondylären Humerusfrakturen bei 11,27 %. Die Epikondylus-ulnaris-Fraktur trat im Vergleich mit einem prozentualen Anteil von 8,45 % (n = 24) häufiger auf als die Epikondylus-radialis-Fraktur mit 2,82 % (n = 8). Nach Kraus et al. (2005), Landin und Danielsson (1986), Wessel (1998), Pathy und Dodwell (2015) repräsentieren die epikondylären Frakturen, ähnlich unseren Angaben, 7,9-12,5 % der distalen Humerusfrakturen (Kraus et al. 2005; Landin und Danielsson 1986; Wessel 1998; Pathy und Dodwell 2015). Insgesamt waren 46,88 % (n = 15) der Patienten weiblich und 53,13 % (n = 17) männlich. Bei Betrachtung der Untergruppen waren von den Epikondylus-ulnaris-Frakturen 54,17 % (n = 13) Mädchen, wohingegen bei den Epikondylus-radialis-Frakturen 75,00 % (n = 6) Jungen betroffen waren. Nach Smith et al. (54 %), Louahem et al. (60,59 %), Lee et al. (72 %), Fowles et al. (84,38 %) und Haxhija et al. (60 %) sind Jungen häufiger betroffen als Mädchen (Smith et al. 2010; Louahem et al. 2010; Fowles et al. 1990; Haxhija et al. 2006; Lee et al. 2005). Nach Stans und Lawrence (2015) treten die Frakturen typischerweise im zweiten Lebensjahrzehnt auf. Das durchschnittliche Alter unserer Patienten lag bei  $10,45 \pm 3,52$  Jahren (13-M/7m:  $11,17 \pm 3,35$ ; 13-M/7f:  $8,30 \pm 3,32$ ). Die epikondyläre Humerusfraktur trat vermehrt im Grundschul- und Adoleszentenalter auf. Zu vergleichbaren Ergebnissen, mit einem Durchschnittsalter von 11,3-13,7 Jahre, kommen Smith et al. (2010), Louahem et al. (2010), Lee et al. (2005), Fowles et al. (1990) und Haxhija et al. (2006). Der Anstieg von epi- und auch transkondylären Humerusfrakturen im Wachstumsalter ist nach Kraus et al. (2005) durch den protrahierten Fugenschluss bedingt, da bei geschlossener Fuge die gelenkprotektive „Sollbruchstelle“ wegfällt.

Bei der Aufnahmeuntersuchung kam es im Rahmen einer Ellenbogenluxation, bei einer geschlossenen Epikondylus-ulnaris-Fraktur (4,17 %; n = 1), zur Durchblutungsstörung mit livider Verfärbung des Armes und fehlendem peripheren Puls. Eine dopplersonografische Darstellung der Gefäße zeigte einen guten Fluss. Alle Patienten zogen sich eine geschlossene Faktur der Epikondylen zu. Bei einer Epikondylus-ulnaris-Fraktur (4,17 %; n = 1) lag eine primäre Weichteilverletzung vor. 50,00 % (n = 12) der Epikondylus-ulnaris-Frakturen präsentierten sich im Rahmen einer Ellenbogenluxation. Dies entspricht den Angaben nach von Laer et al. (2007), dass die Fraktur häufig in Kombination mit einer Ellenbogenluxation (75 %) auftritt, in 25 % spontan reponiert und nur noch in 50 % bei der Diagnosestellung sichtbar ist. In lediglich 25 % treten isolierte Frakturen auf (von Laer et al. 2007). Nach Ulrich und Marzi (2016) und von Laer et al. (2007) ist die Häufigkeit der Ellenbogenluxationen mit zunehmendem Alter auf Grund

der veränderten Bandstabilität und größeren Festigkeit des Knochens zu erklären (Ulrich und Marzi 2016; von Laer et al. 2007). Begleitverletzungen wurden in 15,63 % (n = 5) detektiert (13-M/7m: 12,50 %; n = 3 und 13-E/7I: 25,00 %; n = 2). In 9,38 % (n = 3) der Patientenfälle, zwei Epikondylus ulnaris (8,33 %) und eine Epikondylus-radialis-Fraktur (12,50 %), trat eine ipsilaterale Unterarmfraktur auf. In der Studie von Haxhija et al. (2006) traten im Rahmen von Apophysenabrissfrakturen des Epikondylus ulnaris in 12 % knöcherne Begleitverletzungen und in 16 % primäre N. Ulnarisläsionen auf. Bei unseren Patienten wurden keine Nervenläsionen festgestellt.

37,50 % (n = 12) der epikondylären Humerusfrakturen (13-M/7m: 25,00 %; n = 6 und 13-E/7I: 75,00 %; n = 6) wurden primär konservativ und ambulant behandelt. 43,75 % (n = 14), (13-M/7m: 54,17 %; n = 13 und 13-E/7I: 12,50 %; n = 1) wurden primär operativ und stationär versorgt. In 18,75 % (n = 6) (13-M/7m: 20,83 %; n = 5 und 13-E/7I: 12,50 %; n = 1) kam es zu einem Therapiewechsel von primär konservativ zur sekundär operativen Therapie. Darunter wurden drei primär 13-M/7m (12,50 %) sowie drei 13-M/7m (8,33 %) und eine 13-M/7I (12,50 %) sekundär stationär behandelt. In der Studie von Smith et al. (2010) zeigte sich eine ähnliche Verteilung der konservativ (30,66 %) und operativ (69,34 %) versorgten Patienten (Smith et al. 2010). Die Aufenthaltsdauer der stationär versorgten Patienten lag im Median bei drei Tagen ( $3,75 \pm 2,05$ ). In der Studie von Haxhija et al. (2006) lag die mittlere Aufenthaltsdauer bei vier Tagen, bei Ulmar et al. (2013) im Median bei zwei Tagen mit einem Mittelwert von drei Tagen (Haxhija et al. 2006; Ulmar et al. 2013). Im jahreszeitlichen Verlauf zeigte sich ähnlich der suprakondylären Frakturen eine rückläufige Tendenz der Liegedauer. Die stationäre Aufenthaltsdauer ist abhängig von dem gewählten Therapieverfahren konservativ versus operativ. Bei den epikondylären Humerusfrakturen zeigte sich bei der Versorgung mit Bohrdraht- und Schraubenosteosynthese eine Aufenthaltsdauer von durchschnittlich  $3,11 \pm 0,93$  Tage, im Vergleich zur alleinigen K-Draht-Osteosynthese  $3,67 \pm 2,66$  Tage. Das Durchschnittsalter der konservativ behandelten Patienten lag bei  $8,97 \pm 4,97$  Jahre, der operativ versorgten Patienten bei  $11,34 \pm 1,86$  Jahre. Auf Grund der in Abbildung 41 dargestellten Daten ist anzunehmen, dass vor allem jüngere Kinder konservativ behandelt wurden. Anhand der erhobenen Daten lässt sich jedoch kein signifikanter Unterschied zwischen der Altersverteilung und dem Therapieverfahren verifizieren. Das Geschlecht hatte ebenfalls keinen signifikanten Einfluss auf die Wahl der Therapieform. Der Einfluss der Dislokation auf die Therapieentscheidung konservativ versus operativ stellte sich als hoch signifikant heraus. Handelte es sich um eine nicht dislozierte epikondyläre Fraktur

wurde in 91,67 % (n = 11) konservativ therapiert. Lediglich in 8,33 % (n = 1) kam es nach einem Therapiewechsel zur operativen Versorgung. Bei Vorliegen einer Dislokation wurde in 94,12 % (n = 16) operativ therapiert, wobei in fünf Fällen ein Therapiewechsel erfolgte. Nur 5,88 % (n = 1) wurden konservativ versorgt. In der gängigen Literatur wird für die Therapieentscheidung das Alter, der Dislokationsgrad und die Ellenbogenstabilität berücksichtigt. Wie bei unseren Patienten sollen nicht dislozierte isolierte epikondyläre Ausrissfrakturen primär konservativ versorgt werden (Ulrich und Marzi 2016). Nach von Laer et al. (2007) ist eine konservative Therapie mit Ruhigstellung im Gips auch bei einer leichten/tolerablen Dislokation (Ventralisierung und Distalisierung des Epikondylus ulnaris um ca. 1 cm) vertretbar. Es gilt den Nutzen und den Aufwand der jeweiligen Therapieformen abzuwägen. Meist ist in diesem Fall bei jüngeren Patienten die konservative Therapie im Gips ausreichend. Je älter der Patient ist, desto eher bietet sich die bewegungsstabile Schraubenosteosynthese an (von Laer et al. 2007). In der Publikation von Louahem et al. (2010) wurden alle Epikondylusfrakturen mit positiven Valgus-Stresstest, unabhängig vom Dislokationsgrad, operativ behandelt. Nach Louahem et al. (2010) weisen minimal dislozierte Ausrissfrakturen häufig eine unterschätzte Ellenbogeninstabilität auf, sodass er unter anderem auch auf Grund der guten postoperativen Ergebnisse für ein operatives Management plädiert. Auch in der Studie von Haxhija et al. (2006) wurden alle Apophysenabrissfrakturen des Epikondylus ulnaris, die im Rahmen einer Ellenbogenluxation auftraten, operativ therapiert. Wie bei unseren Patienten besteht nach Ulrich und Marzi (2016) und Fowles et al. (1990) eine absolute Operationsindikation bei dislozierten Frakturen. Therapie der Wahl ist nach Nuber et al. (2018) eine offene Reposition und wenn möglich eine Retention mit funktionsstabilen Schrauben. Bei allen unserer Patienten wurde eine offene Reposition durchgeführt. Zu den häufigsten Operationsverfahren zählte die Bohrdrahtosteosynthese in Kombination mit der Schraubenosteosynthese (45 %), gefolgt von der alleinigen K-Draht- (30 %) und der alleinigen Schraubenfixation (20 %). Nach Haxhija et al. (2006) und Nuber et al. (2018) ist die Fixation mittels Kirschner-Draht vor allem bei jüngeren Kindern oder bei sehr kleinen Fragmenten sinnvoll. Nach Lee et al. (2005) erzielt die K-Draht- im Vergleich mit der Schraubenosteosynthese gleichwertige Ergebnisse. Mit der K-Draht Fixation ist jedoch eine längere Immobilisation notwendig (Lee et al. 2005). Bei der Wahl des Osteosyntheseverfahrens zeigten sich im Vergleich mit den Studien von Haxhija et al. (2006) und Louahem et al. (2010) deutliche Abweichungen. In der Studie von Haxhija et al. (2006) erfolgte bei allen Patienten eine offene Reposition und Fixation mittels K-Draht. Bei Louahem et al. (2010) wurde in 92,80 % eine K-Draht- und in 7,19 % eine

Schraubenosteosynthese durchgeführt. Unsere Ergebnisse sind am ehesten mit den Studien von Lee et al. (2005) und Ulmar et al. (2013) vergleichbar. Bei Lee et al. (2005) wurden in 28 % K-Drähte und in 56 % Schrauben eingesetzt. In der Studie von Ulmar et al. (2013) erfolgte die Frakturversorgung offen und in 55 % mit einer kombinierten Bohrdraht- und Schraubenosteosynthese, in 27 % mit alleiniger K-Draht und in 18 % mit alleiniger Schraubenfixation. Da bei unserem Patientenkollektiv keine Nachuntersuchungen durchgeführt wurden und die Fallzahl vergleichsweise sehr gering ausfiel, lässt sich keine Aussage über die Effektivität der Verfahren machen. Die Operationsdauer wurde in 95,00 % (n = 19) über die Schnitt-Naht-Zeit berechnet. Im Mittel dauerte die operative Versorgung  $62,05 \pm 19,62$  Min., im Median 62 Min. (30 - 115 Min.). Werden die 13-M/7m Frakturen betrachtet, dauerte die operative Versorgung im Mittel  $58,59 \pm 15,58$  Min., im Median 60 Min. (30-95 Min.) und war im Vergleich zur selten vorkommenden 13-M/7I Fraktur ( $91,5 \pm 33,23$  Min., Median 91,5 Min. (68-115)) deutlich kürzer. In 83,33 % (n = 15) erfolgte die Operation in Rückenlage und in 16,66 % (n = 3) in Bauchlage. Abgesehen von der Versorgung der 13-M/7I Frakturen sind unsere Operationszeiten mit Haxhija et al. (Mittelwert 67 Min.) und Ulmar et al. (Mittelwert 71 Min., Median 70 Min.) gut vergleichbar (Haxhija et al. 2006; Ulmar et al. 2013).

In 12,50 % (n = 4), allesamt 13-M/7m Frakturen (16,67 %), traten Komplikationen auf, die eine therapeutische Intervention notwendig machten. Unter Berücksichtigung der Aufnahmeuntersuchung kam es lediglich bei einer 13-M/7m Fraktur (4,17 %) zu einer traumatisch bedingten Gefäßkomplikation, die im Verlauf nach repositionsgerechter Stabilisierung rückläufig war. Die Fraktur wurde zunächst konservativ therapiert. Im stationären Verlauf zeigten sich ungenügende Stellungsverhältnisse, sodass die Fraktur sekundär operativ therapiert wurde. In 4,17 % (n = 1) trat eine Pin-track-Affektion und in 8,33 % (n = 2) eine Wundheilungsstörung auf, die sich bei einem Fall in Kombination mit einer Drahtmigration präsentierte. In 4,17 % (n = 1) brach intraoperativ die Spitze vom Stahl-Gewinde des K-Drahtes ab. Diese wurde in Situ belassen. Die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Komplikationen ist höher bei bestehender Dislokation. Das Komplikationsrisiko ist bei operativer Therapie höher als bei der konservativen Therapie. In den mit unserer Arbeit verglichenen Studien traten postoperativ weder Infektionen noch Nervenläsionen auf (Haxhija et al. 2006, Lee et al. 2005, Ulmar et al. 2013). Nach von Laer et al. (2007) kann es, vor allem nach einer Ellenbogenluxation, zu einer chronischen Instabilität mit Relaxation sowie selten (ca.



10 %) zu einer klinisch relevanten Pseudarthrose kommen. Eine Pseudarthrose trat bei keinem unserer Patienten auf.

