Aus der Klinik für Kinderchirurgie

der Universität zu Lübeck

Direktor: Prof. Dr. med. L. Wünsch

Frakturen der langen Röhrenknochen bei Kindern und Jugendlichen

—

Qualitative Analyse der kindertraumatologischen Versorgung anhand einer prospektiven 1-Jahres-Erfassung unter Einbeziehung der LiLa-Klassifikation

Inauguraldissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der Universität zu Lübeck

- Aus der Sektion Medizin -

vorgelegt von

Elisabeth Gabriele Massalme

(geborene Spallek)

aus Hamburg

Lübeck 2015

1. Berichterstatter:	Prof. Dr. med. Martin M. Kaiser
2. Berichterstatter:	Priv.-Doz. Dr. med. Maximilian Faschingbauer
Tag der mündlichen Prüfung:	30.10.2015
Zum Druck genehmigt. Lübeck, den	30.10.2015

Promotionskommission der Sektion Medizin

Inhaltsverzeichnis

1	**EINLEITUNG**	**1**
1.1	**Anatomie und Entwicklung der langen Röhrenknochen**	**1**
1.2	**Relevante sowie spezifische Frakturformen der langen Röhrenknochen bei Kindern und Jugendlichen**	**5**
1.3	**Frakturheilung und Remodeling am wachsenden Knochen**	**13**
1.4	**Klassifikationen von Frakturen im Kindesalter**	**15**
1.4.1	LiLa e.V. - Licht und Lachen für kranke Kinder	15
1.4.2	Die LiLa-Klassifikation für pädiatrische Frakturen langer Röhrenknochen im Vergleich zu anderen Klassifikationssystemen	16
1.4.3	Teilnahme an der Evaluierungs- und Validierungsstudie der LiLa-Klassifikation der Kinderchirurgie Lübeck	16
1.5	**Therapieoptionen kindlicher Frakturen**	**16**
1.5.1	Konservative Therapie: Gipsbehandlung und Extension	17
1.5.2	Operative Therapie: Allgemeine Aspekte	18
1.6	**Komplikationen und Folgen kindlicher Frakturen**	**23**
1.7	**Zielsetzung und Fragestellung**	**24**
2	**METHODIK**	**26**
2.1	**Patienten**	**26**
2.1.1	Studienpopulation	26
2.1.2	Rekrutierung der Patienten	26
2.2	**Erfassung der Daten**	**26**
2.3	**Dokumentationssystem und Klassifikation**	**27**
2.3.1	Die LiLa-Klassifikation für pädiatrische Frakturen langer Röhrenknochen	28
2.4	**Behandlung der Frakturen**	**30**
2.5	**Nachuntersuchung der Frakturen**	**31**
2.5.1	Standardisierte klinische Nachuntersuchung	31
2.5.2	Validierte Scores der Nachuntersuchung	32
2.6	**Statistik**	**34**
3	**ERGEBNISSE**	**35**
3.1	**Inzidenz der Frakturen und Behandlungsmethoden**	**36**
3.2	**Frakturen des Humerus**	**36**
3.3	**Frakturen des Radius und der Ulna**	**42**
3.4	**Frakturen des Femur**	**51**
3.5	**Frakturen der Tibia und der Fibula**	**53**
4	**DISKUSSION**	**60**
4.1	**Diskussion der Studienstruktur und des Studiendesigns**	**60**
4.2	**Einordnung der erhobenen Ergebnisse im Vergleich mit der Literatur zur Behandlung und zur Effizienz**	**61**
4.2.1	Humerusfrakturen	61
4.2.2	Radius- und Ulnafrakturen	71
4.2.3	Femurfrakturen	83
4.2.4	Tibia- und Fibulafrakturen	88
4.3	**Korrelation zwischen LiLa-Klassifikation und resultierender Behandlung**	**94**
4.4	**Schlussfolgerungen**	**96**
5	**ZUSAMMENFASSUNG**	**99**
6	**LITERATURVERZEICHNIS**	**102**

7 ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS 110
8 TABELLENVERZEICHNIS 111
9 ABBILDUNGSVERZEICHNIS 112
10 LEBENSLAUF 113
11 WISSENSCHAFTLICHE PUBLIKATIONEN 114
12 DANKSAGUNG 115
13 ANHANG I
13.1 Patienten- und Elternaufklärung i
13.2 Schriftliche Einverständniserklärung zur Verwendung von Daten des Kindes ii
13.3 Postalische Aufklärung der Eltern iii
13.4 Der Frakturerhebungsbogen (Primärbogen 2005) iv
13.5 Der Nachuntersuchungsbogen (Follow-up-Bogen 2005) vi
13.6 Das strukturierte Telefoninterview viii
13.7 Die LiLa-Klassifikation, Version 2 x
13.8 Die AO-Klassifikation für Frakturen im Kindesalter xiii
13.9 Klassifikation der Monteggiafrakturen nach Bado xv
13.10 Einteilung der Wachstumsfugenverletzungen nach Aitken xvi
13.11 Einteilung der Wachstumsfugenverletzungen nach Salter und Harris xvii
13.12 Klassifikation der supracondylären Humerusfrakturen nach L. von Laer xviii
13.13 Verwendete Scores xix
13.13.1 Score nach Constant und Murley xix
13.13.2 Mayo-Elbow-Performance-Score xx
13.13.3 Score nach Flynn xxi
13.13.4 Score nach Cooney et al. xxii
13.13.5 Harris-Score 1969, modifiziert nach Haddad 1990 xxiii
13.13.6 Score nach Merchant und Dietz xxv
13.13.7 Score nach Ertl et al. xxvi
13.13.8 Beurteilung der Funktion anhand der Punktevergabe der American Orthopaedic Foot and Ankle Society (AOFAS) xxvii

1 Einleitung

Das Skelett im Kindes- und Wachstumsalter weist wesentliche Unterschiede zu dem im Erwachsenenalter auf. Dies spiegelt sich in der Morphologie, der Heilungs- und Korrekturpotenz sowie in kinderspezifischen Frakturtypen wider. Frakturformen und ihre Behandlung sind wiederum vom aktuellen Alter des Kindes oder Adoleszenten abhängig. Daher sind die Behandlungsmethoden und -standards der Erwachsentraumatologie nur selten auf die Kindertraumatologie übertragbar. Zusätzlich erschweren die oft kleineren Fallzahlen auch die Entwicklung allgemeingültiger Behandlungsstandards. Im Gegensatz zur Erwachsenen-traumatologie finden sich daher nur wenige Effizienzstudien oder prospektiv randomisierte Studien. Weiterhin existiert bislang keine etablierte Klassifikation, die eine einheitliche Codierung aller Frakturen der langen Röhrenknochen im Kindes- und Wachstumsalter bietet und somit die Frakturen und ihre Behandlungsergebnisse untereinander vergleichbar macht bzw. damit eine systematische Entwicklung von Leitlinien ermöglichen würde.

Diese Studie verwendet die neu entwickelte LiLa-Klassifikation für Frakturen der langen Röhrenknochen im Kindes- und Wachstumsalter (siehe 2.3.1), die sich zu Beginn der Studie in der Evaluierungsphase befand. Sie wurde als Grundlage zur systematischen und strukturierten Einteilung aller Frakturen der langen Röhrenknochen verwendet, um die Effizienz der aktuellen Behandlungsstandards eines Krankenhauses der Maximalversorgung zu prüfen. Die Ergebnisse der Behandlung wurden anhand evaluierter und etablierter Nachuntersuchungsscores gemessen. Ziel war es, die Ergebnisse der an einem Haus der Maximalversorgung standardisiert durchgeführten Therapie mit den Ergebnissen anderer Publikationen zu vergleichen, um die Behandlung eventuell zu optimieren oder den Bedarf an weiteren Studien aufzudecken.

1.1 Anatomie und Entwicklung der langen Röhrenknochen

Die langen Röhrenknochen im Kindes- und Wachstumsalter (Humerus, Radius, Ulna, Femur, Tibia und Fibula) bestehen aus den Epiphysen (dem gelenkbildenden Anteil), den Metaphysen (Übergang von Epiphyse zu Diaphyse) und der Diaphyse (dem Schaftbereich; siehe Abbildung 1). Der Übergang von Metaphyse zur Diaphyse ist radiologisch nicht klar abgrenzbar. Als Hilfslinie wird das Quadrat über der Epiphysenfuge verwendet, die diese Grenze definiert [96, 155] (siehe Abbildung 2).

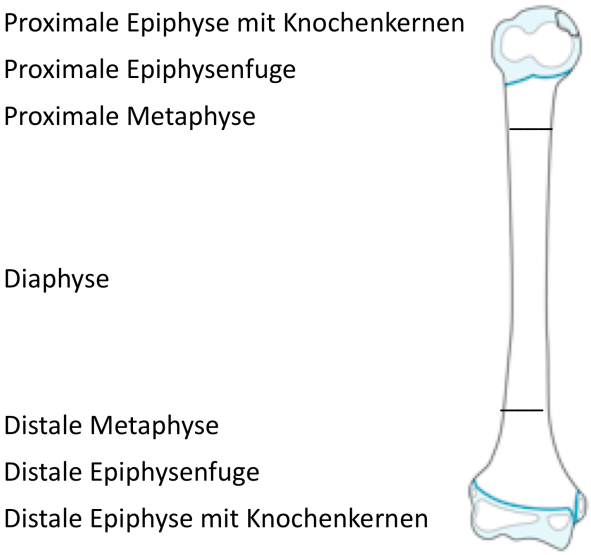


Abbildung 1: Aufbau eines langen Röhrenknochens am Beispiel des Humerus mit zusätzlicher Beschriftung der Metaphysengrenzen

aus [102]

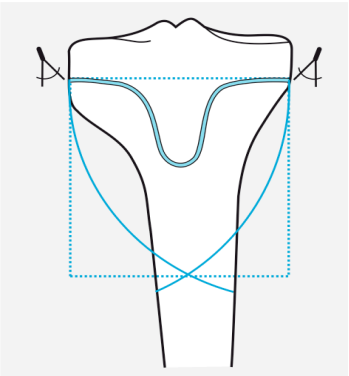


Abbildung 2: Mögliche Abgrenzung der Metaphyse anhand des Quadrates über der Epiphysenfuge

aus [96]

Die Epiphysenfugen, auch Wachstumsfugen genannt, sind jeweils proximal und distal zwischen der Epiphyse und der Metaphyse gelegen und sind für das Längenwachstum verantwortlich, sodass sie erst während der Pubertät vollständig verknöchern. Apophysen der langen Röhrenknochen finden sich am Femur, der Tibia, dem Humerus und der Ulna. Sie dienen als Ansatz für Muskeln und Sehnen und sind nicht am Knochenwachstum beteiligt.

Bei der Geburt bestehen Epi- und Apophysen aus Knorpel, in dem sich Ossifikationszentren, auch „Knochenkerne“ genannt, bilden und den Ort des Verknöcherungsprozesses darstellen. Die Knochenkerne der Apophysen verschmelzen in der Regel im Rahmen des Verknöcherungsprozesses mit denen der Epiphysen (z.B. am proximalen Humerus), sie können aber auch eigenständig bleiben (z.B. am proximalen Femur). Da diese Ossifikationszentren mit zunehmender Verknöcherung zeitlich versetzt radiologisch sichtbar werden und im Verlauf mit dem benachbarten Knochen verschmelzen, ist es möglich, anhand des Verknöcherungsmusters des Knochens das skelettale Alter zu bestimmen [80, 106, 142, 143]. Apophysäre Kerne im Bereich der Extremitäten stellen am Humerus beispielsweise der Epicondylus medialis (ulnaris) dar, der ab dem 5. Lebensjahr sichtbar wird bzw. der Epicondylus lateralis (radialis), der erst ab dem 11. Lebensjahr im Röntgenbild zu erkennen ist. Beispiele für Apophysen der unteren Extremität stellen die Tuberositas tibiae, der Trochanter minor und major dar. Epiphysäre Knochenkerne sind beispielhaft am Humerus distal das Capitulum humeri und die Trochleakerne [53, 73, 80, 143].

Das Längenwachstum des Knochens findet an den proximalen und distalen Epiphysenfugen statt (Abbildung 3). Im unmittelbar an die Epiphyse grenzenden Stratum germinativum proliferieren die Knorpelzellen, die sich metaphysenwärts pallisadenförmig anordnen (Säulenknorpel), anschließend hypertrophieren (Blasenknorpel) und abschließend im Bereich der Metaphyse zunehmend mineralisieren, bevor sie zu Knochensubstanz umgebaut werden. Aus klinischer Sicht kann die Epiphysenfuge in den epiphysären Teil mit Proliferationspotenz und den metaphysären Teil ohne Proliferationspotenz unterteilt werden. Diese beiden funktionellen Systeme halten sich während der Wachstumsphase im Gleichgewicht. Während der Pubertät schließt sich die Fuge physiologisch, wobei initial eine Ruhephase entsteht, während der die Proliferation als auch die Mineralisation sistieren, die Proliferationspotenz aber noch erhalten bleibt. Anschließend beginnt die Verschlussphase, in der die Proliferationspotenz versiegt und die Mineralisation vom metaphysären Anteil aus die gesamte Fuge ergreift und epiphysenwärts durchwandert. Der Zeitpunkt des Epiphysenfugenverschlusses ist abhängig von individuellen Faktoren wie dem Geschlecht und dem Wachstumspotenzial der einzelnen Fugen [97].

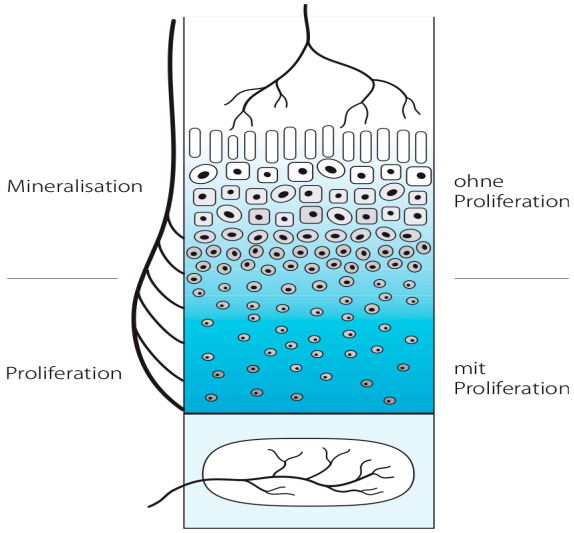


Abbildung 3: Schematische Darstellung der Epiphysenfugen

aus [97]

Die Wachstumskapazität einer Fuge am Gesamtwachstum des jeweiligen Knochens variiert innerhalb der verschiedenen Lokalisationen. Am Arm besteht ein ungleichmäßig verteiltes Wachstum, da die proximale Epiphysenfuge des Humerus für 80%, die beiden Fugen am Ellenbogengelenk (distale Humerus- und proximale Unterarmfugen) jeweils nur zu 20% und die Fugen des distalen Unterarmes wiederum zu 80% am Längenwachstum des Armes beteiligt sind. An den unteren Extremitäten ist dies weniger unterschiedlich ausgeprägt: die Fuge des proximalen Femurs ist für 30% des Wachstums verantwortlich, während die Anteile für die distale Fuge 70% betragen bzw. für die proximale Tibiafuge 55% und die distale 45% [83, 97, 142, 143].

Für das Dickenwachstum sind das Periost (die äußere Knochenhaut) und das Endost (die innere Knochenhaut) zuständig. Das Periost ist eine bindegewebige, derbe, faserige Hülle, die den Knochen mit Ausnahme der Gelenkflächen umzieht und an ihm fest anliegt. Es enthält Blut- und Nervengefäße, wodurch es im Gegensatz zum Knochen sehr schmerzempfindlich ist. Im Periost befinden sich die knochenbildenden Osteoblasten. Das Endost, das die Spongiosabälkchen und den Markraum bedeckt, enthält Fibroblasten, Osteoblasten und die knochenabbauenden Osteoklasten. Beim Dickenwachstum besteht ein Gleichgewicht zwischen zwei Systemen, d.h. durch periostalen Knochenanbau gewinnt der Knochen an Dicke, durch den gleichzeitigen endostalen Knochenabbau bleibt dabei das Gesamtgewicht des Knochens konstant. Damit bleibt der als Röhrenknochen angelegte Knochen als solcher erhalten und bei einem Minimum an Material entsteht ein Maximum an Belastbarkeit. Diese beiden Systeme gewährleisten die Heilung von Frakturen, das Remodeling von Kallusmassen und die Korrektur von Achsenabweichungen (siehe Kapitel 1.3). Im Vergleich zu Erwachsenen ist das Periost bei Kindern und Jugendlichen

dicker, stabiler und besser durchblutet, was zu einer erhöhten Elastizität führt und eine schnellere Frakturheilung ermöglicht [97].

Mit zunehmendem Alter steigt das Risiko, sich eine Fraktur zuzuziehen, da sich die Knochen während des Wachstums verändern. Durch die zunehmende Verknöcherung der bei Geburt noch knorpeligen Epiphyse steigt deren Verletzungsrisiko, beispielsweise als Epiphysenfugenlösung. Weiterhin verändert sich auch die Diaphyse. Beim Neugeborenen ist sie stark vaskularisiert und ihre Corticalis ist verglichen mit dem Knochen Erwachsener dünner. Folglich sind kindliche Knochen aufgrund einer geringeren Knochendichte weicher, elastischer und biegungsfähiger als Knochen nach Abschluss des Wachstums [97, 124].

1.2 Relevante sowie spezifische Frakturformen der langen Röhrenknochen bei Kindern und Jugendlichen

Epidemiologische Studien zeigen, dass es sich bei 10 bis 25% aller Verletzungen im Kindesalter um Frakturen handelt, die nach Kraus in 55% und nach Linhart in 81 bis 89% der Fälle die langen Röhrenknochen betreffen [79, 88]. Die obere Extremität ist dabei zwei- bis dreimal häufiger betroffen als die untere Extremität, sodass hier insgesamt nach Kraus ca. 30% und nach Linhart etwa 53 bis 67% aller Frakturen lokalisiert sind [22, 79, 88]. Frakturen des distalen Drittels von Radius und Ulna stellen mit 20 bis 40% der Frakturen langer Röhrenknochen die häufigsten Frakturen dar [16, 22, 82, 83, 91]. Bei Kindern und Jugendlichen handelt es sich nahezu immer um geschlossene Frakturen der langen Röhrenknochen, lediglich in 0,5% bis 4,5% der Fälle liegt eine offene Fraktur vor [91]. Wie im Erwachsenenalter können komplette Frakturen (quer, schräg oder spiralförmig) sowie Mehrfragment- und Trümmerbrüche auftreten. Die anatomischen Unterschiede des Knochenaufbaus sowie die jeweilige Lokalisation und das Alter sind jedoch für spezielle kindliche Frakturformen verantwortlich.

Typische und nahezu nur im Kindes- und Wachstumsalter vorkommende Frakturtypen sind a) Wulstfrakturen, b) Biegungsfrakturen bzw. Grünholzfrakturen, c) Frakturen im Bereich der Wachstumsfugen, d) Übergangsfrakturen, e) Abrissfrakturen von Apophysen und f) Toddler-Frakturen. In jedem Alter auftretende und im Kindes- und Wachstumsalter besonders relevante Frakturen sind g) die Monteggia- und Monteggiaäquivalentfrakturen, h) die proximalen Radiushals- bzw. Radiusschaftfrakturen und i) die supracondylären Humerusfrakturen. Diese Frakturtypen werden im folgenden Abschnitt näher erläutert.

a) Wulstfrakturen

Bei Wulstfrakturen (Stauchungsfrakturen, siehe Abbildung 4) handelt es sich um unvollständige Frakturen mit erhaltenem Periostschlauch und eingestauchter Kortikalis ohne Dislokation. Sie treten vor allem bei langen Röhrenknochen an der Metaphyse bzw. am dia-metaphysären

Übergang auf und betreffen meistens den Unterarm bei Kindern unter 12 Jahren. Ursächlich ist eine nahezu axiale Stauchung des Knochens, bei der sich die beiden Fragmente im unverletzten Periost ineinander schieben. Diese Verschiebung wird radiologisch und sonographisch als wulstige Verdickung sichtbar. Bei diesem stabilen Frakturtyp besteht keine Gefahr der Dislokation oder eines Fehlwachstums [83, 123].

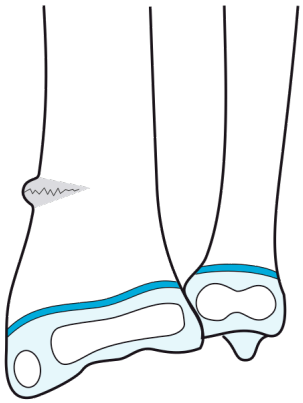


Abbildung 4: Metaphysäre Wulstfraktur
aus [102]

b) Biegungsfrakturen bzw. Grünholzfrakturen

Die Gruppe der Biegungsfrakturen wird in die im Kindes- und Jugendalter häufig auftretenden Grünholzfrakturen und in die selten auftretenden „Bowing-Deformationen“ (plastische Verbiegung des Knochens, s.u.) unterteilt. Beide Formen treten am häufigsten am Unterarm auf.

Grünholzfrakturen (siehe Abbildung 5b) befinden sich hauptsächlich diaphysär oder am Übergang von der Diaphyse zur Metaphyse. Durch das starke kindliche Periost ist es möglich, dass bei diesem Frakturtyp dieses nur auf einer Seite reißt bzw. nur eine Corticalisseite frakturiert, sodass die Knochenkontinuität zum wesentlichen Teil erhalten bleibt. Dadurch entsteht auf der konkaven Seite eine Biegung, während die konvexe Seite aufgrund der größeren Dehnungsbelastung bricht. Es handelt sich ebenfalls um einen stabilen Frakturtyp. Aufgrund der Elastizität sind Verformungen bis > 45° möglich [18, 83, 106, 123, 124], die bei Erwachsenen immer zu einer kompletten Fraktur führen würden. Während die konkave Corticalis zügig heilt, behindert der fehlende Druck auf die Fragmente der konvexen Seite eine frakturüberbrückende Kallusbildung, wodurch es zu Verzögerung der Heilung mit der Gefahr von Refrakturen in 20 bis 30% kommt [102]. Verbleiben Achsabweichungen > 10° (sowohl bei der Bowing– als auch der Grünholzfraktur), werden diese im Bereich der Diaphyse nicht korrigiert und können am Unterarm Rotationsdefizite (eingeschränkte Pro-/Supination) nach sich ziehen. Daher ist die geschlossene Reposition durch eine 3-Punkt-Abstützung mit Druck gegen den Apex der Fraktur und Gegendruck von kontralateral

distal und proximal der Fraktur notwendig [42, 106, 123, 142]. Die Prognose ist nach kompletter Reposition mit Durchbrechen der Gegenkortikalis und Immobilisation sowie nach ESIN-Osteosynthese sehr gut [42, 106].

Die zweite Form der Biegungsfraktur, „Bowing-Deformation“ bzw. „Bowing-Fracture“ genannt, ist eine sehr seltene Frakturfom, die im Röntgenbild als plastisch verformter Knochen ohne sichtbaren Frakturspalt imponiert (siehe Abbildung 5c). Sie entsteht durch Krafteinwirkungen, die die Belastbarkeit des Knochens nicht überschreiten, jedoch die Grenzen der elastischen Verformbarkeit erreichen. Dadurch entsteht eine Biegung bei radiologisch nicht sichtbarer Mikrofraktur mit konkavseitiger Stauchungszone bei stets intaktem Periost. Diese Frakturform tritt vor allem im späten Kindes- und Jugendalter auf und betrifft vor allem Ulna und Fibula, seltener auch den Radius und die Tibia.

