

AUS DER KLINIK FÜR UNFALL- UND HANDCHIRURGIE DES UNIVERSITÄTSKLINIKUMS MÜNSTER

ÄRZTLICHER DIREKTOR UND LEITENDER ARZT DER UNFALL- UND HANDCHIRURGIE

UNIV.- PROF. DR. MED. ERWIN BRUG

**Die supracondyläre Humerusfraktur im Kindesalter:**

**Ergebnisse der Jahre 1981 bis 2000**

INAUGURAL DISSERTATION ZUR ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE DER MEDIZINISCHEN  
FAKULTÄT DER WESTFÄLISCHEN WILHELMS- UNIVERSITÄT MÜNSTER

VORGELEGT VON

VERENA MARIE KARBOWSKI AUS MÜNSTER 2003

GEDRUCKT MIT DER GENEHMIGUNG DER MEDIZINISCHEN FAKULTÄT DER  
WESTFÄLISCHEN WILHELMS- UNIVERSITÄT

DEKAN : UNIV.- PROF. DR. MED. HERIBERT JÜRGENS

1. BERICHTERSTATTER: PRIV. DOZ. DR. MED. R. MEFFERT
2. BERICHTERSTATTER: UNIV.- PROF. DR. MED. M. RASCHKE

TAG DER MÜNDLICHEN PRÜFUNG:

22.12.2003

AUS DER KLINIK FÜR UNFALL- UND HANDCHIRURGIE DES UNIVERSITÄTSKLINIKUM  
MÜNSTER

ÄRZTLICHER DIREKTOR UND LEITENDER ARZT DER UNFALL- UND HANDCHIRURGIE

UNIV.- PROF. DR. MED. ERWIN BRUG

*REFERENT: PRIV. DOZ. DR. MED. R. MEFFERT*

*KORREFERENT: UNIV.- PROF. DR. MED. M. RASCHKE*

ZUSAMMENFASSUNG:

*VERENA MARIE KARBOWSKI*

## **Die supracondyläre Humerusfraktur im Wachstumsalter:**

### **Ergebnisse der Jahre 1981 bis 2000**

In der vorliegenden Arbeit wird die supracondyläre Humerusfraktur im Kindesalter behandelt, die eine typische Fraktur des schulpflichtigen Kindes ist. Zunächst erfolgt eine ausführliche Darstellung ihrer speziellen Problematik. Eingegangen wird auf die teilweise folgenschweren Komplikationen und die unterschiedlichen Behandlungsmethoden.

Es schließt sich eine Auswertung der 93 Kinder an, die aufgrund einer supracondylären Humerusfraktur an der Klinik für Unfall- und Handchirurgie der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster im Zeitraum 1981 bis 2000 primär behandelt wurden. Davon waren 40,9% weiblich und 59,1% männlichen Geschlechtes. Das durchschnittliche Alter betrug 7,7 Jahre  $\pm 3,5$  (0,5-16). Der linke Arm war mit 55% häufiger als der rechte Arm mit 45% betroffen. Frakturen des Flexionsstypes traten in 5,4% der Fälle und Frakturen des Extensionstypes in 94,6% der Fälle auf. Das Verhältnis der Gartlandklassifikation, I,II und III war 5,4%: 31,2%: 63,4%. Primäre Gefäß- und Nervenläsionen traten jeweils in 12% und in 14% der Fälle bei dislozierten Frakturen auf. Abhängig vom Dislokationsgrad und der Begleiterkrankungen wurden die Frakturen zu 6% konservativ durch ein Oberarmgipsschiene und zu 94% durch Kirschnerdrahtspickung behandelt, davon 15% durch geschlossene und 85% durch offene Reposition. Sekundäre Nervenschäden traten in 5% der Fälle ein.

Die Nachuntersuchung, die durchschnittlich 9,6 Jahre  $\pm 6,3$  (0,7-20) nach dem OP-Datum und an 82% der Patienten vorgenommen werden konnte, umfasst vergleichende Messungen der Bewegungsfunktion der Ellenbogengelenke und der Armachsenwinkelwinkel. Die Ergebnisse konnten nach Flynn in 96% der Fälle als gut bis sehr gut und in 4% der Fälle als schlecht beurteilt werden. Hinsichtlich des Repositionsverfahrens bei der Kirschnerdrahtspickung waren die Ergebnisse nicht signifikant ( $p=0,65$ ).

Gesondert wird auf die gleichzeitige, ipsilaterale Verletzung der supracondylären Humerusfraktur und Unterarmfraktur eingegangen, die ein seltenes Verletzungsmuster im Kindesalter ist und in der vorliegenden Arbeit in 5,4% der Fälle auftrat. Dabei fällt auf, dass die Bewertung nach Flynn für die Kombinationsverletzung von supracondylärer Humerusfraktur und Radiusfraktur tendenziell schlechter ausfällt als für die isolierte supracondyläre Humerusfraktur.

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>DIE SUPRACONDYLÄRE HUMERUSFRAKTUR.....</b>	<b>2</b>
2.1	DEFINITION UND DIFFERENTIALDIAGNOSEN.....	2
2.2	ANATOMIE .....	3
2.2.1	<i>Artikulierende knöchernen Strukturen .....</i>	<i>3</i>
2.2.2	<i>Kapselbandapparat .....</i>	<i>4</i>
2.2.3	<i>Muskulatur.....</i>	<i>5</i>
2.2.4	<i>Gefäße .....</i>	<i>5</i>
2.2.5	<i>Nerven .....</i>	<i>6</i>
2.3	OSSIFIKATION .....	7
2.4	WICHTIGE PHYSIOLOGISCHE WINKEL .....	8
2.4.1	<i>Tragewinkel (engl. „carrying angle“) .....</i>	<i>8</i>
2.4.2	<i>Neigungswinkel des Capitulum humeri .....</i>	<i>10</i>
2.5	FRAKTURKLASSIFIKATIONEN .....	11
2.5.1	<i>Nach dem Unfallhergang .....</i>	<i>11</i>
2.5.2	<i>Nach dem Grad der Dislokation.....</i>	<i>13</i>
2.6	RADIOLOGISCHE HINWEISE .....	14
2.6.1	<i>Baumann-Winkel .....</i>	<i>15</i>
2.6.2	<i>Die Rogers-Linie .....</i>	<i>19</i>

2.6.3	<i>Periartikulären Fettkörper (engl. „fat pad sign“)</i>	19
2.6.4	<i>Rotationssporn</i>	21
2.7	<b>KOMPLIKATIONEN</b>	23
2.7.1	<i>Frühkomplikationen</i>	23
2.7.2	<i>Spätkomplikationen</i>	28
2.8	<b>VERSORGUNGSKONZEPT DER KLINIK FÜR UNFALL- UND HANDCHIRURGIE DER WESTFÄLISCHEN WILHELMS- UNIVERSITÄT MÜNSTER</b>	30
2.8.1	<i>Klinische Erstbeurteilung</i>	31
2.8.2	<i>Reposition</i>	31
2.8.3	<i>Konservative Therapie</i>	32
2.8.4	<i>Operative Therapie</i>	32
2.8.5	<i>Nachbehandlung</i>	35
2.8.6	<i>Metallentfernung</i>	35
<b>3</b>	<b>IPSILATERALE UNTERARMVERLETZUNG („FLOATING ELBOW“)</b>	<b>38</b>
<b>4</b>	<b>PATIENTEN UND METHODEN</b>	<b>39</b>
4.1	<b>PRINZIPIELLE VORGEHENSWEISE</b>	39
4.2	<b>PATIENTEN</b>	39
4.3	<b>PROTOKOLL</b>	39
4.4	<b>RADIOLOGISCHE METHODIK</b>	40
4.5	<b>BEURTEILUNGSSCHEMA</b>	40
4.6	<b>STATISTISCHE ANALYSE</b>	40

<b>5</b>	<b>ERGEBNISSE.....</b>	<b>42</b>
5.1	BESCHREIBUNG DER GESAMTEN PATIENTEN UND DARSTELLUNG DER FRÜHKOMPLIKATIONEN.....	42
5.1.1	<i>Epidemiologie.....</i>	42
5.1.2	<i>Frakturdaten.....</i>	44
5.1.3	<i>Therapie.....</i>	46
5.1.4	<i>Komplikationen .....</i>	47
5.2	DARSTELLUNG DER SPÄTERGEBNISSE.....	55
5.2.1	<i>Bewegungseinschränkungen.....</i>	55
5.2.2	<i>Ellenbogenachse.....</i>	63
5.2.3	<i>Bewertung der Ergebnisse nach Flynn.....</i>	70
5.2.4	<i>Armlängendifferenz .....</i>	72
5.2.5	<i>Muskelatrophie .....</i>	73
5.2.6	<i>Subjektive Beschwerden .....</i>	73
5.3	RADIOLOGISCHE ERGEBNISSE .....	74
5.3.1	<i>Stellung des Capitulum humeri .....</i>	74
5.3.2	<i>Rotationssporn.....</i>	75
5.3.3	<i>Baumann Winkel.....</i>	75
5.4	IPSILATERALE UNTERARMVERLETZUNG .....	77
5.4.1	<i>Fallbeispiel: supracondyläre Humerusfraktur mit gleichzeitiger ipsilateralere Verletzung des Unterarmes .....</i>	78

<b>6</b>	<b>DISKUSSION</b>	<b>82</b>
6.1	FRAKTURDATEN	82
6.1.1	<i>Seitenlokalisierung</i>	82
6.1.2	<i>Klassifikationen</i>	83
6.2	THERAPIE	84
6.2.1	<i>Konservative Therapie</i>	84
6.2.2	<i>Operative Therapie</i>	85
6.2.3	<i>Revision</i>	89
6.2.4	<i>Metallentfernung</i>	89
6.3	KOMPLIKATIONEN	90
6.3.1	<i>Nervenläsionen</i>	90
6.3.2	<i>Gefäßläsionen</i>	94
6.3.3	<i>Offene Fraktur</i>	96
6.3.4	<i>Infekt</i>	96
6.4	NACHUNTERSUCHUNG	96
6.4.1	<i>Funktionelles Ergebnis</i>	96
6.4.2	<i>Kosmetisches Ergebnis</i>	97
6.4.3	<i>Ergebnisse nach Flynn (1974)</i>	98
6.5	RADIOLOGISCHE ERGEBNISSE	100
6.6	IPSILATERALE UNTERARMFRAKTUR	101

6.7	SCHLUSSFOLGERUNGEN .....	102
<b>7</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>104</b>
<b>8</b>	<b>DANKSAGUNG .....</b>	<b>105</b>
<b>9</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS.....</b>	<b>106</b>
<b>10</b>	<b>LEBENS LAUF.....</b>	<b>119</b>
<b>11</b>	<b>ANHANG .....</b>	<b>120</b>
11.1	PROTOKOLL .....	120

## 1 Einleitung

Die vorliegende Arbeit behandelt die supracondylären Humerusfraktur im Kindesalter, die die häufigste Frakturform der oberen Extremität im Kindesalter ist (Blount, 1957; Cheng und Shen, 1993, Rang, 1974; Wilkins, 1984). Dieser Frakturtyp stellt ein erhebliche therapeutische Herausforderung dar, weil das Schicksal der noch jungen Patienten durch Frühkomplikationen wie Gefäß- und Nervenschäden und Spätkomplikationen wie der häufige Cubitus varus oder die ischämische Unterarmkontarktur nach Volkmann Kontraktur schwer beeinträchtigt werden kann. Nach der sofortigen Bestandsaufnahme der Verletzungsschwere folgt die vollständige Reposition der Bruchfragmente, die in Narkose und unter Bildwandlerkontrolle zumeist gelingt. Das Fixieren des Repositionsergebnisses stellt das eigentliche Problem dar. Dies ist auch der Grund für die Vielzahl der Therapievorschläge und Publikationen. Nachdem anfangs Gips-, Coller and Cuff und Extensionsbehandlung dominierten, brachte *Böhler 1961* mit der Bohrdrahtosteosynthese das operative Verfahren verstärkt zur Diskussion, da diese Methode die Hospitalisationszeit gegenüber der Extensionsbehandlung verkürzt.

Heutzutage werden je nach Dislokationsgrad der Fraktur sowohl konservative als auch operative Methoden angewandt, wobei bei der operativen Methode die Kirschnerdrahtosteosynthese favorisiert wird.

Kontrovers wird jedoch die Platzierung der Kirschnerdrähte diskutiert, da bei der gekreuzten Kirschnerdrahtspickung der N. ulnaris durch seine anatomische Lage gefährdet ist. Alternative Möglichkeiten der Fixierung der supracondylären Humerusfraktur stellen auch der radiale Fixateur externe (Von Laer, 1997) und die intramedulläre Osteosynthese (Prevot et al., 1990) dar.

Frakturformen, Frakturmechanismen, die Wahl der Methoden und ihre Resultate werden in der vorliegende Arbeit analysiert und anhand der weiterführenden Literatur verglichen. In den Jahren 1981 bis 2001 wurden 94 Kinder und Jugendliche (bis 16 Jahre) an der Klinik für Unfall- und Handchirurgie Münster primär operiert. 76 Kinder und Jugendliche konnten im Zeitraum 01.10.01 bis zum 10.01.02 nachuntersucht werden.

## **2 Die supracondyläre Humerusfraktur**

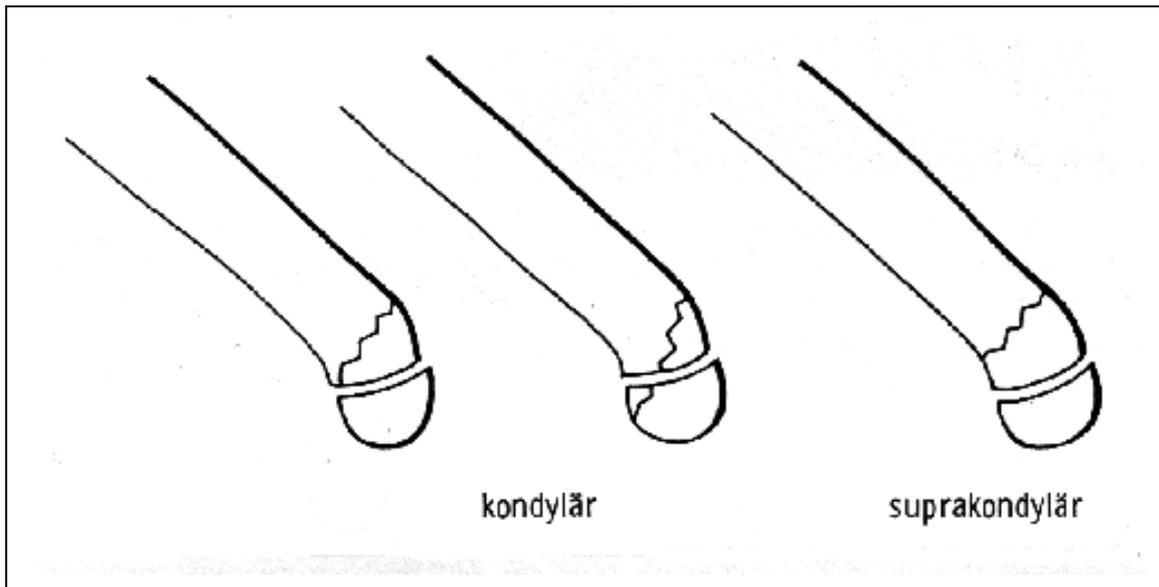
### **2.1 DEFINITION UND DIFFERENTIALDIAGNOSEN**

Die supracondyläre Humerusfraktur im Kindesalter beschreibt eine extraartikulär gelegene Fraktur des distalen Humerus, die meistens metaphysär gelegen ist. Die Frakturlinie verläuft oberhalb der Epiphysenfuge, proximal einer Verbindungslinie der beiden Humeruskondylen (Baumann, 1965; Blount, 1957; Canale, 1991; Link et al., 1986). Diese Region, auf Höhe der Fossa olecrani et cubiti, stellt die Stelle des geringsten Widerstandes, den Locus minoris resistentiae dar. Die Corticalis ist nur ein bis zwei mm dick, der ventrodorsale Schaftdurchmesser beträgt fünf mm.

Wichtige Differentialdiagnose ist die transcondyläre, auch percondylär genannte Humerusfraktur und die Ellenbogenluxation.

Die transcondyläre Humerusfraktur liegt im Gegensatz zur supracondylären Humerusfraktur intraartikulär und kann anhand des Frakturspaltes abgegrenzt werden. Abbildung 2-1 zeigt die Differenzierung zwischen supra- und transcondylärer Fraktur. Auf der lateralen Projektion verläuft der Frakturspalt bei der supracondylären Fraktur von hinten oben nach vorn unten und endet ventral oberhalb der Fuge, bei der transcondylären Fraktur endet sie im Fugenspalt. Vor allem die sehr distal gelegene supracondyläre Humerusfraktur (Epiphysiolyse), die mit 5% sehr selten auftritt, kann mit der transcondylären Fraktur verwechselt werden.

Ellenbogenluxationen oder Ellenbogenluxationsfrakturentreten werden typischerweise nach dem 10. Lebensjahr beobachtet (Bennek, 2002; Hasler, 2001; Von Laer, 2001). Dabei ist die anatomische Beziehung zwischen den Epikondylen und dem Olekranon nicht mehr erhalten (Hasler, 2001).



**Abbildung 2-1: Differenzierung zwischen trans- und supracondylärer Humerusfraktur (nach von Laer, 1997)**

## 2.2 ANATOMIE

### 2.2.1 Artikulierende knöchernen Strukturen

Das Ellenbogengelenk (Articulatio cubiti, Trochoginglymus) besteht aus drei Teilgelenken, deren Funktion seine Beweglichkeit erklärt (Abb.2-2):

- Die Trochlea humeri mit der Incisura trochlearis der Ulna (Humeroulnargelenk) hat eine gute knöchernen Führung und stellt funktionell ein Scharniergelenk dar.
- Das Capitulum humeri mit der Fovea articularis des Radiusköpfchens (Humeroradialgelenk) ist der Form nach ein Kugelgelenk, das durch die benachbarte Ulna und das Ligamentum anulare radii funktionell eingeschränkt wird, und das daher zwei Freiheitsgrade mit Scharnier- und Drehfunktion aufweist.
- Die Circumferentia articularis des Radiusköpfchens mit der Incisura radialis der Ulna (proximales Radioulnargelenk) ermöglicht die Umwendbewegungen des Unterarmes.

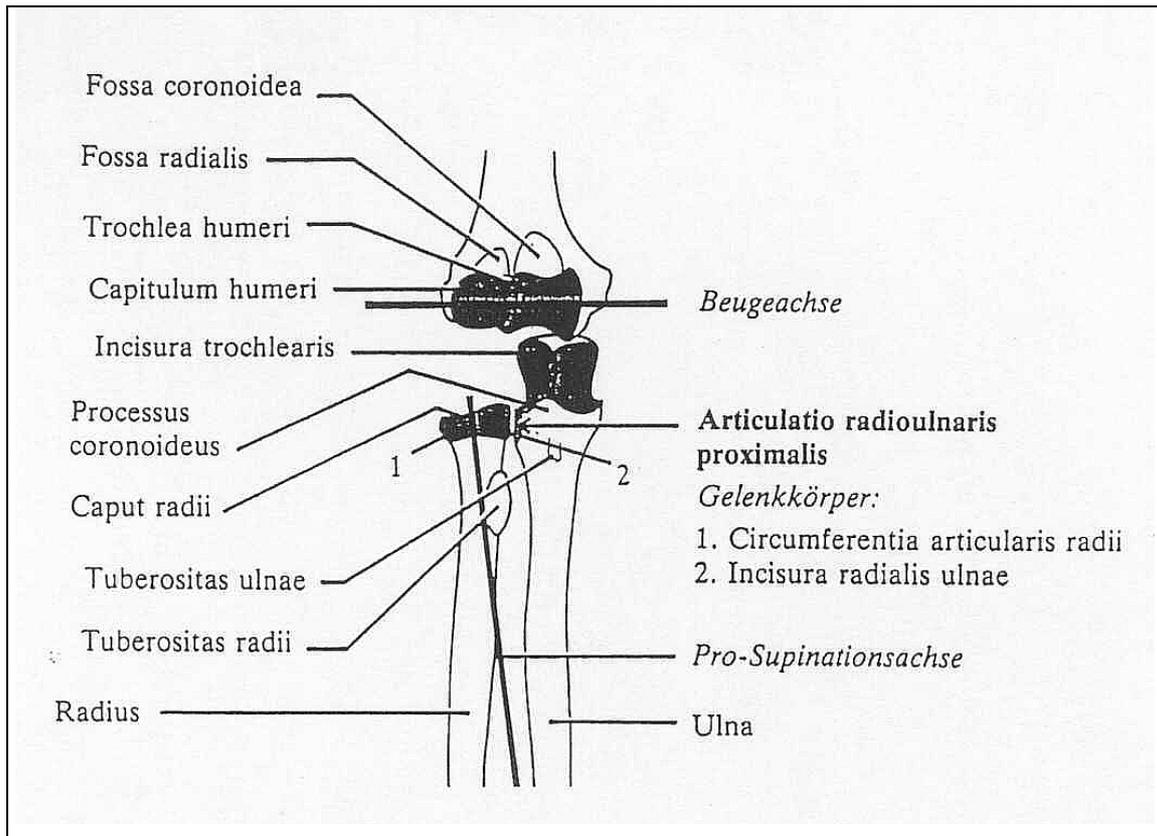
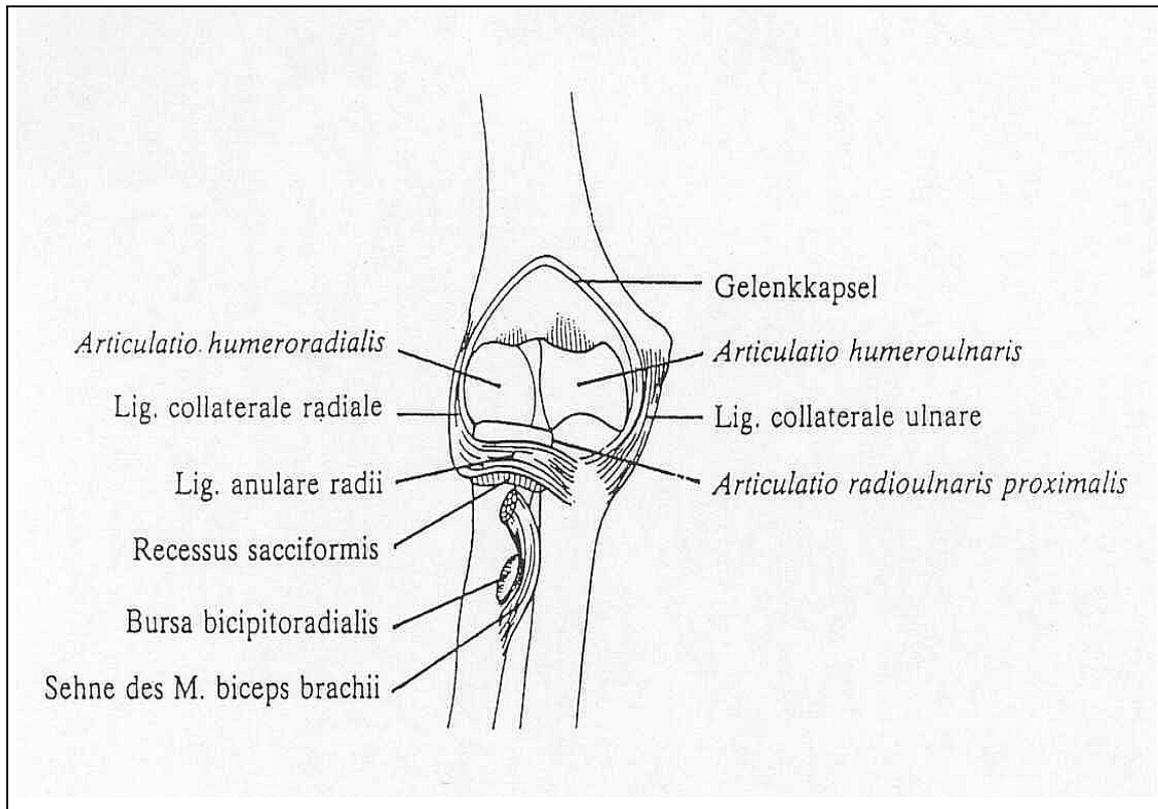


Abbildung 2-2: Ellenbogengelenk (nach Rohen, 1994)

### 2.2.2 Kapselbandapparat

Die Gelenkkapsel (*Capsula articularis*) des Ellenbogengelenkes umgibt proximal beide Kondylen des Humerus sowie die articulierenden Teile des Ellenbogengelenkes. Die Epikondylen sind nicht in die Kapsel integriert. Beim Kind ist die Kapsel straff und die überwiegend knorpeligen Elemente des distalen Humerus elastisch. Dadurch kommen Bandverletzungen und intrakapsuläre Frakturen seltener vor als extrakapsuläre suprakondyläre Humerusfrakturen (Magerl und Zimmermann, 1978). Im Bereich der Fossae des distalen Humerus (*Fossa olecrani, coronoidea et radii*) liegen der Gelenkkapsel Fettkissen (engl. „fat pads“) auf, die im Rahmen der Nativdiagnostik des Ellenbogengelenkes Aufschluss über das Vorliegen eines Hämarthros geben können (Abschnitt 2.6.3).



**Abbildung 2-3: Bandapparat des Ellenbogengelenkes (nach Rohen, 1994). Gelenkkapsel von ventral geöffnet.**

### 2.2.3 Muskulatur

An der anterioren Fläche des distalen Humerus entspringen keine Muskeln. Die Extensoren des Unterarmes und der Hand entspringen am Epicondylus radialis, und die wichtigen Flexoren am Epicondylus ulnaris.

### 2.2.4 Gefäße

Die A. brachialis ist das Hauptgefäß für die Blutversorgung des Ellenbogengelenkes. Vom Gefäß-Nervenstrang des medialen Sulcus bicipitalis zieht sie nach distal in die Ellenbeuge. Hier liegt sie unter der Aponeurose des M. biceps brachii, auf dem M. brachialis und medial der Bizepssehne. In diesem Bereich erfolgt die Aufteilung in die A. radialis und ulnaris.

Kollateralarterien, welche aus proximalen Abgängen der A. brachialis und der A. profunda brachii entspringen, bilden ein arterielles Gefäßnetz (Rete ariculare cubiti). Von distal wird dieses von rückläufigen Arterien aus der A. brachialis und der A. ulnaris mitversorgt. Das

arterielle Gefäßgeflecht umgibt die Gelenkkapsel und ist in der Lage den Ellenbogen auch bei Unterbrechung der A. brachialis ausreichend zu versorgen (Kamal und Austin, 1980; Wilkins, 1984).

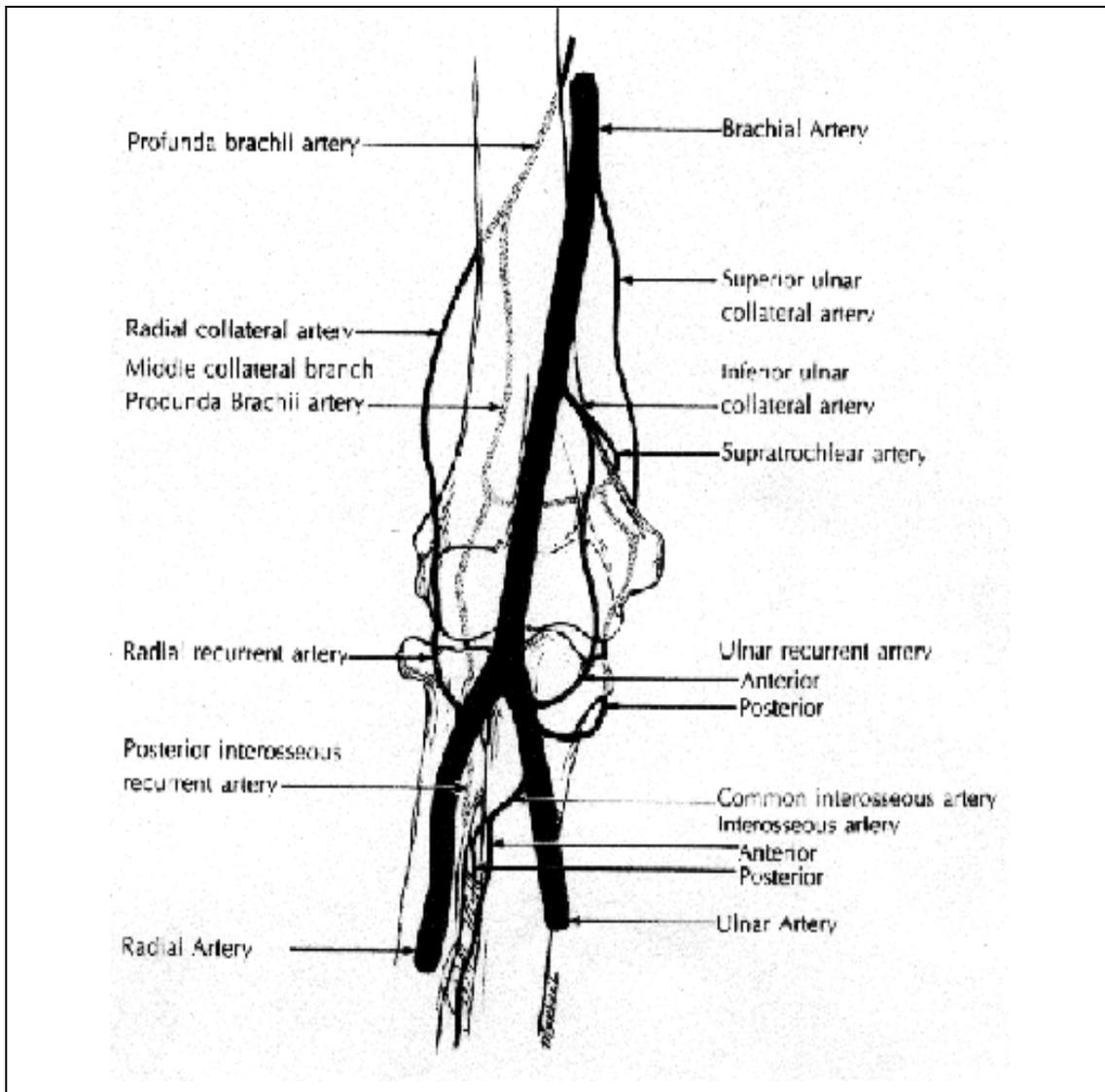


Abbildung 2-4: Gefäßversorgung des Ellebogengelenkes (nach Wilkins, 1984)

### 2.2.5 Nerven

Die motorische und sensible Versorgung der Ellenbogenregion erfolgt über die Äste des Plexus brachialis. Der N. medianus zieht, die A. brachialis überkreuzend, in die Ellenbeuge. Hier befindet er sich medial der Arterie auf dem M.brachialis und zieht zwischen den beiden Köpfen des M. pronator teres nach distal. Der N. ulnaris verläuft dorsal im Bereich des distalen

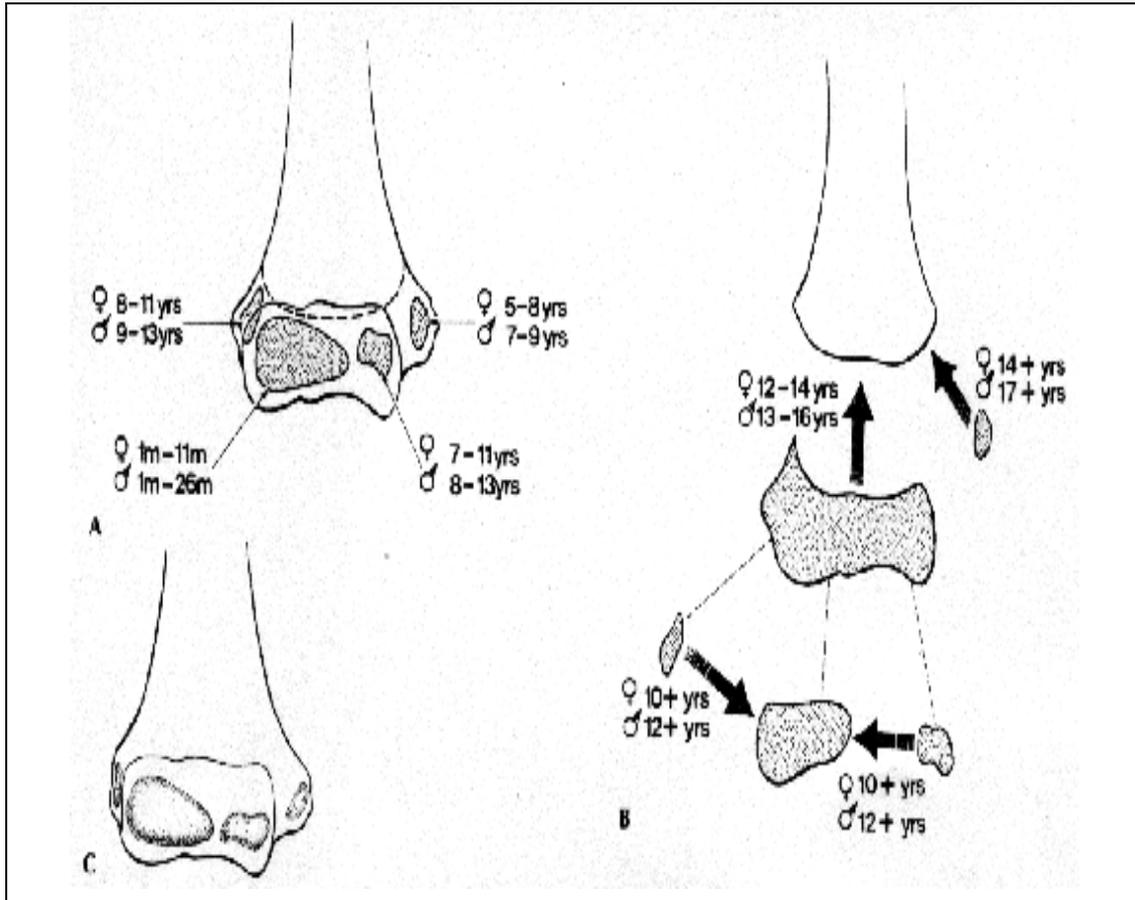
Humerus zwischen Epicondylus medialis und Olekranon im Sulcus nervi ulnaris. Sein weiterer Verlauf nach distal erfolgt zwischen den beiden Köpfen M. flexor carpi radialis zur Beugeseite des Unterarmes. Der N. radialis erreicht die Ellenbogenregion zwischen dem M. brachioradialis und M. brachialis. Hier liegt er lateralen Bereich der Ellenbeuge und teilt sich in R. profundus und R. superficialis. Der R. profundus tritt durch den M. supinator und verläuft um das Collum radii zu den Extensoren.

### 2.3 OSSIFIKATION

Zum Verständnis der supracondylären Humerusfraktur ist die Kenntnis der altersentsprechenden Entwicklung der Knochenkerne am Ellenbogen wichtig. Zwar ist die Reihenfolge der Ossifizierung definiert, aber sowohl der Zeitpunkt der Ossifikation wie auch die Verschmelzung dieser Knochenkerne ist abhängig vom Alter, Geschlecht und der individuellen Entwicklung des einzelnen Patienten (Green, 1998; Von Laer, 1997).

Am kindlichen Oberarm müssen 6 Knochenkerne unterschieden werden (Abb.2-5). Es handelt sich dabei um die 4 Knochenkerne des distalen Humerus, nämlich Capitulum und Trochlea humeri sowie radialer bzw. ulnarer Epicondylus und um die 2 Knochenkerne des proximalen Unterarms, die Epiphysen von Radius und Ulna. Der erste sichtbare Knochenkern ist das Capitulum humeri radialis. Es wird bereits im 1. und 2. Lebensjahr sichtbar. Die Schwankungsbreite der anderen Knochenkerne sind ähnlich groß. Sie liegen für das Radiusköpfchen zwischen dem 3. bis 8. und für den Epicondylus medialis zwischen 4. und 8. Lebensjahr. Gegenüber der Ossifikation des Capitulum humeri und des Radiusköpfchens aus einem Kern, ossifiziert die Trochlea humeri aus mehreren Kernen. Auch der Knochenkern des Olecranon ist mehrteilig angelegt (Taeger und Kolb, 2001; Weise et al., 1997).