In 66,67 % (n = 8) konnte die Dauer der Ruhigstellung der konservativ therapierten Patienten ermittelt werden. Diese lag durchschnittlich bei  $18 \pm 6,09$  Tage, Median 20,5 Tage (13-M/7m:  $17 \pm 7,39$  Tage, Median 20; 13-M/7l:  $19 \pm 5,42$  Tage, Median 21). In 95,00 % (n = 19) wurde die Immobilisationsdauer der operativ versorgten Patienten bestimmt. Diese lag durchschnittlich bei  $27,79 \pm 7,17$  Tagen, Median 26 Tage ( $27,41 \pm 7,43$  Tage, Median 25; 13-M/7l:  $31 \pm 4,24$  Tage, Median 31). Die Dauer der Ruhigstellung in der konservativ behandelten Gruppe entspricht der Empfehlung nach von Laer et al. (2012). Demnach sollte die Fraktur für zwei bis drei Wochen immobilisiert werden. Bei operativer Versorgung kann die Mobilisierung bei stabiler Osteosynthese sofort und spontan erfolgen (von Laer et al. 2012). Bei unseren Patienten zeigt sich diesbezüglich eine deutliche Abweichung. Wir verwendeten häufig K-Drähte. Nach Nuber et al. (2018) sollte bei einer K-Draht-Osteosynthese eine Ruhigstellung für zwei bis vier Wochen erfolgen. Zudem empfehlen Kiderlen und Schlickewei (2008) bei einer Schrauben-osteosynthese eine frühfunktionelle Mobilisation oder eine nur kurze Ruhigstellung im Gips für ca. zwei bis vier Wochen. In der Studie von Lee et al. (2005) wurde die postoperative Ruhigstellung zwischen dem dritten und zehnten Tag (Mittelwert 5,4 Tage), bei Louahem et al. (2010) durchschnittlich nach vier Wochen beendet (Lee et al. 2005; Louahem et al. 2010). In 95,00 % (n = 19) wurde der Zeitpunkt der Osteosynthesematerialentfernung bestimmt. Im Median erfolgte diese nach 66 Tagen ( $93,74 \pm 92,12$ ). Bei den 13-E/7m Frakturen wurde die Materialentfernung im Median nach 73 Tagen ( $98,65 \pm 96,28$ ) durchgeführt. Bei reiner Bohrdrahtosteosynthese betrug die Dauer bis zur vollständigen Materialentfernung im Median 58,5 Tage ( $58,50 \pm 6,95$ ), bei der Kombination K-Draht- und Schraubenosteosynthese 75 Tage ( $78,33 \pm 25,02$ ) und bei reiner Schraubenosteosynthese 106 Tage ( $184,5 \pm 185,75$ ). Der Zeitpunkt der K-Drahtentfernung wird nach Nuber et al. (2018) und Marzi (2011) nach ca. sechs Wochen und der Schrauben nach ca. drei bis sechs Monaten empfohlen. Bei unseren Patienten war der Zeitpunkt bis zur K-Drahtentfernung prolongiert. Haxhija et al. (2006) entfernten die K-Drähte im Durchschnitt nach fünf Wochen und Louahem et al. (2010) nach vier bis acht Wochen sowie die Schrauben nach drei bis vier Monaten. In der Studie von Ulmar et al. (2013) erfolgte die Entfernung des Osteosynthesematerials, ähnlich wie bei unseren Patienten, im Median nach 71 Tagen, Mittelwert 90 Tage. Bei unseren Patienten sollten in 59,38 % (n = 19), 70,83 % (n = 17) 13-M/7m und 25,00 % (n = 2), Bewegungsübungen fortgesetzt werden, um die

funktionelle Beweglichkeit zu verbessern. Dabei handelte es sich in 95,00 % (n = 19) um operativ versorgte Frakturen. In der Studie von Ulmar et al. (2013) war in 56 % eine physiotherapeutische Behandlung notwendig.

87,50 % (n = 28) stellten sich im Rahmen der Kindertraumatologie-Sprechstunde in der Universitätsmedizin Göttingen zum vereinbarten Therapieabschlusstermin vor. In 46,88 % (n = 15) wurden Angaben zum Bewegungsumfang gemacht. Orientierend an der Bewertung der suprakondylären Humerusfrakturen wurden die epikondylären Frakturen ebenfalls nach den Kategorien befriedigend und unbefriedigend eingeteilt. Bei drei Patienten erfolgte eine Nachuntersuchung, die in zwei Fällen erneute Nachkontrollen notwendig machten. In einem von drei Fällen war das Resultat befriedigend. Insgesamt war das Ergebnis in 60 % (n = 9 von 15) als befriedigend und in 40 % (n = 6 von 15) als unbefriedigend einzustufen. In der Studie von Louahem et al. (2010) hatten 95,68 % eine normale Beweglichkeit im Ellenbogengelenkt. Auch Haxhija et al. (2006) beschreiben gute (21,4 %) bis sehr gute (78,6 %), Ulmar et al. (2013) gute bis exzellente (85 %) und Lee et al. (2005) gute bis ausgezeichnete Ergebnisse (100 %). Auf Grund unseren geringen Fallzahlen kann keine eindeutige Aussage getroffen werden. Nach von Laer et al. (2007) ist die freie Beweglichkeit posttraumatisch nach zehn bis vierzehn Wochen zu erwarten (von Laer et al. 2007). Der Zeitraum vom Therapiebeginn bis Therapieende betrug im Median 71,5 Tage ( $83,39 \pm 85,22$ ). In 12,50 % (n = 4) erschienen die Patienten nicht zur Kontrolluntersuchung, sodass entweder ein bereits zufriedenstellendes Ergebnis eintrat oder die Weiterbehandlung extern erfolgte. Insgesamt stellten sich die Patienten im Median sechs Mal ( $6,94 \pm 3,45$ ) vor. In der Studie nach Haxhija et al. (2006) wurde die Behandlung, ähnlich wie bei unseren Patienten, nach durchschnittlich drei Monaten (1-8 Monate) beendet (Haxhija et al. 2006). Bei konservativer Therapie wurde im Median eine ( $0,92 \pm 0,67$ ), bei operativer Therapie im Median ( $3,40 \pm 0,99$ ) drei Röntgenkontrollaufnahmen durchgeführt.

In unserem Patientenkollektiv traten transkondyläre Frakturen, zu denen die Fraktur des Condylus radialis, Condylus ulnaris und die bikondyläre T-/Y-Fraktur zählen, mit einer Inzidenz von 18,66 % (n = 53) auf. Dies entspricht den Angaben in der Literatur, in der 10-20 % der Ellenbogenfrakturen transkondylär sind (von Laer et al. 2007; S2k-Leitlinie 2015). Nach Cates und Mehlman (2012) und Tejwani et al. (2011) ist die Condylus-radialis-Fraktur die zweithäufigste Ellenbogenfraktur. Nach Landin und Danielsson (1986), Wessel (1998), Beaty et al. (2006) und Tejwani et al. (2011)

repräsentieren die Condylus-radialis-Frakturen 12-20 % der distalen Humerusfrakturen im Kindes- und Jugendalter. Dies bestätigte sich auch in unserem Patientenkollektiv mit einem prozentualen Auftreten von 14,08 % (n = 40). Jungen verletzten sich häufiger (n = 28; 70,00 %) als Mädchen (n = 12; 30,00 %). Zu ähnlichen Ergebnissen kommen Ayubi et al. (69,41 %), Pirker et al. (74 %) und Launay et al. (64,95 %) (Ayubi et al. 2010; Pirker et al. 2005; Launay et al. 2004). Das Durchschnittsalter unserer Patienten lag bei  $7,05 \pm 3,91$  Jahren. Die transkondylären Humerusfrakturen, von denen die Condylus-radialis-Fraktur den Hauptteil ausmachte, traten vor allem im Grundschul- und Adoleszentenalter auf. Nach Launay et al. (2004) und Sawyer und Beaty (2015) liegt das Durchschnittsalter bei sechs Jahren. In den Studien von Ayubi et al. (2010) und Pirker et al. (2005) traten die Frakturen im Median im sechsten Lebensjahr auf. Eine Abweichung zeigte sich im Vergleich mit der Angabe in der aktuellen Leitlinie der deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie in Bezug auf den Altersgipfel im 4.-5. Lebensjahr (S2k-Leitlinie 2015). Nach Wessel (1998) und Bensahel et al. (1986) sind die Condylus-ulnaris-Frakturen mit einem Anteil von < 1-2 % seltene Ellenbogenfrakturen. Dies bestätigte sich in unserem Patientenkollektiv mit einem prozentualen Auftreten von 2,82 % (n = 8). Es zeigte sich ein ausgeglichenes Geschlechterverhältnis (weiblich 50,00 %, männlich 50,00 %). Im Vergleich mit den Angaben in der Literatur, bei denen Jungen häufiger betroffen sind als Mädchen, zeigte sich diesbezüglich eine Abweichung (Fernandez et al. 2018; Leet et al. 2002; Bensahel et al. 1986; Papavasiliou et al. 1987). Das Durchschnittsalter unserer Patienten lag bei  $6,61 \pm 3,72$  Jahren und ist vergleichbar mit der Angabe von sechs Jahren und sieben Monaten in der Studie von Bensahel et al. (1986). Nach Leet et al. (2002) lag das durchschnittliche Alter bei 4,6 Jahren, Fernandez et al. (2018) bei 8,5 Jahren und Papavasiliou et al. (1987) bei 9,5 Jahren. Die T-/Y-Fraktur trat in unserem Patientenkollektiv in 1,76 % (n = 5) auf. Nach Landin und Danielsson (1986) und Wessel (1998) sind diese Frakturen in < 1 % der Ellenbogenfrakturen vertreten (Wessel 1998; Landin und Danielsson 1986). Jungen verletzten sich öfter (n = 3; 60,00 %) als Mädchen (n = 2; 40,00 %). In der verwendeten Literatur lag das Geschlechterverhältnis nach Re et al. (1999) bei 2,4:1 zu Gunsten der Jungen, bei Julfiqar et al. (2013) waren in 85,71 % und bei Ducic et al. (2014) in 89,47 % Jungen betroffen. Das Durchschnittsalter unserer Patienten lag bei  $11,95 \pm 1,57$  Jahren und ist am ehesten vergleichbar mit der Studie von Ducic et al. (2014), bei dem die Fraktur im Durchschnitt im Alter von 12,5 Jahren auftrat. Abweichende Angaben finden sich in der aktuellen Leitlinie der deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie, in der ein Altersgipfel im 15. Lebensjahr beschrieben

ist und in der Studie von Julfiqar et al., bei dem das durchschnittliche Alter bei 14 Jahren lag (S2k-Leitlinie 2015; Julfiqar et al. 2013).

Bei der Aufnahmeuntersuchung war die pDMS bei allen transkondylären Humerusfrakturen unauffällig. Es traten somit keine primären Gefäß- oder Nervenschäden auf. Es handelte sich bei allen um eine geschlossene Fraktur. Bei einer Condylus-radialis-Fraktur (4,74 % von n = 40) lag eine primäre Weichteilverletzung vor. Die transkondylären Humerusfrakturen sind nach der aktuellen Leitlinie der deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie mit Begleitverletzungen wie Ellenbogenluxationen, Epikondylus-ulnaris-Abrissfrakturen, Radiushalsfrakturen oder Olekranonfrakturen assoziiert (S2k-Leitlinie 2015). Eine Ellenbogenluxation trat in unserem Patientenkollektiv in 3,77 % (n = 2), darunter 2,50 % (n = 1) Condylus-radiales und 12,50 % (n = 1) Condylus-ulnaris-Frakturen, auf. Begleitverletzungen wurden insgesamt in 13,21 % (n = 7), 10,00 % (n = 4) bei Condylus radialis, 12,50 % (n = 1) bei Condylus ulnaris und 40,00 % (n = 2) bei T-/Y-Frakturen, festgestellt. Nach Ferlic et al. (2012) tritt die Condylus-ulnaris-Fraktur vor allem in Kombination mit einer Ellenbogenluxation und selten isoliert auf. Dies betätigte sich bei unseren Patienten nicht. Ähnlich der Studie von Fernandez et al. (2018) traten keine primären Gefäß- oder Nervenschäden auf. Es handelte sich um geschlossene, vor allem isolierte Condylus-ulnaris-Frakturen (Fernandez et al. 2018). Nach Launay et al. (2004) treten bei Condylus-radialis-Frakturen in 8,2 % ipsilaterale Ellenbogenverletzungen auf. Bei unseren Patienten zeigte sich, ähnlich wie bei Launay et al. (2004), in 5,00 % (n = 2) der Condylus-radialis-Fraktur eine ipsilaterale sowie bei 2,50 % (n = 1) eine kontralaterale Unterarmfraktur. In 20,00 % (n = 1) der T-/Y-Frakturen wurde eine kontralaterale Unterarmfraktur festgestellt.

47,50 % (n = 19) Condylus-radialis-Frakturen wurden konservativ und primär ambulant therapiert. In 10,00 % (n = 4) wurde auf Grund eines Verfahrenswechsels eine sekundär operative Therapie sowie stationäre Aufnahme veranlasst. In 42,50 % (n = 17) erfolgte die Behandlung operativ und primär stationär. In der Studie von Ayubi et al. (2010) zeigte sich eine ähnliche Verteilung der konservativ (44,71 %) und operativ (55,29 %) versorgten Patienten. Die stationäre Aufenthaltsdauer aller Patienten lag durchschnittlich bei 1,2 Tage (Ayubi et al. 2010). 62,50 % (n = 5) der Condylus-ulnaris-Frakturen wurden primär konservativ behandelt, 37,50 % (n = 3) ambulant und 25,00 % (n = 2) stationär. 37,50 % (n = 3) operativ und primär stationär. In den Studien von Papavasiliou et al. (1987) (73,33 %), Bensahel et al. (1986) (51,85 %), Leet et al. (2002)