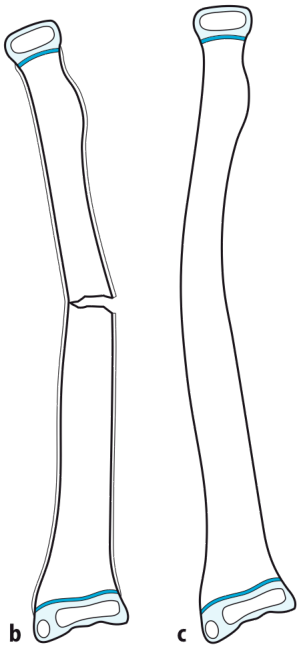


Abbildung 5: Formen diaphysärer Biegungsfrakturen

b) Klassische Grünholzfraktur
c) Bowing-Fracture = plastische Verbiegung
aus [102]

c) Frakturen im Bereich der noch offenen Wachstumsfugen

Frakturen im Bereich der noch komplett offenen Wachstumsfugen zeichnen sich durch unterschiedliche Verläufe (partielle oder komplette Epiphysiolyse bzw. fugenkreuzender Frakturverlauf) aus und werden nach Salter-Harris (S-H) bzw. Aitken (siehe Tabelle 1, sowie in

Anhang 13.10 und 13.11) klassifiziert, wobei sich international die erst genannte Einteilung durchgesetzt hat [1, 2, 126].

Salter-Harris 1	-	Epiphysiolyse
Salter-Harris 2	Aitken I	Epiphysiolyse mit metaphysärem Fragment
Salter-Harris 3	Aitken II	Epiphysiolyse mit epiphysärem Fragment
Salter-Harris 4	Aitken III	Epiphysiolyse mit meta-epiphysärem Fragment
Salter-Harris 5	-	Epiphysenfugenkompression

Tabelle 1: Formen der Fugenverletzungen in den Klassifikationen nach Salter und Harris (1963) sowie nach Aitken (1952)

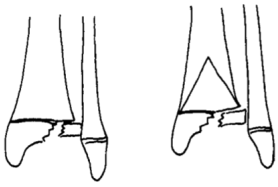
Frakturen bei komplett offenen Wachstumsfugen werden in extraartikuläre Schaftfrakturen (Salter-Harris [S-H] 1 und 2) und Gelenkfrakturen (Salter-Harris 3 und 4) unterteilt. Während bei S-H 1 und 2 der Dislokationsgrad entscheidend für die Therapie ist, handelt es sich bei S-H 3 und 4 um intraartikuläre Verletzungen, bei denen die Deformierung des gelenktragenden Anteils betrachtet werden muss. Liegt eine Gelenkstufe vor oder ist die Gelenkfraktur > 2 mm dehiszent, wird dies als nicht tolerabel betrachtet und die Fraktur osteosynthetisch versorgt, da eine Gelenkinkongruenz langfristig zur Arthrose führen kann [83, 85, 142]. Verletzungen der noch komplett offenen Fugen können zu signifikanten Wachstumsstörungen führen. Möglich sind vorübergehende Wachstumshemmungen bis hin zu einem Wachstumsstillstand, andererseits ist auch ein überschießendes Wachstum mit konsekutiver Verlängerung der betroffenen Extremität möglich. Die daraus resultierenden Längendifferenzen führen an der unteren Extremität ab einer Differenz von 1 bis 1,5 cm zu einem klinisch relevanten Beckenschiefstand und konsekutiver Skoliose. Bei anatomisch nicht korrekt reponierten Fugenverletzungen erhöht sich das Risiko einer vorzeitigen Teilverknöcherung der Epiphysenfuge. Durch den partiellen, vorzeitigen Fugenschluss hingegen sind Wachstumstörungen mit daraus resultierenden und ggf. während des Wachstums weiter zunehmenden Achsabweichungen möglich [85, 123, 124].

Frakturen der distalen Humerusepiphyse sind die Frakturen des Condylus radialis und des Condylus ulnaris. Die seltene Kombination dieser beiden wird „Y-Fraktur“ genannt. Sie stellen intraartikuläre Ellenbogenfrakturen im Sinne einer Salter-Harris-4-Fraktur des distalen Humerus dar. Diese Gelenkfrakturen sind abzugrenzen von metaphysären supracondylären Frakturen oder Apophysenabrissen der Epikondylen [73]. Im Bereich des medialen Malleolus der distalen Tibia treten Verletzungen der offenen Fuge als Salter-Harris-3- oder -4-Frakturen auf [85].

d) Übergangsfrakturen bei partiell verschlossenen Fugen

Epiphysenverletzungen bei bereits partiell verknöcherten Epiphysenfugen durch beginnenden Fugenschluss im Adoleszentenalter werden "Übergangsfrakturen" genannt. Die häufigste

Lokalisation stellt die distale Tibiafuge dar. Je nach Reifezustand und Geschlecht des Kindes kommt es ab einem Alter von 10 Jahren über einen Zeitraum von etwa 18 Monaten zu einem langsamen Verschluss der Epiphysenfuge [133]. Durch die partielle, von medial ventral nach lateral verlaufende Verknöcherung kommt es zu einer Veränderung der Frakturmorphologie gegenüber Frakturen bei offenen Wachstumsfugen. So wird das Biegemoment an der Verknöcherungszone der Epiphysenfuge in den epiphysären Bereich abgeleitet, wodurch eine Gelenkfraktur entsteht. Scherkräfte führen aufgrund der veränderten Biomechanik zu einem spezifischen Verletzungsmuster [29, 133, 142]: Nach Anzahl der Frakturfragmente wird zwischen den sogenannten Twoplane-Frakturen (Epiphysenlösung mit rein epiphysärem Fragment) sowie den Triplane-Frakturen (Twoplane-Fraktur mit weiterem Frakturverlauf in einer zusätzlichen Ebene) unterschieden (siehe Abbildung 6). Die Triplane-Frakturen werden unterteilt in die Triplane-I-Fraktur mit einem epiphysären und gesondert davon verlaufenden dorsalem metaphysären Fragment und der Triplane-II-Fraktur mit einer epi-metaphysären Keilfraktur. Bei Dislokationen von mehr als 2 mm oder bei Vorliegen einer Gelenkstufe ist die Reposition indiziert. Dabei steht die exakte Gelenkrekonstruktion im Vordergrund, da bei Fehlstellungen im gelenkbildenden Abschnitt eine Arthrose entstehen kann. Mit relevanten Wachstumsstörungen ist aufgrund des bereits begonnenen physiologischen Fugenschlusses kaum noch zu rechnen [29, 107, 133, 142].



a) b)

Abbildung 6: Übergangsfrakturen der distalen Tibia

a) Twoplane-Fraktur
b) Triplane-Fraktur
aus [152]

e) Abrissfrakturen der Apophysen

Apophysenverletzungen entstehen durch plötzlichen starken Muskelzug, beispielsweise bei Sportverletzungen. Hierbei löst sich die als Sehnenansatz dienende Apophyse, während der Muskel intakt bleibt [102, 106]. Typische Apophysenverletzungen stellen der Abriss des Epicondylus ulnaris oder der Tuberositas tibiae dar, seltener sind Frakturen des Epicondylus radialis. Ebenfalls selten sind alle apophysären Frakturen der proximalen Tibia, sowohl der Eminentia tibiae als auch der Tuberositas tibiae, deren Inzidenz deutlich unter 0,5% liegt [142]. Da Apophysenfugen nicht am Längenwachstum beteiligt sind treten keine Wachstumsstörungen auf [80, 102, 106, 142, 143].

f) Toddler-Frakturen

Toddler-Frakturen sind Stressfrakturen bei Kindern im Alter von unter drei Jahren. Diese treten besonders im Bereich der Diaphyse, vor allem an der Tibia, seltener auch an der Fibula, dem Femur und den Fußwurzelknochen auf. Sie entstehen entweder durch ein Rotationstrauma bei fixiertem Fuß, durch wiederholtes Stürzen der Kleinkinder im Rahmen der neuerworbenen Fähigkeit des Laufens oder bei relativer Überlastung der Knochenstruktur. Dadurch entstehen entweder fissurale oder im initialen Röntgenbild häufig nicht sichtbare („okkulte“) Frakturen, die erst nach 10 bis 14 Tagen im Röntgenbild diagnostizierbar werden, wenn als Zeichen einer stattgefundenen Fraktur periostale Kallusbildung zu sehen ist. Klinisch fallen die Kinder durch plötzliche Schonung des betroffenen Beines auf. Folgeschäden treten nicht auf [101, 102, 136].

g) Monteggia-Frakturen und Monteggiaäquivalent-Frakturen

Eine mit nur 1,35% aller Unterarmfrakturen sehr selten auftretende, aber aufgrund ihrer speziellen Biomechanik bedeutsame Sonderform der Unterarmfrakturen sind die Monteggia-Frakturen und ihre Äquivalente (siehe Anhang 13.9) [100, 102]. Monteggia-Frakturen werden nach Bado entsprechend ihrer Dislokationen in vier Typen eingeteilt, wobei die vordere Dislokation (Typ I) mit 60 bis 80% die häufigste Frakturform ausmacht (siehe Anhang 13.9) [3, 9, 123]. Die klassische Monteggia-Luxationsfraktur ist eine Fraktur der Ulna in Kombination mit einer Radiusköpfchenluxation sowie den daraus resultierenden ligamentären Verletzungen des proximalen Radioulnargelenkes, des Humeroradialgelenkes und der Membrana interossea. Dabei kann die Ulnafraktur sowohl im mittleren als auch häufiger im proximalen Drittel liegen oder als Olekranonfraktur imponieren. Die Luxation des Radiusköpfchens ist auch bei einer plastischen Verbiegung der Ulna (bowing-fracture) möglich. Besonders in letzterem Fall besteht die Gefahr, die Radiusköpfchenluxation zu übersehen, was aufgrund der daraus resultierenden persistierenden Luxation im Radiohumeralgelenk zu einer schweren dauerhaften Bewegungseinschränkung führt. Die sekundäre Korrektur erzielt immer schlechtere Ergebnisse als die primär korrekte Behandlung [3, 48, 129]. Als Monteggiaäquivalent-Frakturen („Monteggia like lesions“) werden alle Verletzungen bezeichnet, die aus der Kombination der proximalen Ulnaschaftfraktur mit der Schädigung des proximalen Radioulnargelenks und des Humeroradialgelenks bestehen, wie beispielsweise Radiusköpfchen- und Radiushalsfrakturen. In der Literatur werden für kindliche Monteggia- und Monteggiaäquivalent-Frakturen bei exakter und stabiler Reposition der Ulnafraktur mit geschlossener, selten offener Reposition des Radiusköpfchens meist sehr gute funktionelle Ergebnisse publiziert [3, 9, 48, 123, 129, 140].

h) Proximale Radiushals- bzw. Schaftfrakturen

Proximale Radiusschaftfrakturen betreffen im Gegensatz zu Erwachsenen nahezu nie das Radiusköpfchen, sondern die Metaphyse oder die Epiphysenfuge. Der Altersgipfel liegt zwischen 8 und 13 Jahren. In 30% der Fälle kommt es zu einer Beteiligung der Epiphysenfuge mit oder ohne metaphysärem Keil im Sinne einer Salter-Harris-2-Verletzung. Eine gängige Einteilung der Frakturen ist die Judet-Klassifikation anhand des Dislokationsgrads in vier Typen (siehe Abbildung 7).

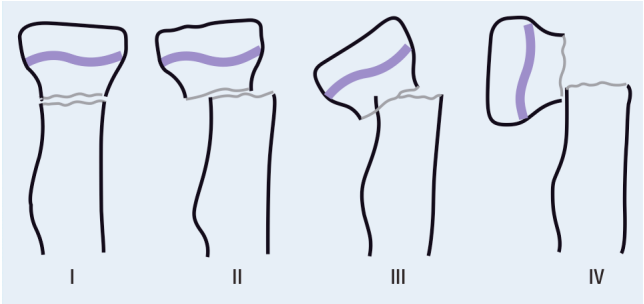


Abbildung 7: Judet Klassifikation der proximalen Radiusschaftfrakturen

Typ I: keine/geringe Kippung
Typ II: Kippung bis 30°, Dislokation bis halbe Schaftbreite; Synovialkapsel und Periost nur teilweise zerrissen.
Typ III: Kippung 30-60°, variable Dislokation mit variablem interfragmentärem Kontakt
Typ IV: Kippung 60-90°, vollständige Dislokation
aus [164]

Problematisch ist die Gefäßversorgung über die Gelenkkapsel, die distal des Radiushalses ansetzt und über das metaphysäre Periost Radiuskopf, Radiushals und die proximale Epiphysenfuge versorgt. Diese kann fraktur- oder manipulationsbedingt gestört werden. Als Folge der Minderperfusion kann es zu gravierenden Umbaustörungen des Radiushalses bzw. -köpfchens kommen. Dadurch kann eine Verkürzung des proximalen Radius mit Valgisierungstendenz der Ellenbogenachse entstehen, aus der wiederum irreversible Pro- und/oder Supinationseinschränkungen am Unterarm resultieren können [164].

i) Supracondyläre Humerusfrakturen

Die supracondyläre Humerusfraktur tritt im Kindes- und Wachstumsalter häufig auf und betrifft 50% aller Ellenbogenverletzungen bzw. ca. 80% aller Humerusfrakturen im Kindes- und Wachstumsalter. Das Durchschnittsalter liegt um das 5. bis 8. Lebensjahr [42, 66, 135, 161]. Die Fraktur entsteht zu 98% durch ein Hyperextensionstrauma mit dem Olekranon als dorsalem Drehpunkt und wird durch die Überstreckbarkeit des Gelenks in der 1. Lebensdekade begünstigt. Nur 2% der Frakturen entstehen durch Flexionstraumata [106]. Supracondyläre Humerusfrakturen

im Kindesalter werden im deutschsprachigen Raum häufig nach der Klassifikation von 1997 nach Lutz von Laer (siehe Abbildung 8) [66] eingeteilt. In der in Abbildung 9 dargestellten modifizierten Version werden die dislozierten Frakturen ohne Rotationsfehler (Typ II) weiter unterteilt. Basierend auf den Dislokationsebenen werden die Verschiebungen der Fragmente in der Frontal-, Sagittal- und der Horizontalebene (Rotation) beurteilt und in entsprechenden Gruppen zusammengefasst. Dabei sind 35% der Frakturen stabil (Typ I und IIa), 22% der Frakturen drohend instabil (Typ IIb) und 42% instabil (Typ III und IV) mit Operationsindikation [57, 66, 127, 161].

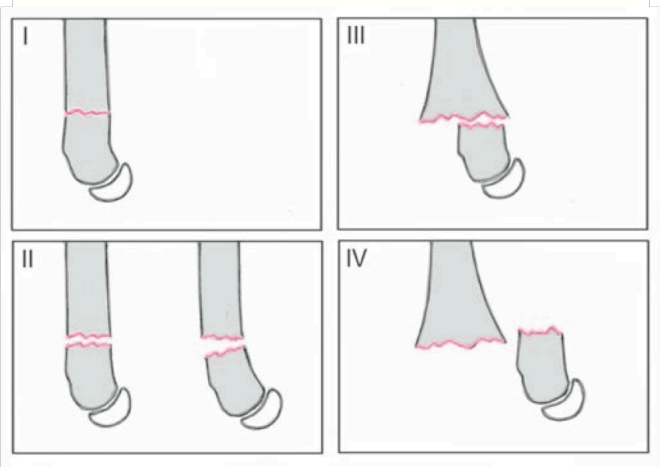


Abbildung 8: Klassifikation der supracondylären Humerusfrakturen nach L. von Laer

Typ I: undisloziert
Typ II: Dislokation in einer Ebene (Sagittalebene, ohne Rotationsfehler)
Typ III: Dislokation in zwei Ebenen (Sagittal- und Horizontalebene = Rotationsfehler)
Typ IV: Dislokation in allen drei Ebenen

aus [66]

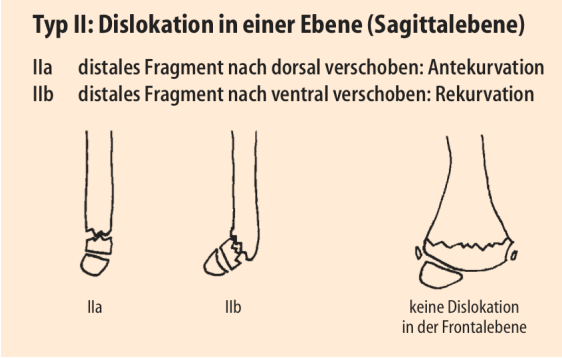


Abbildung 9: Supracondyläre Humerusfrakturen: Differenzierung der Typ-II-Frakturen

aus [161]

Typische Komplikationen stellen die Dislokation und die begleitenden Gefäß- und Nervenschäden durch die scharfe Kante des proximalen Fragments dar. Ein Korrekturpotenzial ist bis zum

7. Lebensjahr bei Frakturen im distalen Humerusdrittel nur bei einer Fehlstellung bis 20° in der Sagittalebene – der Bewegungsebene des Ellenbogengelenks – gegeben, nicht aber bei Rotationsfehlern. Schwerwiegende Komplikationen sind die Volkmann-Kontraktur und verbleibende Fehlstellungen, meist in Varusfehlstellung, mit irreversiblen Bewegungsdefiziten [66, 106, 127, 135]. Letztere treten nahezu immer nach fehlerhafter Behandlung auf [66].

1.3 Frakturheilung und Remodeling am wachsenden Knochen

Die Wiederherstellung der Knochenstruktur besteht im Wachstumsalter ebenso wie bei Frakturen von Erwachsenen aus drei Phasen: Inflammation, Reparation und Remodeling [87]. Da im Kindes- und Wachstumsalter häufig Osteosynthesen verwendet werden, die eine gewisse Restbeweglichkeit der Fraktur ermöglichen (Drähte, intramedulläre Nägel), läuft die Frakturheilung meist über eine kräftige Kallusbildung ab. Osteoblasten und Osteoklasten sorgen für die Umwandlung des Frakturhämatoms in zunächst bindegewebigen druckdolenten Kallus, der durch Mineralisation an Festigkeit gewinnt und an Schmerzhaftigkeit verliert, sodass ein palpatorisch indolenter Kallus ein klinisches Zeichen für die Konsolidierung darstellt. Durch Einsprossen von Gefäßen wird dieser in Geflechtknochen und später in Lamellenknochen umgewandelt [97, 125]. An diese Phase der Reparation schließt sich das Remodeling an. Dieses findet wie ein Regelkreis ein Leben lang kontinuierlich auch ohne Fraktur statt, damit sich der Knochen durch seine Geometrie und Festigkeit an seine mechanische Funktion adaptiert und belastenden Kräften entgegenwirken kann. Entsprechend des Wolff`schen Gesetzes wird an höher belasteten Stellen Knochen angebaut, während im Bereich niedrigerer Belastung Material abgebaut wird [2, 22, 125, 163]. Der Vorteil des wachsenden kindlichen Knochens besteht darin, dass durch die kontinuierlichen Umbauprozesse und durch das Wachstumspotenzial zusätzlich posttraumatische Achsabweichungen selbstständig korrigiert werden können. Das Korrekturpotenzial ist abhängig von der jeweiligen Aktivität der Wachstumsfuge und vom Alter des Kindes und endet somit mit dem Fugenschluss, der meist um das 10. bis 12. Lebensjahr beginnt. Bis zum vollständigen Verschluss der Epiphysenfugen sind Korrekturen in geringerem Ausmaß auch später noch zu erwarten [83, 87, 123, 142]. Ein spontanes Korrekturpotenzial abhängig von der generellen Skelettreife kann somit in die Frakturbehandlungskonzepte integriert werden. Neben Achsfehlstellungen in allen Ebenen sind auch Seit-zu-Seit-Verschiebungen gut korrigierbar, wohingegen ein Remodeling von Rotationsfehlstellungen nur gering möglich ist [87, 97, 123, 142, 143]. Am Arm besitzen die proximale Humerusfuge und die distale Radiusfuge mit jeweils 80% Wachstumsanteil je Knochen das größte Wachstumspotenzial, wodurch Frakturen in diesen Bereichen die größte Korrekturwahrscheinlichkeit aufweisen [42]. Am distalen Unterarm schließt sich die Fuge erst zwischen dem 15. und 18. Lebensjahr [42, 83, 123]. Daher besteht bei Kindern im Alter von 1 bis 15 Jahren am distalen Unterarm eine durchschnittliche Korrektur der

Achsfehlstellungen von 0,9° pro Monat, d. h. ca. 10° in einem Jahr [44-46, 83, 123]. Im Gegensatz dazu stellt das geringe Wachstumspotenzial der distalen Humerusfuge bei Dislokationen im Bereich der distalen Humerusepiphysenfuge ein Problem dar, da verbliebene Fehlstellungen und Rotationsfehler bei supracondylären Frakturen nahezu nicht ausgeglichen werden können [143].

Bei der Integration des Remodelings in das Therapiekonzept kommt jedoch erschwerend dazu, dass sich die angegebenen Grenzen tolerabler Achsabweichungen innerhalb der Publikationen teilweise stark unterscheiden. Am proximalen Humerus beispielsweise sind die tolerablen Achsabweichungen nach Dietz abhängig vom Ausmaß des bestehenden Kontaktes der beiden Frakturfragmente, sodass bei Kindern unter 5 Jahren bei Kontakt der Fragmente bis zu 90°, bei Kindern älter als 10 Jahre bei 50% Kontakt der Fragmente bis zu 45° Achsabweichung tolerierbar sind [35]. Andere Autoren differenzieren nach der Richtung der Achsdeviation sowie dem Alter und beschreiben verschiedene Korrekturgrenzen für Kinder jünger bzw. älter als 12 Jahre [149]. So akzeptiert von Laer bei unter 12-Jährigen Varusdeviation, Ante- und Rekurvation bis zu 50°, während er bei über 12-Jährigen maximal 30° bestehen lässt. Unabhängig vom Alter werden Valgusdeviationen von mehr als 20° als nicht tolerabel angesehen [149]. Beaty hingegen differenziert nicht nach der Richtung der Achsdeviation, sondern beschreibt ohne Gradangaben alle "stark dislozierten" Frakturen bei über 11-Jährigen als Operationsindikation, während er zu jünger als 11 Jahren keine exakten Angaben macht [13]. Nach Schmittenbecher können bis zum 10. Lebensjahr vollständig dislozierte, verkürzte Frakturen und Frakturen mit einer Achsdeviation von bis zu 60° für Varus-, Ante- und Rekurvationsfehler, jedoch nur bis zu 10° Valgusfehler konservativ behandelt werden. Ab dem 10. Lebensjahr sind seinen Angaben nach vollständig dislozierte Frakturen nicht mehr und Frakturen mit Achsenabweichungen in Varus, Ante- und Rekurvation nur noch bis 20° bis 30° bzw. bis zu einer Valgusfehlstellung bis zu 10° zur konservativen Behandlung geeignet [132].

Auch am distalen Radius unterscheiden sich die Angaben zu den tolerablen Grenzen bei Kindern unter 10 bzw. 12 Jahren. So können aufgrund der Fähigkeit zum Remodeling in der Frontal- oder Sagittalebene nach Flynn 20° bis 25°, nach Täger sogar 40° bis 50° Achsabweichungen verbleiben [42, 143].

Ebenso besteht auch an der unteren Extremität ein Potenzial zur Spontankorrektur von Fehlstellungen. Die femorale Antetorsion unterliegt physiologisch einer dynamischen Entwicklung. Im Verlauf des Wachstums vermindert sich die Antetorsion der Schenkelhälse von anfänglich 30° bis 40° bei der Geburt auf 10° bis 15° bei Wachstumsabschluss. Dadurch können am Femurschaft – im Gegensatz zu anderen Knochen – Rotationsfehlstellungen bis maximal 20° kompensiert werden [89].

