

Aus der Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie  
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf  
Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Joachim Windolf

**Ein-, fünf- und zehn-Jahres Outcome nach dislozierter  
suprakondylärer Humerusfraktur im Kindesalter evaluiert anhand  
der klinischen Funktion sowie der Lebensqualität**

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin  
der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

vorgelegt von

**Judith Sophie Kortenhorn**

2024

Als Inauguraldissertation gedruckt mit der Genehmigung der  
Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

gez.:

Dekan: Univ.-Prof. Dr. med. Nikolaj Klöcker

Erstgutachter: Prof. Dr. med. Simon Thelen

Zweitgutachter: Prof. Dr. med. Frank Pillekamp

Meinen Eltern

## Zusammenfassung

Die suprakondyläre Humerusfraktur (SCHF) stellt die häufigste Fraktur im Bereich des Ellenbogens im Wachstumsalter dar. Ziel der Therapie ist eine anatomische Reposition der Fraktur, um Wachstumsstörungen mit Langzeitfolgen zu vermeiden. Während wenig oder gering dislozierte Frakturen mit guten Ergebnissen konservativ behandelt werden können, rücken mit zunehmendem Dislokationsgrad operative Therapieverfahren in den Vordergrund. Insbesondere bei dislozierten Frakturen mit nachfolgender Operation werden funktionelle Einschränkungen, Wachstumsstörungen sowie Einbußen in der Lebensqualität beschrieben. Ziel dieser Studie ist die Evaluation der klinischen Funktion und der psychosozialen Situation zu unterschiedlichen Zeiträumen nach operativer Versorgung von SCHF im Kindes- und Jugendalter, um das Auftreten potentieller Auffälligkeiten zeitlich einordnen und somit zukünftig adressieren zu können.

Im Rahmen einer prospektiven, klinischen Studie wurden Kinder und Jugendliche aus zwei Kliniken eingeschlossen, welche eine SCHF erlitten (ICD S42.21) und mittels geschlossener oder offener Reposition und Kirschner-Draht (K-Draht)-Osteosynthese versorgt wurden. Um postoperative Auffälligkeiten definierten Zeitintervallen präziser zuordnen zu können, erfolgte die Einteilung in drei zeitliche Subgruppen (1 Jahr, 5 Jahre oder 10 Jahre nach Operation). Neben der Erfassung epidemiologischer Daten wurden auch frakturbezogene Faktoren (z.B. Frakturseite, Unfallhergang, Frakturklassifikation nach von Laer) dokumentiert. Weiterhin erfolgte die Auswertung operationsspezifischer Daten wie Operationszeitpunkt, -dauer, Repositionsverfahren, Anzahl und Stärke der K-Drähte und Lage der Drahtenden im Verhältnis zum Hautniveau. Die Analyse der klinischen Funktion erfolgte mittels *Mayo Elbow Performance Score* (MEPS), Kubitalwinkel und *Range of Motion*. Die postoperative *Quality of Life* wurde mithilfe des altersadaptierten KINDL-Fragebogens quantifiziert. Die statistische Auswertung gelang bei vorliegender Normalverteilung über den t-Test, bei non-parametrischen Daten über den Wilcoxon-Test sowie vergleichend innerhalb der drei Subgruppen mittels Kruskal-Wallis-Test.

Es konnten 55 junge Patient\*innen (33 männliche, 22 weibliche) in die Studie eingeschlossen werden. In 39 Fällen gelang eine geschlossene Reposition mit anschließender perkutaner K-Draht-Osteosynthese (offene Reposition: n=16). Bei 38 Betroffenen wurden zwei gekreuzte K-Drähte eingebracht (> 2 K-Drähte: n=17), welche bei der Mehrheit epikutan (n=40) verblieben. Das funktionelle Bewegungsmaß zeigte im 1-Jahres *Follow-Up* signifikante Einschränkungen der Extensionsbewegung (p=0,016) sowie des klinischen Kubitalwinkels (p=0,013) des betroffenen Ellengelenkes zur gesunden Gegenseite. Im 5-Jahres (Extension: p = 0,331, Flexion: p = 0,068) und 10-Jahres *Follow-Up* (Extension: p = 0,379, Flexion: p = 0,89) zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zur unverletzten Gegenseite. In 16,4% der Fälle konnten im Langzeitverlauf Sensibilitätsstörungen im Versorgungsgebiet des Nervus ulnaris beobachtet werden. Die Auswertung des klinischen MEPS zeigte allerdings weit überwiegend exzellente (94,5%) und gute (5,5%) Resultate zu allen drei Nachuntersuchungszeitpunkten.

Resümierend zeigten die Studienergebnisse ein Jahr nach operativ versorgter SCHF einen signifikanten Unterschied der Extensionsfähigkeit sowie des klinischen Kubitalwinkels zwischen betroffener und gesunder Armseite. Diese signifikanten Differenzen ergaben jedoch keinerlei Auswirkungen auf die klinische Gesamtfunktion oder die Lebensqualität. Die initialen Einschränkungen sind im Langzeitverlauf nicht mehr nachzuweisen. Das Einführen einer Nachuntersuchung zu einem definierten Zeitpunkt erscheint aufgrund der vorliegenden Daten nicht notwendig, da die detektierten Auffälligkeiten keinem Zeitschema folgen. Zusammenfassend ist die SCHF eine häufige, herausfordernde Verletzung des Heranwachsenden, welche bei adäquater Therapie gute Kurz- und Langzeitergebnisse liefert.

## Abstract

The supracondylar humerus fracture (SCHF) is the most common fracture of the elbow in the growing age. The aim of therapy is an anatomical reduction of the fracture in order to avoid growth disorders with long-term consequences. While fractures with little or no dislocation can be treated conservatively with good results, surgical treatment methods come to the fore as the degree of dislocation increases. Especially in the case of dislocated fractures with subsequent surgery, functional limitations, growth disturbances as well as losses in the quality of life are described. The aim of this study is to evaluate the clinical function and psychosocial impact at different time periods after surgical treatment of SCHF in children and adolescents, in order to be able to classify the occurrence of potential abnormalities in time and thus address them in the future.

In a prospective clinical study, children and adolescents from two hospitals (level III and level II) were included who had suffered a SCHF (ICD S42.21) and were treated with closed or open reduction and Kirschner-wire stabilization. In order to assign postoperative abnormalities to specific time intervals, patients were divided into three subgroups according to a certain postoperative time course (1 year, 5 or 10 years after surgery). In addition to recording epidemiological data, fracture-related factors (e.g. fracture side, cause of accident, fracture classification according to von Laer) were also documented. Furthermore, the evaluation of operation-specific data such as time point of operation, duration of operation, reduction procedure, number and strength of Kirschner-wires and position of the wire ends in relation to the skin level was carried out. The analysis of clinical function is based on the Mayo Elbow Performance Score (MEPS), relevant angles and range of motion. Postoperative quality of life was quantified using the age-adjusted KINDL questionnaire. Statistical analysis was performed using the t-test for normal distribution, the Wilcoxon test for non-parametric data and the Kruskal-Wallis-test for comparisons within the three subgroups.

55 young patients (33 male persons, 22 female persons) were included in the study. In 39 cases, surgical treatment was successful by means of closed reduction and subsequent percutaneous osteosynthesis with Kirschner-wires (open reduction: n=16). In 38 patients, two crossed K-wires were inserted (> 2 K-wires: n=17). In the majority the wire ends remained epicutaneously (n=40), in the remaining cases the wires were sunk below skin level. The functional range of motion at 1-year follow-up showed significant limitations in extension motion (p=0.016) and clinical cubital angle (p=0.013) of the affected elbow joint in comparison to the healthy arm side. The 5-year follow-up (extension: p=0.331, flexion: p=0.068) and 10-year follow-up (extension: p=0.379, flexion: p=0.89) showed no significant difference compared to the uninjured side. It was striking that in 16,4% of the cases, sensory disturbances in the ulnar nerve area could also be observed in the long-term follow-up. The evaluation of the MEPS showed predominantly excellent (94.5%) and good (5.5%) results in all three subgroups.

In summary, the study results showed a significant difference in extension ability and clinical cubital angle between the affected and healthy side of the arm one year after surgically treated SCHF. However, these significant differences had no effect on overall clinical function or quality of life. Initial limitations could no longer be detected in the long-term course. The introduction of a follow-up examination at a defined point in time does not appear to be necessary based on the available data, as the detected abnormalities do not follow a time pattern. In summary, SCHF is a frequent and challenging injury of the children and adolescents that provides good short- and long-term results when treated adequately.

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 01: Schematische Darstellung der radiologischen Hilfslinien (aus [1]).	4
Abb. 02: Frakturklassifikation (aus [1]).	5
Abb. 03: Repositionstechnik der suprakondylären Oberarmfraktur (aus [1]).	6
Abb. 04: Epikutane Lage der Drahtenden zweier K-Drähte nach offener Reposition bei suprakondylärer Humerusfraktur links.	7
Abb. 05: Reposition mithilfe von zwei gekreuzten Kirschner-Drähten und Belassen der Drähte außerhalb des Hautniveaus (aus [1]).	7
Abb. 06: Röntgenologische Frakturklassifikation (aus [1]).	12
Abb. 07: Flowchart eingeschlossener Patienten in die <i>Follow-up</i> Untersuchungen.	15
Abb. 08: Klinische Präsentation und Narbenbildung nach offener Reposition.	23
Abb. 09: Klinische Präsentation einer Affektion des N. interosseus/medianus (Kiloh-Nevin-Syndrom) bei suprakondylärer Humerusfraktur links.	26
Abb. 10: Klinische Präsentation multipler punktförmige Narben um Hauptnarbe.	28
Abb. 11: KINDL-Fragebogen – Gesamtauswertung Kinder und Jugendliche.	32
Abb. 12: KINDL-Fragebogen – Gesamtauswertung Erziehungsberechtigte.	33
Abb. 13: KINDL-Fragebogen – 1-Jahres-Kohorte Kinder und Jugendliche.	33
Abb. 14: KINDL-Fragebogen – 1-Jahres-Kohorte Erziehungsberechtigte.	34
Abb. 15: KINDL-Fragebogen – 5-Jahres-Kohorte Kinder und Jugendliche.	34
Abb. 16: KINDL-Fragebogen – 5-Jahres-Kohorte Erziehungsberechtigte.	35
Abb. 17: KINDL-Fragebogen – 10-Jahres-Kohorte Kinder und Jugendliche.	35
Abb. 18: KINDL-Fragebogen – 10-Jahres-Kohorte Erziehungsberechtigte.	36

## Tabellenverzeichnis

Tab. 01: Klassifikation nach von Laer (aus [2]).	5
Tab. 02: Allgemeine Patientendaten.	18-20
Tab. 03: <i>Mayo Elbow Performance Score</i> – Punktzahlen in der Gesamtkohorte sowie differenziert nach Unterkohorten.	31
Tab. 04: Ergebnisse des KINDL-Fragebogens nach Analyse mit Hilfe des Kruskal-Wallis-Testes.	36

## Abkürzungsverzeichnis

A.	Arteria/Arterie
Abb.	Abbildung
ANOVA	Analysis of Variance
AO	Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen
a.-p.	anterior-posterior
BMI	Body-Mass-Index
BOAST	British Orthopaedic Association Standards for Trauma
bzgl.	bezüglich
bzw.	beziehungsweise
cm	Zentimeter
d.h.	das heißt
DASH	Disability of the Arm, Shoulder and Hand
Dig.	Digitus
Digg.	Digiti
et al.	et alii
ggf.	gegebenenfalls
ICD	International Classification of Diseases
K-Draht	Kirschner-Draht
kg	Kilogramm
kg/m <sup>2</sup>	Kilogramm/Quadratmeter (Einheit BMI)
m	Meter
M.	Musculus/Muskel
max	Maximum
Md	Median
MEPS	Mayo Elbow Performance Score
min	Minimum
mm	Millimeter
MW	Mittelwert
n	Fallzahl
N.	Nervus/Nerv
Nn.	Nervi/Nerven
Nr.	Nummer
o.g.	oben genannt
OPS	Operationen- und Prozedurenschlüssel
s	Standardabweichung
SCHF	Suprakondyläre Humerusfraktur
Tab.	Tabelle
u.a.	unter anderem
v.a.	vor allem
vs.	versus
Z.n.	Zustand nach

# Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>I</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>II</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>III</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>IV</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>V</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>VI</b>
<b>1. Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Kindliche Frakturen .....	1
1.1.1 <i>Wachstum und Wachstumsstörungen des kindlichen Knochens</i> .....	1
1.1.2 <i>Korrekturpotential des kindlichen Skeletts</i> .....	2
1.2 Suprakondyläre Humerusfrakturen .....	2
1.2.1 <i>Definition</i> .....	2
1.2.2 <i>Epidemiologie</i> .....	2
1.2.3 <i>Diagnostik und Klassifikation</i> .....	3
1.2.4 <i>Therapie/Operationstechnik – offene und geschlossene Reposition</i> .....	5
1.2.5 <i>Komplikationen</i> .....	8
1.3 Ziele der Studie .....	8
<b>2. Material und Methoden</b> .....	<b>10</b>
2.1 Allgemeines .....	10
2.2 Datenerhebung .....	10
2.3 Patientenkollektiv .....	10
2.3.1 <i>Ein- und Ausschlusskriterien</i> .....	10
2.4 Studienablauf .....	10
2.4.1 <i>Anamnese</i> .....	10
2.4.2 <i>Fragebogen</i> .....	11
2.4.3 <i>Klinische Untersuchung</i> .....	11
2.4.4 <i>Fraktureinteilung nach Dislokation in unterschiedlichen Ebenen (von Laer)</i> .....	12
2.5 Klinische Scores .....	12
2.5.1 <i>Mayo Elbow Performance Score</i> .....	12
2.5.2 <i>Erfassung der aktuellen Lebensqualität anhand des KINDL-Fragebogens</i> .....	13
2.6 Statistische Methoden .....	13

<b>3. Ergebnisse</b> .....	<b>15</b>
3.1 Patientinnen/Patienten .....	15
3.1.1 Fallzahlen .....	15
3.1.2 Kohortenzugehörigkeit .....	16
3.1.3 Geschlechterverteilung .....	16
3.1.4 Alter bei Frakturereignis .....	16
3.1.5 Körpergröße, -gewicht und BMI bei Untersuchung .....	16
3.1.6 Vorbestehende Frakturen .....	17
3.2 Fraktur .....	21
3.2.1 Unfallhergang .....	21
3.2.2 Frakturseite und Händigkeit .....	21
3.2.3 Frakturklassifikation nach von Laer .....	21
3.3 Operation .....	22
3.3.1 Zeitintervall zwischen Unfall und Operation .....	22
3.3.2 Repositionsverfahren .....	22
3.3.2.1 Zugangswege bei offener Reposition .....	22
3.3.3 Anzahl und Stärke der Kirschner-Drähte .....	23
3.3.4 Lokalisation der Kirschner-Drähte .....	24
3.3.5 Drahtenden im Verhältnis zum Hautniveau .....	24
3.3.6 Operationszeiten .....	24
3.4 Metallentfernung .....	25
3.4.1 Zeitlicher Abstand zwischen Operation und Entfernung der Kirschner-Drähte .....	25
3.4.2 Art der Metallentfernung .....	25
3.4.3 Besonderheiten und Auffälligkeiten im Rahmen der Metallentfernung .....	25
3.5 intra- und postoperative Komplikationen .....	25
3.6 Physiotherapie und Krankengymnastik .....	26
3.7 Nachuntersuchung .....	27
3.7.1 Inspektion .....	27
3.7.2 Bewegungsumfang / Range of Motion .....	28
3.7.3 Armachse, klinischer Kubitalwinkel .....	29
3.7.4 Seitenbandstabilität des Ellenbogengelenks .....	30
3.7.5 Periphere Durchblutung, Motorik und Sensibilität .....	30
3.7.6 Scoreauswertung und Resultateinordnung .....	31
<b>4. Diskussion</b> .....	<b>38</b>
<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>52</b>
<b>Anhang</b> .....	<b>57</b>

# 1. Einleitung

## 1.1 Kindliche Frakturen

### 1.1.1 Wachstum und Wachstumsstörungen des kindlichen Knochens

Das Wachstum des kindlichen Knochens resultiert aus der Kombination eines Dicken- sowie Längenwachstums [3]. Während periostal ein Anbau der Knochenstruktur erfolgt, kompensiert ein endostaler Knochenabbau die Stabilität und Funktionalität und verhindert eine Steigerung des Gesamtgewichtes des Knochens. Im Vergleich zum Dickenwachstum bedingen Wachstumsfugen, auch Physen genannt, die Knochenausdehnung in die Länge. Die Wachstumsfugen bestehen aus einem epiphysären sowie einem metaphysären Bereich, wobei lediglich der epiphysäre Anteil zur Proliferation des Gewebes beitragen kann [3]. Insgesamt weisen die vier langen Röhrenknochen jeweils am proximalen sowie distalen Ende eine Epiphyse auf. Der Anteil, der zum jeweiligen Längenwachstum des Knochens beiträgt, ist jedoch sehr unterschiedlich. In Bezug auf die im Rahmen dieser Arbeit fokussierte Lokalisation des distalen Humerus zeigt sich in der Literatur ein prozentualer Anteil der distalen Wachstumsfuge am Längenwachstum von 20%. Damit weist der Bereich des Ellenbogens nur ein reduziertes Wachstums- und Korrekturpotenzial auf, dass bei frakturbedingten Fehlstellungen zu berücksichtigen ist [1]. Jedoch ist die Komplexität des Gelenkes mit Bewegungsmöglichkeiten der Extension und Flexion sowie Pro- und Supination nicht zu unterschätzen. Im Vergleich trägt die Epiphysenfuge am proximalen Humerus zu 80% zum Längenwachstum bei. Am Unterarm ist die distale, handgelenknahe Epiphysenfuge für 80% des Längenwachstums verantwortlich, sodass distale Unterarmfrakturen ein deutlich höheres Korrekturpotential aufweisen, als ellenbogengelenknahe Frakturen [4].

Bis zum 10.-12. Lebensjahr zeigt sich ein ausgeglichenes Verhältnis zwischen Aufbau und Mineralisation des Knochens. Durch hormonelle sowie humorale Faktoren persistiert kurzzeitig ein weiteres Knochenwachstum, bevor folglich die Wachstumsfugen einem physiologischen Verschluss unterliegen, der keinem festen Zeitpunkt folgt, jedoch für Pathologien beziehungsweise Frakturen in diesem Bereich relevant ist [4]. In Bezug auf die Funktionalität ist festzuhalten, dass eine geschlossene Wachstumsfuge bereits vorliegt, wenn der metaphysäre Bereich mineralisiert ist [3]. Diese Physiologie des wachsenden Knochens unterliegt neben einer genetischen Determination ebenfalls äußeren Faktoren, wie zum Beispiel der Belastung sowie der Blutversorgung des Gewebes. Daraus resultierend bedingt eine nicht senkrecht einwirkende Kraft ein einseitiges Wachstum [5]. Bedeutsam ist in diesem Zusammenhang die Vulnerabilität der Wachstumsfuge sowie die klinische Relevanz bei offener Physe. Nach Verletzungen oder Frakturen wird die Tragweite einer Wachstumsstörung primär durch die aktuelle Skelettreife der betroffenen Person bestimmt. Es erfolgt eine Differenzierung zwischen stimulativen und hemmenden Störungen des Wachstums. Der Fokus im Bereich der Frakturlehre liegt hierbei auf der Stimulation der Physenfunktion. Die Auswirkungen eines Traumas hängen hier ebenfalls von der aktuellen Reifephase der Fugen ab. Während es in der ersten Wachstumsphase zu einer nicht sicher definierbaren Längenzunahme des Knochens kommt, zeigt sich in der Ruhephase zunächst ebenfalls eine Längenzunahme, die jedoch durch einen verfrühten Fugenschluss wiederum kompensiert wird. Eine Verletzung zum Zeitpunkt des physiologischen Fugenschlusses bewirkt eine Beschleunigung dessen, sodass es eher zu einer Verkürzung des Knochens kommt [3]. In Bezug auf die obere Extremität sei hier festzuhalten, dass Längendifferenzen häufig keine klinische Relevanz haben, da sie im Gegensatz zur unteren Extremität keine statische Funktion aufweisen [3] [4].

## **1.1.2 Korrekturpotential des kindlichen Skeletts**

Zum besseren Verständnis des Korrekturpotentials sei zuvor die Knochenheilung im Wachstumsalter genauer erläutert. Im Kindesalter kommt es nach Frakturen zu einer sekundären Knochenheilung. Zunächst erfolgt der bindegewebige Umbau des Hämatoms nach einem Frakturereignis. Über den Bindegewebskallus wandern Osteoblasten ein, die diesen zunehmend stabilisieren. Eine vollständige Korrektur des ursprünglichen Zustandes erfolgt erst im Verlauf der Zeit durch funktionelle Belastung. Die Ausprägung des Kallus hängt vom Alter des Kindes sowie der Dislokation der Fraktur ab (stärkere Kallusbildung bei ausgeprägter Dislokation und jüngerem Alter). Bei der klinischen Untersuchung gibt eine indolente Palpation des Kallus eine klinische Festigkeit der Fraktur im Sinne einer Bewegungsstabilität an. Demnach ist eine radiologische Kontrolle zur Bestimmung der Konsolidierung primär vermeidbar [4].

Allgemein kann festgehalten werden, dass der wachsende kindliche Knochen ein großes Potential zur Korrekturfähigkeit aufweist. Ähnlich wie bei den oben erläuterten Wachstumsstörungen spielen auch hier beeinflussende Faktoren eine Rolle. Ein besseres Potential zur Spontankorrektur ist bei geringem Lebensalter, Langlebigkeit der benachbarten Physe, beziehungsweise Wachstumsanteil der Fuge sowie stärkerer Abweichung der Achsenverhältnisse zu erwarten [3]. In Bezug auf das Ellenbogengelenk, welches als Scharniergelenk fungiert, wird dieser Mechanismus besonders deutlich. Eine Korrektur einer Fehlstellung im unphysiologischen Bereich des Gelenks gelingt nicht [3]. Dies bedeutet, dass ein Cubitus varus oder ein Cubitus hypervalgus, als Fehlstellung in der Frontalebene, keine Spontankorrektur aufweisen [3]. Dagegen birgt die Dislokation in der sagittalen Körperebene eine höhere Wahrscheinlichkeit zur Spontankorrektur [3] [4]. In Bezug auf die suprakondyläre Humerusfraktur bedeutet dies, dass Fehlstellungen in der Sagittalebene (häufig eine Antekurvationsfehlstellung) lediglich bis zum 6.-7. Lebensjahr zu einem Spontanausgleich führen. Durch den geringen prozentualen Wachstumsanteil des Ellenbogens scheint eine Korrektur einer Fehlstellung nach dem 6. Lebensjahr eher unwahrscheinlich [1] [3] [6]. In Bezug auf Rotationsfehlstellungen im Bereich der Ellenbogenachse besteht in der Literatur noch eine Inhomogenität. In Nachuntersuchungen zeigt sich jedoch ein Verschwinden des Rotationsfehlers mit dem weiteren Wachstum [3].

## **1.2 Suprakondyläre Humerusfrakturen**

### **1.2.1 Definition**

Die suprakondyläre Humerusfraktur zählt zu den distalen Humerusfrakturen und ist definiert durch eine Frakturlokalisierung oberhalb des Epicondylus ulnaris sowie des Condylus radialis. Es handelt sich um eine distale metaphysäre Humerusschaftfraktur und ist damit nicht als Fraktur des Ellenbogengelenkes zu definieren [1] [2]. Darüber hinaus zeichnet sich die suprakondyläre Humerusfraktur durch eine fehlende Bruchbeteiligung der Wachstumsfuge aus [2].

### **1.2.2 Epidemiologie**

Epidemiologisch ist die suprakondyläre Humerusfraktur die häufigste Fraktur im Bereich des Ellenbogens im Wachstumsalter [3] [7]. Etwa 7-9% aller kindlichen Frakturen betreffen die Region des Ellenbogens. Davon präsentieren sich 86,4% im Bereich des distalen Humerus, hiervon wiederum 69,8% als suprakondyläre Humerusfraktur. Die Gesamtinzidenz der SCHF lässt sich daher etwa auf 5-6% schätzen [2] [4]. Am zweithäufigsten findet sich mit weitem Abstand die transkondyläre Humerusfraktur, d. h. die Fraktur des Condylus radialis, des

Epicondylus ulnaris und die Y-Fraktur mit insgesamt 1,8% [3]. Teilweise wird die SCHF in der Literatur als zweithäufigste Fraktur des kindlichen Knochens nach der distalen Radiusfraktur beschrieben [5] [8]. Der Häufigkeitsgipfel dieser Fraktur zeigt sich um das 5.-6. Lebensjahr [2] [3] [4]. Ursächlich ist dies auf eine „Umformung des distalen Humerus während des Wachstums des Kindes und des Ellenbogens zurückzuführen“. Es steht aktuell zur Diskussion, ob sich das Frakturalter tendenziell zu einem jüngeren Alter verschiebt. Begründet wird diese Annahme durch vielfältigere Spielgeräte für Kinder sowie eine zunehmende Gewichtssteigerung junger Menschen. Im Rahmen des häufigsten Unfallmechanismus, dem Sturz auf den gestreckten Arm, bzw. Extensionstrauma, führt ein größeres Gewicht zu einer „Verstärkung des Hypomochlions“ und damit zu einer größeren Frakturwahrscheinlichkeit [1]. Kurz vor dem physiologischen Schluss der Wachstumsfugen dominiert als Verletzung im Bereich des Ellenbogens die Ellenbogengelenk-Luxation [4].

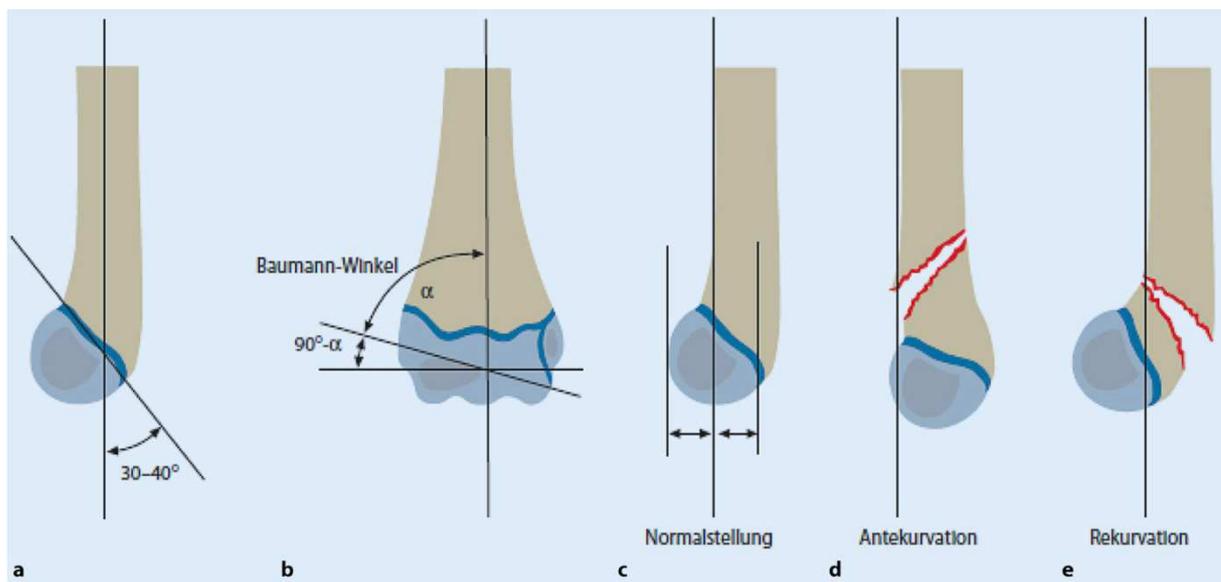
In Bezug auf die Geschlechterverteilung zeigt sich ein Trend von der Dominanz des männlichen Geschlechtes bei der vorliegenden Fraktur hin zu einem ausgewogenen Verhältnis zwischen beiden Geschlechtern [9-11].

Der größte Anteil (96-98%) aller Kinder erleidet einen Sturz auf den ausgestreckten Arm, ein sogenanntes Extensionstrauma [3] [4] [5] [7]. Dieses bedingt eine Kompression des Olecranon in die Fossa olecrani [4]. Daraus resultierend zeigt sich in der Frontalebene eine Antekurvatur durch Dislokation des distalen Bruchfragmentes nach dorsal während das seltene Flexionstrauma, d.h. ein Sturz auf den gebeugten Ellenbogen, eine Rekurvatur bedingt [2] [5]. In der Mehrzahl kommt es zu einer Fraktur der linken und somit nicht dominante Armseite [9, 12, 13]. Der prozentuale Anteil einer Fraktur der linken Armseite liegt in der Literatur bei etwa 61% [14].

### **1.2.3 Diagnostik und Klassifikation**

Die Diagnosestellung einer suprakondylären Humerusfraktur erfolgt mittels einer Kombination aus dem klinischen Erscheinungsbild des Ellenbogens sowie der röntgenologischen Untersuchung. Bei Verdacht auf eine suprakondyläre Humerusfraktur ergibt sich in unterschiedlich starker Ausprägung eine Lokalsymptomatik wie zum Beispiel eine Schwellung, eine Hämatombildung, eine sichtliche Achsdeformation, Haut- und Weichteilverletzungen, eine Schonhaltung bis hin zu Funktionsverlusten, die durch Nerven- oder Gefäßläsionen bedingt sein können (siehe auch 1.2.5). Bei dringendem Verdacht auf eine suprakondyläre Humerusfraktur folgt diagnostisch eine röntgenologische Bildgebung, vorzugsweise in einer anterior-posterioren (a.-p.) sowie seitlichen/lateralen Aufnahme des Ellenbogens [2]. Wenn keine augenscheinliche Fraktur zu erkennen ist, ist auf das sogenannte „fat pad sign“ zu achten, welches einen Hinweis auf einen intrakapsulären Erguss gibt. Dieser führt zu einer Verdrängung des Gelenk-umgebenden Fettgewebes, welches daraus resultierend ventral des Ellenbogengelenkes beziehungsweise dorsal, in der Fossa olecrani befindlich, als Aufhellung zur Darstellung kommt. Wichtig ist in diesem Zusammenhang, dass lediglich das ventrale Fettpolster im physiologischen Zustand röntgenologisch sichtbar wird [15]. Daher gibt besonders das dorsale Fettpolsterzeichen einen Hinweis auf eine nicht-dislozierte Fraktur [1]. Es ist daher als indirektes Frakturzeichen zu werten [5]. Des Weiteren werden Hilfslinien zur Diagnosestellung evaluiert, darunter die Rogers-Hilfslinie (siehe Abb. 01), auch als „anterior humeral line“ bezeichnet [16]. Sie stellt eine der am häufigsten genutzten Parameter dar, um das Ausmaß der Dislokation zu bemessen, da diese eine gute klinische Bewertung sowie ebenfalls eine einfache Anwendung ermöglicht. Sie ergibt sich aus „einer Tangentialen, deren Verlängerung im Normalfall das Capitulum humeri am Übergang vom mittleren zum hinteren Drittel schneidet“ [1]. Bei einem Extensionstrauma zeigt sich der Schnittpunkt mit dem Capitulum humeri durch die dorsale Verkipfung des distalen Fraktur-elementes demnach weiter vorne, umgekehrt ist der Schnittpunkt bei einer Rekurvationsstellung deutlich nach hinten

verlagert. Eine Re- und Antekurvationsfehlstellung kann ebenfalls über die Bestimmung des Diaphysen-Epiphysen-Winkels in der seitlichen Röntgenaufnahme definiert werden. Dieser ergibt sich aus der Oberarmschaftlänge und der Wachstumsfugenachse. Hierbei ist ein Winkel  $<30^\circ$  oder  $>40^\circ$  als Antekurvatur beziehungsweise Rekurvatur zu werten [1]. Zur weiteren Diagnostik ist der Baumann-Winkel zu bestimmen. Die Achse des Ellenbogens ergibt sich in der a.-p.-Aufnahme zumeist über die Bestimmung des „Winkels zwischen Humeruslängsachse und Epiphysenachse des lateralen Condylus“. Daraufhin muss die Differenz zu  $90^\circ$  gebildet werden [1]. Physiologisch sollte der Baumann-Winkel bei Mädchen zwischen  $70-80^\circ$  betragen, während bei Jungen ein Winkel von  $80-85^\circ$  als Normbereich gewertet wird [5]. Zusammenfassend gibt die Rogers-Hilfslinie Auskunft über Fehlstellungen in der Sagittalebene, der Baumann-Winkel Hinweise auf Achsabweichungen in der Frontalebene [6] [16]. Kalibersprünge oder ein Rotationssporn zeigen eine Dislokation in einer 2. Ebene an [6]. Abbildung 01 illustriert die röntgenologischen Hilfslinien.