(55 %) überwog ebenfalls die konservative Therapie. Eine Abweichung zeigt sich in der Studie von Fernandez et al. (2018) mit 7,14 % konservativ versorgten Frakturen (Fernandez et al. 2018). 60,00 % (n = 3) der T-/Y-Frakturen wurden primär konservativ behandelt, 40,00 % (n = 2) ambulant und 20,00 % (n = 1) stationär. 40,00 % (n = 2) wurden operativ und primär stationär versorgt. Diesbezüglich zeigte sich eine Abweichung im Vergleich mit den Studien von Re et al. (1999), Ducic et al. (2014) und Julfiqar et al. (2013), bei denen die Patienten vor allem operativ versorgt wurden. Bei Betrachtung aller transkondylären Frakturen lag die Aufenthaltsdauer der stationär versorgten Patienten im Median bei drei Tagen ( $4,31 \pm 2,08$ ) und zeigte eine Abhängigkeit von dem gewählten Therapieverfahren, konservativ versus operativ. Bei der operativen Versorgung der transkondylären Humerusfrakturen mit Bohrdraht- und Schraubenosteosynthese zeigte sich eine Liegedauer von durchschnittlich  $2,40 \pm 1,35$  Tage, im Vergleich zur alleinigen K-Draht-Osteosynthese  $3,18 \pm 0,94$  Tage. Das Alter oder Geschlecht hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Wahl der Therapieform. Der Einfluss der Dislokation auf die Therapieentscheidung, konservativ versus operativ, stellte sich als hoch signifikant heraus. Handelte es sich um eine nicht dislozierte transkondyläre Humerusfraktur wurde in 86,67 % (n = 26) konservativ therapiert. Lediglich in 13,33 % (n = 4) kam es zur operativen Versorgung, wobei in 6,67 % (n = 2) ein Therapiewechsel zur operativen Versorgung stattfand. Bei Vorliegen einer Dislokation wurde in 95,65 % (n = 22) operativ therapiert, wobei in zwei Fällen ein Therapiewechsel erfolgte. Nur 4,35 % (n = 1) wurden konservativ versorgt. Dieses Vorgehen entspricht den Empfehlungen in der gängigen Literatur bei nicht dislozierten, ggf. inkompletten artikulären Frakturen primär konservativ, bei Vorhandensein einer Dislokation operativ zu behandeln (Ferlic et al. 2012; von Laer 1998; von Laer et al. 2007). Bei den Condylus radialis und ulnaris Frakturen gilt es die nicht dislozierte inkomplette von der kompletten artikulären Fraktur zu unterscheiden, da bei Letzterer ein Dislokationsrisiko besteht (von Laer 1998; Knapik et al. 2017). In der Regel wird ein offenes Vorgehen mit osteosynthetischer Versorgung der primär bzw. sekundär dislozierten Fraktur angestrebt (Shirley et al. 2015; Ayubi et al. 2010; Mohan et al. 2000; Badelon et al. 1988; Hasler und von Laer 1998; Jakob et al. 1975). Nach Launay et al. (2004) ist die geschlossene Reposition meist ineffektiv. In der Studie von Song et al. (2008) zeigte die geschlossene Reposition bei gering dislozierten Frakturen (< 2 mm) gute Ergebnisse. Falls möglich sollte nach Nuber et al. (2018), Ferlic et al. (2012), von Laer (1998), Shirley et al. (2015), Hasler und von Laer (2001) mittels einer übungsstabilen Schraubenosteosynthese retiniert werden. Im Vergleich zur Condylus-radialis-Fraktur soll nach von Laer et al. (2007), bei Vorliegen einer dislozierten Condylus-ulnaris-Fraktur und Therapie-

entscheidung für eine Schraubenosteosynthese, die Fixierung mit ein bis zwei queren Schrauben erfolgen. Bei Kindern jünger als fünf Jahre oder kleinem Frakturfragment kann nach Ayubi et al. (2010) und Ferlic et al. (2012) eine K-Draht Fixierung indiziert sein. Nach Schlitz et al. (2015) bietet die Schraubenosteosynthese im Vergleich zur K-Draht-Osteosynthese eine höhere biomechanische Stabilität. Erfolgt eine alleinige K-Draht Fixation können nach Hasler und von Laer (2001) durch die Nachteile bezüglich der Kompression und Stabilität der K-Drähte stimulierende Wachstumsstörungen auftreten. Eine schraubenosteosynthetische Versorgung der Kondylenfraktur mit einem zusätzlichen trochlearen axialen K-Draht kann nach von Laer (1998) und Ayubi et al. (2010) die Stabilität bezüglich der Rotation erhöhen. Bei den T-/Y-Frakturen wird in der Regel für eine stabile interne Fixation die Plattenosteosynthese, in Kombination mit Schrauben oder K-Drähten, eingesetzt (Nuber et al. 2018; Ferlic et al. 2012). Nach Anari et al. (2017) und Popkin et al. (2017) sind allgemeine Behandlungsalgorithmen für T-/Y-Frakturen auf Grund der Rarität der Frakturen schwierig. In unserem Patientenkollektiv erfolgte die operative Versorgung der transkondylären Humerusfrakturen in 7,69 % (n = 2) geschlossen und in 92,31 % (n = 24) offen. Bei Betrachtung der Condylus-radialis und ulnaris-Frakturen zählte die alleinige Bohrdrahtosteosynthese zu den häufigsten Operationsverfahren (45,83 %) gefolgt von der kombinierten Bohrdraht- und Schraubenosteosynthese (41,67 %). Bei den T-/Y-Frakturen wurde in beiden Fällen die Plattenosteosynthese, in einem Fall die Kombination mit einer Schraube verwendet. Im Vergleich mit der Studie von Fernandez et al. (2018) wurden alle Condylus-ulnaris-Frakturen offen reponiert und wie bei unseren Patienten überwog die K-Draht-Osteosynthese (69,23 %) gefolgt von der Schraubenosteosynthese (23,08 %) und Plattenosteosynthese (7,69 %). Eine Abweichung zeigt sich im Vergleich mit der Studie von Leet et al. (2002), in der bei allen Patienten eine alleinige K-Draht Fixation verwendet und in 77,78 % offen reponiert wurde. In der Studie von Ayubi et al. wurden bei der Behandlung der Condylus-radialis-Frakturen ebenfalls Osteosyntheseverfahren wie bei unseren Patienten verwendet. Am häufigsten wurde die kombinierte K-Draht- und Schraubenosteosynthese (65,96 %), gefolgt von der alleinigen Schraubenosteosynthese (27,66 %) und der alleinigen K-Draht-Osteosynthese (6,38 %), durchgeführt (Ayubi et al. 2010). Der laterale Zugang ist nach von Kiderlen und Schlickewei (2008), Ayubi et al. (2010) und Ferlic et al. (2012) der häufigste Zugangsweg bei der Versorgung von Condylus-radialis-Frakturen. Alternativ kann nach Mohan et al. (2000) ein posterolateraler Zugang gewählt werden. Bei unseren Patienten wurde in 17 Fällen ein radialer und in zwei Fällen ein dorso-radialer Zugang verwendet. Alternative Behandlungsoptionen wie die kombinierte diagnostische Arthroskopie und Fixation bei

minimal dislozierten Frakturen fanden bei unseren Patienten keine Anwendung (Temporin et al. 2015; Hausman et al. 2007). Der Zugangsweg der Condylus-radialis-Frakturen erfolgte bei unseren Patienten in einem Fall von ulnar und in zwei Fällen beidseits. Die T-/Y-Frakturen wurde in einem Fall von radial und in einem Fall von dorso-radial versorgt. Nach der aktuellen Leitlinie der deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie wird bei den T-/Y-Frakturen ein dorso-medialer oder dorso-lateraler Zugangsweg empfohlen. Alternative Zugangswege wie die Olekranonosteotomie oder der *Newcastle* Zugang fanden bei unseren Patienten keine Anwendung (Dreyfuss und Eidelman 2014; Ferlic et al. 2012; Salvador et al. 2020). Die Operationsdauer wurde in 84,62 % (n = 22) über die Schnitt-Naht-Zeit berechnet. Im Mittel dauerte die operative Versorgung  $100,14 \pm 60,56$  Min., im Median 77 Min. (42-300 Min.). Die Operation der Condylus-radialis-Frakturen dauerte im Mittel  $83,74 \pm 36,37$ , im Median 67 Min. (42-182 Min.) und war im Vergleich zur selten vorkommenden Condylus-ulnaris-Fraktur ( $156 \pm 43,84$  Min.), Median 156 Min. (125-187 Min.) deutlich kürzer. Bei der T-/Y-Fraktur dauerte die operative Versorgung 300 Minuten. Die Operation der transkondylären Frakturen wurde in 69,23 % (n = 18) in Rückenlage und in 30,77 % (n = 8) in Bauchlage durchgeführt. In den in unserer Arbeit verwendeten Studien wurde keine Zeitangabe zur operativen Therapie angegeben.

Unter Berücksichtigung der Aufnahmeuntersuchung zeigten sich bei den transkondylären Humerusfrakturen weder primäre noch sekundäre Gefäß- oder Nervenläsionen. In 9,43 % (n = 5), darunter 10,00 % (n = 4) Condylus radialis und 20,00 % (n = 1) T-/Y-Frakturen, traten Komplikationen auf, die eine therapeutische Intervention notwendig machten. In 7,50 % (n = 3) der Condylus-radialis-Frakturen kam es zu einer sekundären Dislokation der primär konservativ therapierten Frakturen, sodass eine operative Stabilisierung notwendig wurde. In 2,50 % (n = 1) der Condylus radialis und 20,00 % (n = 1) der T-/Y-Frakturen trat eine Pin-track-Affektion auf. Die T-/Y-Fraktur konsolidierte zusätzlich in einer Fehlstellung, sodass eine Korrekturosteotomie notwendig wurde. Diese wurde ca. zehn Monate nach operativer Erstversorgung mit einer Medartis- und einer fünf-Lochplatte durchgeführt. Außerdem erhielt der Patient eine Arthrolyse des Ellenbogengelenkes. Die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Komplikationen scheint bei bestehender Dislokation und operativer Therapie höher zu sein. Glücklicherweise trat bei unseren Patienten, im Vergleich mit den anderen Studien, keine partielle Nekrose (Fernandez et al. 2018; Bensahel et al. 1986; Papavasiliou et al. 1987; Leet et al. 2002) oder eine Pseudarthrose (Bensahel et al. 1986; Leet et al. 2002) auf. In anderen Studien zeigten sich ebenfalls keine oder nur

eine geringe Prävalenz von Gefäß- und Nervenläsionen oder Pin-track-Affektionen (Fernandez et al. 2018; Bensahel et al. 1986; Leet et al. 2002; Ayubi et al. 2010; Pirker et al. 2005). In der Studie von Julfiqar et al. (2013) trat, ähnlich wie bei uns, in 14 % der T-/Y-Frakturen eine leichte Pin-track-Infektion auf.

In 62,96 % (n = 17) konnte die Dauer der Ruhigstellung der konservativ therapierten Patienten ermittelt werden. Diese lag durchschnittlich bei  $21,53 \pm 5,78$  Tage (Median 21). Die Condylus-radialis-Frakturen wurden im Mittel  $22,36 \pm 6,71$  Tage (Median 22) und die Condylus-ulnaris-Frakturen im Mittel  $20,75 \pm 2,22$  Tage (Median 20) immobilisiert. Die T-/Y-Frakturen wurden im Mittel  $18,5 \pm 6,36$  Tage (Median 18,5) ruhiggestellt. In 88,46 % (n = 23) wurde die Immobilisationsdauer der operativ versorgten Patienten bestimmt, die im Durchschnitt bei  $26,48 \pm 8,12$  (Median 26) Tagen lag. Die Condylus-radialis-Frakturen wurden im Mittel  $27,32 \pm 8,60$  Tage (Median 27) und die Condylus-ulnaris-Frakturen im Mittel  $22,67 \pm 4,62$  Tage (Median 20) immobilisiert. Die T-/Y-Fraktur wurde 22 Tage ruhiggestellt. Die Dauer der Ruhigstellung von unseren Patienten entspricht der Empfehlung nach von Laer et al. (2007) die transkondylären Frakturen bei konservativer Therapie für vier Wochen, bei operativer Therapie für zwei bis drei Wochen zu immobilisieren. Die Ruhigstellungsdauer ist ebenfalls vergleichbar mit den in der Diskussion verwendeten Publikationen von Fernandez et al. (2018) (postoperativ 4-6 Wochen), Leet et al. (2002) (Mittelwert 3,8 Wochen), Ayubi et al. (2010) (Mittelwert 3,7 Wochen), Pirker et al. (2005) (Mittelwert 22 Tage) und Julfiqar et al. (2013) (3 Wochen). In 84,62 % (n = 22) wurde der Zeitpunkt der Osteosynthesematerialentfernung bestimmt. Im Median erfolgte diese nach 28,23 Tagen ( $61,86 \pm 28,23$ ). Bei den Condylus-radialis-Frakturen wurde die Materialentfernung im Median nach 54 Tagen ( $53,78 \pm 17,65$ ) durchgeführt. Bei reiner Bohrdrahtosteosynthese betrug die Dauer bis zur vollständigen Materialentfernung im Median 55,5 Tage ( $52,38 \pm 18,96$ ), bei der Kombination K-Draht- und Schraubenosteosynthese 52 Tage ( $57,00 \pm 17,15$ ). Bei den Condylus-ulnaris-Frakturen wurde die Materialentfernung im Median nach 66,5 Tagen ( $66,5 \pm 14,85$ ) durchgeführt. In einem Fall erfolgte neben der Osteosyntheseentfernung eine Arthrolyse. Bei einer T-/Y-Fraktur kam es ebenfalls im Rahmen der Materialentfernung zur Arthrolyse sowie zum Debridement der Fossa olecrani und der Abtragung von Knochengewebe. Außerdem wurden zur Gelenkmobilisation bei einer Condylus-radialis-Fraktur ein Brisement forcé angewandt. Nach Nuber et al. (2018) sollte das Osteosynthesematerial postoperativ bei alleiniger K-Draht Fixation nach fünf bis sechs Wochen, bei Verwendung von Schrauben nach zwölf Wochen entfernt werden. Im Vergleich mit unseren Daten der



Condylus-radialis-Fraktur, war die Dauer bis zur Materialentfernung bei K-Drähten leicht prolongiert, wohingegen bei der Kombination aus K-Draht- und Schraubenosteosynthese die Schraube vor den empfohlenen zwölf Wochen entfernt wurde. In der Publikation von Fernandez et al. (2018) erfolgte die Materialentfernung aller Osteosyntheseverfahren neun bis zwölf Wochen (Mittelwert 11,6 Wochen), bei Ayubi et al. (2010) im Median 8,6 Wochen und bei Julfiqar et al. (2013) 5 Wochen postoperativ. Bei unseren Patienten sollten in 45,28 % (n = 24), 50,00 % (n = 20) Condylus radialis, 25,00 % (n = 2) Condylus ulnaris sowie 40,00 % (n = 2) T-/Y-Frakturen, Bewegungsübungen für die Verbesserung der funktionellen Beweglichkeit fortgesetzt werden. Dabei handelte es sich in 76,92 % (n = 20) um operativ versorgte Frakturen. Nach von Laer et al. (2007) ist eine physiotherapeutische Behandlung i. d. R. nicht indiziert. In der Studie von Ayubi et al. (2010) war lediglich in 7,06 % eine physiotherapeutische Behandlung notwendig.