Das Capitulum, die Trochlea humeri und der Epicondylus radialis verschmelzen miteinander im Alter von 10 bis 12 Jahren und bilden den Hauptkörper der Epiphyse des distalen Humerus. Die Epiphyse ossifiziert mit der Metaphyse zwischen dem 12. und 13 Lebensjahr, was das Ende des Längenwachstums bedeutet. Der mediale Epicondylus verschmilzt mit dem distalen Humerus zwischen dem 14. und 17. Lebensjahr (Green, 1998).



**Abbildung 2-5: Ossifikation (nach Haraldson, 1959). (A) Durchschnittliches Alter der Ossifikation der verschiedenen Knochenkerne (B) Durchschnittliches Alter bei der Verschmelzung der Knochenkerne miteinander (C) Architektur des distalen Humerus, Knochenkerne sind ossifiziert.**

Insgesamt partizipieren die Epiphysenkerne des distalen Humerus zu 20% am Längenwachstum des Oberarmknochens, die Epiphysenkerne von Ulna und Radius zu 1/5 am Längenwachstum des Unterarmknochens (Taeger und Kolb, 2001; Weise et al., 1997).

## 2.4 WICHTIGE PHYSIOLOGISCHE WINKEL

### 2.4.1 Tragewinkel (engl. „*carrying angle*“)

Der „Tragewinkel“ (engl. „*carrying angle*“), auch Cubitalwinkel oder Armachsenwinkel genannt, beschreibt den Winkel zwischen der Längsachse des Oberarmes und der Längsachse des Unterarmes in der Frontalebene. Der Tragewinkel ist abhängig vom Grad der Flexion. Er ist bei voller Extension am größten und nimmt mit der Flexion ab. Er wird gemessen bei vollständiger Streckung im Ellenbogengelenk und vollständiger Supinationsstellung des

Unterarmes und weist eine physiologische Valgusstellung auf (Abb.2-6). Der physiologische Cubitus valgus dient der Entlastung und bedeutet Schutz für das empfindliche und leistungsbeanspruchte Humerordialgelenk (Baumann, 1929 und 1965).

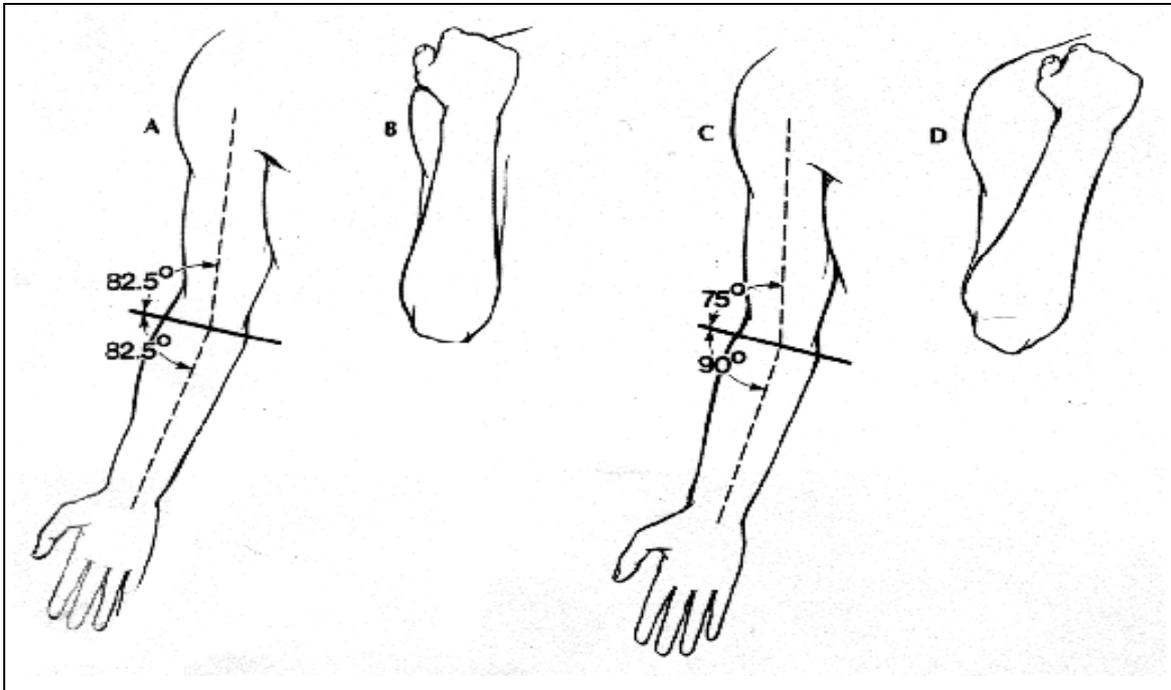


Abbildung 2-6: physiologische Cubitus valgus (nach Wilkens, 1984). (A) und (B) Achse des Ellenbogens teilt den Winkel, der zwischen Oberarm und Unterarm liegt. Bei Beugung des Ellenbogens legen sich die Achsen übereinander (C) und (D) Wenn die Achse des Ellenbogens abhängig von der Achse des Unterarmes wäre, würden die Achsen bei Beugung voneinander abweichen.

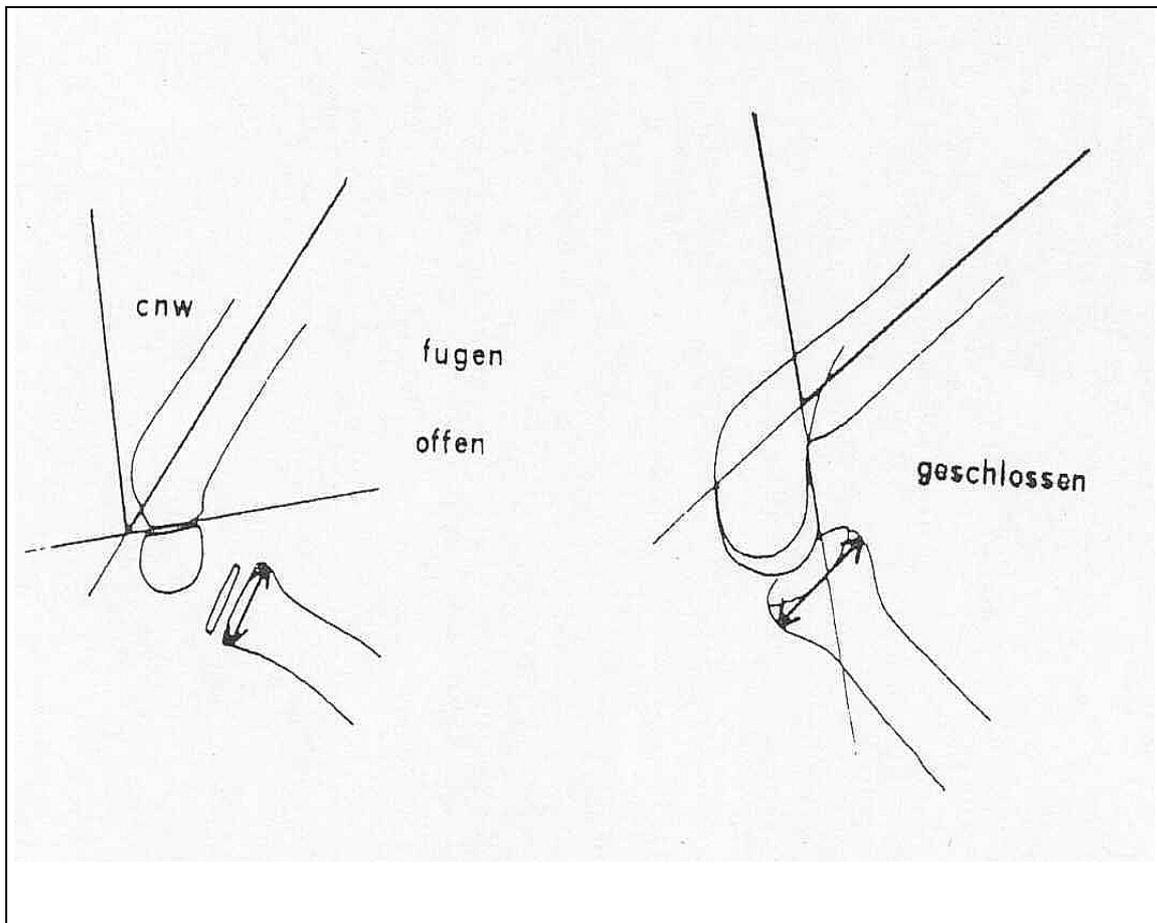
Unterschiedliche Meinungen werden über die wahre Größe des Cubitalwinkels und über die Einflussfaktoren, wie Geschlecht und Alter vertreten. 1976 überprüfte *Beals* die vorhandene Literatur und führte selbst Messungen des Cubitalwinkels durch. In der Literatur fand er unterschiedliche durchschnittliche Winkelgrößen abhängig vom Geschlecht. Bei Mädchen war der Cubitalwinkel durchschnittlich um  $0,7^\circ$  bis  $6,4^\circ$  größer als bei Jungen. Dagegen fand *Beals* in seiner eigenen Studie keinen signifikanten Unterschied zwischen den Geschlechtern. Er erklärt die früher gefundenen Ergebnisse durch die unterschiedlich angewandten Meßmethoden des Cubitalwinkels, die nicht die größer Hyperextensionfähigkeit der Mädchen berücksichtigt haben.

Nach *Beals* beträgt der durchschnittliche Cubitalwinkel im Alter bis zu vier Jahren  $15^\circ$

und bei älteren Kindern und Erwachsenen  $17,8^\circ$ , d.h., dass der Cubitalwinkel zwar nicht abhängig des Geschlechtes ist, wohl aber des Alters. Er wird mit zunehmenden Alter größer.

#### 2.4.2 Neigungswinkel des Capitulum humeri

Der Neigungswinkel des Capitulum humeri (cnw), der auch als Diaphysen-Epiphysenwinkel, Humerusepiphysenwinkel oder nach vorn offener Trochleawinkel bezeichnet wird, beschreibt die volare Neigung des Capitulum humeri zur Längsachse des Humerusschaftes in der Sagittalebene (Abb.2-7).



**Abbildung 2-7: Neigungswinkel des Capitulum humeri (cnw) bei offener Fuge (links) und bei geschlossener Fuge (rechts), (nach von Laer, 1979)**

Im Normalfall bildet er einen Winkel von  $30^\circ$  bis  $50^\circ$  (Arino et al., 1977; Katzman, 1965; Kutscha-Lissbrg et al., 1978; Schütz und Börner, 1985). Von Laer (1979) fand bei Patienten ohne Einschränkung der Beweglichkeit einen durchschnittlichen Winkel von  $40^\circ$ .

Kommt es nach erfolgter Reposition zu einer Ausheilung in Fehlstellung, so ergeben sich folgende für die Gelenkfunktion beeinträchtigenden Konsequenzen:

- Ist der Winkel verkleinert liegt eine Extensionsstellung des Gelenkes vor. Durch die Extensionsstellung wird die Hyperextension möglich und die Beugung eingeschränkt.
- Ist der Winkel größer als der Normalwinkel liegt eine Flexionsstellung vor, die aber selten vorkommt und worauf eine Streckhemmung zu erwarten ist.

Extensions- und Flexionsstellung können im weiteren Wachstum wieder spontan korrigiert werden, da sie sich in der Hauptbewegungsebene des Ellenbogengelenkes, der Sagittalebene befinden. Da die Fuge jedoch nur mit 20% am Längenwachstum beteiligt ist, nimmt der Korrekturvorgang relativ viel Zeit in Anspruch, so dass nur bei Kindern, die jünger als sieben Jahre sind, eine wesentliche Korrektur zu erwarten ist (Von Laer, 1979).

## 2.5 FRAKTURKLASSIFIKATIONEN

In diesem Kapitel wird ein Überblick über die wichtigen Klassifikationssysteme der supracondylären Humerusfraktur gegeben.

### 2.5.1 *Nach dem Unfallhergang*

Nach *Kocher, 1896* (zit. in Baumann, 1929) wird die supracondyläre Humerusfraktur entsprechend dem Unfallhergang in Extensions- und Flexionsfrakturen unterschieden.

Die *Extensionsfraktur* entsteht durch Sturz auf den ausgestreckten Arm bei gebeugtem Ellenbogen. Der Bruchspalt verläuft von dorsal kranial nach ventral kaudal. Durch Verschiebung des distalen Bruchstückes nach dorsal oben und einer Varuskipfung mit Innenrotation, tritt scheinbar eine Unterarmverkürzung auf. Die Extensionsfraktur tritt sehr viel häufiger als die Flexionsfraktur auf. Abhängig von der Literatur wird für die Extensionsfraktur eine Inzidenz zwischen 89 und 99% angegeben (Blount, 1977; Williamson, D.M., Cole, W.G., 1991; De Boek, H., 2001; Allburger et al., 1992 und Fowels und Kassab, 1974).

Die *Flexionsfraktur* wird durch rückwärtigen Fall auf den Ellenbogen hervorgerufen, der Bruchspalt verläuft in umgekehrter Richtung, von dorsal kranial nach dorso-kaudal. Durch Verschiebung des peripheren Fragmentes nach dorsal, tritt klinisch eine scheinbare

Unterarmverlängerung auf.



**Abbildung 2-8: A.-p. Projektion: Extensionsfraktur (Gartand III) mit posterolateraler Dislokation**



**Abbildung 2-9: Laterale Projektion: Extensionsfraktur (Gartland III)**

#### 2.5.2 Nach dem Grad der Dislokation

Die im deutschsprachigen Raum überwiegend verwendeten Klassifikationen sind die Einteilungen nach *Baumann (1929)*, *Lubinus (1924)*, *Felsenreich (1936)* und *von Laer (1997)*. In der anglo-amerikanischen Literatur überwiegen die Einteilungen nach *Gartland (1959)* und *Holmberg (1945)*. Allen Klassifikationen ist eigen, dass sie sich auf die Morphologie der Fraktur und das Ausmaß der Dislokation beziehen (Weinberg et al., 2002).

*Baumann* unterscheidet drei Dislokationsgrade oder Gruppen. Die erste Gruppe beinhaltet alle undislozierten Frakturen, die zweite Gruppe alle dislozierten Frakturen mit Knochenkontakt und die dritte Gruppe alle dislozierten Frakturen ohne Knochenkontakt. *Lubinus*, *Felsenreich* und *Gartland* schließen sich dieser Einteilung an, wobei *Gartland* im Unterschied zu den anderen der dritten Gruppe zwei Subtypen hinzufügt, in der er die Richtung der Dislokation angibt. Er unterscheidet Frakturen mit posterolateraler oder posteromedialer Dislokation.

*Holmberg* und *von Laer* berücksichtigen im Gegensatz zu *Baumann*, *Lubinus*, *Felsenreich* und *Gartland* den Drehfehler als Parameter für die Instabilität in ihrer Klassifikation. Aus diesem

Grunde unterscheiden beide vier Dislokationsgrade der supracondylären Humerusfraktur, wobei *Holmberg* und *von Laer* die ausschließliche Antkurvationsstellung in einer eigenen Gruppe erfassen (Tab.2-1).

**Tabelle 2-1: Gegenüberstellung der Klassifikationen nach Baumann (1929), Gartland (1959), Holmberg (1945) und von Laer (1997)**

Klassifikation	I°	II°	III°	IV°
Baumann (1929)	Fissuren, oder Infraktionen ohne Rotations- und Varusknickung mit leichter Extensions- oder Flexionsknickung	Frakturen mit Knochenkontakt	Frakturen ohne Knochenkontakt	-
Gartland (1959)	Undislozierte Frakturen	Dislozierte Frakturen mit intaktem posteriorem Kortex	Dislozierte Frakturen ohne kortikalen Kontakt	-
			A) mit posteromedialer Dislokation	
			B) mit posterolateraler Dislokation	
Holmberg (1945)	Undisloziert oder minimal dislozierte Grünholzfrakturen	Mediale oder laterale Dislokation auf der a.-p. Projektion, guter Kontakt auf der lateralen Projektion	Rotationsverschiebung	Komplette Dislokation
Von Laer (1997)	Undislozierte Fraktur	Dislozierte Fraktur in 1 Ebene	Dislozierte Fraktur in 2 Ebenen	Dislozierte Fraktur in 3 Ebenen

## 2.6 RADIOLOGISCHE HINWEISE

Die Standarddiagnostik der supracondylären Humerusfraktur besteht aus Röntgenaufnahmen des betroffenen Ellenbogens in lateraler und a.-p. Projektion. Bei schon klinisch sichtbar dislozierten Frakturen genügt es, eine Ebene zu röntgen. *Von Laer (1997)* lehnt das seitenvergleichene Röntgen zum Nachweis unter anderem wegen der ineffizienten und

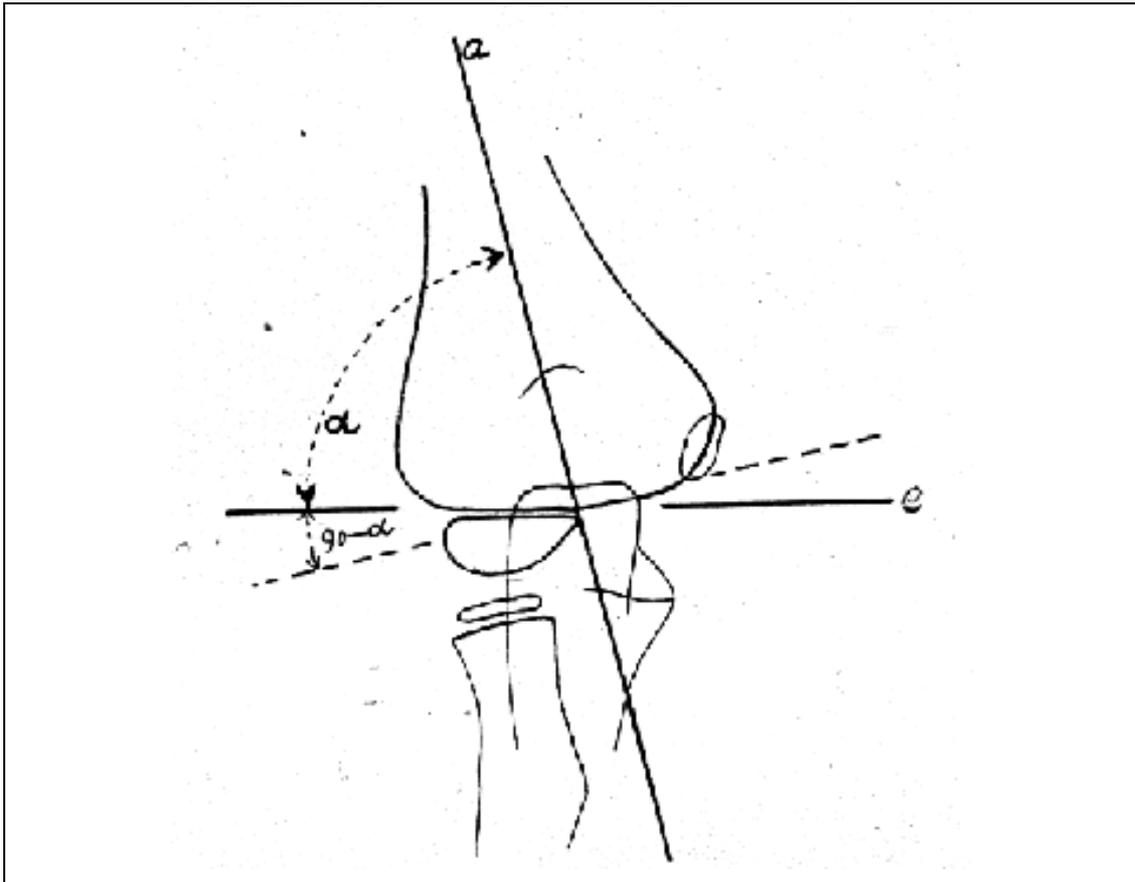
kostentreibenden Strahlenbelastung ab. Zusätzlich zur Röntgendiagnostik ist die sonographische Bestimmung der Achs- und Rotationsfehlstellungen am distalen Humerus möglich, was in Zukunft für die Verlaufskontrolle verwendet werden könnte (Ito et al., 1995).

Bei problematischen Frakturen, die sich nicht so einfach diagnostizieren lassen, kann die korrekte Beurteilung der Röntgenbilder mit Hilfe der folgenden Hilfslinien und Relationen des Knochens zueinander gestellt werden:

### *2.6.1 Baumann-Winkel*

Der Baumann Winkel (engl. „humero capitellar angle“) wird oft als ein Kriterium für die korrekte Reposition der supracondylären Humerusfraktur benutzt, weil von der Voraussetzung ausgegangen wird, dass eine konstante Korrelation zwischen den Baumann- und Armachsenwinkel besteht. Im Gegensatz zu der Bestimmung des Armachsenwinkel muß die Bestimmung des Baumann Winkel nicht in völliger Extension erfolgen, was von klinisch praktischer Bedeutung ist.

*Baumann (1929)* definiert den Baumann Winkel ( $\alpha$ ) als den Bereich, der zwischen der Humeruslängsachse und einer Geraden durch die Epiphyse des lateralen Kondylus liegt. Voraussetzung ist eine exakte a.-p.-Projektion. Den reziproken Winkel ( $90^\circ - \alpha - 5^\circ$ ) setzt Baumann mit dem Cubitalwinkel gleich (Abb.2-4). Als Referenzwerte gibt er einen Bereich zwischen  $75^\circ$  bis  $80^\circ$  an, den *Willamsen et al. (1992)* mit  $64^\circ$  bis  $81^\circ$  erweitern und der unabhängig von Geschlecht und Alter ist. Bei sehr kleinen Kindern, bei denen das Capitulum humeri sich noch nicht vollständig ausgebildet hat, und bei Erwachsenen, bei denen der Knochenkern bereits ossifiziert ist, ist die Bestimmung des Baumann Winkels schwierig (*Keenan und Clegg, 1996; Nacht et al., 1983*).



**Abbildung 2-10: Baumann Winkel:** „Der Winkel  $\alpha$  zwischen Humerusachse und einer Geraden  $e$ , welche durch das Begrenzungsstück am distalen lateralen Ende der Metaphyse geht. Die meist völlig gerade Strecke, auf die es ankommt, liegt dem gemeinsamen Kern der Eminentia capitata und des lateralen Trochleaanteils gegenüber.“ (nach Baumann, 1929)

Worlock (1986) wies nach, dass eine Änderung des Baumann Winkels um  $5^\circ$  mit einer Änderung des Armachsenwinkels um  $2^\circ$  verbunden ist, so dass der Baumann Winkel ein gutes Hilfsmittel für die exakte Reposition der dislozierten supracondylären Humerusfraktur ist, was auch in der Standardliteratur der Orthopädie zitiert wird (Canal, 1992).

Einige Autoren konnten aber die Korrelation zwischen dem Winkel  $\alpha$  und dem Armachsenwinkel nicht bestätigen, wobei Verwirrung stiftet, dass in der Literatur insgesamt drei Varianten des Baumann Winkels beschrieben werden (Acton, J.D., Mc Nally, M.A., 2001).

Als erster zeigte Dogde (1972), dass die Beziehung zum Cubitalwinkel komplexer ist, als Baumann es beschrieben hat. Arino et al. (1977), Aronson et al. (1987), Campbell et al. (1995) und Resch und Helweg (1987) stellten fest, dass im Falle einer Rotationsfehler der

Baumann Winkel nicht mehr valide ist. *Von Laer (1979)* fand nur in 50% der Fälle eine Übereinstimmung zwischen Baumann Winkel und Armachsenwinkel. Daraus folgt., dass die Bestimmung des Winkels  $\alpha$  als indirekte Messung des Armachsenwinkels eine zu große Fehlerbreite hat. Aus diesem Grunde benutzen *Magerl und Zimmermann (1978)* den Baumann Winkel nur im Vergleich der Gegenseite zur Kontrolle der Stellung des distalen Fragmentes, nicht aber zur Berechnung des Armachsenwinkels. Abweichungen, die größer als  $5^\circ$  zur Gegenseite sind, sollten nicht mehr toleriert werden.

Die neueste Arbeit von *Mohammed et al. (1999)* untersucht den Zusammenhang zwischen Baumann und Armachsenwinkel, indem sie die Dislokation des distalen Fragmentes durch Vektoren darstellt.

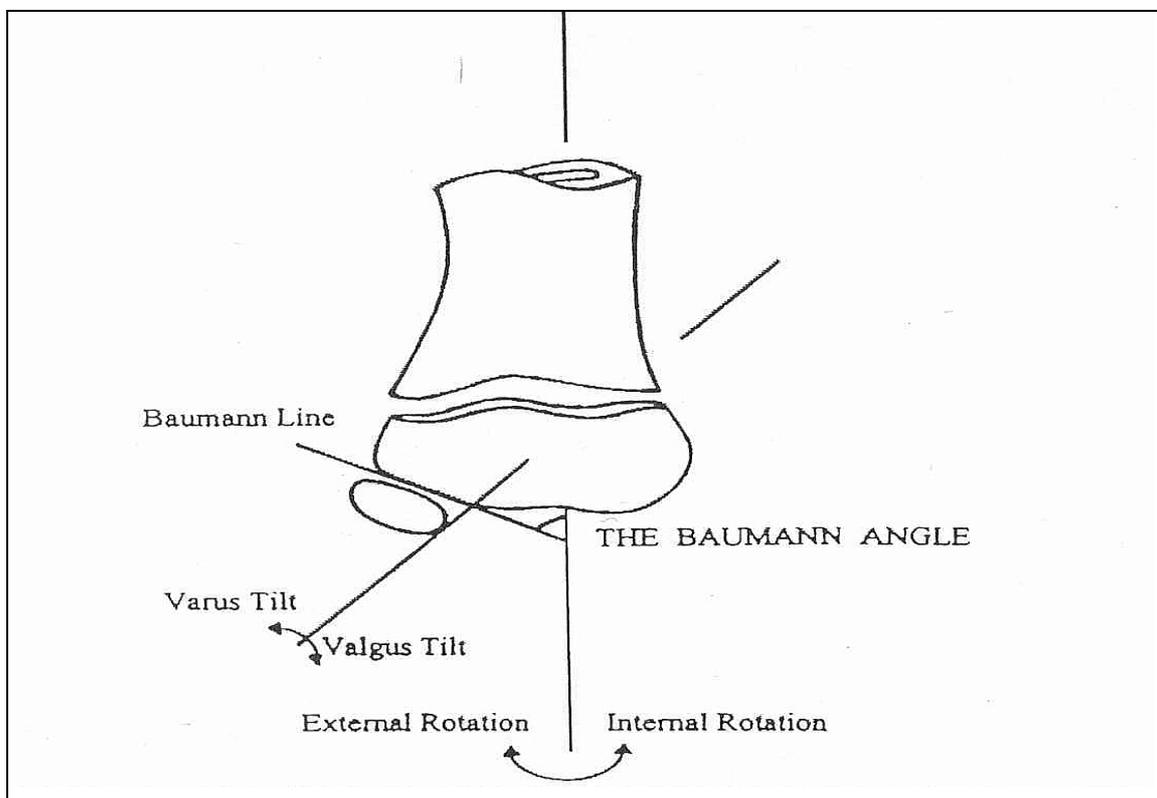
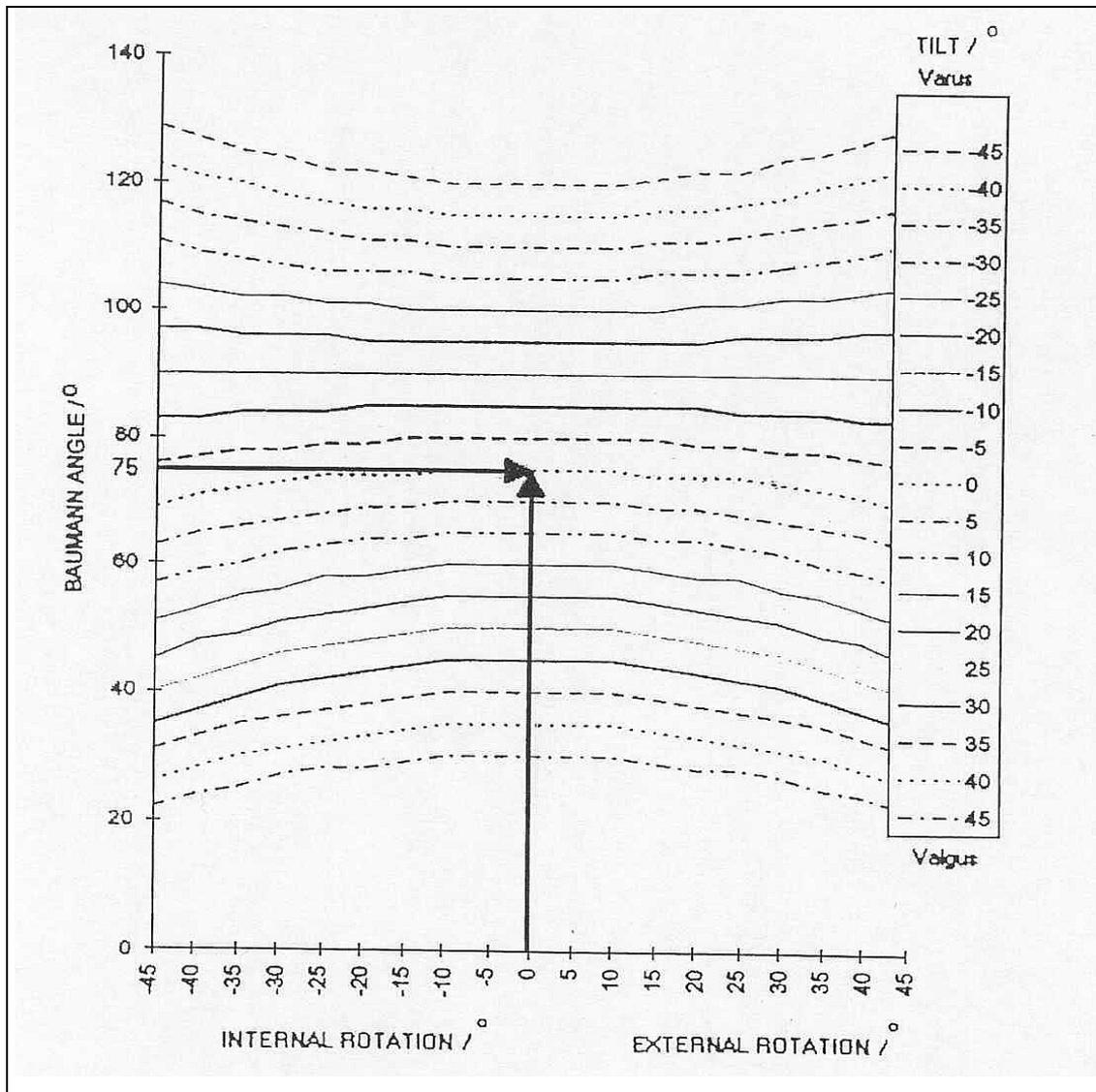


Abbildung 2-11: Standardröntgenbild der supracondylären Humerusfraktur (nach Mohammed et al., 1999)

Sie demonstrierten, dass die Änderung des Armachsenwinkels gleich, kleiner oder größer als die korrespondierende Änderung des Baumann Winkels sein kann (Abb.2-12).



**Abbildung 2-12: Zusammenhang zwischen Baumann und Armachsenwinkel anhängig von der Rotation des distalen Bruchfragmentes(nach Mohammed et al., 1999)**

Somit kann der Baumann Winkel gerade bei geschwollenem Ellenbogen sogar zu einer Fehlstellung des Ellenbogengelenkes führen, wenn er als Maßstab für die korrekte Reposition benutzt wird.

### 2.6.2 Die Rogers-Linie

Die Rogers-Linie wird in der seitlichen Projektion entlang der vorderen Kortikalisbegrenzung des Oberarmschaftes eingezeichnet und kreuzt das Capitulum normalerweise im Übergang vom mittleren zum hinteren Drittel. Abhängig vom Vorliegen einer Flexions- oder Extensionsfraktur liegt die Linie mehr im hinteren oder vorderen Drittel.

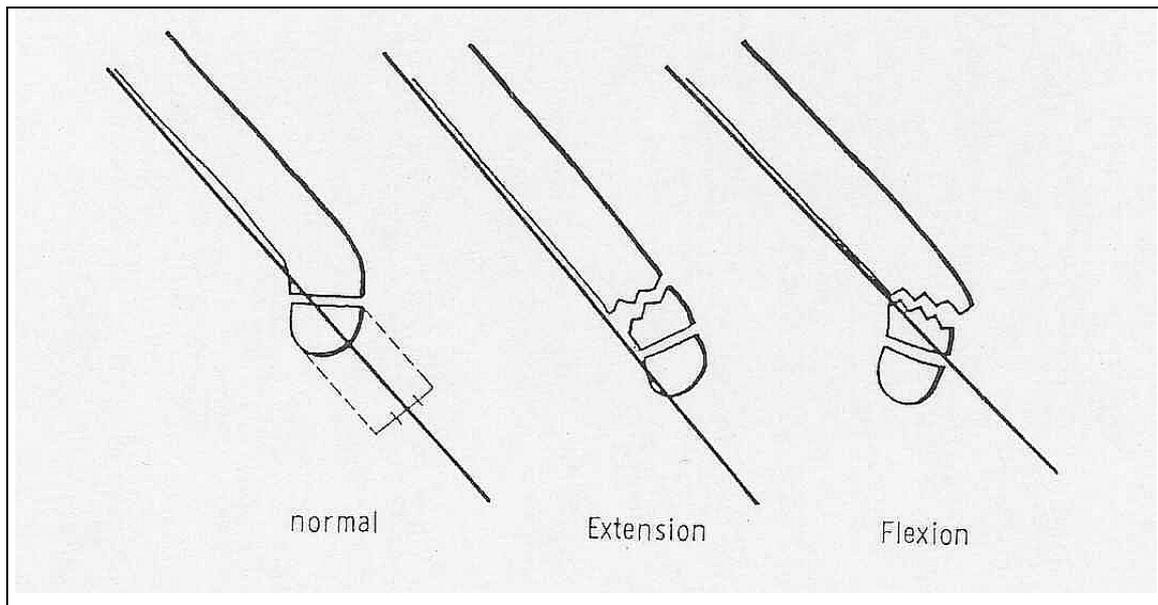


Abbildung 2-13: Rogerslinie (nach von Laer, 1997)

### 2.6.3 Periartikulären Fettkörper (engl. „fat pad sign“)

Als positives Fettkörperzeichen bezeichnet man die Verlagerung der ventral in der Fossa coronoidea bzw. Fossa radialis und dorsal in der Fossa olecrani vorhandenen Fettkörper (Abb.2-14 und 2-15). Ein positives Fettkörperzeichen ist, trotz scheinbar intaktem Knochen, hinweisend auf eine Fraktur.

Die beiden ventralen Fettkörper sind in der seitlichen Aufnahme als dunkle, glatt begrenzte Fläche am distalen Humerus erkennbar. Erst infolge intraartikulärer Volumenzunahme (Blutung, Erguß) hebt sich das Fettpolster ab, so dass es sich sichtbar von der Humeruskontur ablöst.

Der dorsale Fettkörper ist bei regulären anatomischen Verhältnisse nicht zu sehen, da der M. triceps brachii ihn in die Fossa olecrani drängt. Nur infolge einer Verletzung wird der

dorsale Fettkörper aus der Fossa olecrani herausgehoben und damit im Röntgenbild sichtbar (Murphy und Siegel., 1977; Skaggs und Mirzayan, 2001).