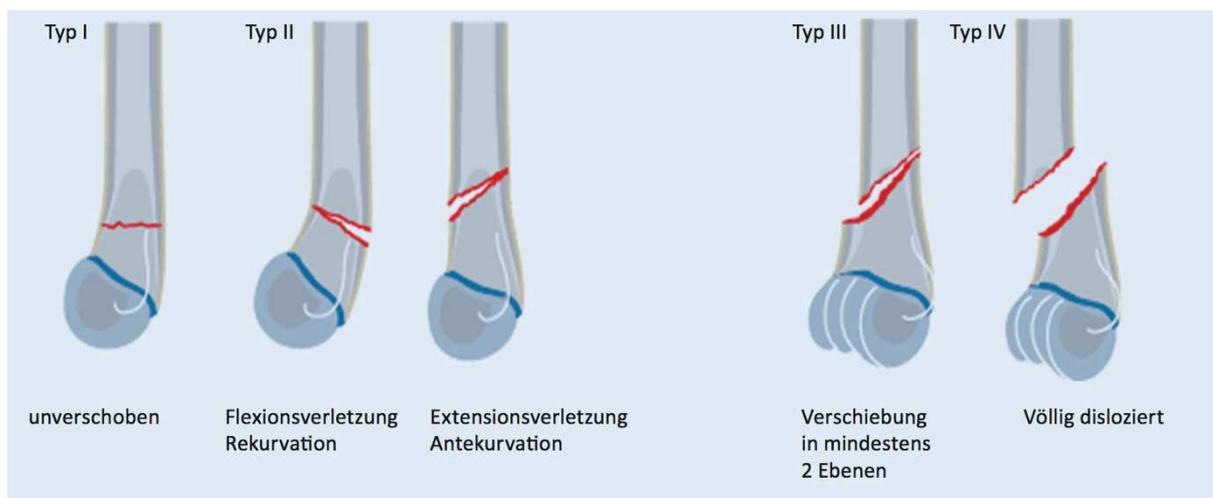


**Abb. 01: Schematische Darstellung der radiologischen Hilfslinien am distalen Humerus (aus [1]).**

a) Diaphysen-Epiphysen-Winkel; b) Baumann-Winkel; c-e) Rogers-Hilfslinie

Aufgrund der nativ-radiologischen Diagnostik lässt sich zumeist die genaue Klassifikation der Fraktur festhalten. Es werden diesbezüglich unterschiedliche Klassifikationen verwendet, u.a. die Einteilung nach Gartland, Baumann, Felsenreich, Lubinus, Homberg und von Laer [17]. Die im deutschsprachigen Raum am häufigsten verwendete Einteilung nach von Laer bietet den Vorteil der Gliederung in differenzierte Dislokationsgrade und fasst Rotationsfehler ebenfalls mit ein [17]. Auch die AO hat der Klassifikation nach von Laer bereits mehr Bedeutung zugesprochen, da diese eine direkte Relation zu den folgenden Therapiemaßnahmen und der Prognose bietet [1]. Ernat *et al.* betonen, dass die im angloamerikanischen Raum häufig genutzte Gartland-Klassifikation keine Hinweise auf das funktionelle Endergebnis gibt [1] [6] [18]. Die Klassifikation nach von Laer unterteilt vier Fraktur-Typen. Eine Typ I-Fraktur umfasst alle nicht dislozierten und damit stabilen Frakturen. Die Typ II-Fraktur ist durch eine Dislokation in der Sagittalebene charakterisiert. Zumeist kommt es hier zu einer Antekurvationsfehlstellung. Wichtig ist in diesem Zusammenhang die Differenzierung zwischen einer stabilen und drohend instabilen Fraktur. Von einer potentiellen Instabilität spricht man bei einer Antekurvatur von  $>30^\circ$  sowie einer Seitverschiebung und damit einer Verschiebung in der frontalen Ebene. Eine Typ III-Fraktur ist definiert durch eine Dislokation in zwei Ebenen und einem zusätzlichen Rotationsfehler. Abschließend wird eine komplette Dislokation mit Kontaktverlust der Frakturelemente in allen Ebenen als Typ IV-Fraktur definiert [4]. Abb. 02 und Tab. 01 fassen die Frakturklassifikation nochmal zusammen. Die

genaue Diagnostik und Klassifikation stellen die Basis der folgenden Therapiemaßnahmen dar (siehe 1.2.4).



**Abb. 02: Frakturklassifikation der supracondylären Humerusfraktur (aus [1]).**

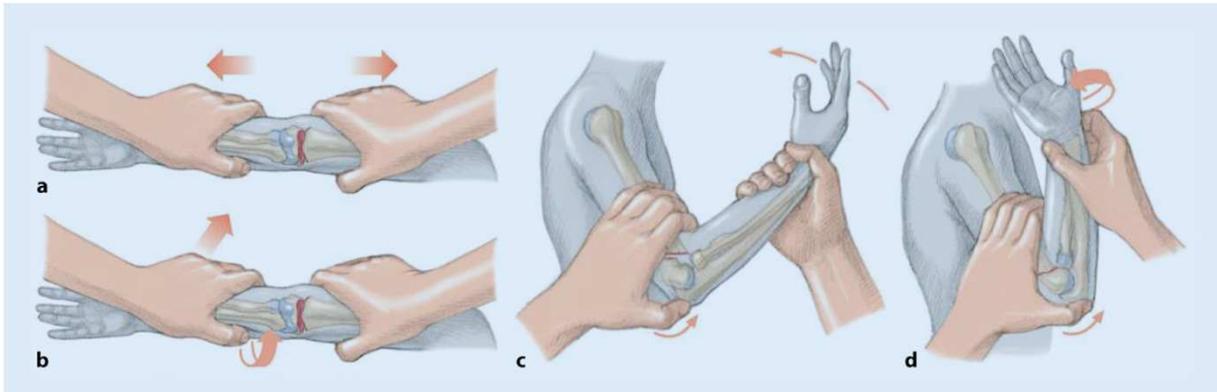
Einteilung		Häufigkeit
Typ I	Nicht-disloziert	Typ I + II gering disloziert: stabile Frakturen (35%)
Typ II	Dislokation in 1 Ebene	
		Typ II stark disloziert: drohend instabile Frakturen (22%)
Typ III	Dislokation in 2 Ebenen	Typ III + IV: instabile Frakturen (43%)
Typ IV	Dislokation in 3 Ebenen	

**Tab. 01: Klassifikation der supracondylären Humerusfraktur nach von Laer (aus [2]).**

### 1.2.4 Therapie/Operationstechnik – offene und geschlossene Reposition

Die Therapie basiert auf der zuvor erfolgten differenzierten Diagnostik. Hierbei ist die Unterscheidung zwischen einer stabilen, drohend instabilen und instabilen Fraktur essentiell. Eine konservative Therapie ist bei gegebener Stabilität und fehlender Dislokation der Frakturfragmente indiziert. Hierzu wird eine Oberarmgipsschiene möglichst in 90° Flexion des Ellenbogens angelegt. Eine drohend instabile Fraktur, d. h. typischerweise eine Antekurvationsfehlstellung von bis zu 20°, kann mittels einer Blount-Schlinge in Spitzwinkelstellung (110°-120°) behandelt werden, weil durch die Flexion >90° eine schonende, geschlossene Reposition erzielt und erhalten werden kann. Es ist zu beachten, dass diese bei starker Weichteilschwellung nicht initial und erst im Verlauf erreicht werden kann [3]. Die Spitzwinkelstellung ist nach zwei Wochen in eine rechtwinklige Position des Ellenbogengelenkes zu wechseln [5]. Eine instabile Fraktur erfordert eine Reposition und nachfolgende Retention. Insbesondere bei Kindern sollte hierbei eine endgültige Methode mit möglichst geringer Exposition gegenüber Röntgenstrahlung angestrebt werden. Operativ ist zwischen der Fixation mittels Kirschner-Drähten (K-Drähten), der Anlage eines Fixateur externe oder einer intramedullären Schienung auszuwählen [3]. In Bezug auf die Klassifikation nach von Laer lässt sich orientierend festhalten, dass eine Typ I-Fraktur eine konservative Therapie mittels Oberarmgipsschiene oder Blount-Schlinge zulässt, sodass diesbezüglich keine operative Indikation gegeben ist. Eine stabile Typ II-Fraktur kann ebenfalls konservativ nach Korrektur der Antekurvationsfehlstellung therapiert werden. Dies gilt es radiologisch mittels lateraler Röntgenaufnahme zu kontrollieren. Bei erfolgloser Redression oder Einstellen eines Rotationsfehlers ist ein operatives Verfahren zu wählen. Typ III- und IV-Frakturen weisen eine definitive Operationsindikation auf [4].

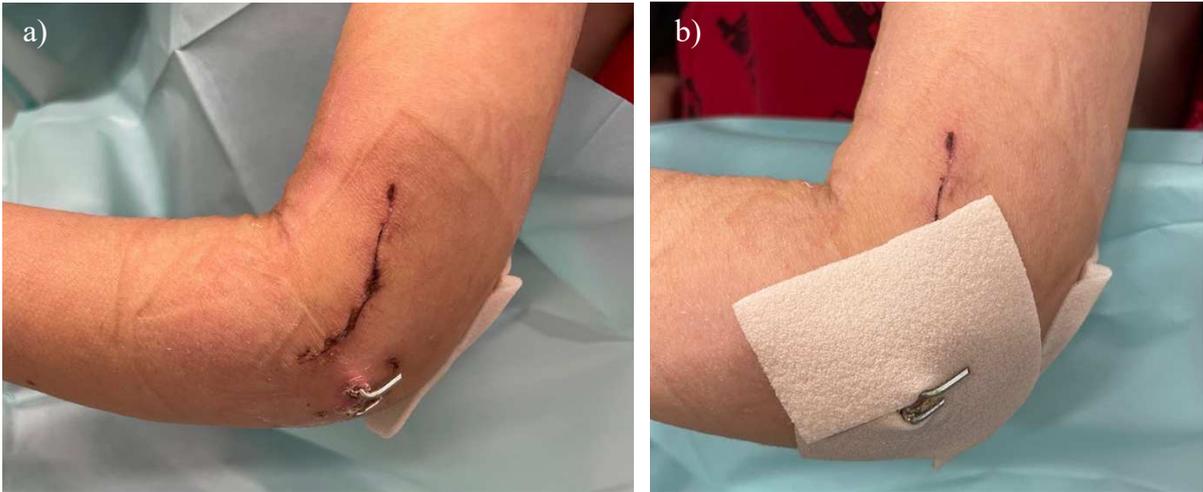
Im Zentrum der vorliegenden Studie stehen dislozierte Frakturen, die operativ reponiert und mittels K-Drähten versorgt wurden. Diese Methode, die in der Literatur als „Goldstandard“ bewertet wird, soll hier daher genauer beleuchtet werden [6]. Bei bestehender Operationsindikation erfolgt die Reposition und Stabilisation in Allgemeinanästhesie. Eine achsgerechte Reposition wird durch den Zug am extendierten Arm bei Neutralnullstellung in Bezug auf Pro- und Supination mit folgender Pronation (oder eventueller Supination in Abhängigkeit von der Dislokationsrichtung) und Flexion des Ellenbogengelenkes erreicht [3]. Der initiale Längszug ermöglicht eine Dehnung zwischen den Frakturfragmenten, auch Diastase genannt [1]. Weiterhin ist zu beachten, dass die finale Beugung des Ellenbogengelenks nicht zu einer Hyperflexion und damit zu einer iatrogen induzierten Flexionsfehlstellung führt [6]. Abbildung 03 stellt schrittweise den Ablauf der Reposition dar.



**Abb. 03: Repositionstechnik der suprakondylären Humerusfraktur (aus [1]).**

a) zunächst wird die Fraktur unter Längszug gebracht; b) anschließend Korrektur einer Achsfehlstellung in der Frontalebene und ggf. eines Rotationsfehlers; c) Beugung meist in Pronation unter Druck des Daumens auf das Olecranon, um das distale Fragment zu reponieren; d) korrekte Reposition des distalen Fragments unter Daumendruck

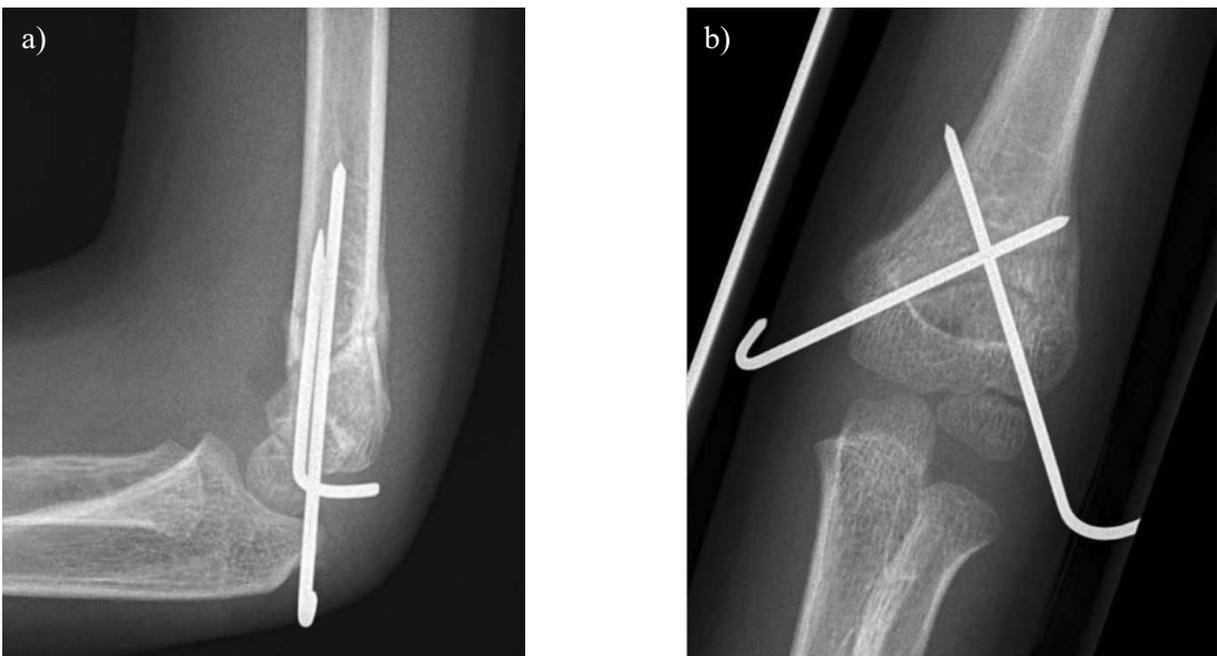
Daraufhin wird die angestrebte achsgerechte Stellung in allen drei Ebenen mittels Röntgenuntersuchung kontrolliert. Um diese reponierte Position dauerhaft zu halten, d. h. zu retinieren, bedarf es einer Fixation oder Osteosynthese. Die bevorzugte Methode zur retrograden Implantation der K-Drähte erfolgt in Spitzwinkelstellung über den Condylus radialis und Epicondylus ulnaris. Die im Vergleich zum Epicondylus ulnaris ventralere Lokalisation des Condylus radialis ist bei der Bohrung zu beachten. Zunächst sollte der radiale Draht von dorsal distal nach ventral proximal vorgebohrt werden und schließlich die Kortikalis der gegenüberliegenden Seite kreuzen. Nach Identifizierung des N. ulnaris im Sulcus ulnaris wird der zweite K-Draht über den Epicondylus ulnaris eingebracht. Dieser sollte zur Rotationssicherung mit dem zuvor eingebrachten Draht proximal des Frakturspaltens kreuzen und ebenfalls retrograd nach proximal vorgebohrt werden, bis die Gegenkortikalis penetriert wird. Nach erneuter röntgenologischer Kontrolle wird die Stabilität der Osteosynthese geprüft, indem das Ellenbogengelenk vorsichtig durchbewegt wird. Hochinstabile Frakturen bedürfen ggf. der Implantation zweier weiterer gekreuzter K-Drähte parallel zu den oben beschriebenen, um die Stabilität der Osteosynthese zu erhöhen. Im Anschluss werden die Drähte je nach Präferenz des Operateurs über (siehe Abb. 04) oder unter Hautniveau gekürzt. Abschließend erfolgt die Anlage eines sterilen Verbandes und einer Oberarmgipsschiene [3].



**Abb. 04: epikutane Lage der Drahtenden zweier K-Drähte nach offener Reposition bei suprakondylärer Humerusfraktur links.**

a) reizlose Wundverhältnisse mit regelrechter epikutaner Lage der Drahtenden; b) Unterpolsterung der Drahtenden zur Vermeidung von Hautverletzungen

Eine geschlossene Reposition stellt das primär angestrebte Verfahren dar, ist jedoch nicht immer möglich. Bei erfolgloser geschlossener Reposition ist ein Übergang in ein offenes Verfahren nötig. Zu betonen ist hierbei, dass ein Vergleich beider Methoden nicht sinnvoll erscheint, da die geschlossene Reposition immer angestrebt und die offene Reposition nur bei Nichtgelingen nötig wird [3]. Eine offene Reposition ist ebenfalls bei bereits diagnostiziertem Nerven- oder Gefäßschaden [2] oder aber zur sicheren Verifizierung der Nerven- und Gefäßlokalisierung (v.a. des N. ulnaris) erforderlich, um eine potentielle Verletzung durch das Einbringen der Drähte zu vermeiden. In der Literatur wird betont, dass in der Regel zwei K-Drähte zur Stabilisierung der Fraktur genügend sind [1]. Darüber hinaus weist eine gekreuzte K-Draht-Spickung im Vergleich zur parallelen K-Draht-Implantation eine höhere Stabilität auf [6] [19]. In der Praxis kommt ebenfalls in der Mehrzahl eine gekreuzte K-Draht-Osteosynthese zur Anwendung.



**Abb. 05: Reposition mithilfe von zwei gekreuzten Kirschner-Drähten und Belassen der Drähte außerhalb des Hautniveaus (aus [1]).**

a) Röntgen seitlich; b) Röntgen anterior-posterior

### **1.2.5 Komplikationen**

Die suprakondyläre Humerusfraktur zählt in der Literatur teilweise „zu den komplikationsträchtigsten Frakturformen im Wachstumsalter“ [20]. Insbesondere die dislozierte Fraktur birgt das höchste Risiko einer Nervenverletzung im Vergleich zu anderen kindlichen Frakturen [16]. Nach Frakturen im Kindesalter stellt sich die Frage, ob eine Wachstumsstörung im Verlauf zu beobachten ist. Diese kann die Folge eines vorzeitigen Schlusses der betroffenen Epiphysenfuge sein. Risikofaktoren für eine Schädigung der Epiphysenfuge und einen konsekutiven vorzeitigen Fugenschluss können neben Verlauf und Dislokation der Fraktur auch iatrogen bedingt sein. Insbesondere mehrere Versuche der K-Draht-Implantation, bei denen jeweils die Fuge überbohrt wird, oder das Einbringen unpassenden Osteosynthesematerials kann eine Schädigung und einen vorzeitigen Schluss der Wachstumsfuge verursachen [5]. Als häufige Komplikation nach suprakondylärer Humerusfraktur beschrieben und besonders inspektorisch auffällig zeigt sich eine Varusfehlstellung zwischen Ober- und Unterarmknochen in der Frontalebene, ein sogenannter Cubitus varus. Dieser wird bedingt durch eine Rotationsabweichung der Hauptfragmente bzw. eine Dislokation des distalen Frakturfragmentes [3] [5]. Ursache ist eine ausbleibende oder unzureichende Reposition. Die Häufigkeit dieser Komplikation wird in der Literatur mit einer breiten Spanne zwischen 10% und 50% angegeben [3]. Eine weitere Komplikation des Frakturereignisses oder auch iatrogen verursacht stellt eine Nervenläsion bzw. -irritation dar. Bedingt durch die Dislokation der Fraktur und den Druck der Knochenfragmente sind vor allem Läsionen des N. medianus, seltener des N. radialis zu nennen [5]. Eine Läsion des N. ulnaris resultiert am ehesten aus einer iatrogen bedingten Schädigung durch die K-Draht-Bohrung. Im klinischen Verlauf erweist sich diese in der Literatur in der Mehrzahl der Fälle als spontan regredient [3]. Der Heilungsverlauf dieser Nervenläsion liegt im Mittel zwischen 3 und 9 Monaten, beeinflusst u.a. durch das Alter des Patienten sowie der Geschwindigkeit der Nervenheilung. In der Regel liegt das Axonwachstum bei etwa 1-5 mm/Tag [1]. Wichtig zu erwähnen ist, dass die ulnare/mediale K-Draht-Platzierung ein höheres Risiko einer Nervenläsion (in Bezug auf den N. ulnaris), im Vergleich zur radialen/lateralen Draht-Implantation, birgt [21]. Durchblutungsdefizite kommen am ehesten durch einen traktionsbedingten Intimariss der ventral des distalen Humerus verlaufenden A. brachialis vor. Diese stellen eine extremitätenbedrohende Notfallsituation dar und sind zeitnah zu diagnostizieren und gefäßchirurgisch zu revidieren [5]. Die Häufigkeit einer Gefäß-Nerven-Läsion wird zwischen 8-17% angegeben [1]. Eine vermeidbare und heute kaum noch beobachtete Komplikation stellt die Volkmann-Ischämie und im Verlauf die Volkmann-Kontraktur dar. Risikofaktoren sind diesbezüglich eine Ruhigstellung in Spitzwinkelstellung oder allgemein zu enge Ruhigstellungsmethoden, die eine Kompression des Gefäß-Nerven-Bündels verursachen. Klinisch ist auf einen extremen Schmerz sowie Einschränkungen der Bewegung und Kältegefühl im Bereich der Finger zu achten [3].

### **1.3 Ziele der Studie**

Die vorliegende klinische Studie befasst sich mit der Nachuntersuchung von Kindern und Jugendlichen nach stattgehabter und operativ-versorgter suprakondylärer Humerusfraktur. Hierbei wird zum einen die postoperative Funktion anhand der Messung der Beweglichkeit und der klinischen Stellung des Ellenbogengelenks bestimmt. Die erhobenen Daten werden untereinander und mit entsprechenden Daten der gesunden Gegenseite verglichen. Zum anderen wird die Lebensqualität nach Versorgung einer suprakondylären Humerusfraktur im Kindes- und Jugendalter untersucht. Die Nachuntersuchung der Patienten ist nach einem, fünf oder zehn Jahren nach o.g. Diagnose durchgeführt worden, um eventuelle Unterschiede im Langzeitverlauf identifizieren zu können.

Die konkreten Fragestellungen dabei sind:

1. Haben Patienten im Wachstumsalter nach einer suprakondylären Humerusfraktur eine Einschränkung in der Funktion des verletzten Ellenbogengelenks und darüber hinaus in ihrer Lebensqualität?
2. Treten mögliche Einschränkungen zu einem bestimmten Zeitpunkt im Langzeitverlauf ein, fünf und zehn Jahre nach Fraktur auf?
3. Gibt es Differenzen im Outcome in Bezug auf geschlossene oder offene Reposition sowie hinsichtlich Verbleiben der K-Drahtenden über bzw. unter Hautniveau?

## **2. Material und Methoden**

### **2.1 Allgemeines**

Die vorliegende Arbeit basiert auf einer prospektiven klinischen Studie. Die Durchführung erfolgte nach Beantragung und Anerkennung des Ethikvotums bei der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf am 14.01.2021 (Studien-Nr. 2020-1070). Ein im Verlauf gestelltes *Amendment* zur Kooperation mit einem weiteren Krankenhaus (Rheinland Klinikum Neuss GmbH, Lukaskrankenhaus, Preußenstraße 84, 41464 Neuss) wurde ebenfalls positiv votiert (07.07.2021, Studien-Nr.: 2020-1070\_1).

### **2.2 Datenerhebung**

Die Rekrutierung der Daten erfolgte primär über die Selektierung nach ICD- und OPS-Codes. Folgende Codes wurden über das Medico® Datensystem eingegeben: ICD S42.41 (distale Humerusfraktur, suprakondylär), OPS 5-790.13 (geschlossene Reposition, Draht: Humerus distal), OPS 5-793.23 (offene Reposition, Draht: Humerus distal). Es wurden Patientinnen und Patienten herausgefiltert, die in dem Zeitraum von 2007 bis 2021 in der Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie des Universitätsklinikums Düsseldorf operiert wurden. Eine Rekrutierung der entsprechenden Probandinnen und Probanden aus dem Rheinland Klinikum Neuss GmbH, Lukaskrankenhaus erfolgte über selbiges.

### **2.3 Patientenkollektiv**

#### **2.3.1 Ein- und Ausschlusskriterien**

In die Studie wurden Patientinnen und Patienten aufgenommen, welche die klinische sowie radiologische Diagnose einer suprakondylären Humerusfraktur (ICD S42.42) im Wachstumsalter erhielten. Hierbei wurde ein Patientenalter zum Zeitpunkt der Fraktur bis zum 18. Lebensjahr toleriert. Demgegenüber mussten Probandinnen und Probanden ausgeschlossen werden, die das erforderliche Frakturalter überschritten, die Diagnose einer pathologischen Fraktur aufwiesen oder anderweitige Deformitäten der oberen Extremität zeigten, die nicht durch eine suprakondyläre Humerusfraktur bedingt waren. Bei fehlender Einwilligung zur Studie seitens von Eltern oder Probanden erfolgte ebenfalls der Ausschluss von der Untersuchung.

### **2.4 Studienablauf**

Initial erfolgte nach erneuter Darstellung der Studienabsicht sowie Klärung individueller Fragen seitens der Studienteilnehmerinnen und Studienteilnehmer sowie deren Begleitpersonen eine Anamnese, folgend das Ausfüllen der Fragebögen sowie die klinische Untersuchung des Ellenbogengelenkes beider Arme. Auf jegliche invasive, bzw. die jungen Patienten potentiell schädigende Maßnahmen, inklusive Röntgenaufnahmen, wurde verzichtet.

#### **2.4.1 Anamnese**

Die Anamneseerhebung gliederte sich in drei Bereiche. Hierzu zählten personenbezogene Daten, eine unfallspezifische Anamnese sowie eine Erhebung des aktuellen Gesundheitszustandes in Bezug auf Funktionalität und Lebensqualität nach stattgehabter Fraktur des Oberarms.

Die personenspezifischen Fakten umfassten das Geschlecht, das Geburtsdatum und damit verbunden aktuelles Lebensalter, Körpergröße (in cm) sowie Körpergewicht (in kg) (daraus

konnte alters- und geschlechtsadaptiert der BMI berechnet werden) und die Händigkeit. Ebenfalls wurden die Patientinnen und Patienten nach vorbestehenden Erkrankungen oder anderweitigen Frakturen gefragt.

Es folgte die unfallbezogene Anamnese mit Erfassung der Seite der Fraktur, des Unfall- und Operationsdatums, des Alters bei Fraktur, des versorgenden Krankenhauses, des Unfallherganges (damit einhergehende Differenzierung zwischen einem Extensions-, Flexions- und Distorsionstrauma) sowie des Unfallortes.

Weitere Fraktur- und Operations-bezogene Fakten konnten, nach dem Einverständnis der Patientinnen und Patienten sowie deren Erziehungsberechtigten, aus den jeweiligen Arztbriefen entnommen werden. Es wurden standardmäßig die radiologische Klassifikation nach von Laer, das Repositionsverfahren (geschlossen bzw. offen), die Anzahl und Art der K-Drähte (Drahtstärke sowie Technik der Implantation: gekreuzt oder parallel), das Verhältnis der Drahtenden zum Hautniveau (Versenken unter Hautniveau oder Verbleib über Hautniveau), die Operationsdauer (in Minuten) sowie operative, aber auch postoperative Komplikationen dokumentiert. Des Weiteren wurde über die Betroffenen die Art und Dauer der postoperativen Ruhigstellung erhoben. In Bezug auf die Metallentfernung wurden das Eingriffsdatum bzw. der Zeitpunkt nach initialer Frakturversorgung, der Eingriffsort, das Verfahren bei der K-Draht-Entfernung sowie anamnestische Besonderheiten bei dieser dokumentiert. Ein weiterer Fokus wurde auf eventuell erfolgte Physiotherapieeinheiten gelegt. Diesbezüglich wurden die Indikation, die Anzahl der Sitzungen sowie das individuell eingeschätzte Endergebnis eruiert. Abschließend berichteten die Kinder und Jugendlichen sowie deren Begleitpersonen von der aktuellen Funktionalität des operativ versorgten Oberarmes sowie über potentielle Einschränkungen oder Auffälligkeiten im Alltag und deren Verlauf seit der Operation. Alle Daten wurden zunächst standardisiert in eine Excel<sup>®</sup>-Tabelle überführt sowie zusätzlich in drei Kohorten (in Bezug auf das Intervall nach Operation) unterteilt.

#### **2.4.2 Fragebogen**

Es wurde ein Fragebogen zur Erfassung der Ein- bzw. Ausschlusskriterien sowie ein Dokumentationsbogen zur strukturierten Erfassung der in 2.4.1 dargelegten Interessenspunkte erstellt. Während der klinischen Untersuchung wurden hier die Ergebnisse direkt festhalten. Die Resultate der klinischen Scores konnten in diesem Formular ebenfalls eingetragen werden.

Darüber hinaus fanden bereits etablierte Fragebögen, in Bezug auf die aktuelle klinische Funktion sowie die Lebensqualität, Anwendung. Es handelte sich hierbei um das Abfragen der relevanten Aspekte für den *Mayo Elbow Performance Score* (siehe 2.5.1) und den altersadaptierten KINDL-Fragebogen für die Betroffenen sowie deren Erziehungsberechtigten (siehe 2.5.2).

#### **2.4.3 Klinische Untersuchung**

Initial erfolgte die Inspektion des betroffenen Ellenbogengelenkes im Seitenvergleich. Der Fokus lag hierbei auf optischen Deformitäten, Auffälligkeiten der Narbenbildung, der Narbengröße (parallel erfolgte die Evaluation einer potentiellen Narbenhypertrophie und Überempfindlichkeit nach Palpation der Narbe) sowie eventueller Hautdefekte. Daraufhin wurde der Bewegungsumfang nach der Neutral-Null-Methode bestimmt. Im Detail wurde die Extension sowie Flexion im Humeroulnargelenk gemessen und ergänzend die Fähigkeit einer vollendeten Pro- und Supination überprüft. Weiterhin wurde mittels Goniometer der klinische Kubitalwinkel bestimmt. Eine nicht-apparative Untersuchung des Gefäßstatus (A. radialis und A. ulnaris) über die Rekapillarierungszeit und eine orientierende klinisch-neurologische

Untersuchung zur Überprüfung der Sensibilität und Motorik (N. radialis, N. medianus, N. ulnaris) ergänzten die klinische Untersuchung. Eine Kontrolle der Seitenbandstabilität komplettierte die Überprüfung der Funktionalität des Ellenbogengelenkes.

#### 2.4.4 Frakturteilung nach Dislokation in unterschiedlichen Ebenen (nach von Laer)

Nach Sichtung der vorhandenen präoperativen Röntgenbilder im a.-p. und lateralen Strahlengang erfolgte eine Frakturteilung nach von Laer (siehe zur genauen Klassifikation auch 1.2.3).



**Abb. 06: Röntgenologische Frakturklassifikation der suprakondylären Humerusfraktur (aus [1]).**  
a) Typ I nach von Laer; b) Typ II nach von Laer; c) Typ III nach von Laer; d) Typ IV nach von Laer

## 2.5 Klinische Scores

### 2.5.1 Mayo Elbow Performance Score

Anhand des *Mayo Elbow Performance Scores* wurden Schmerzintensität, Bewegungsausmaß, Stabilität sowie Funktionalität im Alltag des Ellenbogengelenkes bestimmt und evaluiert. Eine genaue Differenzierung der Punkte ist dem Anhang zu entnehmen.

## 2.5.2 Erfassung der aktuellen Lebensqualität anhand des KINDL-Fragebogens

Der KINDL-Fragebogen bildet wichtige Aspekte zur aktuellen sozialen und emotionalen Situation der Patientinnen und Patienten ab. Dieser Fragebogen richtet sich an einen Großteil der kindlichen sowie auch jugendlichen Altersgruppen und ist daher in drei Versionen verfügbar (4-6 Jahre, 7-13 Jahre, 14-17 Jahre). Ebenfalls gibt es ausgearbeitete Versionen für die erziehungsberechtigte Person, sodass die psychosoziale Situation aus zwei Blickwinkeln betrachtet werden kann. Als Zusatzbogen wird die derzeitige Lage nach stattgehabter Krankheit eingeschätzt. Die eingeschlossenen Patientinnen und Patienten sowie deren Begleitpersonen haben die Fragen unter dem Aspekt der erfolgten und operativ versorgten Fraktur beurteilt. Alle verfügbaren Versionen sind im Anhang zu finden.

## 2.6 Statistische Methoden

Nach Erhebung der Daten wurden diese in Microsoft Excel<sup>®</sup> übertragen und über strukturierte Tabellen geordnet sowie standardisiert. Neben der deskriptiven Statistik wurde der t-Test für abhängige und parametrische Stichproben, nach Prüfung der Normalverteilung über den Kolmogorov-Smirnov-Test, verwendet. Bei nicht vorliegender Normalverteilung wurde der Wilcoxon-Test genutzt. Zum Vergleich einer Variablen unter den drei gewählten Kohorten kam der Kruskal-Wallis-Test zum Einsatz, welcher non-parametrische Daten zwischen mehr als zwei Gruppen analysiert. Das Signifikanzniveau aller Tests wurde mit  $p \leq 0,05$  festgelegt.

Die deskriptive Statistik der erhobenen Daten wurde über die unterschiedlichen Lage- und Streuungsmaße bestimmt. Lagemaße gaben hierbei Auskunft über den Schwerpunkt der gesammelten Daten. Spezifischer wurden der Mittel- oder auch Durchschnittswert sowie der Median bestimmt. Ergänzend wurden Minimum und Maximum der Verteilung berechnet. Demgegenüber standen Streuungsmaße, die die Heterogenität der Datensammlung abbildeten. In der vorliegenden Studie erfolgte die Berechnung der Range (Spannweite, R), der Varianz (V) sowie der Standardabweichung (S) [22].

### t-Test für abhängige Stichproben

Bei diesem statistischen Test handelt es sich um einen Lagetest, welcher einen Vergleich zwischen zwei Mittelwerten erlaubt. Voraussetzung dieser Testanwendung ist eine Normalverteilung der Daten. Der t-Test wurde in unserem Fall für zwei verbundene Stichproben angewandt. Eine Untersuchung auf Signifikanz konnte mit diesem Test im Rahmen des Bewegungsumfanges beider Arme sowie bei der Analyse des klinischen Kubitalwinkels in der 10-Jahres-Kohorte durchgeführt werden.

### Wilcoxon-Test

Bei diesem Test handelt es sich um einen Vorzeichen-Rangsummentest. Er stellt ein non-parametrisches Pendant zum t-Test für abhängige Gruppen dar. Ein Einsatz kann demnach bei zwei verbundenen, nicht normalverteilten Stichproben erfolgen. In unserer Studie kam der Test im Rahmen des Bewegungsumfanges beider Arme sowie des klinischen Kubitalwinkels zum Einsatz, wenn ein t-Test nicht durchgeführt werden konnte.

### Kruskal-Wallis-Test

Der Kruskal-Wallis-Test wird bei einer Fragestellung mit mehr als zwei Mittelwerten bei unabhängigen Gruppen eingesetzt. Er ermöglicht eine einfaktorielle Varianzanalyse bei non-parametrischen Daten. Er stellt ein non-parametrisches Pendant zur einfaktoriellen ANOVA (between) dar. Es wurden einzelne Parameter innerhalb der 1-, 5- und 10-Jahres-Kohorte

verglichen. Dazu zählten das Alter bei Frakturereignis, die Frakturklassifikation nach von Laer, die Antworten aus dem KINDL-Fragebogen sowie die erreichte Punktzahl im Rahmen des *Mayo Elbow Performance Scores*.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Patientinnen/Patienten

##### 3.1.1 Fallzahlen

Insgesamt wurden in die Studie 56 Patientinnen und Patienten aus zwei Zentren eingeschlossen, welche allesamt eine operative Versorgung ihrer suprakondylären Humerusfraktur mittels K-Drähten im Universitätsklinikum Düsseldorf oder im Lukaskrankenhaus Neuss erhielten. Der Hauptanteil der eingeschlossenen Fälle wurde von Kindern und Jugendlichen aus dem Universitätsklinikum Düsseldorf repräsentiert (n=48, 85,71%), während acht (14,28%) Patientinnen und Patienten aus dem Lukaskrankenhaus Neuss akquiriert und nachuntersucht wurden. Der Zeitraum des Frakturereignisses bzw. der Operation lag zwischen den Jahren 2007 bis 2021. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass der Fokus auf drei speziell definierte Kohorten gelegt wurde (siehe 3.1.2). Die Ergebnisse werden sowohl Kohorten-spezifisch als auch in Summe dargestellt. Lediglich ein Patient musste aufgrund eines möglichen Verzerrungspotentials im Nachhinein aus der Studie ausgeschlossen werden, da fünf Jahre nach der stattgehabten suprakondylären Humerusfraktur eine Zweitfraktur im Bereich des gleichen Ellenbogengelenkes dokumentiert wurde.