71,70 % (n = 38) stellten sich im Rahmen der Kindertraumatologie-Sprechstunde in der Universitätsmedizin Göttingen zum vereinbarten Therapieabschlusstermin vor. In 54,72 % (n = 29) wurden Angaben zum Bewegungsumfang gemacht. Orientierend an der Bewertung der suprakondylären Humerusfrakturen wurden die transkondylären Frakturen ebenfalls nach den Kategorien befriedigend und unbefriedigend eingeteilt. In einem Fall mit einer T-/Y-Fraktur wurde eine Nachuntersuchung durchgeführt. Bei dem Patienten war das Resultat unbefriedigend. Insgesamt war das Ergebnis in 48,28 % (n = 14 von 29) als befriedigend und in 51,72 % (n = 15 von 29) als unbefriedigend einzustufen. Deutlich bessere Ergebnisse zeigten sich in den Studien von Fernandez et al. (2018) (64,28 % volle Beweglichkeit), Bensahel et al. (1986) (70,37 % gute Armfunktion), Papavasiliou et al. (1987) (73,33 % exzellente Ergebnisse) und Julfiqar et al. (2013) (85 % zufriedenstellende funktionelle Ergebnisse). Es ist zu berücksichtigen, dass dieses Ergebnis von dem Beobachtungszeitraum abhängig ist und trotz Bewegungseinschränkungen keine Aussage über die funktionelle Einschränkung im Alltag getroffen werden kann. Nach Leet et al. (2002) hatten 55 % eine volle Beweglichkeit im Ellenbogengelenk, bei den anderen Patienten trat eine Bewegungseinschränkung ohne funktionelle Bedeutung auf und lediglich in 15 % waren signifikante Bewegungseinschränkungen zu verzeichnen. Wird die Studie nach Ayubi et al. (2010) herangezogen, hatten 96 % ein gutes Ergebnis ohne subjektiv empfundene Einschränkungen. Nach Bernthal et al. (2011) ist bei den Condylus-radialis-Frakturen eine bis zu einem Jahr andauernde schrittweise Verbesserung zu erwarten. Unabhängig von der Therapie wird ein Jahr nach dem Unfall in 97 % die

Beweglichkeit im Vergleich zu Gegenseite wieder erreicht (Bernthal et al. 2011). 71,70 % (n = 38) der Patienten mit transkondylärer Humerusfraktur stellten sich zum vereinbarten Therapieabschlussstermin vor. Der Zeitraum der ärztlichen Betreuung bis zum festgesetzten Therapieabschlussstermin betrug im Median 52 Tage ( $71,89 \pm 104,81$ ). Dies ist ein vergleichsweise kurzes Intervall um das Outcome der Patienten, anhand der Beweglichkeit im Ellenbogengelenk, zu evaluieren. Es ist davon aus-zugehen, dass die Anzahl der befriedigenden Ergebnisse deutlich höher ist als die angegebenen 48,28 %, wenn zusätzliche Nachuntersuchungen durchgeführt worden wären. In 28,30 % (n = 15) erschienen die Patienten nicht zur nächsten Kontrolluntersuchung, sodass entweder ein bereits zufriedenstellendes Ergebnis eintrat oder die Weiterbehandlung extern erfolgte. Insgesamt stellten sich die Patienten im Median 6 Mal ( $6,34 \pm 4,33$ ) vor. Bei konservativer Therapie wurden im Median zwei ( $1,82 \pm 1,04$ ), bei operativer Therapie im Median drei ( $3,46 \pm 1,63$ ) Röntgenkontrollaufnahmen durchgeführt. Dies entspricht der Empfehlung bei konservativer Therapie innerhalb der ersten Woche eine gipsfreie radiologische Stellungskontrolle anzufertigen sowie nach vier Wochen eine radiologische Konsolidationskontrolle durchzuführen (von Laer 1998; Knapik et al. 2017, S2k-Leitlinie 2015). Die Anzahl der radiologischen Aufnahmen bei operativem Vorgehen lassen sich erklären durch die Empfehlung zusätzliche Röntgenkontrollaufnahmen, ggf. vor der Implantatentfernung und bei Komplikationen oder Wachstumsstörungen, durchzuführen (S2k-Leitlinie 2015).

---

Im Folgenden wird ein Ausblick mit möglichen Anwendungen unserer Ergebnisse sowie die Limitationen der Arbeit aufgezeigt.

Die Darstellung der epidemiologischen Daten sowie die Veranschaulichung der Diagnose- und Behandlungsstandards von supra-, epi- und transkondylären Humerusfrakturen ermöglicht Vergleiche mit anderen Publikationen, der gängigen Literatur sowie der Empfehlungen der Fachgesellschaften. Anhand dessen können Konsequenzen für die künftige Behandlung der Frakturen gezogen werden. Insgesamt zeigte sich bei der Auswertung kein ausgeprägter Unterschied bezüglich der epidemiologischen Daten, dem Vorgehen bei konservativer oder operativer Behandlung und der Prävalenz der Komplikationen an der Universitätsmedizin Göttingen. Ferner können unsere ausführlichen Basisdaten für mögliche zukünftige multizentrische Studien sowie Präventionsstrategien relevant sein. Der Fokus unserer retrospektiven Studie lag auf der suprakondylären Humerusfraktur. Die epi- und transkondylären Frakturen wurden vereinfacht dargestellt. Die in der Literatur divers verwendeten Klassifikationssysteme der distalen Humerusfrakturen haben einen Vergleich mit unseren Daten im Kontext der Studienlage sowie die Entwicklung von Behandlungskriterien erschwert. Zudem war die Datenlage der Frakturen mit geringer Inzidenz äußerst rar. Die Beurteilung des Outcomes erfolgte nach einer strengen Bewertung des Bewegungsumfanges nach der Neutral-Null-Methode. Demnach wurde ein residuelles Bewegungsdefizit zwischen null und zehn Grad als befriedigend eingestuft. Andere Kriterien, wie eine Nachuntersuchung zur Erfassung von Langzeitergebnissen fanden in dieser Studie keine Berücksichtigung. Durch das vergleichsweise kurze Intervall des Beobachtungszeitraums sowie die mangelnde Dokumentation der Bewegungsgrade bei der Therapieabschlussuntersuchung scheinen die Ergebnisse suboptimal zu sein. Es ist davon auszugehen, dass die Anzahl der befriedigenden Ergebnisse deutlich höher ist.

Im Rahmen der Qualitätssicherung konnten folgende Parameter gefunden werden:

- Die Dauer zwischen Eintreffen im Klinikum und Beginn der operativen Versorgung ist mit 3,49 h im Literaturvergleich als sehr gut anzusehen.
- Die Indikation zur konservativen oder operativen Therapie ist konform mit den Vorgaben der Literatur.
- Bei der Definition von offenem und geschlossenem Verfahren wurde inzwischen die allgemeine Definition in der Klinik umgesetzt.
- Die Operationsdauer liegt im Mittelwert der Literaturergebnisse. Hier liegt noch ein Optimierungspotential, dass zu kürzeren Operationszeiten führen kann.
- Postoperative Infektionen und Nervenläsionen wurden insgesamt sehr selten beobachtet, was sehr positiv hervorgehoben werden darf. Bei Betrachtung der einzelnen Frakturen zeigte sich im Vergleich zur Literatur eine ähnliche Komplikationsrate.
- Die Zeitspanne zwischen Operation und Metallentfernung ist bei den Patienten länger als in der Literatur. Hier sollte auch an die Möglichkeit, der ambulanten Metallentfernung durch niedergelassene Fachärzte gedacht werden.

## 5 Zusammenfassung

Frakturen des distalen Humerus sind eine häufige Verletzung im Kindes- und Jugendalter. Bei der Frakturversorgung sollte eine definitive Therapie angestrebt werden. Neben der Berücksichtigung der individuellen Besonderheiten, wie insbesondere der Frakturtyp und das Alter mit dem einhergehenden Korrekturpotential, sind Standards wie die Diagnostik, Therapieverfahren und Verlaufskontrollen wichtig, um Spätkomplikationen zu vermeiden. Ziel der vorliegenden retrospektiven klinischen Studie ist eine Analyse epidemiologischer Daten sowie die Veranschaulichung der Diagnose- und Behandlungsstandards von distalen Humerusfrakturen im Kindes- und Jugendalter an der Universitätsmedizin Göttingen. Durch die Evaluation und dem Vergleich mit anderen Publikationen, der gängigen Literatur sowie der Empfehlungen der Fachgesellschaften ist eine kritische Reflexion möglich. In dem Zeitraum von 2005 bis 2015 wurden insgesamt Daten von 278 Patienten, nach Anwendung der Ein- und Ausschlusskriterien, ausgewertet.

Bei der Betrachtung unseres Gesamtkollektivs zeigte sich eine knappe Mehrheit der männlichen Patienten (56,83 %). Das generelle Frakturrisiko stieg bis zum Grundschulalter an und fiel mit dem Eintritt in das Adoleszentenalter ab. Die häufigste Unfallursache war vor allem ein nicht ebenerdiges Sturzereignis. Der Unfallort verlagerte sich mit zunehmendem Alter vom häuslichen, in den Freizeit und öffentlichen Bereich.

In 70,07 % der Ellenbogenfrakturen handelte es sich um eine suprakondyläre Humerusfraktur. Jungen waren häufiger betroffen (55,28 %) und die Fraktur trat vor allem im Kindergarten- und Grundschulalter auf. Es zeigte sich ein Trend, dass stark dislozierte Frakturen häufiger bei älteren Patienten auftraten, jedoch ohne Signifikanz. Alle offenen Frakturen wurden als Typ-IV-Frakturen klassifiziert. Die geschlossenen Frakturen verteilten sich auf alle vier Frakturtypen. Es wurden alle Typ-I-Frakturen konservativ und alle Typ-III- und-IV-Frakturen operativ versorgt. Die Typ-II-Frakturen wurden sowohl konservativ (55,36 %) als auch operativ (44,64 %) behandelt. In 3,52 % erfolgte auf Grund einer sekundären Dislokation ein Therapiewechsel von primär konservativ zur operativen Therapie. Die Patienten mit operativer Frakturversorgung waren signifikant älter als die konservativ therapierten. Es ist anzunehmen, dass bei der Wahl des Therapieverfahrens das Alter mit dem einhergehenden Korrekturpotential bei unseren Patienten Berücksichtigung fand. Wird der durchschnittliche Klinikaufenthalt in Relation zum Frakturtyp gesetzt, nimmt mit zunehmendem Dislokationsgrad die stationäre Therapie zu. Bei allen operativ versorgten Patienten wurde die

Bohrdrahtosteosynthese verwendet. In 15,56 % erfolgte eine operative geschlossene Reposition mit Insertion von K-Drähten. Die gekreuzte K-Draht Fixation von ulnar und radial wurde bei unseren Patienten mit Abstand am häufigsten durchgeführt (87,78 %) gefolgt von der einseitig lateralen Pin-Stabilisierung (12,22 %). Unter Berücksichtigung der Aufnahmeuntersuchung kam es in insgesamt 10,05 % zu Nerven- und in 3,02 % zu Gefäßkomplikationen. Postoperative Komplikationen waren vor allem Drahtmigration mit Perforation, Pin-Infektion, unzufriedenstellende Stellungsverhältnisse und Wundheilungsstörungen. In 2,51 % wurde eine Re-Operation der primär operativ versorgten Fraktur notwendig. Die Komplikationsrate nahm mit der Verletzungsschwere zu. Offene Repositionen wiesen zudem eine höhere Komplikationsrate auf. Zum Therapieabschlusstermin erreichten nach unserer Einteilung 60,22 % ein befriedigendes Ergebnis. Bei der Typ-II-Fraktur zeigte sich in der Gegenüberstellung der konservativen und operativen Therapie tendenziell ein besseres Ergebnis bei operativer Versorgung. Der Beobachtungszeitraum lag im Median bei 42,5 Tage ( $48,54 \pm 31,97$ ).

Die transkondylären Frakturen waren mit 18,66 % die zweitgrößte Gruppe. Es handelte sich in 14,08 % um eine Condylus radialis, in 2,82 % um eine Condylus ulnaris sowie in 1,76 % um eine T-/Y-Fraktur. Jungen waren häufiger betroffen und die Fraktur trat vor allem im Grundschul- und Adoleszentenalter auf. Es traten keine primären oder sekundären Gefäß- oder Nervenschäden auf. Es handelte sich bei allen um eine geschlossene Fraktur. Bei den Condylus-radialis-Frakturen überwog die operative Therapie (52,50) bei den Condylus-ulnaris-Frakturen (62,50 %) und den T-/Y-Frakturen (60,00 %) die konservative Therapie. Der Grad der Dislokation beeinflusste die Therapieentscheidung, konservativ versus operativ, hoch signifikant. Handelte es sich um eine nicht dislozierte transkondyläre Humerusfraktur wurde in 86,67 % konservativ therapiert. In 6,67 % fand ein Therapiewechsel zur operativen Versorgung statt. Bei Vorliegen einer Dislokation wurde in 95,65 % operativ therapiert. In zwei Fällen erfolgte ein Therapiewechsel. Bei der operativen Versorgung überwog die offene Reposition (92,31 %). Bei Betrachtung der Condylus-radialis und-ulnaris-Frakturen zählte zu den häufigsten Operationsverfahren die alleinige Bohrdrahtosteosynthese (45,83 %), gefolgt von der kombinierten Bohrdraht- und Schraubenosteosynthese (41,67 %). Bei den T-/Y-Frakturen wurde in beiden Fällen die Plattenosteosynthese, in einem Fall die Kombination mit einer Schraube verwendet. In 9,43 % traten Komplikationen wie sekundäre Diskolation, Fehlstellung und Pin-track-Affektion. Die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Komplikationen ist höher bei bestehender Dislokation und operativer Versorgung. Zum Therapieabschlusstermin erreichten

48,28 % der Patienten ein befriedigendes Ergebnis. Der Beobachtungszeitraum lag im Median bei 52 Tage ( $71,89 \pm 104,81$ ).

Die Inzidenz der epikondylären Humerusfrakturen lag bei 11,27 %. Die Epikondylus-ulnaris-Fraktur trat mit einem prozentualen Anteil von 8,45 % häufiger auf im Vergleich zur Epikondylus-radialis-Fraktur mit 2,82 %. Die Frakturen ereigneten sich vermehrt im Grundschul- und Adoleszentenalter. 50,00 % der Epikondylus-ulnaris-Frakturen präsentierten sich im Rahmen einer Ellenbogenluxation. Begleitverletzungen traten in 15,63 % auf. In 9,38 % ereigneten sich ipsilaterale Unterarmfrakturen. Insgesamt überwog die operative Versorgung der Frakturen. Der Einfluss der Dislokation auf die Therapieentscheidung, konservativ versus operativ, stellte sich als hoch signifikant heraus. Nicht dislozierte epikondyläre Fraktur wurden in 91,67 % konservativ therapiert. In 8,33 % kam es nach einem Therapiewechsel zur operativen Versorgung. Bei Vorliegen einer Dislokation wurde in 94,12 % operativ therapiert, wobei in fünf Fällen ein Therapiewechsel erfolgte. Alle epikondyläre Frakturen wurden offen reponiert. Zu den häufigsten Operationsverfahren zählte die Bohrdrahtosteosynthese in Kombination mit der Schraubenosteosynthese (45 %), gefolgt von der alleinigen K-Draht (30 %) und der alleinigen Schraubenfixation (20 %). In 12,50 %, allesamt Epikondylus-ulnaris-Frakturen traten Komplikationen wie sekundäre Dislokation, Pin-track-Affektion, Wundheilungsstörung, Abbruch des Osteosynthesematerials und Drahtmigration auf. Komplikationen korrelierten mit dem Vorliegen einer Dislokation. Operative Therapien waren komplikationsreicher. Zum Therapieabschlusstermin erreichten 60 % der Patienten ein befriedigendes Ergebnis. Der Beobachtungszeitraum lag im Median bei 71,5 Tage ( $83,39 \pm 85,22$ ).