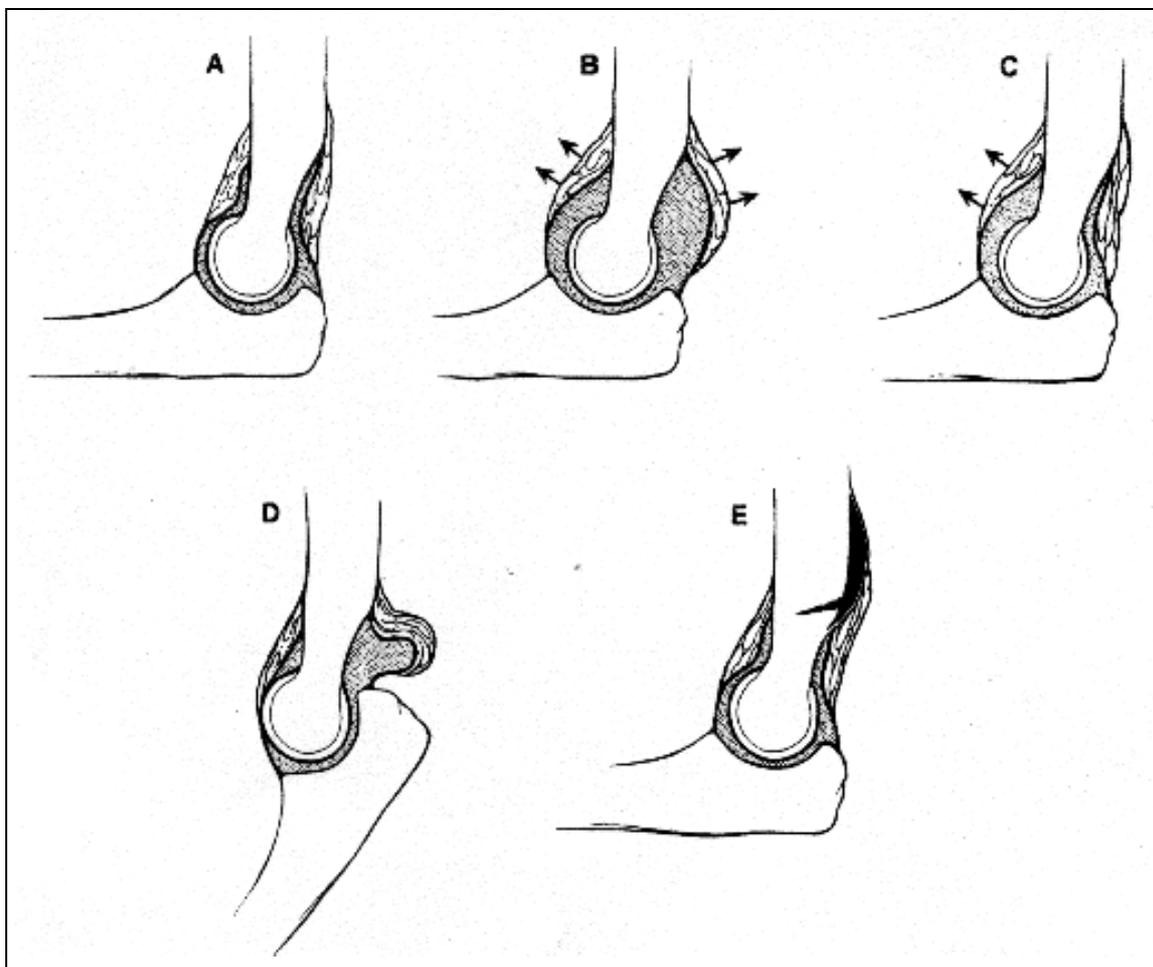


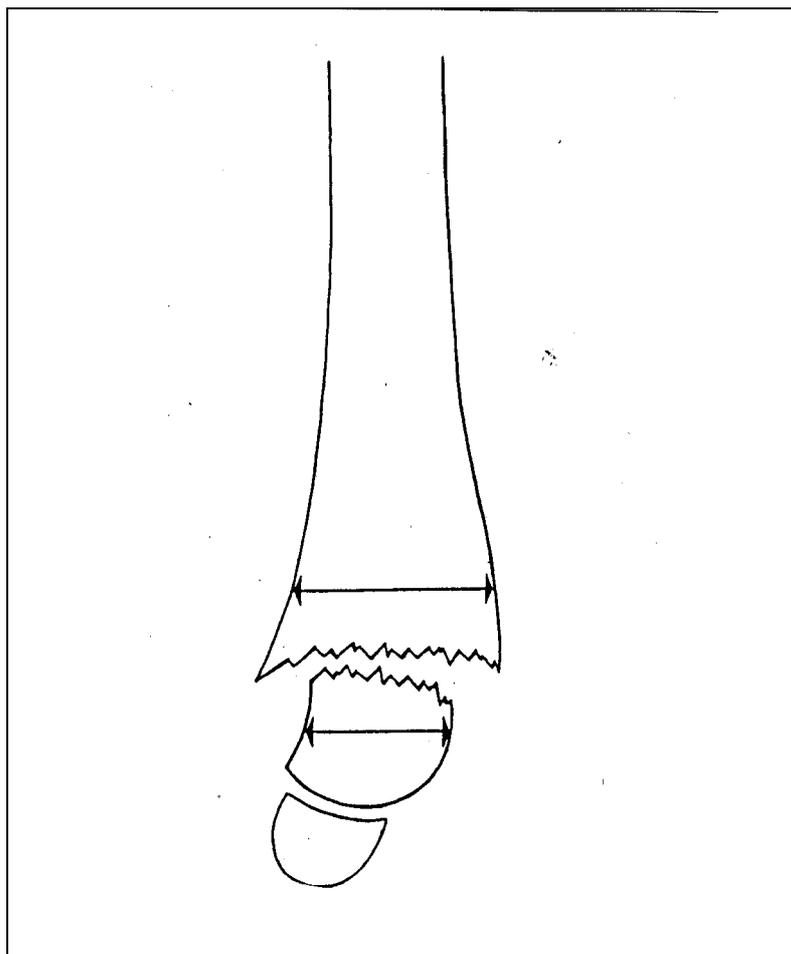
Abbildung 2-14: Periartikuläres Fettkörperzeichen (nach Murphy, W.A., Siegel, M.J., 1977). (A) Normale Anatomie der Fettkörper (B) intraartikulärer Erguß, beide Fettkörper lösen sich von der Kontur des distalen Humerus (C) und (D) nur einer der beiden Fettkörper wird sichtbar (E) extraartikuläre Fraktur, das Periost und der proximale Anteil des hinteren Fettkörpers wird hervorgehoben.



**Abbildung 2-15: Röntgenbild, laterale Projektion: positives vorderes und hinteres Fettkörperzeichen**

#### 2.6.4 *Rotationssporn*

Im Kapitel 2.7, den Komplikationen wird noch vermehrt auf den Rotationsfehler mit der Folge der Instabilität eingegangen werden. Ein Rotationsfehler ist klinisch nicht messbar, lediglich im seitlichen Röntgenbild ist er indirekt an der Breitendiskrepanz zwischen proximalen und distalen Fragmenten, den sogenannte Rotationssporn, zu erkennen (Abb.2-16). Dabei muß der Rotationssporn wenigstens 20° bis 30° betragen (Von Laer, 1991).



**Abbildung 2-16: Rotationssporn (nach von Laer, 1997)**

Diskrete Rotationsfehler können oft erst in der in seitlichen Projektion von radioulnar erkannt werden, weil in der ulnoradialen Projektion der radiale Kondylus den Rotationsfehler verbirgt. Der Rotationssporn darf nicht mit einer Seit- zu Seitverschiebung im seitlichen Bild verwechselt werden. Bei der Seit- zu Seitverschiebung ist das proximale Fragment im Gegensatz zum Rotationssporn nicht breiter als das distale Fragment (Von Laer, 1996). Der Rotationssporn wird im weiteren Wachstum durch Resorptions- und Appositionsprozesse nach proximal korrigiert und ist nicht mehr zu erkennen (Kissling, 1985).

Um den Rotationsfehler zu quantifizieren, gibt es verschiedene Möglichkeiten, die keine direkte Bestimmung erlauben, aber einen Vergleich möglich machen:

*Gordon et al. (2001)* schlagen den lateralen Drehfehler in Prozent (engl.: „lateral rotational percentage“) vor. Er ist definiert als der absolute Betrag der Dislokation des

proximalen Fragmentes (A) dividiert durch die Breite des distalen Fragmentes (B) auf der lateralen Projektion. Um einen Prozentwert zu erhalten, wird dieser Wert mit 100 multipliziert.

Von Laer (1979) nennt den Rotationsfehlerquotienten (RFQ): Auf der a.-p. Projektion wird der gesamte Durchmesser der Metaphyse des distalen Humerus (A) und auf der lateralen Projektion der Durchmesser der Dislokation des proximalen Fragmentes (B) gemessen. Anschließend wird B durch A dividiert. Bei einem RFQ unter 0,1 ist keine Alteration der Ellenbogenachse zu erwarten. Bei Rotationsfehler mit einem RFQ über 0,1 besteht die Gefahr einer Vari- oder seltener Valgisierung.

Wir unterscheiden zur Vereinfachung zwischen einem Rotationssporn, der kleiner oder größer als die Kortextbreite ist.

## 2.7 KOMPLIKATIONEN

### 2.7.1 Frühkomplikationen

Im Vordergrund stehen neurovaskuläre Läsionen, die durch die anatomische Lage bedingt sind. Sie können primär im Rahmen der Frakturentstehung aber auch sekundär durch die Behandlungsmethode entstehen. Jedoch ist die Differenzierung eines neurologischen Defizits in traumatisch und iatrogen bedingte Nervenläsion nicht immer möglich. *Campbell et al. (1995)* und *Kallio et al. (1992)* finden bei drittgradig dislozierten supracondylären Humerusfrakturen (Klassifikation nach Gartland) in bis zu 49% der Fälle neurovaskuläre Begleitverletzungen.

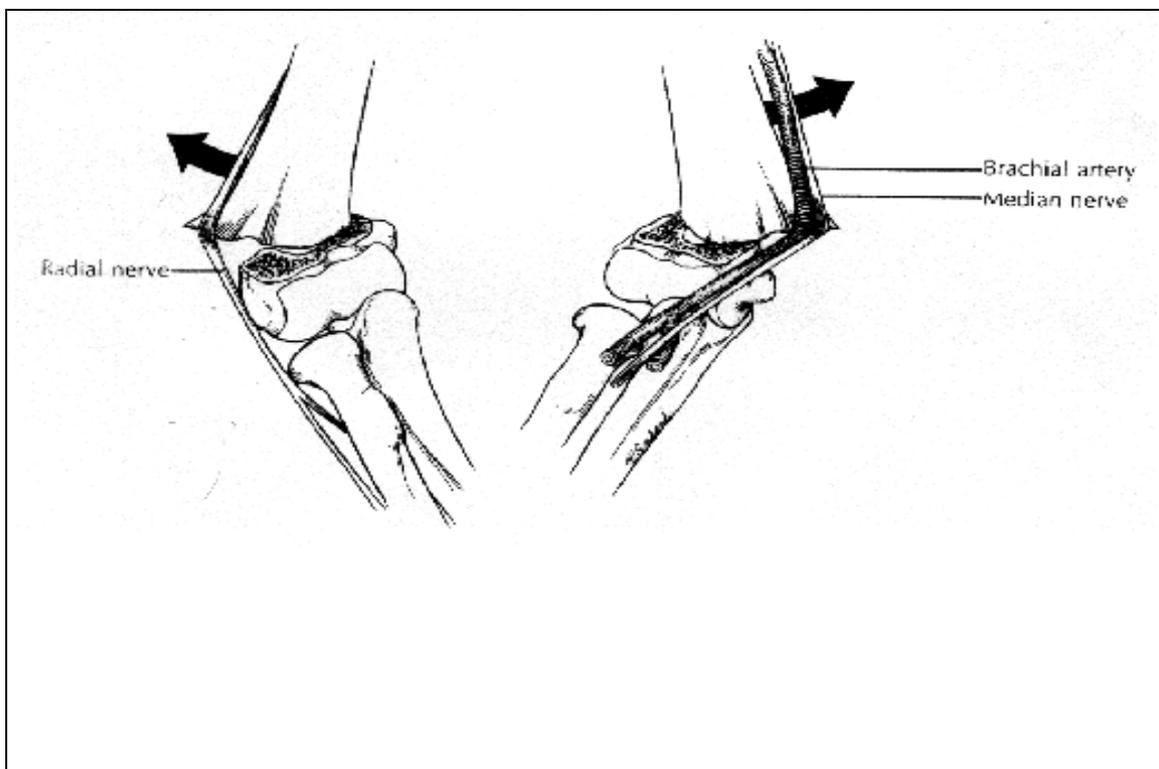
#### 2.7.1.1 Nervenläsionen

Traumatische Lähmungen des N. medianus, N. interosseus anterior, N. ulnaris und des N. radialis treten mit einer Häufigkeit von 10 bis 19% auf (*Brown und Zinar, 1995; Cramer et al., 1993; Lyons et al., 2000; Green, 1998*).

Abhängig von der Literatur wird entweder der N. radialis (*Brown und Zinar, 1995; Green, 1998*), der N. medianus (*Cheng et al., 1999; Lyons et al., 2000; McGraw, 1986*) oder der N. interosseus anterior (*Campbell et al., 1995; Dormans et al., 1995*) als die am häufigsten betroffene traumatische Nervenläsion beschrieben. Dagegen wird eine traumatische N. ulnaris Läsion mit 0,6 bis 14,7% selten beschrieben (*Lyons et al., 2000; Brown und Zinar, 1995*)

Im Falle einer posteromedialen Dislokation des distalen Bruchfragmentes, führt das

proximale Fragment zu einer Irritation der lateralen Strukturen und im Falle einer posterolateralen Dislokation zu einer Irritation der medialen Strukturen. Aus diesem Grunde sind supracondyläre Humerusfrakturen des Extensionstyp mit einer posterolateralen Dislokation des distalen Bruchstückes für Läsionen des N. medianus und des N. interosseus anterior prädisponiert, wohingegen bei Frakturen mit posteromedialer Dislokation eher der N. radialis und der N. interosseus posterior gefährdet ist (Abb.2-17). Läsionen der A. brachialis können in beiden Dislokationsrichtungen auftreten, häufiger jedoch bei der posterolateralen Dislokation (Campbell et al., 1995; Lyons et al., 2000; McGraw et al.,1986; Reitmann et al., 2001; Wilkins, 1984). Insgesamt disloziert die Fraktur häufiger nach posteromedial. Die Richtung der Dislokation kann also bei der Diagnosestellung von begleitenden Nerven- und Gefäßläsionen hilfreich sein, die bei Kindern wegen der akuten Schmerzsituation oft schwierig ist.



**Abbildung 2-17: Verletzung der neurovaskulären Strukturen in Abhängigkeit der Richtung der Dislokation (nach Wilkins, 1984)**

Vor allem das Auftreten einer Läsion des N. interosseus anterior wird oft übersehen. Das N. interosseus- anterior- Syndrom ist ein Nervenkompressionssyndrom, das nur den motorischen Ast des N. medianus betrifft. Klinisch imponiert ein Ausfall des M. flexor pollicis longus und des M. flexor digitorum profundus II ohne Sensibilitätsverlust (Joist et al., 1999).

Die motorische Parese der beiden Muskeln führt zu einer mangelnden Beugefähigkeit im Endgelenk des Daumens und des Zeigefingers., so dass es zu dem charakteristischen Bild des „Kneifgriffs“ kommt (Abb.2-12).

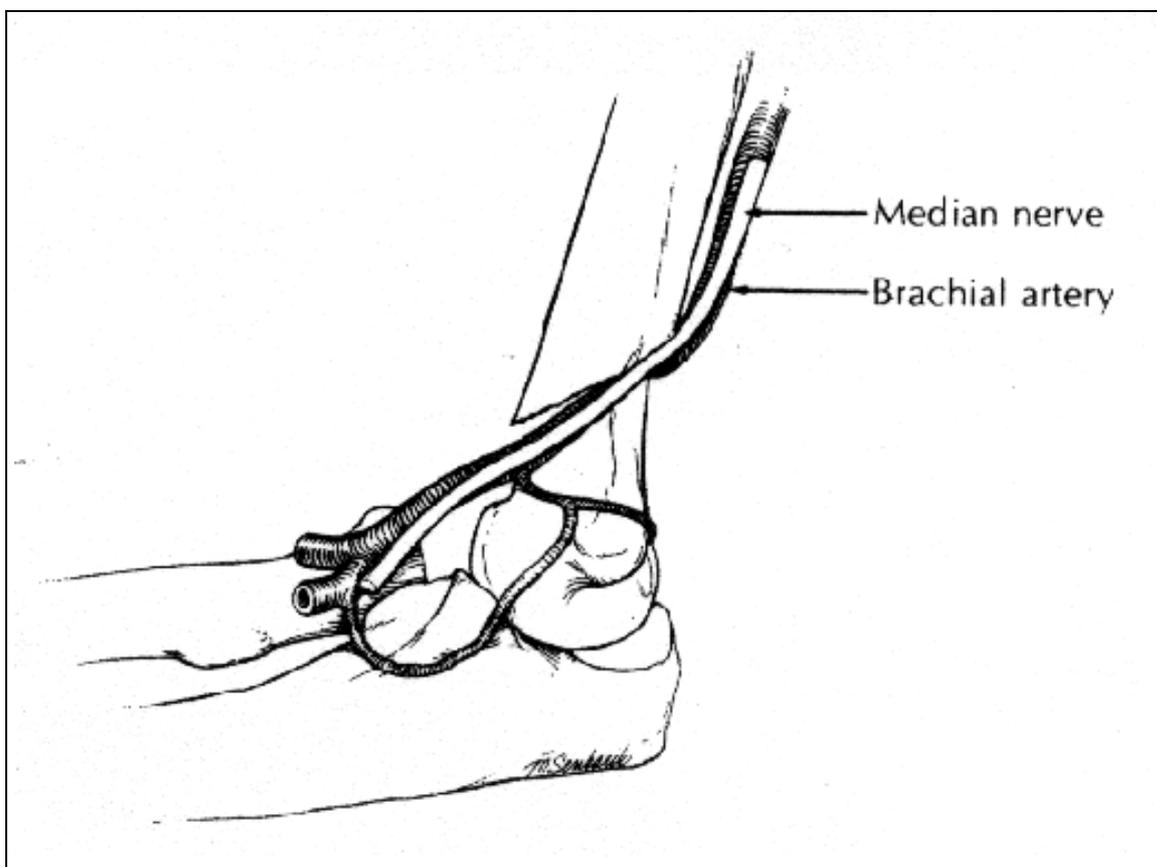


**Abbildung 2-18: N. interosseus anterior Syndrom**

Neben übersehenen präoperativen Läsionen- die Untersuchung ist durch die Schmerzhaftigkeit erschwert- können iatrogen Nervenläsionen durch wiederholte Repositionsmanöver und durch die Platzierung der Kirschnerdrähte im Bereich des N. ulnaris bedingt sein. Die Inzidenz iatrogenen Nervenläsionen schwankt zwischen 0-16%, wobei der N. ulnaris mit 2 bis 6% am häufigsten betroffen ist (Brown und Zinar, 1995; Lyons et al., 2000; Royce et al., 1991; Skaggs et al., 2001). Zaltz *et al.* (1996) beschreiben sogar, dass bei Hyperflexion des Ellenbogens in 5,7% bis 17,7% der Fälle eine Subluxation des N. ulnaris nach anterior auftreten kann.

### 2.7.1.2 Gefäßläsionen

Primäre Gefäßläsionen können funktionell oder mechanisch bedingt sein. Als funktionelle Störung der A. brachialis wird der Gefäßspasmus angesehen. Zu den mechanischen Störungen der A. brachialis zählen die Abknickung (engl., „kinking“) durch Frakturfragmente (Abb.2-19), die Strangulation durch Adventitia, der Intimaeinriß, die Thrombusbildung und die sehr seltene Zerreißung (Kelsch et al., 1999). Die Inzidenz beträgt 1% bis 12% (Kelsch et al., 1999; Wilkens, 1984). Werden nur Gartland III- Frakturen mit einbezogen so steigt die Inzidenz auf 19% bis 38% (Campbell et al., 1995; Shaw et al., 1990).



**Abbildung 2-19: Fraktureinklemmung der A. brachialis und des N. medianus (nach Wilkins, 1984)**

In 80% der Fälle erholt sich der Puls der A. brachialis nach der geschlossenen Reposition der supracondylären Humerusfraktur (Hasler, C., 2001). Die Entscheidung, ob weitere Maßnahmen am Gefäßsystem notwendig sind, sollte nach dem Durchblutungsstatus der Hand gefällt werden (Campbell et al., 1995).

Die blasse kühle Hand ist eine Indikation für die sofortige Exploration der A. brachialis. Diese Situation ist aber aufgrund des ausgebildeten Kollateralkreislaufes (Abschnitt 2.2.4) sehr selten.

Dagegen herrschen kontroverse Meinungen über das Management der warmen, roten aber pulslosen Hand. *Kelsch et al. (1999)*, *Campbell et al. (1995)* und *Schoencker et al. (1996)* sind der Auffassung, daß bei kritischer Ruhedurchblutung nach Fragmentreposition die A. brachialis zu explorieren ist. Wegen der drohenden irreversiblen Ischämiefolgen (Kälteintoleranz, Claudikatio und Volkmann Ischämie) ist diese Vorgehensweise gerechtfertigt, auch wenn dadurch in einzelnen Fällen die A. brachialis unnötig freigelegt wird. Wohingegen *Gillingham et al. (1995)* bei ausreichender Ruhedurchblutung zu einer alleinigen klinischen Beobachtung raten, da mit der Pulswiederkehr innerhalb von 10 Tagen zu rechnen ist. Andere Autoren befristen die klinische Beobachtung auf maximal 36 h, tritt dann keine Pulswiederkehr ein, raten sie zur Arteriographie (*Sabharwal et al., 1997*; *Wilkins, 1997*). *Copley et al. (1996)* führen eine Exploration der A. brachialis durch, wenn innerhalb von 30 min nach der geschlossenen Reposition keine Pulswiederkehr festgestellt werden kann. Dieser Vorgehensweise schließen wir uns an.

Dank verbesserter Behandlungsmöglichkeiten ist die schlimmste Frühkomplikation der supracondylären Humerusfraktur, die Volkmann Ischämie mit der Spätfolge einer Volkmann Kontraktur (Volkmann, 1881) inzwischen selten geworden (*Schink, 1968*). Ihr Entstehen ist aber immer noch nicht vollständig geklärt. Verantwortlich werden mehrmalige und verspätete Repositionsmanöver, mögliche Fehlstellung mit Rotationssporn, zu enger Gipsverband in zu starker Beugung und möglicherweise noch ein primärer Gefäßschaden gemacht. Am ehesten ist aber wohl ein multifaktorielles Geschehen anzunehmen (*Kutscha- Lissberg et al., 1978*). Das wichtigste Frühsymptom der Volkmann Ischämie ist der zunehmende Schmerz bei beginnender Bewegungseinschränkung und beginnendem Kältegefühl der Finger. Erst im weiteren Verlauf kommt es zur Puls- und Gefühlslosigkeit bis hin zur vollständigen Lähmung der Hand.

### 2.7.1.3 Infekt

Infekte zählen im Kindesalter zu den seltenen Komplikationen. Die Rate schwankt zwischen 1 und 2% und wurde im Rahmen der Multizenterstudie (Von Laer et al., 2002) bei 1,1% der Patienten beobachtet.

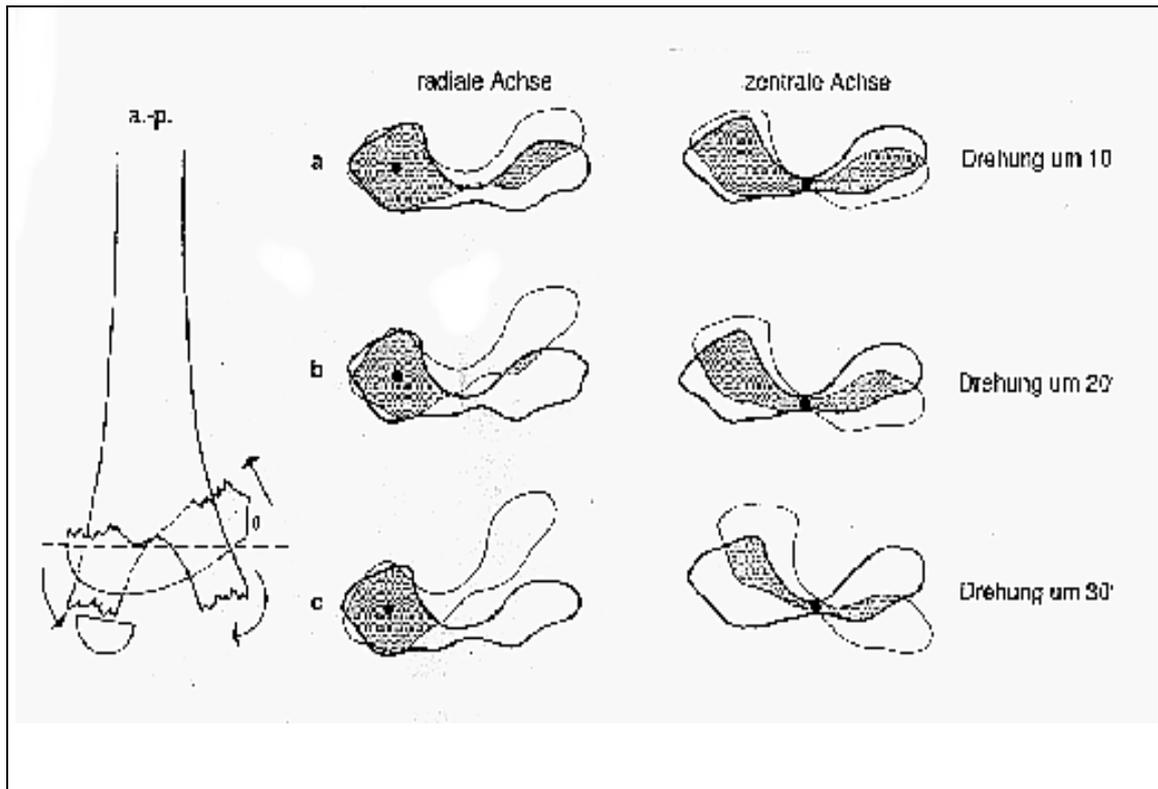
## 2.7.2 Spätkomplikationen

### 2.7.2.1 Cubitus varus

Der Cubitus varus ist die häufigste Komplikation der supracondylären Humerusfraktur, die Angaben schwanken in der Literatur zwischen 20 bis 50° (Von Laer, 1997; Smith, 1960). Für junge Patienten ist das Risiko besonders hoch (Kallio, 1992). Der Cubitus varus ist eine rein kosmetische Störung, er hat keine Bewegungseinschränkung zur Folge, weil das Schultergelenk durch seine Rotationsfähigkeit in der Lage ist, die Achsenfehlstellung zu kompensieren. Als Spätfolge kann der Cubitus varus durch die mechanisch stärkere Belastung des Humero-Ulnargelenkes zur frühzeitigen Arthrose des Gelenkes führen.

Schon *Baumann (1929 und 1965)*, *Böhler (1961)*, *Resch und Helweg (1987)* und *von Laer (1979)* konnten nachweisen, dass in der Mehrzahl der Fälle ein Rotationsfehler für einen Cubitus varus oder valgus verantwortlich ist, der als Wegbereiter der Instabilität zu betrachten ist und damit ein Abkippen in den Varus, seltener in den Valgus zulässt. Dies bedeutet jedoch nicht, dass jeder Rotationsfehler zwingend einen Varus oder Valgus zur Folge haben muß (Resch, H. et al., 1987; Smith, L., 1960).

Die spezielle Anatomie des distalen Humerus, der aus der medialen und lateralen Kondyle sowie der Fossa olecrani und Fossa cubiti gebildet wird, ist die Ursache für die große Instabilität der supracondylären Humerusfraktur im Wachstumsalter. Die Sektion des distalen Humerus in der Transversalebene (Abb.2-20) verdeutlicht, dass die beiden Säulen nur durch eine dünne Knochenlamelle verbunden werden. Im Falle einer Fraktur führt eine Drehverschiebung zu einem Verlust des Knochenkontaktes und so zur Instabilität. In der Abheilungsphase droht damit das Absinken nach ulnar mit der Ausbildung eines Cubitus varus.



**Abbildung 2-20: Transversalschnitt durch den distalen Humerus (nach von Laer, 2001): „Abhängigkeit der Kontaktfläche der Fraktur von der Lage der Drehachse und dem Ausmaß einer Fehlrotation. Bei zentraler Drehachse nimmt mit zunehmender Fehlrotation die Kontaktfläche der Fragmente gegeneinander linear bis 0% bei 70° Fehlrotation ab. Dabei betrifft der Kontaktverlust gleichmäßig beide Kondylen. Bei einer Fehlrotation von 30° beträgt die Kontaktfläche nur noch 30% (a). Liegt die Drehachse peripher im Kondylus radialis, so nimmt die Gesamtkontaktfläche linear nur bis 30° Fehlrotation ab, beträgt dann noch 40% (b) und bleibt dann - auch bei größeren Fehlrotation - gleich. Der Kontaktverlust hierbei geht jedoch lediglich auf Kosten des ulnaren Kondylus, während der radiale Kondylus nur 25% seiner Auflagefläche verliert und 75% seiner Kontaktfläche auch bei höheren Fehlrotationen beibehält (c).“**

Bei einem normalen Ellenbogen beträgt die mediale Rotation der Kondylen 5° bis 10° in der Horizontalebene. Im Verhältnis zu dem Olekranon liegt die laterale Kondyle also vor der medialen Kondyle. Auf diese Weise lässt sich palpatorisch ein Drehfehler während der Reposition einer supracondylären Humerusfraktur ausschließen (Hasler, C., 2001).

Begünstigt wird eine Fehlrotation durch die Art der Ruhigstellung und durch den physiologischen Tonus der Rotatorenmanschette. Wird der Unterarm in Supinationsstellung fixiert, kommt es durch die Inkongruenz der Bruchflächen zu einem Klaffen am radialen

Kortikalisrand. Die Fraktur verheilt mit einer Adduktionsfehlstellung in der Frontalebene (Böhler, 1961 und Baumann, 1929). Gleichzeitig dreht in Adduktionsstellung der Tonus der Rotatorenmanschette der Schulter das proximale Fragment nach außen, so dass der ulnare proximale Anteil nach ventral dreht.

Bei Schrägfrakturen mit gutem Knochenkontakt kann es schon als direkte Folge der Rotation auf einer schrägen Frakturebene ohne Abkipfung zum Achsenfehler in der Frontalebene kommen (Von Laer, 1979).

Ein Cubitus valgus oder hypervalgus kann im weiteren Wachstum nicht mehr ausgeglichen werden, weil die Fehlstellung in der Frontalebene liegt, die keine Bewegungsachse des Ellenbogengelenkes ist.

#### 2.7.2.2 Bewegungseinschränkungen

Selbst nach einer idealen Reposition der supracondylären Humerusfraktur liegt bei allen Patienten eine Einschränkung der Extension vor, die sich meistens innerhalb eines halben Jahres verbessert (Harries, 1992). Gewöhnlich erlangen die Patienten innerhalb eines Jahres nach dem Unfall die volle Beweglichkeit der Extension und Flexion wieder. Ist dies nicht der Fall, liegt eine Ante- oder Rekurvationsstellung in der Sagittalebene vor (Kapitel 2.4.2). Auch ein ventraler Rotationssporn kann zu einer Beugehemmung führen (Schärli, 1991). Die Myositis ossificans traumatica mit der Folge einer Bewegungseinschränkung ist selten. Sie kann durch gewaltsame und wiederholte Repositionsmanöver aber auch durch eine Nachbehandlung verursacht werden (Mohan, 1977). Auch die offene Reposition und vor allem der dorsale Zugang (Spaltung des M triceps) ist mit dem Risiko einer Myositis ossificans traumatica behaftet. Einige Autoren fanden bei 20 bis 29% der Patienten Bewegungseinschränkungen von mehr als 20° (La Grange und Rignault, 1962; Rang, 1983).

## 2.8 VERSORGUNGSKONZEPT DER KLINIK FÜR UNFALL- UND HANDCHIRURGIE DER WESTFÄLISCHEN WILHELMS- UNIVERSITÄT MÜNSTER

In diesem Abschnitt wird das Konzept dargestellt, nach dem an Unfall- und Handchirurgie der Westfälischen Wilhelms- Universität Münster verfahren wird. Die Wahl der optimalen Behandlung richtet sich nach dem Grad der Dislokation und der Begeleitverletzungen der supracondylären Humerusfraktur. Sie stellt eine Notfallindikation dar und verlangt ein

rasches Handeln, um die restitutio ad integrum zu erreichen.

### *2.8.1 Klinische Erstbeurteilung*

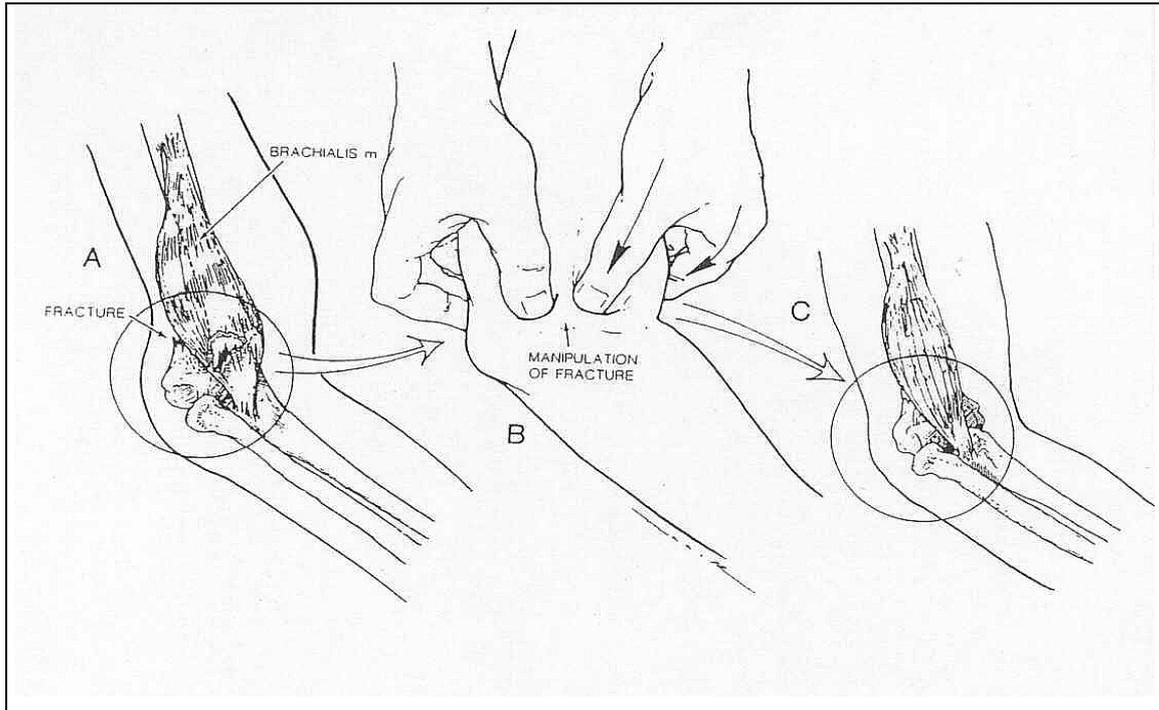
Als erste Maßnahme ist die exakte und seitenvergleichende Untersuchung der Durchblutung durch Palpation der Pulse erforderlich, die bei fraglichem Pulsstatus umgehend durch eine Dopplersonographie ergänzt wird. Des weiteren erfolgt die Prüfung und Dokumentation der Funktion des N. medialis, N. ulnaris und N. radialis, um die Operationsstrategie festzulegen. Hier ist insbesondere, die Endgliedbeugefähigkeit von Daumen und Zeigefinger als Zeichen einer N. interosseus anterior Läsion zu prüfen. Ob eine cubitale Darstellung der A. brachialis oder die Revision eines Nerven im Rahmen der Frakturstabilisierung erforderlich ist, wird davon abhängig gemacht. Erholt sich der Puls nach geschlossener Reposition in Narkose, entfällt die aufwendige Präparation der A. brachialis.