Bei Tibiafrakturen dagegen erfordern proximale metaphysäre Tibiafrakturen aufgrund des sehr geringen Korrekturpotenzials und der zusätzlichen Gefahr einer zunehmenden Valgisierung durch vermutlich partielle Fugenstimulation unabhängig vom Alter eine Wiederherstellung der achsengerechten Stellung. An der distalen Tibiametaphyse gelten wegen des höheren Wachstumsanteils der distalen Fuge am Längenwachstum des Unterschenkels und wegen der Kompensationsfähigkeit des Sprunggelenks bis zum 10. Lebensjahr ca. 10° Dislokation als tolerabel, über dem 10. Lebensjahr sollte eine definitive Retention erfolgen [142, 162].

1.4 Klassifikationen von Frakturen im Kindesalter

Klassifikationen von Frakturen dienen der Dokumentation, der Registrierung sowie dem validen Vergleich von Ergebnissen klinischer Studien [5, 6]. Für Frakturen der langen Röhrenknochen im Erwachsenenalter hat sich hierzu die Klassifikation der „Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen (AO)“ im klinischen Alltag etabliert [5, 6, 138]. Da die Erkenntnisse und auch die Klassifikationen der Erwachsenentraumatologie nur eingeschränkt auf die Kindertraumatologie übertragbar sind, gab es lange Zeit keine Klassifikation, die alle kindlichen Frakturen der langen Röhrenknochen erfasste [138, 152]. Die oben genannten Klassifikationssysteme der Frakturen im Kindesalter nach Salter-Harris, nach Aitken, nach Judet oder nach von Laer beziehen sich jeweils nur auf einzelne Frakturtypen.

In den letzten Jahren sind zwei kinderspezifische Klassifikationssysteme für Frakturen der langen Röhrenknochen publiziert worden: die „AO-Ped-Klassifikation“ [138], die von der „Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen“ (AO) abgeleitet ist und die „LiLa-Klassifikation“ [134, 152], die der Verein „Licht und Lachen für kranke Kinder e.V.“ entwickelt hat. Die Frakturen dieser Studie wurden anhand der LiLa-Klassifikation codiert, sodass die ausführliche Darstellung dieser Klassifikation im Kapitel Methodik (2.3.1) erfolgt (siehe Anhang 13.7) [134, 152].

1.4.1 LiLa e.V. - Licht und Lachen für kranke Kinder

Im “Verein LiLa e.V. - Licht und Lachen für kranke Kinder - Effizienz in der Medizin“ haben sich Ärzte verschiedener Fachrichtungen (Kinderchirurgie, Unfallchirurgie und Orthopädie) aus der Schweiz, Österreich und Deutschland zusammengeschlossen, um neben Schulung von ärztlichem und nicht-ärztlichem Personal langfristig die Behandlungsmethoden kindgerechter und effizienter zu gestalten. Hierfür wurden multizentrische Studien durchgeführt und ein Klassifikations- und Dokumentationssystems entwickelt [60, 134, 152]. Das Klassifikationssystem für pädiatrische Frakturen der langen Röhrenknochen wurde in Zusammenhang mit einem digitalen Dokumentationssystem (www.MEMdoc.com) entwickelt und im Jahr 2000 erstmalig publiziert. Mit der Zielsetzung einer diagnose-, indikations- und verfahrensorientierten Dokumentation sollte es folgende Merkmale aufweisen: kinderspezifisch, exakt vergleichbar, hinreichend

differenzierbar, einfach anwendbar und selbsterklärend [60, 96, 134, 152]. Die Klassifikation wurde mehrfach evaluiert und weiterentwickelt, sodass mittlerweile die Version 2.0 vorliegt.

1.4.2 Die LiLa-Klassifikation für pädiatrische Frakturen langer Röhrenknochen im Vergleich zu anderen Klassifikationssystemen

Frakturen von Erwachsenen werden häufig nach der 5-stelligen Klassifikation der „Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen“ (AO) eingeteilt. Die ersten zwei Stellen beschreiben den Knochen (1 bis 4) und das betroffene Drittel des Knochens (1 bis 3 - bzw. 4 = Patella/Malleolus). Ab der dritten Stelle folgt die Beschreibung der Komplexität der Fraktur differenziert in Schaftfrakturen (A = einfache Fraktur, B = Keilfraktur, C = komplexe Fraktur) und Gelenkfrakturen (A = extraartikulär, B = partielle Gelenkfraktur, C = vollständige Gelenkfraktur). Die vierte und fünfte Stelle bewerten die Schwere der Fraktur, indem sie abhängig vom Frakturtyp definierte Gruppen (1 bis 3) und Untergruppen (.1 bis .3) bilden [93].

In Anlehnung an die AO-Klassifikation der Erwachsenen entstanden für Frakturen langer Röhrenknochen im Kindes- und Wachstumsalter die AO-Ped-Klassifikation und die LiLa-Klassifikation, die in den ersten zwei Stellen identisch sind [136-138].

Die erste Stelle steht für den Knochen (1 = Humerus, 2 = Radius/Ulna, 3 = Femur, 4 = Tibia/Fibula) und die zweite für das Segment (1 = proximales, 2 = mittleres, 3 = distales Drittel). Die LiLa-Klassifikation unterscheidet in der dritten Stelle zwischen "artikulärer Fraktur" und "Schaftfraktur“ ("a" bzw. "s"). Mit der vierten Stelle werden die Frakturtypen (1 bis 5), die abhängig nach „a“ oder „s“ definiert sind, beschrieben und anhand ihres Dislokationsausmasses in der fünften Stelle nach "nicht-disloziert", "tolerabel-disloziert" und "disloziert" (0, 1 oder 2) unterteilt. Die sechste Stelle benennt "isolierte Frakturen der nicht-tragenden Knochen" (Ulna bzw. Fibula) [134, 136-138].

1.4.3 Teilnahme an der Evaluierungs- und Validierungsstudie der LiLa-Klassifikation der Kinderchirurgie Lübeck

Die Klinik für Kinderchirurgie des Universitätsklinikums Schleswig-Holstein, Campus Lübeck, beteiligte sich an der zweiten Evaluierungs- und Validierungsstudie der erstmals 2000 publizierten LiLa-Klassifikation zwischen 01.10.2005 und 31.12.2005. Dieser Zeitraum umfasst die ersten drei Monate der hier vorliegenden Studie, die zur internen Dokumentation und Auswertung auf 12 Monate bzw. 24 Monate inklusive der Nachuntersuchungszeiträume erweitert wurde [134, 152].

1.5 Therapieoptionen kindlicher Frakturen

Noch während der 70er Jahre des 20. Jahrhunderts wurden 90% aller kindlichen Frakturen konservativ und nur 10% operativ behandelt [151]. Dieses Bild hat sich nun in der heutigen Medizin mit veränderten Osteosyntheseverfahren, technischen sowie medikamentösen Fortschritten in der Anästhesie, der Effizienz sowie dem wirtschaftlichen Denken und Handeln im

Vergleich zu den 70er Jahren gewandelt: Heutzutage werden ca. 60% aller kindlichen Frakturen konservativ und 40% operativ behandelt [151, 155].

Die Einteilung in "konservativ" und "operativ" bezieht sich heute auf die Wahl der Stabilisierungsmethode und wird durch den Aufwand definiert. „Konservativ“ bedeutet nicht-invasive, externe Fixation durch Verbände, Schienen, Gipse oder Kunststoffäquivalente. „Konservativ“ bedeutet nicht, dass dabei keine Sedierung, Narkose oder Reposition notwendig ist [151, 154, 155]. Es wird unterschieden nach „konservativ mit“ und „konservativ ohne“ geschlossene Reposition mit konsekutiv ggf. notwendiger Anästhesie [151]. Damit zählt die geschlossene Reposition mit folgender Immobilisation heute noch immer zu den konservativen Behandlungsstrategien [88, 151, 155]. Als „operativ“ wird jede invasive Manipulation am Knochen, unabhängig ob geschlossen oder offen, mit nachfolgendem frakturfernem oder frakturnahem Einbringen von Osteosynthesematerial bezeichnet. Als Beispiel sei hier die geschlossene Reposition mit elastisch stabiler intramedullärer Nagelung oder Kirschner-Drähten genannt [88, 151]. In der Kindertraumatologie ist häufiger als bei Erwachsenen die geschlossene Reposition möglich [33, 89, 94, 99]. Das therapeutische Vorgehen richtet sich bei Kindern nach dem Patientenalter, dem radiologischen Skelettalter sowie der Frakturform und -lokalisation [83, 92, 142].

1.5.1 Konservative Therapie: Gipsbehandlung und Extension

Das bei Kindern während des Wachstums bestehende Potenzial zur spontanen Achskorrektur verbliebener Fehlstellungen kann mit in das Behandlungskonzept einbezogen werden. Daher können die meisten Frakturen durch konservative Methoden, z. B. Immobilisation ausreichend therapiert werden [10, 22, 42, 142]. Techniken der konservativen Behandlungen sind elastische Verbände (Desault, Blount etc.) oder stabile Verbände (Gips, Kunststoffverbände, Gipsschienen etc.) [155].

Die beiden Hauptformen der konservativen Behandlung sind die passive Retention und die aktive Redression. Die einfache Retention besteht aus der Immobilisation der benachbarten Gelenke mit dem Ziel der Schmerzbehandlung, Verringerung eines eventuellen Dislokationsrisikos sowie der Ruhigstellung der Fragmente zur Verhinderung der “falschen Beweglichkeit”. Die häufigste Form der Retention ist die Gipsruhigstellung als Gipsschiene oder als zirkulärer Gips. Domäne der einfachen Retention ist die Therapie nicht oder kaum dislozierter metaphysärer Wulst- und Grünholzfrakturen [83]. Weiterhin gehört zur Retention auch die Versorgung im Gilchrist-Verband bei proximalen Humerusepiphysiolysen, Humerusschaftfrakturen oder subcapitalen Humerusfrakturen [143]. Gelenkversteifungen durch Immobilisation treten bei Kindern im Gegensatz zu Erwachsenen selten auf [124, 142].

Ein typisches Beispiel für die Redression ist die Blount-Schlinge als Behandlung der Wahl für

nahezu undislozierte supracondyläre Humerusfrakturen (Typ I) sowie für stabile Typ-II-Frakturen mit Antekurvation bis zu 20° bei Kindern unter 6 Jahren [68, 88, 143]. Durch diese wird der Zug der Trizepssehne zur Stabilisierung bzw. zur dynamischen Redression genutzt, indem der Ellenbogen im Verlauf mehrerer Tage in die maximal tolerierte und schwellungsbedingt mögliche Spitzwinkelstellung (ca. 120° Flexion) gebracht wird. Vorteile gegenüber einem Oberarmgips sind die bessere Mobilität und leichtere Körperpflege [142]. Weitere Konzepte einer Redressionsbehandlung sind die Extensionsbehandlung und die Gipskeilung. Die früher häufig eingesetzten Extensionsverfahren (z.B. bei Femurschaftfrakturen), die mit Heftpflaster, Kirschner-Drähten oder Steinmann-Nägeln umgesetzt wurden, bedeuteten für die Patienten mindestens 3-wöchige Hospitalisationszeit mit strikter Bettruhe ohne Gewährleistung einer optimalen Frakturstellung. Seit Entwicklung der neueren Osteosyntheseverfahren wird diese Methode deutlich seltener angewandt [68, 88, 151, 155].
Zur Gipskeilung wird der Gips im Bereich der vorliegenden Achsabweichung aufgeschnitten und keilförmig aufgeklappt, sodass indirekt eine Achskorrektur erfolgen kann. Sie ermöglicht somit eine geplante Korrektur im Behandlungsverlauf oder eine sekundäre Frakturreposition bei zunehmender Dislokation. Abhängig vom Alter und vom Frakturtyp ist dies innerhalb der ersten sieben bis zehn Tage möglich. Die Gipskeilung kann bei den distalen metaphysären Frakturen, den Grünholzfrakturen der Unterarme und Unterschenkel sowie bei monoossären Frakturen der paarigen Extremitäten eingesetzt werden [94, 142, 155, 159].

Indikationen für konservative Therapien sind neben fissuralen Frakturen wie den Toddlerfrakturen auch stabile Frakturen wie gering dislozierte Grünholz-, metaphysäre Wulst- und Stauchungsfrakturen sowie wenig dislozierte distale Salter-Harris-1- und -2-Frakturen und undislozierte Gelenkfrakturen mit einem Frakturspalt kleiner als 2 mm [102].
Eine konservative Behandlung ist ebenfalls möglich, wenn nach geschlossener Reposition oder durch Redression eine stabile Situation erreicht werden kann [94, 151]. Da dieses Prozedere immer eine Narkose erfordert, sollte eine Risiko-Nutzen-Abwägung erfolgen, um dem Patienten sekundäre Achsenabweichung mit der Gefahr einer Nachreposition oder sogar eines Therapiewechsels zu ersparen [88].

1.5.2 Operative Therapie: Allgemeine Aspekte

Die operative Behandlung hat das Ziel, die Frakturstellung zu optimieren und/oder durch eine raschere Mobilisation gute funktionelle und kosmetische Ergebnisse bei hohem Patientenkomfort zu ermöglichen. In der Kindertraumatologie gängige Verfahren sind a) die Schraubenosteosynthese, b) die Zuggurtungsosteosynthese, d) der Fixateur externe, e) die Spickdrahtosteosynthese und f) die elastische intramedulläre Nagelung [81, 83, 89].

Plattenosteosynthesen (c) werden wegen der Größe der Zugangswege nur selten eingesetzt. Der bei Erwachsenen häufig verwendete starre intramedulläre Nagel mit Verriegelungsschraube besitzt aufgrund der offenen Epiphysenfugen in der Kindertraumatologie nahezu keine Indikation. Hier hat sich die ESIN-Osteosynthese (elastisch stabile intramedulläre Nagelung) etabliert [82, 128].

a) Schraubenosteosynthese

Bei der Schraubenosteosynthese werden die Frakturfragmente nach Reposition in anatomischer Stellung durch eine oder mehrere Schrauben unter Kompression gebracht. Somit ist diese Adaptationsosteosynthese übungsstabil (aber nicht belastungsstabil) und bedarf beispielsweise bei Übergangsfrakturen der distalen Tibia meist keiner Gipsimmobilisation. Dieses Verfahren eignet sich auch für condyläre oder apophysäre Abrissfrakturen, z.B. am Condylus radialis humeri oder am Epicondylus ulnaris humeri. Auch intraartikuläre Frakturen aller Lokalisationen mit ≥ 2 mm Dislokation der Fragmente gehören zu den Indikationen. Kontraindikationen stellen kleine metaphysäre Keilfragmente dar, da diese durch das Gewinde gesprengt werden können. Eine Überschreitung der Epiphysenfuge sollte wegen der Gefahr der Fugenschädigung vermieden werden [7, 73, 94, 107, 114, 133].

b) Zuggurtungsosteosynthese

Bei der Zuggurtungsosteosynthese wird die Fraktur offen reponiert und mit zwei Spickdrähten rechtwinklig zur Frakturebene fixiert. Um diese wird anschließend eine Drahtcerclage gewunden, wodurch die Kräfte der Muskelzüge einerseits und die der Osteosynthese andererseits verwendet werden, um eine Kompression des Frakturspaltes zu erreichen. Indiziert ist diese Methode bei Frakturen des Olekranons oder der Patella. Eine Entfernung des Metalls ist nach Konsolidierung in jedem Fall indiziert, da es durch das nur gering vorhandene Subkutangewebe in diesen Bereichen zu Weichteil- und Nervenirritationen durch die Cerclage kommen kann [94, 143].

c) Plattenosteosynthese

Die Plattenosteosynthese stellt im Vergleich zu den oben genannten Methoden ein invasiveres Verfahren dar, da es einen größeren Zugang zur offenen Implantation bzw. zur Metallentfernung benötigt. Sie bietet Übungs-, jedoch keine Belastungsstabilität [39]. Nachteile dieses Verfahrens sind neben kosmetischen oder auch funktionell störenden Narbenbildungen die Devaskularisation der Fragmente. Darüber hinaus ist mit den Plattenosteosynthesen bei Kindern eine höhere Rate an Refrakturen nach Metallentfernung assoziiert [33, 89, 129]. Bei adoleszenten oder adipösen Kindern stellt die Plattenosteosynthese jedoch an der unteren Extremität auch heute noch eine Option dar. Eine seltene Indikation stellen Frakturen des metadiaphysären Überganges dar, wenn eine K-Drahtosteosynthese keine ausreichende Stabilität gewährleisten kann [83]. Möglich ist

hierbei ein minimal-invasives Einbringen von winkelstabilen Implantaten, bei denen die Haut lediglich proximal und distal der Fraktur inzidiert und die Platte im Sinne einer Überbrückungsosteosynthese eingeschoben wird. Indikationen können somit Schaftfrakturen der langen Röhrenknochen v.a. bei Adoleszenten, instabile Mehrfragmentfrakturen oder Refrakturen mit mittlerweile geschlossenem Markkanal sein [39, 89, 94].

d) Fixateur externe

Bei der Osteosynthese mit dem Fixateur externe werden nach meist geschlossener Reposition je zwei Schanz-Schrauben oder Steinmann-Nägel in beide Fragmente implantiert. Dabei sollte die Distanz der beiden Schanz-Schrauben eines Fragmentes möglichst groß gewählt werden, um die biomechanische Stabilität zu erhöhen. Die Schrauben werden durch eine äußere Spannvorrichtung (Fixateur-Korpus) starr miteinander verbunden. Es entsteht eine indirekt extern stabilisierende Osteosynthese, bei der eine zusätzliche Ruhigstellung nicht erforderlich ist [83]. Die Metallentfernung unter Sedierung oder Kurznarkose sollte erst erfolgen, wenn eine gut sichtbare Kallusdurchbauung stattgefunden hat. Dies ist einerseits abhängig von der Frakturart – die Tragezeit des Fixateurs ist bei Querfrakturen um ca. 50% länger als bei Schrägfrakturen [33] – und zum andern abhängig vom Alter des Kindes [83].

Wesentliche Indikationen sind offene Frakturen mit Weichteilschädigung (Mittel der ersten Wahl bei offenen Frakturen 2° und 3°), Mehrfragment- bzw. Trümmerfrakturen und Patienten mit einem Polytrauma. Gelegentlich wird das Verfahren auch bei langen Spiralfrakturen des Femurs eingesetzt [33, 48, 83, 127, 158].

Vorteile sind die komplikationslose Versorgung von Weichteilverletzungen und die frühe Belastbarkeit. Nachteile sind die verzögerte Frakturheilung sowie die mögliche Infektion der Schanzschrauben-Eintrittsstellen (Pin-Track-Infektion) bis hin zu einer Osteomyelitis durch die direkte Verbindung des Knochens mit der Körperoberfläche. Durch die Notwendigkeit einer konsequenten Pflege der Nagelaustrittstellen, um Pin-Track-Infektionen vorzubeugen, besteht häufig eine geringe(re) Akzeptanz des Fixateurs durch das Kind und die Eltern. Nach Entfernung des Fixateur externes werden hohe Refraktur-Raten bis zu 12% bzw. bei Ramseier sogar bis zu 26% (6 von 23 mit Fixateur externe behandelten Femurfrakturen) beschrieben [33, 48, 81, 89, 94, 121, 158].

e) Spickdrahtosteosynthese

Bei der Spickdraht- oder Kirschner-Drahtosteosynthese werden nach meist geschlossener Reposition die Frakturenden fixiert, ohne den Frakturspalt zu komprimieren. Hierzu werden entweder ein Kirschner-Draht (K-Draht) oder zwei bzw. mehrere Drähte parallel oder gekreuzt unter Röntgenkontrolle perkutan eingebracht. Es handelt sich um eine reine Adaptationsosteosynthese, die weder bewegungs- noch belastungsstabil ist, weshalb eine

zusätzliche Gipsruhigstellung benötigt wird. Vorteile sind die perkutane Durchführbarkeit und die ambulant mögliche Metallentfernung ohne Narkose. Diese findet je nach Patientenalter frühestens nach drei und spätestens nach vier Wochen statt. Da die Drähte perkutan ohne Hautschnitte eingebracht werden, entstehen kosmetisch sehr gute Ergebnisse. Indikationen stellen Fugenlösungen (Salter-Harris-1- und -2-Frakturen) und Frakturen der Metaphysen aller langen Röhrenknochen nach offener oder geschlossener Reposition in jedem Alter dar [142, 143]. Häufige Indikationen sind an der oberen Extremität supracondyläre Humerusfrakturen sowie distale fugenkreuzende bzw. metaphysäre Radiusfrakturen [66, 83, 143], an der unteren Extremität sind es fugenkreuzende bzw. metaphysäre Frakturen am distalen Femur sowie der distalen Tibia. Zu den Komplikationen gehören Instabilität, Implantatdislokation, Pseudarthrosen, oberflächliche oder tiefe Infektionen und iatrogene Nervenschäden [11, 66, 83, 94, 107, 114].

f) Elastische stabile intramedulläre Nagelung (ESIN)

Die elastische stabile intramedulläre Nagelung (ESIN) wurde auf der Basis der Küntscher- und Endernagelung Ende der 70er Jahre des 20. Jahrhunderts von Prevot, Lascombes und Metaizeau entwickelt und Embrochage centromedullaire elastique stable (ECMES) genannt [160]. Synonyme sind Prevot-Nagelung oder Nancy-Nagelung [54, 76, 130]. Das Prinzip beruht auf zwei elastischen Nägeln aus Titan oder Edelstahl, die durch zwei metaphysäre, frakturferne, einander gegenüberliegende Zugänge in den Markraum des Knochens eingebracht werden und die Frakturfragmente – nach meist geschlossener Reposition – auffädeln (siehe Abbildung 10). Die elastischen Nägel sollen vor dem Einführen vorgebogen werden, am Femurschaft zum Beispiel um mindestens 40° [82], sodass das Maximum der Biegung auf Höhe des Frakturspalts liegt. Dies führt zu einer 3-Punkt-Abstützung im Markraum, wodurch die Nägel die Frakturfragmente nach Reposition aufspannen und somit die Fraktur stabilisieren. Die elastische Aufspannung erlaubt Mikrobewegungen am Frakturspalt, die eine Kallusbildung induzieren [54, 64, 127].

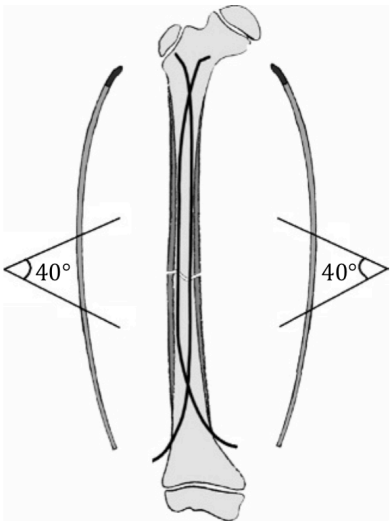


Abbildung 10: Femurschaftquerfraktur mit ESIN-Osteosynthese

aus [82]

Zur Bestimmung der Nagelstärke wird präoperativ der Markraum auf der a-p-Röntgenaufnahme an seiner engsten Stelle ausgemessen. Der Durchmesser eines einzelnen Nagels sollte am Femur bzw. an der Tibia mindestens einem Drittel bis 40% des ausgemessenen Markraumdurchmessers entsprechen [24, 64, 92, 127]. Die Nägel können deszendierend-antegrad, von proximal nach distal oder aber auch aszendierend-retrograd, von distal nach proximal implantiert werden. Bei der aszendierenden Nagelung liegen die Nageleintrittsstellen medial und lateral oberhalb der distalen Epiphysenfuge [92]. Frakturen im mittleren oder proximalen Schaftdrittel von Humerus und Femur werden aszendierend, die im distalen Schaftdrittel teilweise deszendierend versorgt [64, 132, 139]. Diaphysäre Tibiafrakturen, die überwiegend im mittleren und distalen Drittel vorkommen, werden deszendierend genagelt [82]. Bei den Unterarmschaftfrakturen werden Radius, Ulna und Membrana interossea als funktionelle Einheit betrachtet, sodass in beide Knochen je ein Nagel implantiert wird, um die 3-Punkt-Abstützung zu erzielen. Meist wird der Radius aszendierend und die Ulna deszendierend versorgt [131, 160]. Ziel des Verfahrens ist eine mindestens übungsstabile Osteosynthese ohne zusätzliche Gipsanlage [14, 82, 89, 127]. Die Mobilisierung erfolgt an der unteren Extremität abhängig vom Frakturtyp. Während Querfrakturen mit guter 3-Punkt-Abstützung der intramedullären Implantate eine zügige Belastbarkeit erlauben, sind Mehrfragmentfrakturen über mehrere Wochen in ihrer Belastbarkeit eingeschränkt [43, 82, 89, 127, 139]. Die Metallentfernung erfolgt nach radiologisch vollständiger Konsolidierung, meist nach zwei bis sechs Monaten [43, 64, 76, 127, 160]. Für Unterarmschaftfrakturen bestehen jedoch verschiedene Empfehlungen für Implantationszeiten. Während Berger und Schmittenbecher eine Metallentfernung nach zwei bis drei Monaten

befürworten [14, 131], empfehlen andere Autoren zur Prophylaxe von Refrakturen eine Zeit von sechs bis acht Monaten [160].