## 6 Anhang

### 6.1 Fall 186

Männlicher Patient im Alter von 6,4 Jahren. Sturz aus ca. 1 m Höhe im häuslichen Umfeld. Geschlossene Typ-I-Fraktur, keine Begleitverletzungen, pDMS intakt. Konservative Therapie mit Blount-Verband, darunter unveränderte achsgerechte Stellung und anatomische Artikulationsverhältnisse. Stationäre Aufnahme für einen Tag zur Kompartmentkontrolle auf Grund einer starken Schwellung. Insgesamt stellte sich der Patient drei Mal zur Kontrolle vor. Immobilisationszeit von 25 Tagen. Nach 25 Tagen Abschluss der Behandlung mit freier Beweglichkeit im Ellenbogengelenk.



Abbildung 45: Fall 186: Röntgenbild am Unfalltag

Konventionelles Röntgenbild des rechten Ellenbogens in einer Ebene am Unfalltag zur Stellungskontrolle nach Anlage vom Blount-Verband  
Pfeil: positives dorsales Fettpolsterzeichen. Linie: Rogers-Hilfslinie.



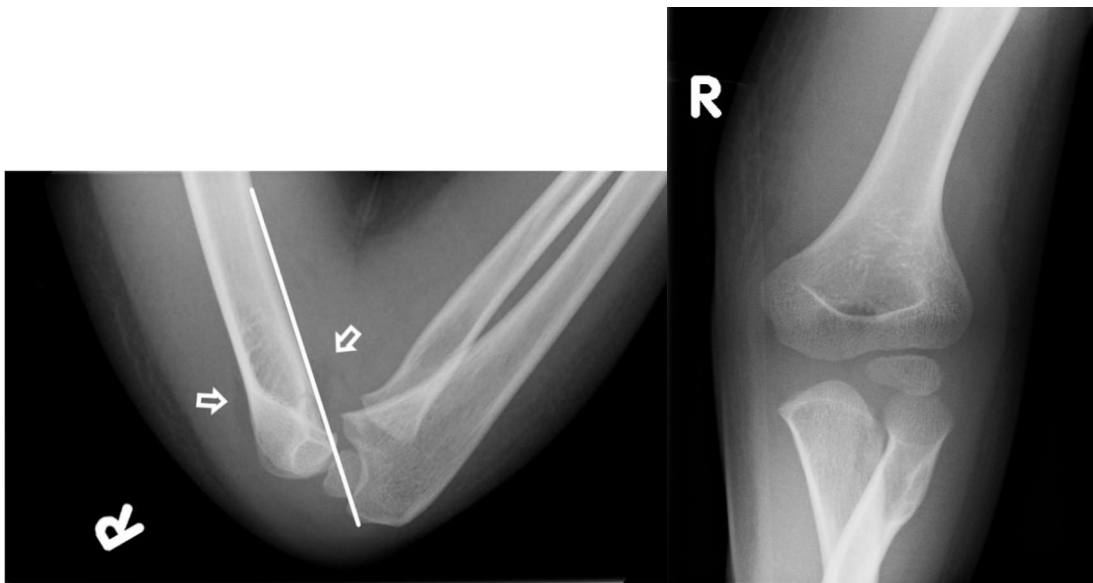


Abbildung 46: Fall 186: Röntgenbild fünf Tage posttraumatisch

Konventionelles Röntgenbild des rechten Ellenbogens in zwei Ebenen, fünf Tage nach dem Unfall, Immobilisation im vom Blount-Verband  
Pfeil: positives dorsales und ventrales Fettpolsterzeichen. Linie: Rogers-Hilfslinie.



Abbildung 47: Fall 186: Röntgenbild 25 Tage posttraumatisch

Konventionelles Röntgenbild des rechten Ellenbogens in einer Ebene, 25 Tage nach dem Unfall

## 6.2 Fall 193

Männlicher Patient im Alter von 5,8 Jahren. Sturz aus > 1 m Höhe beim Spielen auf einem Spielplatz. Geschlossene Typ-II- und Extensionsfraktur, keine Begleitverletzungen, pDMS intakt. Konservative Therapie mit Blount-Verband und Gips/Cast, darunter akzeptable Stellungsverhältnisse bei Ablehnung der Operation. Stationäre Aufnahme für zwei Tage erfolgt. Insgesamt stellte sich der Patient acht Mal zur Kontrolle vor. Immobilisationszeit von 33 Tagen. Nach 33 Tagen Abschluss der Behandlung mit Extensionsdefizit von 30 ° bei freier Pronation und Supination. Nach ca. zehn Monaten erfolgte eine Nachuntersuchung mit den Bewegungsgraden Extension/Flexion 0 °/0 °/145 ° und Pronation/Supination 90 °/0 °/90 °, Patient ist beschwerdefrei.

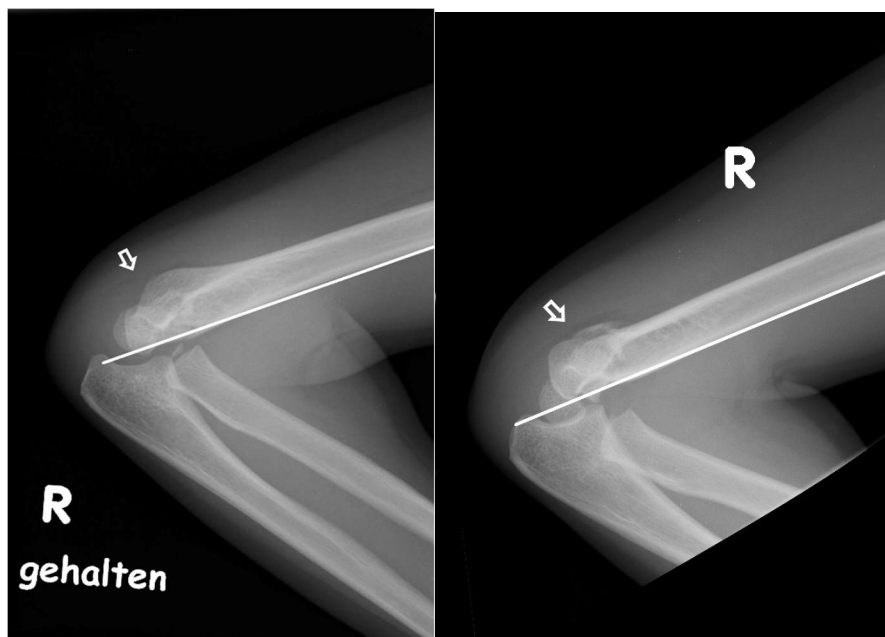


Abbildung 48: Fall 193: Röntgenbild am Unfalltag

Konventionelles Röntgenbild des rechten Ellenbogens in einer Ebene am Unfalltag zur Stellungskontrolle nach Anlage vom Blount-Verband  
 Pfeil: positives dorsales Fettpolsterzeichen. Linie: Rogers-Hilfslinie.



Abbildung 49: Fall 193: Röntgenbild fünf Tage posttraumatisch

Konventionelles Röntgenbild des rechten Ellenbogens in zwei Ebenen,  
fünf Tage nach dem Unfall, Immobilisation im Blount-Verband



Abbildung 50: Fall 193: Röntgenbild zwölf Tage posttraumatisch

Konventionelles Röntgenbild des rechten Ellenbogens in zwei Ebenen,  
12 Tage nach dem Unfall, Immobilisation im Gips/Cast



Abbildung 51: Fall 193: Röntgenbild 33 Tage posttraumatisch

Konventionelles Röntgenbild des rechten Ellenbogens in zwei Ebenen, 33 Tage nach dem Unfall

### 6.3 Fall 269

Weibliche Patientin im Alter von 9,3 Jahren. Sturz aus > 1 m Höhe vom Pferd. Geschlossene Typ-II- und Flexionsfraktur, keine Begleitverletzungen, pDMS intakt. Nach fünf Tagen konservativer Therapie in einer Oberarmgipsschale erfolgte der Therapiewechsel bei persistierenden Schmerzen. Stationäre Aufnahme für drei Tage. Die Fraktur wurde operativ mit einem Zugang von ulnar mit zwei ascendierenden gekreuzten K-Drähten von radial und ulnar in Bauchlage versorgt und anschließend im Gips/Gast immobilisiert. Postoperativ trat eine Hypästhesie am Digitus V, eine Irritation des N. ulnaris auf, die im protrahierten Verlauf rückläufig war. 49 Tage postoperativ wurde das Osteosynthesematerial entfernt. Nach der Materialentfernung zeigte sich ein Extensionsdefizit von > 30 ° und Supinationsdefizit von < 75 °. Insgesamt stellte sich der Patient elf Mal zur Kontrolle vor. Die Immobilisationszeit betrug 32 Tage. Nach 53 Tagen wurde die Behandlung abgeschlossen. Eine erneute Angabe zum Bewegungsumfang wurde nicht gemacht.

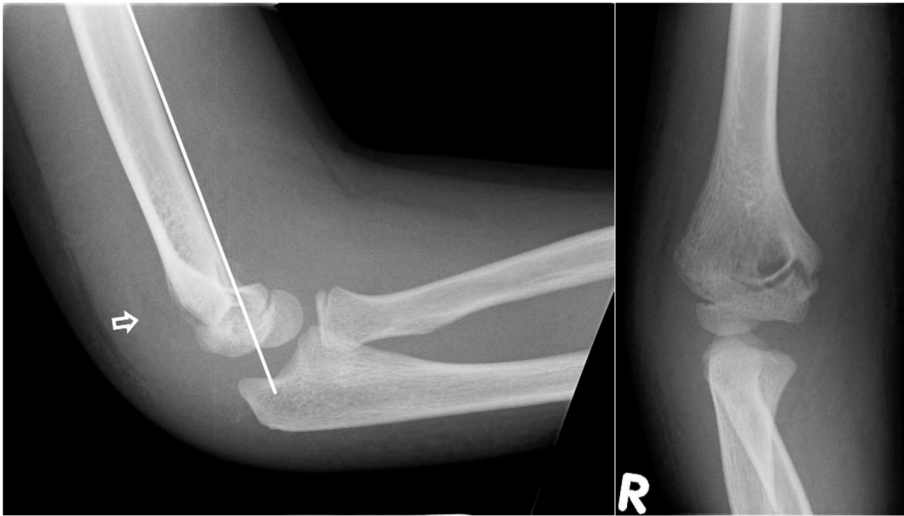


Abbildung 52: Fall 269: Röntgenbild vier Tage posttraumatisch

Konventionelles Röntgenbild des rechten Ellenbogens in zwei Ebenen, vier Tage nach dem Unfall, Immobilisation im Gips  
Pfeil: angedeutetes dorsales Fettpolsterzeichen. Linie: Rogers-Hilfslinie

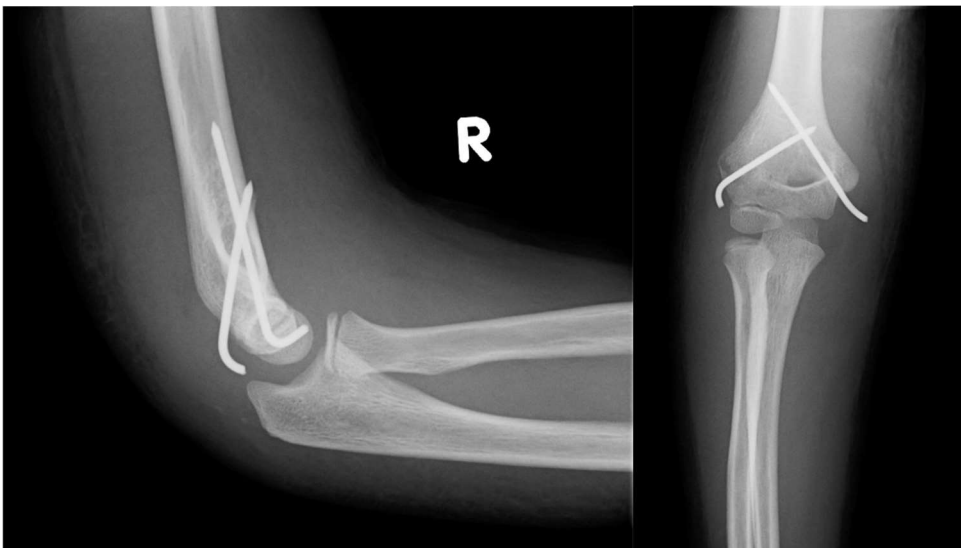


Abbildung 53: Fall 269: Röntgenbild zwei Tage postoperativ

Konventionelles Röntgenbild des rechten Ellenbogens in zwei Ebenen, zwei Tage postoperativ nach Versorgung mit zwei ascendierenden gekreuzten K-Drähten von radial und ulnar

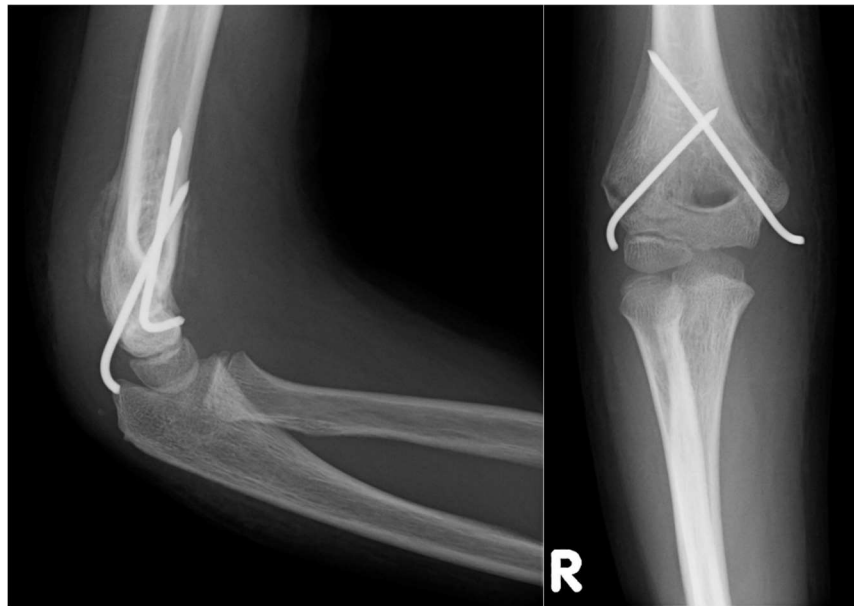


Abbildung 54: Fall 269: Röntgenbild 13 Tage postoperativ

Konventionelles Röntgenbild des rechten Ellenbogens in zwei Ebenen, 13 Tage postoperativ nach Versorgung mit zwei aufsteigenden gekreuzten K-Drähten von radial und ulnar