### *2.8.2 Reposition*

Die Reposition wird bei dislozierten Frakturen in Allgemeinnarkose und unter Bildwandlerkontrolle durchgeführt.

Bei supracondylären Humerusfrakturen mit Einklemmung des M. brachialis im Frakturspalt ist die geschlossene Reposition erschwert und mit einem erhöhten Risiko neurovaskulärer Begleitverletzungen verbunden (Pirone et al., 1988). Sowohl *Peters et al. (1995)* als auch *Archibeck et al. (1997)* verwenden in diesen Fällen mit guten Spätergebnissen das „Melk- Manöver“, um den eingeklemmten Muskel mit der A. brachialis aus dem Frakturspalt herauszuholen (Abb.2-21).

Hierbei wird zuerst ein Gegenzug durch die Axilla ausgeübt. Anschließend wird die Oberarmmuskulatur soweit proximal wie möglich ergriffen, um sie im nächsten Schritt nach distal zu „melken“. Zur Schonung der neurovaskulären Strukturen wird dabei der Druck vor allem von lateral ausgeübt. Die Befreiung des M. brachialis wird meistens von einem hörbaren oder tastbaren „plop“ begleitet, die Fraktur läßt sich nun leicht reponieren und retinieren.



**Abbildung 2-21: Darstellung des „Melk- Manövers“ des M. brachialis. A) Einklemmung des M. brachialis im Frakturspalt. B) Druck wird von distal/ lateral auf die anteriore Muskulatur ausgeübt. C) Das proximale Fragment wird von dem M. brachialis befreit, die Fraktur kann reponiert werden (nach Peters et al., 1995).**

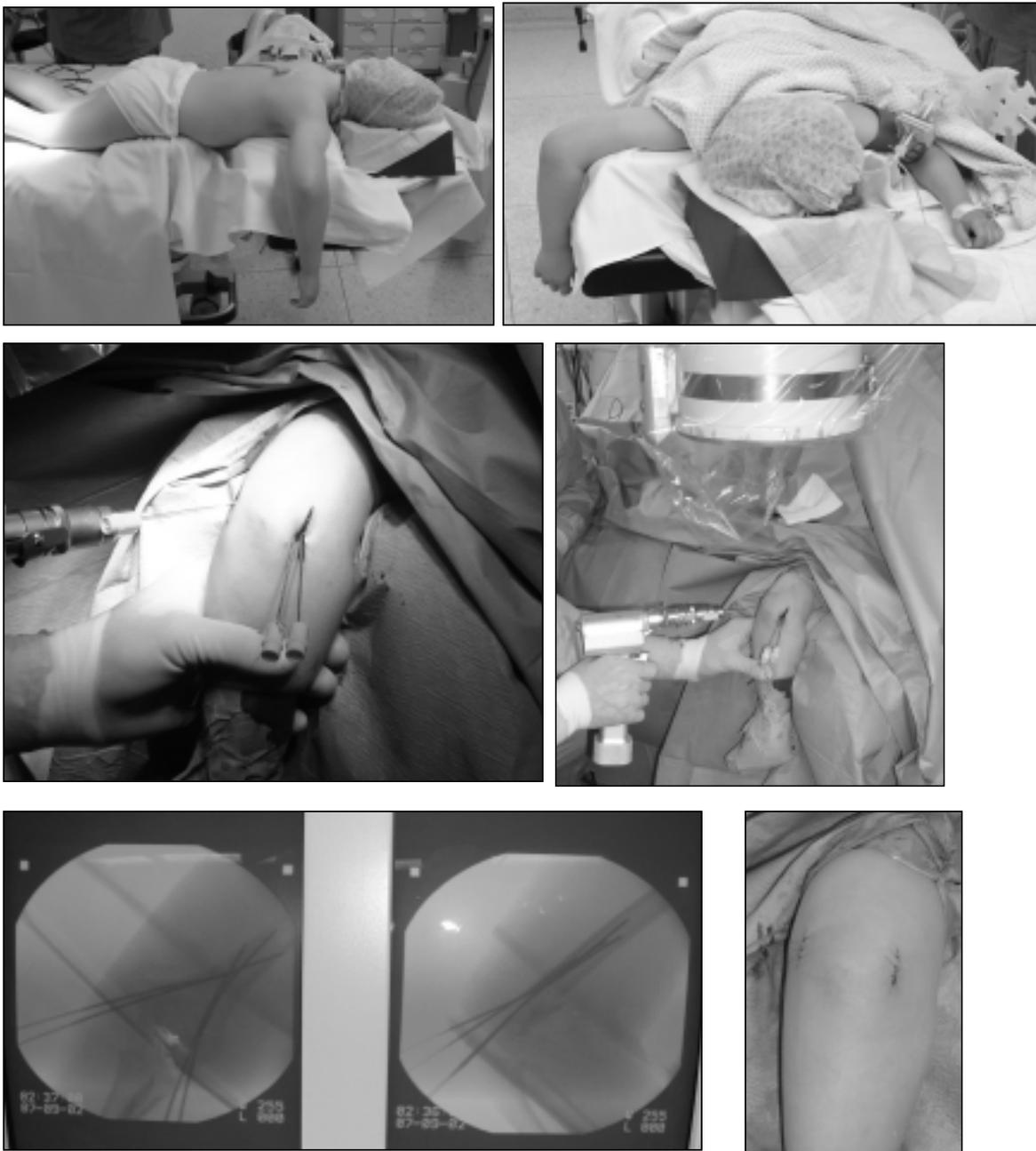
### 2.8.3 Konservative Therapie

Ein rein konservative Therapie wird nur bei undislozierten supracondylären Humerusfrakturen (Gartland I) angewandt. Die Therapie besteht in einem 6 wöchigen Oberarmgipsverband, bei dem der Arm in Flexion von 90° und Neutralstellung bezüglich der Pro- und Supination ruhiggestellt wird.

### 2.8.4 Operative Therapie

Alle dislozierten supracondylären Humerusfrakturen (Gartland II und III) werden reponiert und mit wenigstens zwei gekreuzten Kirschnerdrähten fixiert. Bei der geschlossenen Reposition werden die Kirschnerdrähte durch eine radiale und ulnare Minimalinzision eingebracht. Bei der offenen Reposition wird eine dorsale Inzision mit radialeseitiger Umschneidung des Olecranon gewählt (dorsaler Zugang), bei der der M. triceps gespalten wird. Die Kirschnerdrähte werden umgebogen und versenkt. Anschließend wird die Extremität durch eine dorsale Gippschiene für drei bis vier Wochen immobilisiert, um

Sekundärbewegungen der Fraktur sicher zu vermeiden.



**Abbildung 2-22: Operationsstandard bei dislozierter suprakondylärer Humerusfraktur: Bauchlage, intraoperativ obligate Bildwandlerkontrolle in 2 Ebenen, ulnar immer offen den N. ulnaris palpieren, umgebogene Drähte subkutan versenken. Bei Dislokationsgrad 3 nach Gartland/Baumann oder 4 nach v. Laer erfolgt zusätzlich die offene Repositionskontrolle durch ein Trizepssplitting. Bei primärer Fallhand wird über einen erweiterten radialen Zugang ebenso in Bauchlage der N. radialis exploriert, bei einem Medianusausfall oder fehlendem Handgelenkspuls nach Reposition explorieren wir über einen kubitalen Zugang in Rückenlage.**

#### *2.8.5 Nachbehandlung*

Die intraoperativ angelegte Oberarmgipsschiene wird nach Entfernung der Fäden zu einem zirkulären Oberarmcast vervollständigt und bis zur Drahtentfernung, der 6. postoperativen Woche, belassen. Mit Krankengymnastik wird erst nach Ablauf des 3. postoperativen Monats begonnen, sofern eine auffällige Extensions- oder Flexionshemmung besteht.

#### *2.8.6 Metallentfernung*

Die Metallentfernung erfolgt 4 bis 6 Wochen nach dem Operationsdatum. Sie wird in Allgemeinnarkose durchgeführt, um die versenkten Drähte zu entfernen.

Die Abbildung 23 zeigt exemplarisch die operative Versorgung einer supracondylären Humerusfraktur. Es handelt sich um eine rechtseitige, drittgradig dislozierte Fraktur, die offen reponiert und mit Kirschnerdrähten fixiert wurde. Bei der Nachuntersuchung zeigte sich eine seitengleiche Beweglichkeit, symmetrische Armachsen und regelrechte Narbenverhältnisse. Durchblutungs- oder Sensibilitätsstörungen konnten keine gefunden werden.

*Die supracondyläre Humerusfraktur*

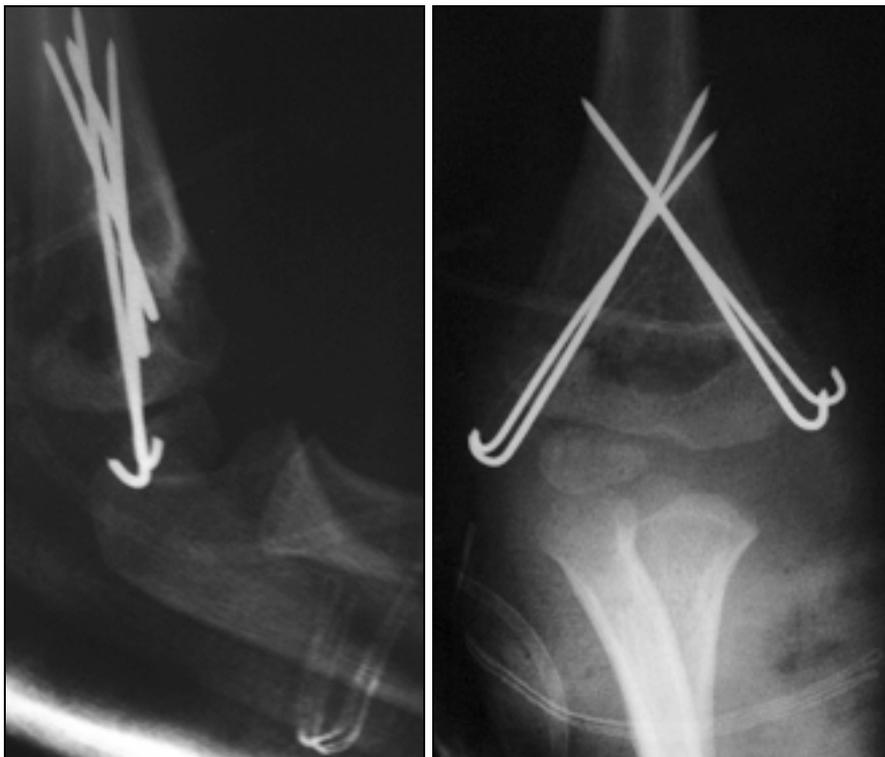




Abbildung 2-23: operative Versorgung einer supracondylären Humerusfraktur

### **3 Ipsilaterale Unterarmverletzung („Floating elbow“)**

*Stanitski und Micheli (1980)* benutzten zuerst den Terminus „floating elbow“ für die gleichzeitige Verletzung von Ober- und Unterarm im Kindesalter. Dieses Verletzungsmuster ist sehr selten. Die gleichzeitige Verletzung von supracondylärer Humerusfraktur und ipsilateraler Unterarmfraktur im Kindesalter wird mit einer Inzidenz von 3 bis 13% angegeben, wobei am häufigsten die isolierte distale Radiusfraktur betroffen ist (Cheng et al.,1995; Mehlmann et al., 2001, Roposch et al.,2001; Williamson und Cole, 1992).

Dieses Verletzungsmuster weist auf ein schweres Trauma hin, das häufig mit Komplikationen verbunden ist. Traumatische Nerven- und Gefäßschäden aber auch offene Frakturen treten häufiger als bei der isolierten supracondylären Humerusfraktur auf. Wilkins (1984) gibt in seiner Meta- Analyse von 61 Arbeiten (7.212 supracondyläre Humerusfrakturen) die Häufigkeit der offenen Frakturen mit 1% und die Häufigkeit von Nervenverletzungen mit 7,7% an. Werden nur drittgradig dislozierte supracondyläre Humerusfrakturen betrachtet, so steigt die Inzidenz der offenen Frakturen auf 33% und die der neurologischen Komplikationen auf 25% (Harrington et al., 2000).

Klare Behandlungsempfehlungen für diese Verletzung gibt es nicht. 1976 schlugen *Reed und Apple* die geschlossen Reposition und Gipsverband für beide Frakturen mit oder ohne Olekranon Extension vor. Dieses Verfahren führte in mehr als 25% der Fälle zu einem Cubitus varus. Neuere Arbeiten empfehlen die geschlossen Reposition und die perkutane Kirschnerdrahtosteosynthese für die supracondyläre Humerusfraktur und den Gipsverband für die Unterarmfraktur (Danouis et al., 1992; Papavailious und Nenopoulos, 1988, Stanitski und Micheli ,1980; Williamson und Cole, 1992). *Roposch et al. (2001)*, *Ring et al. (2001)* und *Templeton und Graham (1995)* dagegen schlagen die Spickung sowohl der supracondylären Humerusfraktur als auch der Unterarmfraktur vor, wobei es unabhängig von der Reihenfolge der Spickung keinen signifikanten Unterschied der Ergebnisse gab.

## 4 Patienten und Methoden

### 4.1 PRINZIPIELLE VORGEHENSWEISE

Es handelt sich bei der vorliegenden Arbeit um eine retrospektive Untersuchung der supracondylären Humerusfraktur im Kindes- und Jugendalter (bis maximal 16 Jahre). Die Patienten wurden anhand eines standardisierten Protokolls befragt und klinisch untersucht. Der Nachuntersuchungszeitraum war vom 01.10.01 bis zum 10.01.02. Mit Hilfe der archivierten Röntgenbilder wurden die Frakturen klassifiziert und ausgewertet. Als Beurteilungsschema wurden Kriterien nach *Flynn (1974)* verwendet.

### 4.2 PATIENTEN

Im Zeitraum vom 01.01.81 bis zum 01.04.2001 wurden an der Klinik für Unfall- und Handchirurgie der Westfälischen Wilhelms- Universität Münster 93 Kinder bis zum 16. Lebensjahr auf Grund einer supracondylären Humerusfraktur primär operativ versorgt. Patienten, die primär in auswärtigen Krankenhäusern behandelt wurden, wurden nicht berücksichtigt.

### 4.3 PROTOKOLL

Basisgrundlage für das Protokoll (Anhang, Abschnitt 9.1) war der Artikel „Classification and Documentation of Children’s Fractures“ nach *von Laer et al. (2000)*. Die klinische Untersuchung wurde stets im Seitenvergleich durchgeführt, um Abweichungen zur Gegenseite festzustellen. Sie beinhaltete:

- Messung der Ellenbogenachse bei gestrecktem Ellenbogen (in Nullstellung) in maximaler Supinationsstellung des Unterarmes
- neurovaskulärer Status
- Umfang und Längenmessungen
- Inspektion der Narbenverhältnisse
- Prüfung der Funktion des Ellebogengelenkes nach der Neutral-O-Methode

Zur Beurteilung der subjektiven Ergebnisse wurden die Kinder nach Beschwerden, Funktionsbehinderungen, kosmetische Störungen und sozialer Behinderung gefragt.

#### 4.4 RADIOLOGISCHE METHODIK

Mit Hilfe der archivierten Röntgenbilder wurden die Frakturen entsprechend der Klassifikationen nach *Kocher* (Abschnitt 2.5.1) und nach *Gartland* (Abschnitt 2.5.2) eingeteilt und folgende Winkel und Hilfslinien bestimmt:

- Rotationsfehler in Abhängigkeit der Kortexdicke
- Neigungswinkel des Capitulum humeri (ideal, Ante- und Rekurvationsstellung) bei Knochenheilung
- Vergleich des Baumann Winkel bei Knochenheilung und bei der Nachuntersuchung

Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung erfolgte aus Gründen der Strahlenhygiene nur eine radiologische Kontrolle, wenn Patienten noch eine Form der Einschränkung zeigten, wie insbesondere schwere Achsabweichungen oder Bewegungseinschränkungen. Auch waren in der Mehrzahl der Fälle die vorhandenen Röntgenaufnahmen für die Auswertung ausreichend.

#### 4.5 BEURTEILUNGSSCHEMA

Bewertet wurden die funktionellen und anatomischen Ergebnisse der supracondylären Humerusfraktur nach den Kriterien, die *Flynn et al. 1974* aufgestellt haben (Tab.4-1). Patienten, die gleichzeitig Einschränkungen der Beweglichkeit und des Cubitalwinkels aufwiesen, wurden nach dem größeren klinischen Handicap klassifiziert, d. h. eine gute klinische Beweglichkeit, aber eine schlechter Armachsenwinkel bedeuteten eine schlechte Beurteilung.

**Tabelle 4-1: Kriterien nach Flynn (Abweichung zur Gegenseite)**

Beurteilung	Einschränkung des Armachsenwinkels	Bewegungseinschränkung
Sehr gut	0-5°	0-5°
Gut	6-10°	6-10°
Befriedigend	11-15°	11-15°
Schlecht	>15°	>15°

#### 4.6 STATISTISCHE ANALYSE

Bei der vorliegenden Arbeit handelt es sich um eine deskriptive Statistik. Für die

graphische Darstellung wurde das Programm Microsoft Excel 2000 und für die statistische Auswertung das Programm SPSS for windows, Rel. 11.0.1.2001 Chicago: SPSS Inc. angewandt.

Als Lagemaß wurde das arithmetische Mittel und als Streuungsmaß die Standardabweichung verwendet. Signifikanzen wurden mit dem Fisher- Test ermittelt. Signifikant galten Werte  $< 0,05$ . Andernfalls wird lediglich festgestellt, dass die beobachteten Abweichungen auch durch zufällige Variabilität erklärt werden können.

Die biomathematische Beratung erfolgte durch den Priv. Doz. Dr. rer. medic Rudolf Fischer des Institutes für Biomathematik am 16.09.02.

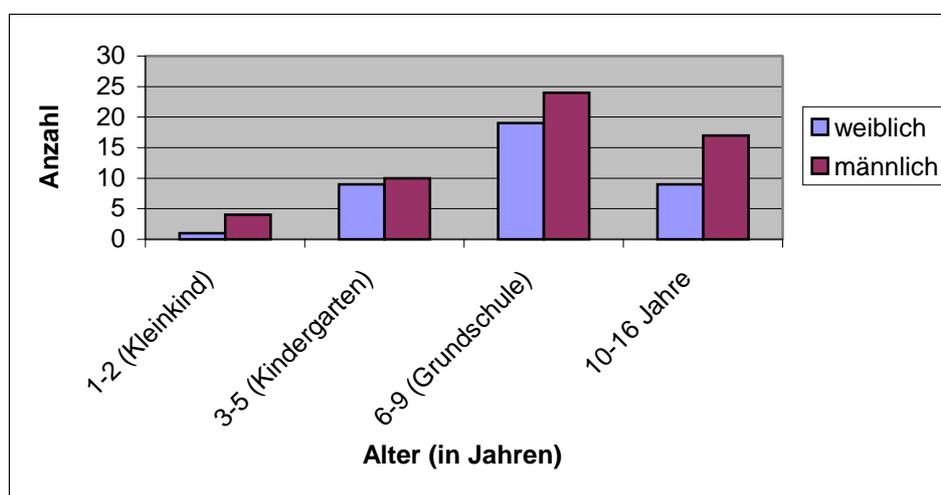
## 5 Ergebnisse

Die Ergebnisdarstellung gliedert sich in 4 Hauptabschnitte. Im ersten Abschnitt wird das gesamte Patientengut (93 Patienten) beschrieben und die Frühkomplikationen dargestellt. Besonderen Wert wird dabei auf Gefäß- und Nervenläsionen gelegt. Im zweiten Abschnitt werden die Spätergebnisse anhand von 76 nachuntersuchten Patienten untersucht. Im dritten Abschnitt erfolgt eine Auswertung der Röntgenbilder. Im vierten und letzten Abschnitt wird gesondert auf die seltene gleichzeitige, ipsilaterale Unterarmfraktur eingegangen.

### 5.1 BESCHREIBUNG DER GESAMTEN PATIENTEN UND DARSTELLUNG DER FRÜHKOMPLIKATIONEN

#### 5.1.1 Epidemiologie

Im Zeitraum 1981 bis 2000 wurden 93 Patienten in der Klinik für Unfall- und Handchirurgie der Westfälischen Wilhelms- Universität Münster behandelt. Davon waren 38 (40,9%) weiblich und 55 (59,1%) männlichen Geschlechtes. Das durchschnittlich Patientenalter betrug 7,7 Jahre  $\pm$ 3,5 (0,5-16). Abbildung 5-1 stellt den Anteil der jeweiligen Altersgruppen in Abhängigkeit des Geschlechtes dar. Im Grundschulalter verunglücken insgesamt 43 (46,2%) der Kinder. Diese Altersgruppe stellt damit die am häufigsten betroffenen Altersgruppe dar.

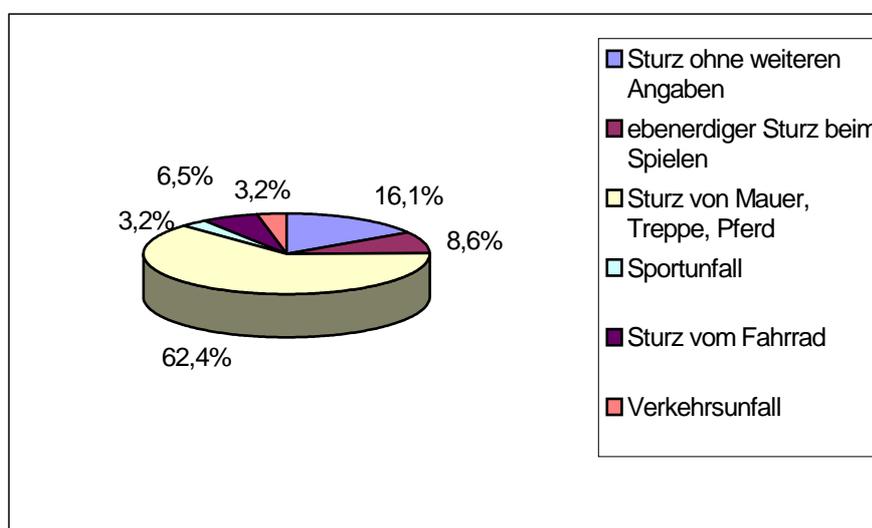


**Abbildung 5-1: Altersverteilung in Abhängigkeit des Geschlechtes**

Die Unfallursachen wurden folgenden Untergruppen zugeordnet:

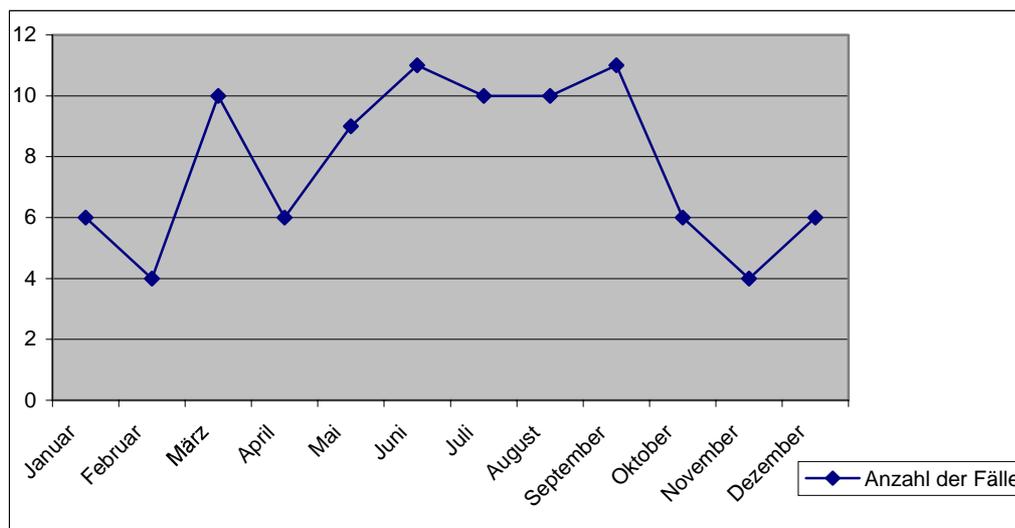
- Sturz ohne weitere Angaben
- Ebenerdiger Sturz beim Spielen
- Sturz von Mauer, Treppe, Pferd etc.
- Sportunfall
- Sturz vom Fahrrad
- Verkehrsunfall

Die Abbildung 5.2 zeigt die prozentuelle Verteilung der Unfallursachen differenziert in die Untergruppen. Über die Hälfte (62,4%) der supracondyläre Humerusfraktur entstanden durch einen Sturz von einem höher gelegenen Ort (Mauer, Treppe, Pferd etc.).



**Abbildung 5-2: Prozentuelle Verteilung der Unfallursachen differenziert in Untergruppen**

Hauptsächlich verunglückten die Kinder in den Sommermonaten, Juni, Juli, August und September. In den Wintermonaten dagegen verringert sich das Auftreten der supracondylären Humerusfraktur (Abb.5-3).



**Abbildung 5-3: Jahreszeitliche Verteilung der 93 supracondylären Humerusfraktur**

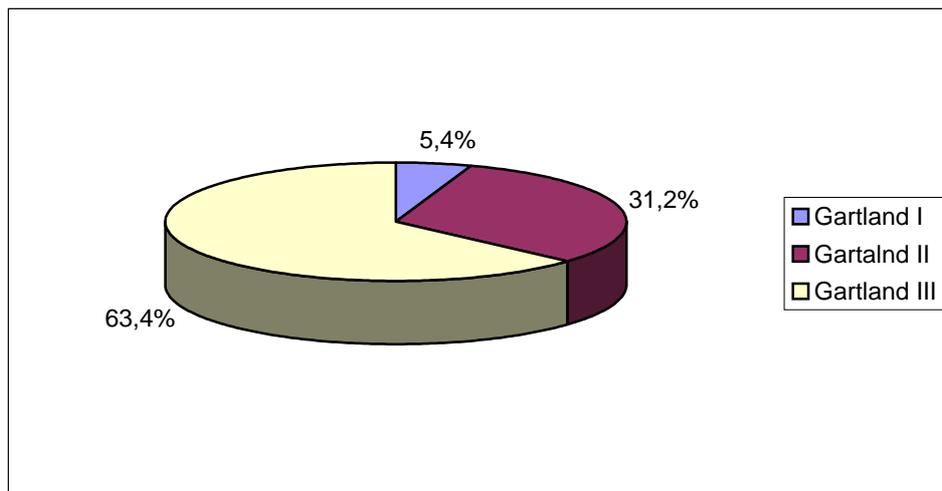
### 5.1.2 Frakturdaten

#### 5.1.2.1 Seitenlokalisation

Der linke Arm war mit 51 (54,8%) der Fälle häufiger als der rechte Arm mit 42 (45,2%) der Fälle betroffen.

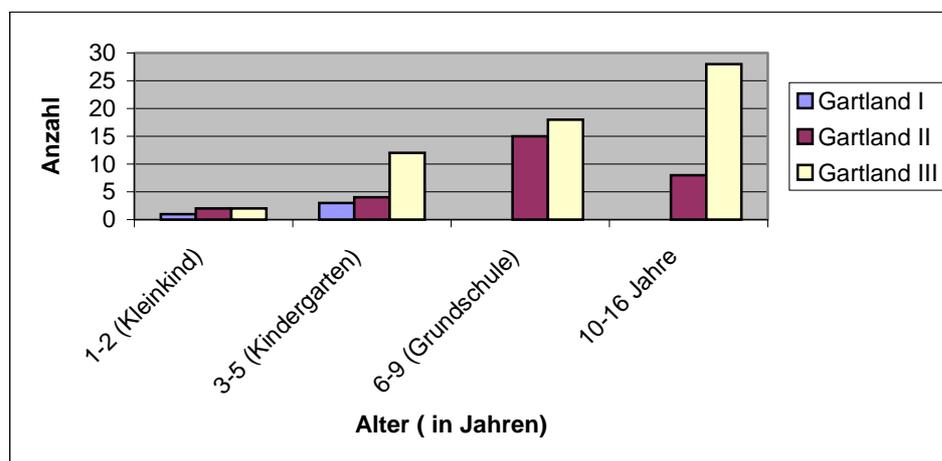
#### 5.1.2.2 Klassifikation

Von den 93 Patienten hatten sich 5 Patienten eine Flexionsfraktur (5,4%) und 88 Patienten eine Extensionsfraktur (94,6%) zugezogen. Nach der Klassifikation nach Gartland überwiegen eindeutig die dislozierten Frakturen (Gartland II und III) gegenüber den undislozierten Frakturen (Gartland I). Der Anteil der undislozierten Frakturen betrug 5,4% (Abb.5-4).



**Abbildung 5-4: prozentueller Anteil des Dislokationsgrades nach Gartland, unterteilt in die drei Gruppen, undisloziert (I), disloziert mit kortikalen Kontakt (II), disloziert ohne kortikalen Kontakt (III), n=93**

Bei der Zuordnung der einzelnen Frakturtypen zu bestimmten Altersgruppen (Abb.5-5) zeigt sich, dass die Schwere der Dislokation von der Altersgruppe abhängt. Im Gegensatz zu denn dislozierten Frakturen (Gartland II und III), die im fortschreitenden Alter immer deutlicher dominieren, traten die undislozierten Frakturen (Gartland I) nur vor dem 5. Lebensjahr auf. Die Unterschiede sind signifikant ( $p=0,028$ ).



**Abbildung 5-5: Schwere der Dislokation in Abhängigkeit der Altersgruppe**

### 5.1.3 Therapie

#### 5.1.3.1 Überblick der therapeutischen Maßnahmen

Alle Patienten wurden innerhalb eines Tages versorgt. Die 5 undislozierten Frakturen (Gartland I) wurden konservativ versorgt, die 88 dislozierten Frakturen (Gartland II und III) durch Kirschnerdrahtosteosynthese. Der stationäre Aufenthalt betrug durchschnittlich  $2 \pm 1,7$  Tage (1-7). Die Metallentfernung erfolgte durchschnittlich  $45,5 \pm 11,5$  Tage (24-77) oder  $6,5 \pm 1,6$  Wochen (3,4-11) nach dem OP-Datum.

#### 5.1.3.2 Kirschnerdrahtosteosynthese

Insgesamt wurden 88 Patienten (94%) der gesamten Patienten durch Kirschnerdrahtosteosynthese behandelt, davon 13 (14,8%) durch geschlossene und 75 (85,2%) durch offene Reposition.

Abbildung 5-6 zeigt die Wahl des Repositionsverfahrens in Abhängigkeit des Dislokationsgrades. Bei den zweitgradig dislozierten Frakturen wurde in 24,1% der Fälle die geschlossene Reposition gewählt, während bei den drittgradig dislozierten Frakturen die geschlossene Reposition nur in 10,2% der Fälle gewählt wurde.

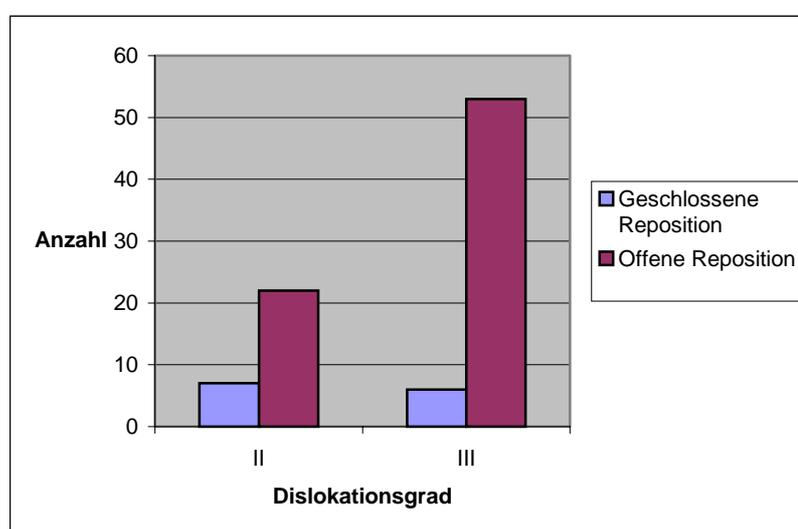


Abbildung 5-6: Dislozierte supracondyläre Humerusfrakturen

Bei der Behandlung der dislozierten supracondylären Frakturen wurde kein Unterschied zwischen Extensions- und Flexionsfrakturen gemacht. Bei den 5 Flexionsfrakturen handelte es sich um dislozierte supracondyläre Frakturen (3x zweitgradig disloziert und 2x drittgradig disloziert), die alle durch Kirschnerdrahtosteosynthese behandelt wurden (2 durch geschlossene Reposition und 3 durch offene Reposition).

#### 5.1.3.3 Revision

Von den 93 Patienten musste bei insgesamt 8 Patienten (8,6%) eine Revision durchgeführt werden, weil die Fraktur sekundär abgerutscht war. Ein Therapiewechsel wurde bei 6 Fällen gewählt. 2 Patienten, die primär konservativ versorgt wurden, wurden anschließend geschlossen reponiert und gespickt, 4 Patienten, die primär geschlossen reponiert wurden, mussten offen reponiert und gespickt werden und bei 2 Patienten, die primär offen reponiert und gespickt wurden, war eine Nachreposition notwendig.

#### 5.1.4 Komplikationen

Wie schon erwähnt (Abschnitt 2.2) kann es bei einer supracondylären Humerusfraktur angesichts der anatomischen Verhältnisse des Oberarmes sowohl primär als auch sekundär zu Verletzungen der Nerven und Gefäße kommen. Vor allem der N. ulnaris ist iatrogen durch das Einbringen der Kirschnerdrähte gefährdet.

##### 5.1.4.1 Nervenläsion

Bei 13 Patienten der insgesamt 93 Patienten (14,0%) traten *primäre Nervenläsionen* auf. 5 mal lag eine Schädigung des N. radialis und 8 mal eine Verletzung des N. medianus vor, wobei 1 der N. interosseus anterior verletzt war (Tab.5-1). Alle Nervenläsionen traten bei dislozierten supracondylären Humerusfrakturen (Gartland III) auf.

In 3 Fällen wurde die primäre Nervenläsion mit einer Gefäßläsion kombiniert. Es handelte sich dabei in 2 Fällen (Patienten 9 und 10, Tab.5-1 und 5-3) um eine funktionelle Läsion und in einem Fall (Patient 8, Tab.5-1 und 5-3) um eine mechanische Läsion der A. brachialis. Die primären Nervenläsionen lagen neben der Gefäßläsion in 2 Fällen mit einer Brachialismuskelläsion kombiniert vor. Charakteristisch ist bei einem Patienten der Zusammenfall von Medianus-, Gefäß- und M. brachialis Läsion (Patient 10, Tab.5-1 und 5-3).

Nur in Ausnahmen wurde von der sofortigen Revision des betroffenen Nervens abgesehen. Der Patient 6 kam mit einer Verzögerung von 2 Tagen in unsere Klinik zur weiteren Therapie. Aufgrund einer extremen Schwellung war eine sofortige operative Versorgung nicht möglich, so dass abschwellende Maßnahmen eingeleitet wurden und eine verzögerte Osteosynthese mittels offener Reposition und Kirschnerdrahtspickung vorgenommen wurde. Postoperativ bestand weiterhin ein N. interosseus anterior Syndrom, das elektromyographisch gesichert wurde. Nach 6 Wochen zeigten neurologische Kontrollen eine zunehmende Remission der Symptomatik, so dass auf eine operative Revision mit Freilegung des Nervens und Neurolyse verzichtet wurde. Auch bei den Patienten 7, 12 und 13 wurde auf eine Revision des betroffenen Nervens verzichtet, allerdings sind keine weiteren Angaben in den Krankengeschichten vorhanden.