Anwendung findet diese Methode bei dislozierten queren, schrägen und kurzen spiralförmigen diaphysären Frakturen aller langen Röhrenknochen bei Kindern im Wachstumsalter vor Verschluss der Wachstumsfugen [43, 82, 89]. Zum erweiterten Indikationsbereich gehören Frakturen nach Polytrauma und multiplen Verletzungen, pathologische Frakturen oder die prophylaktische Stabilisierung bei Knochenzysten [76, 82, 132]. Als Kontraindikationen werden offene Frakturen Grad III und längeninstabile Frakturen wie Trümmerfrakturen, die keine ausreichende Abstützung ermöglichen, gesehen. Vermehrte Probleme wurden insbesondere am Femur bei älteren Kindern und einem Körpergewicht von > 40 kg beschrieben [92].

Die Vorteile der ESIN-Osteosynthese liegen im minimal-invasiven Verfahren unter Umgehung der Wachstumsfugen mit frühzeitiger Übungsstabilität ohne postoperative Ruhigstellung [14, 43, 64]. Nachteile sind Hautirritationen an der Nageleintrittsstelle, die Abhängigkeit der Stabilität vom Frakturtyp und korrekter Implantation sowie höhere Kosten im Vergleich zur konservativen Behandlung [82, 89, 127]. An Komplikationen können sekundäre Dislokationen, verbliebene Achsfehlstellungen mit Re-Operationen, Wundinfektionen, Implantatdislokationen oder Pseudarthrosen sowie selten Wachstumsstörungen auftreten [39, 64, 92, 128, 139, 160].
Während der Implantation können technische Probleme wie das Nichterreichen der übungsstabilen 3-Punkt-Abstützung auftreten, die dann eine zusätzliche externe Stabilisierungsmethode oder einen dritten Nagel notwendig machen [128]. Intraoperativ kann es durch den Nagel zur Perforation der Kortikalis kommen, wobei das Risiko im Bereich der Fraktur bzw. unmittelbar nach Eintritt des Nagels im Bereich der Gegenkortikalis besonders hoch ist [64, 128, 139].

1.6 Komplikationen und Folgen kindlicher Frakturen

Trotz guter Heilungstendenz und der Möglichkeit zum Remodeling können Frakturen auch bei Kindern zu Komplikationen führen [22]. Es gibt behandlungs- bzw. methodenabhängige Komplikationen, zu denen die sekundäre Dislokation nach Immobilisation sowie Druckstellen durch einen schlecht sitzenden Gips sowie Muskelatrophie und seltener Bewegungseinschränkungen durch die Ruhigstellung des Gelenkes gehören [66, 76, 155].
Bei jedem der operativen Behandlungskonzepte können - wie bei Erwachsenen - allgemeine Komplikationen wie Wundheilungsstörungen, Refrakturen, iatrogene Nerven- oder Gefäßläsionen, Bewegungseinschränkungen, ausbleibende Knochenheilung mit der Entstehung von Pseudarthrosen, sekundäre Dislokationen, Infektionen der Knochen oder Weichteile sowie

Wachstumsstörungen entstehen [7, 22, 39, 73, 92, 128]. Nach Gelenkfrakturen besteht die Gefahr der Arthroseentstehung bei unzureichender Rekonstruktion der Gelenkflächen [88, 142]. Durch unzureichende Reposition und Retention besteht das Risiko einer verbleibenden Achsenfehlstellung. Nach Implantatversorgung können Dislokationen des Osteosynthesematerials mit Irritationen der Weichteile und Instabilität auftreten. Spezielle Probleme bei Frakturen des wachsenden Skeletts sind iatrogene Verletzungen der Epiphysenfugen durch Perforation von Schrauben oder Drähten mit daraus folgenden Wachstumsstörungen [7, 85, 124]. Ebenso können Epiphysenfugenverletzungen zu Unterbrechungen des normalen Fugenverschlusses oder vorzeitiger Fugenverschluss zu Wachstumsstörungen („physeal arrest“) führen. Hierbei sind Achsenfehlstellungen als auch Längendifferenzen möglich. Aus bislang nicht sicher geklärter Ursache können diese Wachstumsstörungen auch nach zentraler gelegenen Frakturen auftreten [33, 85, 114]. Zusammengefasst sind die drei häufigsten Komplikationen nach Frakturen im Wachstumsalter Fehlstellung, Wachstumsverzögerung und Refraktur [124].

1.7 Zielsetzung und Fragestellung

In der Kindertraumatologie liegen wenige prospektiv randomisierte Studien zum Outcome und zur Effektivität von Behandlungen vor. Auch Studien mit großen Fallzahlen oder Multizenterstudien sind selten [78, 134, 151, 152]. Daher sollen diese Endpunkte in der vorliegenden Studie an einer Klinik der Maximalversorgung untersucht werden, um mögliche Defizite zu identifizieren und somit langfristig die Qualität der Behandlung durch Behandlungsstandards zu steigern. Die Beurteilung wurde im Gegensatz zu anderen Studien zusätzlich mit dem Instrument der LiLa-Klassifikation untermauert, um eine Korrelation zwischen „Klassifikation – Behandlung – Endergebnis“ herzustellen. Ebenso wurde ermittelt, inwieweit diese noch relativ neue Klassifikation zur Standardisierung der kindertraumatologischen Behandlung beitragen kann. Die folgenden Fragen werden im Rahmen der vorliegenden Arbeit behandelt:

1) Welche Frakturen wurden mit einem guten bis sehr guten Ergebnis behandelt?
2) Stimmen die eigenen guten und sehr guten Ergebnisse mit der Literatur überein, sodass für diese Frakturen zurzeit von einer optimalen Versorgungsmöglichkeit ausgegangen werden kann?
3) Bei welchen Frakturen wurden schlechtere Ergebnisse erzielt?
4) Stimmen die eigenen schlechteren Ergebnisse mit der Literatur überein, sodass davon ausgegangen werden muss, dass zurzeit keine optimale Behandlung existiert? Oder sind die Ergebnisse der Literatur besser, sodass hier individuelle Fehler oder ein Abweichen vom Standard ursächlich waren?

5) Kann mit Hilfe der LiLa-Klassifikation eine klare Zuordnung zu einer Behandlungsmethode bzw. zu einem Standardverfahren getroffen werden?
6) Wo befinden sich noch Entwicklungspotenziale hin zu einer effizienteren Behandlung?

2 Methodik

2.1 Patienten

2.1.1 Studienpopulation

Die Studie umfasste Patienten bis zum 17. Lebensjahr, die sich im Zeitraum vom 1.10.2005 bis zum 30.09.2006 eine Fraktur der langen Röhrenknochen zuzogen und deren Primärbehandlung in der Kinderchirurgie des Universitätsklinikums Schleswig-Holstein, Campus Lübeck, stattfand. In diese Studie wurden alle radiologisch gesicherten Frakturen der langen Röhrenknochen unabhängig von ihrem Dislokationsgrad aufgenommen. Nicht berücksichtigt wurden alle Patienten, bei denen der Verdacht auf eine Fraktur nur aufgrund der klinischen Beschwerden bestand, eine Fraktur jedoch im konventionellen Röntgenverfahren nicht sicher nachweisbar war.

2.1.2 Rekrutierung der Patienten

Während ihrer Erstvorstellung in der Notaufnahme der Kinderchirurgie wurden die Eltern der Kinder und Jugendlichen mit Frakturen der langen Röhrenknochen über die Studie informiert, aufgeklärt (siehe Anhang 13.1) und nach ihrer Zustimmung befragt. Gelang dieses aus organisatorischen Gründen nicht, so wurden die Patienten im Rahmen ihrer Wiedervorstellung in der Sprechstunde ausführlich aufgeklärt und unterzeichneten dort die Einverständniserklärung (siehe Anhang 13.2). Alle nicht in der Kinderchirurgie Lübeck weiterbehandelten Patienten wurden telefonisch und im Anschluss daran postalisch aufgeklärt und wurden erst in die Studie aufgenommen, wenn die Einverständniserklärung vorlag (siehe Anhang 13.3).

2.2 Erfassung der Daten

Nach Rekrutierung der Patienten wurden die Daten zum Unfallhergang und zum klinischen Befund sowie prospektiv zu der Behandlungsmethode und dem Verlauf auf dem Primärbogen der LiLa-Dokumentation (siehe 13.4) eingegeben. Die Röntgenbilder aller Studienpatienten wurden anhand der LiLa-Klassifikation (siehe 13.7) mit einem fünf- bis sechsstelligen Code klassifiziert und analysiert [152, 155]. Der weitere Verlauf der Behandlung wurde anhand der Nachuntersuchungsbögen (siehe 13.5), die zu diesem Dokumentationssystem gehören, unter www.MEMdoc.com, festgehalten. Die weitere Behandlung wurde bis zum Ausheilen der Fraktur oder bis maximal 12 Monate nach dem Unfall beobachtet und - soweit dies möglich war - nach drei und bei unzureichendem Heilungserfolg auch nach sechs, neun und nach zwölf Monaten dokumentiert. Daten von Patienten, die nicht in der Kinderchirurgie Lübeck weiterbehandelt wurden, wurden dem Lübecker Studienzentrum von den weiterbehandelnden Kliniken oder niedergelassenen Ärzten übermittelt.

Durch das Design als Beobachtungsstudie hatte diese Untersuchung keinen Einfluss auf die Art oder den Zeitrahmen der Behandlung. Sie veränderte weder die verwendeten Behandlungsmethoden noch die Intervalle, in denen die Patienten zu Kontrolluntersuchungen in die Klinik kamen. Das positive Votum der Ethikkommission der Universität zu Lübeck lag vor (Aktenzeichen 06 - 060).

2.3 Dokumentationssystem und Klassifikation

Mit dem „LiLa - MEMdoc - Qualitätsdokumentationssystem für die Traumatologie des Wachstumsalters“ steht im Bereich der Behandlung von Kindern und Jugendlichen ein weltweit zugängliches Dokumentationssystem zur Verfügung. MEMdoc ist eine Online-Plattform zur medizinischen Dokumentation, die von dem zur medizinischen Fakultät der Universität zu Bern gehörenden MEM-Research-Center, bestehend aus zwei Instituten, dem „Institute of Surgical Technology and Biomechanics“ (ISTB) und dem „Evaluative Research in Orthopaedic Surgery“ (IEFO), online zur Verfügung gestellt wird. Diese Plattform dient der Sammlung, Verwaltung und Analyse von medizinischen und wissenschaftlichen Daten, dessen Struktur in anderen Bereichen bereits als Qualitätssicherungsinstrument bewährt und etabliert ist [151, 152, 155]. Namensgeber des MEM Forschungszentrums für Orthopädische Chirurgie an der Universität Bern und Mitbegründer der "Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen" ist der Schweizer Chirurg Maurice Edmond Müller [55].

Der Zugang zu den Eingabemasken erfolgt über das Internet nach Autorisierung mit Passwort. Die Daten werden dann auf dem zentralen Server pseudonymisiert gespeichert. Alle Studienzentren haben Zugang zu ihren eigenen Daten und können diese zur statistischen Auswertung sowie zur Planung verwenden. Ebenso ist die zentrale Auswertung der Daten als Multizenterstudie von der Universität Bern aus möglich. Dieses Dokumentationssystem umfasst alle klinisch relevanten Daten der Patienten. Ebenfalls werden Komplikationen zur klinikinternen Qualitätssicherung erfasst [151]. Über dieses Dokumentationssystem können die LiLa-Fragebögen ausgefüllt und gespeichert werden. Bei den Fragebögen des LiLa e.V. handelt es sich um einen Primärbogen (siehe Anhang 13.4) und einen Nachuntersuchungsbogen (siehe Anhang 13.5). Beide Fragebögen nutzen den fünf- bis sechsstelligen Klassifikationscode der LiLa-Klassifikation für Frakturen der langen Röhrenknochen (siehe Kapitel 2.3.1). Der Primärbogen umfasst folgende Variablen: Geschlecht und Geburtsdatum der Patienten, Datum des Unfalls, Datum der Behandlung, betroffene Körperseite, Unfallhergang, weitere Verletzungen, Weichteilverletzungen, Gefäß- oder Nervenschäden, die Art der Fraktur (Refraktur oder Primärfraktur), den Klassifikationscode des Röntgenbildes anhand der LiLa-Klassifikation, die Behandlungsmaßnahmen sowie Komplikationen bei bzw. nach Entlassung und ggf. deren Behandlungsmaßnahmen. Die Endpunkte der

Behandlung nach drei, sechs, neun bzw. zwölf Monaten wurden anhand des Nachuntersuchungsbogens dokumentiert: lokale Komplikationen, Druckschmerz, Immobilisierungszeit, ggf. Implantatentfernungen (im weiteren Metallentfernung genannt), Konsolidierung, Remodeling, Status der Wachstumsfuge, verbliebene Achsenfehlstellungen (wenn vorhanden), die Funktionalität bzw. Mobilität der frakturierten Extremität, den Bewegungsradius, Sensibilität, Durchführung von Alltagstätigkeiten, Belastbarkeit im Alltag als auch beim Sport; weiterhin an den unteren Extremitäten ggf. das Auftreten von Gangauffälligkeiten oder Beinlängendifferenzen.

2.3.1 Die LiLa-Klassifikation für pädiatrische Frakturen langer Röhrenknochen

LiLa e.V. hat eine Klassifizierung für Frakturen der langen Röhrenknochen im Wachstums- und Jugendalter anhand der radiologischen Diagnostik entwickelt [134, 151, 152, 155]. Die „LiLa-Klassifikation“ ist fünf- bzw. sechsstellig, beginnt in Anlehnung an die Erwachsenen-AO-Klassifikation und legt Knochen und Segment fest. Ab der dritten Stelle unterscheidet sie sich von der Erwachsenen-AO-Klassifikation, indem sie mit der dritten Codezahl die Morphologie, mit der vierten die Spezifizierung der Morphologie und mit der fünften den Dislokationsgrad beschreibt. Die sechste Stelle wird nur bei Bedarf vergeben, wenn bei den paarigen Knochen der nichttragende Knochen (Ulna bzw. Fibula) isoliert frakturiert ist. Seit der zweiten Version gibt es eine Ausnahmeregel für artikuläre Frakturen des distalen Humerus, die in der vierten Stelle eine eigene Einteilung besitzen. Da alle Frakturen dieser Studie anhand dieser Klassifikation beschrieben und diskutiert werden, folgt hier die ausführliche Erläuterung der Codezahlen:

1. Stelle: Knochen

1._._._._ = Humerusfraktur

2._._._._ = Unterarmfraktur (Radius und/oder Ulna)

3._._._._ = Femur

4._._._._ = Unterschenkel (Tibia und/oder Fibula)

2. Stelle: Segment

_.1._._._ = Fraktur im proximalen Drittel (Epiphyse und/oder Metaphyse)

_.2._._._ = Fraktur im mittleren Drittel (Diaphyse)

_.3._._._ = Fraktur im distalen Drittel (Epiphyse und/oder Metaphyse)

3. Stelle: Morphologie

_._.a._._ = artikulär/Epiphysenfraktur (Epiphyse, ggf. mit Metaphyse)

_._.s._._ = extraartikulär/diaphysär/Schaftfraktur (Metaphyse und/oder Diaphyse)

4. Stelle: Spezifizierung der Morphologie

_._.s.1._ = Epiphysiolyse mit/ohne metaphysärem Fragment (Salter-Harris-1 und -2)

_._.s.2._ = Wulst-, Biegungs- oder Grünholzfraktur

_._.s.3._ = komplette Fraktur der Metaphyse oder Diaphyse: transversal, Querfraktur, Torsionsfraktur

_._.s.4._ = Mehrfragmentfraktur

_._.s.5._ = andere

_._.a.1._ = Epiphysenfraktur (Salter-Harris-3)

_._.a.2._ = Epiphysenfraktur mit metaphysärem Fragment (Salter-Harris-4)

_._.a.3._ = Twoplane-Fraktur

_._.a.4._ = Triplane-Fraktur

_._.a.5._ = andere

5. Stelle: Dislokation

_._._._.0 = nicht-disloziert

_._._._.1 = tolerabel-disloziert

_._._._.2 = disloziert

6. Stelle: Isolierte Fraktur des nichttragenden Knochens

_._._._._.u = isolierte Ulnafraktur

_._._._._.f = isolierte Fibulafraktur

Ausnahmeregel für artikuläre Frakturen des distalen Humerus :

1.3.a.1._ = Condylus radialis humeri

1.3.a.2._ = Y-Fraktur

1.3.a.3._ = Condylus ulnaris humeri

1.3.a.4._ = (unbesetzt)

1.3.a.5._ = andere

<u>Zwei spezielle Frakturverschlüsselungen zur Veranschaulichung:</u>

2.3.s.2.0. = nicht-dislozierte distale Radiuswulstfraktur

(mit oder ohne Beteiligung der Ulna)

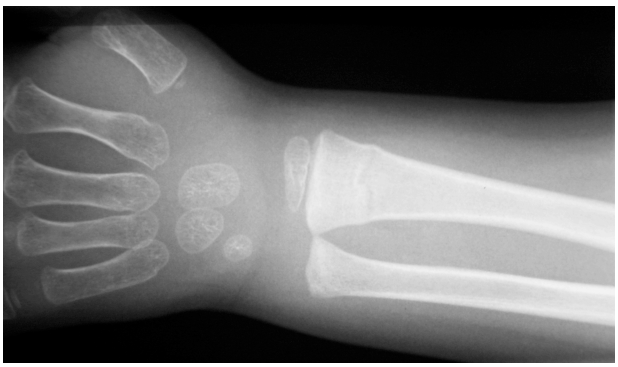


Abbildung 11: 2.3.s.2.0 - nicht-dislozierte distale Radiuswulstfraktur eines Patienten dieser Studie

4.2.s.3.1. = tolerabel-dislozierte komplette Tibiaschaftfraktur im mittleren Drittel

(„komplett“ kann hierbei Quer-, Schräg- oder Torsionsfraktur bedeuten)

Abbildung 12: 4.2.s.3.1 - tolerabel-dislozierte Tibiaschaftfraktur im mittleren Drittel eines Patienten dieser Studie

2.4 Behandlung der Frakturen

Im Rahmen der prospektiven klinischen Studie gab es keine Behandlungsvorgaben für Frakturen bei Kindern und Jugendlichen. Die Entscheidung, welche Therapie Anwendung fand, ob konservativ oder operativ bzw. mit welchen Verfahren, traf der behandelnde Arzt. Innerhalb der kinderchirurgischen Klinik gibt es für alle Frakturtypen eine vorgesehene Standardbehandlung, von der jedoch durch die Ärzte und Operateure gerade bei seltenen Frakturen gelegentlich abgewichen wurde. Wenn Frakturen bei Kindern durch Immobilisation behandelt wurden, so geschah dies entweder mit Weißgips, Gipsschiene oder Cast. Nach Reposition wurden Frakturen durch einen Gips bzw. Gipsschiene, durch (Zug-)Schraube(n), ESIN-Osteosynthese, Fixateur

externe oder Kirschner-Drähte stabilisiert; während der Erfassung wurde keine Plattenosteosynthese eingesetzt. Für Humerusfrakturen gab es spezielle Verbandtechniken, so z.B. bei supracondylären Humerusfrakturen die Redression durch einen Blount-Verband oder bei proximalen Humerusfrakturen den Gilchrist-Verband.

2.5 Nachuntersuchung der Frakturen

2.5.1 Standardisierte klinische Nachuntersuchung

Nach Behandlung der Frakturen wurden die Patienten in ungefähr 3-monatigen Abständen bis zum Ausheilen der Frakturen oder bis maximal 12 Monate nach dem Unfallgeschehen untersucht. Diese Nachuntersuchungen fanden unabhängig von dieser Studie in klinisch relevanten Intervallen statt. Wenn möglich erfolgte die Nachbehandlung in der Kinderchirurgie der Universitätsklinik Lübeck. Diese Nachuntersuchungen fanden im Rahmen der traumatologischen Sprechstunde statt und wurden durch die Doktorandin und Autorin dieser Arbeit selbstständig sowie gemeinsam mit den behandelnden Ärzten der Sprechstunde durchgeführt.

Die Abschlussuntersuchung erfolgte verlaufsabhängig v.a. bei komplizierten Frakturen oder Komplikationen ebenfalls in der Kinderchirurgie der Universitätsklinik Lübeck. Bei unkomplizierten Verläufen oder auf Wunsch der Eltern fand diese bei niedergelassenen Chirurgen oder Kinder- und Jugendmedizinern statt. Die weiterbehandelnden Ärzte leiteten ihre Untersuchungsergebnisse an das Studienzentrum in Lübeck weiter. Ebenso erfolgte die Datensammlung der Nachuntersuchung bei Patienten, die außerhalb des Einzugsgebietes wohnten bzw. während der Studie umgezogen sind und in heimatnahen Kliniken weiterbehandelt wurden. Bei Patienten, deren Eltern keinen weiterbehandelnden Arzt angaben, deren behandelnde niedergelassene Ärzte keine oder im Umfang unzureichende Befunddaten an das Studienzentrum zurücksandten oder deren Eltern eine Nachuntersuchung in der Klinik ablehnten, erfolgte die Datenerhebung über ein strukturiertes Telefoninterview. Dieses wurde in Anlehnung an den „LiLa-Follow-up-Bogen“ von der Doktorandin entwickelt (siehe Anhang 13.6). Wenn zum Zeitpunkt des Telefonates die Behandlung noch nicht abgeschlossen war oder die Eltern von klinisch vorhandenen Defiziten bzw. Komplikationen berichteten, wurde zu einer Nachuntersuchung in der Klinik für Kinderchirurgie Lübeck eingeladen. Anhand der durchgeführten Telefoninterviews, der klinikeigenen Untersuchungsergebnisse und der Daten von niedergelassenen Ärzten wurde ein Großteil der Nachuntersuchungen ausreichend erfasst, von 45 der 437 Frakturen konnten keine vollständigen Nachuntersuchungsergebnisse dokumentiert werden.

Im Rahmen des Nachuntersuchungsbogens (siehe 13.5) wurden Achsstellung, Bewegungsradius, Sensibilität, Durchblutung und Motorik sowie Durchführung von Alltagstätigkeiten, Belastbarkeit im Alltag sowie beim Sport untersucht. Die Messung der Bewegungsumfänge erfolgte nach der Neutral-Null-Methode mittels eines Standardgoniometers. In dieser Studie wurden bei allen nachuntersuchten Patienten die Bewegungsumfänge der verletzten sowie der nicht verletzten Gegenseite gemessen und in Relation zueinander gestellt, um das ggf. vorhandene Bewegungsdefizit zu ermitteln. Außerdem wurden bei der Nachuntersuchung international validierte Scores verwendet (siehe Anhang 13.13). Im Rahmen dieser Scores werden objektive und subjektive Kriterien abgefragt und zu einem Punktestand summiert. Bei Patienten, deren Nachuntersuchung nicht in Lübeck erfolgte, sondern deren Daten über niedergelassene Kollegen oder im Rahmen des Telefoninterviews entstanden, konnten die Punktewerte der objektiven Kriterien der Scores nicht durch persönliche Untersuchung sondern nur retrospektiv anhand der Befragung erhoben werden.