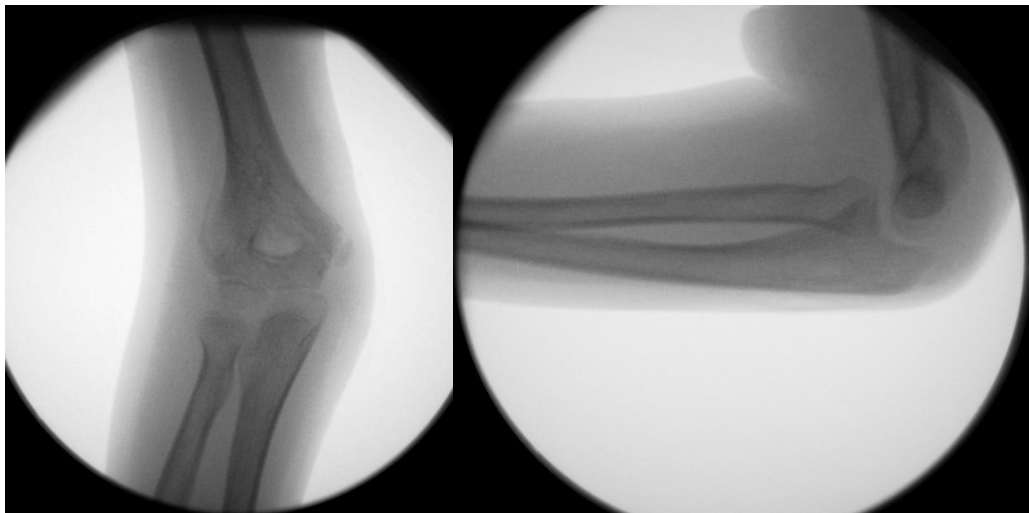


Abbildung 55: Fall 269: Bildwandlerkontrolle 49 Tage postoperativ

Bildwandlerkontrolle des rechten Ellenbogens in zwei Ebenen nach Metallentfernung, 49 Tage postoperativ

#### 6.4 Fall 189

Männlicher Patient im Alter von 2,9 Jahren. Sturz aus > 1 m Höhe beim Klettern. Geschlossene Typ-III-Fraktur, keine Begleitverletzungen, pDMS intakt. Primär stationäre und operative Versorgung am Unfalltag mit radialen und ulnaren Zugang und Fixation mit zwei ascendierenden gekreuzten K-Drähten in Rückenlage. Die stationäre Aufenthaltsdauer betrug drei Tage. Die Immobilisation erfolgte mittels Gipses/Cast für 22 Tage. Keine postoperativen Komplikationen. 68 Tage postoperativ wurde das Osteosynthesematerial entfernt. Insgesamt stellte sich der Patient acht Mal zur Kontrolle vor. Nach 85 Tagen erfolgte der Therapieabschlusstermin mit einem Extensionsdefizit von 10 ° und Flexionsdefizit von 5 °.

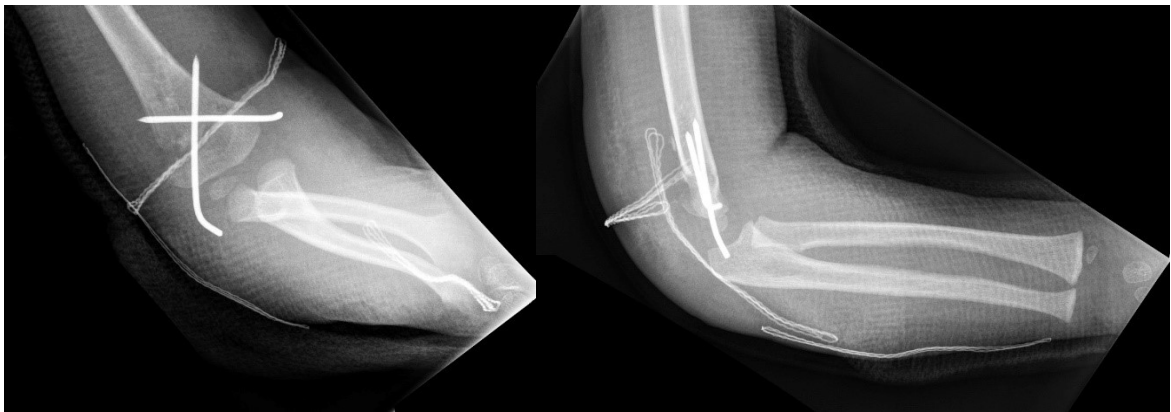


Abbildung 56: Fall 189: Röntgenbild zwei Tage postoperativ

Konventionelles Röntgenbild des rechten Ellenbogens in zwei Ebenen, zwei Tage postoperativ nach Versorgung mit zwei ascendierenden gekreuzten K-Drähten von radial und ulnar

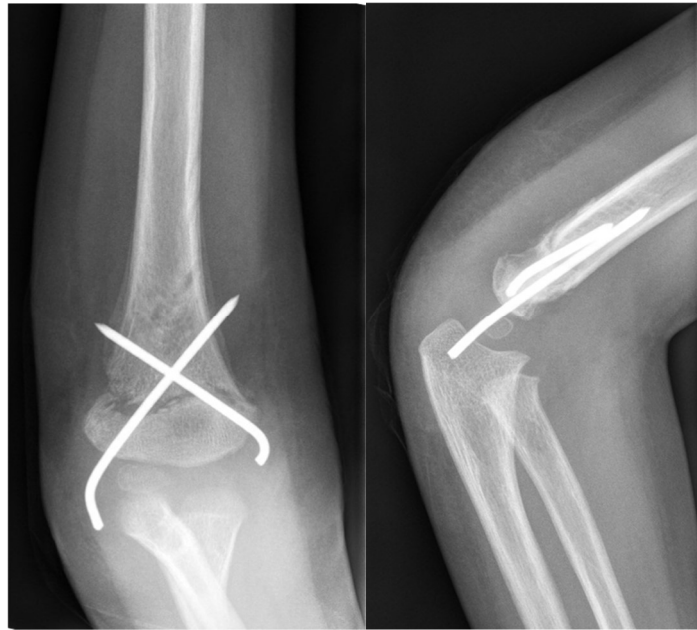


Abbildung 57: Fall 189: Röntgenbild 22 Tage postoperativ

Konventionelles Röntgenbild des rechten Ellenbogens in zwei Ebenen, 22 Tage postoperativ nach Versorgung mit zwei ascendierenden gekreuzten K-Drähten von radial und ulnar



Abbildung 58: Fall 189: Bildwandlerkontrolle 68 Tage postoperativ

Bildwandlerkontrolle des rechten Ellenbogens in zwei Ebenen nach Metallentfernung, 68 Tage postoperativ



## 6.5 Fall 301

Männlicher Patient im Alter von 4,75 Jahren. Sturz aus > 1 m Höhe beim Klettern im Kindergarten. Geschlossene Typ-IV-Fraktur, keine Begleitverletzungen, pDMS intakt. Primär stationäre und operative Versorgung am Unfalltag mit radialem Zugang und Fixation mit zwei ascendierenden gekreuzten K-Drähten in Bauchlage. Die stationäre Aufenthaltsdauer betrug vier Tage. Die Immobilisation erfolgte mittels Gipses/Cast für 28 Tage. Keine postoperativen Komplikationen. 28 Tage postoperativ wurde das Osteosynthesematerial entfernt. Insgesamt stellte sich der Patient fünf Mal zur Kontrolle vor. Nach 36 Tagen erfolgte der Therapieabschlusstermin mit einem Extensionsdefizit von <math>< 5^\circ</math>.

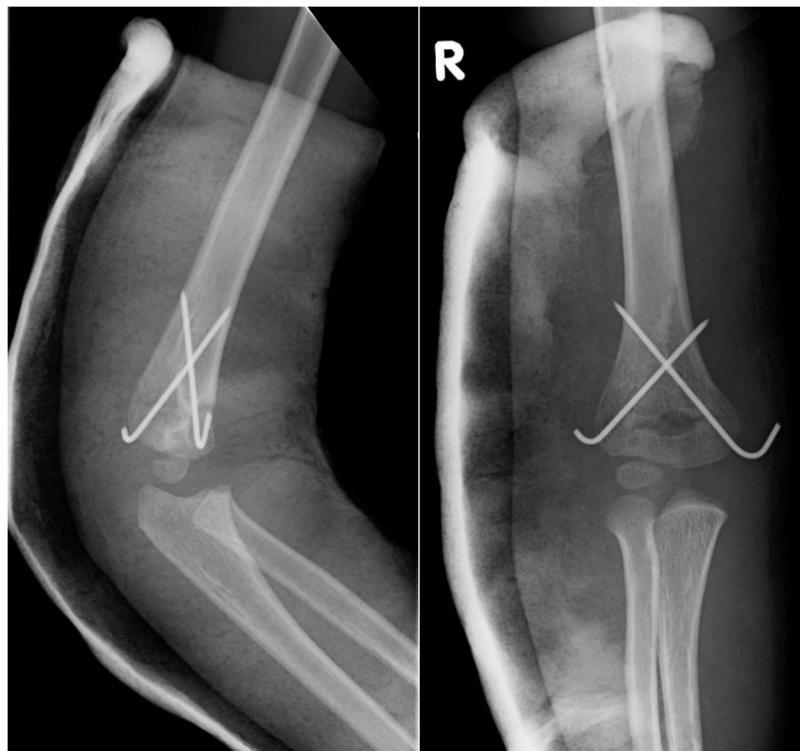


Abbildung 59: Fall 301: Röntgenbild zwei Tage postoperativ

Konventionelles Röntgenbild des rechten Ellenbogens in zwei Ebenen, zwei Tage postoperativ nach Versorgung mit zwei ascendierenden gekreuzten K-Drähten von radial und ulnar



Abbildung 60: Fall 301: Röntgenbild 22 Tage postoperativ

Konventionelles Röntgenbild des rechten Ellenbogens in zwei Ebenen, 22 Tage postoperativ nach Versorgung mit zwei aufsteigenden gekreuzten K-Drähten von radial und ulnar



Abbildung 61: Fall 301: Röntgenbild 36 Tage postoperativ

Konventionelles Röntgenbild des rechten Ellenbogens in zwei Ebenen nach Metallentfernung, 36 Tage postoperativ

## 7 Literaturverzeichnis

- Ackermann O, Hax PM, Lahner M, Eckert K (2015): Indikationen zur sonographischen Frakturdiagnostik von Frakturen im Wachstumsalter. *Trauma Berufskrankh* 17, 115-122
- Anari JB, Neuwirth AL, Carducci NM, Donegan DJ, Baldwin KD (2017): Pediatric T-condylar humerus fractures: A systematic review. *J Pediatr Orthop* 37, 36-40
- Audigé L, Hunter J, Weinberg A, Magidson J, Slongo T (2004): Development and evaluation process of a pediatric long-bone fracture classification proposal. *Eur J Trauma* 30, 248-254
- Ayubi N, Mayr JM, Sesia S, Kubiak R (2010): Treatment of lateral humeral condyle fractures in children. *Oper Orthop Traumatol* 22, 81-91
- Badelon O, Bensahel H, Mazda K, Vie P (1988): Lateral humeral condylar fractures in children: a report of 47 cases. *J Pediatr Orthop* 8, 31-34
- Bales JG, Spencer HT, Wong MA, Fong Y-J, Zionts LE, Silva M (2010): The effects of surgical delay on the outcome of pediatric supracondylar humeral fractures. *J Pediatr Orthop* 30, 785-791
- Ball CM, Galatz LM, Yamaguchi K (2002): Elbow instability: treatment strategies and emerging concepts. *Instr Course Lect* 51, 53-61
- Barr LV (2014): Paediatric supracondylar humeral fractures: epidemiology, mechanisms and incidence during school holidays. *J Child Orthop* 8, 167-170
- Baumann E: Ellenbogen. In: Nigst H (Hrsg.): Spezielle Frakturen- und Luxationslehre, Band II/1; Thieme, Stuttgart 1965
- Beaty JH, Kasser JR: The elbow: physeal fractures, apophyseal injuries of the distal humerus, osteonecrosis of the trochlea, and t-condylar fractures. In: Rockwood CA, Wilkins KE, Beaty JH, Kasser JR (Hrsg.): Rockwood and Wilkins' fractures in children. 6. Auflage; Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia 2006, 591-660
- Berenthal NM, Hoshino CM, Dichter D, Wong M, Silva M (2011): Recovery of elbow motion following pediatric lateral condylar fractures of the humerus. *J Bone Joint Surg Am* 93, 871-877
- Bloom T, Chen LY, Sabharwal S (2011): Biomechanical analysis of lateral humeral condyle fracture pinning. *J Pediatr Orthop* 31, 130-137
- Brauer CA, Lee BM, Bae DS, Waters PM, Kocher MS (2007): A systematic review of medial and lateral entry pinning versus lateral entry pinning for supracondylar fractures of the humerus. *J Pediatr Orthop* 27, 181-186
- Breitfuss H, Weinberg AM, Muhr G: Wachstumsphänomene bei Frakturen im Kindesalter: Spontankorrekturen und Wachstumsstörungen. In: Weinberg AM, Tscherne H (Hrsg.): Tscherne Unfallchirurgie: Unfallchirurgie im Kindesalter, Teil 1: Allgemeiner Teil, Kopf, obere Extremität, Wirbelsäule. 2. Auflage; Springer, Berlin Heidelberg 2006, 39-49
- Brudvik C, Hove LM (2003): Childhood fractures in Bergen, Norway: identifying high-risk groups and activities. *J Pediatr Orthop* 23, 629-34