**Tabelle 5-1: Tabellarische Übersicht der Patienten mit supracondylärer Humerusfraktur mit begleitender Nervenläsion, n: 13**

Nr.	Präop. Befund	Therapie	Prim. Nervenläsion	Therapie Nervenläsion	d.	Postop. Verlauf
1	Motorische Radialisparese, Sensibilität regelrecht	OR+/KD	Kontusion	Keine		Rückbildung d. Symptomatik
2	Sensibilitätsstörung im Bereich d. N. radialis	OR+/KD	-	-		Regelrechte Motorik und Sensibilität
3	Parese DI (Streckung nicht möglich)	OR+/KD	Kontusion	Neurolyse		Rückbildung d. Symptomatik
4	Sensibilitätsstörung im Bereich d. N. radialis	OR+/KD	-	Neurolyse		komplikationslos
5	Radialisausfallssymptomatik	OR+/KD	Keine	Keine		Rückbildung d. Symptomatik
6	Aufhebung der Beugung in den Endgelenken bei DI u. DII, erhaltene Sensibilität	OR/KD	N. interosseus anterior Syndrom	EMG/neurologische Kontrolle		Vollständige Remission
7	Medianusausfallssymptomatik	OR/KD	-	-		Rückbildung d. Symptomatik
8	Sensibilitätsstörung im Bereich d. N. medianus	OR+/KD	Keine	Keine		Rückbildung d. Symptomatik
9	Medianusausfallssymptomatik	OR+/KD	Keine	Keine		Rückbildung d. Symptomatik
10	Medianusausfallssymptomatik	OR+/KD	Keine	Keine		Rückbildung d. Symptomatik
11	Asensibilität DI bis DIII	OR+/KD	-	Neurolyse		Rückbildung d. Symptomatik
12	Sensibilitätsstörung im Bereich d. N. medianus, Faustschluß möglich	OR/KD	-	-		komplikationslos
13	Beugeinsuffizienz d. DI u. DII, Kribbelparästhesien im Bereich d. N. medianus	OR/KD	Irritation d. N. medianus	Neurologisches Konsil		Regelrechte Motorik und Sensibilität

**KD: Kirschnerdrahtspickung, GR: geschlossene Reposition, OR: offene Reposition, OR+: offene Reposition mit Nervendarstellung, -: weitere Beschreibungen nicht vorhanden**

Insgesamt waren 5 Patienten (5,4%) in unserem Patientenkollektiv von einer sekundären Nervenläsion betroffen, 4 supracondyläre Humerusfrakturen ließen sich nach Gartland III und 1 nach Gartland I klassifizieren. In einem Fall handelte es sich um eine schwellungsbedingte N. radialis Läsion, in einem Fall um eine N. ulnaris Schädigung und in drei Fällen um eine N. medianus Schädigung. Bei den durch Kirschnerdrahtspickung versorgten Frakturen mit sekundärer Nervenläsion wurde in der Hälfte der Fälle eine Revision des

betroffenen Nervens und in der anderen Hälfte neurologische und/oder klinische Kontrollen durchgeführt (Tab.5-2).

**Tabelle 5-2: Tabellarische Übersicht der Patienten mit supracondylärer Humerusfraktur mit sekundärer Nervenläsion, n: 5**

Nr.	Therapie d. #	Postop. Befund	Therapie d. sek. Nervenläsion	Verlauf
1	OR/KD	Ulnaris Läsion	Neurologisches Konsil	vollständige Remission
2	GR/KD	Sensibilitätsstörungen im Bereich d. N. medianus	Klinische Kontrollen	vollständige Remission
3	GR/KD	Sensibilitätsstörungen im Bereich d. N. medianus, inkompletter Faustschluß	Neurolyse des im narbigen Bindegewebes eingewachsenen N. medianus	Rückbildung der Symptomatik
4	OR/KD	Sensibilitätsstörungen im Bereich d. N. medianus	Neurolyse des im narbigen Bindegewebes eingewachsenen N. medianus	Rückbildung der Symptomatik
5	Konservativ durch OA- Gips	Vollständige Radialisparese, keine Sensibilitätsstörung	Hochlagerung und Kühlung d. Armes, Anlage eines Oberarmscotchcastes, neurologisches Konsil, Prüfung d. NLG und EMG	Vollständige Remission

**#:** supracondyläre Humerusfraktur, **KD:** Kirschnerdrahtspickung, **GR:** geschlossene Reposition, **OR:** offene Reposition, **OR+:** offene Reposition mit Nervendarstellung, **-:** weitere Beschreibungen nicht vorhanden

Wird nicht zwischen primären und sekundären Nervenläsionen unterschieden, so wurde insgesamt der N. radialis sechs (6,5%) mal der N. ulnaris ein (1,1%) und der N. medianus inklusive des N. anterior interosseus 11 (11,8%) mal verletzt. In allen Fällen kam es zu einer vollständigen Remission der jeweiligen Symptomatik.

#### 5.1.4.2 Gefäßläsion

Bei insgesamt 11 (11,8%) der Patienten konnte eine primäre Gefäßläsion festgestellt werden (Tab.5-3). Davon waren zwei, wie in dem vorhergehenden Kapitel (4.1.8.1) dargestellt, mit einer Nervenläsion und eine mit einer Brachialis-muskelläsion vergesellschaftet. Die supracondylären Humerusfrakturen, bei denen eine A. brachialis Läsion auftrat, ließen sich alle nach Gartland III klassifizieren.

Einen passageren dislokationsbedingten Gefäßverschluss konnte bei den Patienten 2, 3, 5 und 11 beobachtet werden. Die streckseitige offene Reposition sowie die geschlossene Reposition bei Patienten 5 mit Kirschnerdrahtspickung führte zur Pulswiederkehr, eine gefäßchirurgische Intervention war nicht erforderlich.

Ein funktioneller Gefäßverschluß lag bei den Patienten 9 und 10 vor. Nach der offenen Reposition von dorsal und der Stabilisierung der Fraktur durch Kirschnerdrähte konnte in beiden Fällen kein Puls palpirt werden, so dass eine Gefäßrevision von cubital durchgeführt wurde, bei der ein ausgeprägter Gefäßspasmus festgestellt wurde. Zur Lokalspasmolyse wurde Xylocain in beiden Fällen auf die A. brachialis geträufelt, wonach die Pulsation der Gefäße wieder einsetzte.

Bei den Patienten 1, 4, 6, 7 und 8 lagen mechanisch bedingte Gefäßverschlüsse vor, wobei es sich um folgende Ursachen handelte:

- Äußere Kompression der A. brachialis: Bei den Patienten 1 und 8 wurde die A. brachialis durch Adventitiagewebe eingeklemmt. Nach Spaltung des Lazertus fibrosus und bei Patienten 8 mit zusätzlicher Spaltung der Faszie antebrachii kam es in beiden Fällen zur Pulswiederkehr.
- Abknickung der A. brachialis: Bei dem Patienten 6 führte eine Abknickung der A. brachialis primär zum Verlust der peripheren Pulse, so dass eine Revision von cubital durchgeführt wurde. Wegen der intraoperativen Verschlechterung des Pulses und dem Verdacht einer begleitenden umschriebenen Thrombose wurde die A. brachialis arteriotomiert, wobei keine Intimaläsion und kein intraarterieller Thrombus gefunden werden konnte.
- Durchtrennung der A. brachialis: Bei den Patienten 4 und 7 lag die sehr seltene vollständige Zerreißung der A. brachialis vor, die in beiden Fällen zu einer Pulslosigkeit ohne ausreichende Ruhedurchblutung der Hand führte. Bei dem Patienten 4 wurde daraufhin eine arterielle End- zu- End Anastomose durchgeführt. Im Anschluß waren die Handgelenkspulse tastbar und die Extremität rosig und warm. Bei dem Patienten 7 wurde ein Veneninterponat zur Überbrückung des arteriellen Defektes eingenäht. Durch eine Disulfid- Blau Injektion wurde die Perfusion überprüft, der postoperative Verlauf gestaltete sich ungestört.

In keinem Fall der 11 Patienten kam es zu der in der Literatur beschriebenen Reokklusion der A. brachialis nach Revision durch Thrombosen (Kelsch et al., 1999; Sabharwal et al., 1997) oder zu einer Volkmann-Ischämie mit der späteren Folge einer Volkmann-Kontraktur.

**Tabelle 5-3: Tabellarische Übersicht der Patienten mit supracondylärer Humerusfraktur mit begleitender Gefäßkomplikation, n: 11**

Nr	Präop. Befund: Puls/Doppler/anderes	Therapie	Befund n. Reposition: Puls/Doppler	Läsion d. A. brachialis	Therapie d. vaskulären Läsion	Postop. Befund: Puls/Doppler/anderes
1	-/+	OR+/KD	+/Ø	Kompression	Spaltung d. Lazertus fibrosus	+/Pulsoxymeter 100% Sättigung
2	-/+	OR/KD	+/Ø	Keine	Keine	+/Ø/Pulsoxymeter 100% Sättigung
3	-/+	OR/KD	+/Ø	Keine	Keine	+/Ø
4	-/-	OR+/KD	-/Ø	Durchtrennung	Art. Anastomose	+/Ø
5	-/+	GR/KD	+/+	Keine	Keine	+/+
6	-/+	OR+/KD	+/Ø	Abknickung	Arteriotomie w. intraop. Ver- schlechterung d. Pulse	+/Ø
7	-/Ø	OR+/KD	-/Ø	Durchtrennung	Venen- interponat	+/Ø/Disulfid- Blau Injektion
8	-/Ø	OR+/KD	-/Ø	Kompression	Spaltung d. Lazertus fibrosus u.d. Faszie antebrachii	+/Ø
9	-/Ø	OR+/KD	-/Ø	Spasmus	Xylocain Lsg.	+/Ø/Pulsoxymeter 100% Sättigung
10	-/Ø	OR+/KD	-/Ø	Spasmus	Xylocain Lsg.	+/Ø
11	-/Ø	OR/KD	+/Ø	Keine	Keine	+/Ø

**KD: Kirschnerdrahtspickung, GR: geschlossene Reposition, OR: offene Reposition, OR+: offene Reposition mit Gefäßdarstellung von cubital, -: kein Puls, kein Signal in der Doppleruntersuchung, +: Puls tastbar, Signal in der Doppleruntersuchung, Ø: Untersuchung nicht durchgeführt**

#### 5.1.4.3 Offene Fraktur

Fünf Patienten (5,4%) erlitten eine offene Fraktur, die alle bei dislozierten Frakturen auftraten (4 x Gartland III Frakturen und 1 x Gartland II Fraktur). Es traten keine begleitenden Gefäß- und Nervenschädigungen auf. Die Behandlung bestand in der offenen Reposition und Kirschnerdrahtspickung.

#### 5.1.4.4 Infekt

Bei 2 (2,2%) der 93 Patienten konnte eine Infektion beobachtet werden, die bei drittgradig dislozierten Frakturen mit Weichteilschaden auftrat. In einem Fall handelte es sich um eine Infektion des radialen Kirschnerdrahtes, die nach der Metallentfernung folgenlos abheilte. In dem anderen Fall lag eine supracondyläre Humerusfraktur im Rahmen eines Polytraumas vor, das durch die Antriebswelle eines Traktors verursacht wurde und mit einer ausgedehnten Hautweichteilnekrose des gesamten Armes verbunden war. Der postoperative Verlauf wurde durch die Hautweichteilnekrose, die erschwerend mit einem multiresistenten Keim besiedelt wurde und zu einer Infektpseudarthrose führte, geprägt.

#### 5.1.4.5 Zusammenfassung der perioperative Komplikationen

Insgesamt traten in 13 (14,0%) der Fälle perioperative Komplikationen (Revision, Infektion, iatrogene Nervenläsionen) auf. Werden die Fälle, in denen eine Revision notwendig war, nicht berücksichtigt, so vermindert sich das Auftreten der Komplikationen auf 7 (7,5%) Fälle. Der Unterschied zwischen dem Auftreten von Komplikationen nach Kirschnerdrahtspickung in Abhängigkeit von geschlossener oder offener Reposition war nicht signifikant ( $p=0,096$ ). Zwar zeigen die Zahlen eine Tendenz dafür, dass die offene Reposition mit weniger Komplikationen verbunden ist als die geschlossene Reposition, wegen der insgesamt kleinen Fallzahl der Komplikationen lässt sich diese Aussage jedoch nicht untermauern (Tab.5-4).

**Tabelle 5-4: Komplikationen nach Kirschnerdrahtspickung in Abhängigkeit von geschlossener und offener Reposition, n=88**

		GR	OR	Gesamt
Komplikationen	Ja	4	9	13
	Nein	9	66	75
Gesamt		13	75	88

**GR: geschlossene Reposition; OR: offene Reposition**

Werden die Komplikationen einzeln betrachtet, so sind die absoluten Zahlen zu klein, um eine allgemeingültige Aussage treffen zu können (Tab.5-5).

**Tabelle 5-5: Komplikationen nach Kirschnerdrahtspickung in Abhängigkeit von geschlossener und offener Reposition, n=88**

Komplikationen		GR	OR	Gesamt	Fisher Test
Revision	Anzahl	2	4	6	0,685
Infektion	Anzahl	0	2	2	0,482
Iatrogene Nervenläsion	Anzahl	2	3	5	0,999
Gesamt	Anzahl	4	9	13	1,000

**GR: geschlossene Reposition; OR: offene Reposition**

## 5.2 DARSTELLUNG DER SPÄTERGEBNISSE

Von den insgesamt 93 Patienten konnten 76 Patienten (81,7%) nachuntersucht werden, davon 9 durch Fragebogenauswertung. Bei dieser Betrachtung bleiben folgende Patienten unberücksichtigt:

- 14 Patienten waren unbekannt verzogen.
- Ein Patient und dessen Eltern waren nicht bereit an der Untersuchung teilzunehmen.
- Ein Patient war inzwischen verstorben.
- Ein Patient hatte einen so großen Weichteildefekt, dass dieser zu einer narbigen Kontraktur führte, die die Bewegungsausmaße des Ellenbogens stark beeinträchtigte.

Das Zeitintervall zwischen OP und Nachuntersuchung im Durchschnitt 9,6 Jahre  $\pm$ 6,3 (0,7-20).

**Tabelle 5-6: Demographischen Daten der nachuntersuchten Patienten, n=76**

durchschnittliches Alter	7,7 Jahre $\pm$ 3,5 (0,5-16)	%
♀	46	60,5
♂	30	39,5
Rechte Seite	32	42,1
Linke Seite	44	57,9
Extensionsfraktur	71	93,4
Flexionsfraktur	5	6,6
Gartland I Fraktur	5	6,6
Gartland II Fraktur	23	30,3
Gartland III Fraktur	48	63,1
Neurovaskuläre Begleitverletzungen	24	31,6
Konservative Versorgung	5	6,6
Operative Versorgung	71	93,4

### 5.2.1 Bewegungseinschränkungen

Die Bewegungseinschränkungen werden getrennt nach Beugung und Streckung bzw.

Überstreckung dargestellt. Eine Myositis ossificans traumatica konnte in keinem Fall festgestellt werden.

#### 5.2.1.1 Beugedefizit

Die Beurteilung der Ellenbogengelenksbeweglichkeit ergab im Vergleich zum gesunden Arm ein durchschnittliche Flexionsdefizit von  $7,2^\circ \pm 6,4$  (0-33). Tabelle 5-7 zeigt das Beugedefizit in Abhängigkeit der Therapiemethode und damit auch dem Schweregrad der Fraktur. Die Differenz zum unverletzten Arm wird in Grad dargestellt. Es wurden vier Klassen nach *Flynn* gebildet.

**Abbildung 5-7: Beugedefizit in Abhängigkeit der Therapiemethode, n=76**

			Sehr gut	gut	Schlecht	Gesamt
konservativ		Anzahl	5	0	0	5
		% von Zeile	100%	0%	0%	100%
		% von Spalte	7,7%	0%	0%	6,6%
Operativ	GR	Anzahl	8	2	0	10
		% von Zeile	80,0%	20,0%	0%	100%
		% von Spalte	12,3%	22,2%	0%	13,2%
	OR	Anzahl	52	7	2	61
		% von Zeile	85,2%	11,5%	3,3%	100%
		% von Spalte	80,0%	77,8%	100%	85,9%
Gesamt		Anzahl	65	9	2	76
		% von Zeile	85,5%	11,9%	2,6%	100%
		% von Spalte	100%	100%	100%	100%

**GR: geschlossene Reposition; OR: offene Reposition; sehr gut: 0-5°; gut: 5-10°; befriedigend: 10-15°; schlecht: >15°**

Demnach ist die Beugung bei 74 (97,4%) der Patienten als gut oder sehr gut zu beurteilen, wobei alle undislozierten Frakturen, die konservativ behandelt wurden, eine sehr gute Beurteilung zeigten. Bei den durch geschlossene Reposition und Kirschnerdrahtspickung behandelten Patienten konnten die Beugefähigkeit bei 8 Patienten (80%) als sehr gut und bei 2 Patienten (20%) als gut beurteilt werden. Bei der durch offenen Reposition und

Kirschnerdrahtspickung behandelten Patienten wurde die Beugefähigkeit in 52 Fällen (85,2%) als sehr gut, in 7 Fällen (11,5%) als gut und in 2 Fällen (3,3%) als schlecht beurteilt.

Bei den 2 Patienten mit einer schlechten Beurteilung handelte es sich um drittgradig dislozierte Frakturen, die beide in Bauchlagerung durch den dorsalen Zugang reponiert und anschließend gespickt wurden.

Im ersten Fall konnten laut OP- Bericht große Trümmerzonen beugeseitig nicht mitgefasst werden. Die Abbildungen 5-7 bis 5-10 zeigen das Unfallbild, den postoperativen Verlauf und die konsolidierte supracondyläre Humerusfraktur ca. ½ Jahr nach der Metallentfernung. Auf allen Röntgenbildern lässt sich ein großer beugeseitiger Fixationskallus erkennen, der für die Beugeeinschränkung verantwortlich ist.



**Abbildung 5-7: Unfallbild: Gartland III  
Fraktur**



Abbildung 5-8: postoperativer Verlauf



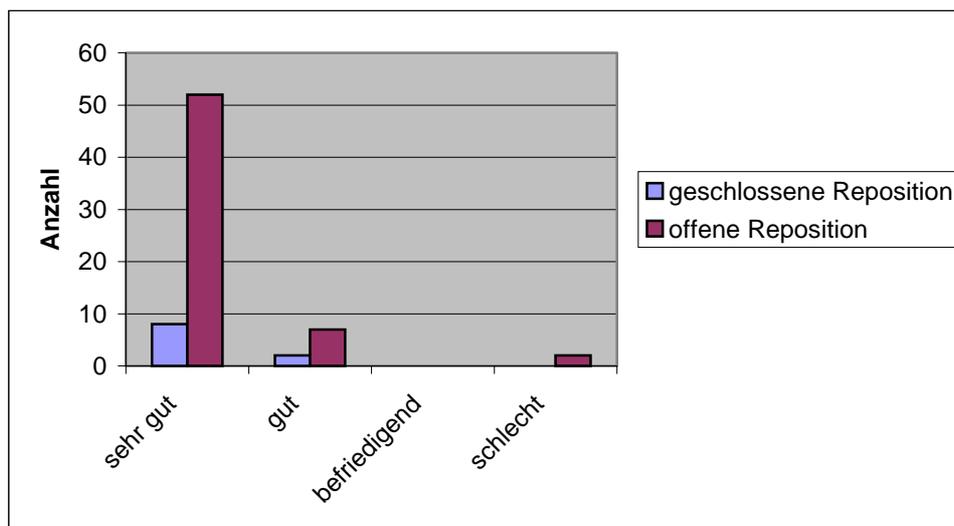
**Abbildung 5-9: konsolidierte supracondyläre Humerusfraktur ca. ½ Jahr nach der Metallentfernung**

Im zweiten Fall kam es trotz im OP- Bericht beschriebenen regelrechter anatomischer Verhältnisse und intensiver Krankengymnastik zu einer Beugeinschränkung. Die Kontrollröntgenbilder der Nachuntersuchung nach 20 Jahren zeigen eine leichte Extensionsstellung des Capitulum, welches von der Rogerslinie im vorderen Bereich gekreuzt wird (Abb.5-10). Allerdings ist die Schwere der Beugeinschränkung des Patienten nicht durch die leichte Extensionsstellung zu erklären, auch narbige Veränderungen könnten eine Rolle spielen, wobei bei einem dorsalen Zugang eher eine Streckhemmung zu erwarten gewesen wäre.



**Abbildung 5-8: Kontrollröntgenbilder in lateraler und a.-p. Projektion. Die Rogerslinie kreuzt auf der lateralen Projektion das Capitulum im vorderen Bereich**

Abbildung 5-11 stellt die Beugefähigkeit im Vergleich zum nicht betroffenen Arm nach geschlossener oder offener Reposition und Kirschnerdrahtspickung gegenüber. Die Unterschiede waren nicht signifikant ( $p=0,712$ ), wobei durch die kleine Fallzahl die Aussagekraft eingeschränkt wird.



**Abbildung 5-11: Beugefähigkeit nach Kirschnerdrahtspickung, geschlossene oder offene Reposition; sehr gut: 0-5°; gut: 5-10°; befriedigend: 10-15°; schlecht: <15°**

#### 5.2.1.2 Streckdefizit bzw. Überstreckbarkeit

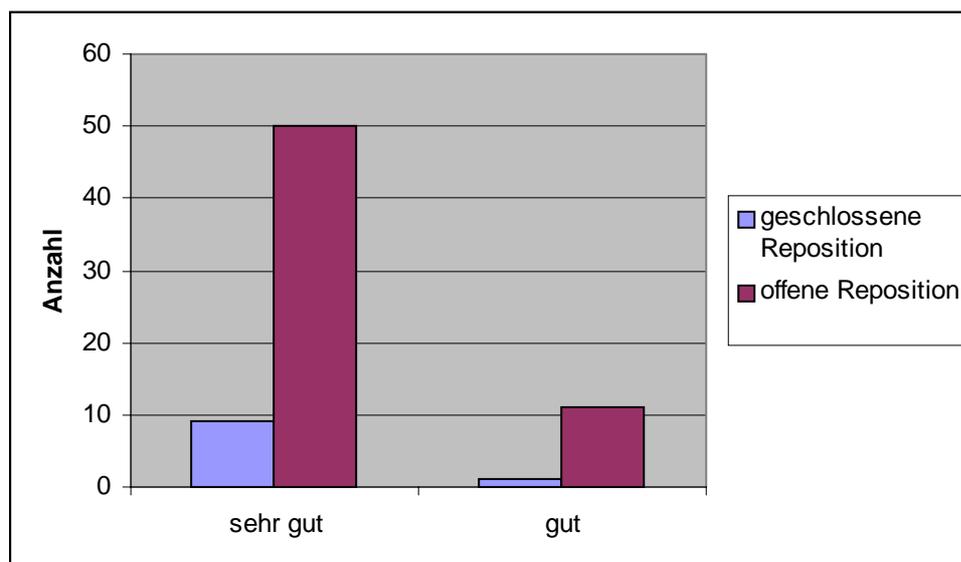
Das durchschnittliche Extensionsdefizit bzw. Überstreckbarkeit betrug  $4,8^\circ \pm 5,5$  (0-15). Alle Patienten konnten den Arm gut oder sehr gut strecken, keiner befriedigend oder schlecht (Tab.5-8).

Tabelle 5-8: Streckdefizit bzw. Überstreckbarkeit in Abhängigkeit der Therapiemethode, n=76

Therapie			Sehr gut	Gut	Gesamt
konservativ		Anzahl	5	0	5 (6,5%)
		% in Zeile	100%	0%	100%
		% in Spalte	7,8%	0%	6,6%
Operativ	GR	Anzahl	9	1	10
		% in Zeile	90,0%	10%	100%
		% in Spalte	14,1%	8,3%	13,2%
	OR	Anzahl	50	11	61
		% in Zeile	82,0%	18,0%	100,0%
		% in Spalte	78,1%	91,7%	80,3%
Gesamt		Anzahl	64	12	76
		% in Zeile	84,2%	15,8%	100%
		% in Spalte	100%	100%	100%

**GR:** geschlossene Reposition; **OR:** offene Reposition; **sehr gut:** 0-5°; **gut:** 5-10°; **befriedigend:** 10-15°; **schlecht:** <15°

Abb.5-12 stellt die Streckfähigkeit im Vergleich zum nicht betroffenen Arm nach geschlossener oder offener Reposition und Kirschnerdrahtspickung gegenüber.



**Abbildung 5-12: Streckfähigkeit nach Kirschnerdrahtspickung, geschlossene oder offene Reposition; sehr gut: 0-5°; gut: 5-10°**

Die Unterschiede waren nicht signifikant ( $p=1,000$ ), wobei durch die kleine Fallzahl die Aussagekraft eingeschränkt wird.

#### 5.2.1.3 Pro- und Supination des Unterarmes

Bei keinem der behandelten Kinder mit einer supracondylären Humerusfraktur fand sich eine Einschränkung der Drehbeweglichkeit des Unterarmes bzw. der Hand.

#### 5.2.2 Ellenbogenachse

Bei der Nachuntersuchung wiesen 69 (90,8%) der Patienten eine symmetrische Armachse im Vergleich zur Gegenseite auf. 7 (9,2%) der Patienten wiesen eine nicht symmetrische Armachse auf, davon konnten 6 (7,9%) als gut und 1 (1,3%) als schlecht beurteilt werden (Tab.5-9). Die durchschnittliche Abweichung der Armachse zum unverletzten Arm betrug  $7,3^\circ \pm 5,7$  (0-30).

**Tabelle 5-9: Cubitalwinkwinkel im Seitenvergleich zum unverletzten Arm in Abhängigkeit der Therapiemethode, n=77**

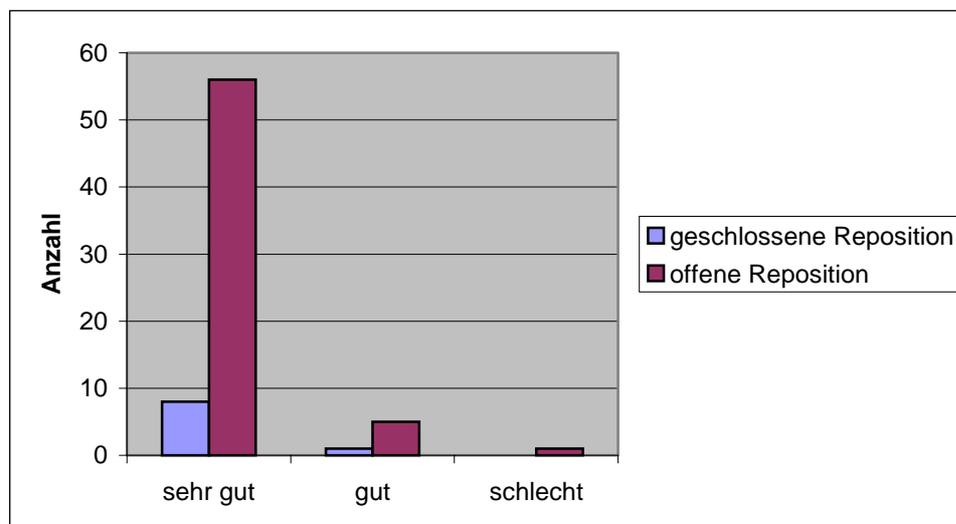
			Sehr gut	Gut	Schlecht	Gesamt
Konservativ		Anzahl	5	0	0	5
		% in Zeile	100%	0%	0%	100%
		% in Spalte	7,2%	0%	0%	7,2%
Operativ	GR	Anzahl	8	2	0	10
		% in Zeile	80,0%	20,0%	0%	100%
		% in Spalte	11,6%	16,7%	0%	11,8%
	OR	Anzahl	56	4	1	61
		% in Zeile	90,3%	8,1%	1,6%	100%
		% in Spalte	81,2%	83,3%	100%	81,6%
Gesamt (%)		Anzahl	69	6	1	76
		% in Zeile	90,8%	7,9%	1,3%	100%
		% in Spalte	100%	100%	100%	100%

**sehr gut: 0-5°; gut: 5-10°; befriedigend: 10-15°; schlecht: <15°**

Bei den Achsfehlstellungen handelte es sich in 6 Fällen um einen Cubitus varus und in 1 Fall um einen Cubitus hypervalgus, die alle bei dislozierten Frakturen (1x zweitgradig und 6x drittgradig) auftraten. Das durchschnittliche Alter der Patienten, die einen Cubitus varus oder valgus aufwiesen, betrug  $7,8 \pm 4,3$  Jahre (0,5-16).

Bei dem Patienten mit einer schlechten Beurteilung der Ellenbogenachse im Vergleich zur Gegenseite handelte es sich um einen 11-jährigen Jungen, der vom Skateboard gefallen war und der sich eine drittgradig dislozierte Humerusfraktur mit einer gleichzeitigen ipsilateralen distalen Radiusfraktur zugezogen hatte. Die supracondyläre Humerusfraktur wurde durch offene Reposition und Kirschnerdrahtspickung versorgt (siehe Fallbeispiel).

Abbildung 5-13 zeigt die Ergebnisse nach Kirschnerdrahtspickung abhängig vom Repositionsverfahren. Die Unterschiede sind nicht signifikant. ( $p=0,630$ ), wobei durch die kleine Fallzahl die Aussagekraft eingeschränkt wird.



**Abbildung 5-13 Achsenabweichung nach Kirschnerdrahtspickung, geschlossene oder offene Reposition; sehr gut: 0-5°; gut: 5-10°**

#### 5.2.2.1 Fallbeispiel: Cubitus varus

Der 11-jährige Junge stürzte vom Skateboard auf den ausgestreckten rechten Arm. Bei Aufnahme in die Klinik zeigte sich der Ellenbogen disloziert und bläulich verfärbt sowie eine deutliche palmare Schwellung des Handgelenkes. Die sofortige Überprüfung der Sensibilität der Hand und der Durchblutung inklusive Radialispuls ergab ungestörte Verhältnisse. Pulsoxymetrisch betrug die Sättigung 100%. Die umgehende Röntgendiagnostik zeigte eine drittgradig dislozierte Humerusfraktur und eine ipsilaterale, dislozierte distale Radiusfraktur.

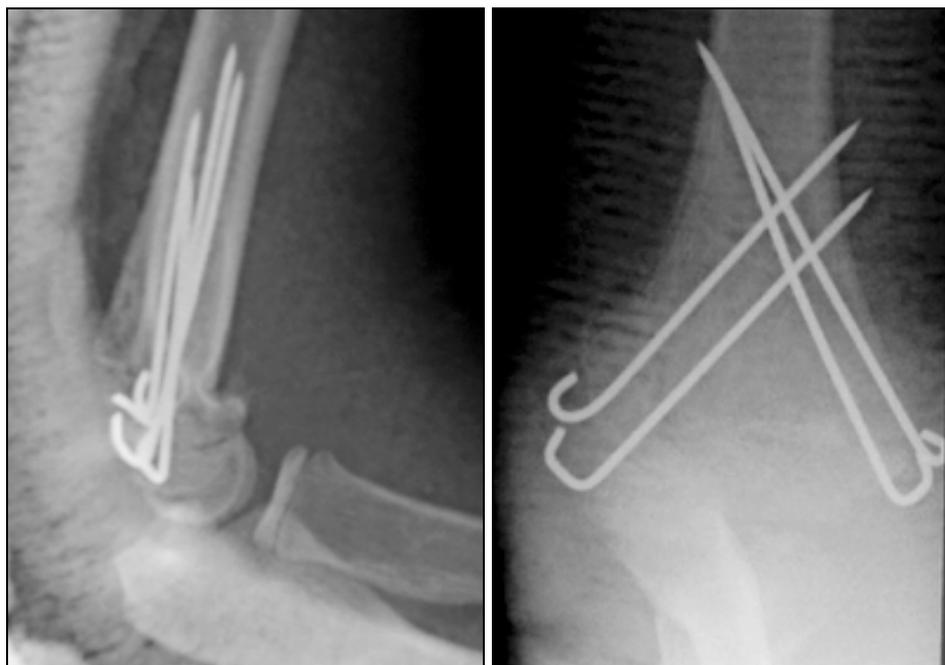
Die supracondyläre Humerusfraktur wurde in Bauchlage geschlossen reponiert und mit 4 K-Drähten gespickt. Anschließend wurde die distale Radiusfraktur geschlossen reponiert. Es folgte die intraoperative Anlage einer Oberarmgipsschiene (Abb.5-14).

Postoperativ entwickelten sich aufgrund erheblicher Weichteilschwellung multiple Spannungsblasen. Es zeigte sich jedoch kein Anhalt für einen Infekt oder ein Kompartmentsyndrom. Unter abschwellenden Maßnahmen besserte sich langsam der Befund.

Nach 5 Wochen erfolgte die Metallentfernung, die problemlos durchgeführt werden konnte. Auf Wunsch der Mutter des Patienten wurde aktive karnkengymnastische Therapie rezeptiert.

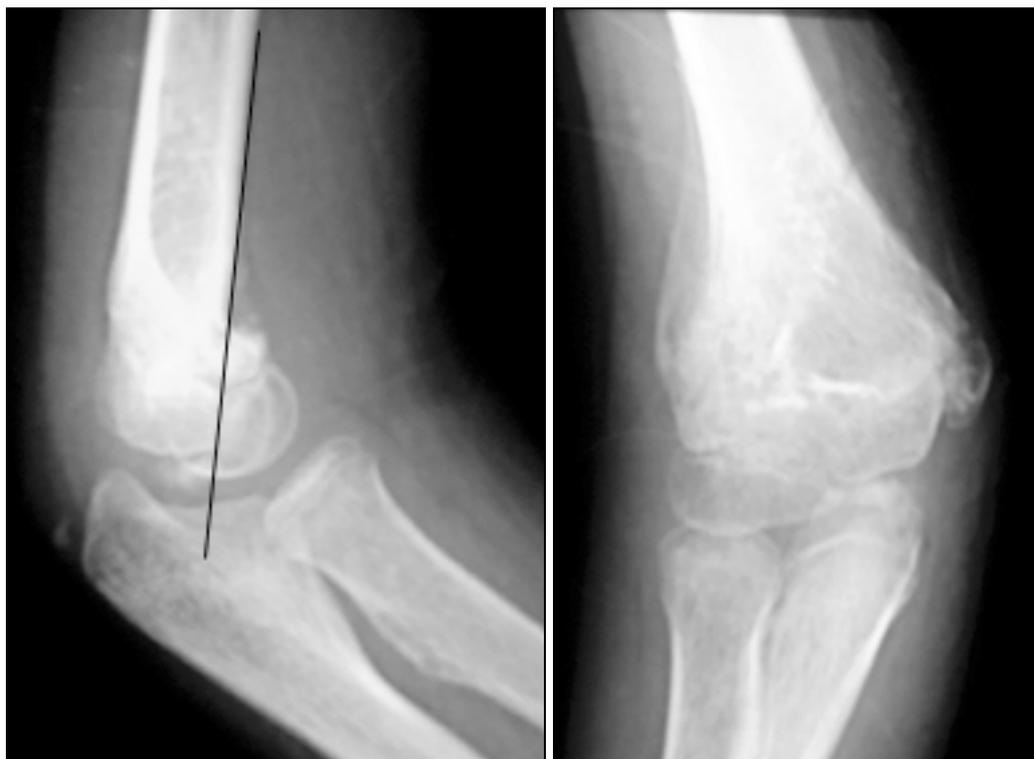
Bei der Nachuntersuchung zeigte sich, dass der frakturierte Arm in der Extension um  $8^\circ$  eingeschränkt war und eine Abweichung der Ellenbogenachse  $>15^\circ$  im Vergleich zur Gegenseite aufwies. Die Narbenverhältnisse waren regelrecht, Sensibilitäts- oder Durchblutungsstörungen konnten nicht gefunden werden. Auf den Röntgenbildern der Nachuntersuchung zeigt sich im Seitenbild eine Flexionsstellung des Capitulum, die das Streckdefizit erklärt. Auch die Varusstellung des distalen Fragmentes ist auf dem a.-p. Bild erkennbar (Abb.5-15).