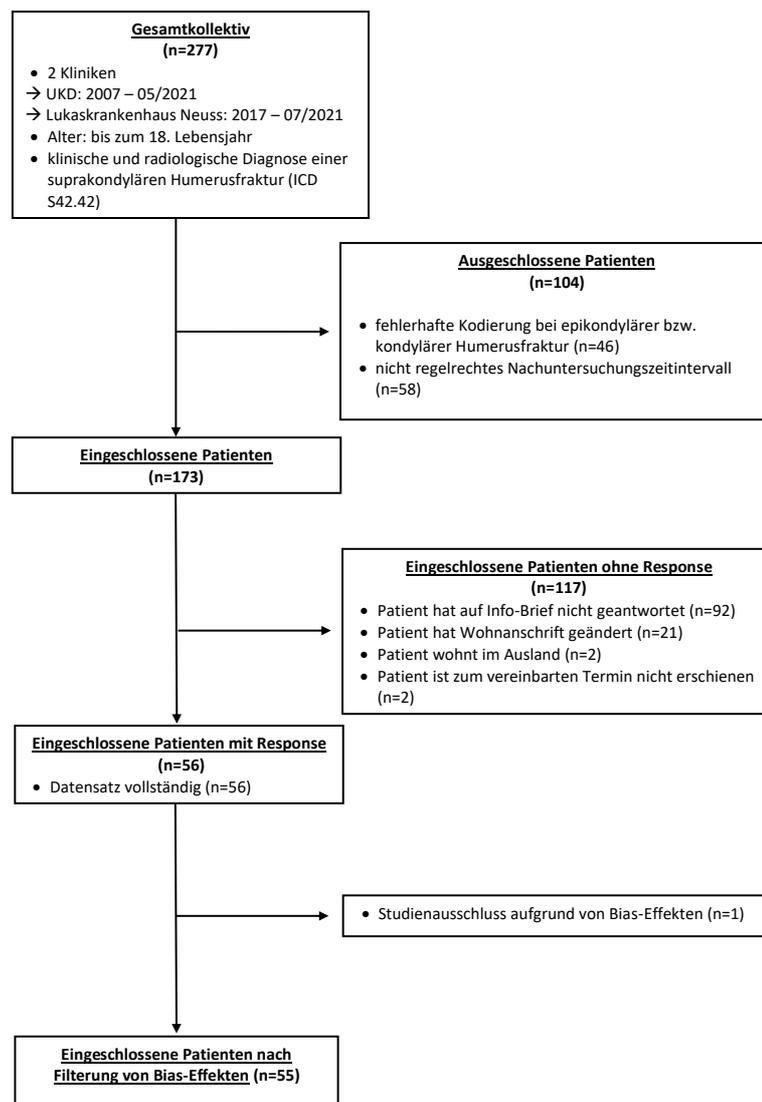


Abb. 07: Flowchart eingeschlossener Patienten in die *Follow-up* Untersuchungen.

### **3.1.2 Kohortenzugehörigkeit**

Es erfolgte eine Unterteilung der Fälle in drei Kohorten, welche sich nach dem Zeitintervall zwischen Unfallereignis/Operationszeitpunkt sowie dem Datum der Nachuntersuchung richteten. Die erste Kohorte wurde definiert über ein Intervall von im Mittel 12 Monaten (1-Jahres-Kohorte). Eine weitere Kohorte umfasste Patientinnen und Patienten, die etwa fünf Jahre vor dem Zeitpunkt der Untersuchung operiert wurden (5-Jahres-Kohorte). Die dritte Kohorte beinhaltete alle Fälle, die vor zehn und mehr Jahren infolge einer suprakondylären Humerusfraktur operativ versorgt wurden (10-Jahres-Kohorte).

Der Mittelwert des Zeitintervalls zwischen stattgehabter Operation sowie dem Untersuchungstermin belief sich auf 61,4 Monate nach Auswertung aller drei Kohorten (Md: 50 Monate, Tab. 02). Im Mittel betrug dieses Untersuchungsintervall in der 1-Jahres-Kohorte 16,1 Monate (Md: 17,5 Monate). In der 5-Jahres-Kohorte wurde ein Mittelwert von 55,1 Monaten erreicht (Md: 52 Monate). Die dritte Kohorte zeigte ein Zeitintervall im Mittel von 130,1 Monaten (Md: 119 Monate).

In der 1-Jahres-Kohorte sowie der 5-Jahres-Kohorte wurde eine Fallzahl von je 20 Patientinnen und Patienten erreicht. In der 10-Jahres-Kohorte gelang die Untersuchung von 15 Patientinnen und Patienten.

### **3.1.3 Geschlechterverteilung**

Bei der Gesamtzahl der Fälle handelte es sich um 22 (40%) weibliche Patientinnen und 33 (60%) männliche Patienten. In der 1-Jahres-Kohorte wurden 11 (55%) Personen mit weiblichem und neun (45%) Personen mit männlichem Geschlecht untersucht. Die 5-Jahres-Kohorte bestand hauptsächlich aus männlichen Kindern und Jugendlichen, genauer wurden 16 (80%) Patienten und vier (20%) Patientinnen dokumentiert. Relativ ausgeglichen präsentierte sich die dritte Kohorte mit sieben (46,7%) weiblichen und acht (53,3%) männlichen Teilnehmern.

### **3.1.4 Alter bei Frakturereignis**

Über alle Kohorten hinweg ergab sich zum Frakturereignis ein durchschnittliches Alter von 5,8 Jahren (Md: 6 Jahre, Tab. 02). Das jüngste Kind erlitt mit einem Jahr eine suprakondyläre Humerusfraktur während ein maximales Alter bei Frakturereignis von 14 Jahren dokumentiert wurde. In der 1-Jahres-Kohorte lag das mittlere Alter bei Fraktur bei 6,2 Jahren (Md: 6,5 Jahre). In der 5-Jahres-Kohorte wurde ein mittleres Frakturalter von 5,9 Jahren detektiert (Md: 6 Jahre). Vor zehn und mehr Jahren ergab sich ein mittleres Alter bei Frakturereignis von 5,3 Jahren (Md: 4 Jahre).

Nach Anwendung des Kruskal-Wallis-Test zeigte sich zwischen den drei Kohorten kein signifikanter Unterschied in Bezug auf das Alter bei Frakturereignis ( $p = 0,455$ ).

### **3.1.5 Körpergröße, -gewicht und BMI bei Untersuchung**

Bei allen Studienteilnehmerinnen und -teilnehmern wurde während der Nachuntersuchung die aktuelle Körpergröße sowie das derzeitige Körpergewicht bestimmt. Alters- und geschlechtsadaptiert erfolgte die Bestimmung des BMI. Der Mittelwert der Körpergröße aller Teilnehmerinnen und Teilnehmern betrug 147 cm (Md: 145 cm, s:  $\pm 22,6$  cm). Die minimale Körpergröße lag bei 107 cm, die maximale Körpergröße bei 194 cm. Das mittlere Körpergewicht wurde mit 40,2 kg dokumentiert (Md: 36 kg, min: 15 kg, max: 98 kg, s:  $\pm 17,7$

kg). Der Body-Mass-Index präsentierte sich in einem Bereich zwischen 13,1 kg/m<sup>2</sup> und 26 kg/m<sup>2</sup> (MW: 17,7 kg/m<sup>2</sup>, Tab. 02). Der Mittelwert der Körpergröße in der 1-Jahres-Kohorte lag bei 130,2 cm (Md: 128 cm). Das mittlere Körpergewicht wurde mit 28,8 kg erfasst. Die Studienteilnehmerinnen und -teilnehmer wiesen einen BMI-Mittelwert von 16,4 kg/m<sup>2</sup>. Die Patientinnen und Patienten, die der 5-Jahres-Kohorte zugeordnet wurden, wiesen im Mittel eine Größe von 145,8 cm auf (Md: 144 cm). Das mittlere Körpergewicht wurde mit 37,3 kg (Md: 33 kg) dokumentiert. Aus diesen Daten wurde ein BMI-Mittelwert von 17,2 kg/m<sup>2</sup> berechnet (Md: 17,6 kg/m<sup>2</sup>). Die Studienteilnehmerinnen und -teilnehmer, die vor zehn und mehr Jahren eine suprakondyläre Humerusfraktur erlitten, wiesen eine Körpergröße zwischen 159 cm und 194 cm auf (MW: 170,93 cm). Das Körpergewicht lag im Mittel bei 59 kg (Md: 60 kg). Der Mittelwert des BMI betrug 19,9 kg/m<sup>2</sup> (Md: 19,5 kg/m<sup>2</sup>).

### **3.1.6 Vorbestehende Frakturen**

Von insgesamt 55 Patientinnen und Patienten stellte bei 44 (80%) Teilnehmerinnen und Teilnehmern die suprakondyläre Humerusfraktur die einzige Fraktur bis zum Untersuchungstermin dar. Dagegen erlitten vier (7,3%) Kinder und Jugendliche eine Fraktur der rechten oberen Extremität, vier (7,3%) weitere eine Fraktur der linken oberen Extremität (davon insgesamt eine Person mit einer zur SCHF ipsilateralen distalen Unterarmschaftfraktur) sowie zwei (3,6%) Personen eine Fraktur der rechten und linken oberen Extremität und ein Junge einen (1,8%) Bruch der linken unteren Extremität. Es handelte sich resümierend in drei Fällen um eine distale Radiusfraktur der ipsilateralen Armseite. In den übrigen Fällen bestand vorhergehend eine Fraktur der Gegenseite. Aus der 1-Jahres-Kohorte wurde lediglich eine vorbestehende Fraktur der linken oberen Extremität gezählt, in der 5-Jahres-Kohorte handelte es sich um zwei Frakturen der linken oberen Extremität sowie vier Frakturen der rechten oberen Extremität. Die dritte Kohorte komplettierte die 11 Personen, die von einem vorbestehenden Frakturereignis betroffen waren, mit vier Betroffenen (eine Fraktur der linken oberen Extremität, eine Fraktur der linken unteren Extremität, zwei Frakturen der rechten und linken oberen Extremität). Ein Ausschluss dieser Patientinnen und Patienten war nicht notwendig, da es zu keiner Verletzung im Bereich des gleichseitigen Ellenbogengelenkes kam. Es handelte sich um distale Unterarmfrakturen und Handgelenksverletzungen, im Bereich der unteren Extremität wurde eine Weber-C-Fraktur verzeichnet.

<b>Tab. 02 Allgemeine Patientendaten (n=55)</b>																
Untersuchtes Item	1-Jahres-Kohorte (n=20)				5-Jahres-Kohorte (n=20)				10-Jahres-Kohorte (n=15)				Gesamtkohorte (n=55)			
<i>Epidemiologische Daten</i>																
Untersuchungsintervall (Monate)	MW 16,1	SA ±5,3	Min 8	Max 24	MW 55,1	SA ±8,8	Min 40	Max 78	MW 130,1	SA ±24,9	Min 110	Max 198	MW 61,4	SA ±47,8	Min 8	Max 198
Geschlecht (w:m)	11:9		55%:45%		4:16		20%:80%		7:8		46,7%:53,3%		22:33		40%:60%	
Alter bei Frakturereignis (Jahre)	MW 6,2	SA ±2,2	Min 3	Max 12	MW 5,9	SA ±2,9	Min 2	Max 14	MW 5,3	SA ±3,3	Min 1	Max 13	MW 5,8	SA ±2,7	Min 1	Max 14
Händigkeit (rechts:links)	17:3		85%:15%		17:3		85%:15%		12:3		80%:20%		46:9		83,6%:16,4%	
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	MW 16,4	SA ±3,2	Min 13,1	Max 26	MW 17,2	SA ±1,9	Min 14,3	Max 20,1	MW 19,9	SA ±3,2	Min 14,5	Max 26	MW 17,7	SA ±3,2	Min 13,1	Max 26
<i>Frakturbezogene Daten</i>																
Frakturseite (rechts:links)	9:11		45%:55%		7:13		35%:65%		8:7		53,3%:46,7%		24:31		43,6%:56,4%	
Unfallhergang	Extensionstrauma: 16 (80%) Flexionstrauma: 1 (5%) Distorsionstrauma: 3 (15%)				Extensionstrauma: 18 (90%) Flexionstrauma: 1 (5%) Distorsions- und Distorsionstrauma: 1 (5%)				Extensionstrauma: 14 (93,3%) Distorsionstrauma: 1 (6,7%)				Extensionstrauma: 48 (87,3%) Flexionstrauma: 1 (1,8%) Distorsionstrauma: 5 (9,1%) Distorsions- und Distorsionstrauma: 1 (1,8%)			
Frakturklassifikation	Typ II: 2 (11,1%) Typ III: 4 (22,2%) Typ IV: 12(66,7%)				Typ II: 4 (22,2%) Typ III: 5 (27,8%) Typ IV: 9 (50%)				Typ II: 2 (13,3%) Typ III: 6 (40%) Typ IV: 7 (46,7%)				Typ II: 8 (15,7%) Typ III: 15 (29,4%) Typ IV: 28 (54,9%)			
<i>Operationsspezifische Daten</i>																
OP-Zeitpunkt (innerhalb des Frakturtages)	17 (85%)				12 (60%)				12 (80%)				41 (74,5%)			
Dauer der OP (Minuten)	MW 57,06	SA ±30	Min 15	Max 107	MW 46,5	SA ±28,6	Min 9	Max 107	MW 39,2	SA ±20,6	Min 14	Max 71	MW 47,8	SA ±27,3	Min 9	Max 107

Geschlossenes Repositionsverfahren	14 (70%)	13 (65%)	12 (80%)	39 (70,9%)
Anzahl K-Drähte	2 Drähte: 11 (55%) 3 Drähte: 7 (35%) 4 Drähte: 2 (10%)	2 Drähte: 13 (65%) 3 Drähte: 3 (15%) 4 Drähte: 4 (20%)	2 Drähte: 14 (93,3%) 3 Drähte: 1 (6,7%)	2 Drähte: 38 (69,1%) 3 Drähte: 11 (20%) 4 Drähte: 6 (10,9%)
Stärke K-Drähte (mm)	1,6: 5 (27,8%) 1,8: 11 (61,1%) 2,0: 1 (5,6%) 1,8 + 2,5: 1 (5,6%)	1,4: 2 (13,3%) 1,6: 5 (33,3%) 1,8: 7 (46,7%) 2,0: 1 (6,7%)	1,4: 2 (18,2%) 1,6: 3 (27,3%) 1,8: 3 (27,3%) 2,0: 3 (27,3%)	1,4: 4 (9,1%) 1,6: 13 (29,5%) 1,8: 21 (47,7%) 2,0: 5 (11,4%) 1,8 + 2,5: 1 (2,3%)
Epikutane Lage der Drahtenden	14 (70%)	15 (75%)	11 (73,3%)	40 (72,7%)
Metallentfernung ohne ITN	13 (65%)	12 (60%)	7 (46,7%)	32 (58,2%)
Physiotherapie nach Metallentfernung	16 (80%)	7 (35%)	3 (20%)	26 (52,7%)
<b>Outcome</b>				
Extension gesunder Arm (Grad)	MW 9,9 SA $\pm 6,5$ Min 0 Max 21	MW 11,2 SA $\pm 6,9$ Min 0 Max 20	MW 9,8 SA $\pm 6,9$ Min 0 Max 21	MW 10,3 SA $\pm 6,7$ Min 0 Max 21
Extension gebrochener Arm (Grad)	MW 8,5 SA $\pm 5,7$ Min 0 Max 17	MW 12,4 SA $\pm 7,2$ Min -1 Max 23	MW 11,4 SA $\pm 4,3$ Min 0 Max 20	MW 10,7 SA $\pm 6,7$ Min -1 Max 23
Flexion gesunder Arm (Grad)	MW 141,9 SA $\pm 5,8$ Min 132 Max 152	MW 145,2 SA $\pm 5$ Min 133 Max 154	MW 142,4 SA $\pm 4,8$ Min 134 Max 152	MW 143,2 SA $\pm 5,4$ Min 132 Max 154
Flexion gebrochener Arm (Grad)	MW 140,4 SA $\pm 5,2$ Min 133 Max 152	MW 143,1 SA $\pm 5,7$ Min 130 Max 154	MW 142,5 SA $\pm 4,3$ Min 130 Max 150	MW 142 SA $\pm 5,2$ Min 130 Max 154
Valgisierende Armachse gebrochener Arm	6 (30%)	12 (60%)	11 (73,3%)	29 (49,1%)
Varusfehlstellung gebrochener Arm	1 (5%)	0	0	1 (1,8%)
Stabilität Seitenbänder des Ellenbogens	20 (100%)	19 (95%)	14 (93,3%)	53 (96,4%)
Sensibilitätsstörungen	5 (25%)	2 (10%)	5 (33,3%)	12 (21,8%)

Resultat MEPS	Excellent: 19 (95%) Good: 1 (5%)	Excellent: 19 (95%) Good: 1 (5%)	Excellent: 14 (93,3%) Good: 1 (6,7%)	Excellent: 52 (94,5%) Good: 3 (5,5%)
<b>MW</b> Mittelwert, <b>SA</b> Standardabweichung, <b>Min</b> Minimum, <b>Max</b> Maximum, <b>ITN</b> Intubationsnarkose, <b>MEPS</b> Mayo Elbow Performance Score				

## **3.2 Fraktur**

### **3.2.1 Unfallhergang**

Die Unfallhergänge wurden in vier Gruppen gegliedert, denen die Studienteilnehmerinnen und -teilnehmer zugeordnet wurden. Es handelte sich um ein Extensions-, Flexions- oder Distorsionstrauma bzw. um eine Kombination aus Extensions- und Distorsionstrauma. 87,3% (48 Fälle) aller Kinder und Jugendlichen erlitten ein Extensionstrauma. Hierbei erfolgte der Sturz auf den im Ellenbogengelenk ausgestreckten Arm aus variablen Höhen. Häufige Stürze wurden von Spiel- und Klettergeräten, Podesten, Fahrrädern und Pferden dokumentiert. Dabei variierte die Fallhöhe von wenigen Zentimetern bis hin zu etwa 2,5 m. Eine (1,8%) Person erlitt ein Flexionstrauma beim Sturz vom Klettergerüst. Bei fünf (9,1%) Personen wurde ein Distorsionstrauma dokumentiert, welches aus dem Hängenbleiben mit dem betroffenen Arm in Kletternetzen oder Bettgittern resultierte. In einem weiteren Fall ergab sich eine Kombination aus einem Extensions- und Distorsionstrauma. Der überwiegende Anteil der Extensionstraumata präsentierte sich ebenfalls in den einzelnen Kohorten. In der 1-Jahres-Kohorte belief sich die Anzahl auf 16 (80%) Fälle, in der 5-Jahres-Kohorte ergaben sich 18 (90%) Extensionstraumata und in der Kohorte mit allen Patientinnen und Patienten, die vor zehn und mehr Jahren eine suprakondyläre Humerusfraktur erlitten, wurden 14 (93,3%) Personen mit einem stattgehabten Extensionstrauma dokumentiert.

### **3.2.2 Frakturseite und Händigkeit**

Im Rahmen der Studie wurde neben der von der Fraktur betroffenen Armseite auch die Händigkeit der Teilnehmerinnen und Teilnehmer erfragt, um eine eventuelle Korrelation analysieren zu können. 83,6% (46 Fälle) waren Rechtshänder\*innen, wohingegen bei 16,4% (neun Fälle) die linke Hand dominant genutzt wurde. Während 56,4% (31 Fälle) eine Fraktur auf der linken Armseite erlitten, waren es 43,6% (24 Fälle), bei denen es zu einem Bruch des rechten Armes kam. In der 1-Jahres-Kohorte waren bei acht Kindern und Jugendlichen die Händigkeit sowie die Armseite der Fraktur identisch. In der Mehrzahl (12 Fälle) variierte demnach die dominante Hand von der Frakturseite. In der 5-Jahres-Kohorte wurde eine Übereinstimmung der Händigkeit sowie der Bruchseite bei sechs Teilnehmerinnen und Teilnehmern dokumentiert. In der Kohorte, in der das Unfallereignis zehn und mehr Jahre zurücklag, differierten in zehn Fällen Armseite der suprakondylären Humerusfraktur sowie Händigkeit. Dementsprechend repräsentierten alle Kohorten eine gehäufte Fraktur der Gegenseite im Vergleich zur Händigkeit.

### **3.2.3 Frakturklassifikation nach von Laer**

Die Fraktureinteilung und folglich die Klassifikation nach von Laer wurde anhand der Röntgen-Aufnahmen im a.-p. sowie lateralen Strahlengang vorgenommen (siehe 1.2.3 und 2.4.4). Insgesamt konnten vier Fälle nicht klassifiziert werden, da die zum Unfall- und Operationszeitpunkt erfolgten Röntgenbilder nicht vorlagen. Die Mehrzahl aller Fälle (n=28, 54,9%) erlitt eine suprakondyläre Humerusfraktur Typ IV nach von Laer. Unter diesen Betroffenen wurden eine I.° offene und eine II.° offene Fraktur dokumentiert. Eine Typ III-Fraktur wurde bei 15 (29,4%) Personen detektiert, eine Typ II-Fraktur lag bei acht (15,7%) Kindern und Jugendlichen vor. Da ausschließlich die Untersuchung von Patientinnen und Patienten mit operativer Versorgung erfolgte, wurde keine unverschobene suprakondyläre Humerusfraktur Typ I nach von Laer verzeichnet. Folgende Aufteilung lag in der 1-Jahres-Kohorte vor: Typ II: zwei Fälle, Typ III: vier Fälle, Typ IV: 12 Fälle. Ein ähnliches Muster wurde ebenfalls in den beiden anderen Kohorten verzeichnet. In der 5-Jahres-Kohorte entfielen vier Fälle auf eine Typ II-Fraktur, fünf Fälle auf eine Typ III-Fraktur und weitere neun Fälle

auf eine Typ IV-Fraktur. Die Kohorte mit den am längsten zurückliegenden Operationen verteilte sich wie folgt: Typ II: zwei Fälle, Typ III: sechs Fälle, Typ IV: sieben Fälle.

Diese Ergebnisse wurden ebenfalls mit dem Kruskal-Wallis-Test ausgewertet. Hier ergab sich kein signifikanter Zusammenhang im Rahmen der Frakturklassifikation zwischen den drei Kohorten ( $p = 0,310$ ).

### **3.3 Operation**

#### **3.3.1 Zeitintervall zwischen Unfall und Operation**

Im Rahmen der Untersuchungen wurde ebenfalls das Zeitintervall zwischen Unfallereignis und Operation erfasst. Bei insgesamt 41 (74,5%) Kindern und Jugendlichen erfolgte die operative Frakturversorgung unmittelbar am selbigen Tag des Unfalles. Ein verlängerter Zeitraum ergab sich folglich bei 14 (25,5%) Patientinnen und Patienten. In der 1-Jahres-Kohorte belief sich bei drei Betroffenen die Abweichung auf einen Tag. In der 5-Jahres-Kohorte ergab sich diese Abweichung zwischen Unfallzeitpunkt und Operation bei acht Kindern und Jugendlichen. Die Kohorte, in der eine Untersuchung der Betroffenen vor zehn und mehr Jahren erfolgte, zeigte bei zwei Kindern bzw. Jugendlichen eine Differenz zwischen Unfall- und Operationsdatum von einem Tag, wobei nur eine einzige Person einen zeitlichen Abstand von mehr als einem Tag aufwies.

#### **3.3.2 Repositionsverfahren**

Wie in Kapitel 1.2.4 erwähnt, erfolgte therapeutisch eine geschlossene oder offene Reposition der SCHF mit anschließender Osteosynthese mit Kirschner-Drähten. Bei der Mehrzahl der Betroffenen gelang eine geschlossene Reposition der Fraktur (39 Fälle, 70,9%). Eine offene Reposition der Fraktur wurde bei 15 (27,3%) Kindern und Jugendlichen dokumentiert. Darunter musste bei zwei Betroffenen zusätzlich eine Neurolyse des N. ulnaris vorgenommen werden. Bei einer (1,8%) Person zeigte sich eine zweizeitige Kombination eines geschlossenen und offenen Verfahrens. Aufgegliedert in die entsprechenden Kohorten entfielen in der 1-Jahres-Kohorte 14 (70%) Fälle auf eine geschlossene und 30% auf eine offene Reposition. In der 5-Jahres-Kohorte wurde bei 13 (65%) Kindern und Jugendlichen eine geschlossene Reposition der Fraktur dokumentiert, bei weiteren sechs (30%) Betroffenen eine offene Reposition (darunter ein Kind mit zusätzlicher Neurolyse des N. ulnaris) und bei einem Kleinkind die zweizeitige geschlossene und anschließend offene Reposition. Bei den Patientinnen und Patienten, die vor zehn und mehr Jahren operativ versorgt wurden, wurden 12 (80%) Fälle einer geschlossenen Reposition und drei Fälle eines offenen Verfahrens dokumentiert (darunter ebenfalls eine Person mit zusätzlicher Neurolyse des N. ulnaris).

##### **3.3.2.1 Zugangswege bei offener Reposition**

Bei den insgesamt 16 (29,1%) Kindern und Jugendlichen, deren suprakondyläre Humerusfraktur mittels offener Reposition operativ versorgt wurde, zeigten sich unterschiedliche Zugangswege (siehe Abb. 08). Insgesamt dominierte der kombinierte radiale und ulnare Zugangsweg (acht Betroffene, 50%). Vier Personen zeigten eine isolierte radiale und drei Heranwachsende einzig eine ulnare Schnittführung. Bei einem zum Frakturzeitpunkt 8-jährigen Jungen, der in die 10-Jahres-Kohorte eingruppiert wurde, konnte ein eher atypischer Zugangsweg streckseitig in Projektion auf die Trizepssehne und Olecranonspitze gesehen werden. Die zwei weiteren offenen Repositionen erfolgten in dieser Kohorte über einen kombiniert radialen und ulnaren Zugang. Die 1-Jahres-Kohorte gliederte sich wie folgt: zwei Fälle eines kombiniert radialen und ulnaren Zugangsweges, drei Personen mit radialer

Operationsnarbe sowie lediglich ein Kind mit ulnarem Zugangsweg. Schließlich zeigten sich in der 5-Jahres-Kohorte bei insgesamt sieben offenen Repositionsverfahren, vier radiale und ulnare, zwei ulnare und ein radialer Operationszugang.



**Abb. 08: Klinische Präsentation und Narbenbildung nach offener Reposition.**

a) Zugangsweg links radialeseitig; b) Zugangsweg rechts radialeseitig;  
c) Zugangsweg links ulnarseitig; d) Zugangsweg oberhalb des Olecranons

### 3.3.3 Anzahl und Stärke der Kirschner-Drähte

Die Anzahl der eingebrachten K-Drähte variierte zwischen 2 und 4 Drähten. Bei 38 (69,1%) Patientinnen und Patienten erfolgte die operative Versorgung mit 2 K-Drähten. 11 (20%) Personen erhielten 3 K-Drähte und wiederum bei sechs (10,9%) weiteren Kindern sowie Jugendlichen erfolgte die Stabilisierung der suprakondylären Humerusfraktur mittels 4 K-Drähten. Die Dominanz der Stabilisierung mit 2 K-Drähten wurde auch in den einzelnen Kohorten repräsentiert. In der 1-Jahres-Kohorte lag diese Patientenzahl bei 11. 3 K-Drähte erhielten sieben Kinder und Jugendliche. Bei zwei Betroffenen musste eine Versorgung mit 4 K-Drähten erfolgen. Die 5-Jahres-Kohorte zeigte folgende Verteilung: 13 Fälle mit 2 K-Drähten, drei Fälle mit 3 K-Drähten und vier Fälle mit 4 K-Drähten. Von den 15 Kindern und Jugendlichen, welche vor zehn und mehr Jahren operativ versorgt wurden, erfolgte bei 14 Personen das Einbringen von 2 K-Drähten und bei einer weiteren Person die Versorgung mittels 3 K-Drähten. Sowohl in den einzelnen Kohorten als auch in der Zusammenschau aller Fälle zeigte sich die führende Versorgung mittels 2 K-Drähten (Md: 2 K-Drähte).

Der Durchmesser bzw. die Stärke der Kirschner-Drähte wurde in Millimetern (mm) dokumentiert, wobei diese nicht bei jeder Studienteilnehmerin bzw. jedem Studienteilnehmer aus der Patientendokumentation eruiert werden konnte (44 von 55 Fällen, 80%). Die Stärken gliederten sich wie folgt auf: 1,4 mm, 1,6 mm, 1,8 mm, 2,0 mm, 2,5 mm. Insgesamt wurde ein gehäufter Einsatz von K-Drähten mit einer Stärke von 1,8 mm dokumentiert (47,7% der Fälle, Tab. 02). Nach Häufigkeit gewichtet folgte das Einbringen von K-Drähten mit einer Stärke von 1,6 mm (13 Fälle, 29,5%), 2,0 mm (fünf Fälle, 11,4%) sowie 1,4 mm (vier Fälle, 9,1%). Bei einer Person erfolgte das Einbringen von zwei unterschiedlichen Drahtstärken (1,8 mm und 2,5 mm). In der 1-Jahres-Kohorte zeigte sich ebenfalls der vermehrte Einsatz von 1,8 mm starken K-Drähten (11 Fälle). Fünf Patientinnen und Patienten erhielten eine operative Frakturversorgung mittels 1,6 mm K-Drähten. In der 5-Jahres-Kohorte zeigte sich ebenfalls ein

Überwiegen des Einsatzes von 1,8 mm K-Drähten (7 Fälle, Tab. 02). Die Kohorte, die Betroffene von vor zehn und mehr Jahren umfasste, zeigte ein ausgeglichenes Verhältnis zwischen dem Einsatz der unterschiedlichen Drahtstärken (Tab. 02).

### **3.3.4 Lokalisation der Kirschner-Drähte**

Bei der Lokalisation bzw. Platzierung der Kirschner-Drähte wurden vier verschiedene Verfahrensweisen dokumentiert. Bei 38 (69,1%) Patientinnen und Patienten erfolgte das Einbringen je eines retrograden K-Drahtes radial- sowie ulnarseitig. Acht (14,5%) Personen wurden mit zwei K-Drähten radialeseitig und einem K-Draht ulnarseitig operativ versorgt. Bei sechs (10,9%) Studienteilnehmerinnen und -teilnehmern musste eine Stabilisierung der suprakondylären Humerusfraktur über je zwei radialeseitig sowie zwei ulnarseitig eingebrachte K-Drähte erfolgen. Vereinzelt (drei Fälle, 5,5%) wiesen die Kinder und Jugendlichen nach der Operation zwei ulnarseitige und einen radialeseitigen Draht auf. Die 1-Jahres-Kohorte zeigte ebenfalls die Dominanz des Verfahrens eines radial- sowie eines ulnarseitig eingebrachten K-Drahtes (11 Personen, 55%). Es folgte die Versorgung mittels zwei radialeseitigen und einem ulnarseitigen K-Draht (fünf Fälle). Jeweils zwei Patientinnen und Patienten in dieser Kohorte zeigten das Einbringen von zwei ulnarseitigen sowie einem bzw. zwei radialeseitigen K-Drähten. Die 5-Jahres-Kohorte wies bei 13 (65%) Teilnehmerinnen und Teilnehmern einen radial- sowie ulnarseitigen K-Draht auf. Vier K-Drähte erhielten in dieser Kohorte vier Personen. Die übrigen drei Kinder und Jugendlichen wurden mittels zwei radialeseitigen und einem ulnarseitigen K-Draht operativ versorgt. Die dritte Kohorte repräsentierte die Häufigkeit des Verfahrens eines radial- sowie ulnarseitigen K-Drahtes (14 Fälle, 93,3%). Bei einer weiteren Person wurden zwei ulnarseitige und ein radialeseitiger K-Draht dokumentiert.

### **3.3.5 Drahtenden im Verhältnis zum Hautniveau**

Im Rahmen der Studie stellte sich heraus, dass der Verbleib der Drahtenden über dem Hautniveau (epikutan) bei der Mehrzahl der Fälle gewählt wurde (40 Personen, 72,7%). Alternativ erfolgte die komplette (13 Fälle, 23,6%) oder partielle (zwei Fälle, 3,6%) Versenkung der Drahtenden unter dem Hautniveau (subkutan). In der 1-Jahres-Kohorte wurden bei 14 Kindern und Jugendlichen die K-Drahtenden über dem Hautniveau belassen, bei fünf Personen erfolgte die Versenkung unter dem Hautniveau und eine weitere Person wies das radialeseitige über und das ulnarseitige Drahtende unter dem Hautniveau auf. Eine ähnliche Verteilung zeigte sich in der 5-Jahres-Kohorte mit folgenden Zahlen: 15 Personen mit Verbleib der K-Drahtenden über Hautniveau, vier Kinder und Jugendliche mit Versenkung der Enden sowie ein weiterer Teilnehmer mit partieller Versenkung lediglich radialeseitig. Vor zehn und mehr Jahren verblieben postoperativ bei 11 Personen die Drahtenden epikutan während diese bei vier Kindern und Jugendlichen versenkt wurden.

### **3.3.6 Operationszeiten**

Die Operationsdauer in Minuten zeigte insgesamt eine Spannweite von einem Minimum von neun Minuten bis zu einem Maximum von 107 Minuten. Im Mittel ergab sich eine Operationszeit von 47,8 Minuten (Md: 45 Minuten, Tab. 02). In der 1-Jahres-Kohorte wurde ein Mittelwert von 57,1 Minuten (Md: 53,5 Minuten) dokumentiert. In der 5-Jahres-Kohorte dauerte eine Operation im Mittel 46,5 Minuten (Md: 44,5 Minuten). Der Mittelwert der Operationszeit der dritten Kohorte lag im Vergleich am niedrigsten mit 39,2 Minuten.