2.5.2 Validierte Scores der Nachuntersuchung

Zur objektiven Beurteilung von klinischen bzw. funktionellen Behandlungsergebnissen wurden verschiedene validierte und international anerkannte Scores verwendet, die auf kindliche Bedürfnisse problemlos zu übertragen waren. Weitere Auswahlkriterien waren, dass sie schnell und umfassend die klinischen Funktionen bzw. Defizite bewerteten und deren Einsatz im klinischen Alltag nach dem Buch von Krämer und Maichl [77] wenn möglich als „häufig“ eingestuft wurde. Die jeweiligen verwendeten Scores vergeben Punktwerte für Merkmale wie Schmerz, Kraft, Bewegungsgrade, Belastbarkeit und die Ausübung verschiedener Tätigkeiten. Sie unterscheiden sich in Gewichtung von subjektiven und objektiven Kriterien. Entsprechend der o.g. Kriterien wurden die folgenden Scores eingesetzt:

<u>1. Schulterverletzungen: Score nach Constant und Murley</u>

Es werden subjektive (35%) und objektive (65%) Parameter aus vier funktionellen Bereichen zu maximal 100 Punkten zusammengefasst. Während der Patient subjektiv über Schmerzen (maximal 15 Punkte) und Aktivitäten des täglichen Lebens (20 Punkte) berichtet, wird objektiv vom Untersucher die schmerzfreie Beweglichkeit der Schulter in Grad (40 Punkte) und die Schulterkraft (25 Punkte) beurteilt. In der Erwachsenentraumatologie gilt dieser Score als Standardinstrument für die Beurteilung der Schulterfunktion. Zur Reliabilität gibt Constant einen Interobserverfehler von 3% (Range 0% bis 8%) an [25, 26] (siehe Anhang 13.13.1).

2. Ellenbogen und Oberarm: Mayo-Elbow-Performance-Score

Der Mayo-Elbow-Performance-Score bewertet sowohl Schulter als auch Ellenbogen und vergibt maximal 100 Punkte für Schmerz (keine Schmerzen = 45 Punkte), Bewegungsumfang (20 Punkte), Stabilität (10 Punkte) und Funktion (25 Punkte) [104] (siehe Anhang 13.13.2).

3. Ellenbogen: Flynn-Score

Dieser Score bewertet den Grad der Veränderung der Ellenbogenachse und den Grad der Bewegungseinschränkung je nach Ausprägung als exzellent, gut, ausreichend oder schlecht [41] (siehe Anhang 13.13.3).

4. Handgelenk: Score nach Cooney et al. (1987)

Der Score wird für Frakturen im Bereich des Handgelenkes ebenfalls häufig in der Erwachsenentraumatologie verwendet und vergibt jeweils 25 Punkte für Schmerz, Bewegungsumfang, Kraft und die Funktion als Tätigkeit vor im Vergleich zu nach dem Unfall. Damit entsteht eine Gesamtpunktzahl von 100 Punkten, die 50% subjektive und 50% objektive Kriterien enthalten [27] (siehe Anhang 13.13.4).

5. Hüfte: Harris-Score 1969, modifiziert nach Haddad 1990

Der für Hüft- und Oberschenkelfrakturen sehr häufig verwendete modifizierte Harris-Score vergibt maximal 100 Punkte für folgende Bereiche: Schmerzen (44 Punkte), Hinken (11 Punkte), Gehhilfen (11 Punkte), Gehstrecke (11 Punkte), Treppen steigen (4 Punkte), Schuhe/Socken anziehen (4 Punkte), Sitzen (5 Punkte), Fahren mit öffentlichen Verkehrsmitteln (1 Punkt), keine Kontraktur (max. 3 Punkte), keine Beinlängendifferenz von mehr als 3 cm (1 Punkt) und das Bewegungsausmaß (5 Punkte). Die Modifizierung nach Haddad besteht in der Graduierung des Bewegungsausmaßes. Die Grade der Flexion, Adduktion, Abduktion, Außenrotation und Innenrotation im Hüftgelenk werden summiert. Eine Summe von 210° oder mehr entspricht fünf Punkten, 160° bis 209° erhalten vier Punkte, 100° bis 159° drei Punkte, 60° bis 99° zwei Punkte, 59° bis 30° einen Punkt, weniger als 30° keine Punkte. Der Score hat zu 91% subjektive und zu 9% objektive Anteile [49-51] (siehe Anhang 13.13.5).

6. Knie/Unterschenkel: Score nach Merchant und Dietz (1989)

Dieser klinische Score für Tibia- und Fibulaschaftfrakturen bewertet das Gangbild (10 Punkte), die Alltagsfunktion (35 Punkte), den Schmerz (maximal 35 Punkte), den Bewegungsbogen (maximal 10 Punkte) und die Abwesenheit von Instabilität oder Deformitäten (10 Punkte) bei einer Gesamtpunktzahl von 100 Punkten. Er wird im klinischen Alltag ebenfalls häufig verwendet und

besteht zu 90% aus subjektiven und zu 10% aus objektiven Merkmalen [103] (siehe Anhang 13.13.6).

7. Fußgelenk/Sprunggelenk: Score nach Ertl et al. (1988)

Beim Ertl-Score werden insgesamt maximal 22 Punkte vergeben für Schmerz (4 Punkte), Gangbild (4 Punkte), Aktivität (4 Punkte), Röntgenbildveränderungen (3 Punkte), Funktion des oberen Sprunggelenkes (4 Punkte) und Deformitäten (3 Punkte). Er enthält 55% subjektive und 45% objektive Anteile. Ein Ergebnis von null Punkten wird als exzellent gewertet, ein bis zwei Punkte als gut, drei bis vier als befriedigend und mehr als vier Punkte als ein schlechtes Ergebnis [37] (siehe Anhang 13.13.7).

8. Fußgelenk/Sprunggelenk: Beurteilung der Funktion anhand der Punktevergabe nach der American Orthopaedic Foot and Ankle Society (AOFAS 1994)

Die Punktevergabe der American Orthopaedic Foot and Ankle Society vergibt jeweils 50 Punkte für den objektiven klinischen Untersuchungsbefund bzw. für die Eigenangaben der Patienten. Der anamnestische Teil bildet die Schmerzen nach Operation/Behandlung (40 Punkte), die maximale Laufstrecke (5 Punkte) und das Laufverhalten auf bestimmten Oberflächen (5 Punkte) ab. Die klinische Untersuchung umfasst Gangabweichungen (8 Punkte), Ausmaß der Sagittalbewegung (Flexion plus Extension) (8 Punkte), Gelenkstabilität (nach anterior/posterior und medial/lateral) (8 Punkte), Supinations- und Pronationsbewegung (6 Punkte), Ausrichtung des Fußes bzw. Gelenkes (10 Punkte), Bewegungseinschränkung oder Unterstützung (10 Punkte) [74, 75] (siehe Anhang 13.13.8).

2.6 Statistik

Die Ergebnisse wurden anhand der LiLa-Klassifikation in Gruppen eingeteilt. Bei der Gruppenbildung wurde der komplette Klassifikationscode als Grundlage verwendet und fasste zuerst Frakturformen zusammen, die in den ersten drei Klassifikationsstellen identisch waren (Knochen, Segment, artikuläre oder extraartikuläre Fraktur). Waren die Frakturformen innerhalb dieser Gruppen sehr inhomogen, wurden weitere Subgruppen abhängig von der 4., 5. und teilweise der 6. Stelle, dem Frakturtypen oder sogar nach dem Dislokationsgrad gebildet. Weiter konnten diese Untergruppen vor allem im Bereich der dislozierten Frakturen auch nach der Behandlungsart differenziert werden. Damit war der Vergleich innerhalb möglichst homogener Patientengruppen möglich. Aufgrund der kleinen Fallzahl der homogenen Untergruppen waren Signifikanzberechnungen nicht möglich, sodass ausschließlich die deskriptive Erfassung der Anzahlen innerhalb einer Gruppe umsetzbar war. Informationen zur Spanne des Alters und zur Behandlungsdauer wurden in Zeitintervallen angegeben.

3 Ergebnisse

Im Studienzeitraum vom 01.10.2005 bis 30.09.2006 wurden 455 Kinder und Jugendliche mit röntgenologisch gesicherten Frakturen der langen Röhrenknochen behandelt. Die Daten von 36 Patienten konnten nicht ausgewertet werden, da bei 22 Patienten die Akten oder Röntgenbilder mangelhaft dokumentiert waren und bei 14 Patienten die Eltern in die Studie nicht einwilligten. Somit wurden 419 Patienten im Alter von einem Monat bis 16 Jahren mit einem Durchschnittsalter von 7,34 Jahren in diese Studie eingeschlossen, von denen 374 nachuntersucht werden konnten. Die 419 Patienten erlitten insgesamt 437 Frakturen, da 17 Patienten innerhalb des Jahres mit mehreren (zwei bis drei) Frakturen gleichzeitig (synchron) oder aber auch unabhängig voneinander (metachron) behandelt wurden (LiLa-Klassifikationscode siehe **Tabelle 4** bis Tabelle 10): Gleichzeitig wiesen acht Patienten je eine Oberarm- und Unterarm-Fraktur, ein Patient zwei Oberarm-Frakturen und drei zwei Unterarm-Frakturen auf. Drei Kinder erlitten mehrere Frakturen unabhängig voneinander zu verschiedenen Zeitpunkten: ein Patient zwei Unterarmfrakturen (2.2.s.3.0.u und 2.2.s.3.0), ein Patient zwei Tibiafrakturen (4.1.s.3.0 und 4.2.s.5.0) sowie ein Patient drei Frakturen nacheinander: hierbei handelte es sich um eine pathologische Oberschenkelfraktur (3.2.s.3.2), später eine Tibiafraktur (4.3.s.3.1) sowie eine Unterarmfraktur (2.2.s.3.1). Weiterhin traten insgesamt vier Refrakturen auf, drei am Unterarm und eine am Femur, von denen zwei als eigenständige Frakturen klassifiziert wurden, während die anderen beiden als „Komplikationen“ bei der jeweiligen Primärfraktur abgehandelt werden (siehe Tabelle 7 und Tabelle 10). Da bei einer Monteggiaäquivalentfraktur jeweils beide Knochen einzeln klassifiziert wurden, die innerhalb der Tabellen aber als eine Fraktur gewertet werden, wurden ursprünglich 438 Frakturen klassifiziert, letztendlich aber 437 Frakturen innerhalb der folgenden Tabellen ausgewertet, von denen 392 Frakturen nachuntersucht werden konnten.

Schwierigkeiten mit der Klassifikation entstanden aufgrund eines Eingabefehlers in die Online-Eingabemaske: zwei Unterschenkelfrakturen (4._._._._) wurden irrtümlich als Oberschenkelfrakturen (3._._._._) eingegeben. Fehlklassifikationen der einzelnen Frakturtypen traten v.a. an der Stelle des Dislokationsgrades auf. Alle Fehlklassifikationen wurden im Ergebnisteil sowie auch in den Tabellen unter der korrigierten inhaltlich richtigen Klassifikation aufgeführt und bewertet.

Innerhalb der Eingabemaske von MEMdoc waren bei der Behandlungsart im Primärbogen unter „Immobilisation“ keine Differenzierungen zwischen Weißgips, Gipsschiene, Cast oder Gilchrist möglich, sodass zur Auswertung der Daten diese Differenzierung nur aufgrund einer Notiz im ursprünglich für andere Inhalte bereitgehaltenen Freitext möglich war. Bei „Komplikationen“ wie z.B. Nervenschäden oder sichtbaren Achsenabweichungen wurde lediglich ihr Auftreten dokumentiert. Zusätzliche Informationen, beispielsweise zum Zeitpunkt des Auftretens, zum

Schweregrad, zur Korrekturbehandlung oder zum betroffenen Nerven, waren innerhalb dieses Dokumentationssystems nicht speicherbar.

3.1 Inzidenz der Frakturen und Behandlungsmethoden

In den folgenden Tabellen (siehe Tabelle 2 und Tabelle 3) werden die Frakturen und die Behandlungsmethoden abhängig von der Lokalisation dargestellt. In Tabelle 2 ist zu beachten, dass die Anzahl der Patienten abhängig von der Lokalisation aufgezählt wird. So ensteht aufgrund von Doppelzählungen durch mehrere Frakturen an verschiedenen Knochen (8mal Oberarm und Unterarm, ein Kind 3mal gezählt mit Frakturen an Oberschenkel, Unterschenkel und Unterarm) bei 419 Studienteilnehmern eine abweichende Gesamtzahl an Patienten von m=429.

Tabelle 2: Frakturlokalisationen (n=437 Frakturen)

Lokalisation	Anzahl Frakturen n=437	Anzahl Patienten m=429	Alter (a) Median	Alter (a) Spanne
Oberarm (OA)	110 (25,2%)	109	6	0,1 – 16
Unterarm (UA)	244 (55,8%)	239	8	0,5 - 16
Oberschenkel (OS)	19 (4,3%)	18	5	1 - 15
Unterschenkel (US)	64 (14,6%)	63	7	0,8 - 16

Tabelle 3: Verteilung der Behandlungsmethoden je Lokalisation (n=437 Frakturen)

Primär-Behandlung	OA	UA	OS	US	Gesamt
Immobilisation	50	164	5	47	266 (60,9%)
Redression	10	0	0	0	10 (2,3%)
Reposition + Immobilisation	1	12	3	4	20 (4,6%)
Reposition + OP	49	68	11	13	141 (32,3%)

Legende: Immobilisation = Gips (Weißgips oder Kunststoffgips = Cast), Gipsschiene, Gilchrist-Verband, Becken-Bein-Cast; Redression = Blount-Verband

3.2 Frakturen des Humerus

Im Untersuchungszeitraum wurden 110 Humerusfrakturen behandelt. Hierbei handelte es sich um 95 extraartikuläre (1._.s._._) Frakturen, von denen sich 19 im proximalen (1.1.s._._), drei im mittleren (1.2.s._._) und 73 im distalen (1.3.s._._) Drittel des Schaftbereiches befanden. Es traten keine proximalen artikulären (1.1.a._._), jedoch 15 distale artikuläre Frakturen (1.3.a._._) auf (siehe **Tabelle 4** bis Tabelle 6).

Tabelle 4: Behandlung und Outcome der proximalen Humerusfrakturen

Klassifikation	n	Behandlung: Art Dauer (Wochen) ME (Monate)	Komplikation / Besonderheit	NU (Monate)	Ergebnis: gut oder sehr gut
1.1.s	**Proximale Humerusschaftfrakturen**				
1.1.s.1	**Salter-1- und -2-Frakturen / Epiphysiolysen mit und ohne metaphysären Keil**				
1.1.s.1.0	1	Gilchrist **(< 4)**	-	3	ja
1.1.s.1.1	1	Gilchrist **(< 4)**	-	3	ja
1.1.s.1.2	1	ESIN **(3,5)**	-	3,5	ja
1.1.s.2	**Subcapitale Humeruswulst- und Grünholzfrakturen**				
1.1.s.2.0	5	Gilchrist **(< 4)**	-	1,5-3 (4 Pat)	ja
1.1.s.3	**Subcapitale komplette Humerusfrakturen**				
1.1.s.3.0	2 (1)	1 Gilchrist **(< 4)** 1 Gilchrist **(> 4)** (1)	- -	2 4	ja ja
1.1.s.3.1	5	Gilchrist **(< 4)**	-	2-3,5 (3 Pat)	ja
1.1.s.3.2	4	ESIN **(5-7)** (+Gilchrist)	-	3 (3 Pat)	ja

Legende:
ME = Materialentfernung, NU = Nachuntersuchung, n = Anzahl, Pat = Anzahl der nachuntersuchten Patienten, wenn nicht alle Patienten nachuntersucht werden konnten Scores: Score nach Constant und Murley und Mayo-Elbow-Performance-Score (beide max. 100 Pkt)
(1) 1.1.s.3.0: vergesellschaftet mit Mehrfragmentfraktur (1.2.s.4.1), beide linker Humerus

Sehr gute funktionelle und kosmetische Endergebnisse ohne Komplikationen oder Besonderheiten erreichten innerhalb von dreieinhalb Monaten alle 15 nachuntersuchten Frakturen der 19 proximalen Oberarmschaftfrakturen (1.1.s), dies betraf sowohl die 9 nicht-dislozierten als auch die 6 tolerabel-dislozierten und die 3 dislozierten Frakturen.

Die dislozierten proximalen Humerusfrakturen, eine dislozierte proximale Humerusepiphysiolyse ohne Achsenabweichung mit Frakturspaltverbreiterung > 2 mm (1.1.s.1.2) eines 13-jährigen Jungen sowie vier dislozierte subcapitale Humerusfrakturen (1.1.s.3.2), heilten nach ESIN-Osteosynthese komplikationslos aus.

Tabelle 5: Behandlung und Outcome der diaphysären zentralen Humerusfrakturen

Klassifikation	n	Behandlung: Art Dauer (Wochen) ME (Monate)	Komplikation / Besonderheit	NU (Monate)	Ergebnis: gut oder sehr gut
1.2.s	**Diaphysäre komplette Humerusschaftfrakturen**				
1.2.s.3.0	1	Gilchrist **(< 4)**	Glasknochen-krankheit	1	ja
1.2.s.3.2	1	Reposition+ Gips **(< 4) (8)**	1 sekDis (→ESIN)	8	ja
1.2.s.4.1	1 ([1])	Gips **(> 4)** ([1])	-	4	ja

Legende:
NU = Nachuntersuchung, ME = Materialentfernung, n = Anzahl, sekDis = sekundäre Dislokation, Scores: Score nach Constant und Murley und Mayo-Elbow-Performance-Score (beide max. 100) Pkt)
([1]) 1.1.s.3.0: vergesellschaftet mit Mehrfragmentfraktur (1.2.s.4.1), beide linker Humerus

Die Fallzahl der Schaftfrakturen im mittleren Drittel (1.2.s) war mit drei Frakturen klein. Von ihnen litt ein 1-monatiger Säugling an Osteogenesis imperfecta. Eine tolerabel um ein Drittel der Schaftbreite dislozierte Mehrfragmentfraktur heilte im Gips komplikationslos aus. Eine um eine halbe Schaftbreite dislozierte komplette Schaftfraktur im mittleren Drittel (1.2.s.3.2), die initial nach Reposition im Gips immobilisiert wurde, dislozierte nach fünf Tagen sekundär und wurde nach geschlossener Reposition mit ESIN-Osteosynthese stabilisiert. Danach heilte sie innerhalb von 8 Monaten folgenlos aus.

Tabelle 6: Behandlung und Outcome der distalen Humerusfrakturen

Klassifikation	n	Behandlung: Art Dauer (Wochen) ME (Monate)	Komplikation / Besonderheit	NU (Monate)	Ergebnis: gut oder sehr gut
1.3.s	**Supracondyläre Humerusfrakturen = distale Humerusschaftfrakturen**				
1.3.s.2	**Distale Humeruswulst- und Grünholzfrakturen**				
1.3.s.2.0	9	6 Gips **(3-4)** 3 Blount **(< 4)**	- -	1-3 (8 Pat)	ja ja
1.3.s.2.1	1	1 Gips **(> 4)**	-	3	ja
1.3.s.3	**Komplette supracondyläre Humerusfrakturen**				
1.3.s.3.0	25 ([2])	19 Gips **(11mal < 4)** **(8mal > 4)** 6 Blount **(< 4)**	19 keine 6 keine	1-4,5 3	ja ja
1.3.s.3.1	3	1 Blount **(< 4)** 2 Gips **(> 4)**	2 keine 1 BD	2-3 4,5	ja ja
1.3.s.3.2	34 ([2]) ([4])	K-Draht	1 Infektion 4 Ulnarisläsionen 1 Medianusläsion 3 Spannungsblasen 2 BD 1 Revisions-OP	8-14	32 ja 2 nein (100/100 MAYO) (Flynn: gut, ausreichend)
1.3.s.4	**Distale Humerusschaftmehrfragmentfrakturen**				
1.3.s.4.2	1 ([3])	K-Draht+ Zugschraube **(4)**	-	4	ja
1.3.a	**Distale artikuläre Humerusfrakturen**				
1.3.a.1	**Condylus radialis Frakturen**				
1.3.a.1.0	4 ([2])	Gips **(< 4)**	-	2-2,5 (3 Pat)	ja
1.3.a.1.1	1	Gips **(< 4)**	-	1,5	ja
1.3.a.1.2	6 ([2])	6 Zugschraube: **(3 – 4,5)**	3 keine	4-6	3 ja
			1 Metalldislokation **(2,5)**+BD	> 12	1 nein (85/100 MAYO)
		(1mal + K-Draht) ([2])	2 BD ([2])	6-9 ([2])	2 ja ([2])
1.3.a.3	**Epicondylus ulnaris Frakturen**				
1.3.a.3.1	1 ([2])	Gips **(> 4)** **(3,5)**	1 sekDis + BD (→Zugschraube)	5	ja
1.3.a.3.2	3 ([4])	Zugschraube **(4-6)**	2 Ulnarisläsionen 1 BD	4-6	ja

Legende:
ME = Materialentfernung, n = Anzahl, NU = Nachuntersuchung, sekDis = sekundäre Dislokation, BD = Bewegungsdefizit (nach 3 Monaten, kann bei Abschlussuntersuchung ausgeheilt sein; siehe Text), Pat = Anzahl der nachuntersuchten Patienten, wenn nicht alle Patienten nachuntersucht werden konnten. Scores: MAYO = Punktewert im Mayo-Elbow-Performance-Score (max. 100 Pkt) und FLYNN = Flynn-Score: 1mal gut, 1mal ausreichend
([2]) 8 Patienten hatten OA- und UA-Frakturen gleichzeitig: (1.3.a.1.0 + 2.1.s.1.0), (1.3.a.1.2 + 2.1.a.5.0.u), (1.3.a.3.1 + 2.1.s.2.0), (1.3.s.3.0 + 2.1.s.2.0) (1.3.s.3.0 + 2.3.s.2.2), (1.3.s.3.2 + 2.3.s.2.0), (1.3.s.3.2 + 2.3.s.3.2), (1.3.s.3.2 + 2.3.s.3.2)
([3]) 1.3.s.4.2: Trümmerzone oberhalb der supracondylären Fraktur, vergesellschaftet mit dislozierter Fraktur des Epicondylus medialis, die nicht separat klassifiziert wurde (-> Schraube)
([4]) Nervenläsionen: **1.3.s.3.2:** 4 Läsionen des N. ulnaris: 3 traumatisch, 1 intraoperativ 1 Läsion des N. medianus: 1 traumatisch, **1.3.a.3.2:** 2 Läsionen des N. ulnaris: 2 traumatisch,

Am Humerus traten Komplikationen am häufigsten bei den ellenbogennahen Frakturen bzw. im distalen Drittel des Humerus auf: sowohl bei den supracondylären Humerusfrakturen, als auch den Abrissen des gelenktragenden Condylus radialis sowie des Epicondylus ulnaris.

Bei den konservativ behandelten supracondylären Humerusfrakturen (1.3.s.2.0/1 und 1.3.s.3.0/1) (nach L. von Laer alle Frakturen von Typ I und 12 Typ IIa; Antekurvationen bis 20°, Rekurvationen bis 15° teils mit Seitverschiebungen bis zu einem Drittel der Schaftbreite) bestand bei einer tolerabel-dislozierten Fraktur (1.3.s.3.1) nach drei Monaten ein Flexionsdefizit im Ellenbogen von 35°, das ohne weitere Therapie bei der Kontrolluntersuchung nach viereinhalb Monaten nicht mehr nachweisbar war.