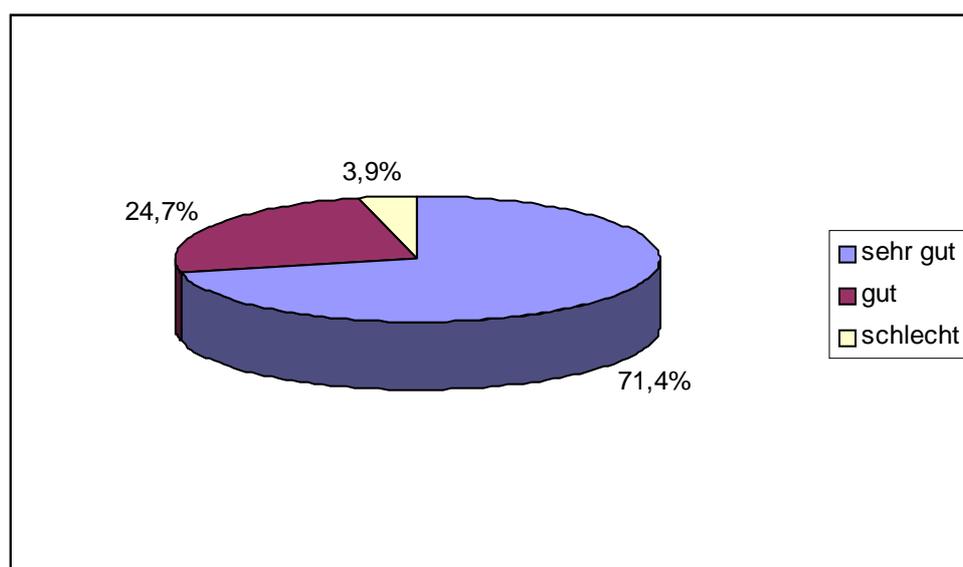
**Abbildung 5-14: Versorgung der supracondylären Humerusfraktur und der distalen Radiusfraktur**



**Abbildung 5-15: Röntgenbilder  
der Nachuntersuchung**

### 5.2.3 Bewertung der Ergebnisse nach Flynn

Insgesamt traten in 96,1% der Fälle gute bis sehr gute Ergebnisse nach der Beurteilung nach Flynn auf. 3 (3,9%) drittgradig dislozierte Frakturen, die offen reponiert und gespickt wurden, wiesen eine schlechte Beurteilung auf. Kein Fall wurde als befriedigend beurteilt (Abb.5-16).



**Abbildung 5-16: Ergebnisse nach Flynn, n=76**

Die Bewertung der Therapieergebnisse nach Flynn (Abschnitt 4.5) wird einmal in Abhängigkeit des Dislokationsgrades nach Gartland und einmal in Abhängigkeit des Therapiemethode dargestellt. (Tab.5-14 und Tab.5-15). Die Unterschiede waren weder signifikant hinsichtlich des Dislokationsgrades ( $p=0,561$ ) noch hinsichtlich des Repositionsverfahrens vor Kirschnerdrahtspickung. ( $p=0,648$ ).

**Tabelle 5-14: Ergebnisse, bewertet nach Flynn, in Abhängigkeit des Dislokationsgrades nach Gartland, n=76**

Gartland		Sehr gut	Gut	Schlecht	Gesamt (%)
I	Anzahl	5	0	0	5
	% in Zeile	00%	0%	0%	100%
	% in Spalte	9,1%	0%	0%	6,5%
II	Anzahl	16	7	0	23
	% in Zeile	69,6%	30,4%	0%	100%
	% in Spalte	29,1%	36,8%	0%	29,9%
III	Anzahl	34	11	3	48
	% in Zeile	69,4%	24,5%	6,1%	100%
	% in Spalte	61,8%	63,2%	100%	63,6%
Gesamt(%)	Anzahl	55	18	3	76
	% in Zeile	71,4%	24,7%	3,9%	100%
	% in Spalte	100%	100%	100%	100%

**KD: Kirschnerdrahtosteosynthese, GR: geschlossene Reposition; OR: offene Reposition; sehr gut: 0-5°; gut: 5-10°; befriedigend: 10-15°; schlecht: 15°**

Tabelle 5-15: Ergebnisse, bewertet nach Flynn, in Abhängigkeit der Behandlungsmethode, n=76

Therapie			Sehr gut	Gut	Schlecht	Gesamt
Konservativ		Anzahl	5	0	0	5
		% in Zeile	100%	0%	0%	100%
		% in Spalte	9,1%	0%	0%	6,5%
Operativ	GR	Anzahl	6	4	0	10
		% in Zeile	60%	40%	0%	100%
		% in Spalte	10,9%	21,1%	0%	13,0%
	OR	Anzahl	44	14	3	61
		% in Zeile	71,4%	24,2	4,8%	100%
		% in Spalte	80,0%	78,9%	100%	80,5%
Gesamt		Anzahl	55	18	3	76
		% in Zeile	71,4%	24,7%	3,9%	100%
		% in Spalte	100%	100%	100%	100%

**GR: geschlossene Reposition; OR: offene Reposition; sehr gut: 0-5°; gut: 5-10°; befriedigend: 10-15°; schlecht: <15°**

Das durchschnittliche Alter der Patienten mit guten bis sehr guten Ergebnissen betrug 7,7 Jahre  $\pm$  3,5 (0,5-16) und das der Patienten mit schlechten Ergebnissen 9,3 Jahre  $\pm$  4,2 (6-14).

#### 5.2.4 Armlängendifferenz

Bei einer Armlängendifferenz muß davon ausgegangen werden, dass die Wachstumsfugen des Ober- oder Unterarmes direkt durch das Trauma oder später durch die Therapie geschädigt wurden. Eine relative Verkürzung des betroffenen Armes kann bei Patienten auftreten, die einen Cubitus varus oder valgus aufweisen. Bei vier Patienten (5,2%) trat eine Armlängendifferenz auf, die durchschnittliche 0,3 cm  $\pm$  0,8 (0-0,7) betrug. Es handelte sich um Gartland III Frakturen, die offen reponiert und gespickt wurden.

### 5.2.5 Muskelatrophie

Bei den Umfangmessungen am Oberarm ergaben sich bei 3 Patienten Umfangdifferenzen von 1 bis 2 cm, die sich durch den verstärkten Muskeleinsatz des dominanten Armes erklären. Ein geringerer Umfang des betroffenen Armes konnte nicht eindeutig auf die Verletzung zurückgeführt werden. Bei den Umfangmessungen an der Ellenbogenmitte zeigte sich bei 3 Patienten eine Seitendifferenz von 1 bis 2 cm, wobei der betroffene Arm einmal dicker und zweimal dünner als der nicht betroffene Arm war. Die Umfangmessungen am Unterarm ergaben keine nennenswerte Differenz zum kontralateralen nicht betroffenen Arm.

### 5.2.6 Subjektive Beschwerden

#### 5.2.6.1 Parästhesien

Ein Patientin klagte über intermittierend auftretende Parästhesien, die immer als Kribbeln im Bereich des Ellenbogengelenkes auftraten. Bei der supracondylären Fraktur handelte es sich um eine drittgradig dislozierte Fraktur, die durch offene Reposition und Kirschnerdrahtspickung behandelt wurde.

#### 5.2.6.2 Kälteintoleranz

Kälteintoleranz kann ein Hinweis auf Durchblutungsstörungen des betroffenen Armes sein. Keines der nachuntersuchten Kinder und Jugendlichen klagte unter Kälteintoleranz im Vergleich zum nicht betroffenen Arm.

#### 5.2.6.3 Narbenverhältnisse

Kosmetisch als störend fanden 3 Kinder ihre Narben. Es handelte es sich um drittgradig dislozierte Frakturen, die offen reponiert wurden.

#### 5.2.6.4 Kraftminderung

Nur ein Kind hatte nach eigenen Angaben eine beeinträchtigende Minderung der Kraft in ihrem Arm festgestellt.

### 5.3 RADIOLOGISCHE ERGEBNISSE

Von den 93 Patienten konnten von 55 (59,1%) Patienten die Röntgenbilder ausgewertet werden. Es handelte sich dabei um Röntgenbilder der 76 nachuntersuchten Patienten, die in Relation zu der klinischen Funktion und Achse gesetzt wurden. Bei einem Patienten wurden seitenvergleichende Aufnahmen gemacht.

#### 5.3.1 Stellung des Capitulum humeri

Der durchschnittliche Neigungswinkel des Capitulum humeri (Abschnitt 2.4.2) betrug 6 Wochen post Trauma bei der Metallentfernung  $30^\circ \pm 13,5^\circ$  (5-68). Wird die Stellung des Capitulum humeri mit Hilfe der Rogerslinie beurteilt (Abschnitt 2.6.2), so zeigten 32 (58,2%) der Patienten zeigten eine ideale Stellung, 22 (40%) eine Extensions- und 1 (1,8%) eine Flexionsstellung des Capitulum humeri (Tab.5-16). Es wird deutlich, dass mit zunehmendem Dislokationsgrad die Fehlstellungen zunehmen.

**Tabelle 5-16: Stellung des Capitulum humeri bei ME (ideal, Extensions- und Flexionsstellung) in Abhängigkeit des Dislokationsgrades, n=55**

Gartland		Ideal	EX	FLEX	Gesamt
I	Anzahl	2	1	0	3
	% in Zeile	66,7%	33,3%	0%	100%
	% in Spalte	6,3%	4,5%	0%	5,4%
II	Anzahl	13	2	1	16
	% in Zeile	81,3%	12,5%	6,2%	100%
	% in Spalte	40,6%	9,1%	100%	29,1%
III	Anzahl	17	19	0	36
	% in Zeile	47,2%	52,8%	0%	100%
	% in Spalte	53,1%	86,4%	0%	65,4%
Gesamt	Anzahl	32	22	1	55
	% in Zeile	58,2%	40%	1,8%	100%
	% in Spalte	100%	100%	100%	100%

**EX: Extensionsstellung; FLEX: Flexionsstellung**

Bei der Nachuntersuchung zeigten 40 der 55 Patienten eine freie Funktion

(Extension/Flexion) und 15 ein Einschränkung der Funktion. Von den 40 Patienten mit freier Funktion zeigten 26 bei Konsolidation eine ideale Neigung des Capitulum und 14 eine Extensionsstellung. Die freie Funktion der 14 Patienten ist durch eine wachstumsbedingte Stellungsänderung des Capitulum zu erklären. Bei den 15 Patienten mit eingeschränkter Funktion lag in 1 Fall eine Flexionsstellung und damit eine Streckhemmung vor, in 6 Fällen eine Extensionsstellung und damit ein Beugedefizit und in 8 Fällen eine ideale Stellung des Capitulum vor, die die eingeschränkte Funktion der 8 Patienten nicht erklärt.

### 5.3.2 Rotationssporn

Die Tabelle 5-17 zeigt die Quantifizierung des Rotationsfehlers in Abhängigkeit der Kortexbreite und des Dislokationsgrades nach Gartland. 9 der 55 Patienten zeigten 6 Wochen post Trauma bei der Metallentfernung einen Rotationssporn der größer als die Kortexbreite ist. 46 der Patienten wiesen eine ideale Stellung des proximalen zu dem distalen Bruchfragment oder nur einen Rotationsfehler, der kleiner als die Kortexbreite ist, auf. Wie in Abschnitt 5.3.8 dargestellt, wiesen 8 Patienten einen Cubitus varus oder hypervalgus auf. Von diesen 8 Patienten konnte von 6 Patienten die Röntgenbilder hinsichtlich des Rotationssporn ausgewertet werden. 3 der 6 Patienten zeigten einen Rotationssporn der größer als die Kortexbreite, 2 Patienten zeigten einen Rotationssporn der kleiner als die Kortexbreite war und 1 Patient wies gar keinen Rotationssporn auf.

**Tabelle 5-17: Quantifizierung des Rotationsfehlers in Abhängigkeit der Kortexbreite und des Dislokationsgrades nach Gartland, n=57**

Gartland	Ideal	< KB	> KB	Gesamt
I	3	0	0	3
II	10	5	1	16
III	20	8	8	36
Gesamt	33 (60,0%)	13 (23,6%)	9 (16,4%)	55 (100%)

**KB: Kortexbreite**

### 5.3.3 Baumann Winkel

Wie in der Mehrzahl der Angaben in der Literatur beschrieben wird (Abschnitt 2.6.1), ist der Baumann Winkel kein gutes Hilfsmittel, um Aussagen über den Armachsenwinkel

treffen zu können, da er sich mit Auftreten eines Rotationsfehlers ändert. Aus diesem Grunde lässt er sich jedoch als ein indirektes Maß für die Stabilität der Retention benutzen, da davon ausgegangen werden kann, dass er sich bei einer Sekundärdислоkation verändert.

Der durchschnittliche Baumann Winkel betrug nach der Kirschnerdrahtspickung  $79^\circ \pm 9^\circ$  ( $50^\circ$ - $90^\circ$ ) und bei der Metallentfernung  $78^\circ \pm 9^\circ$  ( $50^\circ$ - $90^\circ$ ). Damit liegt eine minimale durchschnittliche Veränderung von  $1^\circ$  vor, die Retention ist als stabil zu bezeichnen.

#### 5.4 IPSILATERALE UNTERARMVERLETZUNG

Die gleichzeitige ipsilaterale Verletzung von Ellenbogen und Unterarm ist sehr selten. In der vorliegenden Arbeit hatten 5 Patienten (5,4%) der insgesamt 93 Patienten eine ipsilaterale dislozierte supracondyläre Humerusfraktur und eine Unterarmfraktur. Das Verhältnis der Seitenlokalisation rechts zu links betrug 1:4. Die Patienten waren durchschnittlich 10,8 Jahre  $\pm 5,2$  (5-16) alt. Es waren 4 Jungen und 1 Mädchen betroffen. 80% der Patienten mit gleichzeitiger, ipsilateraler Verletzung der supracondylären Humerusfraktur und des Unterarmes zogen sich ihre Frakturen durch einen Sturz von einem höher gelegenen Ort oder durch einen Sturz vom Rad zu und nur 20% durch einen ebenerdigen Sturz. Damit ist in der Mehrzahl der Fälle eine starke Gewalteinwirkung für die Fraktur von Ober- und Unterarm vonnöten.

Alle supracondyläre Humerusfrakturen waren Extensionsfrakturen, das Verhältnis Gartland II: Gartland III war 1:4. Begleitverletzungen, wie Nerven- und Gefäßläsionen und offene Frakturen konnten nicht festgestellt werden. Alle 5 supracondylären Humerusfrakturen wurden offen reponiert und durch K-Drähte fixiert. Komplikationen traten nicht auf.

Bei den Unterarmfrakturen handelte es sich in 4 Fällen um isolierte distale Radiusfrakturen, die durch geschlossene Reposition und Anlage einer Oberarmgipsschiene behandelt wurden. In 1 Fall handelte es sich um eine distale Radius- und Ulnafraktur, bei der der Radius gespickt wurde und anschließend eine Oberarmgipsschiene angepasst wurde (siehe Fallbeispiel).

3 der 5 Patienten mit zusätzlicher Unterarmfraktur konnten nachuntersucht werden. Wegen der kleinen Fallzahl verbietet sich eine Test, es wird jedoch deutlich, dass die Beurteilung nach Flynn für die Kombinationsverletzung der supracondyläre Humerusfraktur und Unterarmfraktur schlechter ausfällt als für die isolierte supracondyläre Fraktur (Tab.5-18).

**Tabelle 5-18: Bewertung nach Flynn in Abhängigkeit des Vorliegens einer distalen Radiusfraktur**

	Sehr gut	gut	schlecht	Gesamt
Ohne Unterarmfraktur	55	17	2	74
Mit Unterarmfraktur	0	2	1	3
Gesamt	55	19	3	77

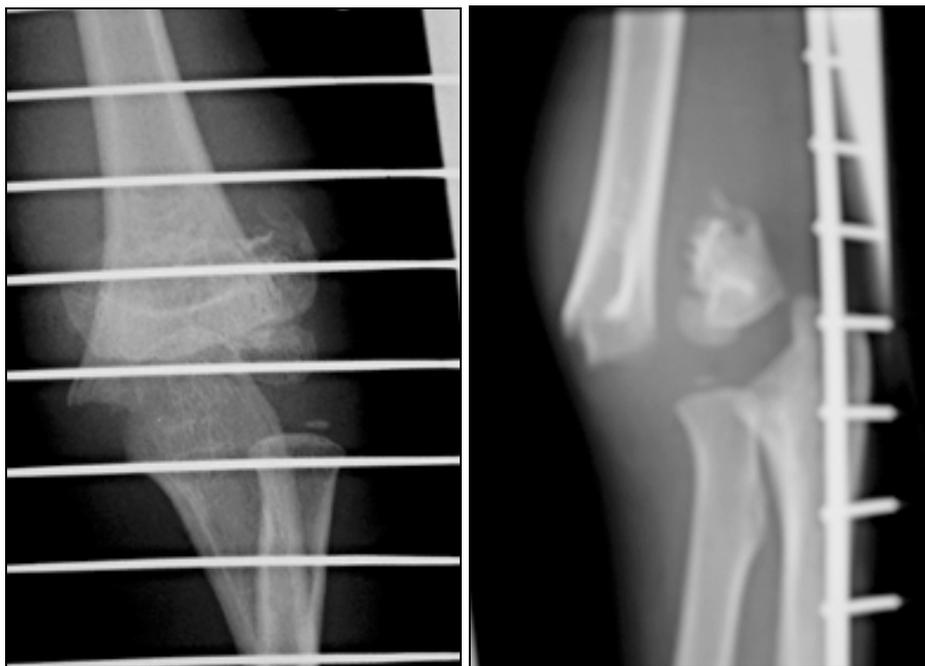
*5.4.1 Fallbeispiel: supracondyläre Humerusfraktur mit gleichzeitiger ipsilateralere Verletzung des Unterarmes*

Der 5-jährige Junge stürzte beim Klettern auf den ausgestreckten linken Arm und zog sich dabei eine drittgradig dislozierte supracondyläre Humerusfraktur und eine distale Unterarmfraktur zu (Abb.5-17).

Die supracondyläre Humerusfraktur wurde sofort offen reponiert und mit 3 gekreuzten Kirschnerdrähten fixiert. Anschließend wurde die Unterarmfraktur geschlossen reponiert und die distale Radiusfraktur durch 2 Kirschnerdrähte fixiert. Postoperativ wurde eine dorsale Oberarmgipsschiene angepasst.

Nach komplikationslosen Verlauf wurde das Kind mit einem zirkulären Gips entlassen. Die Röntgenkontrolle im Gips nach 3 Wochen zeigte eine achsengerechte Stellung und gute Konsolidation der Fraktur. Eine Woche später wurde problemlos die Entfernung der Drähte durchgeführt.

Bei der Nachuntersuchung zeigte sich eine seitengleiche Beweglichkeit, symmetrische Armachsen und regelrechte Narbenverhältnisse. Die Teilnahme am Sport war uneingeschränkt möglich. Sensibilitätsstörungen konnten nicht gefunden werden. Die subjektive Zufriedenheit des Kindes und der Eltern wurde mit sehr gut angegeben.







**Abbildung 5-17: Röntgenbilder eines 5-jährigen Jungens mit gleichzeitiger ipsilateraler supracondylärer Humerus- und Unterarmfraktur**

## 6 Diskussion

Die epidemiologischen Basisdaten, wie Geschlechts-, Alters und jahreszeitliche Verteilung sowie der Unfallhergang sind mit der Literatur vergleichbar:

Mit 59% überwogen die Jungen die Mädchen, die mit 41% vertreten waren. *Baumann (1929 und 1965)* erklärt das Überwiegen des männlichen Geschlechtes durch das unfallträchtigere Spielen der Jungen.

Das durchschnittliche Alter betrug 7,7 Jahre  $\pm 3,5$  (0,5-16). Am häufigsten war das Auftreten der supracondylären Humerusfraktur in der Altersgruppe der Grundschule (6 bis 9 Jahre). *Weinberg et al. (2002)* gaben in ihrer multizentrischen retrospektiven Studie der Sektion Kindertraumatologie der DGU (886 supracondyläre Humerusfrakturen im Kindesalter) ein durchschnittliches Alter von 5,8 Jahre  $\pm 2,9$  (0-15) an. *Hasler (2001)* stellte fest, dass die supracondyläre Humerusfraktur im Alter zwischen 5 und 10 Jahren am häufigsten vorkommt. *Sauer und Kurtz (1981)* erklären das vorwiegende Auftreten der supracondylären Humerusfraktur im Grundschulalter mit der Verschiebung des locus minoris resistentiae nach proximal mit Ausbildung des Knochenkerns des Epicondylus medialis.

Die supracondyläre Humerusfraktur trat häufiger in den Sommermonaten als in dem Wintermonaten auf; was mit der Literatur übereinstimmt (*Hasler, 2001; Wilkins, 1984*).

62,4 % der Kinder zogen sich eine supracondyläre Humerusfraktur durch den Sturz von einem höher gelegenen Ort zu. Nach *Weinberg et al. (2002)* ziehen sich 71% der Kinder die supracondyläre Humerusfraktur in der Freizeit zu. Präventive Maßnahmen können aber nicht erwogen werden.

### 6.1 FRAKTURDATEN

#### 6.1.1 Seitenlokalisation

Der linke Arm war mit 55% häufiger betroffen als rechte Arm mit. 45%. *Baumann (1929 und 1965)* erklärt das Überwiegen des linken Armes dadurch, dass der nicht dominante Arm zur Abwehr- und Schutzfunktion als „Schildarm“ und der dominante Arm zum Angriff als „Schwertarm“ gebraucht wird.

### 6.1.2 Klassifikationen

Als Abwehrmechanismus ist der Sturz auf die ausgestreckte Hand wesentlich häufiger als der direkte Sturz auf den Ellenbogen (Lubinus, 1924). Aus diesem Grunde tritt die Extensionsfraktur häufiger auf als die Flexionsfraktur. In der vorliegenden Arbeit lagen in 5,4% der Fälle Flexionsfrakturen und in 94,6% der Fälle Extensionsfrakturen vor. Damit lag die durchschnittliche Inzidenz der Flexionsfrakturen zwischen den in der Literatur angegebenen relativen Häufigkeiten 2 bis 11% (Von Laer, 1997; Williamson, D.M., Cole, W.G., 1991; De Boek, H., 2001; Allburger et al., 1992 und Fowels, Kassab, 1974).

Auffällig ist das Verhältnis der undislozierten Frakturen (Gartland I) zu den dislozierten Frakturen (Gartland II und III), weil die undislozierten Frakturen in der vorliegenden Arbeit nur in 5,4% der Fälle auftraten.

Hauptursache für das geringe Auftreten der undislozierten supracondylären Humerusfraktur in der vorliegenden Arbeit ist die Rekrutierungsquelle, die aus den OP-Büchern bestand und in denen die ambulant versorgten undislozierten Frakturen nicht festgehalten wurden. Aber auch in den Mitteilungen der weiterführenden Literatur ist der Anteil der undislozierten oft Frakturen wesentlich geringer als der Anteil der dislozierten Frakturen, obwohl das Periost des kindlichen Knochens sehr widerstandsfähig ist und eine Dislokation der Fragmente verhindert; es kommt zu der im Kindesalter charakteristischen Grünholzfraktur. So geben *Shim und Lee (2002)* eine relative Häufigkeit von 26,5% der Gartland I Frakturen an (50 Gartland I Frakturen von 189). Dagegen findet *Houshian et al. (2001)* in ihrer epidemiologischen Studie fast doppelt so viele undislozierte wie dislozierte supracondyläre Humerusfrakturen (Tab. 6-1). Die Ursache für das grosse Spektrum könnte darin begründet liegen, dass abhängig vom Vorliegen eines Zentrum Krankenhauses eine „negative Selektion“ zu verzeichnen ist: Die einfachen Frakturen werden sofort in den peripheren Krankenhäusern versorgt, während nur die komplizierteren Fälle zur Therapie an größere Kliniken überwiesen werden. Damit sind die Verhältnisse der Dislokationsgrade nicht repräsentativ.

**Tabelle 6-1: Vergleichende Statistik über die Inzidenz der Dislokation der supracondylären Humerusfraktur. Angaben in %**

Autor	I	II	III
Shim und Lee 2000	50	69	70
Houshian et al. 2001	134	40	35
Unsere Ergebnisse	5	29	59

### **I,II,III: erst-, zweit- und drittgradig dislozierte Frakturen nach Gartland**

## 6.2 THERAPIE

Das Therapieverfahren wurde in Abhängigkeit des Dislokationsgrades und der Begleitverletzungen gewählt (Abschnitt 2.8).

### 6.2.1 *Konservative Therapie*

Bei Gartland I Frakturen wurde in allen 5 Fällen eine konservative Behandlung durch Immobilisation in einer Gipsschiene gewählt, nie kam die Blount Schlinge zum Einsatz. Es lagen in keinem Fall primäre oder sekundäre Nerven und Gefäßläsionen vor, die Spätergebnisse wurden nach Flynn als sehr gut beurteilt.

Mit diesem Vorgehen stimmen die Autoren größtenteils überein (Mazda et al., 2001; Pirone et al, 1988; von Laer, 1997; Wilkins, 1984), unterscheiden jedoch teilweise in der Ruhigstellungsmethode. So empfehlen *Mazda et al. (2001)* und *von Laer (1997)* die Oberarmgipsschiene zur Immobilisation. Dagegen halten andere Autoren die Ruhstellung in der Blount Schlinge (engl. „Cuff and collar“) für die adäquate Therapie selbst für dislozierte Frakturen (Grant et al., 1984; O`Hara et al., 2000; Williamson und Cole, 1993). Andere lehnen diese Methode ab, weil sie die Gefahr der flexionsbedingten Mangeldurchblutung birgt und deshalb nur bei geringer Schwellung, erhaltener, guter Durchblutung der Hand und ausreichend gewährleisteter Überwachung des Kindes angewendet werden sollte (Hadlow et al., 1996; Link er al., 1986).

### 6.2.2 Operative Therapie

In der vorliegenden Arbeit wurden die dislozierten Frakturen (Gartland II und III) operativ durch Kirschnerdrahtspickung behandelt, die im allgemeinen als die Methode der Wahl für dislozierte supracondyläre Humerusfrakturen angesehen wird (Alburger et al., 1992; Aronson und Prager, 1987; Boyd und Aronson, 1992; Cheng et al., 1995; Cramer et al., 1992; Culp et al., 1990; Flynn et al., 1974; Gordon et al., 2001; Harries, 1992; Kallio et al., 1992; Kaewpornasawan et al., 2001; Mazda et al., 2001; Mehlmann et al., 2001; Mehserle et al., 1991; Nacht et al., 1983, Paradis et al., 1993, Peters et al., 1995; Pirone et al., 1988; Reitmann et al., 2001; Von Laer, 1997; Wilkins, 1984, 1994 und 1995). Vorteil der Kirschnerdrahtspickung ist die Vermeidung der Hyperflexion des Ellenbogens, die die Durchblutung des Ellenbogens behindert, andererseits jedoch für eine ausreichende Stabilität der Fraktur sorgt („supracondylar dilemma“ nach McLaughlin`s, 1959).

Bereits 1904 hatte *Niehans* die „temporäre Annagelung“ als mögliche Form der Behandlung der supracondylären Humerusfraktur erwähnt. 1948 beschrieb *Swenson*, wie später *Böhler* (1961), eine Methode mittels geschlossener Bohrdrahtosteosynthese für die Behandlung der supracondylären Humerusfraktur, die in Folge von vielen Autoren adaptiert wurde. *Pirone et al.* (1988) wies nach, dass die geschlossene Reposition mit der perkutanen Spickdrahtosteosynthese die besseren Ergebnisse gegenüber der Extensionsbehandlung erzielt. Dabei erwies sich die in der biomechanischen Studie nach *Zionts et al.* (1994) die gekreuzte Spickung von medial und lateral als stabilste Fixation, die aus diesem Grunde von den meisten Autoren bevorzugt wird (Aronson et al., 1987; Boyd und Aronson, 1992; Cheng et al., 1995; Flynn et al., 1974; Mehserle und Meehan, 1991; Mostafavi und Spero, 2000; Nacht et al., 1983; O'Hara et al., 2000; Paradis et al., 1993; Shim und Lee, 2002; Weiland et al., 1978). Nachteil der gekreuzten Kirschnerdrahtspickung ist die Gefährdung des N. ulnaris (Brown und Zinar, 1995; Rasool, 1998; Skaggs et al., 2001). Deswegen empfehlen mehrere Autoren als Alternative zur gekreuzten Kirschnerdrahtspickung das Einbringen von parallelen oder gekreuzten K-Drähten von lateral (Arino et al., 1977; Boyd und Aronson, 1992; Cheng et al., 1995; Fowles und Kassab, 1974; Kallio et al., 1992; Mazda et al., 2001; Skaggs et al., 2001). Allerdings erreichten *Kallio et al.* (1992) nur in 68% der Fälle gute Spätergebnisse, weil die Fraktur nicht rotationsstabil versorgt ist. *Davis und Gorczyca* (2000) und *O'Hara et al.* (2000) fanden bei der unilateralen Fixation mit zwei oder mehr Spickdrähten häufiger Sekundärdислоkationen [28% bei Davis und Gorczyca (2000), der Unterschied war signifikant ( $p \leq 0,04$ )]. Um das Risiko zu vermindern, den N. ulnaris bei der gekreuzten Kirschnerdrahtspickung zu verletzen, empfehlen

einige Autoren die ulnare Minimalinzision, die die Identifizierung des N. ulnaris erlaubt (Davis und Gorczyca, 2000; Gordon et al, 2001; O'Hara et al., 2000; Paradis et al., 1993; Royce et al, 1991). *Gordon et al. (2001)* empfiehlt bei zweitgradig dislozierten Frakturen die unilaterale Kirschnerdrahtspickung von radial und bei drittgradig dislozierten nach Prüfung der Rotationsstabilität eine gekreuzte Kirschnerdrahtspickung, weil zweitgradig dislozierte Frakturen durch den intakten posterioren Kortex und durch die unilaterale Kirschnerdrahtspickung rotationsstabil versorgt sind. Dagegen fanden *Topping et al. (1995)* keinen signifikanten Unterschied hinsichtlich der Fixation oder der Komplikationen der gekreuzten oder unilateralen Kirschnerdrahtspickung.

In der vorliegenden Arbeit wurden insgesamt 15% durch geschlossene und 85% durch offene Reposition und Kirschnerdrahtspickung behandelt. Damit wurde in der Mehrzahl der Fälle eine offene Reposition durch dorsale Inzision mit radialer Umschneidung des Olecranon gewählt. Indikationen für die offene Reposition waren offene Frakturen, neurovaskuläre Begleitverletzungen, begleitende ipsilaterale Unterarmverletzungen und irreponibel Frakturen.

Allgemeine Kriterien für die geschlossene Reposition sind leicht reponierbare Frakturfragmente, eine stabile Fraktur, minimale Schwellung und keine neurovaskulären Begleitverletzungen. Falls eine geschlossene Reposition nicht gelingt, wird eine sekundär offene Reposition unerlässlich, da hemmende Wachstumsstörungen nach mehrmaligen geschlossenen Repositionsversuchen beobachtet wurden (Alburger et al., 1992; Arino et al., 1977; Aronson et al., 1987; Canale, 1991; Cheng et al., 1995; Cramer et al., 1992; Flynn et al., 1974; Fowles und Kassab, 1974; Nacht et al., 1983; O'Hara et al., 2000; Paradis et al., 1993; Pirone et al., 1988 Von Laer, 1997). Nur wenige Autoren favorisieren zur Vermeidung iatrogenen Nervenschäden und zur besseren Kontrolle des Repositionsergebnis bei allen dislozierten Frakturen eine offene Reposition (Carcassonne et al., 1972; Fleuriau- Chateau et al., 1998; Furer und Mark, 1991; Hohoff, 2001; Kumar et al., 2002; Ramsey und Griz, 1973; Weiland et al., 1978). Allerdings wurde in vergleichenden Studien geschlossene versus offene Reposition keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich von Komplikationen (Infektionsrate, iatrogene Nervenschäden), Bewegungseinschränkungen oder der kosmetischen Ergebnisse gefunden (Cramer et al., 1992; Kaewpornasawan, 2001; Kurer und Regan, 1990; Mazda et al., 2001; Peters et al., 1992; Schütz und Börner, 1985; Silbly et al., 1991).

Der Zugang bei der offenen Reposition wird von lateral, anterolateral, medial, dorsal und antecubital beschrieben, wobei der laterale Zugang im Allgemeinen bevorzugt wird (Canale,

1991).

Von *Laer (1997)* und *Silbly et al. (1991)* bevorzugen den dorsalen Zugang mit der Begründung, dass dadurch funktionell und kosmetisch ein Vorteil entsteht und unter Schonung des N. ulnaris gearbeitet werden kann. Gerade der posteriore Zugang, den wir favorisieren zur offenen Reposition in Bauchlage, wird mit Bewegungseinschränkungen und der Gefahr der Myositis ossificans traumatica verbunden (La Grange und Rignault, 1962; Rang, 1974). Die guten Spätergebnisse unserer Patienten (Abschnitt 6.4.3) widerlegen jedoch diese Befürchtung.

*Weiland et al. (1978)* benutzen den lateralen Zugang. Zwar treten keinerlei funktionelle Einschränkungen auf, mit 25% der Fälle liegt die Inzidenz eines Cubitus varus im Vergleich zu den anderen jedoch Arbeiten relativ hoch. *Hohoff (2001)* beschreibt in ihrer Arbeit den beidseitigen lateralen Zugang für die Frakturen des Oberarmes. Der Vergleich mit ihren Spätergebnissen ist jedoch nur eingeschränkt möglich, da sie nicht aufschlüsselt, bei welchem Typ von Fraktur die Funktionseinschränkungen und die Achsabweichungen auftraten und sie ein anderes Beurteilungsschema verwendet. Insgesamt traten nach dem Beurteilungsschema nach Morger in 64,8% der Fälle ein ideales, in 20,9% ein gutes, in 12,1% ein genügendes und 1,2% ein schlechtes Ergebnis auf. 15,4% der Kinder empfanden ihre Narben als störend, bei 5,5% konnte eine starke Keloidbildung festgestellt werden.

*Furrer et al. (1991)* benutzen für die offene Reposition einen ulnaren und radialen Zugang, Nachteil dieser Methode ist die sichtbare Narbenbildung, obwohl nach ihren Angaben alle Patienten mit dem kosmetischen Ergebnis zufrieden waren. *Carcasonne et al. (1972)* die ebenfalls den bilateralen Zugang bevorzugen, kommen auf ähnlich gute Ergebnisse (Abschnitt 6.4.3).

*Kumar et al. (2002)* bevorzugen den medialen Zugang bei unkomplizierten Frakturen, wobei sie bei Gefäßverletzung auf einen anteromedialen Zugang wechseln und bei Verletzungen des N. radialis zusätzlich zu dem medialen einen radialen Zugang wählen. Auffällig ist, dass bei den Spätergebnissen kein Cubitus varus auftrat, dafür aber in 7 Fällen ein befriedigendes bis schlechtes Ergebnis bei der Funktion. *Shifrin et al. (1976)* der ebenfalls den medialen Zugang bevorzugen, kamen auf ähnliche Resultate.