### **3.4 Metallentfernung**

#### **3.4.1 Zeitlicher Abstand zwischen Operation und Entfernung der Kirschner-Drähte**

In der Regel erfolgte die planmäßige Metallentfernung der Drähte innerhalb von 4-8 Wochen nach initialer Operation. Dieses Zeitintervall konnte bei 47 (85,5%) Patientinnen und Patienten eingehalten werden. Bei sechs (10,9%) Betroffenen lag der zeitliche Abstand unter 4 Wochen, bei zwei (3,6%) Kindern und Jugendlichen über 8 Wochen. In der 1-Jahres-Kohorte konnte ein regelrechtes Zeitintervall bei 18 (90%) Teilnehmerinnen und Teilnehmern eingehalten werden. In einem Fall lag der zeitliche Abstand zwischen Operation und Metallentfernung unter 4 Wochen, bei einer Person über 8 Wochen. Die 5-Jahres-Kohorte wies 17 (85%) regelrechte Metallentfernungen auf, eine verspätete sowie zwei verfrühte Bergungen der K-Drähte. In der Gruppe der Patientinnen und Patienten, die vor zehn und mehr Jahren operiert wurden, konnte eine regelrechte Metallentfernung bei 12 (80%) Kindern und Jugendlichen erreicht werden. Bei keiner Person wurde das Zeitintervall überschritten, bei drei Fällen mussten die K-Drähte vor Ablauf der 4 Wochen entfernt werden.

#### **3.4.2 Art der Metallentfernung**

Abhängig besonders von der Lage der K-Drähte in Bezug auf das Hautniveau wurde eine Metallentfernung im wachen Zustand oder in Allgemeinanästhesie durchgeführt. Bei 32 (58,2%) Kindern und Jugendlichen gelang ein Zug der epikutan liegenden K-Drähte im wachen Zustand, in 23 (41,8%) Fällen erfolgte eine Metallentfernung in Allgemeinanästhesie. Die 1-Jahres-Kohorte zeigte folgende Verteilung: 13 Fälle im wachen Zustand, sieben Betroffene in Allgemeinanästhesie. In der 5-Jahres-Kohorte gelang der Zug der K-Drähte bei 12 Personen im wachen Zustand, bei acht Kindern und Jugendlichen wurde eine Metallentfernung im Rahmen einer Allgemeinanästhesie durchgeführt. In der dritten Kohorte zeigten sich mehr Teilnehmerinnen und Teilnehmer, deren K-Drähte unter Allgemeinanästhesie entfernt wurden (acht von 15 Fällen).

#### **3.4.3 Besonderheiten und Auffälligkeiten im Rahmen der Metallentfernung**

Besondere Ereignisse wurden in 12 (21,8%) Fällen von den Betroffenen und deren Erziehungsberechtigten berichtet. Im Rahmen der Untersuchungen fiel auf, dass sechs (18,8%) Betroffene, bei denen eine Metallentfernung im wachen Zustand durchgeführt wurde, diese als schmerzhaft und besonders traumatisierend empfunden haben. Bei kohortenübergreifend zwei Personen, also in 5% der Fälle, deren Drahtenden epikutan herausragten, musste eine deutlich vorzeitige Entfernung der K-Drähte aufgrund eines Pin-Infektes erfolgen (acht Tage sowie zeitlich verschiedene Zeitpunkte der Bergung zweier K-Drähte einer betroffenen Person jeweils 11 bzw. 14 Tage postoperativ). In einem Fall brach der K-Draht während der Entfernung ab. Der abgebrochene Teil wurde im Humerus belassen. Im Rahmen einer operativen Metallentfernung musste bei einer Person eine Wundausschneidung sowie ein Wunddebridement ulnarseitig ergänzt werden. In einem weiteren Fall erfolgte eine Neurolyse des N. ulnaris. Bei einem Mädchen zeigte sich im Rahmen der K-Draht-Entfernung eine Granulombildung im Bereich des radial einliegenden Drahtes.

### **3.5 intra- und postoperative Komplikationen**

Es wurden im Rahmen der Studie sowohl intra- als auch postoperative Komplikationen bzw. Besonderheiten erfasst. Hierbei ergaben sich intraoperativ bei insgesamt fünf (9,1%) Betroffenen folgende Auffälligkeiten während der Operation: ein Fall mit intramedullär verbliebener Spitze eines abgebrochenen K-Drahtes, drei Fälle mit zunächst nicht regelrechter

Lage der Eintrittspunkte der K-Drähte, sodass als Konsequenz eine Revision innerhalb der Primäroperation erfolgte sowie eine nicht anatomisch korrekte Stellung des proximal-ulnaren Fragmentes, welche aufgrund der nicht gelenktragenden Funktion belassen wurde.

Postoperative Auffälligkeiten wurden bei 13 (23,6%) Kindern und Jugendlichen dokumentiert. Auf die 1-Jahres-Kohorte entfielen sechs Fälle. Es handelte sich hierbei um zwei Infektionen im Bereich der Drahtenden. Darüber hinaus zeigten sich bei einem Jungen Dysästhesien im Bereich der Digiti I und II der linken Hand, welche jedoch im Verlauf deutlich regredient waren. In einem weiteren Fall wurde eine große Exostose (2-3 cm) beugeseitig des distalen Humerus links dokumentiert, welche ein Streckdefizit bedingte und daher im Verlauf operativ abgetragen werden musste. Eine weitere Patientin entwickelte das klinische Bild einer isolierten Läsion des motorischen Astes des N. medianus (Kiloh-Nevin-Syndroms) welche im Verlauf vollständig rückläufig war (klinische Beispiel, siehe Abb. 09). Bei einem Mädchen wurde ein deutliches Flexionsdefizit des betroffenen Armes dokumentiert. In der 5-Jahres-Kohorte präsentierten sich fünf Fälle, bei denen postoperativ ein abnormaler Verlauf detektiert wurde. Folgende Auffälligkeiten zeigten sich: zweimalige Re-Operation bei in knöcherner Fehlstellung konsolidierter Fraktur, eine milde Affektion des N. medianus rechts mit Beschwerderegradienz im Verlauf, eine ausgeprägte Pin-Infektion sowie eine Kombination aus Streckdefizit im Humeroulnargelenk mit Dysästhesien im Bereich der Digiti IV und V sowie Valgusfehlstellung. Ein zusätzlicher Fall einer Pin-Infektion zeigte sich auch in der dritten Kohorte. Hinzu kam hier noch ein Mädchen mit einer postoperativen kompletten Ulnarisparese rechts.



**Abb. 09: klinische Präsentation einer Affektion des N. interosseus/medianus (Kiloh-Nevin-Syndrom) bei suprakondylärer Humerusfraktur links.**

### **3.6 Physiotherapie und Krankengymnastik**

In 52,7% (26 Personen) der Fälle erfolgte nach Metallentfernung eine physiotherapeutische Behandlung des operativ versorgten Armes. In der 1-Jahres-Kohorte belief sich die Zahl auf 16 Betroffene (80%). Die 5-Jahres-Kohorte präsentierte sieben Fälle (35%) und aus der 10-Jahres-Kohorte erhielten lediglich drei Patientinnen und Patienten eine physiotherapeutische Unterstützung. Die Indikationen waren diesbezüglich vielfältig. Hierzu zählten Flexions- und Extensionsdefizite, Kraftminderung, Bewegungseinschränkungen und Dysästhesien im Bereich der Finger sowie Cephalgien durch Schonhaltung des betroffenen Armes. Wichtig sei in diesem Zusammenhang zu erwähnen, dass anamnestisch auch häufig eine

physiotherapeutische Mitbehandlung ausdrücklich von Seiten der Erziehungsberechtigten gewünscht wurde und keine unmittelbar medizinische Indikation gegeben war.

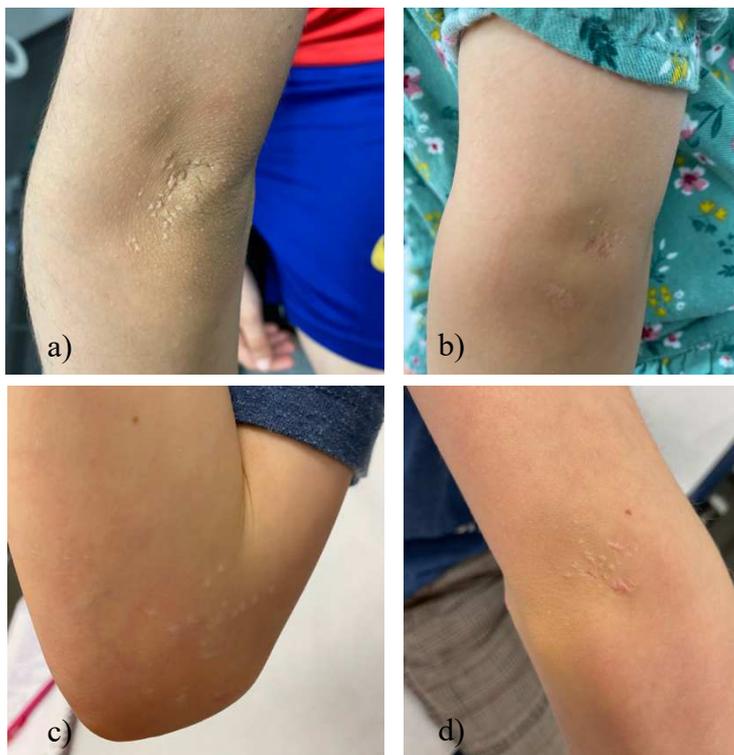
### **3.7 Nachuntersuchung**

Im Rahmen der Nachuntersuchungen wurde allen Teilnehmerinnen und Teilnehmern die Frage gestellt, ob es zum aktuellen Zeitpunkt Schmerzen, Funktionseinschränkungen, Sensibilitätsstörungen oder anderweitige Auffälligkeiten gebe, welche mit der Fraktur sowie deren operativen Versorgung in Zusammenhang gebracht werden können. Diese Frage bejahten 14 (25,5%) der 55 Patientinnen und Patienten. In der 1-Jahres-Kohorte waren es fünf Kinder und Jugendliche, in der 5-Jahres-Kohorte vier weitere Personen sowie fünf Teilnehmerinnen und Teilnehmer in der dritten Gruppe. Hierbei sei die Relevanz einer psychologischen als auch funktionellen Komponente zu erwähnen. In der 1-Jahres-Kohorte berichteten zwei Betroffene von psychologischen Auswirkungen durch das Unfallereignis sowie die folgende Frakturversorgung. In einem Fall erfolgte sogar eine intensive Traumatherapie in einer kinderpsychologischen Abteilung. Ein weiteres Mädchen berichtete von Narbenschmerzen sowie Schmerzen bei ausgeprägter Extension und gleichzeitiger Supination des linken Armes. Bei einer Person wurde eine deutliche Empfindlichkeit der ulnarseitigen Narbe bei Z. n. offener Reposition betont. In einem Fall beschrieb die Mutter eine Schonhaltung des betroffenen Armes beim schnellen Laufen bzw. Rennen. In der 5-Jahres-Kohorte zeigten sich zwei Betroffene mit psychischen Auswirkungen, welche sich in Form von Meidungsverhalten bestimmter Alltagsaktivitäten sowie kosmetischen Problemen mit der Narbenbildung äußerten. Das Meidungsverhalten eines Jungen wurde durch einen stechenden Schmerz im Bereich des Epicondylus medialis bei längerem Aufliegen des Armes verstärkt. Eine weitere Person berichtete von einer fehlenden endgradigen Beugung im Humeroulnargelenk im Seitenvergleich. Ein vierter Studienteilnehmer dieser Kohorte verspürte eine Hypersensitivität im Bereich der Digiti IV und V ulnarseitig. Zudem gelang diesem die endgradige Streckung im Ellenbogengelenk nicht. Auch bei Betroffenen, die vor zehn und mehr Jahren eine operative Versorgung der suprakondylären Humerusfraktur erhielten, zeigte sich bei zwei Personen eine Empfindlichkeitsstörung im Bereich der Digiti IV und V ulnarseitig bzw. im Bereich des Olecranon. Bei der Patientin mit erstgenannter Lokalisation der Sensibilitätsstörung wurde zudem ein belastungsabhängiger Schmerz im Bereich des Ellenbogens geäußert. Der Studienteilnehmer mit zweitgenannter Empfindlichkeitsänderung präsentierte sich mit in Abb. 08 gezeigter Schnittführung oberhalb des Olecranon. Subjektiv beschrieb er eine Verhärtung im Bereich der Sehne des Musculus triceps brachii. Im Alltag äußerte sich dies durch vermehrtes Hängenbleiben in diesem Bereich. In der Kohorte berichtete ein weiterer Studienteilnehmer von einem Knacken des betroffenen Armes bei Extensionsbewegungen. Darüber hinaus zeigte sich auch in dieser Gruppe eine Person mit einer unbewussten Schonhaltung des Armes in Flexion sowie parallel einer Tendenz zur Krallenhandstellung. Einem Jungen fiel die deutliche Hyperextension des Armes im Vergleich zur gesunden Gegenseite auf.

#### **3.7.1 Inspektion**

In der klinischen Untersuchung wurde mit der Inspektion beider Arme begonnen und der Fokus auf die Narbenbildung sowie die Narbengröße und eventuelle Hautdefekte gelegt. Während bei einer geschlossenen Reposition zumeist nur eine minimale, punktförmige Narbe durch die K-Drähte entstand, variierte die Narbengröße bei Z.n. offener Reposition zwischen 3,4 und 8,5 cm. Ebenso zeigten sich Unterschiede in der Gewebsheilung. In den meisten Fällen wurde eine strichförmige und nicht wulstige Narbe gesehen. Bei keinem der Teilnehmerinnen und Teilnehmern zeigten sich Hautdefekte nach operativer Frakturversorgung.

Besonders hervorzuheben sei in diesem Kapitel die Tatsache, dass bei sechs (10,9%) der Personen, bei denen eine geschlossene Reposition mit anschließender K-Draht-Einbringung erfolgte, multiple punktförmige Narben um die Hauptnarbe zum Vorschein kamen. Dieses wurde am ehesten auf eine Verletzung der Haut durch die epikutan befindlichen Drahtenden zurückgeführt. Abb. 10 zeigt die Fotodokumentation der dargestellten Auffälligkeit. Des Weiteren wurde in drei (5,5%) Fällen eine tastbare überschüssige Kallusbildung (radialseitig > ulnarseitig) dokumentiert. Zuletzt zeigte sich bei dem Patienten, der eine Schnittführung oberhalb des Olecranon aufwies, eine Hauteinziehung proximal des Olecranon mit palpatorisch derber Struktur.



**Abb. 10: klinische Präsentation multipler punktförmiger Narben um Hauptnarbe.**

- a) Lokalisation links radialseitig
- b) Lokalisation links radialseitig
- c) Lokalisation rechts ulnarseitig
- d) Lokalisation rechts radialseitig

### 3.7.2 Bewegungsumfang / *Range of Motion*

Im Rahmen der Untersuchung erfolgte die Bestimmung des Bewegungsumfanges der gebrochenen und operativ versorgten Armseite sowie des gesunden Armes (Extension und Flexion sowie Pro- und Supination) nach der Neutral-Null-Methode (Tab. 02). In der Gesamtbewertung ergab sich im Mittel eine Hyperextension beider Arme (MW gesunde Seite: 10,3°, gebrochener Arm: 10,7°; Md beider Seiten: 11°). Während auf der gesunden Seite die Streckung zwischen 0° und 21° variierte, zeigte sich diese Spanne auf der ehemals gebrochenen Seite zwischen einem Defizit von 1° sowie einer maximalen Extension von 23° (Range: 24°). Im Rahmen der Flexion wurden auf der gesunden Armseite Bewegungsumfänge zwischen 132° und 154° dokumentiert (MW: 143,2°). Im Vergleich dazu zeigte die ursprünglich gebrochene Armseite einen Mittelwert von 142°. Die 1-Jahres-Kohorte präsentierte sich bei der Extension des gesunden und kranken Armes mit einem Mittelwert von 9,9° bzw. 8,5°. Im Rahmen der Beugung zeigte sich auf der gesunden Armseite ein Mittelwert von 141,9°, die Flexion der operativ versorgten Armseite lag im Mittel bei 140,4°. In der 5-Jahres-Kohorte wurde bei der Extensionsbewegung im Mittel ein Unterschied von 1,2° zwischen gesunder und gebrochener Armseite gesehen (MW: 11,2° bzw. 12,4°). Bei der Beugung des gesunden Armes konnte im Mittel eine Gradzahl von 145,2° (Md: 145°) erreicht werden, während der Mittelwert auf der erkrankten Armseite bei 143,1° (Md: 144°) lag. In der 10-Jahres-Kohorte wurde bei der Extensionsbewegung ein Mittelwert auf der erkrankten Armseite von 11,4° sowie von 9,8° auf

der gesunden Vergleichsseite dokumentiert. Im Mittel wurde eine annähernd gleiche Flexion auf beiden Seiten erreicht (operierter Arm: 142,5° vs. Vergleichsseite: 142,4°).

Es wurden in jeder Kohorte die Ergebnisse zwischen der Extension des gesunden sowie ursprünglich gebrochenen Armes analysiert. Dieses erfolgte ebenfalls für die Flexion im Humeroulnargelenk. In der 1-Jahres-Kohorte wurde bei nicht gegebener Normalverteilung der Wilcoxon-Test genutzt. Bei der Untersuchung der Extensionsbewegung beider Arme zeigte sich mit einer asymptotischen Signifikanz von 0,016 ein signifikanter Unterschied zwischen beiden Armen. Der Z-Wert lag mit 2,417 ebenfalls über dem kritischen Wert von 1,96 (bei  $\alpha = 0,05$ ). Das Ergebnis basierte auf einer mittleren Effektstärke ( $r = 0,382$ ). Die vergleichende Flexionsbewegung ergab keinen signifikanten Unterschied ( $p = 0,322$ ). In der 5-Jahres-Kohorte kam sowohl der Wilcoxon-Test für die Flexion beider Seiten als auch der t-Test für abhängige Stichproben bei der Extensionsbewegung zur Anwendung. In beiden Fällen gab es keine signifikanten Unterschiede (Extension:  $p = 0,331$ , Flexion:  $p = 0,068$ ). Die 10-Jahres-Kohorte bot eine Normalverteilung der Daten des Bewegungsumfanges, sodass hier der t-Test für abhängige Stichproben zur Anwendung kam. Vergleichend zwischen gesunder und frakturierter Seite konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden (Extension:  $p = 0,379$ , Flexion:  $p = 0,89$ ).

Eine vollständige, endgradige Pro- und Supinationsbewegung konnte bei allen Studienteilnehmerinnen und -teilnehmern auf beiden Armseiten erreicht werden, eine genaue Differenzierung konnte aus diesem Grund entfallen.

### **3.7.3 Armachse, klinischer Kubitalwinkel**

Bei der Bestimmung des klinischen Kubitalwinkels zeichnete sich bei 27 (49,1%) Kindern und Jugendlichen eine Valgisierung der Armachse zwischen Ober- und Unterarm ab. Diese Abweichung zeigte sich in diesem Zusammenhang beidseitig, jedoch meist in unterschiedlicher Ausprägung zwischen 3° und 23°. Bei differenzierter Auswertung zeigte sich, dass bei acht (29,6%) der 27 Personen die Valgisierung auf der ehemals verletzten Armseite ausgeprägter war. Bei fünf (18,5%) Kindern und Jugendlichen wurde eine identische Gradzahl der Achsabweichung auf beiden Armseiten gemessen. In 14 (51,9%) Fällen war die Achsabweichung der Armachse auf der ursprünglich gebrochenen Seite geringer als auf der gesunden Gegenseite. Eine goniometrisch gerade Armachse wurde in der Nachuntersuchung bei 19 (34,5%) Personen dokumentiert. Dagegen präsentierten acht (14,5%) Kinder und Jugendliche eine einseitige Valgisierung (in sechs Fällen im Bereich der gesunden Vergleichsseite). Lediglich in einem (1,8%) Fall (in der 1-Jahres-Kohorte) konnte eine Varisierung von 12° auf der betroffenen Seite diagnostiziert werden. In der 1-Jahres-Kohorte wurde bei neun Studienteilnehmerinnen und -teilnehmern ein regelrechter klinischer Kubitalwinkel dokumentiert. In sechs Fällen zeigte sich eine valgisierende Armachse beidseitig, wobei lediglich bei einer Person die Achsabweichung auf der ursprünglich gebrochenen Seite stärker ausgeprägt war. In zwei Fällen war der klinische Kubitalwinkel auf beiden Seiten gleich, in drei Fällen zeigte sich die valgisierende Armstellung auf der gesunden Vergleichsseite nach Messung ausgeprägter. Die in dieser Kohorte viermalig detektierte einseitige valgisierende Achsabweichung präsentierte sich jedes Mal auf der gesunden Vergleichsseite. Die 5-Jahres-Kohorte zeigte in der Häufigkeitsverteilung bei zehn Personen eine Valgisierung der Armachse beidseits. Von den zehn Patientinnen und Patienten zeigten jeweils vier Betroffene eine stärkere bzw. geringere Ausprägung der Achsabweichung auf der frakturierten Armseite. In zwei Fällen waren die klinischen Kubitalwinkel auf beiden Seiten identisch. Bei acht Personen aus dieser Kohorte wurde ein regelrechter Befund dokumentiert, in zwei Fällen zeigte sich eine einseitige Valgisierung. In diesem Fall war bei beiden Personen die ursprünglich gebrochene Armseite von dieser Achsabweichung betroffen. In der 10-Jahres-

Kohorte wurde bei 11 Kindern und Jugendlichen eine beidseitige Valgisierung festgestellt. Eine stärkere Ausprägung auf der erkrankten Seite zeigte sich bei drei Personen, eine geringere Achsabweichung zur Vergleichsseite wurde in sieben Fällen gesehen. Bei einer weiteren Person war der klinische Kubitalwinkel auf beiden Seiten identisch. Jeweils zwei Betroffene präsentierten eine regelrechte Armachse sowie eine einseitige Valgisierung auf der gesunden Vergleichsseite.

Die Ergebnisse des klinischen Kubitalwinkels wurden in der 1- und 5-Jahres-Kohorte mit Hilfe des Wilcoxon-Testes evaluiert. Bei vorliegender Normalverteilung der Daten in der 10-Jahres-Kohorte wurde der t-Test genutzt. In der 1-Jahres-Kohorte zeigte sich zwischen dem gesunden sowie ursprünglich verletzten Arm ein signifikanter Unterschied im Hinblick auf den klinischen Kubitalwinkel ( $p = 0,013$ ). Der Z-Wert lag mit 2,492 ebenfalls über dem kritischen Wert von 1,96 (bei  $\alpha = 0,05$ ). Das Ergebnis basierte auf einer mittleren Effektstärke ( $r = 0,394$ ). Sowohl in der 5- als auch 10-Jahres-Kohorte konnte dieser signifikante Unterschied nicht mehr festgestellt werden.

Kurz gefasst gab es in der 1-Jahres-Kohorte einen signifikanten Unterschied in der Armachse zwischen dem verletzten Arm und der gesunden Gegenseite.

### **3.7.4 Seitenbandstabilität des Ellenbogengelenkes**

Eine Überprüfung der Seitenbandstabilität in Extensions- sowie leichter Flexionsstellung im Bereich des Ellenbogengelenkes ergab bei 53 (96,4%) von 55 Kindern und Jugendlichen einen regelrechten Befund. Zwei Betroffene zeigten eine abnorme Bandstabilität. Es handelte sich hierbei um einen männlichen Patienten aus der 5-Jahres-Kohorte, dessen Seitenbänder beidseits eine erhöhte Laxizität aufwiesen, es aber keine Hinweise auf eine Verletzung gab und dieser Befund bei beidseitigem Vorliegen nicht als funktionsrelevante Instabilität gewertet wurde. Der zweite Fall präsentierte sich bei einem Mädchen aus der 10-Jahres-Kohorte. Hier zeigte sich bei Extension ein vermehrter Bewegungsspielraum auf der betroffenen Armseite. Nach fachärztlicher Evaluation war dieser Befund nicht auf den Unfall zurückzuführen und hatte ebenfalls anamnestisch keine Auswirkungen auf alltägliche Aktivitäten.

### **3.7.5 Periphere Durchblutung, Motorik und Sensibilität**

Wie in 2.4.3 beschrieben, wurden im Rahmen der klinischen Untersuchungen der aktuelle Status zur peripheren Durchblutung, Motorik und Sensibilität sowie ergänzend eine potenzielle Narbenhypersensibilität untersucht. In der Gesamtbewertung zeigte sich in keinem Fall eine Einschränkung in der motorischen Funktion sowie der peripheren Durchblutung zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung. Klinische Auffälligkeiten wurden im Zusammenhang mit der Sensibilität bei 12 (21,8%) Kindern und Jugendlichen dokumentiert. Über eine Überempfindlichkeit der Narbe klagten bei Untersuchung drei (5,5%) Personen. Die 1-Jahres-Kohorte präsentierte Sensibilitätsstörungen bzw. -auffälligkeiten bei fünf Studienteilnehmerinnen und -teilnehmern. Dieses äußerte sich bei zwei Patientinnen in einer Sensibilitätsminderung auf der betroffenen Armseite (Lokalisation: gesamter Handbereich bzw. oberhalb des Olecranon). In den anderen drei Fällen wurde eine Sensibilitätssteigerung (im Sinne von Kribbelparästhesien) der ulnarseitigen Hand des ursprünglich gebrochenen Armes detektiert. Eine Überempfindlichkeit der Narben zeigte sich bei zwei Kindern dieser Kohorte. Es handelte sich in diesem Zusammenhang sowohl um eine Narbe nach offener als auch nach geschlossener Reposition. Eine Hypersensibilität der Narben wurde bei keiner Person in der 5-Jahres-Kohorte dokumentiert. Bei zwei Betroffenen, deren suprakondyläre Humerusfraktur offen reponiert wurde, zeigten sich auf dieser Seite Kribbelparästhesien im Bereich der Digg. IV und V. Bei beiden wurden diese Beschwerden bereits postoperativ

dokumentiert. In einem Fall musste zudem bei operativer Versorgung der Fraktur eine Neurolyse des N. ulnaris erfolgen. Die dritte Kohorte stellte bei fünf Fällen eine Auffälligkeit in Bezug auf die Sensibilität dar. Vier Betroffene präsentierten eine Sensibilitätsminderung bis hin zu einem Taubheitsgefühl auf der betroffenen Armseite im Bereich der ulnarseitigen Hand (v.a. Digg. IV und V sowie einmalig im Bereich des Olecranon). Hierbei ist zu erwähnen, dass bei drei dieser Personen eine Neurolyse des N. ulnaris durchgeführt wurde. In einem Fall war bereits postoperativ eine Ulnarisparese (ohne motorische Einschränkungen zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung) bekannt, in den übrigen drei Fällen wurden keinerlei Auffälligkeiten postoperativ dokumentiert. Bei einem Mädchen wurde ein gesteigertes Sensibilitätsempfinden im Bereich der ulnarseitigen Hand der frakturierten Extremität diagnostiziert. Die Verteilung bzgl. einer offenen bzw. geschlossenen Reposition lag bei drei bzw. zwei Studienteilnehmerinnen/-teilnehmern. Ein Junge präsentierte in dieser Kohorte eine Überempfindlichkeit der ulnaren Narbe.

### 3.7.6 Scoreauswertung und Resultateinordnung

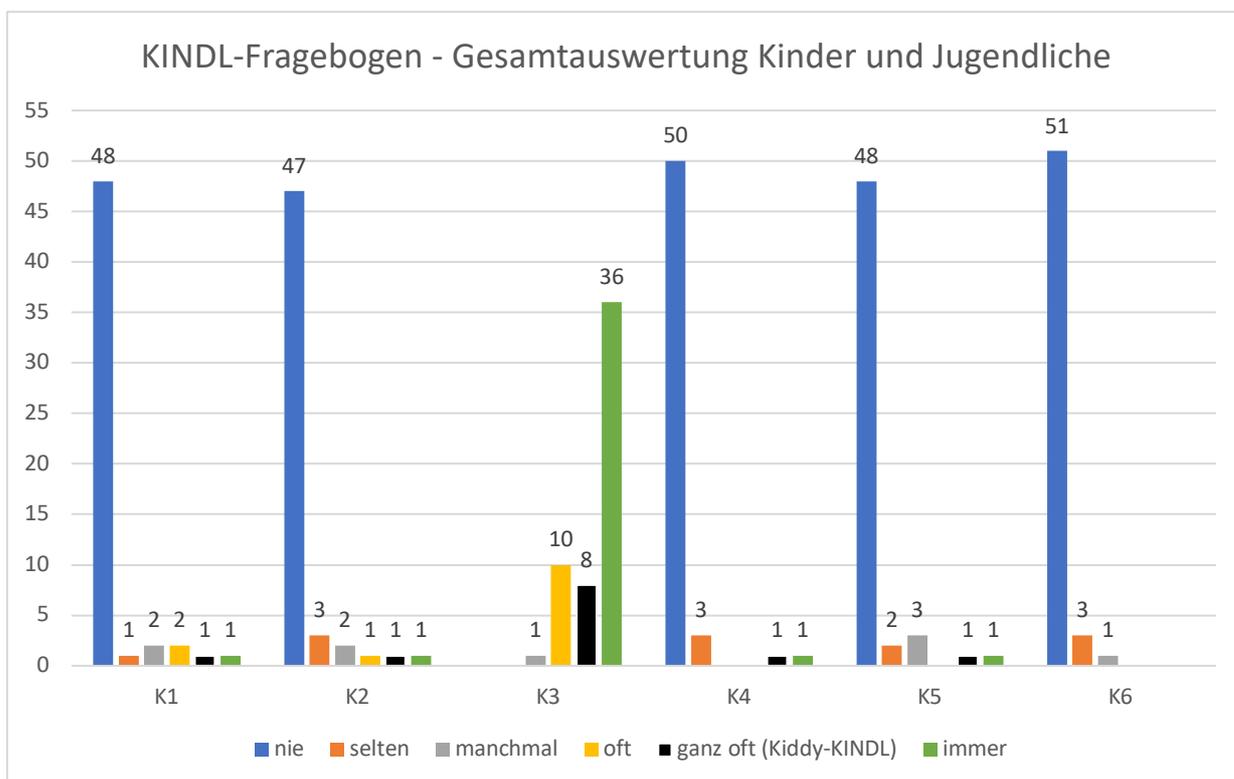
Anhand der Untersuchungsergebnisse wurde zunächst der Punktwert des *Mayo Elbow Performance Scores* erhoben. Eine Resultateinordnung erfolgte nach der Punktzahl, wobei ein Punktwert zwischen 90 und 100 Punkten ein exzellentes funktionelles Ergebnis beschrieb. Ein gutes *Outcome* erreichten die Betroffenen bei einer Zahl zwischen 75 und 89 Punkten, ein befriedigendes Ergebnis lag bei 60-74 Punkten vor und eine schlechte Funktionalität des Ellenbogengelenkes wurde über eine Punktzahl unter 60 Punkten definiert. Die Gesamtverteilung sowie das Überwiegen der erreichten Maximalpunktzahl ist in Tab. 03 dargestellt. Bei 52 (94,5%) Personen wurde ein exzellentes Ergebnis erreicht, bei drei Betroffenen konnte ein gutes Resultat erzielt werden. Auf jede Einzelkohorte entfällt jeweils ein Fall.

<b>RESULTAT</b>	<b>GESAMT-KOHORTE</b>	<b>PROZENTUALER ANTEIL</b>
GOOD	3	5,5 %
EXCELLENT	52	94,5 %
<b>1-JAHRES-KOHORTE PROZENTUALER ANTEIL</b>		
	1	5 %
	19	95 %
<b>5-JAHRES-KOHORTE PROZENTUALER ANTEIL</b>		
	1	5 %
	19	95 %
<b>10-JAHRES-KOHORTE PROZENTUALER ANTEIL</b>		
	1	6,7 %
	14	93,3 %

**Tab. 03: Mayo Elbow Performance Score – Punktzahlen in der Gesamtkohorte sowie differenziert nach Unterkohorten.**

Die Punktzahlen des *Mayo Elbow Performance Scores* wurden Kohorten-übergreifend miteinander verglichen. Nach Analyse mittels des Kruskal-Wallis-Testes ergab sich mit  $p = 0,712$  kein signifikanter Unterschied zwischen den drei Gruppen.

Wie in 2.5.2 beschrieben, wurde mit Hilfe des KINDL-Fragebogens die Lebensqualität nach stattgehabter Fraktur zum aktuellen Zeitpunkt erfasst. Zur besseren Übersicht wurde die Beantwortung der allgemeinen Fragen zur Lebensqualität in den Hintergrund gestellt. Altersgestaffelt wurde insgesamt bei acht (14,5%) Kindern der Kiddy-KINDL, bei 32 (58,2%) Betroffenen der Kid-KINDL sowie bei 15 (27,3%) Personen der Kiddo-KINDL eingesetzt. In der 1-Jahres-Kohorte präsentierten sich die jüngsten Kinder, daher wurde hier bei acht Teilnehmerinnen und Teilnehmern die Fragebogenversion Kiddy-KINDL genutzt. In 11 Fällen wurde der Kid-KINDL beantwortet und lediglich bei einer weiteren Person kam der Kiddo-KINDL zum Einsatz. In der 5-Jahres-Kohorte zeigte sich folgende Aufteilung der genutzten Versionen des KINDL-Fragebogens: Kid-KINDL mit 18 Fällen sowie Kiddo-KINDL mit zwei Fällen. Da die Patientinnen und Patienten, die vor zehn und mehr Jahren operativ versorgt wurden, ein entsprechend höheres Alter aufwiesen, wurde bei 12 Personen der Kiddo-KINDL sowie in drei Fällen der Kid-KINDL genutzt. Abbildung 11 und 12 stellen eine Verteilung der einzelnen Antworten der Betroffenen sowie deren Erziehungsberechtigten dar. Eine differenzierte Gliederung nach Kohorten ist den Abbildungen 13 bis 18 zu entnehmen.



**Abb. 11: KINDL-Fragebogen – Gesamtauswertung Kinder und Jugendliche.**

K1: In der letzten Woche hatte ich Angst, meine Krankheit/Erkrankung könnte schlimmer werden.