Die 35 dislozierten operierten supracondylären Humerusfrakturen (alle Frakturen 1.3.s.3/4.2), alle Frakturen Typ III und IV sowie zwei Typ IIb mit Extensionsfehlstellung > 30° nach von Laer), wurden nach Reposition (31mal geschlossen, 4mal offen) mit K-Drahtosteosynthese für drei bis vier Wochen stabilisiert und für ≥ vier Wochen immobilisiert. Bei einem 6-jährigen Mädchen mit Trümmerzone oberhalb der supracondylären Fraktur (1.3.s.4.2) und einer Fraktur des Epicondylus medialis wurden zusätzlich drei Zugschrauben eingebracht, mit deren Metallentfernung nach vier Monaten die Behandlung komplikationslos abgeschlossen war. Bei einem 14-jährigen Jungen folgte vier Tage nach der Operation eine Revisions-Operation aufgrund einer verbliebenen Rotationsfehlstellung. Soweit präoperativ beurteilbar, bestanden bei drei Patienten traumatische Ulnarisläsionen (Ausheilung nach zwei, drei bzw. sieben Monaten) sowie bei einem Kind ein traumatischer Medianusschaden (nach fünf Monaten ausgeheilt). Ein intraoperativ entstandener Ulnarisschaden bei schwieriger Reposition durch ein zusätzliches mediales Fragment war nach sechs Monaten ausgeheilt. Direkt postoperativ entwickelten drei Patienten Spannungsblasen, die komplikationslos ausheilten. Eine Infektion im Bereich eines Kirschner-Drahtes bei einer

8-jährigen Patientin wurde lokal antiseptisch behandelt. Es verblieb ein Streckdefizit von 10° (Extension/Flexion 0-10-140), dessen Ursache nicht sicher der Infektion, dem Operationsergebnis oder dem Weichteilschaden zuzuordnen war. In der Nachuntersuchung nach acht bis vierzehn Monaten lag bei allen operierten Patienten eine physiologische Ellenbogenachse vor, jedoch war die Beweglichkeit bei zwei Patienten eingeschränkt: einmal bei einem 14-jährigen Jungen, der nach verzögerter Konsolidierung eine Einschränkung der Extension/Flexion von 0-10-120° aufwies (> 85% verglichen mit der Gegenseite, Flynn-Score-Bewertung: "ausreichend") sowie einmal die oben genannte Patientin mit lokaler Weichteilinfektion (> 85% verglichen mit der Gegenseite, Flynn-Score-Bewertung: "gut"). Dennoch erreichten beide die volle Punktzahl im Mayo-Elbow-Performance-Score.

Bei sieben der vierzehn artikulären distalen Frakturen traten Probleme bzw. Komplikationen auf, sechs waren jedoch nach sechs bzw. neun Monaten folgenlos ausgeheilt. Bei zwei der sechs dislozierten Abrissfrakturen des Condylus radialis (1.3.a.1.2: Frakturspalt > 2 mm) bestanden noch nach der Metallentfernung Bewegungsdefizite: Ein endgradiges Bewegungsdefizit in der Extension/Flexion von 0-5-130° bei einem 5-Jährigen mit zusätzlicher K-Drahtosteosynthese wegen Instabilität war nach sechs Monaten ausgeheilt, ein weiteres Bewegungsdefizit (Extension/Flexion 0-20-110°) entstand durch eine große Menge Kallus aufgrund einer gleichzeitigen nicht-dislozierten Olekranonfraktur (2.1.a.5.0.u) und war nach Abbau des Kallus und Physiotherapie nach neun Monaten nicht mehr vorhanden. Außerdem kam es bei einer Patientin nach zweieinhalb Monaten bei Fehlstellung und Pseudarthrosenbildung zu einer Schraubenlockerung und -dislokation, sodass nach Schraubenentfernung das Fragment in Fehlstellung einheilte. Dadurch entstand eine Bewegungseinschränkung der Extension/Flexion von 0-30-60° und der Pronation/Supination von 20-0-10°. Alltagstätigkeiten waren nur eingeschränkt möglich, da die Patientin Rücken und Gesäß, nicht aber ihr Gesicht erreichen konnte. Weitere sechs Monate wurde unter Krankengymnastik abgewartet, um eine Korrekturoperation zu planen, die nicht in unserem Erfassungszeitraum von 12 Monaten lag. Sie erreichte bei noch nicht abgeschlossener Behandlung 85 von 100 Punkten im Mayo-Elbow-Performance-Score.

Die vier Epicondylus-ulnaris-Frakturen bzw. -Abrisse (1.3.a.3.1: Frakturspalt < 1 cm; 1.3.a.3.2: Frakturspalt > 1 cm) wurden alle mit einer Zugschraubenosteosynthesen stabilisiert, wobei die initial tolerabel-dislozierte Fraktur im Gips immobilisiert wurde und nach sekundärer Dislokation nach 10 Tagen operiert wurde; diese tolerabel-dislozierte Fraktur ging mit einer ipsilateralen leicht eingestauchten Radiushalsfraktur (2.1.s.2.0) einher. Zwei der drei dislozierten Frakturen (bei Patienten im Alter von 9, 10 und 13 Jahren) waren mit Ellenbogenluxationen assoziiert. Zwei

traumatische präoperative Läsionen des Nervus ulnaris (1.3.a.3.2) bedurften nach der Reposition keiner weiteren Behandlung und heilten selbstständig aus. Bei einem dieser beiden Patienten bestand direkt nach der Metallentfernung nach fünf Monaten bei voller Belastbarkeit ein Bewegungsdefizit in der Extension/Flexion (0-5-125°), das weiterhin mit Physiotherapie behandelt wurde und zu keinen Punkteinbußen im Mayo-Elbow-Performance-Score führte.

Zusammenfassung: Die Humerusschaftfrakturen im proximalen und mittleren Drittel erreichten alle sowohl im Score nach Constant und Murley als auch im Mayo-Elbow-Performance-Score mit 100 von 100 Punkten sehr gute Bewertungen. Die distalen supracondylären Humerusfrakturen erzielten im Flynn-Score 71mal ein exzellentes, einmal ein gutes und einmal ein befriedigendes Ergebnis. Im Mayo-Elbow-Performance-Score erhielten alle Patienten trotz der verbliebenen Bewegungsdefizite 100 von 100 Punkten. Die distalen artikulären Humerusfrakturen erlangten im Mayo-Elbow-Performance-Score bis auf eine Fraktur (1.3.a.1.2) mit 85 Punkten bei noch nicht abgeschlossener Behandlung alle 100 von 100 Punkten.

3.3 Frakturen des Radius und der Ulna

Im Untersuchungszeitraum wurden 244 Unterarmfrakturen behandelt. Hierbei handelte es sich um 238 extraartikuläre (2._.s._._) Schaftfrakturen, von denen sich 17 im proximalen (2.1.s._._), 40 im mittleren (2.2.s._._) und 181 im distalen (2.3.s._._) Drittel des Schaftbereiches befanden. Es traten sechs proximale artikuläre (2.1.a._._) Frakturen auf (siehe Tabelle 7 bis Tabelle 9).

Tabelle 7: Behandlung und Outcome der proximalen Radius- und Ulnafrakturen

Klassifikation	n	Behandlung: Art Dauer (Wochen) ME (Monate)	Komplikation / Besonderheit	NU (Monate)	Ergebnis: gut oder sehr gut
2.1.a	**Proximale artikuläre Unterarmfrakturen**				
2.1.a.5	**Olekranonfrakturen**				
2.1.a.5.0.u	3 ([1]) 	Gips (< 4)	2 keine 1 ([1])	1-2 8,5	ja ja
2.1.a.5.2.u	3 ([2]) 	Zuggurtung (3,5 – 4,5)	2 keine 1 ([2])	4-5 5	ja ja
2.1.s	**Proximale extraartikuläre Unterarmschaftfrakturen**				
2.1.s.1	**Salter-Harris-2-Frakturen**				
2.1.s.1.0	2 ([1])	Gips (10-14 Tage)	-	2,5	ja
2.1.s.2	**Proximale Unterarmwulst- und Grünholzfrakturen**				
2.1.s.2.0	7 ([1]) ([3])	Gips (< 4)	3 keine 2 ([1]) keine 1 ([3]) keine	2,5 (6 Pat) 2-4 3	ja ja ja
2.1.s.3	**Proximale komplette Unterarmschaftfrakturen**				
2.1.s.3.1	**Proximale komplette Radiusschaftfraktur, tolerabel-disloziert**				
2.1.s.3.1	2	Gips (1mal < 4) (1mal > 4)	-	2-3	ja
2.1.s.3.2	**Monteggia-Äquivalentfraktur, disloziert**				
	1	Reposition+Gips (6)	1 BD	8	ja
	1	Zuggurtung+ESIN (7)	1 BD	9	nein/gut* (95/100 MAYO)
2.1.s.3.2	**Radiusköpfchenfraktur, disloziert**				
	1 ([3])	K-Drähte	Radialis +BD+ Pseudarthrose ([3])	11	nein (85/100 MAYO)
	Radiushalsfraktur, disloziert				
	1	K-Drähte	keine	2	ja
2.1.s.3.2.u	**Monteggiafraktur, disloziert**				
	1	Gips (3,5)	1 BD	3	ja
2.1.s.3.2.u	**Proximale isolierte Ulnafraktur, disloziert**				
	1	ESIN (4,5)	-	4,5	ja

Legende:
ME = Materialentfernung, n = Anzahl, NU = Nachuntersuchung, Radialis = Nervus radialis Läsion, BD = Bewegungsdefizit (nach 3 Monaten, kann bei Abschlussuntersuchung ausgeheilt sein; siehe Text), Pat = Anzahl der nachuntersuchten Patienten, wenn nicht alle Patienten nachuntersucht werden konnten. Scores: Score nach Cooney und MAYO = Punktwert im Mayo-Elbow-Performance-Score (beide max. 100 Pkt)
([1]) 8 Patienten mit gleichzeitigen gleichseitigen Oberarmfrakturen: (2.1.s.1.0 + 1.3.a.1.0), (2.1.a.5.0.u + 1.3.a.1.2), (2.1.s.2.0 + 1.3.a.3.1), (2.1.s.2.0 + 1.3.s.3.0), (2.3.s.2.2 + 1.3.s.3.0), (2.3.s.2.0 + 1.3.s.3.2), (2.3.s.3.2 + 1.3.s.3.2) (-> K-Drähte Humerus), (2.3.s.3.2 + 1.3.s.3.2) (-> K-Drähte Humerus)
([2]) 2.1.a.5.2.u: vergesellschaftet mit gleichseitiger dislozierter Radiusköpfchenfraktur (Typ Salter-Harris-II), die nicht separat klassifiziert wurde.
([3]) 3 Patienten mit 2 UA-Frakturen gleichzeitig: (2.1.s.2.0 + 2.3.s.2.0, gleichseitig) (2.1.s.3.2 + 2.3.s.3.2, beidseits) (2.3.s.3.1 + 2.3.s.2.0, beidseits)
* Erklärung im Text: Bewegungseinschränkung verblieben, noch in Behandlung, Gesamtergebnis gut.

Im Bereich des proximalen Unterarms waren vier Frakturen ([1]) mit gleichseitigen Oberarmfrakturen, zwei Schaftfrakturen ([3]) mit distalen Unterarmschaftfrakturen - eine ipsi- bzw. eine kontralateral - und eine Olekranonfraktur (2.1.a.5.2.u) ([2]) mit einer dislozierten Radiusköpfchenfraktur (siehe Tabelle 7) vergesellschaftet; durch diese Kombinationen entstanden jedoch keine Komplikationen oder Defizite.

Die proximalen artikulären Unterarmfrakturen (Olekranonfrakturen) heilten innerhalb von einem bis achteinhalb Monaten folgenlos aus. An Besonderheiten bestanden einmal eine gleichzeitig bestehende dislozierte Radiusköpfchenfraktur (Typ Salter-Harris-2), die nicht separat klassifiziert wurde (2.1.a.5.2.u) sowie einmal eine zusätzliche dislozierte Fraktur des Condylus radialis (2.1.a.5.0.u + 1.3.a.1.2).

Unter den proximalen Schaftfrakturen traten drei Bewegungsdefizite auf, die alle Monteggia- und Monteggiaäquivalentfrakturen betrafen (2.1.s.3.2(u)): bei einer um 10° Antekurvation dislozierten Monteggiaäquivalentfraktur (2.1.s.3.2) bestand nach Reposition des Radiusköpfchens und Gipsimmobilisation zunächst eine Einschränkung der Pronation von 30°, die nach acht Monaten bei physiologischer Achsstellung ohne Physiotherapie nicht mehr nachweisbar war. Bei einer um 40° Antekurvation dislozierten Monteggiafraktur (2.1.s.3.2.u) eines 3-Jährigen bestand nach anderthalb Monaten ein Flexionsdefizit von 20° im Ellenbogengelenk (Extension/Flexion 0-0-130°), das nach drei Monaten ebenso nicht mehr nachweisbar war. Bei einer dislozierten Monteggia-Äquivalentfraktur (2.1.s.3.2) eines 10-Jährigen mit Seitverschiebung beider Knochen um eine halbe Schaftbreite wurde die Olekranonfraktur nach offener Reposition mit einer Zuggurtungsosteosynthese versorgt und die proximale Radiusfraktur nach geschlossener

Reposition mit einer ESIN-Osteosynthese stabilisiert. Nach Auskunft der behandelnden Ärzte am Heimatort wurde dort nach sieben Monaten die Metallentfernung durchgeführt und nach neun Monaten die Behandlung im Krankenhaus abgeschlossen. Aufgrund eines Extensionsdefizits von 15° im Ellenbogen bekam der Patient zur Verbesserung der Bewegungsfähigkeit weiterhin Krankengymnastik und erreichte 95 der 100 Punkte im Mayo-Elbow-Performance-Score.

Eine schwerwiegende Komplikation am proximalen Unterarm betraf einen 14-jährigen fast ausgewachsenen Patienten mit einer um eine Schaftbreite ad latus dislozierten Radiusköpfchenfraktur (2.1.s.3.2), die in dem Versuch, das Radiusköpfchen zu erhalten, offen reponiert wurde. Die Fraktur ging mit einem 2°igen Weichteilschaden sowie einem traumatischen Schaden des Nervus radialis einher. Es bildete sich eine Pseudarthrose mit verbliebener Valgusfehlstellung von 14°. Nach elf Monaten bestanden Bewegungseinschränkungen im Ellenbogengelenk in der Extension/Flexion (0-12-135°) und in der Pro-/Supination (30-0-40°) ohne wesentliche funktionelle Defizite im Alltagsleben. Die Röntgenkontrolle zeigte eine Pseudarthrose mit beginnender Lyse des Radiusköpfchens. Der Patient erreichte im Mayo-Elbow-Performance-Score bei noch nicht abgeschlossener Behandlung 85 der 100 Punkte. Dieser Patient erlitt gleichzeitig eine dislozierte Unterarmfraktur (2.3.s.3.2) der Gegenseite, die innerhalb der elf Monate Nachuntersuchungszeitraum folgenlos ausheilte.

Tabelle 8: Behandlung und Outcome der zentralen diaphysären Radius- und Ulnafrakturen

Klassifikation	n	Behandlung: Art Dauer (Wochen) ME (Monate)	Komplikation / Besonderheit	NU (Monate)	Ergebnis: gut oder sehr gut
2.2.s	**Diaphysäre Unterarmschaftfrakturen im mittleren Drittel**				
2.2.s.2	**Diaphysäre Unterarmwulst- und Grünholzfrakturen im mittleren Drittel**				
2.2.s.2.0	3	Gips (< 4)	-	1-2 (2 Pat)	ja
2.2.s.2.0.u	2	Gips (< 4)	-	1-2	ja
2.2.s.2.1	6	Gips (> 4)	1 sekDis (→ESIN)	1-3 (5 Pat)	ja
2.2.s.2.2	7 ([4])	5 Gips (> 4)	1 sA 1 sekDis+sA (→ GK) 1 Re# + sA ([4]) 1 keine	3-8 (4 Pat)	ja
		2 ESIN (8-9)	-	3	ja
2.2.s.3	**Diaphysäre komplette Unterarmschaftfrakturen im mittleren Drittel**				
2.2.s.3.0(u)	2 ([5])	Gips (< 4)	-	2,5	ja
2.2.s.3.1	3	Gips (< 4) (5,5)	1 keine 2 sekDis (→ ESIN)	1 5,5	ja ja
2.2.s.3.2	17 ([4]) ([6])	2 Gips (> 4) (6)	1 sekDis (→ ESIN) 1 sA	3 3	ja ja
		14 ESIN (5,5 -9) (1mal+K-Draht)	12 keine 1 Re# (→ Gips)([4]) 1 Ulnarisläsion ([6])	3 3 7	ja ja ja

Legende:
ME = Materialentfernung, n = Anzahl, NU = Nachuntersuchung, sekDis = sekundäre Dislokation, GK = Gipskeilung, Re# = Refraktur, sA = sichtbare Achsabweichung, BD = Bewegungsdefizit (nach 3 Monaten, kann bei Abschlussuntersuchung ausgeheilt sein; siehe Text), Pat = Anzahl der nachuntersuchten Patienten, wenn nicht alle Patienten nachuntersucht werden konnten. Scores: MAYO = Punktwert im Mayo-Elbow-Performance-Score und Score nach Cooney (beide max. 100 Pkt)
([4]) Refrakturen: bei 2.2.s.2.2 → 2.2.s.3.2 (wurde nicht eigenständig klassifiziert) bei 2.2.s.3.2 → 2.2.s.3.2: gesamt 17 Frakturen aus 16 Frakturen/Primärbehandlungen mit einer Refraktur (auch 2.2.s.3.2), die als Komplikation auftrat und eigenständig klassifiziert wurde.
([5]) 1 Patient (8- bzw. 9-jährig) mit 2 UA-Frakturen nacheinander: (2.2.s.3.0.u + 2.2.s.3.0) erst isolierte Ulnafraktur rechts, später komplette Unterarmfraktur links
([6]) Nervenläsion: 2.2.s.3.2: 1 postoperative Ulnarisläsion

Im mittleren Drittel des Unterarms (2.2.s._._) wurden Grünholzfrakturen (2.2.s.2.0/1) mit Varus/Valgus-Fehlstellungen bis 10° bzw. Re-/Antekurvation bis 15° bei 3- bis 9-Jährigen sowie komplette Schaftfrakturen (2.2.s.3.0/1) mit Valgusfehlstellung bis 20° bzw. einer Rekurvation bis 5° oder einer Seitdeviation bis zu einer halben Schaftbreite bei 2- bis 9-Jährigen konservativ versorgt. Eine operative Behandlung erhielten Schaftfrakturen mit Seitdeviation um mindestens

eine Schaftbreite sowie einmal mit einer Rekurvation von 22° (weitere Achsabweichungen wurden aufgrund der Seitdeviation nicht separat erfasst). Bei zehn von 40 Frakturen kam es zu Komplikationen. Neben fünf sekundären Dislokationen waren zwei Refrakturen, eine Nervus-Ulnaris-Läsion und drei sichtbare Achsenabweichungen zu verzeichnen (ein Patient mit zwei Komplikationen). Die sekundären Dislokationen traten nach sechs bis 21 Tagen auf und betrafen tolerabel-disloziert eingestufte Frakturen, die nicht reponiert wurden oder dislozierte Frakturen, die nach Reposition primär im Gips immobilisiert wurden (2.2.s.2.1/2 und 2.2.s.3.1/2). Die tolerabel-dislozierten Frakturen wiesen primär Achsenabweichungen von 10° bis 20° in Valgusfehlstellung, einmal mit 15° Antekurvation, auf. Die sekundären Dislokationen wurden mit einer ESIN-Osteosynthese versorgt bzw. bei einem 3-jährigen Mädchen (2.2.s.2.2) wurde der Gips gekeilt. Anschließend heilten alle Frakturen folgenlos aus. Die vier sichtbaren Achsenabweichungen traten alle bei dislozierten Frakturen auf (3mal 2.2.s.2.2 und 1mal 2.2.s.3.2), die nach Reposition immobilisiert wurden. Ein Patient erlitt kurz nach der Gipsabnahme, 1,5 Monate nach seinem ersten Unfall, durch einen erneuten Sturz eine Refraktur. Aufgrund des bereits gebildeten Kallus gelang nur eine unvollständige Reposition, die zu einer nach drei Monaten sichtbaren Antekurvation führte. Ein anderer Patient benötigte zehn Tage nach dem Unfall eine Gipskeilung aufgrund einer zunehmenden Dislokation von mehr als 15°. Die verbliebene Restfehlstellung von 5° hatte sich nach acht Monaten auf ca. 3° reduziert. Bei einem 4-jährigen Mädchen war eine Rekurvation nach zwei Monaten noch leicht, nach acht Monaten nicht mehr sichtbar.

Repositionsindikationen waren Seitdeviation um mindestens eine Schaftbreite, Rekurvation- und Valgusfehlstellung bis 30° bzw. ein Varus bis 20° und eine Antekurvation bis 35°. Die zwei mit ESIN-Osteosynthese behandelten dislozierten zentralen Grünholzfrakturen (2.2.s.2.2) heilten ohne Komplikationen aus. Bei zwei der 14 mit ESIN-Osteosynthese behandelten kompletten Unterarmschaftfrakturen (2.2.s.3.2) traten Komplikationen bzw. Auffälligkeiten auf: Ein Patient zog sich dreieinhalb Monate nach Unfall durch einen erneuten Sturz eine Refraktur (auch 2.2.s.3.2) bei liegendem Osteosynthesematerial zu, die geschlossen reponiert und bei weiterhin liegenden Nägeln im Gips immobilisiert wurde. Bei einem anderen Patienten bestanden postoperativ Parästhesien der Finger im Bereich des Nervus ulnaris, die bis zur Metallentfernung nach sieben Monaten folgenlos ausheilten.