*Aronson et al. (1994)* sieht die Vorteile des cubitalen Zuganges, der zuerst von *Hagenbeck (1894)* beschrieben wurde, darin, dass dieser Zugang direkt ist, einen guten

Überblick der Fraktur gibt und keinen zusätzlichen Defekt setzt, da der M. brachialis oftmals rupturiert ist. Gleichzeitig ist im Falle einer vaskulären Begleitverletzung der Zugang zur A. brachialis gewährleistet. Die Befürchtung, dass der cubitale Zugang die Extensionsfähigkeit einschränken könnte oder zu einer Beugekontaktur führt, konnte diese Studie widerlegen.

Unser dorsaler Zugang erlaubt die Sicht auf das Gelenk und die gleichzeitige Reposition von ulnaren und lateralen Pfeiler. Auf diese Weise lassen sich problemlos Kirschnerdrähte einbringen und die exakte anatomische Reposition stabil halten. Die Spätergebnisse sind mit denen von *Scola et al. (2002)* vergleichbar, der einen dorsolateralen Zugang zur supracondylären Humerusfraktur wählt.

Auch die Flexionsfrakturen wurden durch Kirschnerdrahtspickung behandelt, wie *de Boeck (2001)* es empfiehlt. *Weise et al. (1997)* reponieren Flexionsfrakturen regelrecht offen mit der Begründung, dass diese Frakturen schwieriger zu reponieren sind als die Extensionsfrakturen.

Alternativ zur Kirschnerdrahtspickung kann ein Fixateur externe mit 2 bis 4 Pins von lateral eingebracht werden. *Von Laer (2001)* begründet den Wechsel von der gekreuzten Kirschnerdrahtspickung auf den Fixateur externe damit, dass dieser das Risiko traumatischer Ulnarisläsionen und der kosmetisch störenden Varisierung vermindere.

Neben diesen Verfahren kann auch die descendierende Nagelung nach *Prevot* von proximal durchgeführt werden. Vorteil dieses Verfahrens ist die Schonung des N: ulnaris und die funktionelle Nachbehandlung ohne notwendige Ruhigstellung bei jedoch oftmals technischen Schwierigkeiten bei der Platzierung der Nägel (*Prevot et al., 1990*).

In der vorliegenden Arbeit wurden alle supracondylären Humerusfrakturen notfallmäßig innerhalb eines Tages versorgt, um die Schwellung und die damit verbundenen erhöhten Komplikationen wie Infektion, Nervenläsionen und Kompartmentsyndrom zu vermeiden. Diesem Vorgehen stimmen die meisten Autoren zu (*Green, 1998; Paradis et al., 1993; Wilkins et al., 1984*).

In der neueren Literatur konnte dagegen gezeigt werden, dass eine verzögerte Behandlung für die unkomplizierte supracondyläre Humerusfraktur nicht mit einem höheren Risiko für perioperative Komplikationen (vor allem Infektionen, Volkmann Ischämie und traumatischen Nervenläsionen) behaftet ist (*Iyengar et al., 1999; Mehlmann et al., 2001; Leet et*

al., 2002). Ausgeschlossen wurden aus den Arbeiten Frakturen, die offen oder neurovaskuläre Begleitverletzungen aufwiesen und damit eine notfallmäßige Versorgung erforderten. Es kann jedoch aus unserer Sicht keinen Vorteil einer verzögerten Versorgung für den Patienten geben. Dislozierte Frakturen erfordern die umgehende Reposition in Narkose, damit die operative Stabilisierung der Fraktur erfolgen kann.

### 6.2.3 Revision

Ein Kriterium für die Qualität einer Behandlungsmethode ist die Anzahl der notwendigen Revisionen und Therapiewechsel. Bei 8 (8,6%) der Patienten war eine Revision aufgrund einer sekundären Dislokation der Fraktur notwendig. Ein Therapiewechsel war bei 2 konservativ behandelten Patienten und bei 2 durch geschlossene Reposition und Kirschnerdrahtspickung behandelten Patienten notwendig. Bei *Knopf (2000)* findet sich in 4,5% der Fälle ein Therapiewechsel und in 3% der Fälle eine Nachreposition. Die relative Häufigkeit der notwendigen Revision (7,5%) ist als mit unserer vergleichbar. In der Literatur werden Therapiewechsel und sekundäre Dislokationen bei bis zu 30% der dislozierten Frakturen beschrieben. Als Hauptursache erweisen sich unzureichende intraoperative Beurteilung des Repositionsergebnisses und die unterlassene oder inadäquate Retention (Davies und Gorczyca, 2000; O'Hara et al., 2000; von Laer, 1997).

### 6.2.4 Metallentfernung

Die Metallentfernung erfolgte durchschnittlich 6,5 Wochen  $\pm 1,6$  (3,4-11) nach dem OP-Datum. Der Zeitraum könnte auf 3 bis 4 Wochen verkürzt werden (Aronson und Prager, 1987; Canale, 1991; Mehserle und Meehan, 1991), da eine verlängerte Ruhigstellung des Ellenbogengelenkes mit der Gefahr der Versteifung verbunden ist.

Da einerseits immer öfter über „kostensparende Medizin“ und andererseits jeder unnötige Mehraufwand für den Patienten vermieden sollte, wird empfohlen, die Kirschnerdrähte über Hautniveau zu belassen, um sie später ohne zusätzliche Anästhesie entfernen zu können (Canale, 1991; Cramer et al., 1992). Das Versenken der Drähte scheint keinen Vorteil hinsichtlich der Rate an postoperativen Infekten gegenüber dem Herausstehen derselben zu haben (Multizenterstudie, von Laer et al., 2002). Dennoch halten wir es für sicherer, die Haut unter dem Gips zu verschließen und die Drähte vollständig zu versenken. Die Metallentfernung ist so in Rückenlage bei dem oft ängstlichen, kleinen Patienten in kurzer Maskennarkose

möglich.

### 6.3 KOMPLIKATIONEN

Vorweggestellt sei, dass die Vergleichbarkeit der Resultate durch den Ein- oder Ausschluss der undislozierten Frakturen und durch gleichzeitig bestehenden Funktionseinschränkungen und Achsenfehlstellung eingeschränkt wird. Hinzu kommen die unterschiedlichen Klassifikationen und Beurteilungsschemata.

#### *6.3.1 Nervenläsionen*

Tabelle 6-2 gibt die Anzahl der aufgetretenen traumatischen Nervenläsionen der Arbeiten wieder, die in den oberen Abschnitten erwähnt werden. Wie zu erwarten war, ist der N. medianus am häufigsten betroffen, gefolgt vom N. radialis und N. ulnaris. Auch in der vorliegenden Arbeit war der N. medianus gefolgt vom N. radialis am häufigsten von einer traumatischen Nervenläsion betroffen. Eine traumatische Ulnarisläsion war nicht aufgetreten. Es fällt auf, dass in der neueren Literatur die Angaben über die Inzidenz traumatischer Nervenläsionen insgesamt höher ausfallen als in den älteren Literatur. Auch wird immer häufiger eine Läsion des N. interosseus anterior beschrieben, dessen Läsion in der akuten Schmerzsituation leicht zu übersehen ist.

**Tabelle 6-2: Vergleichende Statistik der aufgetretenen traumatische Nervenläsionen (N. medianus, N. radialis und N. ulnaris)**

Autor	Anzahl aller Patienten	Grad der Dislokation	N. medianus	N. radialis	N. ulnaris	Gesamtanzahl der Nervenläsionen
Weiland et al. 1978	52	II, III	2	2	1	5
Nacht et al. 1983	38	II,III	2	2	1	5
McGraw et al. 1986	138	I,II,III	9	4	4	15
Furrer et al. 1991	33	II,III	0	3	2	5
Dormans et al. 1995	200	III	11 (NIA:7)	5	3	19
Brown und Zinar 1995	162	II,III	6 (NIA:5)	11	1	18
Campbell et al. 1995	59	III	15	8	0	23
Fleuriau-Château et al. 1998	41	II,III	11	2	2	15
Davis und Gorczyca 2000	87	II,III	4	2	3	9
Lyons et al. 2000	210	III	20	9	5	3
Reitmann et al. 2001	65	III	14 (NIA:5)	5	8	27
Gordon et al. 2001	138	II, III	5	6	2	13
Scola et al.2002	21	II,III	1	3	1	5
Weinberg et al. 2002	886	I,II,III	16	20	9	45
Unsere Ergebnisse	93	I,II,III	7	5	0	13
Gesamt	2223		113	87	42	242
% von Zeile	100		5,1	3,9	1,9	10,9

**NIA: N. interosseus anterior, (Anteil der Läsion**

Einige Autoren beschreiben die spontane Rückbildung der traumatischen Nervenläsionen und führen keine sekundäre chirurgische Intervention durch. Aus diesem Grunde stellt sich die Frage, ob bei einer Nervenläsion offen vorzugehen ist, d.h. die Fraktur

offen gestellt und gespickt und der Nerv revidiert werden muß (Campbell et al., 1995; Lyons et al., 2000; McGraw et al, 1986; Reitmann et al., 2001). Wir schätzen das Risiko der Revision im Verhältnis zur übersehenen und revisionsbedürftigen Läsion des Nervens gering ein. Damit begründet sich bei jedem manifesten Nervenausfall die sofortige notfallmäßige Revision der Nerven im Rahmen der Stabilisierung (Meffert und Langer, 2002). Die „überflüssige Revision“ eines kontusionierten Nervens mit günstiger Prognose beruhigt den Patienten und letztlich auch den Arzt, nicht in Ungewissheit warten zu müssen. Auch lässt sich juristisch schwer begründen, welcher neurologische Ausfall nun wirklich revisionsbedürftig und dennoch nicht mit besserer Prognose revidiert wurde. Auch verschlechtert sich mit dem Abwarten der definitiven Behandlung die Prognose einer Nervendurchtrennung (Postulat nach Woodhall und Bebe, 1956: Wenn nach einer Nervendurchtrennung bis zur Nervennaht gewartet wird, verliert man alle 6 Tage 1% der optimalen Nervenregenerationsfähigkeit.“).

Die spontane Rückbildung der traumatischen Nervenläsionen erklärt sich dadurch, dass es sich meistens um eine Neuropraxie der geschädigten Nerven handelt (Culp et al., 1990; Ristic et al., 2000).

Tabelle 6-3. stellt die Nervenläsionen dar, die nach Kirschnerdrahtspickung auftraten. Wie in diesem Fall zu erwarten war, ist der N. ulnaris am häufigsten betroffen. Insgesamt traten in 3,5% der Fälle iatrogene Nervenläsionen auf, was ungefähr den geschätzten 2 bis 3% von Royce et al. (1991) und Wilkins (1984) entspricht. In unserem Patientengut traten in 5,4% der Fälle iatrogene Nervenläsionen auf, der N. ulnaris war nur 1 Mal betroffen. Schütz und Börner (1985) fanden in ihrer retrospektiven Untersuchung in 20% der Fälle Nervenläsionen nach geschlossenen Reposition und Kirschnerdrahtspickung. Lyons et al. (1998) beschreiben 19 (5%) postoperative Ulnarisläsionen bei 375 drittgradig dislozierten Frakturen, die durch geschlossene Reposition und Kirschnerdrahtspickung versorgt wurden.

**Tabelle 6-3: Vergleichende Statistik der aufgetretenen iatrogene Nervenläsionen (N. medianus, N. radialis und N. ulnaris)**

Autor	N	N. medianus	N. radialis	N. ulnaris	Gesamt (%)
Weiland et al. 1978	52	0	0	0	0
Culp et al. 1990	101	5	6	7	18
Silbly et al. 1991	35	1	0	1	2
Royce et al. (1991)	143	0	1	3	4
Bown und Zinar (1995)	162	0	1	4	5
Knopf 2000	227	1	0	2	3
Reitmann et al. 2001	65	0	0	1	1
Weinberg et al. 2002	886	4	1	14	19
Kumar et al. 2002	44	4 (NIA: 4)	0	1	5
Unsere Ergebnisse	93	3 (NIA:1)	1	1	5
Gesamt	1808	18	10	34	62
% von Zeile	100	1,0	0,6	1,9	3,5

**NIA: N. interosseus anterior, (Anteil der Läsion)**

Bis auf *Culp et al. (1990)*, die nur bei 50% der Nervenläsionen eine spontane Rückbildung beschreiben und aus diesem Grunde bei den anderen 9 Nervenläsionen eine operative Exploration durchführten, wurde in den anderen Arbeiten bei allen iatrogenen Nervenläsionen eine spontane Rückbildung gefunden. Diese Angaben stimmen mit 86 bis 100% der Literatur überein (Dogde, 1972; Fowles und Kassab, 1974; McGraw et al., 1986; Pirone et al., 1988).

Über das Management der postoperativ aufgetretenen Nervenläsion herrscht ebenso Uneinigkeit in der Literatur wie über das der primären Nervenläsionen. Die Exploration des

betroffenen Nervens, die Entfernung des medialen Kirschnerdrahtes bei einer postoperativ aufgetretenen N. ulnaris Läsion, aber auch die alleinige Beobachtung und Verlaufskontrolle sind Möglichkeiten der Behandlung. So empfehlen *Brown und Zinar (1995)* und *Royce et al. (1991)* die Exploration des betroffenen Nervens, während *Flynn et al. (1974)*, *Lyons et al. (1998)* und *Mehserle und Meehan (1991)* eine abwartende Behandlung empfehlen. Das Entfernen des medialen Kirschnerdrahtes gefährdet die Stabilität der Fraktur und wird aus diesem Grunde kontrovers diskutiert, da auf der anderen Seite ein belassener medialer Kirschnerdraht, der den N. ulnaris verletzt, zu einer bleibenden Läsion des Nervens führen kann (*Lyons et al., 1998*).

Wir empfehlen, dass postoperativ aufgetretene Ausfälle einer umgehenden neurologischen Untersuchung (NLG/evozierte Potentiale) und im Zweifel einer zügigen Revision zugeführt werden. Hier gilt das gleiche Prinzip wie bei den primären Ausfällen, da wie *Brug (2002)* es formuliert: „, der Operateur, der den Nerv nicht sicher gesehen hat, muß revidieren und sollte ein Hämatom oder Ödem nicht als Ursache für eine postoperative Fallahnd anschuldigen und somit auf Glück oder gar ein Wunder hoffen.“

*Skaggs et al. (2001)* stellten einen signifikanten Unterschied ( $p < 0,001$ ) hinsichtlich des Auftretens iatrogenen Nervenläsionen nach der unilateralen oder gekreuzten Kirschnerdrahtspickung fest und bevorzugten aus diesem Grunde die unilaterale Spickung, da sie ebenso wie *Topping et al. (1995)* die Fixierung als stabil einschätzen. *The und Severijnen (1999)* fanden nach mehreren geschlossenen Repositionsmanövern vermehrt sekundäre Nervenläsionen und empfehlen aus diesem Grunde die frühzeitige offene Reposition.

### 6.3.2 Gefäßläsionen

Wegen der Gefahr der Volkmann Kontraktur ist es wichtig, bei einem Kind mit supracondylärer Humerusfraktur eine Läsion der A. brachialis auszuschließen. Ein fehlender Puls der A. radialis ist das früheste und verlässlichste Zeichen für eine Ischämie. Mit steigender Gewalteinwirkung, bei der posterolateralen Dislokation des distalen Bruchfragmentes und bei einer Ruptur des M. brachialis vergrößert sich das Risiko eines Gefäßschadens (*Shaker et al., 1984; Copley et al., 1996*).

In Münster traten in 11,8% der Fälle Gefäßläsionen auf. Vergleichbare Häufigkeiten nennen *Campbell et al. (1995)* mit 19% (5 von 2000 drittgradig dislozierten Frakturen) und *Shaw et al. (1990)* mit 12% (11 von 59 drittgradig dislozierten Frakturen).

Zur Diagnostik begleitender Gefäßkomplikationen hat sich bei unseren Patienten die Palpation der Handgelenkspulse, die klinische Beurteilung der Extremitätendurchblutung (schmerzhafte Handgelenksexension/-flexion, blasse und kühle Haut) sowie die Ableitung des Dopplersignals bewährt, um Gefäßläsionen frühzeitig zu erkennen und eine Volkmann Kontraktur zu vermeiden. Diese Basisdiagnostik wird von den meisten Autoren als angemessen betrachtet (Kelsch et al., 1999; Sabharwal et al., 1997; Shaw et al., 1990; Wilkins, 1997).

Es fällt auf, dass bei unseren Patienten häufig die Pulsoxymetrie verwendet wurde, um die Perfusion der Muskulatur einzuschätzen, weil dieses Verfahren schnell und einfach zu handhaben ist (Ray et al., 1991). Allerdings kann durch die gute Kollateralisation eine Läsion der A. brachialis nicht ausgeschlossen werden, weshalb die Pulsoxymetrie alleine nicht für die Diagnose einer vaskulären Insuffizienz ausreichend ist (Wilkins, 1997). Eine Arteriographie wurde bei uns nicht durchgeführt, die auch von den meisten Autoren nicht befürwortet wird (Shaw et al., 1990; Wilkins, 1997).

Ebenso wie bei *Kelsch et al. (1999)* wurden die von uns versorgten supracondylären Humerusfrakturen mit Gefäßkomplikationen mit Ausnahme 1 Fraktur über einen streckseitigen Zugang offen reponiert und mit Kirschnerdrähten stabilisiert. Bei persistierender Pulslosigkeit wurde die A. brachialis über einen beugeseitigen Zugang exploriert. Im Gegensatz hierzu identifiziert *Wilkins (1984)* zunächst die A. brachialis und den N. medianus von einem beugeseitigen Zugang, reponiert anschließend die Fraktur und stabilisiert sie durch Kirschnerdrähte. Er benötigt hierbei nur einen operativen Zugang und hat den Vorteil, dass er intraoperativ keine Umlagerung des Kindes vornehmen muß. Nachteilig ist die aufwendige präparatorische Darstellung des Gefäß- Nerven- Bündels, die bei passageren Gefäßverschlüssen unnötig ist.

Es trat bei keinem der in Münster behandelten Patienten eine Volkmann Kontraktur auf. Die Inzidenz der Volkmann Kontraktur wird mit 0,5% angegeben (Wilkins, 1984). *Copley et al. (1996)* berichten von 1 Volkmann Kontraktur bei 128 Patienten mit einer drittgradig dislozierten supracondylären Fraktur, die trotz Fasciotomie und Resektion der Stenose und Einlage eines Bypasses auftrat. Allerdings wurde der Patient erst nach 2 Tagen definitiv behandelt. Aus diesem Grunde ist die notfallmäßige Versorgung einer supracondylären Humerusfraktur mit Gefäßläsion dringend indiziert, wie schon *Lipscomp und Burleson (1955)* es empfehlen.

### 6.3.3 Offene Fraktur

Von den 93 supracondylären Frakturen waren 5 (5,4%) von einem Weichteilschaden betroffen, die nicht von Gefäß- und Nervenläsionen begleitet wurden. Es handelte sich dabei um dislozierte Frakturen., die durch offene Reposition und Kirschnerdrahtspickung behandelt wurden.

Die Inzidenz der offenen Frakturen ist selten, sie werden mit einer relativen Häufigkeit von 1% angegeben (Hasler, C., 2001; Reitman et al., 2001). Allerdings treten sie häufiger bei dislozierten Frakturen (Gartland III) auf und sind mit Gefäß- und Nervenläsionen verbunden. *Reitmann et al. (2001)* fanden in ihrer retrospektiven Studie eine relative Häufigkeit von 12,3% bei dislozierten Gartland III Frakturen, die in 50% von neurovaskulären Läsionen begleitet wurden.

### 6.3.4 Infekt

Infekte zählen im Kindesalter zu den seltenen Komplikationen. Die Rate schwankt zwischen 1 und 2% und wurde im Rahmen der Multizenterstudie (Weinberg et al., 2002) bei 4,5% der Patienten beobachtet, wobei nur in einem Fall die Drähte über Hautniveau lagen, in den restlichen 16 Fällen handelte es sich um Patienten mit versenkten Drähten.

In der vorliegenden Arbeit traten bei 2 (2,2%) supracondylären Humerusfrakturen mit Weichteilschaden Infektionen auf. Der Zusammenhang zwischen Weichteilschaden und Infektion ist in der Literatur nicht beschrieben. Der Unterschied zwischen der geschlossenen und offenen Reposition waren nicht signifikant. Schon *Kurer und Regan (1990)* fanden in ihrer Metaanalyse von 455 durch geschlossene Reposition und von 259 durch offene Reposition und Kirschnerdrahtspickung versorgten dislozierten supracondylären Humerusfrakturen keinen signifikanten Unterschied. *Kumar et al. (2002)* beschreiben in 25% der Fälle oberflächliche Infektionen, die nach Antibiotikagabe folgenlos abheilten. Damit liegen die Angaben in dieser Studie weit über dem Durchschnitt.

## 6.4 NACHUNTERSUCHUNG

### 6.4.1 Funktionelles Ergebnis

Mit einem durchschnittlichen Flexionsdefizit von  $7,2^{\circ} \pm 6,4$  (0-33) und einem durchschnittlichen Extensionsdefizit von  $4,8^{\circ} \pm 5,5$  (0-15) kann die insgesamt Beweglichkeit als

gut bewertet werden, was die Befürchtung widerlegt, dass die offene Reposition mit einem erhöhten Risiko der Bewegungseinschränkung verbunden ist.

Bei 3,3% der Patienten mit einer schlechten Beurteilung der Beugefähigkeit handelte es sich um drittgradig dislozierte Frakturen, Extensionseinschränkungen  $> 10^\circ$  lagen in der vorliegenden Arbeit nicht vor. Wird das funktionelle Ergebnis mit anderen Arbeiten verglichen so muss berücksichtigt werden, ob alle Frakturen oder nur die dislozierten Frakturen betrachtet werden. So gibt *Knopf (2000)* bei 13% der Fälle ein Flexionsdefizit  $>10^\circ$  und bei 4% der Fälle ein Extensionsdefizit  $>10^\circ$  an. *Cheng et al. (1995)* findet bei dislozierten Frakturen in 8,5% ein Flexionsdefizit zwischen 10 und  $20^\circ$ , aber kein Extensionsdefizit. Ähnliche Ergebnisse präsentiert *Peters et al. (1995)*, bei denen in 97% aller Frakturen ein gutes funktionelles Ergebnis vorliegt.

Bei den nachuntersuchten Patienten der vorliegenden Arbeit fand sich keine Einschränkung der Pro- oder Supination, die in der Literatur auch nicht beschrieben wird (*Flynn et al., 1974; von Laer, 1979; Weinberg et al, 2002; Wilkins, 1984*).

#### 6.4.2 Kosmetisches Ergebnis

Das Problem des Cubitus varus liegt darin, dass er im weiteren Wachstum keiner Spontankorrektur unterliegt. Die durchschnittliche Abweichung der Armachse zum unverletzten Arm betrug in der vorliegenden Arbeit  $7,3^\circ \pm 5,7$  (0-30) und kann damit als gut beurteilt werden. Um die Daten mit den Angaben der Literatur zu vergleichen, wird der prozentuelle Anteil der Achsenabweichungen bei dislozierten Frakturen betrachtet. Diese betrug in der vorliegenden Arbeit 9,9%. Damit liegt die relative Häufigkeit unter der durchschnittlichen Häufigkeit von 20 bis 50%. (Tab.6-4).

**Tabelle 6-4: Varus- bzw. Valgusformitäten bei dislozierten Frakturen, Angaben in %**

Autor	Varus	Valgus
Fowles und Kassab 1974	36	0
Weiland et al. 1978	25	0
Laer 1979	49	6,5
Pirone et al. 1988	3	0
Cheng et al. 1995	20,8	0
Von Laer 1997	13	0
Mazda et al (2001)	4	0
Unsere Ergebnisse	7,5	1,4

Valgisierung der Ellenbogenachse werden meist nicht als störend empfunden, können aber selten zu Irritationen des N. ulnaris führen.

#### 6.4.3 Ergebnisse nach Flynn (1974)

In diesem Abschnitt soll ein tabellarischer Überblick über die Ergebnisse nach den verschiedenen Behandlungsmethoden gegeben werden. Die ersten beiden Tabellen stellen die Ergebnisse nach der geschlossenen Reposition und Kirschnerdrahtspickung dar, wobei zwischen unilateraler und gekreuzter Kirschnerdrahtspickung differenziert wird. In der dritten Tabelle wird die offene Reposition unabhängig des Zuganges zur supracondylären Humerusfraktur und Kirschnerdrahtspickung dargestellt. Auf diese Weise lassen sich auch unsere eigenen Ergebnisse einordnen.

**Tabelle 6-5: Übersicht der Ergebnisse nach Flynn, geschlossene Reposition und unilaterale Kirschnerdrahtspickung**

Autor	Nachuntersuchte Patienten	Sehr gut	Gut	Befriedigend und Schlecht
Fowles und Kassab 1974	80	32	38	10
Arino et al. 1977	189	131	29	29
Kallio et al. 1992	80	55	6	19
Boyd und Aronson 1992	71	63	4	4
Cheng et al. 1995	82	45	21	16
Mazda et al. (2001)	108	99	5	4
Gesamt	510	428		82
% von Zeile	100	83,9		16,1

**Tabelle 6-6: Übersicht der Ergebnisse nach Flynn, geschlossene Reposition und gekreuzte Kirschnerdrahtspickung**

Autor	Nachuntersuchte Patienten	Sehr gut	Gut	Befriedigend und Schlecht
Flynn et al. 1974	52	42	7	3
Nacht et al. 1983	25	12	4	9
Aronson und Prager 1987	20	18	2	0
Pirone et al. 1988	96	75	15	6
Mehserle und Meehan 1991	33	23	7	3
Paradis et al. 1993	26	26	0	0
Peters et al. 1995	43	13	17	3
Davis et Gorczyca 2000	34	19	7	8
Keawpornawan 2001	14	14	0	0
Shim und Lee 2002	63	47	15	1
Unsere Ergebnisse	10	6	4	0
Gesamt	416	383		33
% von Zeile	100	92		8

**Tabelle 6-7 Übersicht der Ergebnisse nach Flynn, offene Reposition und Kirschnerdrahtspickung, (die Wahl des Zuganges wurde nicht berücksichtigt)**

Autor	Nachuntersuchte Patienten	Sehr gut	Gut	Befriedigend und Schlecht
Holmberg 1945	50	30	13	7
Carcassonne et al. 1972	40	22	17	1
Alonso, Llamas 1972	30	22	17	1
Ramsey und Griz 1973	15	12	2	1
Weiland et al. 1978	52	38	6	8
Kurer und Regan 1990	30	27	3	0
Furrer et al. 1991	30	27	3	0
Cramer et al. 1992	14	9	3	2
Aronson und Meeuwis 1994	11	10	1	0
Fluriau- Chateau et al. 1998	34	28		6
Mulhall et al. 2000	16	13	2	1
Reitmann et al. 2001	33	18	8	7
Keawpornawan 2001	14	12	0	2
Scola et al. 2002	21	16	4	1
Kumar et al. 2002	44	36	1	7
Unsere Ergebnisse	62	44	15	3
Gesamt	496	450		46
% von Zeile	100	90,7		9,3

Es fällt auf, dass verschiedene Therapiestrategien zu guten Spätergebnissen in der Behandlung der supracondylären Humerusfraktur führen können.

## 6.5 RADIOLOGISCHE ERGEBNISSE

Die am häufigsten aufgetretene Fehlstellung im seitlichen Röntgenbild ist die Extensionsstellung (40%), das dadurch ausgelöste Flexionsdefizit hat sich bei 14 (63,6%)

Patienten bei der Nachuntersuchung spontan korrigiert. *Knopf (2000)* präsentiert Spontankorrekturen von 83 bis 85%. Daraus wird ersichtlich, dass vor allem die Extensionsstellung (eine Flexionsstellung lag nur bei einem Patienten vor) sich in den meisten Fällen spontan korrigieren kann.

Eine Rotationsfehlstellung lag bei 5 der 6 Patienten mit einem Cubitus varus vor. Nur 1 Patient wies einen Cubitus varus ohne Rotationsfehlstellung auf, was durch eine partielle radiale Stimulation der Wachstumsfuge, durch seitliche Abkippung oder Einstauchung hervorgerufen werden kann, wie *Blount (1957)*, *Magerl und Zimmermann (1978)*, *Von Laer (1997)* und *Weiland et al. (1978)* es beschreiben.

Damit wird ersichtlich, dass der Rotationsfehler ein wichtiger Parameter für die Therapie und Prognose ist (*Von Laer, 1997*), und dass vor allem eine anatomische Reposition des Rotationssporn wünschenswert ist. 8 Patienten zeigten trotz idealen Neigungswinkel des Capitulum Flexions- oder Extensionseinschränkungen, die sich durch Wachstumsstörungen, überschüssende Kallusbildung oder narbige Veränderungen erklären lassen.

Der durchschnittliche Unterschied zwischen dem gemessenen Baumann Winkel bei Kirschnerdrahtspickung und bei der Metallentfernung betrug  $1^\circ$ , damit ist die Retention als stabil zu bezeichnen und liegt unter den Angaben der Literatur, die eine Differenz von  $2^\circ$  bis  $4^\circ$  angeben (*Fleuriu- Chateau et al., 1998*; *Gordon et al., 2001*).

## 6.6 IPSILATERALE UNTERARMFRAKTUR

Die gleichzeitige, ipsilaterale Verletzung der supracondylären Humerusfraktur und Unterarmfraktur ist ein seltenes Verletzungsmuster im Kindesalter, das, wie in der vorliegenden Arbeit gezeigt werden konnte, durch eine große Gewalteinwirkung hervorgerufen wird. In 5,4% der Fälle trat eine supracondyläre Humerusfraktur und eine ipsilaterale Unterarmfraktur auf, wobei am häufigsten entsprechend der Literatur der distale Radius betroffen war. Eine erhöhte Koinzidenz neuro- vaskulärer Begleitverletzungen ist beschrieben, konnte bei unseren Patienten aber nicht beobachtet werden.

Alle supracondylären Humerusfrakturen wurden offen gespickt, die Unterarmfrakturen wurden bis auf eine Fraktur (siehe Fallbeispiel 5.4.1) geschlossen reponiert und durch eine

Oberarmgipsschiene ruhiggestellt.

Von den 5 Patienten, die gleichzeitig eine ipsilaterale supracondyläre Humerusfraktur und eine Unterarmfraktur aufwiesen, konnten 3 Patienten nachuntersucht werden. Das Ergebnis wurde in 2 Fällen als gut und in einem Fall aufgrund eines Cubitus varus, der größer als 15° war, als schlecht beurteilt (Fallbeispiel 5.2.2.1). Es handelte sich dabei um eine drittgradig dislozierte Humerusfraktur. Die Bewertung nach Flynn für die Kombinationsverletzung von supracondylärer Humerusfraktur und Radiusfraktur fällt tendenziell schlechter aus als für die isolierte supracondyläre Humerusfraktur und weist damit auf die Schwere dieses Verletzungsmusters und die Schwierigkeiten ihrer Behandlung hin.

## 6.7 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die vorliegende Arbeit stellt verschiedene Therapieformen und das Verfahren der geschlossenen und offenen Reposition der von ulnar und radial doppelt gekreuzten K- Drahtung deren Ergebnisse in Abhängigkeit des Dislokationsgrades dar. Ziel dieser retrospektiven Untersuchung war es, die langfristigen Behandlungsergebnisse zu evaluieren und das Behandlungskonzept mit derzeitigen Alternativen literarisch zu vergleichen.

Unter Berücksichtigung des Frakturtypes bei der Versorgung ist die Prognose der supracondylären Humerusfraktur im Wachstumsalter bezüglich der Wiederherstellung der Anatomie und Funktion günstig. Im Gegensatz zur unilateralen Stabilisierung lassen sich in 90% gute und sehr gute Ergebnisse mit der gekreuzten Spickung erzielen. Dabei fällt auf, dass verschiedene Behandlungsmöglichkeiten zu einem guten Erfolg führen können, Voraussetzung sind klare Richtlinien und die Erfahrung des Chirurgen.

Hinsichtlich der Entscheidung, ob die gekreuzte oder die unilaterale Kirschnerdrahtspickung zu bevorzugen ist, unterstützt die vorliegende Arbeit die Arbeiten von *Davis et Gorczyca (2000)*, *Kallio et al. (1992)* *Shim und Lee (2002)* und *Zionts et al. (1994)*, die zeigen, dass dislozierten Frakturen durch eine unilaterale Spickung nicht rotationsstabil versorgt sind. Wir konnten zeigen, dass durch die radiale und ulnare Stichinzision, die die visuelle und palpatorische Darstellung der anatomischen Strukturen erlaubt, die Inzidenz der traumatischen N. ulnaris Läsionen verringert werden konnte. Auch die großzügige Indikation der offenen Reposition hat sich nicht als Nachteil erwiesen so wie *Blount es 1957* formulierte: „ while the results are sometimes good, permanent limitation of motion is all to frequent, this method

cannot be justified”.

Die Vorteile der offenen Reposition gegenüber der geschlossenen Reposition und Kirschnerdrahtspickung sind offensichtlich:

- Die offene Reposition bietet die bessere manuelle Renierbarkeit und Rotationskontrolle, neurovaskuläre Begleitverletzungen lassen sich darstellen und gegebenenfalls schonen oder sofort beheben, gerade bei einer verzögerten Behandlung, die meistens mit einer größeren Weichteilschwellung verbunden ist, gestaltet sich die Identifizierung anatomischer Strukturen oftmals schwierig
- Sekundärdisklokationen treten selten auf. Theoretisch ist damit ein verminderter Aufwand für die Nachuntersuchung verbunden.
- Eine höhere Infektionsgefahr und Bewegungseinschränkungen gegenüber der geschlossenen Reposition sind nicht nachweisbar.

## 7 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wird die supracondyläre Humerusfraktur im Kindesalter behandelt, die eine typische Fraktur des schulpflichtigen Kindes ist. Zunächst erfolgt eine ausführliche Darstellung ihrer speziellen Problematik. Eingegangen wird auf die teilweise folgenschweren Komplikationen und die unterschiedlichen Behandlungsmethoden.

Es schließt sich eine Auswertung der 93 Kinder an, die aufgrund einer supracondylären Humerusfraktur an der Klinik für Unfall- und Handchirurgie der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster im Zeitraum 1981 bis 2000 primär behandelt wurden. Davon waren 40,9% weiblich und 59,1% männlichen Geschlechtes. Das durchschnittliche Alter betrug 7,7 Jahre  $\pm$ 3,5 (0,5-16). Der linke Arm war mit 55% häufiger als der rechte Arm mit 45% betroffen. Frakturen des Flexionsstypes traten in 5,4% der Fälle und Frakturen des Extensionstypes in 94,6% der Fälle auf. Das Verhältnis der Gartlandklassifikation, I,II und III war 5,4%: 31,2%: 63,4%. Primäre Gefäß und Nervenläsionen traten jeweils in 12% und in 14% der Fälle bei dislozierten Frakturen auf. Abhängig vom Dislokationsgrad und der Begleiterkrankungen wurden die Frakturen zu 6% konservativ durch ein Oberarmgipsschiene und zu 94% durch Kirschnerdrahtspickung behandelt, davon 15% durch geschlossene und 85% durch offene Reposition. Sekundäre Nervenschäden traten in 5% der Fälle ein.

Die Nachuntersuchung, die durchschnittlich 9,6 Jahre  $\pm$ 6,3 (0,7-20) nach dem OP-Datum und an 82% der Patienten vorgenommen werden konnte, umfasst vergleichende Messungen der Bewegungsfunktion der Ellenbogengelenke und der Armachsenwinkelwinkel. Die Ergebnisse konnten nach Flynn in 96% der Fälle als gut bis sehr gut und in 4% der Fälle als schlecht beurteilt werden. Hinsichtlich des Repositionsverfahrens bei der Kirschnerdrahtspickung waren die Ergebnisse nicht signifikant ( $p=0,65$ ).