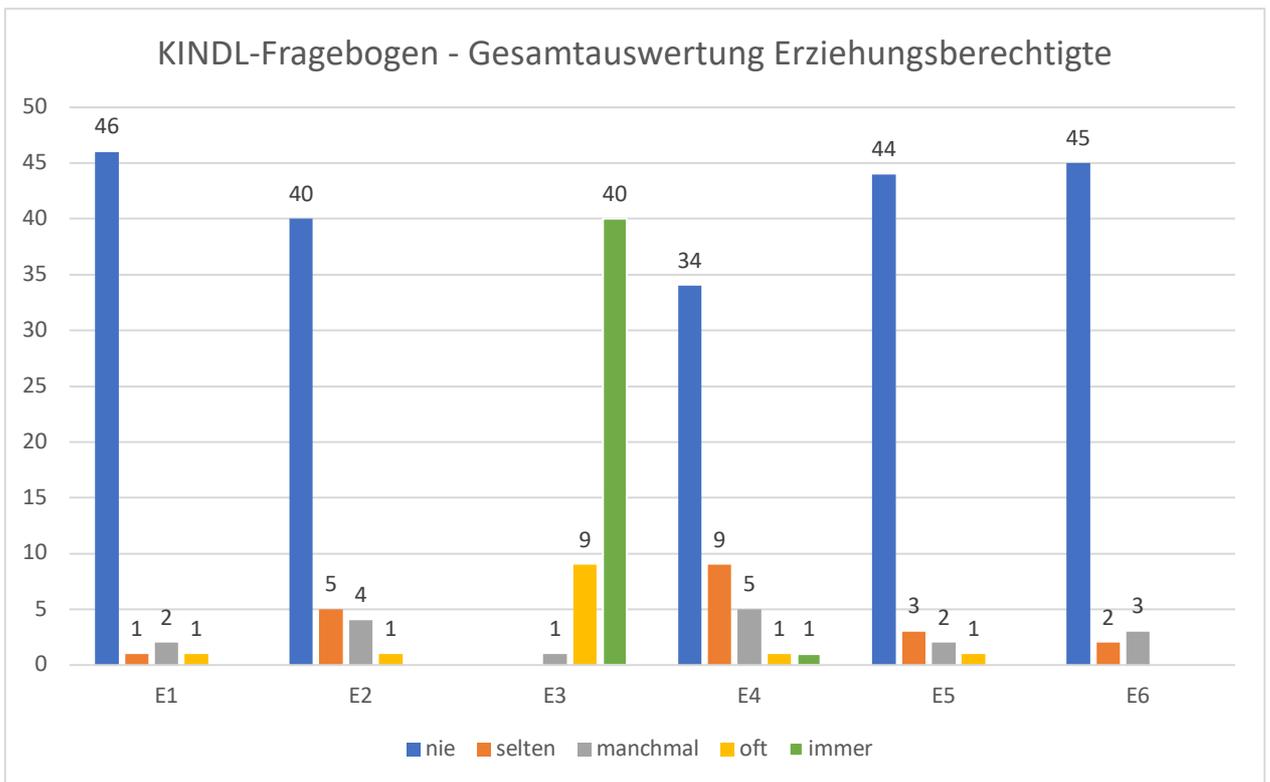
K2: In der letzten Woche war ich wegen meiner Krankheit/Erkrankung traurig.

K3: In der letzten Woche kam ich mit meiner Krankheit/Erkrankung gut zurecht.

K4: In der letzten Woche behandelten mich meine Eltern wegen der Krankheit/Erkrankung wie ein Baby/kleines Kind.

K5: In der letzten Woche wollte ich, dass keiner etwas von meiner Krankheit/Erkrankung merkt.

K6: In der letzten Woche habe ich wegen der Krankheit/Erkrankung in der Schule/Ausbildung, der Vorschule/dem Kindergarten etwas verpasst.



**Abb. 12: KINDL-Fragebogen – Gesamtauswertung Erziehungsberechtigte.**

E1: In der letzten Woche hatte meine Kind Angst, die Krankheit/Erkrankung könnte schlimmer werden.

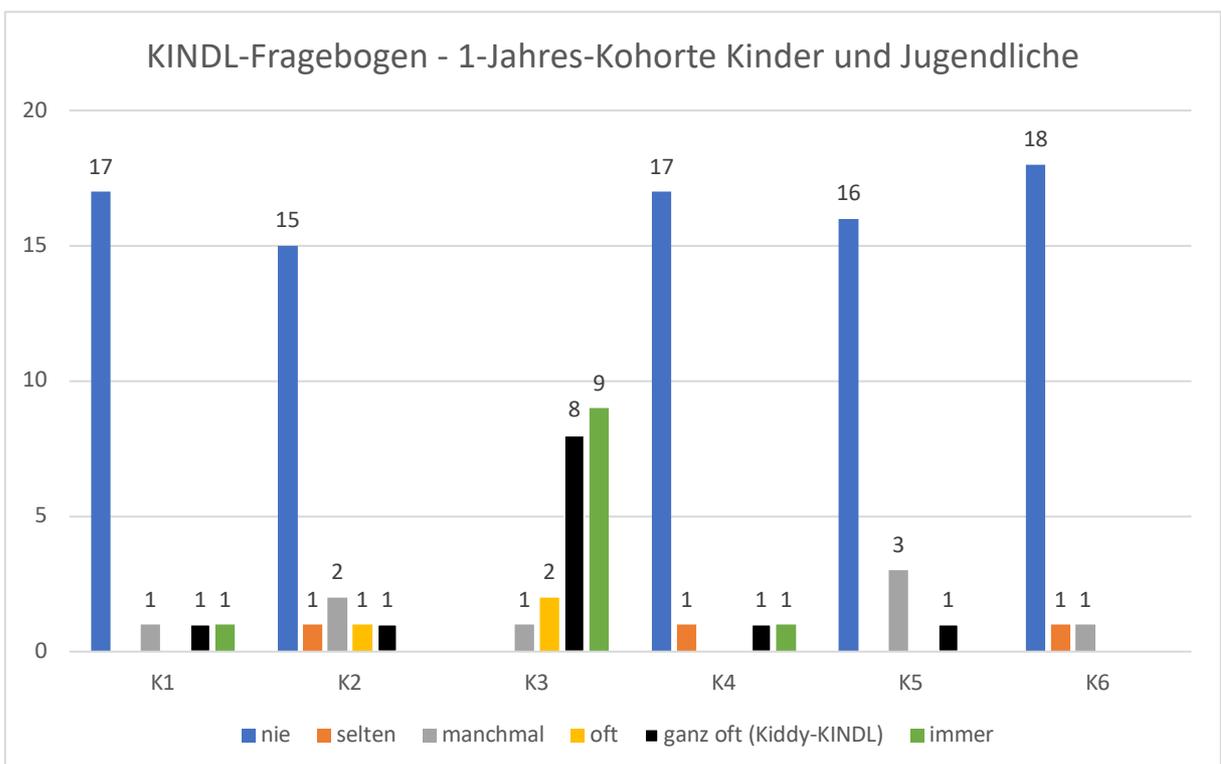
E2: In der letzten Woche war mein Kind wegen der Krankheit/Erkrankung traurig.

E3: In der letzten Woche kam mein Kind mit der Krankheit/Erkrankung gut zurecht.

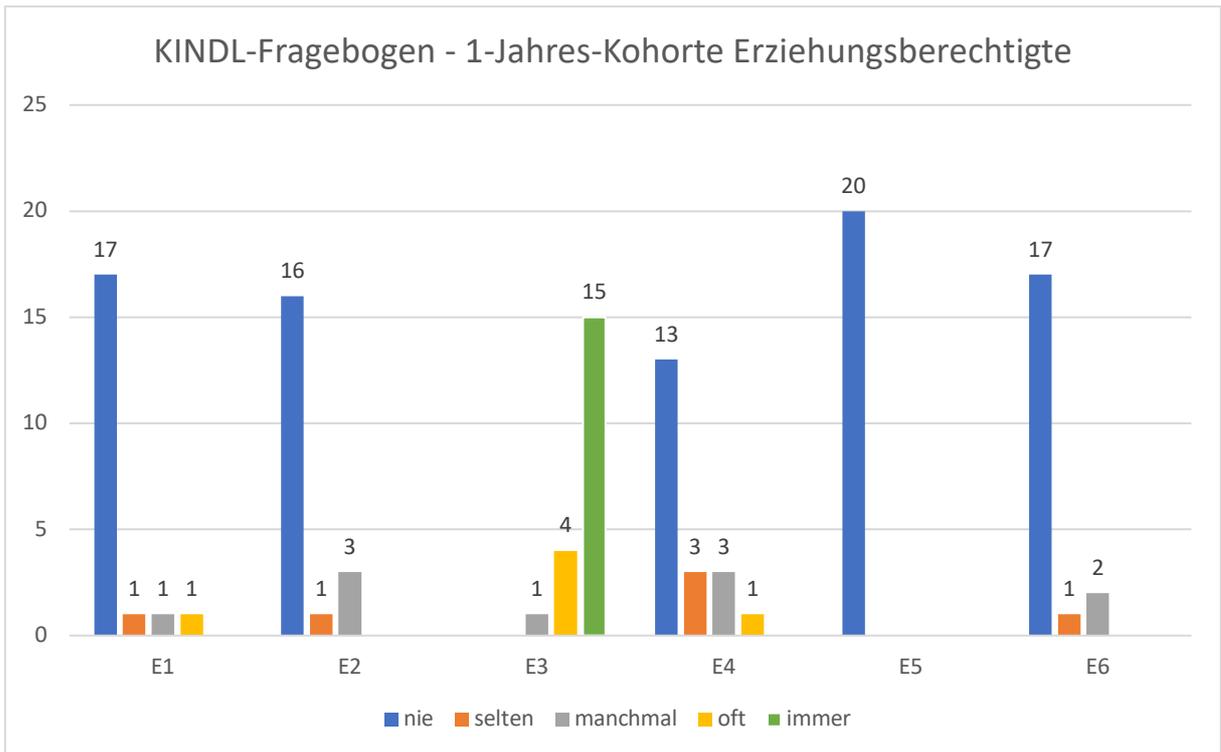
E4: In der letzten Woche habe ich mein Kind wegen der Krankheit/Erkrankung so behandelt, als ob es jünger wäre.

E5: In der letzten Woche wollte mein Kind, dass keiner etwas von der Krankheit/Erkrankung merkt.

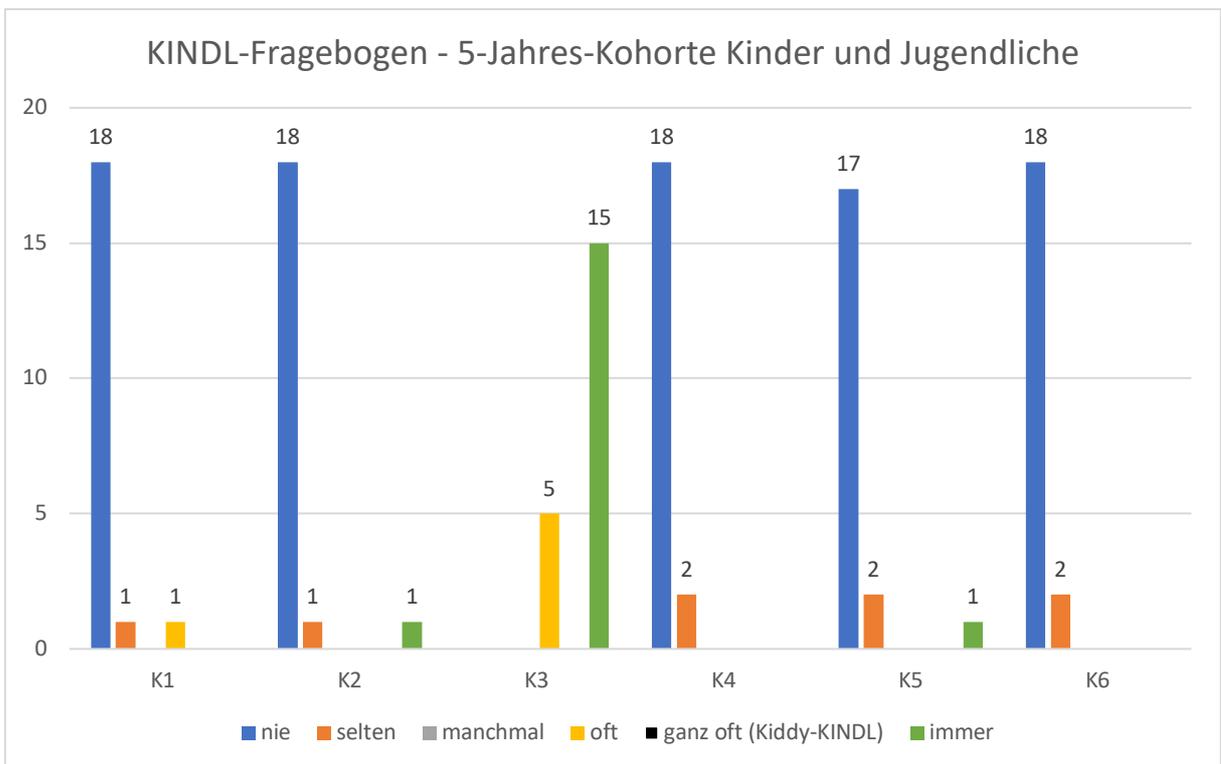
E6: In der letzten Woche hat mein Kind wegen der Krankheit/Erkrankung in der Schule/Ausbildung, der Vorschule/dem Kindergarten etwas verpasst.



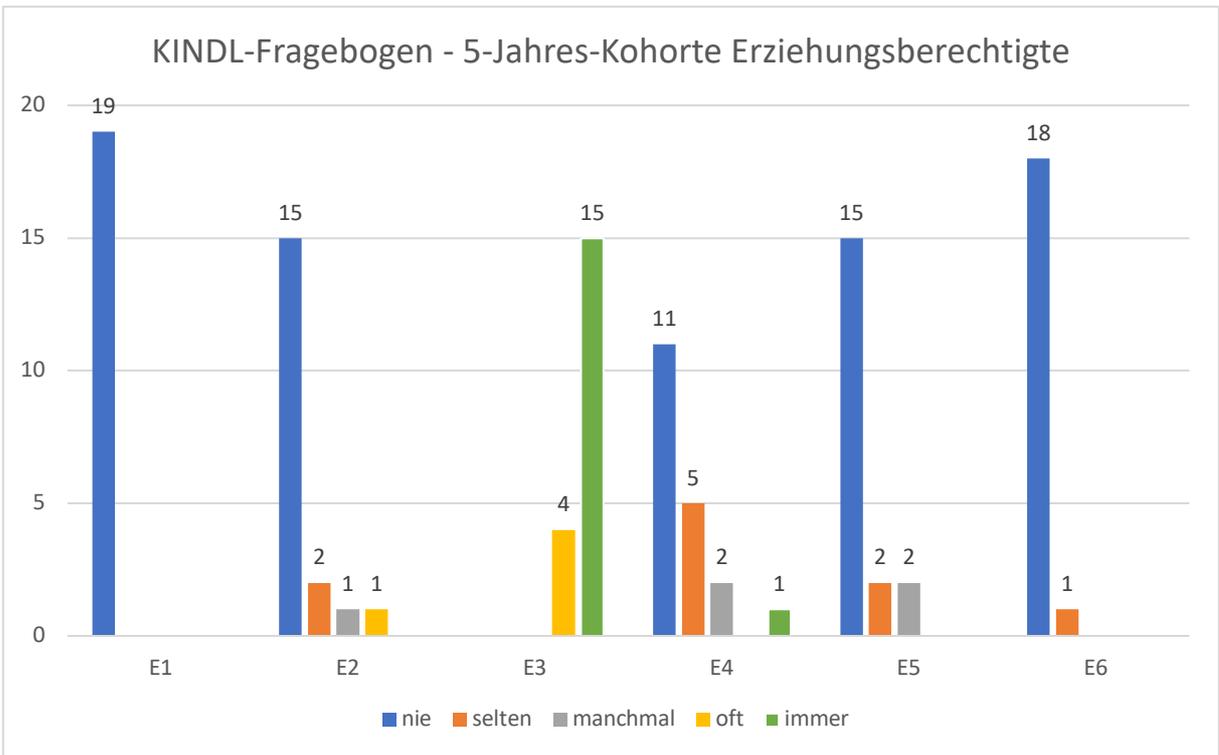
**Abb. 13: KINDL-Fragebogen – 1-Jahres-Kohorte Kinder und Jugendliche.**



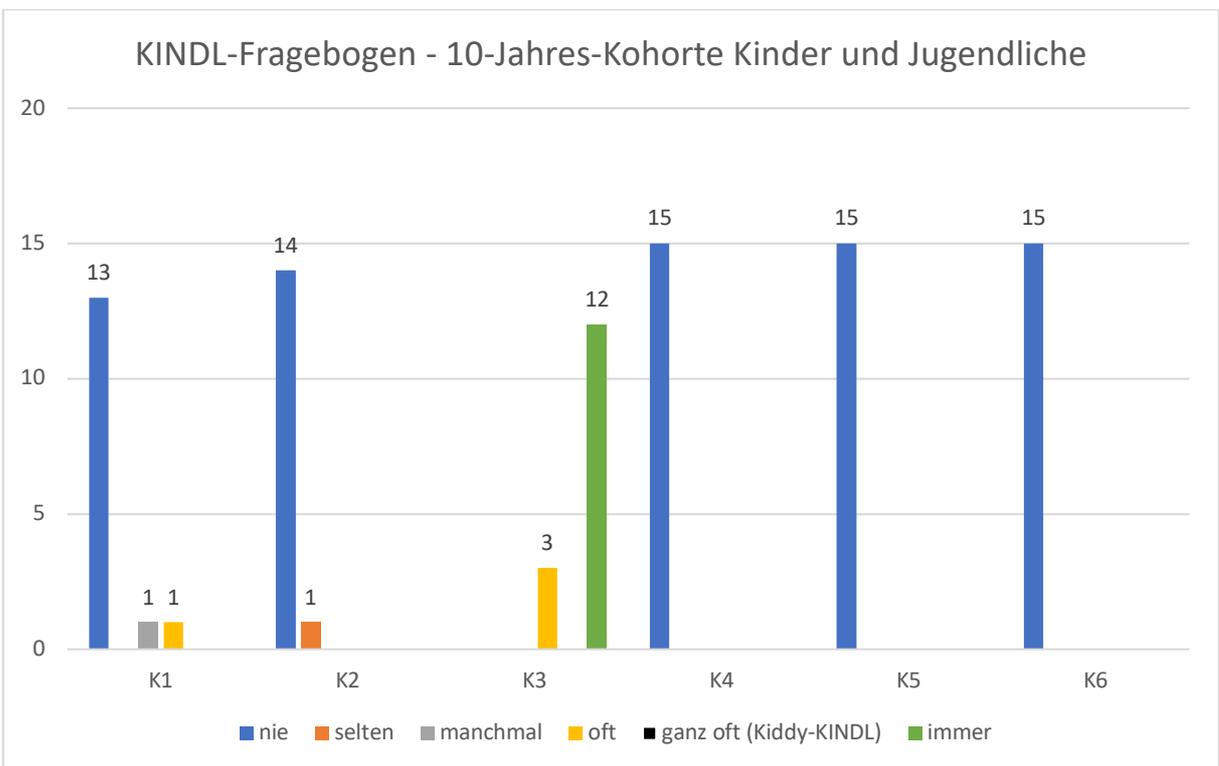
**Abb. 14: KINDL-Fragebogen – 1-Jahres-Kohorte Erziehungsberechtigte.**



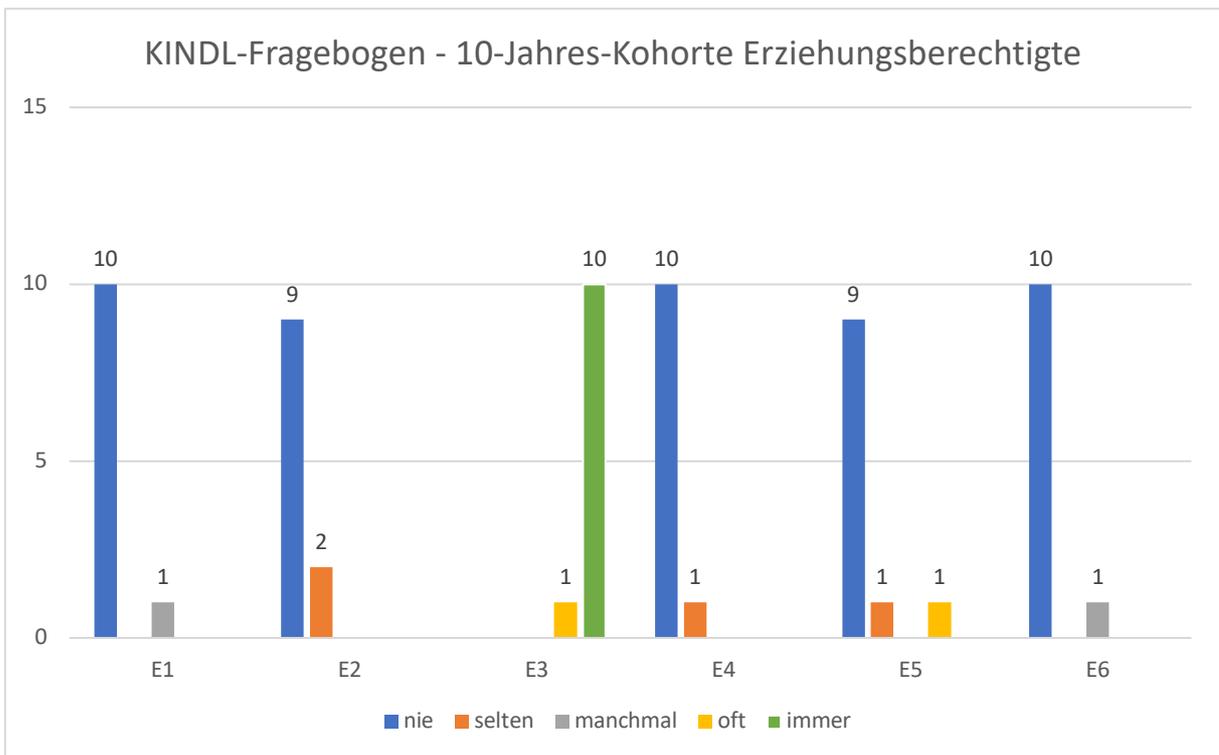
**Abb. 15: KINDL-Fragebogen – 5-Jahres-Kohorte Kinder und Jugendliche.**



**Abb. 16: KINDL-Fragebogen – 5-Jahres-Kohorte Erziehungsberechtigte.**



**Abb. 17: KINDL-Fragebogen – 10-Jahres-Kohorte Kinder und Jugendliche.**



**Abb. 18: KINDL-Fragebogen – 10-Jahres-Kohorte Erziehungsberechtigte.**

Auch die Ergebnisse des KINDL-Fragebogens wurden mit Hilfe des Kruskal-Wallis-Testes untersucht. Sowohl unter den Betroffenen als auch deren Erziehungsberechtigten zeigten sich zwischen der 1-, 5- und 10-Jahres-Kohorte keine signifikanten Unterschiede (Tab. 04).

FRAGE FÜR KINDER/JUGENDLICHE	ASYMPTOTISCHE SIGNIFIKANZ (P)
K1	0,849 $\geq$ 0,05 => <b>nicht signifikant</b>
K2	0,229 $\geq$ 0,05 => <b>nicht signifikant</b>
K3	0,203 $\geq$ 0,05 => <b>nicht signifikant</b>
K4	0,300 $\geq$ 0,05 => <b>nicht signifikant</b>
K5	0,199 $\geq$ 0,05 => <b>nicht signifikant</b>
K6	0,452 $\geq$ 0,05 => <b>nicht signifikant</b>

FRAGE FÜR ERZIEHUNGSBERECHTIGTE	ASYMPTOTISCHE SIGNIFIKANZ (P)
E1	0,230 $\geq$ 0,05 => <b>nicht signifikant</b>
E2	0,944 $\geq$ 0,05 => <b>nicht signifikant</b>
E3	0,549 $\geq$ 0,05 => <b>nicht signifikant</b>
E4	0,158 $\geq$ 0,05 => <b>nicht signifikant</b>
E5	0,107 $\geq$ 0,05 => <b>nicht signifikant</b>
E6	0,578 $\geq$ 0,05 => <b>nicht signifikant</b>

**Tab. 04: Ergebnisse des KINDL-Fragebogens nach Analyse mit Hilfe des Kruskal-Wallis-Testes.**

K1: In der letzten Woche hatte ich Angst, meine Krankheit/Erkrankung könnte schlimmer werden.

K2: In der letzten Woche war ich wegen meiner Krankheit/Erkrankung traurig.

K3: In der letzten Woche kam ich mit meiner Krankheit/Erkrankung gut zurecht.

K4: In der letzten Woche behandelten mich meine Eltern wegen der Krankheit/Erkrankung wie ein Baby/kleines Kind.

K5: In der letzten Woche wollte ich, dass keiner etwas von meiner Krankheit/Erkrankung merkt.

K6: In der letzten Woche habe ich wegen der Krankheit/Erkrankung in der Schule/Ausbildung, der Vorschule/dem Kindergarten etwas verpasst.

E1: In der letzten Woche hatte meine Kind Angst, die Krankheit/Erkrankung könnte schlimmer werden.

E2: In der letzten Woche war mein Kind wegen der Krankheit/Erkrankung traurig.

E3: In der letzten Woche kam mein Kind mit der Krankheit/Erkrankung gut zurecht.

E4: In der letzten Woche habe ich mein Kind wegen der Krankheit/Erkrankung so behandelt, als ob es jünger wäre.

E5: In der letzten Woche wollte mein Kind, dass keiner etwas von der Krankheit/Erkrankung merkt.

E6: In der letzten Woche hat mein Kind wegen der Krankheit/Erkrankung in der Schule/Ausbildung, der Vorschule/dem Kindergarten etwas verpasst.

## 4. Diskussion

Die vorliegende Arbeit basiert auf einer prospektiven klinischen Studie mit dem Ziel einer Erhebung der klinischen Funktion sowie der Lebensqualität nach operativ versorgter dislozierter suprakondylärer Humerusfraktur im Kindes- und Jugendalter. In Bezug auf die Funktionalität erfolgte neben der Anamnese und klinischen Untersuchung die Erhebung des *Mayo Elbow Performance Scores*. Die Lebensqualität wurde anhand eines altersadaptierten Fragebogens (KINDL) ermittelt. Um eventuelle Unterschiede im Langzeitverlauf zu detektieren, sowie das *Outcome* zu verschiedenen postoperativen Zeitpunkten bestimmen zu können, wurden die Patienten in drei Kohorten (1, 5 und  $\geq 10$  Jahre nach Operation) gegliedert. Insgesamt konnten 55 Patientinnen und Patienten in die Studie eingeschlossen werden. Davon entfielen jeweils 20 Personen auf die 1- und 5-Jahres-Kohorte sowie 15 Teilnehmerinnen und Teilnehmer auf die dritte Kohorte.

Die bisherige Studienlage zur Nachuntersuchung suprakondylärer Humerusfrakturen im Kindesalter ist rar. Unseres Erachtens liegen keine Studien vor, welche sowohl die postoperative Funktion als auch die Lebensqualität zu definierten und vor allem unterschiedlichen Nachuntersuchungszeiträumen analysieren. Die Untersuchung nach operativ versorgter suprakondylärer Humerusfraktur ist als sinnvoll zu erachten, da es sich um eine der häufigsten und komplikationsträchtigen Verletzungen bei Kindern handelt. Die vorliegenden Ergebnisse sollen einen Beitrag leisten, um potentielle Auffälligkeiten frühzeitig erkennen sowie therapieren zu können und damit potentielle Langzeitfolgen abwenden zu können.

Zur besseren Übersicht wurden die erhobenen Daten in Bezug auf die unterschiedlichen Parameter diskutiert und in entsprechende Kapitel unterteilt.

### Geschlechterverteilung

In der vorliegenden Arbeit wurde eine Dominanz der männlichen Teilnehmer dokumentiert (33/55). Diese repräsentierten 60% der Probanden. In den einzelnen Kohorten zeigte sich dieser Trend lediglich in der 5-Jahres-Kohorte. Bei den Betroffenen, die vor zehn und mehr Jahren nach stattgehabter suprakondylärer Humerusfraktur operativ versorgt wurden, wurde ein relativ ausgewogenes Verhältnis zwischen den Geschlechtern mit sieben weiblichen und acht männlichen Teilnehmerinnen und Teilnehmern gesehen. Es ist die Häufigkeitsverteilung in der 1-Jahres-Kohorte zu betonen, denn hier wurde ein Überwiegen der weiblichen Fallzahl mit 11 (55%) Personen dokumentiert. Die vorliegenden Untersuchungen zeigten eine Veränderung der prozentualen Verteilung der betroffenen Geschlechter. Dieses wird ebenfalls in der Literatur dargestellt, welche einen Trend von der Dominanz des männlichen Geschlechtes bei der vorliegenden Fraktur hin zu einem ausgewogenen Verhältnis zwischen beiden Geschlechtern darstellt [9-11]. Über eine Mehrzahl der männlichen Betroffenen liegt kein allgemeiner Konsensus vor [23].

### Alter bei Frakturereignis

In Bezug auf das Alter bei Frakturereignis bildete sich ein durchschnittliches Alter von sechs Jahren ab. Das mittlere Frakturalter vor zehn und mehr Jahren lag bei 5,3 Jahren, vor fünf Jahren bei 5,9 Jahren und vor etwa einem Jahr bei 6,2 Jahren. Nach statistischer Testung wurde zwischen den drei Kohorten kein signifikanter Unterschied in Bezug auf das Alter bei Frakturereignis verzeichnet. In einer Arbeit von Baidoo *et al.* sowie Abzug *et al.* wurde ein mittleres Frakturalter zwischen fünf und sieben Jahren dokumentiert, sodass diese Ergebnisse auch unser Resultat widerspiegeln [9, 12]. Auch Joshi *et al.* erfassten ein mittleres Frakturalter von fünf bis sechs Jahren [24]. In der Literatur wird vereinzelt von einem Trend in Richtung eines jüngeren Frakturalters berichtet, welches u.a. auf vielfältigen Freizeitaktivitäten sowie Spielgeräten basiert [1].

### Körpergröße, -gewicht und BMI bei Untersuchung

Da das Alter aufgrund eines breiten Untersuchungsintervalls stark variierte, ist zu beachten, dass auch der körperliche Entwicklungsprozess und damit die Körpergröße und das Körpergewicht zum Zeitpunkt der Untersuchung stark auseinanderwichen. Daher erfolgte die alters- und geschlechtsangepasste Bestimmung des BMI, um Vergleiche zwischen den Kohorten zu ermöglichen. Dennoch ist auch hier zu berücksichtigen, dass dieser Wert im Kleinkindalter nur eingeschränkt beurteilbar ist. Insgesamt wurde in der Gesamtkohorte ein durchschnittlicher BMI-Wert von  $17,7 \text{ kg/m}^2$  gesehen, welcher ein leichtes Untergewicht anzeigt. Es ist zu betonen, dass der eher niedrige Wert besonders durch die Patientinnen und Patienten aus der 1- und 5-Jahres-Kohorte bedingt war. Hier wurde ein BMI-Wert von  $16,4 \text{ kg/m}^2$  bzw.  $17,2 \text{ kg/m}^2$  dokumentiert. Das durchschnittliche Alter zum Zeitpunkt der Untersuchung lag in der 1-Jahres-Kohorte bei 7,3 Jahren und in der 5-Jahres-Kohorte bei 10,4 Jahren. Eine eindeutige Aussagekraft des BMI-Wertes wurde in diesen Kohorten als eher schwierig erachtet. In der dritten Kohorte, in der die Studienteilnehmerinnen und -teilnehmer ein durchschnittliches Alter von 15,8 Jahren aufwiesen, zeigte sich ein BMI-Mittelwert von  $19,9 \text{ kg/m}^2$  und demnach ein Normgewicht. Es zeigte sich in diesem Zusammenhang ein signifikanter Unterschied bezüglich des BMI-Wertes zwischen den Patientinnen und Patienten, die vor einem Jahr sowie vor zehn und mehr Jahren operiert worden sind. Insgesamt konnte die Hypothese einer Zunahme des Körpergewichtes im Kindes- und Jugendalter, welche von Weinberg *et al.* [1] oder auch Hosseinzadeh *et al.* [25] (betreffend ein Alter zwischen acht und 12 Jahren) postuliert wird, mit den Daten der vorliegenden Arbeit nicht bestätigt werden.

### Unfallhergang

In der Gesamtkohorte konnte das deutliche Überwiegen eines Extensionstraumas als Ursache der suprakondylären Humerusfraktur festgestellt werden. Der Mechanismus stellte sich als Sturz aus unterschiedlichen Höhen auf den ausgestreckten Arm dar. Der prozentuale Anteil der Extensionstraumata lag in der Gesamtgruppe bei 87,3%, in der 1-Jahres-Kohorte bei 80%, in der 5-Jahres-Kohorte bei 90% und in der dritten Gruppe bei 93,3%. Die Mehrzahl der Kinder und Jugendlichen berichtete von einem Sturz von Kletter- und Spielgeräten, einfachen Podesten, Fahrrädern und Pferden. Der erläuterte Unfallmechanismus spiegelt sich ebenfalls in der bestehenden Literatur wider. Auch hier konnte ein deutliches Überwiegen eines Extensionstraumas gesehen werden. Der prozentuale Anteil variierte in diesem Zusammenhang und lag im Vergleich zu der vorliegenden Studienpopulation tendenziell höher. Genauer zeigten Duffy *et al.* einen prozentualen Anteil von 97-99% [23]. In einer Arbeit von Shenoy *et al.* wurde in 98% der Fälle ein Extensionstrauma dokumentiert [26]. Duffy *et al.* bildeten die prädisponierenden Faktoren einer Hyperlaxizität sowie der Neigung zu einer Hyperextension im Humeroulnargelenk ab, welche das Überwiegen eines Extensionstrauma im Kindesalter bedingen [23].

### Frakturseite und Händigkeit

Im Rahmen der Nachuntersuchung wurden ebenfalls die Frakturseite sowie die Händigkeit der Teilnehmerinnen und Teilnehmer erhoben. Es zeigte sich eine deutliche Mehrheit der rechten Seite als dominante und führende Armseite im Alltag. Insgesamt wurden hier 46 (83,6%) Fälle dokumentiert, wohingegen lediglich neun (16,4%) Kinder und Jugendliche Linkshänder/innen waren. Im Vergleich wurde bei 56,4% eine suprakondyläre Humerusfraktur auf der linken Seite gesehen. Bei der Mehrzahl der Betroffenen entsprach die dominante Armseite nicht der Frakturseite. In der 1-Jahres-Kohorte zeigte sich diese Divergenz bei 60%, in der 5-Jahres-Kohorte bei 70%. Auch in der Kohorte, in der das Unfallereignis zehn und mehr Jahre zurücklag, unterschieden sich in 66,7% der Fälle die führende Armseite und die Seite der Fraktur. Demnach liegt der Schluss nahe, dass das Abfangen mit dem dominanten Arm eine untergeordnete Rolle spielt bzw., dass Kinder einen Sturz mit dem nicht-dominanten Arm weniger geschickt abfangen können. Einen signifikanten Unterschied in Bezug auf die

Übereinstimmung bzw. Unterscheidung zwischen Armseite der Fraktur sowie Händigkeit konnte innerhalb der drei Kohorten nicht ausgemacht werden. In einer publizierten Arbeit von Baidoo *et al.* konnte untermauert werden, dass in der Mehrzahl (62%) der linke und nicht dominante Arm verletzt wurde. Die rechte, führende Armseite lag in dieser Arbeit bei 92% [12]. Diese Tatsache wurde auch in einer Arbeit von Abzug *et al.* herausgestellt [9]. Auch Baratz *et al.* erfassten die gehäufte Fraktur des linken Armes [13].