- Buckup K, Buckup J: Klinische Tests an Knochen, Gelenken und Muskeln Untersuchungen - Zeichen - Phänomene. 5. Auflage; Thieme, Stuttgart New York 2012
- Cates RA, Mehlman CT (2012): Growth arrest of the capitellar physis after displaced lateral condyle fractures in children. *J Pediatr Orthop* 32, 57-62
- Dallek M, Mommsen U, Jungbluth KH, Kahl HJ (1985): Die suprakondyläre Humerusfraktur im Kindesalter, ihre Behandlung und Ergebnisse nach der Methode von Blount. *Unfallchirurgie* 11, 192-196
- Dreyfuss D, Eidelman M (2014): Treatment of complex intercondylar humeral fractures in adolescents by open reduction and internal fixation through the transolecranon approach. *J Pediatr Orthop B* 23, 364-368
- Dresing K (2012): Minimal-invasive Osteosynthesen. *Oper Orthop Traumatol* 24, 301-301
- Dresing K: Frakturheilung. In: Winker KH (Hrsg.): *Facharzt Orthopädie Unfallchirurgie*. Urban & Fischer, München 2011, 18-25
- Ducic S, Bumbasirevic M, Brdar R, Stojanovic B, Djordjevic M (2014): Paediatric T-condylar fractures of the humerus: Clinical experience and outcomes in 19 cases. *Injury* 45, 1876-1879
- Eberhardt O, Fernandez F, Ilchmann T, Parsch K (2007): Cross pinning of supracondylar fractures from a lateral approach. Stabilization achieved with safety. *J Child Orthop* 1, 127-133
- Eckert K, Ackermann O, Janssen N, Schweiger B, Radeloff E, Liedgens P (2014): Accuracy of the sonographic fat pad sign for primary screening of pediatric elbow fractures: a preliminary study. *J Med Ultrason* 41, 473-480
- Ellsäßer G, Diepgen TL (2002): Epidemiologische Analyse von Sturzunfällen im Kindesalter (< 15 Jahre) Konsequenzen für die Prävention: Konsequenzen für die Prävention. *Bundesgesundheitsbl-Gesundheitsforsch-Gesundheitsschutz* 45, 267-276
- Farnsworth CL, Silva PD, Mubarak SJ (1998): Etiology of supracondylar humerus fractures. *J Pediatr Orthop* 18, 38-42
- Farsetti P, Potenza V, Caterini R, Ippolito E (2001): Long-term results of treatment of fractures of the medial humeral epicondyle in children. *J Bone Joint Surg Am* 83, 1299-1305
- Felsenreich F (1931): Kindliche suprakondyläre Frakturen und posttraumatische Deformitäten des Ellbogengelenkes. *Arch Orthop Unfallchir* 29, 555-578
- Ferlic P, Zötsch S, Weinberg A (2012): Operationen am kindlichen Ellbogen. *OP-Journal* 28, 34-40
- Fernandez FF, Eberhardt O (2010): Klassifikationen von Frakturen im Kindesalter. *Trauma und Berufskrankh* 12, 323-328
- Fernandez FF, Eberhardt O (2012): Suprakondyläre Humerusfraktur bei Kindern. *Trauma und Berufskrankh* 14, 379-384
- Fernandez FF, Vatlach S, Wirth T, Eberhardt O (2018): Medial humeral condyle fracture in childhood: a rare but often overlooked injury. *Eur J Trauma Emerg Surg* 45, 757-761

- Finnbogason T, Karlsson G, Lindberg L, Mortensson W (1995): Nondisplaced and minimally displaced fractures of the lateral humeral condyle in children: a prospective radiographic investigation of fracture stability. *J Pediatr Orthop* 15, 422-425
- Flynn JC (1993): Displaced supracondylar fracture of the humerus in children: Technique of closed reduction and percutaneous pinning. *Oper Tech Orthop* 3, 121-127
- Fowles JV, Kassab MT (1980): Displaced fractures of the medial humeral condyle in children. *J Bone Joint Surg Am* 62, 1159-1163
- Fowles JV, Slimane N, Kassab MT (1990): Elbow dislocation with avulsion of the medial humeral epicondyle. *J Bone Joint Surg Br* 72, 102-104
- Gartland JJ (1959): Management of supracondylar fractures of the humerus in children. *Surg Gynec Obstet* 109, 145-154
- Gercek E, Nusselt T, Rothenbach E, Hartmann F (2015): Suprakondyläre Humerusfrakturen im Wachstumsalter. Operative Schwierigkeiten und mögliche Konsequenzen im Verlauf. *Trauma und Berufskrankh* 17, 260-264
- Grechenig W, Clement HG, Schatz B, Tesch NP (2002): Sonographie beim Trauma: Ellenbogen und Hand. *Orthopäde* 31, 271-277
- Green DW, Widmann RF, Frank JS, Gardner MJ (2005): Low incidence of ulnar nerve injury with crossed pin placement for pediatric supracondylar humerus fractures using a mini-open technique. *J Orthop Trauma* 19, 158-163
- Gogola GR (2006): Pediatric humeral condyle fractures. *Hand Clin* 22, 77-85
- Gupta N, Kay RM, Leitch K, Femino JD, Tolo VT, Skaggs DL (2004): Effect of surgical delay on perioperative complications and need for open reduction in supracondylar humerus fractures in children. *J Pediatr Orthop* 24, 245-248
- Hanlon CR, Estes WL (1954): Fractures in childhood, a statistical analysis. *Am J Surg* 87, 312-323
- Hasler CC (2001): Supracondylar fractures of the humerus in children. *Eur J Trauma* 27, 1-15
- Hasler CC, von Laer L (2001): Prevention of growth disturbances after fractures of the lateral humeral condyle in children. *J Pediatr Orthop B* 10, 123-130
- Hasler C, von Laer L (1998): Schraubenosteosynthese bei dislozierten Frakturen des Condylus radialis humeri im Wachstumsalter. Eine prospektive Langzeitstudie. *Unfallchirurg* 101, 280-286
- Hausman MR, Qureshi S, Goldstein R, Langford J, Klug RA, Radomisli TE, Parsons BO (2007): Arthroscopically-assisted treatment of pediatric lateral humeral condyle fractures. *J Pediatr Orthop* 27, 739-742
- Haxhija EQ, Mayr JM, Grechenig W, Höllwarth ME (2006): Treatment of medial epicondylar apophyseal avulsion injury in children. *Oper Orthop Traumatol* 18, 120-134
- Hefti F: *Kinderorthopädie in der Praxis*. 3. Auflage; Springer, Berlin Heidelberg 2015
- Holmberg L (1945): Fractures in the distal end of the humerus in children. *Acta Chir Scand Suppl* 1, 103-108

- Houshian S, Mehdi B, Larsen MS (2001): The epidemiology of elbow fracture in children: analysis of 355 fractures, with special reference to supracondylar humerus fractures. *J Orthop Sci* 6, 312-315
- Illian CH, Veigel B, Rixen D (2012): Versorgungsmöglichkeiten kindlicher Frakturen. Welche Verfahren stehen zur Verfügung? *Trauma und Berufskrankh* 14, 232-238
- Ippolito E, Moneta MR, D'Arrigo C (1990): Post-traumatic cubitus varus. Long-term follow-up of corrective supracondylar humeral osteotomy in children. *J Bone Joint Surg Am* 72, 757-765
- Jakob LV, Acklin YP, Furrer M, Sommer C (2013): Suprakondyläre Humerusfrakturen im Kindesalter. *Praxis (Bern 1994)* 102, 285-291
- Jakob R, Fowles JV, Rang M, Kassab MT (1975): Observations concerning fractures of the lateral humeral condyle in children. *J Bone Joint Surg Br* 57, 430-436
- Joeris A, Lutz N, Wicki B, Slongo T, Audigé L (2014): An epidemiological evaluation of pediatric long bone fractures - a retrospective cohort study of 2716 patients from two Swiss tertiary pediatric hospitals. *BMC Pediatr* 14, 314
- Joeris A, Lutz N, Blumenthal A, Slongo T, Audigé L (2017): The AO Pediatric Comprehensive Classification of Long Bone Fractures (PCCF) Part I: Location and morphology of 2,292 upper extremity fractures in children and adolescents. *Acta Orthop* 88, 123-128
- John SD, Wherry K, Swischuk LE, Phillips WA (1996): Improving detection of pediatric elbow fractures by understanding their mechanics. *Radiographics* 16, 1443-1460
- Jones IE, Williams SM, Dow N, Goulding A (2002): How many children remain fracture-free during growth? A longitudinal study of children and adolescents participating in the Dunedin Multidisciplinary Health and Development Study. *Osteoporos Int* 13, 990-995
- Julfiqar, Pant A, Huda N, Ahahmed W (2013): Closed reductions and percutaneous „K“ wire fixation for adolescent intercondylar fractures of the distal humerus. *J Clin Diagn Res* 7, 1666-1668
- Kamphaus A, Rapp M, Wessel M, Massalme E, Kaiser MM (2014): Epidemiologie von Frakturen der langen Röhrenknochen im Kindesalter-Prospektive Erfassung unter Berücksichtigung der LiLa-Klassifikation. *Päd* 20, 17-27
- Keats TE, Teeslink R, Diamond AE, Williams JH (1966): Normal axial relationships of the major joints. *Radiology* 87, 904-907
- Keppler P, Salem K, Schwarting B, Kinzl L (2005): The effectiveness of physiotherapy after operative treatment of supracondylar humeral fractures in children. *J Pediatr Orthop* 25, 314-316
- Khare GN, Gautam VK, Kochhar VL, Anand C (1991): Prevention of cubitus varus deformity in supracondylar fractures of the humerus. *Injury* 22, 202-206
- Kiderlen MJ, Schlickewei W (2008): Operationsverfahren bei intraartikulären distalen Humerusfrakturen im Wachstumsalter. *Oper Orthop Traumatol* 20, 423-434

- Knapik DM, Gilmore A, Liu RW (2017): Conservative management of minimally displaced ( $\leq 2$  mm) fractures of the lateral humeral condyle in pediatric patients: A systematic review. *J Pediatr Orthop* 37, 83-87
- Kraus R, Wessel (2010): The treatment of upper limb fractures in children and adolescents. *Dtsch Arztebl Int* 107, 903-910
- Kraus R, Schneidmüller D, Röder C (2005): Häufigkeit von Frakturen der langen Röhrenknochen im Wachstumsalter. *Dtsch Arztebl* 102, 838-842
- Kraus R, Berthold L, von Laer L (2007): Effiziente Bildgebung von Ellenbogenverletzungen bei Kindern und Jugendlichen. *Klin Pädiatrie* 219, 282-287
- Landin LA (1983): Fracture patterns in children. Analysis of 8682 fractures with special reference to incidence, etiology and secular changes in a Swedish urban population 1950-1979. *Acta Orthop Scand Suppl* 202, 1-109
- Landin LA (1997): Epidemiology of children's fractures. *J Pediatr Orthop B* 6, 79-83
- Landin LA, Danielsson LG (1986): Elbow fractures in children: An epidemiological analysis of 589 cases. *Acta Orthop Scand* 57, 309-312
- Larson AN, Garg S, Weller A, Fletcher ND, Schiller JR, Kwon M, Browne R, Copley LA, Ho CA (2014): Operative treatment of type II supracondylar humerus fractures: Does time to surgery affect complications? *J Pediatr Orthop* 34, 382-387
- Launay F, Leet AI, Jacopin S, Jouve JL, Bollini G, Sponseller PD (2004): Lateral humeral condyle fractures in children: a comparison of two approaches to treatment. *J Pediatr Orthop* 24, 385-391
- Lee HH, Shen HC, Chang JH, Lee CH, Wu SS (2005): Operative treatment of displaced medial epicondyle fractures in children and adolescents. *J Shoulder Elbow Surg* 14, 178-185
- Leet AI, Young C, Hoffer MM (2002): Medial condyle fractures of the humerus in children. *J Pediatr Orthop* 22, 2-7
- Lehner M, Schuster B, Dietz HG (2014): Strategies in the treatment of supracondylar fractures of the humerus in children - proven and controversial. *Zentralbl Chir* 139, 613-620
- Letsch R, Schmit-Neuerburg KP: Allgemeines. In: Schmit-Neuerburg KP, Towfigh H, Letsch R (Hrsg.): *Tscherne Unfallchirurgie, Band 1: Ellenbogen, Unterarm*. Springer, Berlin Heidelberg 2001, 1-10
- Louahem DM, Nebunescu A, Canavese F, Dimeglio A (2006): Neurovascular complications and severe displacement in supracondylar humerus fractures in children: defensive or offensive strategy? *J Pediatr Orthop B* 15, 51-57
- Louahem DM, Bourelle S, Buscayret F, Mazeau P, Kelly P, Dimeglio A, Cottalorda J (2010): Displaced medial epicondyle fractures of the humerus: surgical treatment and results. A report of 139 cases. *Arch Orthop Trauma Surg* 130, 649-655
- Lubinus F (1924): Über den Entstehungsmechanismus und die Therapie der suprakondylären Humerusfraktur. *Dtsch Z Chir* 186, 289-350

Lutz N, Audigé L, Schmittenebecher P, Clavert JM, Frick S, Slongo T (2011): Diagnostic algorithm for a validated displacement grading of pediatric supracondylar fractures. *J Pediatr Orthop* 31, 117-123

Marsh JL, Slongo TF, Agel J, Broderick JS, Creevey W, DeCoster TA, Prokuski L, Sirkin MS, Ziran B, Henley B, Audigé L (2007): Fracture and dislocation classification compendium - 2007: Orthopaedic Trauma Association classification, database and outcomes committee. *J Orthop Trauma* 21, 1-133

Marzi I: Grundlagen der operativen Frakturbehandlung. In: Dietz HG, Illing P, Schmittenebecher PP, Slongo T, Sommerfeldt DW (Hrsg.): Praxis der Kinder- und Jugendtraumatologie. Springer, Heidelberg 2011, 99-114

May DA, Disler DG, Jones EA, Pearce DA (2000): Using sonography to diagnose an unossified medial epicondyle avulsion in a child. *AJR Am J Roentgenol* 174, 1115-1117

McRae B, Nusem I (2018): Temporal characteristics of paediatric supracondylar humerus fractures. *Trauma* 20, 208-216

Mohan N, Hunter JB, Colton CL (2000): The posterolateral approach to the distal humerus for open reduction and internal fixation of fractures of the lateral condyle in children. *J Bone Joint Surg Br* 82, 643-645

Morrey BF, Askew LJ, Chao EY (1981): A biomechanical study of normal functional elbow motion. *J Bone Joint Surg Am* 63, 872-877

Morrey BF, Llusá-Pérez M, Ballesteros-Betancourt JR: Anatomy of the Elbow Joint. In: Morrey BF, Sanchez-Sotelo J, Morrey ME (Hrsg.): *Morrey's The Elbow and Its Disorders*. 5. Auflage; Elsevier, Philadelphia 2018, 9-32

Müller ME, Nazarian S, Koch P, Schatzker J: The Comprehensive classification of fractures of long bones. Springer, Berlin Heidelberg New York 1990

Müller-Mai C, David S, Ekkernkamp A (2006): Diagnostik kindlicher Frakturen. *Trauma Berufskrankh* 8, 28-37

Müller EJ (2005): Frakturen des Oberarms im Wachstumsalter. *Trauma Berufskrankh* 7, 19-28

Mulpuri K, Wilkins K (2012): The treatment of displaced supracondylar humerus fractures: evidence-based guideline. *J Pediatr Orthop* 32, 143-152

Nuber S, Plath J, Förch S, Mayr E (2018): Distale Humerusfrakturen beim Kind. *OP-Journal* 34, 279–288

Oetgen ME, Mirick GE, Atwater L, Lovejoy JF (2015): Complications and Predictors of Need for Return to the Operating Room in the Treatment of Supracondylar Humerus Fractures in Children. *Open Orthop J* 9, 139-142

Papavasiliou V, Nenopoulos S, Venturis T (1987): Fractures of the medial condyle of the humerus in childhood. *J Pediatr Orthop* 7, 421-423

Paraskevas G, Papadopoulos A, Papaziogas B, Spanidou S, Argiriadou H, Gigis J (2004): Study of the carrying angle of the human elbow joint in full extension: a morphometric analysis. *Surg Radiol Anat* 26, 19-23



Parsch K: Ellenbogengelenk. Suprakondyläre Fraktur In: Dietz HG, Illing P, Schmittenebecher PP, Slongo T, Sommerfeldt DW (Hrsg.): Praxis der Kinder- und Jugendtraumatologie. Springer, Heidelberg 2011, 277-290

Pathy R, Dodwell ER (2015): Medial epicondyle fractures in children. *Curr Opin Pediatr* 27, 58-66

Pirker ME, Weinberg AM, Höllwarth ME, Haberlik A (2005): Subsequent displacement of initially nondisplaced and minimally displaced fractures of the lateral humeral condyle in children. *J Trauma* 58, 1202-1207

Popkin CA, Rosenwasser KA, Ellis HB (2017): Pediatric and adolescent T-type distal humerus fractures. *J Am Acad Orthop Surg Glob Res Rev* 1, e040

Pretell-Mazzini J, Rodriguez-Martin J, Andres-Esteban EM (2010): Does open reduction and pinning affect outcome in severely displaced supracondylar humeral fractures in children? A systematic review. *Strat Traum Limb Recon* 5, 57-64

Pschyrembel W: Pschyrembel Klinisches Wörterbuch. 263. Auflage; De Gruyter, Berlin 2012

Rabiner JE, Khine H, Avner JR, Friedman LM, Tsung JW (2013): Accuracy of point-of-care ultrasonography for diagnosis of elbow fractures in children. *Ann Emerg Med* 61, 9-17

Re PR, Waters PM, Hresko T (1999): T-condylar fractures of the distal humerus in children and adolescents. *J Pediatr Orthop* 19, 313-318

Richter S, Schlag B, Schupp A: Zum Einfluss entwicklungspsychologischer Besonderheiten des Kindes- und Jugendalters auf die Unfallgefährdung. In: Schlag B, Roesner D, Zwipp H, Richter S (Hrsg.): Kinderunfälle. VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden 2006, 25-35

Rogers LF, Malave S, White H, Tachdjian MO (1978): Plastic bowing, torus and greenstick supracondylar fractures of the humerus: radiographic clues to obscure fractures of the elbow in children. *Radiology* 128, 145-150

S1-Leitlinie (2014): Suprakondyläre Humerusfraktur beim Kind.