Tabelle 9: Behandlung und Outcome der distalen Radius-und Ulnafrakturen

Klassifikation	n	Behandlung: Art Dauer (Wochen) ME (Monate)	Komplikation / Besonderheit	NU (Monate)	Ergebnis: gut oder sehr gut
2.3.s	**Distale Unterarmschaftfrakturen**				
2.3.s.1	**Salter-Harris-1- und -2-Frakturen**				
2.3.s.1.0	7 ([6])	Gips (4mal < 4) (3mal > 4)	5 keine 2 Ulnarisläsionen ([6])	3 3-6	ja ja
2.3.s.1.1	2	Gips (> 4)	-	3	ja
2.3.s.1.2	9	K-Draht	8 keine 1 BD	3 5	ja ja
2.3.s.2	**Distale Unterarmwulst- und Grünholzfrakturen**				
2.3.s.2.0	85 ([1]) ([3])	Gips (3-5)	61 keine 1 ([1]) keine 2 ([3]) keine	1-3 (64 Pat)	ja ja ja
2.3.s.2.1	21	Gips (3-5)	2 sekDis (→GK)	1-3 (18 Pat)	ja
2.3.s.2.2	2 ([1])	K-Draht	1 BD ([1])	3	ja
2.3.s.3	**Distale komplette Unterarmschaftfrakturen**				
2.3.s.3.0	5	Gips (3-5)	-	2-3 (4 Pat)	ja
2.3.s.3.1	14 ([3])	Gips (3-5)	3 sekDis (→ 1mal GK, 2mal K-Draht) 1 sA 7 keine ([3])	2-3 (11 Pat)	ja
2.3.s.3.2	36 ([1]) ([3]) ([4]) ([6])	2 Gips (> 4)	2 sekDis (→ K-Draht)	2,5	ja
		29 K-Draht	1 Infektion 1 Re# (→ Gips) ([4]) 1 Ulnarisläsion+ Medianusläsion ([6]) 1 Radialisläsion ([6]) 2 BD 21 keine ([3])	1,5-3,5 (27 Pat)	ja
		4 ESIN (5,5 – 7) ([1])	2 keine 2 ([1]) keine	2 2	ja ja
		1 ESIN+K-Draht+Gips (8)	BD + sA	8	ja

Legende:
ME = Materialentfernung, n = Anzahl, NU = Nachuntersuchung, sekDis = sekundäre Dislokation, GK = Gipskeilung, Re# = Refraktur, sA = sichtbare Achsenabweichung, BD = Bewegungsdefizit (nach 3 Monaten, kann später ausgeheilt sein), Pat = Anzahl der nachuntersuchten Patienten wenn nicht alle Patienten nachuntersucht werden konnten. Scores: MAYO = Punktwert im Mayo-Elbow-Performance-Score und Score nach Cooney (beide max. 100 Pkt)
([1]) 8 Patienten mit gleichzeitigen gleichseitigen Oberarmfrakturen: (2.1.s.1.0 + 1.3.a.1.0), (2.1.a.5.0.u + 1.3.a.1.2), (2.1.s.2.0 + 1.3.a.3.1), (2.1.s.2.0 + 1.3.s.3.0), (2.3.s.2.2 + 1.3.s.3.0), (2.3.s.2.0 + 1.3.s.3.2), (2.3.s.3.2 + 1.3.s.3.2) (-> K-Drähte Humerus) (2.3.s.3.2 + 1.3.s.3.2) (-> K-Drähte Humerus)
([3]) 3 Patienten mit 2 UA-Frakturen gleichzeitig: (2.1.s.2.0 + 2.3.s.2.0, gleichseitig) (2.1.s.3.2 + 2.3.s.3.2, beidseits) (2.3.s.3.1 + 2.3.s.2.0, beidseits)
([4]) 3 Refrakturen: 2.3.s.3.2 → 2.3.s.2.1 2.2.s.2.2 → 2.2.s.3.2 2.2.s.3.2 → 2.2.s.3.2: gesamt 17 Frakturen aus 16 Frakturen/Primärbehandlungen mit einer Refraktur (auch 2.2.s.3.2), die als Komplikation auftrat und eigenständig klassifiziert wurde.
([6]) Nervenläsionen: **2.3.s.1.0**: 2 Ulnarisläsionen: traumatisch bedingte Sensibilitätsstörungen **2.3.s.3.2**: 1 Ulnarisläsion+Medianusläsion und 1 Radialisläsion: jeweils traumatisch bedingt

Am distalen Unterarm wurden folgende Dislokationen als tolerabel angesehen: Salter-Harris-1- und -2-Frakturen (2.3.s.1.0/1: Antekurvation 14°, Valgus 10°), Wulst- und Grünholzfrakturen (2.3.s.2.0/1: Valgus/Varus bis 5°, Ante-/Rekurvation bis 20° bei unter 10-Jährigen bzw. bis 10° bei über 10-Jährigen) und komplette distale Schaftfrakturen (2.3.s.3.0/1: maximale Dislokationen bis zu 20° Varus, 23° Antekurvation und 30° Rekurvation bei 3- bis 10-Jährigen, bis zu 12° Antekurvation bei 11- bis 15-Jährigen).

Die größte Gruppe der Unterarmfrakturen stellten mit 108 Frakturen die distalen Radiuswulst- und -grünholzfrakturen (2.3.s.2._) dar, von denen 79% nicht-disloziert vorlagen; Repositionsindikationen waren Antekurvationen bis zu 20° und Rekurvationen bis zu 30° (2.3.s.2.2). In dieser Gruppe traten drei Komplikationen auf, die innerhalb von drei Monaten folgenlos ausheilten: ein endgradiges Bewegungsdefizit im Handgelenk in der Dorsalextension/Plantarflexion von 50-0-50° (2.3.s.2.2) sowie zwei sekundäre Dislokationen, die mit Gipskeilung behandelt wurden.

Die zweitgrößte Gruppe am Unterarm waren 55 distale komplette Unterarmschaftfrakturen (2.3.s.3._) mit folgenden Therapien bzw. Komplikationen und Auffälligkeiten:

Bei den 14 tolerabel-dislozierten im Gips immobilisierten kompletten distalen Schaftfrakturen traten drei sekundäre, repositionspflichtige Dislokationen auf, die einmal nach Gipskeilung und zweimal nach K-Drahtosteosynthese nach maximal drei Monaten folgenlos ausgeheilt waren. Bei

einer weiteren Fraktur mit 20° Varusdeviation bestand nach drei Monaten eine leicht sichtbare Achsenabweichung ohne funktionelle Einschränkungen. Die 36 dislozierten kompletten distalen Unterarmschaftfrakturen (2.3.s.3.2: Achsdeviationen 10 bis 60° bei 4- bis 10-Jährigen bzw. Achsdeviationen bis zu 30° bei 11- bis 15-Jährigen und Seitdeviationen bis mehr als eine Schaftbreite) beinhalteten sowohl die distalen diaphysären als auch metaphysären Frakturen. Sie wurden initial auf drei verschiedene Arten behandelt: 2mal Gips, 29mal K-Drähte nach Reposition und 4mal eine ESIN-Osteosynthese sowie einmal mit einer Kombination aus ESIN, K-Drähten und Gips. Beide im Gips immobilisierten Frakturen dislozierten sekundär und wurden mit einer K-Drahtosteosynthese behandelt. In der Gruppe der mit K-Drahtosteosynthese behandelten Frakturen traten bei sechs der 29 Patienten Komplikationen bzw. Besonderheiten auf (Komplikationsrate 20,6%): a) eine oberflächliche Infektion des Operationsgebietes wurde antibiotisch ausbehandelt b) eine Refraktur nach erneutem Sturz, die konservativ ausheilte c) zwei Nervenläsionen (eine Hypästhesie im Bereich der Tabatière des Ramus superficialis nervi radialis sowie eine partielle kombinierte Parästhesie im Bereich des N. ulnaris und des N. medianus; beide mit Restitutio ad integrum) und d) nach drei Monaten bestehende Palmarflexionsdefizite von 10° bzw. 20° bei zwei Patienten, die ohne weitere Therapie ausheilten. Die vier mit ESIN-Osteosynthese behandelten Frakturen heilten komplikationslos aus. Zwei von ihnen gingen mit gleichzeitigen gleichseitigen Humerusfrakturen einher, die problemlos mit einer K-Drahtosteosynthese versorgt wurden. Eine weitere komplexe Verletzung (2.3.s.3.2: Radiusdislokation ad latus mehr als eine Schaftbreite mit einer Ulnadislokation nach dorsolateral um eine halbe Schaftbreite) wurde nach offener Reposition mit einer Kombination aus ESIN- und K-Drahtosteosynthese und Gipsverband behandelt. Nach dreieinhalb Monaten bestanden noch eine leicht sichtbare Varusdeviation sowie Bewegungseinschränkungen (Pronation/Supination 70-0-70° (78% verglichen mit der Gegenseite) sowie ein Dorsalextensionsdefizit von 10° (90% verglichen mit der Gegenseite)). Bei der Metallentfernung nach acht Monaten lagen eine physiologische Achsstellung und eine freie Beweglichkeit vor.

Die kleinste Gruppe der distalen Unterarmfrakturen bilden die 18 distalen Salter-Harris-2-Frakturen und Epiphysiolysen (2.3.s.1._). Posttraumatische Sensibilitätsstörungen im Bereich des Nervus ulnaris bei zwei nicht-dislozierten distalen Salter-Harris-2-Frakturen (2.3.s.1.0) waren nach zwei bis sechs Monaten komplett ausgeheilt. Unter den dislozierten Frakturen (2.3.s.1.2: Ante-/ Rekurvation bis 15 bis 30°, Seitdeviation bis zu einer Schaftbreite) war ein Bewegungsdefizit nach zwei Monaten in der Dorsalextension/Plantarflexion von 40-0-50° bei einer um eine halbe Schaftbreite ad latus dislozierten Epiphysiolyse (2.3.s.1.2) nach fünf Monaten ausgeheilt.

Zusammenfassung: Insgesamt erlangten die Unterarmfrakturen mit vollen Punktzahlen im Score nach Cooney sehr gute Bewertungen. Im Mayo-Elbow-Performance-Score erreichten bis auf zwei

Frakturen (beide 2.1.s.3.2), die je einmal 85 und 95 von 100 Punkten erhielten, alle anderen ebenfalls volle Punktzahlen.

3.4 Frakturen des Femur

Im Untersuchungszeitraum wurden 19 Femurfrakturen behandelt. Hierbei handelte es sich immer um extraartikuläre (3._.s._._) Schaftfrakturen, von denen sich eine im proximalen (3.1.s._._), 14 im mittleren (3.2.s._._) und vier im distalen (3.3.s._._) Drittel des Schaftbereiches befanden (siehe Tabelle 10).

Tabelle 10: Behandlung und Outcome der Femurfrakturen

Klassifikation	n	Behandlung: Art Dauer (Wochen) ME (Monate)	Komplikation / Besonderheit	NU (Monate)	Ergebnis: gut oder sehr gut
3.1.s	**Proximale extraartikuläre Femurfrakturen**				
3.1.s.3.0	1	BBC (> 4)	-	6	ja
3.2.s	**Femurschaftfrakturen**				
3.2.s.3.1	1 ([1])	BBC (< 4)	-	3	ja
3.2.s.3.2	12 ([1]) ([2])	3 BBC (< 4)	-	2-3	ja
		3 FE (2-3)	1Re#(→BBC)([1])	3	ja
		6 ESIN (4-7) ([2])	2 sekDis → 1 FE → 1 Gips	5-7	ja
3.2.s.4.2	1	ESIN (5)	-	5	ja
3.3.s	**Distale extraartikuläre Femurschaftfrakturen**				
3.3.s.1	**Salter-Harris-1-Frakturen**				
3.3.s.1.2	1	K-Draht	BD	6	ja
3.3.s.2	**Distale Femurwulstfrakturen**				
3.3.s.2.0	2	Gips (< 4)	-	1-2,5	ja
3.3.s.3	**Distale komplette Femurschaftfrakturen**				
3.3.s.3.1	1	Gips (> 4)	-	3	ja

Legende:
ME = Materialentfernung, n = Anzahl, NU = Nachuntersuchung, BBC = Becken-Bein-Cast, FE Fixateur externe, sekDis = sekundäre Dislokation, Re# = Refraktur, BD = Bewegungsdefizit (nach 3 Monaten, kann bei Abschlussuntersuchung ausgeheilt sein; siehe Text) Score: Harris-Score (max. 100 Pkt)
([1]) 1 Refraktur: 3.2.s.3.1 ist die Refraktur von 3.2.s.3.2
([2]) 1 pathologische Fraktur bei 2,5-Jährigem: 3.2.s.3.2

Im proximalen Drittel trat nur eine nicht-dislozierte Femurfraktur (3.1.s.3.0) eines 13 Monate alten Mädchens auf, die zwei Monate nach Behandlung im Becken-Bein-Cast eine Außenrotation des rechten Beines zeigte, welche nach sechs Monaten klinisch nicht mehr nachweisbar war.

Im Bereich des Femurschafts (3.2.s) befanden sich 13 dislozierte Frakturen (3.2.s.3.2 bzw. 3.2.s.4.2), 11mal mit geschlossenen Weichteilschäden (7mal Grad 1, 2mal Grad 2 und 2mal Grad 3), die nach geschlossener Reposition dreimal im Becken-Bein-Cast, dreimal mit Fixateur externe und siebenmal mit einer elastisch stabilen intramedullären Nagelung versorgt wurden. Die tolerabel-dislozierte Femurschaftfraktur (3.2.s.3.1) trat erst sekundär als Refraktur auf.

Einen Becken-Bein-Cast erhielten drei ad-latus-dislozierte Frakturen von Kindern im Alter von ein bis zwei Jahren, diese heilten komplikationslos innerhalb von drei Monaten aus. Die Frakturen von Kindern älter als drei Jahre sowie eine pathologische Fraktur eines 2,5-Jährigen bei Zustand nach Chemotherapie wurden operativ behandelt: a) Drei Frakturen (3.2.s.3.2) bei Patienten im Alter von drei, vier und neun Jahren wurden mit Fixateur externe versorgt. Bei einer um mehr als die Hälfte der Schaftbreite dislozierten Femurschaftspiralfraktur eines 4-Jährigen kam es zweieinhalb Monate nach Primärfraktur einen Tag nach Abnahme des Fixateur externe zu einer tolerabel-dislozierten Refraktur (3.2.s.3.1) im Bereich einer ehemaligen Pin-Eintrittsstelle, die für weniger als vier Wochen im Becken-Bein-Cast behandelt wurde. 1,5 Monate nach Refraktur war das Bein bei seitengleicher Beinlänge voll belastbar und frei beweglich. Das mit Außenrotation und Nachziehen des Fußes auffällige Gangbild benötigte eine physiotherapeutische Nachbehandlung über vier Wochen, um ein optimales Nachuntersuchungsergebnis zu erreichen.

b) Sieben dislozierte Femurschaftspiralfrakturen und Femurschaftquerfrakturen (3.2.s.3.2) bei Patienten im Alter von 2,5 Jahren (pathologische Fraktur nach Chemotherapie) bis elf Jahren wurden mit einer elastischen stabilen intramedullären Nagelung in der klassischen 2-C-Konfiguration versorgt. Als Achsenfehlstellungen lagen vor: einmal ein Valgus von 40°, einmal eine Antekurvation von 45° mit einem Varus von 15° sowie einmal bei einer Multifragmentspiralfraktur eine Rekurvation von 10° bzw. ein Varus von 16°. Die übrigen Frakturen waren ad-latus disloziert, eine Spiralfraktur (initial als tolerabel-disloziert eingestuft) um weniger als ein Drittel der Schaftbreite und drei weitere um mehr als die Hälfte der Schaftbreite disloziert (eine davon war o.g. pathologische Fraktur nach Chemotherapie). Bei zwei Frakturen, einer dislozierten Femurschaftquerfraktur eines 11-jährigen Mädchens (in dieser Studie die älteste Patientin mit dieser Indikation) mit 15° Varusfehlstellung und einer Spiralfraktur mit Antekurvation von 45° eines 4-Jährigen, traten sekundäre Dislokationen mit nachfolgender erneuter Reposition auf. Einmal wurde durch die Reposition und Gipsanlage bei liegenden elastisch stabilen intramedullären Nägeln eine Antekurvationsfehlstellung auf 20° reduziert, bei einem anderen Patienten wurde zusätzlich ein Fixateur externe für drei Monate eingesetzt, während die ESIN-Osteosynthese für insgesamt sieben Monate verblieb. In den Nachuntersuchungen nach vier bis sieben Monaten traten keine klinisch sichtbaren Achsenabweichungen oder messbaren Beinlängendifferenzen auf.

Im Bereich des distalen Drittels trat bei einer der vier distalen Femurschaftfrakturen ein temporäres Problem auf: Eine dislozierte distale Femurepiphysiolyse (3.3.s.1.2) einer 15-jährigen Patientin wurde mit K-Drähten versorgt. Nach 3,5 Monaten bestand bei voller Belastbarkeit ohne Beinlängendifferenz und ohne Achsabweichungen ein Flexionsdefizit von 10° im Knie, das nach sechs Monaten nicht mehr nachweisbar war. Somit erreichte die Patientin im Harris-Score zunächst 99 Punkte bzw. 100 Punkte nach sechs Monaten.

Zusammenfassung: Wie Tabelle 10 zu entnehmen, sind intermittierend drei Probleme (eine Refraktur, zwei sekundäre Dislokationen) aufgetreten, die durch Revisionsbehandlungen im Langzeitverlauf folgenlos mit sehr guten Endergebnissen mit 100 von 100 Punkten im Harris-Score ausheilten.

3.5 Frakturen der Tibia und der Fibula

Im Untersuchungszeitraum wurden 64 Unterschenkelfrakturen behandelt. Hierbei handelte es sich um 58 extraartikuläre (4._.s._._) Frakturen, von denen sich drei im proximalen (4.1.s._._), 23 im mittleren (4.2.s._._) und 32 im distalen (4.3.s._._) Drittel des Schaftbereiches befanden. Artikuläre (4._.a._._) Frakturen traten zweimal proximal (4.1.a._._) bzw. viermal distal (4.3.a._._) auf.

Im Rahmen der Einordnung in die LiLa-Klassifikation ergaben sich Probleme im Bereich der Haarrissfrakturen bzw. okkulten Frakturen der Tibia, „Toddlerfrakturen“ genannt, da sie keine eigene Rubrik in der LiLa-Klassifikation besitzen. Nachdem eine Fraktur als 4.2.s.3.0 klassifiziert wurde, was einer kompletten Fraktur (z.B. Querfraktur oder Torsionsfraktur) entsprochen hätte, wurden nachfolgend die Toddlerfrakturen vereinbarungsgemäß an der vierten Stelle mit „5 - andere“ klassifiziert (4._.s.5._). Obwohl die Toddlerfrakturen in Behandlung und Outcome eine homogene Gruppe bilden, variieren dennoch die Klassifizierungen der vier Toddlerfrakturen, da zwei im zentralen und zwei im distalen Drittel des Tibiaschaftes liegen (4.2.s.5.0 und 4.3.s.5.0) (siehe **Tabelle 11** bis **Tabelle 13**).

Tabelle 11: Behandlung und Outcome der proximalen Tibia- und Fibulafrakturen

Klassifikation	n	Behandlung: Art Dauer (Wochen) ME (Monate)	Komplikation / Besonderheit	NU (Monate)	Ergebnis: gut oder sehr gut
4.1.a	**Proximale artikuläre Tibiafrakturen**				
4.1.a.2	**Proximale Salter-Harris-4-Frakturen**				
4.1.a.2.0	1	Gips (6)	-	3	ja
4.1.a.4	**Proximale Triplane-Frakturen**				
4.1.a.4.0	1	Gips (4)	-	4,5	ja
4.1.s	**Proximale extraartikuläre Tibiaschaftfrakturen**				
4.1.s.1	**Proximale Salter-Harris-2-Fraktur**				
4.1.s.1.2	1	Schrauben (4) (+Knieorthese)	-	4	ja
4.1.s.3	**Proximale komplette Schaftfrakturen**				
4.1.s.3.0	1([1])	Gips (3)	-	2	ja
4.1.s.3.2	1	K-Draht	-	2,5	ja

Legende:
ME = Materialentfernung, n = Anzahl, NU = Nachuntersuchung, Score: Score nach Merchant und Dietz (max. 100 Pkt)
([1]) ein Patient erlitt zwei Tibiafrakturen innerhalb des Jahres unabhängig voneinander: 4.1.s.3.0 und 4.2.s.5.0

Im proximalen Drittel traten die jeweiligen Frakturtypen jeweils nur einmal auf. Zwei der proximalen Schaftfrakturen, eine Salter-Harris-2-Fraktur (4.1.s.1.2) mit Dislokation um die Hälfte der Schaftbreite ad latus und eine proximale metaphysäre Fraktur (4.1.s.3.2) mit Valgusfehlstellung von 8°, wurden reponiert und operativ versorgt (siehe **Tabelle 11**). Komplikationen traten weder bei artikulären noch bei extraartikulären Frakturen auf.

Tabelle 12: Behandlung und Outcome der zentralen Tibia- und Fibulafrakturen

Klassifikation	n	Behandlung: Art Dauer (Wochen) ME (Monate)	Komplikation / Besonderheit	NU (Monate)	Ergebnis: gut oder sehr gut
4.2.s	**Diaphysäre Tibiaschaftfrakturen im mittleren Drittel**				
4.2.s.2	**Diaphysäre Tibiawulstfrakturen**				
4.2.s.2.1	1	Gips (3)	-	2	ja
4.2.s.3	**Diaphysäre komplette Tibiaschaftfrakturen im mittleren Drittel**				
4.2.s.3.0	8	Gips (3-5)	-	1-3,5 (6 Pat)	ja
4.2.s.3.1	5	Gips (3-5)	1 sekDis →GK	1-3 (4 Pat)	ja
4.2.s.3.2	6	3 Gips (> 4)	1 sekDis →GK 1 BLD	3	ja
				5	ja
		3 ESIN (3-5,5) (1mal+Gips (> 4))	-	4-5,5	ja
4.2.s.4.1	1	Gips (4,5)	-	3	ja
4.2.s.5	**Diaphysäre Toddlerfrakturen**				
4.2.s.5.0	2 ([1])	Gips (3)	-	2	ja

Legende:
ME = Materialentfernung, n = Anzahl, NU = Nachuntersuchung, BLD = Beinlängendifferenz, sekDis = sekundäre Dislokation, GK = Gipskeilung, Pat = Anzahl der nachuntersuchten Patienten, wenn nicht alle Patienten nachuntersucht werden konnten. Score: Score nach Merchant und Dietz (max. 100 Pkt.)
([1]) ein Patient erlitt zwei Tibiafrakturen innerhalb des Jahres unabhängig voneinander: 4.1.s.3.0 und 4.2.s.5.0

Die Schaftfrakturen im mittleren Drittel des Unterschenkels (4.2.s._._) waren mit 23 Frakturen die zweitgrößte Frakturgruppe innerhalb des Unterschenkels. Sie heilten trotz zweier mit Gipskeilung behandelter sekundärer Dislokationen (4.2.s.3.1 – initial bei einem 6-jährigen Jungen tolerabel um 5° in der Sagittalachse disloziert bzw. 4.2.s.3.2 – initial reponiert und gegipst) und einer nur wenige Wochen bestehenden Beinlängendifferenz (4.2.s.3.2) alle folgenlos aus. Mit Immobilisation ohne Reposition wurden nicht dislozierte und tolerabel dislozierte (Rekurvation bis 8°, Seitverschiebung bis maximal einem Drittel der Schaftbreite) Frakturen behandelt. Repositionsindikationen der sechs dislozierten zentralen kompletten Tibiaschaftfrakturen (4.2.s.3.2) waren zweimal ein Valgus von 15°, dreimal eine Antekurvation von bis zu 10° und einmal ein Varus von mindestens 5°; die Frakturen lagen jeweils in Kombination mit Seit-zu-Seit-Verschiebungen in unterschiedlicher Ausprägung vor. Zweimal bestand eine Rotationsdislokation. Nach geschlossener Reposition wurden drei Frakturen mittels ESIN-Osteosynthese fixiert, von denen eine wegen Instabilität zusätzlich für 4,5 Wochen immobilisiert wurde. Die drei anderen Frakturen, unter anderem die mit Rotationsfehlstellungen, wurden länger als vier Wochen ohne Osteosynthese immobilisiert.