#### Frakturklassifikation nach von Laer

Da im Rahmen der Studie lediglich das *Outcome* nach operativer Versorgung einer suprakondylären Humerusfraktur untersucht wurde, zeigte sich ein Überwiegen von höhergradig klassifizierten Frakturen. In der Sichtung der Literatur stellte sich heraus, dass international bzw. in englischsprachigen Regionen vornehmlich eine Einteilung der Fraktur nach der Gartland-Klassifikation erfolgt [9, 27, 28]. Die Klassifikation weist keine essentiellen Unterschiede im Vergleich zur Klassifikation nach von Laer auf [29], welche im deutschsprachigen Raum die ganz überwiegend verwendete Frakturklassifikation am suprakondylären Humerus darstellt. Es wurde daher kein Vorteil in der Nutzung der Gartland-Klassifikation gesehen. In der Gesamtkohorte zeigte sich bei der Mehrzahl eine komplette Dislokation mit Kontaktverlust der Frakturelemente in allen Ebenen. Diese als Typ IV-Fraktur definierte Fraktur lag bei 54,9% vor. Eine Typ III-Fraktur zeigte sich bei 29,4% und eine Typ II-Fraktur lediglich bei 15,7%. Hier ist zu erwähnen, dass eine Operationsindikation bei einer Typ II-Fraktur in der Literatur nur unter bestimmten Voraussetzungen gegeben ist [29, 30], was bedeutet, dass diese Typ II-Frakturen überwiegend konservativ behandelt wurden. Die Ergebnisse ergaben nach statistischer Testung keinen signifikanten Unterschied zwischen den drei Kohorten. Demnach ist zu postulieren, dass im Verlauf der Jahre kein Wandel in der Schwere der Verletzung stattgefunden hat.

#### Zeitintervall zwischen Unfall und Operation

Es existieren einige Studien, die das *Outcome* nach operativ versorgter suprakondylärer Humerusfraktur in einem bestimmten Zeitfenster untersuchten. Genauer gesagt stellte sich hierbei die Frage, ob in Bezug auf die operative Dringlichkeitsstufe eine notfallmäßige Frakturversorgung im Vergleich zu einer verzögerten bzw. früh-elektiven Operation bessere Ergebnisse liefert. In der Literatur zeigte sich, dass eine dringliche Operation im Vergleich zu einer notfallmäßigen Versorgung zu erwägen ist [31]. Abzug *et al.* sprachen in diesem Zusammenhang von einer gewährleisteten Sicherheit bei verzögerter chirurgischer Versorgung innerhalb von 12-18 Stunden nach Frakturereignis [9]. Dennoch ist zu beachten, dass eine regelmäßige klinische Evaluierung erfolgen sollte [11]. Lehner *et al.* dokumentierten ein Zeitfenster von 8-12 Stunden, welches keine Erhöhung der Komplikationsrate sowie Veränderungen im Outcome verursachen soll. Ebenso zeigten sich keine vermehrten Konversionen zu einem offenen Vorgehen, noch ein häufigeres Auftreten von Infektionen noch iatrogen bedingte Neuropathien bei verzögerter Versorgung [32, 33]. Auch im Rahmen der BOAST (*British Orthopaedic Association Standards for Trauma*)-Guidelines wird betont, dass eine nächtliche Notfallversorgung primär nicht notwendig ist [26]. Als notfallmäßige Operationsindikationen gelten jedoch folgende Situationen: offene Frakturen mit Durchspießung der Haut [9], ein abnormaler Gefäßstatus sowie Frakturen mit einem erhöhten Risiko für die Entwicklung eines Kompartmentsyndroms [9, 34]. In der vorliegenden Studie erfolgte bei 74,5% eine operative Versorgung am selbigen Tag des Unfalles. Bei knapp 25% der Patientinnen und Patienten erfolgte die Operation am Folgetag. Lediglich bei einer Person wurde ein zeitlicher Abstand zwischen Unfall- und Operationstag von mehr als einem Tag dokumentiert. Nach Hinzuziehen der bestehenden Literatur erwies sich das zeitliche Management in Bezug auf die Frakturversorgung als suffizient. Resümierend ist eine Versorgung innerhalb von 12 Stunden nach Unfallereignis anzustreben, vorausgesetzt es liegen keine Faktoren vor, die eine notfallmäßige Operation erfordern [35].

## Repositionsverfahren

Therapeutisch erfolgten eine geschlossene oder offene Reposition und die anschließende Stabilisierung mit K-Drähten. Das Erreichen einer achsgerechten Stellung der Frakturelemente mittels geschlossener Reposition ist regelhaft das primäre Vorgehen, führt allerdings nicht in allen Fällen zu einer suffizienten Reposition. Zu den Indikationen, die eine offene Reposition erforderlich machen, zählen eine nicht adäquate Reposition nach einem geschlossenen Repositionsverfahren sowie offene Frakturen [9]. Auch eine Durchblutungsstörung bei potentiellen Gefäßläsionen oder ein neurologisches Defizit bei potentiellen Nervenläsionen machen eine offene Reposition obligat [36]. Der am häufigsten angegebene Grund für ein unzufriedenstellendes geschlossenes Repositionsergebnis ist laut Wingfield *et al.* die Interposition von Muskulatur, meist des M. brachialis, im Frakturspalt [37]. Eine geschlossene Reposition gelang in der erfolgten Studie bei der Mehrzahl der Betroffenen (70,9%). Verteilt auf die einzelnen Kohorten wurde auch hier das Gelingen einer geschlossenen Reposition in den meisten Fällen gesehen (1-Jahres-Kohorte: 70%, 5-Jahres-Kohorte: 65%, 10-Jahres-Kohorte: 80%). Gründe für ein offenes Verfahren waren: (1) Frakturen mit deutlichen Trümmerzonen mit „Verhakung der Fraktur“, (2) Frakturen, welche durch geschlossene Reposition nur insuffizient reponiert werden konnten sowie (3) Erfordernis einer Neurolyse des N. ulnaris. In der Literatur zeigten sich Raten eines offenen Verfahrens von etwa 20%, bis hin zu 50% aller Fälle [11]. In anderen Studien lag diese Rate lediglich bei 8% [26] oder 11% [38] und demnach deutlich variierend innerhalb der Kliniken. Es ist zu betonen, dass ein offenes Verfahren bei höhergradig dislozierten Frakturen im Vergleich zu einer geschlossenen Reposition folgende Vorteile bieten kann: geringeres Risiko eines Verlustes des hergestellten Repositionsergebnisses, reduziertes Risiko neurovaskulärer Verletzungen, geringere Ausbildung einer Varusfehlstellung im Langzeitverlauf, geringerer Grad einer Hyperextension sowie Vermeidung einer ausgeprägten Steifheit im Ellenbogengelenk [10]. Lin-Guo *et al.* erläuterten in ihrem systematischen Review, dass sowohl eine geschlossene Reposition als auch ein offenes Operationsverfahren im Rahmen eines Nachuntersuchungszeitraumes zwischen drei und 29,5 Monaten zu einer gleichen Stabilität sowie einem identischen funktionellen Outcome führten [8]. Auch Oh *et al.* zeigten das vergleichbare Outcome beider Repositionsverfahren [39]. Im Rahmen der Studienergebnisse dieser Arbeit zeigte sich diesbezüglich eine Kompatibilität zur genannten Literatur.

## Zugangswege bei offener Reposition

Im Fall einer offenen Reposition existieren verschiedene Zugangswege, welche unterschiedliche Vor- und Nachteile bieten und dementsprechend Bestandteil vieler Diskussionen in der Literatur sind. In der erfolgten Studie zeigte sich in beiden eingeschlossenen Kliniken dominierend der kombinierte radiale und ulnare Zugangsweg (50%), wenn eine offene Reposition erforderlich wurde. In selteneren Fällen gelang die alleinige Schnittführung lediglich radial oder ulnar. Einen eher atypischen Zugangsweg streckseitig über der Trizepssehne in Richtung Olecranonspitze wurde in einem Fall gesehen. In der klinischen Untersuchung wurde hier kein zufriedenstellendes Ergebnis bei bestehender Verhärtung im Bereich der Sehne des M. triceps brachii sowie einer großflächigen Empfindlichkeitsstörung im Bereich des Ellenbogens detektiert. In der bestehenden Literatur werden die Vor- und Nachteile unterschiedlicher Zugangswege erörtert. Ein anteriorer Zugang im Bereich der Ellenbeuge bietet den Vorzug der optimierten Darstellung der neurovaskulären Strukturen [9]. Dieses bezieht sich vor allem auf eine bessere Visualisierung der A. brachialis sowie des N. medianus [10, 29]. Hinzu kommt eine mögliche Entlastung eines Hämatoms, welches sich vorwiegend im anterioren Bereich des Ellenbogen bildet [40]. Darüber hinaus käme es zu einer unauffälligeren Narbenbildung aufgrund der Lage im Bereich der Falte des Ellenbogens [41]. Ein posteriorer Zugangsweg zeigte erhöhte Komplikationsraten (z.B. Osteonekrose der Trochlea) [10, 37]. Zudem besteht die Möglichkeit der Schädigung des M. triceps brachii [40]. Dennoch wurde hier das Risiko einer Verletzung neurovaskulärer

Strukturen als deutlich geringer und dieser Zugang als technisch am einfachsten beschrieben [40]. In einem systematischen Review von Irianto *et al.* wurde deutlich, dass ein radialer/lateraler Zugang im Vergleich zu einem posterioren Zugangsweg bessere funktionelle Resultate liefert und demnach zu bevorzugen ist [40]. Über einen lateralen Hautschnitt wird das Risiko einer Destruktion umliegender neurovaskulärer Strukturen sowie Weichteilgewebe minimiert bei gleichzeitig guten Möglichkeiten einer Reposition [40]. Wenn nötig, könne ein weiterer Schnitt im Bereich des Epicondylus medialis/ulnaris erfolgen, dieses sei jedoch nicht primär anzustreben [40]. Insgesamt gibt es aktuell keine klare Evidenz eines überlegenden Zugangsweges in Bezug auf das funktionelle, kosmetische und radiologische Outcome [40]. Sowohl ein lateraler als auch medialer Operationszugang können gemäß der Literatur ein exzellentes funktionelles Outcome erzielen, ein anteriorer Schnitt eine Mehrzahl guter Resultate [42]. Dieses konnte auch durch die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit untermauert werden, ein anteriorer Zugangsweg wurde in der vorliegenden Studienpopulation nicht gesehen.

#### Anzahl und Stärke der Kirschner-Drähte

Zur Stabilisierung der suprakondylären Humerusfraktur nach erfolgreicher Reposition wurde in der vorliegenden Studie das Einbringen von zwei bis vier K-Drähten dokumentiert. Wie auch in der Literatur untermauert, kann eine biomechanische Stabilität in der Regel durch das Einbringen von zwei K-Drähten erreicht werden [9, 10]. Eine Fixation mittels weniger als zwei K-Drähten wird als minderwertig angesehen, insbesondere aufgrund der fehlenden Rotationssicherheit [43]. Das Einbringen von zwei K-Drähten gelang in 69,1% der Fälle, während bei 20% der Patientinnen und Patienten die Versorgung mit drei K-Drähten und in 10,9% mit vier K-Drähten erfolgte. Sowohl in den einzelnen Kohorten als auch in der Zusammenschau aller Fälle zeigte sich die überwiegende Versorgung mittels zwei K-Drähten und damit die minimal mögliche Fremdmaterialverwendung, die für eine effektive Frakturstabilisierung notwendig ist.

Individuell angepasst und besonders altersadaptiert erfolgte das Einbringen von K-Drähten unterschiedlicher Stärken. Bei den klinischen Nachuntersuchungsterminen wurde bei der Mehrzahl (47,7%, 21 Fälle) der Studienteilnehmerinnen und -teilnehmern die Verwendung von 1,8 mm starken K-Drähten dokumentiert, gefolgt von K-Drähten der Stärke von 1,6 mm (29,5%). Diese Verteilung zeigte sich Kohorten-übergreifend. Jedoch konnte bei den Betroffenen, die vor zehn und mehr Jahren operativ versorgt wurden, keine eindeutige Dominanz einer Drahtstärke ausgemacht werden. Bei der Wahl einer geeigneten K-Drahtstärke ist ein Gleichgewicht zwischen optimaler Stabilisierung sowie möglichst geringem Substanzverlust durch Bohrung und Vermeidung einer Verletzung umgebender Strukturen anzustreben. In der Literatur wird im Rahmen der *BOAST-Guideline* als Standard eine Stärke von 2 mm unterstützt, um die Frakturstabilität zu optimieren [23, 26].

#### Lokalisation der Kirschner-Drähte

Bei der Lokalisation der Kirschner-Drähte wurde in beiden an der Studie teilnehmenden Kliniken eine gekreuzte K-Draht-Osteosynthese angewandt. Hierbei wurde bei 69,1% der Patientinnen und Patienten jeweils ein K-Draht von radial- sowie ulnarseitig eingebracht. Bei Verwendung von drei K-Drähten erfolgte entweder eine zusätzliche Verstärkung von der radialen oder ulnaren Seite. Bei Einsatz von vier K-Drähten kamen zur Stabilisierung der reponierten Fraktur ein zusätzlicher ulnar- und radialeseitiger Draht hinzu. In allen drei Kohorten wurde das bevorzugte Verfahren einer gekreuzten K-Draht-Osteosynthese repräsentiert. In der Literatur herrscht keine eindeutige Empfehlung zu Präferenzen in der Lokalisation der K-Drähte [28, 44]. Im Wesentlichen unterscheidet sich die operative Versorgung in einer Stabilisierung mittels gekreuzt eingebrachter Drähte von ulnarer und radialer Seite oder das Einbringen der K-Drähte lediglich von radial. Die grundsätzliche Frage hierbei ist, ob eine

ausreichende biomechanische Stabilität über einen rein radialen/lateralen Zugang möglich ist bzw. wie hoch das Risiko einer Läsion des N. ulnaris durch eine zusätzliche ulnare/mediale Drahtplatzierung ist. Allgemein ist davon auszugehen, dass ein lediglich lateraler Zugangsweg das Risiko einer Verletzung des N. ulnaris minimiert, jedoch die biomechanische Frakturstabilität reduziert sein kann [43-45]. Dekker *et al.* stellten in einem systematischen Review fest, dass es keinen signifikanten, funktionellen Unterschied zwischen den Operationstechniken gibt [46]. Diese Annahme betonten auch Carrazzone *et al.* in ihrer Metaanalyse [47]. In einer *Outcome*-Analyse von Eguia *et al.*, nach einem Zeitintervall zwischen Operation und Nachuntersuchung von mindestens zwei Jahren, konnte kein Unterschied zwischen gekreuzter und lateraler K-Draht-Einbringung bei Gartland Typ III-Frakturen erfasst werden, in Bezug auf das Patienten-bezogene *Outcome* sowie die Komplikationsrate [45]. Eine weitere Arbeit postulierte, dass ein medialer K-Draht das Risiko für eine Verletzung des N. ulnaris nicht erhöht [48]. Dieses wurde auch von Sumeet *et al.* untermauert [31]. Dekker *et al.* zeigten jedoch auch, dass trotz eines guten funktionellen *Outcomes* die Verletzung des N. ulnaris, bei insgesamt geringen Komplikationsraten, erhöht ist [46]. Auch in anderen Arbeiten präsentierte sich das Risiko einer iatrogenen Schädigung des N. ulnaris im Rahmen einer gekreuzten K-Draht-Osteosynthese um den Faktor 5 [49] bzw. 4,5 [43] erhöht. Der N. ulnaris stellt sich als hypermobil im Kubitaltunnel dar und tendiert, insbesondere bei einer Hyperflexion im Ellenbogengelenk, zur anterioren Dislokation über den Epicondylus medialis [50, 51]. Dies entspricht exakt der Lokalisation, über die bei geschlossenem Verfahren ein perkutaner Draht eingebracht wird. Eine Überlegung zur Vermeidung einer Neuropathie stellt das Einbringen des medialen K-Drahtes in einer Pronationsposition dar [50, 51]. Darüber hinaus ist eine Extensionsstellung zu empfehlen [52]. Es ist dennoch auch zu berücksichtigen, dass ein lateraler Zugang potentiell das Risiko einer Verletzung des N. medianus birgt [10]. In der Literatur wird eine „mini-open technique“ diskutiert, bei der vor Einbringen der K-Drähte ein minimaler, medialer Schnitt erfolgt, um den N. ulnaris schützen zu können [52-56]. In einer Metaanalyse von Zhao *et al.* wurde dieses Verfahren als effektive therapeutische Strategie angesehen [57].

Zusammengefasst erfordert die suprakondyläre Humerusfraktur einen hohen Anspruch bei der operativen Versorgung [58]. Die Komplexität der Frakturversorgung lässt sich durch ein Zitat von Dr. John J. Gartland (1959) betonen: „die Beklommenheit, mit der Männer/Menschen, die sich sonst mit der Behandlung von Traumata auskennen, an eine frische suprakondyläre Fraktur herangehen“ [Übers. d. Verf.; „*the trepidation with which men, otherwise versed in the management of trauma, approach a fresh supracondylar fracture*“] [23]. Insgesamt wird das chirurgische Vorgehen am ehesten von der Frakturbeschaffenheit sowie der Expertise der operierenden Person bestimmt [10, 50].

#### Drahtenden im Verhältnis zum Hautniveau

Nach erfolgter Reposition der suprakondylären Humerusfraktur sowie Stabilisierung mittels K-Drähten werden die Drahtenden entweder unter dem Hautniveau (subkutan) versenkt oder gekürzt und über dem Hautniveau (epikutan) belassen. Letzteres stellte in den teilnehmenden Kliniken unserer Studie das bevorzugte Vorgehen dar (siehe Abb. 04). Sowohl in den einzelnen Kohorten als auch in der Gesamtkohorte wurden die Drahtenden in 70-75% der Fälle über dem Hautniveau belassen. Dieses bietet den Vorteil, dass für eine obligat folgende Metallentfernung kein operativer Zugang mit Allgemeinanästhesie und damit einhergehenden Risiken notwendig ist. Hinzu kommen ein geringerer zeitlicher und personeller Aufwand sowie ein effizienteres Kostenverhältnis dieser Maßnahme [59]. Auf der anderen Seite sind die Patientinnen und Patienten angehalten, eine regelmäßige Pin-Pflege durchführen zu lassen, um eine sog. Pin-Track-Infektion zu vermeiden. Durch Kontakt des Fremdmaterials zur Außenwelt ist eine Infektion frühzeitig zu erkennen und zu therapieren, um ein Übergreifen auf innenliegende Strukturen sowie potentiell auf die Knochenstruktur zu verhindern. Schneidmueller *et al.*

betonen die Empfehlung einer epikutanen Lage der K-Drahtenden [59]. Dennoch konnte gesehen werden, dass häufig aufgrund von Sorge vor Infektionen, potentieller Traumatisierung der Betroffenen durch die Sichtbarkeit der Drähte oder nicht flächendeckender Akzeptanz dieses Operationsverfahrens eine subkutane Lage der K-Drähte favorisiert wurde [59]. Eine interventionspflichtige Pin-Infektion mit folglich vorzeitiger Metallentfernung konnte in der vorliegenden Studie in 5% der Fälle dokumentiert werden. Sumeet *et al.* dokumentierten in ihrer Arbeit ein Auftreten einer Pin-Infektion in 2% der Fälle [31]. Es konnten aber auch höhere Fallzahlen detektiert werden mit bis zu 6,6% der Betroffenen [42]. Darüber hinaus berichteten die Betroffenen von einer psychologischen Aggravation des Zustandes durch die herausragenden Drahtenden. Die Häufigkeit einer Pin-Pflege wird in der Literatur kontrovers diskutiert [60]. Es sollte ein Gleichgewicht zwischen Infektionsprophylaxe sowie Minimierung der Ängste und Sorgen der Betroffenen gefunden werden, sodass eine Pflege einmal wöchentlich als ausreichend anzusehen ist [60].

### Operationszeiten

Im Durchschnitt konnte eine Operationszeit von 47,8 Minuten erfasst werden. Es zeigte sich im Verlauf im Mittel eine zunehmend längere Operationszeit. Während vor zehn und mehr Jahren die mittlere Zeit bei 39,2 Minuten lag, wurde in der 5-Jahres-Kohorte eine durchschnittliche Operationsdauer von 46,5 Minuten und in der 1-Jahres-Kohorte von 57,1 Minuten notiert. Ein Grund für diese Entwicklung konnte hier nicht ausgemacht werden, da in der vorliegenden Studienpopulation weder ein vermehrtes Auftreten schwerwiegender Frakturen noch die häufigere Durchführung eines offenen Verfahrens in der 1-Jahres-Kohorte zu verzeichnen war. Mögliche Gründe wie das perioperative Management sind zu postulieren. Im Vergleich zu den Daten aus einem Artikel von Özcan *et al.*, wo eine deutlich längere Operationszeit von durchschnittlich 109 Minuten dokumentiert wurde [61], kann eine Operationsdauer von unter einer Stunde als akzeptabel bezeichnet werden.

### Zeitlicher Abstand zwischen Operation und Entfernung der Kirschner-Drähte

Eine Konsolidierung der suprakondylären Humerusfraktur im Wachstumsalter ist in der Regel innerhalb von 4-8 Wochen zu erwarten und eine Metallentfernung nach zuvor erfolgter Röntgenbildgebung in diesem Zeitraum möglich. Ein Entfernen der K-Drähte in diesem Zeitintervall konnte in der vorliegenden Studienpopulation bei 85,5% der Studienteilnehmerinnen und -teilnehmern erreicht werden, bei 10,9% der Fälle lag der zeitliche Abstand unter 4 Wochen, bei 3,6% der Kinder und Jugendlichen über 8 Wochen. Eine verfrühte Metallentfernung kann auf Komplikationen, wie einen Pin-Infekt, Drahtwanderung oder eine Hautirritation durch die Drähte indiziert sein. Eine vorzeitige Konsolidierung im Rahmen einer Kallusbildung im Frakturbereich kann jedoch ebenfalls möglich sein. Aus den vorliegenden Daten konnte in 5% aller Fälle, entsprechend der Hälfte der vorzeitig entfernten Drähte, eine Pin-Infektion als Ursache ausgemacht werden (acht Tage, 11 Tage bzw. 14 Tage postoperativ). Zum Zeitraum der Metallentfernung wurde in der Literatur im Rahmen der *BOAST*-Empfehlungen ein Intervall zwischen 3 und 4 Wochen nach erfolgter operativer Fixierung gefunden [26]. Heras *et al.* zeigten in ihrer Untersuchungsgruppe einen durchschnittlichen Zeitraum von 3,8 Wochen [62]. Im Vergleich zu den Zahlen aus den in der vorliegenden Studie beteiligten Zentren ist der Zeitpunkt der Metallentfernung in der Literatur als eher früher einzustufen.

### Art der Metallentfernung

Abhängig von einer epikutanen oder subkutanen Lage der Drahtenden gelang das Entfernen der K-Drähte im wachen Zustand bzw. in Allgemeinanästhesie. In der Gesamtkohorte konnten bei 58,2% der Fälle die K-Drähte im wachen Zustand entfernt werden. Aufgegliedert in die einzelnen Kohorten zeigte sich, dass dieses Verfahren vor zehn und mehr Jahren bei 46,7% der

Betroffenen durchgeführt wurde. In der 5-Jahres-Kohorte lag dieser Anteil bei 60% der Kinder und Jugendlichen und in der 1-Jahres-Kohorte bei 65% der Fälle.

#### Besonderheiten und Auffälligkeiten im Rahmen der Metallentfernung

Ein nicht zu unterschätzender Faktor bei der Metallentfernung im wachen Zustand stellte während der Nachuntersuchungen die psychische Belastung der Kinder und Jugendlichen dar. 18,8% der Betroffenen berichteten zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung, also auch Monate und Jahre später, von einem schmerzhaften und traumatisierenden Ereignis. Anamnestisch zeigte sich auch ein Zusammenhang dessen mit der Erfahrung des durchführenden Arztes bzw. der Ärztin sowie der Verankerung der Drähte. In den als traumatisierend empfundenen Fällen waren häufig mehrere Ansätze zum Ziehen der K-Drähte notwendig. In der Studie von Kaiser *et al.* wurde eine leichte Sedierung mit eventueller Zugabe eines Analgetikums bei ausgeprägter Angst der Betroffenen empfohlen [63]. Dieses Verfahren sollte patientenindividuell als möglich Option überlegt werden. Auf der anderen Seite zeigten Lim *et al.* keine signifikante Minderung des Schmerzempfindens sowie keine signifikante Senkung der Pulsfrequenz durch die Gabe eines Analgetikums (Acetaminophen oder Ibuprofen) eine Stunde vor Entfernung der K-Drähte [64]. Die Autoren postulieren, dass die Erziehungsberechtigten ihre Ängste und Sorgen auf die Kinder projizieren.

Im Fall einer operativen Metallentfernung wurden keine unerwünschten oder vermeidbaren Auffälligkeiten dokumentiert. Es erfolgte lediglich ein ergänzendes Wunddébridement sowie einmalig eine Neurolyse des N. ulnaris. Ein Mädchen wies eine Granulombildung im Bereich eines unter der Haut versenkten Drahtes auf. Die erwähnten Auffälligkeiten bedürfen in diesem Fall keiner Optimierung des Prozesses der Metallentfernung und sind ebenfalls nicht durch diese bedingt.

#### intra- und postoperative Komplikationen

Insgesamt konnten bei fünf betroffene Personen intra- als auch postoperative Komplikationen erfasst werden. Zusammenfassend handelte es sich hierbei um eine Revision der Drahtplatzierung, eine nicht achsgerechte Stellung jedoch ohne Revisionsbedarf bei nicht gelenktragender Funktion sowie eine intraoperativ abgebrochene und intraossär verbliebene Drahtspitze. Es ist festzuhalten, dass die nicht anatomisch korrekte Stellung bei einem männlichen Patienten zu keinerlei Funktionseinschränkungen führte und damit keine Verschlechterung des *Outcomes* darstellte. Im Gegensatz dazu zeigte das Mädchen, nachdem postoperativ eine Drahtspitze intramedullär verblieb, eine Varisierungsfehlstellung von 12°. Ein Zusammenhang erschien hier klinisch jedoch unwahrscheinlich.

In der Literatur wird besonders der Fokus auf postoperative Auffälligkeiten und Komplikationen gelegt. In der vorliegenden Studienpopulation wurden diesbezüglich bei 13 Kindern und Jugendlichen postoperative Auffälligkeiten dokumentiert. Im Besonderen handelte es sich um Dysästhesien im Bereich der Digg. I und II sowie IV und V welche als hinweisend auf Affektionen des N. interosseus anterior, N. medianus und N. ulnaris gewertet werden müssen. Hinzu kamen Pin-Infektionen und Einschränkungen in der Bewegung des betroffenen Armes (u.a. bedingt durch eine Exostosenbildung, welche operativ abgetragen wurde).

Führend in den publizierten Studien zeigten sich postoperativ besonders Pin-Migrationen, Infektionen sowie ebenfalls neurologische und vaskuläre Auffälligkeiten [9]. Ladenhauf *et al.* postulierten ein vermehrtes Auftreten von Pin-Infektionen bei älteren Kindern [10]. Die besonders gefürchteten Komplikationen stellten ein sekundärer Verlust der reponierten Frakturstellung sowie eine iatrogene Schädigung des N. ulnaris dar [53]. Eine genauere Differenzierung der Auffälligkeiten im Bereich der peripheren Durchblutung, Motorik und

Sensibilität erfolgt in dem dafür vorgesehenen Kapitel. Es ist lediglich festzuhalten, dass die Läsion des N. ulnaris vor allem iatrogen auftritt und einen Anteil von etwa 3-4% ausmacht [11].

#### Physiotherapie und Krankengymnastik

Das Training des betroffenen Armes nach Metallentfernung über Verordnung von Physiotherapiesitzungen stellte sich in den vorliegenden Kohorten sehr unterschiedlich dar. Während vor zehn und mehr Jahren lediglich 20% der Patientinnen und Patienten krankengymnastisch unterstützt wurden, lag der prozentuale Anteil in der 5-Jahres-Kohorte bei 35% und in der 1-Jahres-Kohorte erstaunlicherweise bei 80%. Diese Entwicklung basierte weniger auf dem vermehrten Auftreten postoperativer Komplikationen bzw. funktioneller Einschränkungen (z.B. Flexions- und Extensionsdefizite), sondern gehäuft auf Grundlage des expliziten Wunsches der Sorgeberechtigten. Demnach ist das vermehrte Wahrnehmen von Physiotherapiesitzungen nicht unmittelbare Folge einer medizinischen Indikation. Auch Keppler *et al.* konnten zeigen, dass ein Drittel aller versorgenden Zentren Physiotherapieeinheiten in dieser Situation verordneten [65].

In der Literatur wird beschrieben, dass primär keine krankengymnastische Betreuung bei Kindern und Jugendlichen nach stattgehabter und operativ versorgter suprakondylärer Humerusfraktur nötig sei [32]. Ducic *et al.* resümierten, dass eine schnellere Verbesserung des Bewegungsumfanges mittels Physiotherapie innerhalb kürzerer Zeit möglich ist, aber nach einem Zeitraum von 12 Monaten keine Unterschiede mehr zu verzeichnen sind, sodass eine physiotherapeutische Unterstützung primär nicht als notwendig anzusehen sei [66]. Walter Blount fasste diese Tatsache bereits 1955 mit folgendem Zitat zusammen: „Physical therapy [...] is almost never necessary in the management of uncomplicated children's fractures [...] The child knows instinctively better than his parents, physical therapist, or doctor what he may do without harm... If left to his own devices, he will recover in the shortest possible time“ [67].

#### Nachuntersuchung – Inspektion

In der klinischen Untersuchung wurde mit der Inspektion beider Arme begonnen und der Fokus auf die Narbenbildung sowie die Narbengröße und eventuelle Hautdefekte gelegt. In diesem Zusammenhang soll besonders hervorgehoben werden, dass bei 10,9% der Kinder und Jugendlichen in der Nachuntersuchung multiple punktförmige Narben um die Hauptnarbe sichtbar wurden. Diese Narbenbildung war am ehesten auf die epikutan verbliebenen Drahtenden zurückzuführen, die nach Umbiegung zu kleinen weiteren Hautverletzungen führten, welche final als Narben imponierten. In der Literatur wurden vereinzelt berichtete Perforationen der Drahtenden erfasst, eine weitere Konsequenz bzw. mögliche Interventionen waren hier jedoch nicht auszumachen [11]. Demnach wird es als dringend notwendig erachtet, auf diese Verletzungen im Rahmen der Pin-Pflege zu achten und frühzeitig zu intervenieren, um multiple weitere Narben zu vermeiden. Durch eine adäquate Unterpolsterung der umgebogenen Drahtenden kann eine solche Hautirritation vermutlich vermieden werden (siehe Abb. 04). Weiterhin wurde in drei Fällen eine deutliche Kallusbildung (radialseitig > ulnarseitig) dokumentiert, welche als Überschießen des physiologischen Heilungsprozesses des Knochens zu werten ist und primär keine Pathologie darstellt. Hautdefekte waren in keinem Fall zu erkennen. Die Narbenbildung nach offener Reposition variierte zwischen überwiegend kosmetisch sowie funktionell zufriedenstellenden Wundheilungen bis zu einem hypertrophen Erscheinungsbild der Narbe. Keskin *et al.* beschrieben in ihrer Studie in sechs Fällen eine Narbenhypertrophie [19]. Der oben beschriebene Patient, dessen Schnittführung bei offener Reposition oberhalb des Olecranon erfolgte, präsentierte eine Hauteinziehung proximal des Olecranon mit folglich funktioneller Einschränkung. Auch in diesem Zusammenhang ist ein posteriorer Operationszugang in Frage zu stellen und nicht als primäre Methode zu wählen. In einem systematischen Review von Pretell-Mazzini *et al.* zeigten sich insgesamt in Bezug auf

das kosmetische Outcome keine signifikanten Unterschiede zwischen einem offenen oder geschlossenen Repositionsverfahren [58].

#### Bewegungsumfang / Range of Motion

Zur Beurteilung des funktionellen Outcomes wurden unter anderem die Bewegungsumfänge nach der Neutral-Null-Methode bestimmt und die Werte der gesunden Seite als Vergleichsparameter genutzt. Im Mittel ergab sich, vor allem bei den jüngeren Kindern, eine Hyperextension beider Arme als physiologische Normvariante. Das zeigte sich auch übergreifend in den einzelnen Kohorten. Die Überstreckung im Ellenbogengelenk lag auf der ursprünglich gebrochenen Armseite bei  $10,7^\circ$  und auf der gesunden Vergleichsseite bei  $10,3^\circ$ . Demnach wurde diesbezüglich kein Streckdefizit verzeichnet. Eine Hyperextension erfassten Wessel *et al.* in 10,3% der Fälle innerhalb eines Nachuntersuchungszeitraumes von durchschnittlich  $3 \frac{1}{4}$  Jahren [38]. Diese natürliche Hyperextension prädisponiert für das Auftreten einer suprakondylären Humerusfraktur [68]. In Bezug auf die Flexion im Humeroulnargelenk konnte ebenfalls auf beiden Seiten eine suffiziente Beugung erreicht werden. Zwar lag der Bewegungsumfang auf der von der Fraktur betroffenen Armseite im Mittel etwa  $2^\circ$  niedriger mit  $142^\circ$  jedoch ohne signifikant unterschiedlich zu sein. In einer *Follow-up* Studie von Sinikumpu *et al.* ergab sich auf der erkrankten Armseite im Mittel eine Erniedrigung der Flexionsbewegung um  $3^\circ$  mit einem durchschnittlichen Erreichen einer Beugebewegung von  $144,4^\circ$  [69]. Insgesamt ist jedoch von keiner funktionellen Einschränkung nach stattgehabter Fraktur auszugehen. Wessel *et al.* sprachen diesbezüglich von der Notwendigkeit des minimalen Erreichens einer Flexionsbewegung von  $120^\circ$  [38]. Nach statistischer Analyse wurde in der 1-Jahres-Kohorte ein signifikanter Unterschied in der Extensionsbewegung beider Arme detektiert. In Bezug auf die Flexionsbewegung sowie innerhalb der anderen Kohorten konnten keine signifikanten Unterschiede im Bewegungsumfang zwischen beiden Armseiten ausgemacht werden. Daraus resultierend ist davon auszugehen, dass innerhalb des ersten Jahres nach Fraktur und operativer Versorgung die Extensionsbewegung noch nicht endgradig erreicht ist. Dieses kann durch eine Kombination aus Schonhaltung von Seiten des Kindes sowie nötigem Training des Ellenbogengelenkes nach Ruhigstellung begründet werden. Das Erreichen des maximalen Bewegungsumfanges mit einer Latenz spiegelt sich ebenfalls in der Literatur wider. Hier konnten Zions *et al.* eine Veränderung des Bewegungsumfanges bis zu einem Jahr nach dem Frakturereignis feststellen. Bereits nach sechs Monaten wurde eine komplette Freiheit des Bewegungsausmaßes in 94% der Fälle dokumentiert [70].