[https://www.awmf.org/uploads/tx\\_szleitlinien/012-](https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/012-014I_Suprakondyläre_Humerusfraktur_Kind-2014-12.pdf)

[014I\\_Suprakondyläre\\_Humerusfraktur\\_Kind-2014-12.pdf](https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/012-014I_Suprakondyläre_Humerusfraktur_Kind-2014-12.pdf); abgerufen am 30.10.2018

S2k-Leitlinie (2015): Intraartikuläre Frakturen des distalen Humerus im Kindesalter.

[https://www.awmf.org/uploads/tx\\_szleitlinien/006-](https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/006-126I_S2k_Intraartikuläre_Frakturen_distaler_Humerus_2015-03-verlaengert.pdf)

[126I\\_S2k\\_Intraartikuläre\\_Frakturen\\_distaler\\_Humerus\\_2015-03-verlaengert.pdf](https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/006-126I_S2k_Intraartikuläre_Frakturen_distaler_Humerus_2015-03-verlaengert.pdf);

abgerufen am 30.10.2018

Salvador J, Nuñez JH, Veloso M, Castellón P, Angles F (2020): Newcastle approach for the treatment of supra-intercondylar fractures in children. *Trauma Case Rep* 25, 100270

Saß AC, Poethko-Müller C, Rommel A (2014): Das Unfallgeschehen im Kindes- und Jugendalter - Aktuelle Prävalenzen, Determinanten und Zeitvergleich. *Bundesgesundheitsbl* 57, 789-797

Sawyer JR und Beaty JH: Lateral condylar and capitellar fractures of the distal humerus. In: Flynn JM, Skaggs DL, Waters PM (Hrsg.): Rockwood and Wilkins' fractures in children. 8. Auflage; Wolters Kluwer Health, Philadelphia 2015, 629-650

- Schlitz RS, Schwertz JM, Eberhardt AW, Gilbert SR (2015): Biomechanical analysis of screws versus k-wires for lateral humeral condyle fractures. *J Pediatr Orthop* 35, 93-97
- Schneidmueller D, Kertai M, Bühren V, von Rüden C (2018): Kirschner wire osteosynthesis for fractures in childhood: bury wires or not? Results of a survey on care reality in Germany. *Unfallchirurg* 121, 817-824
- Schneidmüller D, Röder C, Kraus R, Marzi I, Kaiser M, Dietrich D, von Laer L (2011): Development and validation of a paediatric long-bone fracture classification. A prospective multicentre study in 13 European paediatric trauma centres. *BMC Musculoskelet Disord* 12, 89
- Schünke M, Schulte E, Schumacher U, Voll M, Wesker K: Prometheus Lernatlas der Anatomie. Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem. 3. Auflage; Thieme, Stuttgart New York 2011
- Shirley E, Anderson M, Neal K, Mazur J (2015): Screw fixation of lateral condyle fractures: results of treatment. *J Pediatr Orthop* 35, 821-824
- Shrader MW (2008): Pediatric supracondylar fractures and pediatric physeal elbow fractures. *Orthop Clin North Am* 39, 163-171
- Shore B und Waters PM: T-Condylar distal humerus fractures. In: Flynn JM, Skaggs DL, Waters PM (Hrsg.): Rockwood and Wilkins' fractures in children. 8. Auflage; Wolters Kluwer Health, Philadelphia 2015, 701-724
- Skaggs DL, Hale JM, Bassett J, Kaminsky C, Kay RM, Tolo VT (2001): Operative treatment of supracondylar fractures of the humerus in children. The consequences of pin placement. *J Bone Joint Surg Am* 83, 735-740
- Skaggs DL, Sankar WN, Albrektson J, Vaishnav S, Choi PD, Kay RM (2008): How safe is the operative treatment of Gartland type 2 supracondylar humerus fractures in children?. *J Pediatr Orthop* 28, 139-141
- Slongo T (2018): Tipps zur Versorgung der suprakondylären Humerusfraktur. Diagnostik, Beurteilung und Behandlung beim Kind. *Trauma Berufskrankh* 20, 82-92
- Slongo TF (2005): The choice of treatment according to the type and location of the fracture and the age of the child. *Injury* 36, 12-19
- Slongo T, Audigé L, AO Pediatric Classification Group (2007a): AO Pediatric Comprehensive Classification of Long-Bone Fractures (PCCF). Copyright © 2010 by AO Foundation, Schweiz  
→<https://surgeryreference.aofoundation.org/orthopedic-trauma/pediatric-trauma/essential-concepts-in-pediatric-fracture-care/classification-of-childrens-fractures?searchurl=%2fSearchResults#morphology>, abgerufen am 30.10.2018
- Slongo TF, Audigé L, AO Pediatric Classification Group (2007b): Fracture and dislocation classification compendium for children: the AO pediatric comprehensive classification of long bone fractures (PCCF). *J Orthop Trauma* 21, 135-160
- Slongo T, Audigé L, Schlickewei W, Clavert JM, Hunter J (2006): Development and validation of the AO pediatric comprehensive classification of long bone fractures by the Pediatric Expert Group of the AO Foundation in collaboration with AO Clinical Investigation and Documentation and the International Association for Pediatric Traumatology. *J Pediatr Orthop* 26, 43-49

- Slongo T, Schmid T, Wilkins K, Joeris A (2008): Lateral external fixation - a new surgical technique for displaced unreducible supracondylar humeral fractures in children. *J Bone Joint Surg Am* 90, 1690-1697
- Smith JT, McFeely ED, Bae DS, Waters PM, Micheli LJ, Kocher MS (2010): Operative fixation of medial humeral epicondyle fracture nonunion in children. *J Pediatr Orthop* 30, 644-648
- Song KS, Kang CH, Min BW, Bae KC, Cho CH, Lee JH (2008): Closed reduction and internal fixation of displaced unstable lateral condylar fractures of the humerus in children. *J Bone Joint Surg Am* 90, 2673-2681
- Stans AA, Lawrence TR: Dislocations of the elbows, medial epicondylar humerus fractures. In: Flynn JM, Skaggs DL, Waters PM (Hrsg.): *Rockwood and Wilkins' fractures in children*. 8. Auflage; Wolters Kluwer Health, Philadelphia 2015, 652
- Tejwani N, Phillips D, Goldstein RY (2011): Management of lateral humeral condylar fracture in children. *J Am Acad Orthop Surg* 19, 350-358
- Ulmar B, Brunner A, Kocak T, Schwarz J, Stöckle U, Mittlmeier T, Stuby F, Freude T (2012): Results of surgically treated paediatric supracondylar humeral fractures. *Z Orthop Unfall* 150, 488-494
- Ulmar B, Brunner A, Schwarz J, Kocak T, Stöckle U, Mittlmeier T, Stuby F, Freude T (2013): Clinical results of surgically treated paediatric fractures of the medial humeral epicondyle. *Z Orthop Unfall* 151, 52-56
- Ulrich D, Marzi I: Pathologien im Kindesalter, Frakturen und Luxationen. In: Müller LP, Hollinger B, Burkhart K (Hrsg.): *Expertise Orthopädie und Unfallchirurgie. Ellenbogen*. Thieme, Stuttgart New York 2016, 107-140
- Vocke-Hell AK, Schmid A (2001): Sonographic differentiation of stable and unstable lateral condyle fractures of the humerus in children. *J Pediatr Orthop B* 10, 138-141
- von Laer L (1979): Die supracondyläre Humerusfraktur im Kindesalter. *Arch Orthop Traumat Surg* 95, 123-140
- von Laer LR (1997): Der radiale Fixateur externe zur Behandlung suprakondylärer Humerusfrakturen im Wachstumsalter. *Oper Orthop Traumatol* 9, 265-276
- von Laer LR (1998): Die Fraktur des Condylus radialis humeri im Wachstumsalter. *Unfallchirurg* 101, 271-279
- von Laer L (2004): Korrekturingriffe am kindlichen Ober- und Unterarm. *Unfallchirurg* 107, 552-562
- von Laer L (2005): Frakturen im Wachstumsalter. Wandel in der Behandlung in den letzten 30 Jahren. *Trauma Berufskrankh* 7, 6-10
- von Laer L: Knochenwachstum und Knochenheilung. In: Marzi I (Hrsg.): *Kindertraumatologie*. 3. Auflage; Springer, Berlin Heidelberg 2016, 3-12
- von Laer L, Kraus R (2007): Die konservative Behandlung von Frakturen der langen Röhrenknochen im Wachstumsalter. *Unfallchirurg* 110, 811-823

- von Laer L, Gruber R, Dallek M, Dietz HG, Kurz W, Linhart W, Marzi I, Schmittenebecher P, Slongo T, Weinberg A, Wessel (2000): Classification and documentation of children's fractures. *Eur J Trauma* 26, 2-14
- von Laer L, Günter SM, Knopf S, Weinberg AM (2002): Die suprakondyläre Oberarmfraktur im Kindesalter - eine Effizienzstudie. Ergebnisse der multizentrischen Studie der Sektion Kindertraumatologie der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie - Teil II: Aufwand und Nutzen der Behandlung. *Unfallchirurg* 105, 217-223
- von Laer L, Kraus R, Linhart WE: Frakturen und Luxationen im Wachstumsalter. 5. Auflage; Thieme, Stuttgart 2007
- von Laer L, Kraus R, Linhart WE: Frakturen und Luxationen im Wachstumsalter. 6. Auflage; Thieme, Stuttgart 2012
- Wang X, Feng C, Wan S, Bian Z, Zhang J, Song M, Shao J, Yang X (2012): Biomechanical analysis of pinning configurations for a supracondylar humerus fracture with coronal medial obliquity. *J Pediatr Orthop B* 21, 495-498
- Wegmann K, Burkhart KJ, Müller LP: Anatomie und Biomechanik, Chirurgische Anatomie. In: Müller LP, Hollinger B, Burkhart K (Hrsg.): Expertise Orthopädie und Unfallchirurgie. Ellenbogen. Thieme, Stuttgart New York 2016, 16-54
- Weinberg AM, Bismarck SV, Castellani C, Mayr J (2003): Deszendierende intramedulläre Nagelung zur Behandlung dislozierter suprakondylärer Oberarmfrakturen im Kindesalter. *Der Chir* 74, 432-436
- Weinberg AM, Castellani C: Distaler Oberarm - Suprakondyläre Oberarmfraktur. In: Weinberg AM, Tscherne H (Hrsg.): Tscherne Unfallchirurgie: Unfallchirurgie im Kindesalter, Teil 1: Allgemeiner Teil, Kopf, obere Extremität, Wirbelsäule. 2. Auflage; Springer, Berlin Heidelberg 2006, 217-219
- Weinberg AM, Fischerauer E, Castellani C (2008): Frakturen der oberen Extremität beim Kind. Teil I: Schulter, Humerus und Ellenbogengelenk. *Orthopädie und Unfallchirurgie update* 3, 1-20
- Weinberg AM, Marzi I, Günter SM, Wessel, Riedel J, von Laer L (2002): 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* 105, 208-216
- Weise K, Schwab E, Scheufele TM (1997): Ellenbogenverletzungen im Kindesalter. *Unfallchirurg* 100, 255-269
- Wenzl ME, Raimund F, Fuchs S, Paech A, Jürgens C (2007): Fractures of the distal humerus. *Trauma Berufskrankh* 9, 183-191
- Wessel (1998): Diagnostik der supracondylären Oberarmfraktur. Hefte zur Zeitschrift „Der Unfallchirurg“ 272, 598-607
- Wessel M, Günter SM, Jablonski M, Sinnig M, Weinberg AM (2003): Wie lässt sich die Wachstumsprognose nach kindlicher suprakondylärer Humerusfraktur erfassen? *Orthopäde* 32, 824-832
- Wilkins KE (2005): Principles of fracture remodeling in children. *Injury* 36, 3-11

Zionts LE, McKellop HA, Hathaway R (1994): Torsional strength of pin configurations used to fix supracondylar fractures of the humerus in children. *J Bone Joint Surg Am* 76, 253-256

Zionts LE, Woodson CJ, Manjra N, Zalavras C (2009): Time of return of elbow motion after percutaneous pinning of pediatric supracondylar humerus fractures. *Clin Orthop Relat Res* 467, 2007-2010

## **Danksagung**

An dieser Stelle möchte ich allen Personen danken, die mich bei der Anfertigung und Bearbeitung meiner Dissertation unterstützt haben.

Ein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. med. Klaus Dresing für die Überlassung des Dissertationsthemas, die hervorragende Betreuung sowie dem geduldigen Umgang und die Unterstützung bei der Fertigstellung der Arbeit.

Bedanken möchte ich mich an dieser Stelle auch bei den Mitarbeitern des Zentralarchivs der Universitätsklinik Göttingen, ohne die eine umfassende Erhebung der Daten nicht möglich gewesen wäre.