Gesondert wird auf die gleichzeitige, ipsilaterale Verletzung der supracondylären Humerusfraktur und Unterarmfraktur eingegangen, die ein seltenes Verletzungsmuster im Kindesalter ist und in der vorliegenden Arbeit in 5,4% der Fälle auftrat. Dabei fällt auf, dass die Bewertung nach Flynn für die Kombinationsverletzung von supracondylärer Humerusfraktur und Radiusfraktur tendenziell schlechter ausfällt als für die isolierte supracondyläre Humerusfraktur.

## **8 Danksagung**

Dem Direktor der Klinik für Hand und Unfallchirurgie, Herrn Professor Dr. med. E. Brug, möchte ich für die Möglichkeit, die vorliegende Arbeit erstellen zu können, ganz herzlich danken.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Priv. Doz. Dr. med. R. Meffert für seine kontinuierliche und wertvolle Unterstützung, seine Förderung und Motivation vom Beginn bis zur Zusammenschrift der Arbeit.

Ebenfalls möchte ich mich bei den kleinen und großen Patienten bedanken, die freiwillige an der Nachuntersuchung teilgenommen haben und damit die vorliegende Arbeit ermöglichen.

Des weiteren bedanke ich mich bei allen Mitarbeitern der Pforte und der Poliklinik, die mich bei der Durchführung des Projektes unterstützt haben.

## 9 Literaturverzeichnis

- 1) ACTON, J.D., MC NALLY, M.A. (2001) Baumann's confusing legacy. *Injury*, 32: 41-43
- 2) ALBURGER, P.D., WEIDNER, P.L., BETZ, R.R.(1992) Supracondylar fractures of the humerus in children. *J Pediatr Orthop*, 12: 16-9
- 3) ALONSO- LLAMAS, M. (1972) Bilateraltricipital approach to the elbow. *Acta Orthop Scand*, 43: 479
- 4) ARCHIBECK, M.J., SCOTT, S.M., PETERS, C.L: (1997) Brachialis muscle entrapment in displaced supracondylar fractures: a technique of closed reduction and report of initial results. *J Pediatr Orthop*, 17: 298-02
- 5) ARINO, V.C., LLUCH, E:E., RAMIREZ, A.M., FERRER, J., RODRIQUES, L., BAIXAULI, F. (1977) Percutaneous fixation of supracondylar fractures of the humerus in children. *J Bone Joint Surg [Am]*, 59, 914-918
- 6) ARONSON, D.C., MEEUWIS, J.D. (1994) Anterior exposure for open reduction of supracondylar humeral fracture in children: a forgotten approach? *Eur J Surg*, 160: 236-66
- 7) ARONSON, D.C, PRAGER, B.I. (1987) Supracondylar fractures of the humerus in children: a new modified technique for closed pinning. *Clin Orthop*, 219. 176-84
- 8) ARONSON, D.C., VOLLENHOVEN, E., MEEUWIS, J.D. (1993) K-wire fixation of supracondylar fractures in children: results of open reduction via ventral approach in comparison with closed treatment. *Injury*, 24: 197-81
- 9) BAE, D.S., KADIYALA, R.K., WATERS, P.M. (2001) Acute compartment syndrome in children: contemporary diagnosis, treatment, and outcome. *J Pediatr Orthop*, 21: 680-8
- 10) BAUMANN, E. (1929) Beiträge zur Kenntnis der Frakturen am Ellenbogengelenk unter Berücksichtigung der Spätfolgen. Allgemeines und Fraktura supracondylica. *Beiträge Klin Chir (Bruns)*, 146: 1-50
- 11) BAUMANN, E. (1965) Spezielle Frakturen- und Luxationslehre. In: Nigst, H. (Hrsg.), Bd. II/1 Ellenbogen, *Thieme Stuttgart*
- 12) BENNEK, J. (2002) Verletzungen im Kindesalter. In: Josten, C., Lill, H., eds.

- Ellenbogenverletzungen. Biomechanik Diagnose Therapie. *Steinkopf, Darmstadt, 95*
- 13) BLOUNT, W.P. (1957) Knochenbrüche bei Kindern. *Thieme, Stuttgart*
  - 14) BÖHLER, L. (1961) Die Behandlung der supracondylären Oberarmbrüche bei Kindern und Jugendlichen. *Mtschr Unfallheilk, 64: 1*
  - 15) BOYD, D.W., ARONSON, D.D. (1992) Supracondylar fractures of the humerus: a prospective study of percutaneous pinning. *J Pediatr Orthop, 12: 789-94*
  - 16) BROWN, I.C., ZINAR, D.M. (1995) Traumatic und iatrogenic neurological complications after supracondylar fractures in children. *J Pediatr Orthop, 15: 440-43*
  - 17) BRUG, E., JOIST, A., MEFFERT, R. (2002) Postoperative radial paralysis. Fate or negligence, conservative wait or revision. *Unfallchirurg, 105: 82-5*
  - 18) CAMPBELL, C.C., WATERS, P.M., EMANS, J.B., KASSER, J.R., MILLIS (1995) Neurovascular injury and displacement in type III supracondylar fractures. *J Pediatr Orthop, 15: 47-52*
  - 19) CANAL, S.T. (1992) Fractures and dislocations in children. In: Crenshaw, A.H., ed. *Campbell's operative orthopaedics. Vol 2, 8<sup>th</sup> ed., St Louis: Mosby Year book: 1100- 10*
  - 20) CARCASSONNE, M., BERGOIN, M., HORNING, H. (1972) Results of operative treatment of severe supracondylar fracture of the elbow in children. *J Pediatr Surg, 7: 676-9*
  - 21) Cheng, J.C.Y., Shen, W.Y. (1993) Limb fracture pattern in different pediatric age groups: a study of 3350 children. *J Orthop Trauma, 7: 15-22*
  - 22) CHENG, J.C.Y., LAM, T.P., SHEN, W.Y. (1995) Closed reduction and percutaneous pinning for type III displaced supracondylar fractures of the humerus in children. *J Pediatr Orthop, 9: 511-5* in displaced supracondylar fractures of the humerus in children. *J Orthop Trauma, 6: 407-12*
  - 23) COPLEY, L.A., DORMANS, J.P., DAVIDSON, R.S. (1996) Vascular injuries and their sequelae in pediatric supracondylar fractures: toward a goal of prevention. *J Pediatr Orthop, 16: 99-103*
  - 24) CRAMER, K., DEVITO, D.P., GREEN, N.E. (1992) Comparison of closed reduction and percutaneous pinning versus open reduction and percutaneous pinning in displaced supracondylar fractures of the humerus in children. *J Orthop Trauma, 6: 407-12*
  - 25) CULP, R.W., OSTERMANN, A.L., DAVIDSON, R.S., SKIRVEN, T., BORA, F.W. (1990)

- Neural injuries associated with supracondylar fractures of the humerus in children. *J Bone Joint Surg*, 72: 1211-15
- 26) DANOIS, O., BLAUMOUTIER, A., DUCLOYER, P. ET AL. (1992) Supracondylar fractures of the humerus associated with homolateral fractures of forearm in children. *J Ortop surg*, &: 338-43
- 27) DAVIS, R.T., GORCZYCA, J.T., PUGH, K. (2000) Supracondylar humerus fractures in children. *Clin Ortop*, 376: 4955
- 28) DE BOECK, H. (2001) Flexion-type supracondylar fractures in children. *J Pediatr Orthop*, 21 (4): 460-463
- 29) DOGDE, H. (1972) Displaced supracondylar fractures of the humerus in children – treatment by dunlop’s traction. *J Bone Joint Surg*, 54-A: 1408-8
- 30) DORMANS, J.P., SQILLANTE, R., SHARF, H. (1995) Acute neurovaskular complications with supracondylar humerus fractures in children. *J Hand Surg [A]*, 20: 1-4
- 31) FELSENREICH, F. (1936) Behandlungsergebnisse nach schweren supracondylären Oberarmbrüchen der Kinder im „gefensterten Thorax– Armgips“. *Chir*, 8, 128-33
- 32) FLEURIAU- CHATEAU, P., MCINTYRE, W., LETT, S.M. (1998) An analysis of open reduction of irreducible supracondylar fractures of the humerus in children. *Can J Surg*, 41:112-8
- 33) FLYNN, J.C., MATHEWS, J.G., BENOIT, R.C. (1974) Blind pinning of displaced supracondylar fractures of the humerus in children. *J Bone Joint Surg* 56 [A], 263-273
- 34) FOWLES, J.V., KASSAB, M.T. (1974) Displaced supracondylar fractures of the elbow in children. A report on fixation of extension and flexion fractures by two lateral percutaneous pinns. *J Bone Joint Surg [Br]* 56: 490-500
- 35) FURRER, M., MARK, G., RUEDI, T. (1991) Management of displaced supracondylar fractures of the humerus in children. *Injury*, 22: 259-62
- 36) GARTLAND, J.J. (1959) Management of supracondylar fractures of the humerus in children. *Surg Gynecol Obstet* 109, 145-54
- 37) GILLINGHAM, B.L., RANG, M. (1995) Advances in children’s elbow fractures. *J Pediatr Orthop*, 15: 419-21
- 38) GORDON, J.E., PATTON, C.M., LUHMANN, S.J., BASSETT, G.S., SCHOENECKER (2001)

- Fracture stability after pinning of displaced supracondylar distal humerus fractures in children. *J Pediatric Orthop*, 21 (3) : 313-318
- 39) GRADINGER, R., BIEHL, T. (1983) Ellenbogengelenksnahe Frakturen beim Kind. *Fortschr Med* 101: 1410-1412
- 40) GRANT, H.W., WILSON, L.E., BISSET, W.H. (1984) A long term follow up study of children with supracondylar fractures of the humerus. *European J Pediatr Surgery*, 284-86
- 41) GREEN, N.E: (1998) Fractures and Dislocations about the elbow. In: Green, Swiontkowski eds. *Skeletal trauma in children*. Volume III, 2<sup>nd</sup>, 259-317
- 42) HADLOW, A.T., DEVANE, P., NICOL R.O. (1996) A selective treatment approach of supracondylar fractures of the humerus in children. *J Pediatr Orthop*, 16: 104-6
- 43) HARRALDSON, S. (1959) On osteochondrosis deformans juvenilis capituli humeri including investigation of intra-osseous vasculature in the distal humerus. *Acta Scand [Suppl]*, 38
- 44) HARRIES, I.E. (1992) Supracondylar fractures of the humerus in children. *Orthopedics*, 15: 811-7
- 45) HARRINGTON, P., SHARIF, I., FOGARTY, E.E., DOWLING, F.E., MOORE, D.P. (2000) Management of the floating elbow injury in children. Simultaneous ipsilateral fractures of the elbow forearm. *Arch Ortop Trauma Surg*, 120. 205-8
- 46) HASLER, C.C. (2001) Supracondylar fractures of the humerus in children. *Eur J Traumatol*, 27: 1-15
- 47) HEGEMANN, B. (1984) Die supracondyläre Humerusfraktur im Kindesalter. Frakturformen, Frakturmechanismen und Behandlung. Eine kasuistische Übersicht des Krankengutes von 1976 – 1980. *Diss, Münster*
- 48) HOFMANN, V. (1968) Zur Behandlung der supracondylären Humerusfraktur im Kindesalter. *Zbl. Chir.* 93, 1678- 1689
- 49) HOHOFF, M. (2001) Spätergebnisse nach operativer Versorgung kindlicher Frakturen am distalen Humerus. *Diss, Münster*
- 50) HOLMBERG, L. (1945) Fractures in the distal end of the humerus in children. *Acta Chir Scand Suppl*, 1: 103-8

- 51) HOUSHIAN, S.; MEHDI, B., LARSEN, M.S. (2001) The epidemiology of elbow fracture in children: analysis of 355 fractures, with special reference to supracondylar humerus fractures. *J Orthop Sci*, 6: 312-15
- 52) ITO, N., ETO, M., MAEDA, K., RABBI, M.E., IWASAKI, K. (1995) Ultrasonographic measurements of the humeral torsion. *J Shoulder Elbow Surg*, 4: 157-61
- 53) IYENGAR, S.R., HOFFINGER, S.A., TOWNSEND, D.R. (1999) Early versus delayed reduction and pinning of type III displaced supracondylar fractures of the humerus in children: a comparative study. *J Orthop Trauma*, 13: 51-5
- 54) JOIST, A., JOOSTEN, U., WETTERKAMP, D., NEUBER, M., PROBST, A., RIEGER, H. (1999) Anterior interosseous nerve compression after supracondylar fracture of the humerus: a metaanalysis. *J Neurosurg*, 90: 1053-1056
- 55) JONASCH, E. (1982) Knochenbruchbehandlung bei Kindern. *De Gruyter, Berlin*
- 56) KAEWPORNSAWAN, K. (2001) Comparison between closed reduction with percutaneous pinning and open reduction with pinning in children with closed totally displaced supracondylar humeral fractures: a randomized controlled trial. *J Pediatr Orthop*, 10: 131-7
- 57) KAMAL, A.S., AUSTIN, R.T. (1980) Dislocations of the median nerve and brachial artery in supracondylar fractures of the humerus. *Injury*, 12: 161-4
- 58) KALLIO, P.E., FOSTER, B.K., PATERSON, D.C. (1992) Difficult supracondylar elbow fractures in children: analysis of percutaneous pinning technique. *J Pediatr Orthop*, 12: 11-5
- 59) KATZMANN, H. (1965) Zur Behandlung der supracondylären Oberarmfraktur bei Kindern. *Zbl Chir*, 90: 2089
- 60) KEENAN, W.N.W., CLEGG, J. (1996) Variation of Baumann's angle with age, sex, and side: implications for its use in radiological monitoring of supracondylar fractures of the humerus in children. *J Pediatr Orthop*, 16: 97-8
- 61) KELSCH, G., SAVVIDIS, E., JENAL, G., PARSCH, K. (1999) Begleitende Gefäßkomplikationen bei supracondylären Humerusfrakturen des Kindes. *Unfallchirurg*, 102: 708-15
- 62) KISSLING, H. (1985) Bedeutung und Schicksal des Rotationsfehlers im Rahmen der

- kindlichen supracondylären Humerusfrakturen. *Diss., Basel*
- 63) KNOPF, S. (2000) Die Behandlung der suprakondylären Humerusfraktur im Wachstumsalter in Abhängigkeit vom Schweregrad der Dislokation. *Diss, Basel*
- 64) KUMAR, K., KIRAN, E.K., MALHOTRA, R., BHAN, S. (2002) Surgery treatment of severely displaced supracondylar fracture of the humerus in children. *Injury, 33: 517-22*
- 65) KURER, M.H., REGAN, M.W. (1990) Completely displaced supracondylar fractures of the humerus in children. A review of 1708 comparable cases. *Clin Orthop, 256: 205-14*
- 66) KUTSCHA- LISSBERG, E., RAUHS, R., WAGNER, M. (1978) Behandlungsergebnisse von 136 supracondylären Humerusfrakturen im Kindesalter. *Z Kinderchir, Band 23, Heft 2*
- 67) LA GRANGE J., RIGNAULT P. (1962) Fractures supracondyliennes. *Rev Chir Orthop, 48: 337*
- 68) LEET, I.A., FRISANCO, J., EBRAMZADEH, E. (2001) Delayed treatment of type 3 supracondylar fractures in children. *J Pediatr Orthop, 22: 203-7*
- 69) LINK, W., HENNING, F., SCHMID, J., BARANOWSKI, D. (1986) Die supracondyläre Oberarmfraktur im Kindesalter. *Aktuel Traumatol, 16: 17-20*
- 70) LIPSCOMP, P.R., BURLESON, R.J. (1955) Vascular und neural complications in supracondylar fractures of the humerus in children. *J Bone Joint Surg [Am], 37: 487-92*
- 71) LUBINUS, F. (1924) Über den Entstehungsmechanismus und die Therapie der supracondylären Humerusfraktur. *Dt Z Chir, 186, 289-350*
- 72) LYONS, S.T., ASHLEY, E., HOFFER, M.M. (1998) Ulnar nerve palsies after percutaneous cross- pinning of supracondylar fractures in children`s elbows. *J Pediatr Orthop, 18: 43-45*
- 73) LYONS, S.T., QUINN, M., STANITSKI, C.L. (2000) Neurovascular injuries in type III humeral supracondylar fractures in children. *Clin Orthop, 376: 62-7*
- 74) MAGERL, F., ZIMMERMANN, H. (1978) Supracondyläre Humerusfrakturen, in: Weber, B.G., Brunner, C., Freuler, F. (Hrsg) Die Frakturbehandlung bei Kindern und

Jugendlichen, Springer, Berlin Heidelberg New York

- 75) MAZDA, A., BOGGIONE, C., FITOUSSI, F., PENNECOT, G.F. (2001) Systematic pinning of displaced extension- type supracondylar fractures of the humerus in children. *J Bone Joint Surg [B]*, 83: 888-93
- 76) MCGRAW, J.J., AKBARNIA, B.A., HANEL, D.P., KEPPLER, L., BURDGE, R.E. (1986) Neurological complications resulting from supracondylar fractures of the humerus in children. *J Pediatr Orthop* 1986, 6:647-50
- 77) MCLAUGHLIN, H.L. (1955) Some fractures with a time limit. *Surg Clin North America*
- 78) MEFFERT, R., LANGER, M. (2002) Euregio Bodensee Chirurtag. 5. bis 6. Julie. Nervenverletzungen als Begleitverletzungen von Knochenfrakturen.
- 79) MEHLMANN, C.T., STRUB, W.M., ROY, D.R., WALL, E.J., CEAWFORD, A.H. (2001) Overnight delay in the reduction of supracondylar fractures of zje humerus in children. *J Bone Joint Surg [Am]*, 83: 322-372
- 80) MEHSERLE, W.L., MEEHAN, P.L: (1991) Treatment of displaced supracondylar fractures of the humerus (type III) with closed reduction and percutaneous cross- pin fixation. *J Pediatr Orthop*, 11. 705-11
- 81) MOHAMMED, S., RYMASZEWSKI, L:A., RUNCIMAN, J. (1999) The Baumann angle in supracondylar fractures of the distal humerus in children. *J Pediatr Orthop*, 19: 65-9
- 82) MOHAN, K. (1972) Myositis ossificans traumatica of the elbow. *Int Surg*, 57: 475-8
- 83) MORGER, R. (1965) Frakturen und Luxationen am kindlichen Ellenbogen. *Karger Basel*
- 84) MOSTAFAVI, H.R., SPERO, C. (2000) Crossed pin fixation of displaced supracondylar humerus fractures in children. *Clin Orthop*, 376: 56-61
- 85) MULHALL, K.J., ABUZAKUK, T., CURTIN, W., O`SULLIVAN, M. (2000) Displaced spracondylar fractures of the humerus in children. *Intern Orthop*, 24: 221-23
- 86) MURPHY, W.A., SIEGEL, M.J: (1977) Elbow fat pads with new signs and extended differential diagnosis. *Radiology*, 124 (3): 659-65
- 87) MUTSCHER, K., SCHOLZ, O. (1968) Konservative Behandlung supracondylärer Humerusfrakturen unter Berücksichtigung unterschiedlicher Behandlungsmethoden. *Monatsschr. Unfallheilk.*, 72, 422

- 88) NACHT, J.L., ECKER, M.L., CHUNG, S.M.K., LOTKE, P.A. DAS, M. (1983) Supracondylar fractures of the humerus in children treated by closed reduction and percutaneous pinning. *Clin Orthop*, 177: 203-9
- 89) NIEHANS, P. (1904) Zur Frakturbehandlung durch temporäre Annagelung. *Arch f klin Chir*, 73: 167
- 90) O`HARA, L.J., BARLOW, J.B., CLARKE, N.M.P. (2000) Displaced supracondylar rfractures of the humerus in children. Audit changes practice. *J Bone Joint Surg [Br]*, 82: 204-10
- 91) PAPAVALILIO, V., NENOPOULOS, SAVAS (1986) Ipsilateral injuries of the elbow and forearm in children. *J Pediatr Orthop*, 6: 58-60
- 92) PARADIS, G., LAVALLE, P., GAGNON, N., LEMIRE, L. (1993) Supracondylar fractures of the humerus in children. Technique and results of crossed percutaneous K- wire fixation. *Clin Orthop*, 297: 231-37
- 93) PETERS, C.L., SCOTT, S.M., STEVENS, P.M. (1995) Closed reduction and percutaneous pinning of displaced supracondylar fractures in children; Description of a new closed reduction technique for fractures with brachialis muscle entrapment. *J Orthop Trauma*, 9: 430-34
- 94) PIRONE, A.M., GRAHAM, H.K., KRAJBICH, J.I. (1988) Management of displaced extension-type supprcondylar fractures of the humerus in children. *J Bone Joint Surg [Am]*, 70: 641-50
- 95) PREVOT, J., LASCOMBE, P., METAIZZEAU, J.P., BLAQUAR, D. (1990) Supracondylar fractures of the humerus in children: Treatment by downward pinning. *French J Orthop Surg*, 76: 171-177
- 96) RAMSEY, R.H., Griz, J. (1973) Immediate open reduction and internal fixation of severly displaced supracondylar fractures of the humerus in children. *Clin Orthop*, 90: 130-32
- 97) RANG M. (1974) Childrens` s fractures. *Lippincott, Philadelphia*
- 98) RASOOL, M.N. (1998) Ulnar nerve injury after k- wire fixation of supracondylar fractures in children. *J Pediatr Orthop*, 18: 686-90
- 99) RAY, S.A., IVORY, J.P., BEAVIS, J.P. (1991) Use of pulse oximetry during

- manipulation of supracondylar fractures of the humerus. *Injury*, 21: 103-04
- 100) RESCH, H., Helweg, G. (1987) Die Bedeutung des Rotationsfehlers bei supracondylären Oberarmfraktur des Kindes. *Akt Traumatol* , 17: 65-72
- 101) REITMANN, R.D., WATERS, P., MILLIS, M. (2001) Open reduction and percutaneous pinning for supracondylar fractures in children. *J Pediatr Orthop*, 21: 157-61
- 102) RISTIC, S., STRAUCH, R.J., ROSENWASSER, M.P. (2000) The assessment and treatment of nerve dysfunction after trauma around the elbow. *Clin Orthop*, 370: 138-53
- 103) RING, D., WATERS, P.M., HOTCHKISS, R.N., KASSER, J.R. (2001) Pediatric floating elbow. *J Pediatr Orthop*, 21: 456-59
- 104) ROHEN, J.W. (1994) Funktionelle Anatomie des Menschen. Lehrbuch der makroskopischen Anatomie nach funktionellen Gesichtspunkten. 8. Auflage. *Schattauer, Stuttgart New York*
- 105) ROPOSCH, A., REIS, M., MOLINA, M., DAVIDS, J., STANLEY, E., WILKINS, K., CHAMBERS, H.G. (2001) Supracondylar fractures of the humerus associated with ipsilateral forearm fractures in children: A report of forty-seven cases. *J Pediatr Orthop*, 21:307-312
- 106) ROYCE, R.O., DUTKOWSKY, J.P., KASSER, J.R. ET.AL. (1991) Neurologic complications after K- wire fixation of supracondylar humerus fractures in children. *J Pediatr Orthop*, 11: 191-94
- 107) SABHARWAL, S., TREDWELL, S.J., BEAUCHAMP, R.D., MCKENZIE, W.G., JAKUBEC, D.M., CAIRNS, R., LEBLANC, J.G. (1997) Management of the pulsless pink hand in pediatric supracondylar fracture of the humerus. *J Pediatr Orthop*, 17: 303-10
- 108) SAUER, H., KURTZ, R. (1981) Frakturen und Luxationen im Ellenbogenbereich. Checkliste Kinderchirurgie, *Thieme, Stuttgart, New York*
- 109) SCOLA, E., JEZUSSEK, D., KERLING, H.P., YEDIBELA, S. (2001) Die dislozierte supracondyläre Humerusfraktur des Kindes. Operationstechnik und Ergebnisse mit dem dorsolateralen Zugang. *Unfallchirurg*, 105, 95-98
- 110) SCHÄRLI, A.F.(1991) Verletzungen im Bereich des Ellenbogens. In: Komplikationen der Kinderchirurgie. *Thime, Stuttgart New York*

- 111) SCHINK, W. (1968) Fractura supracondylica humeri und die ischämische Kontraktur im Kindesalter. *Der Chirurg*, 39 Jg, Heft 9
- 112) SCHÖNECKER, P.L., DELGADO, E., ROTMAN, M., SICARD, G.A., CAPELLI, A.M. (1996) Pulsless arm in association with totally displaced supracondylar fracture. *J Orthop Trauma*, 10: 410-15
- 113) SCHÜTZ, W., BÖRNER, M. (1985) Indikation zur operativen und konservativen Behandlung der kindlichen suprakondylären Oberarmfrakturen sowie deren Ergebnisse. *Unfallchirurgie*, 11: 17
- 114) SHAKER, I.J., WHITE, J.M., SINGER, R.D., GOLLODAY, E.S. HALLER, J.A. (1984) Special problems of vascular injuries in children. *J Trauma*, 16: 863-7
- 115) SHAW, B.A., KASSER, J.R., EMANS, J.B., RAND, F.F. (1990) Management of vascular injuries in displaced supracondylar fractures without arteriography. *J Orthop Trauma*, 4: 25-9
- 116) SHIFRIN, P.G., GEHRING, H.W., IGLESIAS, L.J. (1976) Open reduction and internal fixation of displaced supracondylar fracture of the humerus in children. *Orthop Clin North Am*, 7: 573-81
- 117) SHIM, J.S., LEE, Y.S. (2002) Treatment of completely displaced supracondylar fracture of the humerus in children by cross-fixation with three kirschner wires. *J Pediatr Orthop*, 22: 12-16
- 118) SIEMERS, F., OBERTACKE, U., DOMINGUEZ-FERNANDEZ, E., OLIVIER, L.C., NEUDECK, F. (2002) Ipsilaterale knöcherne Begleitverletzungen bei kindlichen suprakondylären Humerusfrakturen. *Zentralbl Chir*, 127: 212-17
- 119) SILBLY, T.F., BRIGGS, P.J., GIBSON, M. J. (1991) Supracondylar fractures of the humerus: range of motion following the posterior approach to open reduction. *Injury*, 22: 465-8
- 120) SKAGGS, D.L., HALE, J.M., BASSETT, J., KAMINSKY, C., KAY, R.M., TOLO, V. (2001) Operative treatment of supracondylar fractures of the humerus in children. The consequence of pin placement. *J Bone Joint Surg [Am]*, 83: 775-40
- 121) SKAGGS, D.L., MIRZAYAN, R. (1999) The posterior fat pad sign in association with occult fracture of the elbow in children. *J Bone Joint Surg [Am]*, 81: 1429-33
- 122) SMITH, L. (1960) Deformity following supracondylar fractures of the humerus. *J Bone*

- Joint Surg [AM]. 42: 235-52*
- 123) SWENSON, A.L. (1948) The treatment of supracondylar fractures of the humerus by Kirschner wire transfixion. *J Bone Joint Surg [Am], 30: 993-7*
- 124) STANITZKI, C.L.,MICHELI, L.J, (1980) Simutanousipsilateral fractures of the arm and forearm in children. *Clin Orthop 153: 218-222*
- 125) TAEGER, G., NAST- KOLB, D. (2001) Distale Humerusfrakturen beim Kind. *Unfallchirurg., 104: 435: 445*
- 126) TEMPLETON, P.A., GRAHAM, H.K. (1995) The floating elbow in children. *J Bone Joint Surg [Br], 77: 791-96*
- 127) THE, R.M., SEVERIJNEN, R.S.V.M. (1999) Neurological complications in children with supracondylar fractures of the humerus. *Eur J Surg, 165: 180-82*
- 128) TOPPING, R.E., BLANCO, J.S., DAVIS T.J. (1995) Clinical evaluation of crossed- pin versus lateral fixation in displaced supracondylar humerus fractures. *J Pediatr Orthop, 15: 435-39*
- 129) VOLLMANN, R. (1881) Die ischämischen Muskellähmungen und Kontrakturen. *Zbl Chir 89, 362*
- 130) VON LAER, L.R. (1979) Die supracondyläre Humerusfraktur im Kindesalter. *Arch Orthop Traum Surg 95, 123*
- 131) VON LAER, L.R. (1997) Der radiale Fixateur externe zur Behandlung der supracondylären Humerusfraktur in Kindesalter. *Operat Orthop Traumatol, 9: 265-276*
- 132) VON LAER, L. (2001) Frakturen und Luxationen im Wachstumsalter. *Thieme Stuttgart New York*
- 133) VON LAER, L.R., BRUNNER,R., LAMPERT, CH. (1991) Fehlverheilte supracondyläre und kondyläre Humerusfrakturen. *Orthopädie 20,331*
- 134) VON LAER, L., GÜNTER, S.M., KNOPE, S., WEINBERG, A.M. (2002) Die supracondyläre Oberarmfraktur im Kindesalter- eine Effizienzstudie. Ergebnisse der multizentrischen Studie der Sektion Kindertraumatologie der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie- Teil II: Aufwand und Nutzen der Behandlung. *Unfallchirurg, 105: 217-23*

- 135) VON LAER, L.R., GRUBER, R., DALLEK, M., DIETZ, H.-G., KURTZ, W., LINHART, W., MARZI, I., SCHMITTENBECHER, P., SLONGO, T., WEINBERG, L., WESSEL, L. (2000) Classification and documentation of children's fractures. *Eur J Trauma*, 26: 2-14
- 136) WEILAND, A.J., MEYER, S., TOLO, V.T. (1978) Surgical treatment of displaced supracondylar fractures of the humerus in children. *J Bone and Joint Surg [Am]* 60: 657-61
- 137) WEINBERG, A.M., MARZI, I., GÜNTER, S.M., WESSEL, L., RIEDEL, J., VON LAER, L. (2002) Die supracondyläre Oberarmfraktur im Kindesalter- eine Effizienzstudie. Ergebnisse der multizentrischen Studie der Sektion Kindertraumatologie der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie- Teil I: Epidemiologie, Effektivitätsprüfung und Klassifikation. *Unfallchirurg*, 105: 208-16
- 138) WEISE, K., SCHWAB, E., SCHEUFELE, T.M. (1997) Ellenbogenverletzungen im Kindesalter. *Unfallchirurg*, 100: 255:2
- 139) WILLIAMSON, D.M., COATES, C.J., MILLER, R.K., COLE, W.G. (1992) Normal characteristics of the Baumann (humero- capitellar) angle: an aid in assessment of supracondylar fractures. *J Pediatr Orthop*, 12: 636-9
- 140) WILLIAMSON, D.M., COLE, W.G. (1993) Treatment of selected extension supracondylar fractures of the humerus by manipulation and strapping flexion. *Injury*, 24: 249-52
- 141) WILKINS, K.E. (1984) Fractures and dislocations of the elbow region. In: Rockwood, C.H., Wilkins, K.E., King, R.E., eds. Fractures in children. Philadelphia, J.B., Lippincott
- 142) WILKINS, K.E. (1994) Supracondylar fractures of the humerus. In: Operative management of the upper extremity fractures in children. *AA monograph series*
- 143) WILKINS, K.E. (1995) Supracondylar fractures: What's new? *J Pediatr Orthop B* 6: 110-16
- 144) WOODHALL, B., BEEBE, B.W. (1956) Peripheral nerve regeneration
- 145) WORLOCK, P.H. (1986) Supracondylar fractures of the humerus: assessment of cubitus varus by Baumann angle. *J Bone Joint Surg [Br]*, 68: 755-57
- 146) ZALTZ, I., WATERS, P.M., KASSER, J.R. (1996) Ulnar nerve instability in children. *J*

*Pediatr Orthop, 16: 567-69*

- 147) ZIONTS, L.E., MCKELLOP, H.A., HATHAWAY (1994) Torsional strength of pin configuration used to fix supracondylar fractures of the humerus in children. *J Bone Joint Surg [Am], 76: 253-56*

## **10 Lebenslauf**

## 11 Anhang

### 11.1 PROTOKOLL

<b>1.) Patientenidentifikation</b>		
Name: _____ —	Vorname: _____ —	Geschlecht:  <input type="radio"/> weiblich  <input type="radio"/> männlich
Geb.-Dat.: _____	Unfall.:Dat.: _____	Op-Dat.: _____
ME-Dat.: _____		
<b>2.) Allgemeine Informationen</b>		
Unfallhergang: _____ —	Weichteilschaden:  <input type="radio"/> ja  <input type="radio"/> nein	Mehrfachverletzungen:  <input type="radio"/> ja  <input type="radio"/> nein
Wenn mit ja geantwortet wurde, dann die folgende Kästchen ausfüllen:		
<input type="checkbox"/> ipsilaterale UA-Fraktur		
<input type="checkbox"/> andere (_____)		
Begleitverletzungen:  <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein		
Wenn mit ja geantwortet wurde, dann die folgende Kästchen ausfüllen:		
<input type="checkbox"/> N. radialis		
<input type="checkbox"/> N. ulnaris		
<input type="checkbox"/> N. medianus		

O Gefäße		
O andere (_____)		
3.) Behandlung		
Zeit Behandlung:_____	bis O konservativ  O operativ (K-Draht)	
Wenn operativ geantwortet wurde, bitte die folgende Kästchen ausfüllen:		
O geschlossene Reposition		
O offeneR.		
Revision:  O ja  O nein	Krankengymnastik:  O ja  O nein	
4.) Komplikationen		
O ja  O nein		
5.) Nachuntersuchung		
5.1) Fragebogen		
Kribbelparästhesien:  O ja (O permanent oder O intermittierend)  O nein	Kälteintoleranz:  O ja  O nein	Bestehende Deformität:  O ja  O nein

<p>Kraftverlust:</p> <p><input type="radio"/> ja</p> <p><input type="radio"/> nein</p>	<p>Bewegungseinschränkung:</p> <p><input type="radio"/> keine</p> <p><input type="radio"/> Beugung</p> <p><input type="radio"/> Streckung</p> <p><input type="radio"/> Beides</p>	
<p>Andere: _____</p> <p>–</p>		
5.1) klinische Untersuchung		
<p>Flexion/Extension:</p> <p><input type="radio"/> symmetrisch</p> <p><input type="radio"/> Defizit (Ausmaß: _____°)</p>	<p>Pronation/Supination:</p> <p><input type="radio"/> symmetrisch</p> <p><input type="radio"/> Defizit (Ausmaß: _____°)</p>	<p>Ellenbogenachse:</p> <p><input type="radio"/> symmetrisch</p> <p><input type="radio"/> Varisierung (Ausmaß: _____°)</p> <p><input type="radio"/> Valgisierung (Ausmaß: _____°)</p>
<p>Motorische Funktionsprüfung :</p> <p>N. radialis (Finger strecken):</p> <p><input type="radio"/> ja</p> <p><input type="radio"/> nein</p>	<p>Motorische Funktionsprüfung :</p> <p>N. ulnaris (Finger spreizen):</p> <p><input type="radio"/> ja</p> <p><input type="radio"/> nein</p>	<p>Motorische Funktionsprüfung :</p> <p>N. medianus (Beugung des 1, und 2. Fingerendgliedes bei gestrecktem fixierten Mittel- und Endglied):</p> <p><input type="radio"/> ja</p> <p><input type="radio"/> nein</p>

<p>Puls (A. radialis et ulnaris) tastbar?:</p> <p><input type="radio"/> ja</p> <p><input type="radio"/> nein</p>	<p>Umfangmessung ( auf Höhe des Ellenbogengelenkes):</p> <p><input type="radio"/> symmetrisch</p> <p><input type="radio"/> Defizit (Ausmaß: _____°)</p>	<p>Umfangmessung ( 10 cm oberhalb des Ellenbogengelenkes):</p> <p><input type="radio"/> symmetrisch</p> <p><input type="radio"/> Defizit (Ausmaß: _____°)</p>
<p>Längenmessung:</p> <p><input type="radio"/> symmetrisch</p> <p><input type="radio"/> Defizit (Ausmaß: _____°)</p>	<p>Narbenverhältnisse:</p>	