In Bezug auf die Pro- und Supinationsbewegung wurde bei allen Teilnehmerinnen und Teilnehmern zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung eine komplette Umwendbewegung gesehen, sodass es diesbezüglich zu keinerlei Einschränkungen kam. Dies zeigte sich auch in einer *Follow-up* Untersuchung von Tuomilehto *et al.*, in der keine Asymmetrie bei der Pro- und Supination erfasst wurde [16].

#### Armachse, klinischer Kubitalwinkel

Eindrücklich in der vorliegenden Arbeit erschien die Beobachtung einer valgischen Armachse. Da diese Abweichung von der Lotachse in der Regel auf beiden Armseiten vorlag, ist dieses nicht als pathologische Folge der stattgehabten suprakondylären Humerusfraktur zu werten. Diese valgische Achsabweichung konnte in 49,1% der Fälle dokumentiert werden, davon war die Ausprägung lediglich in 29,6% der Fälle auf der ursprünglich frakturierten Armseite stärker. Bei einseitiger Valgisierung zeigte sich diese in der Mehrzahl auf der gesunden Vergleichsseite. Lehner *et al.* erfassten bei 81,1% der Betroffenen eine regelrechte Armachse, eine Varusfehlstellung in 11,7% der Fälle und eine valgische Armachse bei 7,2% der Betroffenen [11]. Wessel *et al.* berichteten von einem Cubitus valgus bei 1,6% der Kinder und Jugendlichen sowie von einem Cubitus varus bei 8,2% der Fälle [38]. Eine gefürchtete Komplikation stellt die Varusfehlstellung dar, welche erfreulicherweise nur in der 1-Jahres-Kohorte einmalig bei

einem zum Frakturzeitpunkt 7-jährigen Mädchen detektiert wurde. Akgülle *et al.* resümierten, dass eine Varusfehlstellung am ehesten bei einem Frakturalter unter 20 Monaten in Erscheinung tritt, diese hingegen keine funktionellen Einschränkungen bedingt [48]. In dem vorliegenden Fall konnte diese These, auf Grundlage der erhobenen Ergebnisse, nicht erhärtet werden. Eine Varusfehlstellung wurde zunächst lediglich als kosmetisches Problem angesehen. In der Literatur wird jedoch deutlich, dass auch funktionelle Aspekte eine Rolle spielen und demnach eine frühzeitige Intervention erfolgen sollte. Zu diesen Nachteilen zählen eine posterolaterale Rotationsinstabilität, ein „*snapping triceps*“, eine zunehmende Varusdeformation der Ulna sowie eine Fehlstellung des Ellenbogengelenkes [23]. Auch Kwok *et al.* untermalten die Assoziation mit chronischen Schmerzen, einer Affektion des N. ulnaris, einer posterolateralen Instabilität sowie einer erhöhten Rate an weiteren Frakturereignissen [53]. In der statistischen Analyse zeigte sich auch hier in der 1-Jahres-Kohorte noch ein signifikanter Unterschied zwischen beiden Armen in Bezug auf den klinischen Kubitalwinkel. Diese Differenz zeichnete sich in der 5- sowie 10-Jahres-Kohorte nicht mehr ab. Zusammenfassend betonten Wessel *et al.*, dass bei Vorliegen einer minimalen Valgusstellung auf beiden Armseiten, in Kombination mit einer Flexion von mindestens 120° und einer endgradigen Extension, ein schwerwiegender Fehler in der Rotationsachse sowie eine Achsabweichung in der Sagittalebene als unwahrscheinlich erscheint [38].

#### Periphere Durchblutung, Motorik und Sensibilität

Insgesamt wurden im Rahmen der vorliegenden Studie zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung keine Einschränkungen in der Durchblutung sowie Motorik dokumentiert. Auch Meyer *et al.* zeigten die Seltenheit einer vaskulären Verletzung auf. Bei Auftreten dieser ist jedoch ein unmittelbares Handeln erforderlich, um erhebliche Komplikationen zu vermeiden [71]. Auffälligkeiten in der vorliegenden Arbeit lagen im Bereich des Sensibilitätsempfindens (12 Fälle, 21,8%). Besonders zeigten sich hier Kribbelparästhesien im Bereich der ulnarseitigen Hand im Bereich der Digg. IV und V (sechs Betroffene). Auf der anderen Seite berichteten drei Personen von Sensibilitätsminderungen bis hin zu einem Taubheitsgefühl in diesem Handbereich. Bei weiteren drei Personen wurden diese Sensibilitätsminderungen nicht dominierend im Bereich des Versorgungsgebietes des N. ulnaris verzeichnet. Es ist zu erwähnen, dass bei vier Betroffenen eine Neurolyse des N. ulnaris erfolgte. Demzufolge lag in der vorliegenden Studie der prozentuale Anteil einer Affektion des Innervationsgebietes des N. ulnaris bei 16,4%. Diese Befunde sind jedoch auch unter dem Aspekt der diesbezüglich gezielten Anamnese und Untersuchung zu werten und ergaben bei den Betroffenen keine Einschränkungen im Rahmen von Alltagsaktivitäten. Baidoo *et al.* erfassten im Rahmen ihrer Arbeit neurologische Komplikationen nach therapiertem suprakondylärer Humerusfraktur in 2,97% der Fälle, betonten aber ebenfalls die geringe Anzahl im Vergleich zu anderen Autoren [12]. Özcan *et al.* beschrieben eine Komplikationsrate von 9,85% mit einer exzellenten Prognose der vollständigen Regression (*Follow-up* durchschnittlich 5,3 Monate) [61]. In einer Kohorte von 375 Patientinnen und Patienten wurde in der Mehrzahl eine ulnare Nervenverletzung dokumentiert (5,3%), aufgrund des Unfallmechanismus oder iatrogen verursacht [61]. Die Dominanz einer Affektion des N. ulnaris spiegelte sich auch in dieser Arbeit zugrundeliegenden Studienpopulation wider. In anderen Arbeiten wurde die Verletzung des N. medianus bzw. N. interosseus anterior als führende Nervenschädigung dokumentiert [9, 23, 26, 31]. Ein Grund für eine Beschädigung des N. interosseus anterior stellt die Fixierung durch multiple umgebende Bandstrukturen dar [26]. Es wird postuliert, dass eine weiterführende Diagnostik erst nach sechs Monaten eingeleitet werden sollte, da ein sensorisches Defizit in diesem Zeitraum in der Regel regredient ist [61]. Wichtig sei hier jedoch zu erwähnen, dass eine fachärztliche Anbindung bis zur vollständigen Regression erfolgen sollte, um eine nicht vollständige Erholung frühzeitig detektieren zu können [72]. Auch Ladenhauf *et al.* zeigten, dass keine Patientin bzw. kein Patient im Langzeitverlauf ein neurologisches Defizit aufwies [10]. Es zeigte sich, dass die durchschnittliche

Wiedererlangung der Funktionalität des N. ulnaris im Vergleich verlängert sein kann [30, 61]. Sinikumpu *et al.* erfassten Symptome in Bezug auf den N. ulnaris (z.B. Hypersensitivität) in einem signifikanten prozentualen Anteil von 16%, sodass diese Langzeitfolge nicht zu unterschätzen ist [69]. Diese Aussage kann, basierend auf den erhobenen Ergebnissen der Arbeit, nur unterstützt werden. Ein neurologisches Defizit sei laut Ernat *et al.* insgesamt als prädiktiver Faktor für ein schlechteres Outcome in Bezug auf Schmerzen, Funktion, Mobilität und Zufriedenheit zu beurteilen [73].

Eine Narbenhypersensitivität wurde zu einer geringeren Zahl (drei Fälle) untersucht, vornehmlich nach offener Reposition.

#### Scoreauswertung und Resultateinordnung

Zur Objektivierung der erhobenen Untersuchungsbefunde wurde der *Mayo Elbow Performance Score* angewandt. In allen Fällen wurde ein funktionell exzellentes (94,5%) oder gutes (5,5%) Outcome erreicht, sodass davon auszugehen ist, dass bereits nach einem Jahr sowie ebenfalls im Langzeitverlauf keine Einschränkungen in der Bewegung und Belastung des frakturierten Armes auftreten. Auch Kohorten-übergreifend zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen.

In ähnlichen Studienmodellen wurde ebenfalls die Erhebung des *Mayo Elbow Performance Scores* als funktioneller Parameter ausgewählt [32]. De Neira *et al.* präsentierten in 94,6% der Fälle ein exzellentes oder gutes Ergebnis [32]. Sinikumpu *et al.* berichteten von exzellenten Ergebnissen bei allen Betroffenen [69]. In einer Studie von Kaiser *et al.* wurde sogar bei allen Patientinnen und Patienten die Maximalpunktzahl von 100 Punkten erreicht [63].

Insgesamt zeigten sich auch in Vergleichsstudien zufriedenstellende Ergebnisse, sodass die vorliegende Studie den positiven Verlauf nochmal bestätigt. Die in der dieser Studie berichteten Affektionen des N. ulnaris werden innerhalb des *Mayo Elbow Performance Scores* punktuell nicht erfasst und zeigten daher keine Einschränkung des funktionellen Endergebnisses.

Zur Evaluierung der Lebensqualität zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung wurde der altersadaptierte KINDL-Fragebogen genutzt. Die Erfassung der Lebensqualität stellt eine essentielle Untersuchung dar, da die Fraktur ebenso soziale sowie emotionale Konsequenzen bei nicht adäquater Versorgung bedingen kann [74]. In der Literatur ergab sich keine Anwendung des KINDL-Fragebogens in Bezug auf das *Outcome* nach stattgehabter Fraktur. Primär wurde bei anderen Autoren der Fragebogen *Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand* bzw. eine kürzere Form (*QuickDASH*) erhoben [27]. In einer Studie von Liebs *et al.* konnte hiermit gezeigt werden, dass es bei einem durchschnittlichen *Follow-up* von 6,3 Jahren zu exzellenten Ergebnissen in der gesundheitsbezogenen Lebensqualität nach stattgehabter suprakondylärer Humerusfraktur kam [27]. Es konnte kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen der Lebensqualität sowie der radiologischen Frakturklassifikation oder der Art der chirurgischen Versorgung ausgemacht werden [27]. In der Arbeit erfolgte jedoch keine Erfassung der Lebensqualität nach offener Reposition der Fraktur. Auch im Rahmen dieser Untersuchung wurde betont, dass das oberste Ziel der Gesundheitsversorgung die Wiederherstellung oder Erhaltung der Funktionsfähigkeit und des gesundheitsbezogenen Wohlbefindens, d. h. der gesundheitsbezogenen Lebensqualität sei [27].

Eguia *et al.* untersuchten ebenfalls das *Outcome* nach stattgehabter suprakondylärer Humerusfraktur im Kindesalter mit Hilfe des *QuickDASH*. Bei einem durchschnittlichen Nachuntersuchungsintervall von fünf Jahren konnte eine signifikant größere Einschränkung zwischen einer Gartland III- sowie Gartland II-Fraktur analysiert werden [75]. Jedoch ist in dieser Studie unklar, ob der statistische Unterschied auch eine klinische Relevanz im Alltag darstellt. Insgesamt betonten diese Autoren auch das exzellente Outcome nach suprakondylärer Humerusfraktur im Kindesalter. Ebenfalls konnten Ahaoiza *et al.* resümieren, dass nach einer pädiatrischen suprakondylären Humerusfraktur ein gutes funktionelles Outcome unabhängig

von Frakturalter, Geschlecht, Gewicht, Frakturseite sowie chirurgischer oder konservativer Intervention erreicht werden konnte [76].

Hier ist jedoch einzuwenden, dass der *DASH-Score* keine offizielle Validierung für Kinder und Jugendliche aufweist [27, 76], weshalb sich im Rahmen der vorliegenden Studie gegen die Nutzung entschieden wurde.

Insgesamt wurden von Seiten der Betroffenen und deren Erziehungsberechtigten erfolgreiche Resultate erzielt, da die Mehrzahl aller Kinder und Jugendlichen weder Einschränkungen in der täglichen Lebensführung noch psychosoziale Auswirkungen aufwies. In diesem Zusammenhang sei lediglich zu betonen, dass die erziehungsberechtigten Personen im Vergleich zu den Betroffenen häufiger von dem Unfallereignis sowie der folgenden operativen Versorgung eindrücklich geprägt waren. Dieses äußerte sich auch in dem KINDL-Fragebogen, indem die Antworten vergleichsweise minimal schlechter ausfielen. Diese Differenz zeigte sich in der Gesamtkohorte besonders bei der Frage nach vermuteter Traurigkeit des Kindes in Zusammenhang mit der stattgehabten Fraktur sowie in der Überfürsorglichkeit der Eltern. In Zusammenschau der Ergebnisse der Betroffenen sowie deren Erziehungsberechtigten zeigte sich zwischen den drei Kohorten kein signifikanter Unterschied.

In der Literatur wurde in einer *Follow-up* Untersuchung sechs Monate postoperativ kumulativ ein zufriedenstellendes Resultat bei 98% der Patientinnen und Patienten erreicht [12]. Auch bei Zustand nach einer Gartland III-Fraktur konnte ein zufriedenstellendes Resultat in 95,5% der Fälle erreicht werden [12]. Akgülle *et al.* zeigten in einem Nachuntersuchungszeitintervall von im Mittel vier Jahren ein exzellentes Outcome in 88,5% der Fälle [48].

#### Stärken der Studie

Im Rahmen der Studie kam neben der Anamnese und klinischen Untersuchung die Anwendung des *Mayo Elbow Performance Scores* sowie des altersadaptierte KINDL-Fragebogens zum Einsatz, sodass das funktionelle sowie psychosoziale *Outcome* umfassend analysiert werden konnte. Die Erfassung der Lebensqualität im Wachstumsalter ist als wichtiges und bislang in der Kinderunfallchirurgie unterrepräsentiertes Forschungsthema zu erachten, da bei Auffälligkeiten häufig ein frühzeitiges Eingreifen negative Konsequenzen verhindern kann. Die Nutzung des KINDL-Fragebogens ist als Errungenschaft zu sehen, da sowohl die Erziehungsberechtigten als auch die betroffenen Teilnehmerinnen und Teilnehmer die Möglichkeit zur Darstellung der erlebten Situation bekamen. Aufgrund der altersangepassten Versionen waren auch jüngere Kinder in der Lage, die Fragen zu verstehen und adäquat zu beantworten. Eine weitere Stärke dieser Studie stellte die Kooperation mit einem zweiten Versorgungszentrum dar. So konnten repräsentativere Ergebnisse unterschiedlicher klinischer Schulen erzielt werden. Durch Erfassung eines großen *Follow-up* Zeitraumes und die Untersuchung zu drei unterschiedlichen Zeitpunkten ein, drei und zehn Jahre nach Frakturereignis konnten Auffälligkeiten besser dokumentiert und zeitlich eingeordnet werden. In vielen Studien wurden Patientinnen und Patienten, bei denen eine offene Reposition der suprakondylären Humerusfraktur erfolgte, ausgeschlossen. Diese Fälle wurden in der vorliegenden Arbeit miteinbezogen.

#### Schwächen der Studie

Neben den Stärken der Studie sind auch Limitationen zu benennen. Die Fallzahl der in die Untersuchung Eingeschlossenen ist als eher limitiert einzustufen. Besonders in der Kohorte der Betroffenen, die vor zehn und mehr Jahren operiert wurden, konnten weniger Patientinnen und Patienten als gewünscht erfasst werden. Weiterhin ist eine Ausweitung der teilnehmenden Kliniken im Sinne einer echten Multicenterstudie als sinnvoll zu erachten. Ferner war es nicht realisierbar, dass die Betroffenen exakt zum Jahrestag der Fraktur in der Klinik erschienen, sodass die Untersuchungsintervalle in Maßen variierten. Das Beantworten des KINDL-Fragebogens seitens der Erziehungsberechtigten wurde durch die sozial erwünschten Vorgaben geprägt. Trotz Pseudonymisierung der Daten hatte dies Einfluss auf die Antworten der

Sorgeberechtigten. Als eine weitere Limitation muss die fehlende röntgenologische Kontrolle im Rahmen der Nachuntersuchung genannt werden. Das konsequente Erfassen radiologischer Veränderungen und deren Korrelation mit dem klinischen Outcome wäre insbesondere bei auffälligen Befunden von Interesse und möglicher Konsequenz. Allerdings wurde sich im Design der Studie, in Übereinstimmung mit ethischen Vorgaben und vor allem aufgrund der Strahlenhygiene im Wachstumsalter, bewusst gegen diese Untersuchungsmethode entschieden. Das funktionelle Outcome konnte hingegen durch die klinische Untersuchung zuverlässig repräsentiert werden. Ein röntgenologisches Bild schien hierbei nur eine untergeordnete Rolle zu spielen.

## Literaturverzeichnis

1. Weinberg, A.-M., B. Frei, and P. Holweg, *Suprakondyläre Humerusfraktur im Kindesalter*. Der Unfallchirurg, 2020. **4/2020**.
2. PD Dr. Schneidmüller, D., I. Prof. Dr. Marzi, and N. Prof. Dr. Meenen, *Suprakondyläre Humerusfraktur beim Kind*, D.G.f.U.e. V., Editor. 2014, AWMF.
3. von Laer, L., R. Kraus, and W.E. Linhart, *Frakturen und Luxationen im Wachstumsalter*. 6. ed. 2012: Thieme.
4. Marzi, I., *Kindertraumatologie mit 50 Tabellen*. 2., überarb. und aktual. Aufl. ed, ed. I. Marzi. 2010, Berlin u.a.: Springer.
5. Matzen, P., *Kinderorthopädie mit 73 Tabellen ; [mit 150 diagnostischen Abbildungen]*. 1. Aufl. ed, ed. P. Matzen. 2007, München u.a.: Elsevier, Urban & Fischer.
6. Fernandez, F.F., O. Eberhard, and T. Wirth, *Suprakondyläre Humerusfrakturen im Wachstumsalter*. OUP, 2016.
7. Aschenbrenner, I. and P. Prof. Dr. Biberthaler. *Suprakondyläre Humerusfraktur*. 2012; Available from: <https://alt.dgu-online.de/patienten/haeufige-diagnosen/kinder/suprakondylaere-humerusfraktur.html>.
8. Lin, G., et al., *A systematic review and meta-analysis of two different managements for supracondylar humeral fractures in children*. J Orthop Surg Res, 2018. **13**(1): p. 141.
9. Abzug, J.M. and M.J. Herman, *Management of supracondylar humerus fractures in children: current concepts*. J Am Acad Orthop Surg, 2012. **20**(2): p. 69-77.
10. Ladenhauf, H.N., M. Schaffert, and J. Bauer, *The displaced supracondylar humerus fracture: indications for surgery and surgical options: a 2014 update*. Curr Opin Pediatr, 2014. **26**(1): p. 64-9.
11. Lehner, M., B. Schuster, and H.G. Dietz, *[Strategies in the treatment of supracondylar fractures of the humerus in children - proven and controversial]*. Zentralbl Chir, 2014. **139**(6): p. 613-20.
12. Baidoo, P.K., et al., *Treatment and outcomes of pediatric supracondylar humeral fractures in Korle Bu Teaching Hospital*. OTA Int, 2021. **4**(2): p. e124.
13. Baratz, M., C. Micucci, and M. Sangimino, *Pediatric supracondylar humerus fractures*. Hand Clin, 2006. **22**(1): p. 69-75.
14. Farnsworth, C.L., P.D. Silva, and S.J. Mubarak, *Etiology of supracondylar humerus fractures*. J Pediatr Orthop, 1998. **18**(1): p. 38-42.
15. Goswami, G.K., *The Fat Pad Sign*. Radiology, 2002. **222**(2): p. 419-420.
16. Tuomilehto, N., A. Sommarhem, and A.Y. Nietosvaara, *9 years' follow-up of 168 pin-fixed supracondylar humerus fractures in children*. Acta Orthop, 2018. **89**(3): p. 351-356.
17. Weinberg, A.-M., et al., *Die suprakondyläre Oberarmfraktur im Kindesalter - eine Effizienzstudie*. Der Unfallchirurg, 2002. **3/2002**.
18. Ernat, J., et al., *Fracture Classification Does Not Predict Functional Outcomes in Supracondylar Humerus Fractures: A Prospective Study*. J Pediatr Orthop, 2017. **37**(4): p. e233-e237.
19. Keskin, D. and H. Sen, *The comparative evaluation of treatment outcomes in pediatric displaced supracondylar humerus fractures managed with either open or closed reduction and percutaneous pinning*. Acta Chir Orthop Traumatol Cech, 2014. **81**(6): p. 380-6.
20. Shrader, M.W., *Pediatric supracondylar fractures and pediatric physeal elbow fractures*. Orthop Clin North Am, 2008. **39**(2): p. 163-71, v.

21. Babal, J.C., C.T. Mehlman, and G. Klein, *Nerve injuries associated with pediatric supracondylar humeral fractures: a meta-analysis*. J Pediatr Orthop, 2010. **30**(3): p. 253-63.
22. Kassel, U. *Lage- und Streuungsmaße*. 2014 [cited 2022; Available from: <http://www.scl.uni-kassel.de/wbt/FB05/wbt/masse/>].
23. Duffy, S., et al., *Overview of the contemporary management of supracondylar humeral fractures in children*. Eur J Orthop Surg Traumatol, 2021. **31**(5): p. 871-881.
24. Joshi, P., et al., *Epidemiological and Clinical Pattern of Pediatric Supracondylar Fracture of Humerus in A Provincial Hospital: A Descriptive Cross-sectional Study*. JNMA J Nepal Med Assoc, 2021. **59**(233): p. 12-14.
25. Hosseinzadeh, P., K.D. Rickert, and E.W. Edmonds, *What's New in Pediatric Orthopaedic Trauma: The Upper Extremity*. J Pediatr Orthop, 2020. **40**(4): p. e283-e286.
26. Shenoy, P.M., A. Islam, and R. Puri, *Current Management of Paediatric Supracondylar Fractures of the Humerus*. Cureus, 2020. **12**(5): p. e8137.
27. Liebs, T.R., et al., *Health-related quality of life after paediatric supracondylar humeral fractures*. Bone Joint J, 2020. **102-b**(6): p. 755-765.
28. Shah, M. and M.V. Agashe, *Supracondylar Humerus Fractures: Classification Based Treatment Algorithms*. Indian J Orthop, 2021. **55**(1): p. 68-80.
29. Gercek, E., et al., *Suprakondyläre Humerusfrakturen im Wachstumsalter*. Trauma und Berufskrankheit, 2015. **17**(2): p. 260-264.
30. Pandey, S., et al., *Treatment of supracondylar fracture of the humerus (type IIB and III) in children: A prospective randomized controlled trial comparing two methods*. Kathmandu Univ Med J (KUMJ), 2008. **6**(23): p. 310-8.
31. Garg, S., et al., *Clinical characteristics of severe supracondylar humerus fractures in children*. J Pediatr Orthop, 2014. **34**(1): p. 34-9.
32. Zorrilla, S.d.N.J., et al., *Supracondylar humeral fractures in children: current concepts for management and prognosis*. Int Orthop, 2015. **39**(11): p. 2287-96.
33. Ismayl, G., et al., *Early Versus Delayed Treatment for Gartland Type III Supracondylar Humeral Fractures in Children: A Systematic Review and Meta-analysis*. Indian J Orthop, 2022. **56**(11): p. 1871-1881.
34. Farrow, L., et al., *Early versus delayed surgery for paediatric supracondylar humeral fractures in the absence of vascular compromise: a systematic review and meta-analysis*. Bone Joint J, 2018. **100-b**(12): p. 1535-1541.
35. Loizou, C.L., C. Simillis, and J.R. Hutchinson, *A systematic review of early versus delayed treatment for type III supracondylar humeral fractures in children*. Injury, 2009. **40**(3): p. 245-8.
36. Lim, K.B., C.T. Lim, and D.K. Tawng, *Supracondylar humeral fractures in children: beware the medial spike*. Bone Joint J, 2013. **95-b**(9): p. 1290-4.
37. Wingfield, J.J., et al., *Open Reduction Techniques for Supracondylar Humerus Fractures in Children*. J Am Acad Orthop Surg, 2015. **23**(12): p. e72-80.
38. Wessel, L.M., et al., *[Predicting growth patterns after supracondylar fracture of the humerus in childhood]*. Orthopade, 2003. **32**(9): p. 824-32.
39. Oh, C.W., et al., *Completely displaced supracondylar humerus fractures in children: results of open reduction versus closed reduction*. J Orthop Sci, 2003. **8**(2): p. 137-41.
40. Irianto, K.A., I. Pradana, and B. De Vega, *Lateral versus posterior surgical approach for the treatment of supracondylar humeral fractures in children: a systematic review and meta-analysis*. F1000Res, 2021. **10**: p. 573.

41. Ersan, O., et al., *Comparison of anterior and lateral approaches in the treatment of extension-type supracondylar humerus fractures in children*. J Pediatr Orthop B, 2012. **21**(2): p. 121-6.
42. Pretell Mazzini, J., J. Rodriguez Martin, and E.M. Andres Esteban, *Surgical approaches for open reduction and pinning in severely displaced supracondylar humerus fractures in children: a systematic review*. J Child Orthop, 2010. **4**(2): p. 143-52.
43. Woratanarat, P., et al., *Meta-analysis of pinning in supracondylar fracture of the humerus in children*. J Orthop Trauma, 2012. **26**(1): p. 48-53.
44. Maity, A., D. Saha, and D.S. Roy, *A prospective randomised, controlled clinical trial comparing medial and lateral entry pinning with lateral entry pinning for percutaneous fixation of displaced extension type supracondylar fractures of the humerus in children*. J Orthop Surg Res, 2012. **7**: p. 6.
45. Eguia, F., et al., *Mid-term Patient-reported Outcomes After Lateral Versus Crossed Pinning of Pediatric Supracondylar Humerus Fractures*. J Pediatr Orthop, 2020. **40**(7): p. 323-328.
46. Dekker, A.E., P. Krijnen, and I.B. Schipper, *Results of crossed versus lateral entry K-wire fixation of displaced pediatric supracondylar humeral fractures: A systematic review and meta-analysis*. Injury, 2016. **47**(11): p. 2391-2398.
47. Carrazzone, O.L., et al., *Crossed versus lateral K-wire fixation of supracondylar fractures of the humerus in children: a meta-analysis of randomized controlled trials*. J Shoulder Elbow Surg, 2021. **30**(2): p. 439-448.
48. Akgülle, A.H., et al., *Supracondylar Humerus Fractures in Infants and Early Toddlers; Characteristics, Clinical and Radiological Outcomes Compared with Older Children*. J Invest Surg, 2022. **35**(11-12): p. 1797-1805.
49. Brauer, C.A., et al., *A systematic review of medial and lateral entry pinning versus lateral entry pinning for supracondylar fractures of the humerus*. J Pediatr Orthop, 2007. **27**(2): p. 181-6.
50. De Pellegrin, M., et al., *Advantages and disadvantages of the prone position in the surgical treatment of supracondylar humerus fractures in children. A literature review*. Injury, 2018. **49** Suppl 3: p. S37-s42.
51. Catena, N., et al., *Risk of ulnar nerve injury during cross-pinning in supine and prone position for supracondylar humeral fractures in children: a recent literature review*. Eur J Orthop Surg Traumatol, 2019. **29**(6): p. 1169-1175.
52. Prashant, K., et al., *A comparative study of two percutaneous pinning techniques (lateral vs medial-lateral) for Gartland type III pediatric supracondylar fracture of the humerus*. J Orthop Traumatol, 2016. **17**(3): p. 223-9.
53. Kwok, S.M., C. Clayworth, and N. Nara, *Lateral versus cross pinning in paediatric supracondylar humerus fractures: a meta-analysis of randomized control trials*. ANZ J Surg, 2021. **91**(5): p. 980-985.
54. Green, D.W., et al., *Low incidence of ulnar nerve injury with crossed pin placement for pediatric supracondylar humerus fractures using a mini-open technique*. J Orthop Trauma, 2005. **19**(3): p. 158-63.
55. Erçin, E., et al., *Medial mini-open versus percutaneous pin fixation for type III supracondylar fractures in children*. Ulus Travma Acil Cerrahi Derg, 2016. **22**(4): p. 350-4.
56. Patriota, G., C.A. Assunção Filho, and C.A. Assunção, *What is the best fixation technique for the treatment of supracondylar humerus fractures in children?* Rev Bras Ortop, 2017. **52**(4): p. 428-434.

57. Zhao, H., et al., *Comparison of lateral entry and crossed entry pinning for pediatric supracondylar humeral fractures: a meta-analysis of randomized controlled trials*. J Orthop Surg Res, 2021. **16**(1): p. 366.
58. Pretell-Mazzini, J., J. Rodriguez-Martin, and E.M. Andres-Esteban, *Does open reduction and pinning affect outcome in severely displaced supracondylar humeral fractures in children? A systematic review*. Strategies Trauma Limb Reconstr, 2010. **5**(2): p. 57-64.
59. Schneidmueller, D., et al., *Kirschner-Draht-Osteosynthese im Wachstumsalter - Drähte versenken oder nicht?* Dtsch Arztebl International, 2022. **119**(47): p. 818-819.
60. Lu, D., et al., *Management of pin tract infection in pediatric supracondylar humerus fractures: a comparative study of three methods*. Eur J Pediatr, 2017. **176**(5): p. 615-620.
61. Ozcan, M., et al., *Prognosis and risk factors of nerve injuries in displaced pediatric supracondylar humerus fractures*. Niger J Clin Pract, 2020. **23**(5): p. 647-653.
62. de las Heras, J., et al., *Supracondylar fractures of the humerus in children*. Clin Orthop Relat Res, 2005(432): p. 57-64.
63. Kaiser, M.M., et al., *[Percutaneous closed pin fixation of supracondylar fractures of the distal humerus in children]*. Oper Orthop Traumatol, 2008. **20**(4-5): p. 297-309.
64. Lim, K.B., et al., *Percutaneous pin removal in the outpatient clinic--do children require analgesia?: a randomized controlled trial*. J Bone Joint Surg Am, 2014. **96**(7): p. 597-602.
65. Keppler, P., et al., *The effectiveness of physiotherapy after operative treatment of supracondylar humeral fractures in children*. J Pediatr Orthop, 2005. **25**(3): p. 314-6.
66. Ducic, S., et al., *(Un)importance of physical therapy in treatment of displaced supracondylar humerus fractures in children*. Acta Orthop Belg, 2015. **81**(3): p. 368-74.
67. Schmale, G.A., et al., *Lack of Benefit of Physical Therapy on Function Following Supracondylar Humeral Fracture: A Randomized Controlled Trial*. J Bone Joint Surg Am, 2014. **96**(11): p. 944-950.
68. Ekwedigwe, H.C., et al., *Predictors of early elbow function following paediatric humeral supracondylar fractures: A retrospective analysis*. Niger J Clin Pract, 2021. **24**(11): p. 1590-1595.
69. Sinikumpu, J.J., et al., *The long-term outcome of childhood supracondylar humeral fractures: A population-based follow up study with a minimum follow up of ten years and normal matched comparisons*. Bone Joint J, 2016. **98-b**(10): p. 1410-1417.
70. Zions, L.E., et al., *Time of return of elbow motion after percutaneous pinning of pediatric supracondylar humerus fractures*. Clin Orthop Relat Res, 2009. **467**(8): p. 2007-10.
71. Meyer, C.L., et al., *Complications of pediatric supracondylar humeral fractures*. Instr Course Lect, 2015. **64**: p. 483-91.
72. Graff, C., et al., *Management of iatrogenic ulnar nerve palsies after cross pinning of pediatric supracondylar humerus fractures: A systematic review*. J Child Orthop, 2022. **16**(5): p. 366-373.
73. Ernat, J.J., et al., *Nerve Injury Predicts Functional Outcomes in Pediatric Supracondylar Humerus Fractures: A Prospective Study: Level 2 Evidence*. Journal of Hand Surgery, 2015. **40**(9): p. e3.
74. Mulpuri, K. and K. Wilkins, *The treatment of displaced supracondylar humerus fractures: evidence-based guideline*. J Pediatr Orthop, 2012. **32 Suppl 2**: p. S143-52.
75. Eguia, F.A., et al., *Radiographic assessments of pediatric supracondylar fractures and mid-term patient-reported outcomes*. Medicine (Baltimore), 2020. **99**(41): p. e22543.

76. Isa, A.D., A. Furey, and C. Stone, *Functional outcome of supracondylar elbow fractures in children: a 3- to 5-year follow-up*. *Can J Surg*, 2014. **57**(4): p. 241-6.

**Ein-/Ausschlusskriterien zur Studienteilnehmerin/zum Studienteilnehmer:**

Pseudonym: \_\_\_\_\_  
Geburtsdatum: \_\_\_\_\_  
Alter: \_\_\_\_\_  
Gewicht: \_\_\_\_\_  
Größe: \_\_\_\_\_

Händigkeit:             rechts             links  
Seite des Bruches:     rechts             links  
Operative Versorgung:  Ja                     Nein

Datum des Unfalls: \_\_\_\_\_  
Datum der Operation: \_\_\_\_\_

**Vorbestehende traumatische oder chronische Erkrankungen der oberen Extremität:**

\_\_\_\_\_

**Allgemeine Vorerkrankungen:**

\_\_\_\_\_

**Regelmäßige Schmerzen oder Bewegungseinschränkungen der Arme:**

\_\_\_\_\_

Studientermin zur Promotion „Ein, fünf und zehn-Jahres Outcome nach dislozierter  
suprakondylärer Humerusfraktur im Kindesalter evaluiert anhand der klinischen Funktion  
sowie der Lebensqualität“

Datum der Untersuchung:

Pseudonym:

Geburtsdatum:

Aufklärung- und Einwilligungserklärung: erfolgt Ja \_\_\_ Nein \_\_\_

Anamnese:

→ Unfallhergang:

→ BG-Unfall?:

→ weitere stationäre Aufenthalte aufgrund der initialen Verletzung?:

→ ME (wo? wann?):

Bestimmung Einschlusskriterien: erfolgt Ja \_\_\_ Nein \_\_\_

Fragebögen Lebensqualität: erfolgt Ja \_\_\_ Nein \_\_\_

klinische Untersuchung:

Inspektion (u.a. Narbenbildung, Hautdefekte?):

ROM (Extension/Flexion):

Valgus-/Varusfehlstellung?:

pDMS:

Seitenstabilität (Extension + leichte Flexion):

Mayo Elbow Score:

Fotodokumentation: erfolgt Ja \_\_\_ Nein \_\_\_

### **Mayo Elbow Performance Score**

#### **Pain Intensity**

None	45
Mild	30
Moderate	15
Severe	0

#### **Motion** (Flexion Art. humeroulnaris)

Arc of motion greater than 100 degrees	20
Arc of motion between 50 and 100 degrees	15
Arc of motion less than 50 degrees	5

#### **Stability**

Stable	10
Moderate instability	5
Grossly unstable	0

#### **Function**

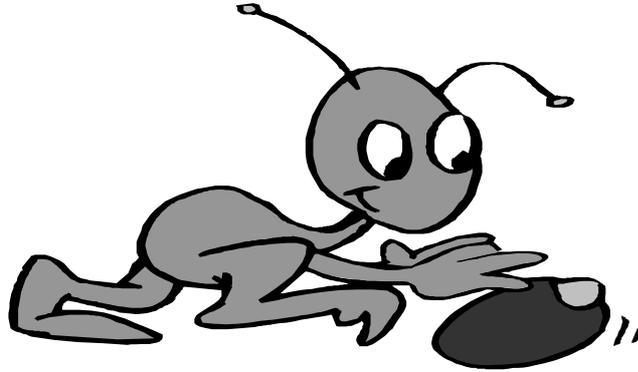
Combing your hair	5
Eating	5
Performing personal hygiene	5
Putting on shirt	5
Putting on shoes	5

### **Results**

>89	Excellent
75-89	Good
60-74	Fair
<60	Poor

# Fragebogen für Kinder

Kiddy-KINDL<sup>®</sup>



Hallo,

wir möchten gerne wissen, wie es dir zur Zeit geht und wie du dich fühlst. Dazu haben wir uns einige Fragen ausgedacht und bitten dich um deine Antwort.

- ⇒ Ich lese dir jede Frage vor,
- ⇒ Du überlegst, wie es letzte Woche war und
- ⇒ sage mir dann die Antwort, die für dich am besten passt.

Es gibt keine richtigen oder falschen Antworten. Wichtig ist uns deine Meinung.

Bogen ausgefüllt am:

---

Tag/Monat/Jahr

Bitte sage mir zunächst etwas zu dir

Bist du ein	<input type="checkbox"/> Mädchen oder ein <input type="checkbox"/> Junge?
Wie alt bist du?	_____ Jahre
Wie viele Geschwister hast du?	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> über 5
Gehst du in den Kindergarten oder in die Vorschule?	<input type="checkbox"/> Kindergarten <input type="checkbox"/> Vorschule <input type="checkbox"/> nichts von beidem

Ich lese dir jetzt ein Beispiel vor:

Wenn du den Satz hörst: „In der letzten Woche habe ich Lust auf Eisessen gehabt“,  
kannst du mir sagen, wie häufig das bei dir war?

Es gibt 3 Möglichkeiten zu antworten: **nie, manchmal und ganz oft.**

Also: wie war das bei dir?

Würdest du sagen: In der letzten Woche habe ich...

**nie** Lust auf Eisessen gehabt,  
habe ich **manchmal** Lust auf Eisessen gehabt oder  
habe ich **ganz oft** Lust auf Eisessen gehabt

*Antwort des Kindes! Wenn der Eindruck besteht, dass das Kind das Antwortschema verstanden hat weiter mit Frage 1, ansonsten Beispiel wiederholen.*

Das machst du sehr gut. Jetzt geht es los.

### 1. Zuerst möchten wir etwas über deinen Körper wissen, ...

In der letzten Woche ...	nie	manchmal	ganz oft
1. ... habe ich mich krank gefühlt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. ... hatte ich Kopfweh oder Bauchweh	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

### 2. ... dann etwas darüber, wie du dich fühlst ...

In der letzten Woche ...	nie	manchmal	ganz oft
1. ... habe ich viel gelacht und Spaß gehabt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. ... war mir langweilig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**3. ... und was du selbst von dir hältst.**

<i>In der letzten Woche ...</i>	nie	manchmal	ganz oft
1. ... war ich stolz auf mich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. ... mochte ich mich selbst leiden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**4. In den nächsten Fragen geht es um deine Familie ...**

<i>In der letzten Woche ...</i>	nie	manchmal	ganz oft
1. ... habe ich mich gut mit meinen Eltern verstanden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. ... habe ich mich zu Hause wohl gefühlt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**5. ... und danach um Freunde.**

<i>In der letzten Woche ...</i>	nie	manchmal	ganz oft
1. ... habe ich mit Freunden gespielt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. ... habe ich mich mit meinen Freunden gut verstanden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**6. Nun möchte ich noch etwas über die Vorschule/den Kindergarten wissen.**

<i>In der letzten Woche, in der ich in der Vorschule/im Kindergarten war, ...</i>	nie	manchmal	ganz oft
1. ... habe ich die Aufgaben in der Vorschule/im Kindergarten gut geschafft	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. ... hat mir die Vorschule/der Kindergarten Spaß gemacht	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**VIELEN DANK FÜR DEINE MITARBEIT!**

Bitte sage mir zunächst etwas zu dir

Bist du ein	<input type="checkbox"/> Mädchen oder ein <input type="checkbox"/> Junge?
Wie alt bist du?	_____ Jahre
Wie viele Geschwister hast du?	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> über 5
Gehst du in den Kindergarten oder in die Vorschule?	<input type="checkbox"/> Kindergarten <input type="checkbox"/> Vorschule <input type="checkbox"/> nichts von beidem

Ich lese dir jetzt ein Beispiel vor:

Wenn du den Satz hörst: „In der letzten Woche habe ich Lust auf Eisessen gehabt“,  
kannst du mir sagen, wie häufig das bei dir war?

Es gibt 3 Möglichkeiten zu antworten: **nie, manchmal und ganz oft.**

Also: wie war das bei dir?

Würdest du sagen: In der letzten Woche habe ich...

**nie** Lust auf Eisessen gehabt,  
habe ich **manchmal** Lust auf Eisessen gehabt oder  
habe ich **ganz oft** Lust auf Eisessen gehabt

*Antwort des Kindes! Wenn der Eindruck besteht, dass das Kind das Antwortschema verstanden hat weiter mit Frage 1, ansonsten Beispiel wiederholen.*

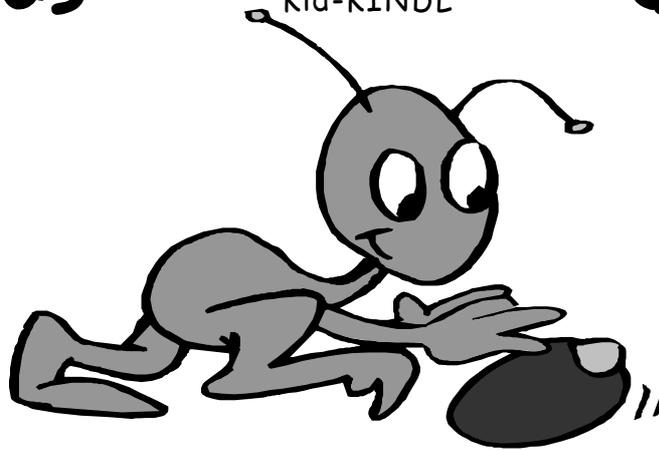
Das machst du sehr gut. Jetzt geht es los.

In der letzten Woche ...	nie	manchmal	ganz oft
1. ... hatte ich Angst, meine Krankheit könnte schlimmer werden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. ... war ich wegen meiner Krankheit traurig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. ... kam ich mit meiner Krankheit gut zurecht	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. ... behandelten mich meine Eltern wegen der Krankheit wie ein Baby	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. ... wollte ich, dass keiner etwas von meiner Krankheit merkt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. ... habe ich wegen der Krankheit in der Vorschule / dem Kindergarten etwas verpasst	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**VIELEN DANK FÜR DEINE MITARBEIT!**

# Fragebogen für Kinder

Kid-KINDL<sup>®</sup>



Hallo,

wir möchten gerne wissen, wie es dir zur Zeit geht. Dazu haben wir uns einige Fragen ausgedacht und bitten dich um deine Antwort.

- ⇒ Lies bitte jede Frage durch,
- ⇒ überlege, wie es in der letzten Woche war,
- ⇒ kreuze **in jeder Zeile** die Antwort an, die am besten zu dir passt.

Es gibt keine richtigen oder falschen Antworten.

Wichtig ist uns deine Meinung.

<b>Ein Beispiel:</b> 	nie	selten	manch- mal	oft	Immer
In der letzten Woche habe ich gerne Musik gehört	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Bogen ausgefüllt am:

\_\_\_\_\_

Tag/Monat/Jahr

**Bitte sage uns zunächst etwas zu dir. Kreuze an oder trage ein !**



- Ich bin ein  Mädchen  Junge  
 Ich bin \_\_\_\_\_ Jahre alt  
 Wieviele Geschwister hast du?  0  1  2  3  4  5  über 5  
 Welche Schule besuchst du?  Grundschule  Hauptschule  Realschule  
 Gesamtschule  Gymnasium  Sonderschule  
 privater Unterricht

**1. Zuerst möchten wir etwas über deinen Körper wissen, ...**

<i>In der letzten Woche ...</i>	nie	selten	manchmal	oft	immer
1. ... habe ich mich krank gefühlt	<input type="checkbox"/>				
2. ... hatte ich Kopfschmerzen oder Bauchschmerzen	<input type="checkbox"/>				
3. ... war ich müde und schlapp	<input type="checkbox"/>				
4. ... hatte ich viel Kraft und Ausdauer	<input type="checkbox"/>				

**2. ... dann etwas darüber, wie du dich fühlst ...**

<i>In der letzten Woche ...</i>	nie	selten	manchmal	oft	immer
1. ... habe ich viel gelacht und Spaß gehabt	<input type="checkbox"/>				
2. ... war mir langweilig	<input type="checkbox"/>				
3. ... habe ich mich allein gefühlt	<input type="checkbox"/>				
4. ... habe ich Angst gehabt	<input type="checkbox"/>				

**3. ... und was du selbst von dir hältst.**

<i>In der letzten Woche ...</i>	nie	selten	manchmal	oft	immer
1. ... war ich stolz auf mich	<input type="checkbox"/>				
2. ... fand ich mich gut	<input type="checkbox"/>				
3. ... mochte ich mich selbst leiden	<input type="checkbox"/>				
4. ... hatte ich viele gute Ideen	<input type="checkbox"/>				

**4. In den nächsten Fragen geht es um deine Familie ...**

<i>In der letzten Woche ...</i>	nie	selten	manchmal	oft	immer
1. ... habe ich mich gut mit meinen Eltern verstanden	<input type="checkbox"/>				
2. ... habe ich mich zu Hause wohl gefühlt	<input type="checkbox"/>				
3. ... hatten wir schlimmen Streit zu Hause	<input type="checkbox"/>				
4. ... haben mir meine Eltern Sachen verboten	<input type="checkbox"/>				

**5. ... und danach um Freunde.**

<i>In der letzten Woche ...</i>	nie	selten	manchmal	oft	immer
1. ... habe ich mit Freunden gespielt	<input type="checkbox"/>				
2. ... mochten mich die anderen Kinder	<input type="checkbox"/>				
3. ... habe ich mich mit meinen Freunden gut verstanden	<input type="checkbox"/>				
4. ... hatte ich das Gefühl, dass ich anders bin als die anderen	<input type="checkbox"/>				

**6. Nun möchten wir noch etwas über die Schule wissen.**

<i>In der letzten Woche, in der ich in der Schule war ...</i>	nie	selten	manchmal	oft	immer
1. ... habe ich die Schulaufgaben gut geschafft	<input type="checkbox"/>				
2. ... hat mir der Unterricht Spaß gemacht	<input type="checkbox"/>				
3. ... habe ich mir Sorgen um meine Zukunft gemacht	<input type="checkbox"/>				
4. ... habe ich Angst vor schlechten Noten gehabt	<input type="checkbox"/>				

**VIELEN DANK FÜR DEINE MITARBEIT!**

**Bitte sage uns zunächst etwas zu dir. Kreuze an oder trage ein !**



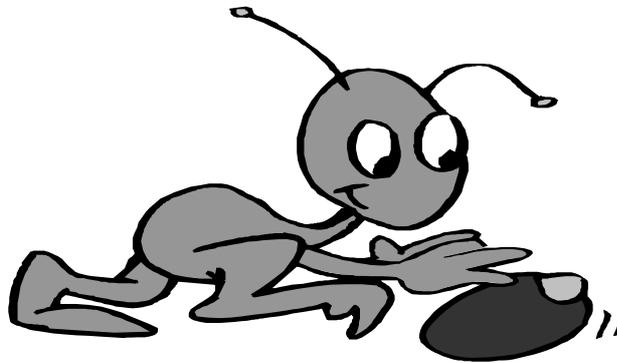
- Ich bin ein  Mädchen  Junge
- Ich bin \_\_\_\_\_ Jahre alt
- Wieviele Geschwister hast du?  0  1  2  3  4  5  über 5
- Welche Schule besuchst du?  Grundschule  Hauptschule  Realschule  
 Gesamtschule  Gymnasium  Sonderschule  
 privater Unterricht

<i>In der letzten Woche ...</i>	nie	selten	manchmal	oft	immer
1. ... hatte ich Angst, meine Erkrankung könnte schlimmer werden	<input type="checkbox"/>				
2. ... war ich wegen meiner Erkrankung traurig	<input type="checkbox"/>				
3. ... kam ich mit meiner Erkrankung gut zurecht	<input type="checkbox"/>				
4. ... behandelten mich meine Eltern wegen der Erkrankung wie ein kleines Kind	<input type="checkbox"/>				
5. ... wollte ich, dass keiner etwas von meiner Erkrankung merkt	<input type="checkbox"/>				
6. ... habe ich wegen der Erkrankung in der Schule/Ausbildung etwas verpasst	<input type="checkbox"/>				

**VIELEN DANK FÜR DEINE MITARBEIT!**

# Fragebogen für Jugendliche

Kiddo-KINDL<sup>®</sup>



Hallo,  
wir möchten gerne wissen, wie es dir zur Zeit geht. Dazu haben wir uns einige Fragen ausgedacht und bitten dich um deine Antwort.

- ⇒ Lies bitte jede Frage durch,
- ⇒ überlege, wie es in der letzten Woche war,
- ⇒ kreuze **in jeder Zeile** die Antwort an, die am besten zu dir passt.

**Es gibt keine richtigen oder falschen Antworten.  
Wichtig ist uns deine Meinung.**

<b>Ein Beispiel:</b> 	nie	selten	manch- mal	oft	Immer
In der letzten Woche habe ich gerne Musik gehört	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Bogen ausgefüllt am:

\_\_\_\_\_

Tag/Monat/Jahr

**Bitte sage uns zunächst etwas zu dir. Kreuze an oder trage ein !**



- Ich bin ein  Mädchen  Junge  
 Ich bin \_\_\_\_\_ Jahre alt  
 Wie viele Geschwister hast du?  0  1  2  3  4  5  über 5  
 Welche Schule besuchst du?  Grundschule  Hauptschule  Realschule  
 Gesamtschule  Gymnasium  Sonderschule  
 privater Unterricht

**1. Zuerst möchten wir etwas über deinen Körper wissen, ...**

<i>In der letzten Woche ...</i>	nie	selten	manchmal	oft	immer
1. ... habe ich mich krank gefühlt	<input type="checkbox"/>				
2. ... hatte ich Schmerzen	<input type="checkbox"/>				
3. ... war ich müde und erschöpft	<input type="checkbox"/>				
4. ... hatte ich viel Kraft und Ausdauer	<input type="checkbox"/>				

**2. ... dann etwas darüber, wie du dich fühlst ...**

<i>In der letzten Woche ...</i>	nie	selten	manchmal	oft	immer
1. ... habe ich viel gelacht und Spaß gehabt	<input type="checkbox"/>				
2. ... war mir langweilig	<input type="checkbox"/>				
3. ... habe ich mich allein gefühlt	<input type="checkbox"/>				
4. ... habe ich mich ängstlich oder unsicher gefühlt	<input type="checkbox"/>				

**3. ... und was du selbst von dir hältst.**

<i>In der letzten Woche ...</i>	nie	selten	manchmal	oft	immer
1. ... war ich stolz auf mich	<input type="checkbox"/>				
2. ... fühlte ich mich wohl in meiner Haut	<input type="checkbox"/>				
3. ... mochte ich mich selbst leiden	<input type="checkbox"/>				
4. ... hatte ich viele gute Ideen	<input type="checkbox"/>				

**4. In den nächsten Fragen geht es um deine Familie ...**

<i>In der letzten Woche ...</i>	nie	selten	manchmal	oft	immer
1. ... habe ich mich gut mit meinen Eltern verstanden	<input type="checkbox"/>				
2. ... habe ich mich zu Hause wohl gefühlt	<input type="checkbox"/>				
3. ... hatten wir schlimmen Streit zu Hause	<input type="checkbox"/>				
4. ... fühlte ich mich durch meine Eltern eingeschränkt	<input type="checkbox"/>				

**5. ... und danach um Freunde.**

<i>In der letzten Woche ...</i>	nie	selten	manchmal	oft	immer
1. ... habe ich etwas mit Freunden zusammen gemacht	<input type="checkbox"/>				
2. ... bin ich bei anderen „gut angekommen“	<input type="checkbox"/>				
3. ... habe ich mich mit meinen Freunden gut verstanden	<input type="checkbox"/>				
4. ... hatte ich das Gefühl, dass ich anders bin als die anderen	<input type="checkbox"/>				

**6. Nun möchten wir noch etwas über die Schule/Ausbildung wissen.**

<i>In der letzten Woche, in der ich in der Schule/Ausbildung war, ...</i>	nie	selten	manchmal	oft	immer
1. ... habe ich die Aufgaben in der Schule/Ausbildung gut geschafft	<input type="checkbox"/>				
2. ... hat mich der Unterricht interessiert	<input type="checkbox"/>				
3. ... habe ich mir Sorgen um meine Zukunft gemacht	<input type="checkbox"/>				
4. ... habe ich Angst vor schlechten Noten gehabt	<input type="checkbox"/>				

**VIELEN DANK FÜR DEINE MITARBEIT!**

**Bitte sage uns zunächst etwas zu dir. Kreuze an oder trage ein !**



- Ich bin ein  Mädchen  Junge
- Ich bin \_\_\_\_\_ Jahre alt
- Wieviele Geschwister hast du?  0  1  2  3  4  5  über 5
- Welche Schule besuchst du?  Grundschule  Hauptschule  Realschule  
 Gesamtschule  Gymnasium  Sonderschule  
 privater Unterricht

<i>In der letzten Woche ...</i>	nie	selten	manchmal	oft	immer
1. ... hatte ich Angst, meine Erkrankung könnte schlimmer werden	<input type="checkbox"/>				
2. ... war ich wegen meiner Erkrankung traurig	<input type="checkbox"/>				
3. ... kam ich mit meiner Erkrankung gut zurecht	<input type="checkbox"/>				
4. ... behandelten mich meine Eltern wegen der Erkrankung wie ein kleines Kind	<input type="checkbox"/>				
5. ... wollte ich, dass keiner etwas von meiner Erkrankung merkt	<input type="checkbox"/>				
6. ... habe ich wegen der Erkrankung in der Schule/Ausbildung etwas verpasst	<input type="checkbox"/>				

**VIELEN DANK FÜR DEINE MITARBEIT!**

# Fragebogen zur Lebensqualität von Kindern

Kiddy-KINDL  
3 - 6 Jahre  
Elternversion



Sehr geehrte Mutter, sehr geehrter Vater,

vielen Dank, dass Sie sich bereit erklärt haben, diesen Bogen zum Wohlbefinden und zur gesundheitsbezogenen Lebensqualität Ihres Kindes auszufüllen.

Bei den nun folgenden Fragen möchten wir Sie bitten, folgende Instruktionen zu beachten.

- ⇒ Lesen Sie bitte jede Frage genau durch,
- ⇒ überlegen Sie, wie Ihr Kind sich in der letzten Woche gefühlt hat,
- ⇒ kreuzen Sie die Antwort an, die für Ihr Kind am besten zutrifft.

Ein Beispiel:

In der letzten Woche ...

	nie	selten	manch- mal	oft	immer
... hat mein Kind sich wohl gefühlt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Mein Kind ist ein: Mädchen  Junge  Alter des Kindes: \_\_\_ Jahre

Sie sind: Mutter  Vater  Sonstiges \_\_\_\_\_?

Ausfülldatum: \_\_\_ / \_\_\_ / \_\_\_ (Tag / Monat / Jahr)

### 1. Körperliches Wohlbefinden

<i>In der letzten Woche ...</i>	nie	selten	manchmal	oft	immer
1. ... hat mein Kind sich krank gefühlt	<input type="checkbox"/>				
2. ... hatte mein Kind Kopfschmerzen oder Bauchschmerzen	<input type="checkbox"/>				
3. ... war mein Kind müde und schlapp	<input type="checkbox"/>				
4. ... hatte mein Kind viel Kraft und Ausdauer	<input type="checkbox"/>				

### 2. Seelisches Wohlbefinden

<i>In der letzten Woche ...</i>	nie	selten	manchmal	oft	immer
1. ... hat mein Kind viel gelacht und Spaß gehabt	<input type="checkbox"/>				
2. ... hatte mein Kind zu nichts Lust	<input type="checkbox"/>				
3. ... hat mein Kind sich allein gefühlt	<input type="checkbox"/>				
4. ... hat mein Kind sich ängstlich oder unsicher gefühlt	<input type="checkbox"/>				

### 3. Selbstwert

<i>In der letzten Woche ...</i>	nie	selten	manchmal	oft	immer
1. ... war mein Kind stolz auf sich	<input type="checkbox"/>				
2. ... fühlte mein Kind sich wohl in seiner Haut	<input type="checkbox"/>				
3. ... mochte mein Kind sich selbst leiden	<input type="checkbox"/>				
4. ... hatte mein Kind viele gute Ideen	<input type="checkbox"/>				

#### 4. Familie

<i>In der letzten Woche ...</i>	nie	selten	manchmal	oft	immer
1. ... hat mein Kind sich gut mit uns als Eltern verstanden	<input type="checkbox"/>				
2. ... hat mein Kind sich zu Hause wohl gefühlt	<input type="checkbox"/>				
3. ... hatten wir schlimmen Streit zu Hause	<input type="checkbox"/>				
4. ... fühlte mein Kind sich durch mich bevormundet	<input type="checkbox"/>				

#### 5. Freunde

<i>In der letzten Woche ...</i>	nie	selten	manchmal	oft	immer
1. ... hat mein Kind mit Freunden gespielt	<input type="checkbox"/>				
2. ... ist mein Kind bei anderen „gut angekommen“	<input type="checkbox"/>				
3. ... hat mein Kind sich gut mit seinen Freunden verstanden	<input type="checkbox"/>				
4. ... hatte mein Kind das Gefühl, daß es anders ist als die anderen	<input type="checkbox"/>				

#### 6. Vorschule / Kindergarten

<i>In der letzten Woche ...</i>	nie	selten	manchmal	oft	immer
1. ... hat mein Kind die Aufgaben in der Vorschule/ im Kindergarten gut geschafft	<input type="checkbox"/>				
2. ... hat meinem Kind die Vorschule/ der Kindergarten Spaß gemacht	<input type="checkbox"/>				
3. ... hat mein Kind sich auf die Vorschule/ den Kindergarten gefreut	<input type="checkbox"/>				
4. ... hat mein Kind bei kleineren Aufgaben oder Hausaufgaben viele Fehler gemacht	<input type="checkbox"/>				

## 7. Weitere wichtige Fragen

<i>In der letzten Woche ...</i>	nie	selten	manch- mal	oft	immer
1. ... war mein Kind schlecht gelaunt und quengelig	<input type="checkbox"/>				
2. ... hat mein Kind mit Appetit gegessen	<input type="checkbox"/>				
3. ... konnte ich geduldig und verständnisvoll mit meinem Kind umgehen	<input type="checkbox"/>				
4. ... war mein Kind angestrengt	<input type="checkbox"/>				
5. ... konnte mein Kind gut schlafen	<input type="checkbox"/>				
6. ... ist mein Kind viel herumgetobt und hat sich bewegt	<input type="checkbox"/>				
7. ... hat mein Kind schnell geweint	<input type="checkbox"/>				
8. ... war mein Kind fröhlich und gut gelaunt	<input type="checkbox"/>				
9. ... konnte sich mein Kind gut konzentrieren und war aufmerksam	<input type="checkbox"/>				
10. ... ließ sich mein Kind leicht ablenken und war zerstreut	<input type="checkbox"/>				
11. ... war mein Kind gern mit anderen Kindern zusammen	<input type="checkbox"/>				
12. ... habe ich mit meinem Kind geschimpft	<input type="checkbox"/>				
13. ... habe ich mein Kind gelobt	<input type="checkbox"/>				
14. ... hatte mein Kind Schwierigkeiten mit Lehrern, Kindergärtnerinnen oder anderen Betreuungspersonen	<input type="checkbox"/>				
15. ... war mein Kind nervös und zappelig	<input type="checkbox"/>				
16. ... war mein Kind frisch und munter	<input type="checkbox"/>				
17. ... hat mein Kind wegen Schmerzen gejammert	<input type="checkbox"/>				
18. ... war mein Kind kontaktfreudig	<input type="checkbox"/>				
19. ... klappte alles, was mein Kind anfang	<input type="checkbox"/>				
20. ... war mein Kind schnell unzufrieden	<input type="checkbox"/>				
21. ... hat mein Kind heftig geweint	<input type="checkbox"/>				
22. ... wurde mein Kind leicht wütend	<input type="checkbox"/>				

**Vielen Dank für Ihre Mitarbeit!**

<i>In der letzten Woche ...</i>	nie	selten	manchmal	oft	immer
1. ... hatte mein Kind Angst, die Erkrankung könnte schlimmer werden	<input type="checkbox"/>				
2. ... war mein Kind wegen der Erkrankung traurig	<input type="checkbox"/>				
3. ... kam mein Kind mit der Erkrankung gut zurecht	<input type="checkbox"/>				
4. ... habe ich mein Kind wegen der Erkrankung so behandelt, als ob es jünger wäre	<input type="checkbox"/>				
5. ... wollte mein Kind, dass keiner etwas von der Erkrankung merkt	<input type="checkbox"/>				
6. ... hat mein Kind wegen der Erkrankung in der Vorschule/ im Kindergarten etwas verpasst	<input type="checkbox"/>				

**Vielen Dank für Ihre Mitarbeit**

# Fragebogen zur Lebensqualität von Kindern & Jugendlichen

Kid- und Kiddo-KINDL<sup>R</sup>  
Elternversion



Sehr geehrte Mutter, sehr geehrter Vater,  
vielen Dank, dass Sie sich bereit erklärt haben, diesen Bogen zum Wohlbefinden und zur gesundheitsbezogenen Lebensqualität Ihres Kindes auszufüllen.

Bitte beachten Sie beim Beantworten der Fragen folgende Hinweise.

- ⇒ Lesen Sie bitte jede Frage genau durch,
- ⇒ überlegen Sie, wie Ihr Kind sich in der letzten Woche gefühlt hat,
- ⇒ kreuzen Sie **in jeder Zeile** die Antwort an, die für Ihr Kind am besten zutrifft.

Ein Beispiel: 					
In der letzten Woche ...	nie	selten	manch- mal	oft	immer
... hat mein Kind gut geschlafen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Mein Kind ist ein:  Mädchen  Junge

Alter des Kindes: \_\_\_\_ Jahre

Sie sind:  Mutter  Vater  Sonstiges: \_\_\_\_\_

Ausfülldatum: \_\_ / \_\_ / \_\_ (Tag / Monat / Jahr)

### 1. Körperliches Wohlbefinden

<i>In der letzten Woche ...</i>	nie	selten	manchmal	oft	immer
1. ... hat mein Kind sich krank gefühlt	<input type="checkbox"/>				
2. ... hatte mein Kind Kopfschmerzen oder Bauchschmerzen	<input type="checkbox"/>				
3. ... war mein Kind müde und schlapp	<input type="checkbox"/>				
4. ... hatte mein Kind viel Kraft und Ausdauer	<input type="checkbox"/>				

### 2. Seelisches Wohlbefinden

<i>In der letzten Woche ...</i>	nie	selten	manchmal	oft	immer
1. ... hat mein Kind viel gelacht und Spaß gehabt	<input type="checkbox"/>				
2. ... hatte mein Kind zu nichts Lust	<input type="checkbox"/>				
3. ... hat mein Kind sich allein gefühlt	<input type="checkbox"/>				
4. ... hat mein Kind sich ängstlich oder unsicher gefühlt	<input type="checkbox"/>				

### 3. Selbstwert

<i>In der letzten Woche ...</i>	nie	selten	manchmal	oft	immer
1. ... war mein Kind stolz auf sich	<input type="checkbox"/>				
2. ... fühlte mein Kind sich wohl in seiner Haut	<input type="checkbox"/>				
3. ... mochte mein Kind sich selbst leiden	<input type="checkbox"/>				
4. ... hatte mein Kind viele gute Ideen	<input type="checkbox"/>				

### 4. Familie

<i>In der letzten Woche ...</i>	nie	selten	manchmal	oft	immer
1. ... hat mein Kind sich gut mit uns als Eltern verstanden	<input type="checkbox"/>				
2. ... hat mein Kind sich zu Hause wohl gefühlt	<input type="checkbox"/>				
3. ... hatten wir schlimmen Streit zu Hause	<input type="checkbox"/>				
4. ... fühlte mein Kind sich durch mich bevormundet	<input type="checkbox"/>				

### 5. Freunde

<i>In der letzten Woche ...</i>	nie	selten	manchmal	oft	immer
1. ... hat mein Kind etwas mit Freunden zusammen gemacht	<input type="checkbox"/>				
2. ... ist mein Kind bei anderen „gut angekommen“	<input type="checkbox"/>				
3. ... hat mein Kind sich gut mit seinen Freunden verstanden	<input type="checkbox"/>				
4. ... hatte mein Kind das Gefühl, dass es anders ist als die anderen	<input type="checkbox"/>				

### 6. Schule/Ausbildung

<i>In der letzten Woche, in der mein Kind in der Schule/Ausbildung war, ...</i>	nie	selten	manchmal	oft	immer
1. ... hat mein Kind die Aufgaben in der Schule/Ausbildung gut geschafft	<input type="checkbox"/>				
2. ... hat meinem Kind der Unterricht Spaß gemacht	<input type="checkbox"/>				
3. ... hat mein Kind sich Sorgen um seine Zukunft gemacht	<input type="checkbox"/>				
4. ... hatte mein Kind Angst vor schlechten Noten	<input type="checkbox"/>				

**Vielen Dank für Ihre Mitarbeit!**

<i>In der letzten Woche ...</i>	nie	selten	manchmal	oft	immer
1. ... hatte mein Kind Angst, die Erkrankung könnte schlimmer werden	<input type="checkbox"/>				
2. ... war mein Kind wegen der Erkrankung traurig	<input type="checkbox"/>				
3. ... kam mein Kind mit der Erkrankung gut zurecht	<input type="checkbox"/>				
4. ... habe ich mein Kind wegen der Erkrankung so behandelt, als ob es ein kleines Kind wäre	<input type="checkbox"/>				
5. ... wollte mein Kind, dass keiner etwas von der Erkrankung merkt	<input type="checkbox"/>				
6. ... hat mein Kind wegen der Erkrankung in der Schule etwas verpasst	<input type="checkbox"/>				

**Vielen Dank für Ihre Mitarbeit!**

## Danksagung

Ich danke Herrn Prof. Dr. med. Joachim Windolf, Direktor der Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie des Universitätsklinikums Düsseldorf, für die Möglichkeit der klinischen Forschung sowie der Nutzung der ambulanten Untersuchungsräume. Dieses schuf optimale Bedingungen für den Austausch mit den Studienteilnehmerinnen und -teilnehmern sowie deren Erziehungsberechtigten.

Ebenfalls möchte ich meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. med. Simon Thelen einen großen Dank aussprechen. Von der Planung der Studie, über die Betreuung während der Nachuntersuchungen bis hin zur Finalisierung der Arbeit konnte ich mich immer auf seine Unterstützung verlassen. Auch bei Schwierigkeiten stand er hinter mir.

Besonders möchte ich mich bei Frau PD Dr. med. Carina Jaekel bedanken. Eine bessere Betreuung während der ganzen Zeit hätte ich mir nicht vorstellen können. Jederzeit konnte ich sie kontaktieren und ihre Anregungen waren immer sehr wertvoll. Neben enorm beeindruckender fachlicher Expertise schätzte ich vor allem ihren liebenswerten und einzigartigen Charakter.

Ich möchte mich bei Herrn Prof. Dr. med. Michael Schädel-Höpfner, Chefarzt der Orthopädie und Unfallchirurgie des Rheinland Klinikums Neuss, Lukaskrankenhaus, bedanken, der einer Kooperation direkt zustimmte und so zu einer repräsentativeren Stichprobe beitrug.

Abschließend möchte ich mich ganz besonders bei meiner Familie bedanken. Mein Bruder konnte mir bei dem ein oder anderen Technikproblem immer eine Lösung liefern. Meine Eltern unterstützten mich schon bei der initialen Suche eines Promotionsthemas und fieberten bis zur Fertigstellung der Arbeit mit. Sie hielten mir zu jeder Zeit den Rücken frei. Auf ihren ehrlichen Rat konnte ich mich immer verlassen.

Vielen Dank, dass ihr den Menschen aus mir gemacht habt, der ich heute bin.