Tabelle 13: Behandlung und Outcome der distalen Tibia- und Fibulafrakturen

Klassifikation	n	Behandlung: Art Dauer (Wochen) ME (Monate)	Komplikation / Besonderheit	NU (Monate)	Ergebnis: gut oder sehr gut
4.3.s	**Distale Tibiaschaftfrakturen**				
4.3.s.1	**Salter-Harris-1- und -2-Frakturen / Tibiaepiphysiolysen mit und ohne metaphysären Keil**				
4.3.s.1.0	8	Gips (> 4)	-	3 (7 Pat)	ja
4.3.s.1.1	1	Gips (> 4)	-	3	ja
4.3.s.1	**Salter-Harris-1-Frakturen**				
4.3.s.1.2	1	K-Draht	-	-	-
4.3.s.1	**Salter-Harris-2-Frakturen**				
4.3.s.1.2	2	Schrauben:			
		1 (12)	-	4	ja
		1 (2)	1 Peroneusläsion	15	funktionell ja (0/22 Ertl) (100/100 AOFAS)
4.3.s.2	**Distale Tibiawulst- oder Grünholzfrakturen**				
4.3.s.2.0	4	Gips (3-4)	1 Druckstelle	1-2,5	ja
4.3.s.2.1	1	Gips (4)	-	2	ja
4.3.s.3	**Distale komplette Tibiaschaftfrakturen**				
4.3.s.3.0	4	Gips (4-6)	-	1,5-3,5	ja
4.3.s.3.1	3	Gips (4-6)	1 sekDis (→ GK)	1,5-3	ja
4.3.s.3.2	2	1 Schraube (8)	-	8	ja
		1 K-Draht	Fuß 1,5 Schuhgrößen kleiner	6	ja (0/22 Ertl) (100/100 AOFAS)
4.3.s.5	**Distale Toddlerfrakturen**				
4.3.s.5.0	2	Gips (< 4)	-	2	ja
4.3.s._._.f	**Distale isolierte Fibulaschaftfrakturen**				
	4	Gips (3-4)	-	2-3 (3 Pat)	ja
4.3.a	**Distale artikuläre Tibiafrakturen**				
4.3.a.2	**Distale Salter-Harris-4-Frakturen**				
4.3.a.2.2	2	1 Schrauben (4) 1 Gips (5)	1 Schmerz 1 -	6 3	ja ja
4.3.a.4	**Distale Triplane-Frakturen**				
4.3.a.4.0	1	Schrauben (3)	1 BD+BLD	7	ja (0/22 Ertl) (100/100 AOFAS)
4.3.a.5	**Distale artikuläre Trümmerfrakturen**				
4.3.a.5.2	1	Schrauben + K-Draht + Cast (8)	Behandlung nicht abgeschlossen	2	nein (10/22Ertl) (70/100 AOFAS)

Legende:
ME = Materialentfernung, n = Anzahl, NU = Nachuntersuchung, BLD = Beinlängendifferenz, FE Fixateur externe, BD = Bewegungsdefizit (nach 3 Monaten, kann bei Abschluss-untersuchung ausgeheilt sein; siehe Text), sekDis = sekundäre Dislokation, GK = Gipskeilung, Re# = Refraktur, Pat = Anzahl der nachuntersuchten Patienten, wenn nicht alle Patienten nachuntersucht werden konnten. Scores: Ertl = Punktewert im Ertl-Score (22 Pkt., beste Bewertung: 0 Punkte) und AOFAS = Punktewert nach der Punktevergabe der AOFAS (beste Bewertung: 100 Punkte)

Die distalen Schaftfrakturen (4.3.s._._) stellten mit 32 Frakturen die größte Gruppe im Bereich des Unterschenkels dar; von diesen wurden fünf reponiert. Repositionsindikationen waren bei den zwei distalen Salter-Harris-2-Frakturen (4.3.s.1.2) Dislokationen ad latus um eine halbe Schaftbreite sowie bei der distalen Salter-Harris-1-Fraktur mit Fibulafraktur (4.3.s.1.2) eine Verbreiterung des Frakturspaltes um mehr als 2 mm. Repositionsindikationen der zwei dislozierten distalen Tibiaschaftfrakturen (4.3.s.3.2) waren einmal eine Seitverschiebung um mehr als eine Schaftbreite, die offen reponiert und mit Schrauben fixiert wurde, während eine Fraktur mit 10° Varus nach geschlossener Reposition mit K-Drahtosteosynthese stabilisiert wurde. Komplikationen bzw. Besonderheiten traten bei vier der 32 distalen Tibiaschaftfrakturen auf: Bei den konservativ behandelten Patienten (Dislokation bis maximal ein Drittel der Schaftbreite ad latus bzw. Antekurvation bis zu 15°) kam es zu einer Druckstelle im Gips (4.3.s.2.0), nachdem die Ferse eines 1-Jährigen innerhalb der Gipsschiene verrutscht war, sowie zu einer sekundären Dislokation einer zuvor tolerabel um 3° Antekurvation mit Seitverschiebung um weniger als ein Drittel der Schaftbreite dislozierten Fraktur eines 7-jährigen Jungen (4.3.s.3.1), die nach Gipskeilung innerhalb von drei Monaten folgenlos ausheilte. Bei den operativ versorgten Frakturen trat eine fragliche Frakturfolge auf, da ohne Beinlängendifferenz der Fuß des frakturierten linken Beines 1,5 Schuhgrößen kleiner war als der andere Fuß (4.3.s.3.2). Außerdem trat bei einer dislozierten distalen Salter-Harris-2-Fraktur (4.3.s.1.2) eines 13-jährigen Jungen nach der Operation eine Peroneusparese (Endast des Nervus peroneus profundus) auf, wegen der bereits nach zwei Monaten die Schrauben entfernt wurden. Nach dreieinhalb Monaten war bei voller Belastbarkeit der Zehen- und Hackengang nicht möglich und es bestand ein Bewegungsdefizit in der Dorsalextension/Plantarflexion von 0-0-35°. Unter intensivierter Krankengymnastik und erweiterter ambulanter Physiotherapie (EAP) wurde nach 15 Monaten eine seitengleiche Beweglichkeit in der Dorsalextension/Plantarflexion von 20-0-45° erreicht. Allerdings bestand eine persistierende Bewegungseinschränkung der Großzehe, als deren Ursache am ehesten nach einer MRT-Untersuchung muskulotendinöse fibrosierende Veränderungen gesehen wurden, sodass auf weitere Korrekturoperationen verzichtet wurde.

Distale extraartikuläre isolierte Fibulafrakturen (Zusatz “f“) zogen sich vier Patienten im Alter von drei bis dreizehn Jahren zu. Dabei traten zwei nicht-dislozierte Salter-Harris-2-Frakturen

(4.3.s.1.0.f), eine nicht-dislozierte Wulstfraktur (4.3.s.2.0.f) und eine tolerabel-dislozierte Spiralfraktur (4.3.s.3.1.f), die um mehr als ein Drittel der Schaftbreite ad latus disloziert war, auf. Die drei nachuntersuchten Patienten zeigten nach zwei bis drei Monaten keine klinischen Defizite.

Der Behandlungsverlauf von zwei der vier distalen artikulären Frakturen wurden von Komplikationen bzw. Auffälligkeiten begleitet: Bei einer nach konventionellem Röntgenbild als nicht-dislozierter eingestufter Triplane-Fraktur (4.3.a.4.0) eines 13-Jährigen zeigte sich erst im Computertomogramm (CT) eine Gelenkstufe, sodass eine operative Therapie indiziert war. Direkt nach der Metallentfernung der Schrauben drei Monate nach der Operation bestanden Bewegungsdefizite im oberen Sprunggelenk in der Extension von 5° und in der Flexion von 10° (Flexion/Extension: 40-0-25°) sowie eine Beinlängenverkürzung von 0,5 cm ohne Gangbildauffälligkeiten. Nach sieben Monaten waren beide Beine mit 91 cm wieder gleich lang, wobei der linke Oberschenkel 0,5 cm kürzer und der linke frakturierte Unterschenkel 0,5 cm länger waren als auf der rechten Seite. Ein weiterer Patient mit 5° Rekurvation und Seitverschiebung um eine halbe Schaftbreite dislozierter distaler Salter-Harris-4-Fraktur (4.3.a.2.2) klagte nach drei Monaten noch über Schmerzen beim Treppensteigen, die nach der Metallentfernung und bei der Abschlussuntersuchung nach sechs Monaten nicht mehr vorhanden waren.

Eine distale Tibiatrümmerfraktur mit Gelenkbeteiligung (4.3.a.5.2) kombiniert mit einer Fibulafraktur Typ Weber A bei einer ausgewachsenen 14-jährigen Patientin wurde nach offener Reposition der Gelenkflächen mit zwei Schrauben in der Tibia, einem K-Draht in der Fibula sowie einem Cast für acht Wochen versorgt. Es handelte sich um eine Fraktur äquivalent zu der bei Erwachsenen auftretenden Pilon-tibiale-Fraktur. Nach zwei Monaten wurden der K-Draht und der Gips entfernt, die Patientin durfte die Teilbelastung mit Sohlenkontakt bzw. Belastung mit 10 kg beginnen und lief an Unterarmgehstützen. Die Röntgenkontrolle zeigte keine Osteolysen und eine gute Durchbauung. Die Beweglichkeit war nicht eingeschränkt. Innerhalb der nächsten fünf Jahre erschien die Patientin zu keiner Untersuchung mehr und war telefonisch nicht mehr erreichbar. Bei nicht abgeschlossener Behandlung kann somit keine abschließende Bewertung erfolgen, entsprechend der letzten Untersuchung hatte sie 10 Punkte im Ertl-Score und 70 Punkte nach AOFAS erreicht.

Zusammenfassung: Im Bereich des proximalen und mittleren Unterschenkels erzielten alle Frakturversorgungen die volle Punktzahl von 100 Punkten im Score nach Merchant und Dietz (1989), was einem optimalen Ergebnis entspricht. Frakturen im Bereich des Fußgelenks bzw. Sprunggelenks erreichten alle bis auf eine mit nicht abgeschlossener Behandlung (4.3.a.5.2) bei funktionell unauffälligen Abschlussuntersuchungen mit weiterhin bestehenden fraglichen Frakturfolgen wie persistierende Bewegungseinschränkung der Großzehe (4.3.s.1.2),

Schuhgrößendifferenz ohne Beinlängendifferenz (4.3.s.3.2) und eine asymmetrische Beinlängendifferenz der Ober- und Unterschenkel mit gleicher Gesamtbeinlänge (4.3.a.4.0) 100 von 100 Punkten nach der Punktevergabe der „American Organisation foot and ankle“ - AOFAS (1994) und 0 Punkte im Ertl-Score (1988), was einem exzellenten Ergebnis entspricht.

4 Diskussion

4.1 Diskussion der Studienstruktur und des Studiendesigns

Diese Studie erhebt die Inzidenz, die Behandlung und das Outcome der Versorgung von kindlichen Frakturen der langen Röhrenknochen an der Kinderchirurgie Lübeck als einem universitären Krankenhaus der Maximalversorgung. Dazu wurden alle Frakturen der langen Röhrenknochen bei Kindern bis zum 17. Lebensjahr, die vom 01.10.2005 bis 30.09.2006 in der Klinik für Kinderchirurgie behandelt wurden, prospektiv in diese Studie eingeschlossen. Die Röntgenbilder wurden anhand der neuen LiLa-Klassifikation mit einem 5- bis 6-stelligen Code versehen. Weiter wurden die Daten jedes Patienten bezüglich der Behandlungsmethode, des Heilungsverlaufs, der Abschlussuntersuchung sowie gegebenenfalls der aufgetretenen Komplikationen gesammelt und gemeinsam mit weiteren Frakturen der gleichen Klassifikationsgruppe ausgewertet.

Die Ergebnisse der Behandlungseffizienz sowie die Komplikationen konnten danach entsprechend der Fragestellung mit den Ergebnissen anderer publizierter Studien verglichen werden. In diesem Rahmen sollte geklärt werden, welche Frakturen mit einem guten bis sehr guten Ergebnis behandelt wurden und ob diese Ergebnisse mit der Literatur übereinstimmen, sodass für diese Frakturen zurzeit von einer (nahezu) optimalen Versorgungsmöglichkeit ausgegangen werden kann. Umgekehrt wurde ermittelt, bei welchen Frakturen schlechtere Ergebnisse erzielt wurden und ob diese schlechteren Ergebnisse mit denen aus der Literatur übereinstimmen. In diesem Falle wäre davon auszugehen, dass zurzeit keine optimale Behandlung existiert. Im Falle besserer Ergebnisse in der Literatur müsste dementsprechend davon ausgegangen werden, dass individuelle Fehler oder ein Abweichen vom Standard ursächlich waren.

Neben der Beurteilung der eigenen Behandlung und der Ergebnisse der Literatur sollten somit ggf. Entwicklungspotenziale hin zu einer effizienteren Behandlung ermittelt werden. Weiterhin war es das Ziel, zu klären, ob mit Hilfe der LiLa-Klassifikation eine klare Zuordnung zu einer Behandlungsmethode bzw. zu einem Standardverfahren getroffen werden kann.

Vorteile dieses Studiendesigns liegen in der zufälligen, prospektiven und nahezu kompletten Erfassung sämtlicher Frakturen eines Jahres, sodass jeglicher Selektionsbias entfällt. Ein weiterer Bias wird durch die konservative als auch operative Versorgung aller Frakturen durch das gesamte Team verhindert. Damit wird die Versorgungsrealität eher abgebildet als bei einem einzigen Operateur bzw. wenigen selektierten Operateuren.

Nachteilig sind insbesondere bei seltenen Frakturen niedrige Fallzahlen, die keine statistisch signifikanten Daten hervorbringen können, sondern nur als Tendenz beurteilbar sind und ggf. als Hinweis auf bestehende Probleme verstanden werden können. Aufgrund des Studiendesigns mit der Datensammlung über einen definierten Zeitraum war kein Einfluss auf die Anzahl der

jeweiligen Frakturtypen und damit auf die Größe der Fallzahlen möglich, sodass ein epidemiologischer Querschnitt betrachtet und lediglich deskriptiv bewertet werden kann. Für Signifikanzrechnungen wären größere Fallzahlen der jeweiligen Frakturtypen notwendig gewesen. Ebenso können durch den relativ limitierten Zeitraum für die einzelnen Frakturtypen hinsichtlich möglicher Spätfolgen keine Aussagen gemacht werden.

4.2 Einordnung der erhobenen Ergebnisse im Vergleich mit der Literatur zur Behandlung und zur Effizienz

4.2.1 Humerusfrakturen

Im Bereich des Oberarmes wurden 110 Frakturen erfasst, davon 19 im proximalen, 3 im diaphysären und 88 im distalen Anteil. Im Kindes- und Wachstumsalter relevante Frakturen sind die subcapitalen Humerusfrakturen (LiLa-Klassifikation 1.1.s), die supracondylären Humerusfrakturen (1.3.s) und die Condylus-radialis-Abrisse (1.3.a.). Daher werden diese ausführlicher diskutiert als die übrigen Frakturtypen.

14 der 19 Frakturen des proximalen Humerus wurden **konservativ** behandelt. Indikationen waren hierzu nicht-dislozierte und als tolerabel-dislozierte eingestufte Salter-Harris-1- und -2-Frakturen (Seit-zu-Seit-Dislokationen bis zu weniger als einem Drittel des Schafts), subcapitale Humeruswulstfrakturen (alle nicht-dislozierte bei Patienten im Alter von 6 Monaten, 1, 2 und 7 Jahren) und subcapitale komplette Humerusfrakturen (tolerierte Dislokationen waren Valgus- und Varusdeviation bis zu 15° bei 6- und 12-jährigen Patienten, Rekurvation bis zu 28° bei einem 10-jährigen Kind und Seitdislokation bis zu einer halben Schaftbreite bei 4- bis 13-jährigen Patienten). Alle heilten komplikationslos aus und erzielten exzellente Bewertungen sowohl im Score nach Constant und Murley als auch im Mayo-Elbow-Performance-Score.

Wie auch unsere Ergebnisse zeigen, sind Frakturen im Bereich der proximalen Humerusmetaphyse aufgrund des großen und lang anhaltenden Korrekturpotenzials der proximalen Fuge eine Domäne der konservativen Behandlung. Die meisten Dislokationen sind daher als tolerabel einzustufen und können im Gilchrist- bzw. Desault-Verband problemlos behandelt werden [76, 98, 155]. Die Grenzen der tolerablen Dislokationen sind wesentlich abhängig vom Alter des Patienten. Neben der Leitlinie [59] werden von verschiedenen Autoren sehr differente Grenzen angegeben, sodass nicht von einem einheitlichen Vorgehen für diese Frakturen ausgegangen werden kann. Beispielsweise beschreibt Dietz [35] tolerable Achsabweichungen abhängig vom Ausmaß des bestehenden Kontaktes der Frakturfragmente: bei Kindern unter 5 Jahren bei Kontakt der Fragmente bis zu 90°, bei Kindern älter als 10 Jahre bei 50% Kontakt der Fragmente bis zu 45° Abkippung. Andere Autoren differenzieren nach der Richtung der Achsdeviation sowie dem Alter: so akzeptiert von Laer bei unter 12-Jährigen eine

Varusdeviation, Ante- und Rekurvation bis zu jeweils 50°, während er bei über 12-Jährigen maximal 30° bestehen lässt. Unabhängig vom Alter werden von den genannten Autoren Valgusdeviationen über 20° als nicht-tolerabel betrachtet [149]. Beaty hingegen differenziert nicht nach der Richtung der Achsdeviation, sondern beschreibt ohne Gradangaben alle "stark dislozierten" Frakturen bei über 11-Jährigen als Operationsindikation [13]. Nach Schmittenbecher können bis zum 10. Lebensjahr vollständig dislozierte, verkürzte Frakturen und Frakturen mit einer Achsdeviation von bis zu 60° für Varus-, Ante- und Rekurvationsfehler, jedoch nur bis zu 10° für den Valgusfehler konservativ behandelt werden. Ab dem 10. Lebensjahr sind seiner Ansicht nach vollständig dislozierte Frakturen nicht mehr und Frakturen mit Achsabweichungen - in Varus, Ante- und Rekurvation nur noch bis 20° bis 30°, für den Valgusfehler noch bis zu 10° - zur konservativen Behandlung geeignet [132]. Der klinikeigene Standard der Dislokationsgrenzen fasst die Vorstellungen der Autoren zusammen und differenziert nach Alter und Gradzahl der Dislokation: bis zu 10 Jahre nahezu immer konservatives Vorgehen, 10 bis 12 Jahre abhängig von Skelettreife, älter als 12 Jahre operatives Vorgehen bei Achsabweichung > 20° bis 30°. Die exzellenten Ergebnisse zeigen, dass die in dieser Studie verwendeten Toleranzgrenzen den Rahmen der konservativen Therapie nicht überschritten haben und diese Grenzen somit ein sinnvolles Vorgehen darstellen. Da prospektiv randomisierte Studien zur altersabhängig maximal kompensierbaren Fehlstellung nicht existieren, sind die Ergebnisse nach Belassen stärkerer Achsabweichungen nicht sicher vorhersehbar.

Fünf von 19 Patienten mit proximalen Humerusschaftfrakturen wurden **reponiert und operiert**. Indikationen hierzu waren eine dislozierte Epiphysiolyse ohne wesentliche Achsenabweichung, aber einer Frakturspaltverbreiterung > 2 mm (1.1.s.1.2) und vier um ein Drittel der Schaftbreite bis zu weniger als einer Schaftbreite (bei 11-, 12- und 16-jährigen Patienten) bzw. um mehr als eine Schaftbreite (bei einem 3-jährigen Patienten) dislozierte subcapitale Humerusfrakturen (1.1.s.3.2), die alle mit einer ESIN-Osteosynthese komplikationslos ausheilten und maximale Bewertungen im Score nach Constant und Murley und im Mayo-Elbow-Performance-Score erlangten.

Für dislozierte Frakturen der proximalen Humerusdiaphyse wird die bewegungsstabile ESIN-Osteosynthese favorisiert, doch auch die K-Drahtosteosynthese ist möglich [76, 139, 155]. Die einzige Arbeit, die beide Verfahren vergleicht, publiziert von Hutchinson et al. [62], stellte 23 mit ESIN-Osteosynthese und 27 mit K-Drähten operierte dislozierte subcapitale Humerusfrakturen gegenüber und zeigte eine geringere Komplikationsrate unter den mit ESIN-Osteosynthese behandelten Patienten (eine Infektion im Bereich der Inzision bei 23 Patienten (4%) vs. 11 von 27 Patienten (41%) in der K-Draht-Gruppe). Bei unseren fünf mit ESIN-Osteosynthese versorgten

Patienten traten keine Komplikationen auf, wobei dieses Ergebnis aufgrund der kleinen Fallzahl nicht aussagekräftig ist; zumindest tendenziell stimmen damit die sehr guten Ergebnisse dieser Studie mit der geringen Komplikationsrate bei der ESIN-Osteosynthese anderer Studien überein. Unklar bleibt, ob die Ergebnisse der operierten Frakturen mit konservativem Verfahren ebenso gut geworden wären. Die Operationen haben zwar zu exzellenten Ergebnissen geführt, bedeuten durch die Metallentfernung für den Patienten aber immer zwei Operationen und zwei Narkosen. Zusammenfassend kann jedoch von einer sehr guten Versorgung aller Frakturen am proximalen Humerus ausgegangen werden.

Zwei der drei Frakturen des zentralen diaphysären Humerus wurden **konservativ** behandelt. Indikationen waren hierzu eine nicht-dislozierte komplette diaphysäre Schaftfraktur (1.2.s.3.0), die im Gilchrist-Verband, und eine tolerabel um ein Drittel der Schaftbreite dislozierte diaphysäre Mehrfragmentschaftfraktur (1.2.s.4.1), die im Gips komplikationslos ausheilten und volle Punktzahlen im Score nach Constant und Murley und im Mayo-Elbow-Performance-Score erlangten. Die im Rahmen dieser Studie als tolerabel angesehenen Dislokationen befinden sich innerhalb der von Knorr et al. definierten Grenzen der tolerablen Dislokation bei Verkürzung und Seitverschiebung von mehr als einer Schaftbreite bzw. Achsabweichungen bis zu 10° [76]. Für stabile und tolerabel-dislozierte Frakturen wird allgemein eine konservative Behandlung im Gilchrist-Verband oder durch Immobilisation empfohlen [76, 98, 155]. Damit bestehen nach empfohlener Therapie exzellente Ergebnisse - wie auch in der Literatur beschrieben.

Eine der drei Frakturen des zentralen diaphysären Humerus wurde **reponiert** und anschließend im Gips **immobilisiert**. Indikation war eine um eine halbe Schaftbreite dislozierte diaphysäre Humerusschaftfraktur (1.2.s.3.2) eines 5-jährigen Jungen. Aufgrund einer sekundären Dislokation wurde diese mit einer ESIN-Osteosynthese stabilisiert, heilte folgenlos aus und erhielt volle Punktzahlen im Score nach Constant und Murley und im Mayo-Elbow-Performance-Score. Die Dislokation lag innerhalb der nach Knorr [76] definierten Toleranzgrenzen, sodass bei zusätzlich jungem Alter ein konservatives Vorgehen sogar ohne Reposition denkbar gewesen wäre. Für komplett dislozierte Humerusschaftfrakturen hingegen gilt die ESIN-Osteosynthese als Methode der Wahl [76, 139, 155]. Die sekundäre Dislokation bei 1.2.s.3.2 ist als einzige Fraktur mit diesem Klassifikationscode nicht statistisch auswertbar, widerspricht allerdings der bereits erwähnten Behandlungsempfehlung einer einzeitigen definitiven Versorgung in Narkose; nachträglich kann somit von einer instabilen Fraktur ausgegangen werden, die besser initial osteosynthetisiert worden wäre. Auch wenn es sich um einen Einzelfall handelt, weist dieser gemeinsam mit der Literatur daraufhin, dass für dislozierte komplette Humerusschaftfrakturen im mittleren Drittel

die ESIN-Osteosynthese bevorzugt werden sollte. Die Immobilisation nach Reposition ist hier somit kritisch zu betrachten, was jedoch in weiteren Studien mit höherer Fallzahl geprüft werden müsste. Insgesamt sprechen die guten Endergebnisse dieser Studie für eine gute Versorgungssituation.

44 der 88 Frakturen des distalen Humerus wurden **konservativ** behandelt, dabei lagen 38 Schaftfrakturen und sechs artikuläre Frakturen vor. Indikationen zur konservativen Therapie waren hierzu nicht-dislozierte und tolerabel-dislozierte a) supracondyläre Humerusfrakturen (1.3.s.2-3.0-1: Rekurvation bis 5°), b) Condylus radialis Frakturen (1.3.a.1.0-1: Frakturspalt < 2 mm) und tolerabel-dislozierte c) Epicondylus ulnaris Frakturen (1.3.a.3.1: Frakturspalt < 1 cm nach klinikinternem Standard). Insgesamt heilten diese Frakturen alle vollständig aus und erlangten volle Punktzahlen im Flynn-Score und im Mayo-Elbow-Performance-Score.

a) Die häufigste Fraktur im Bereich der distalen Metaphyse war die supracondyläre Humerusfraktur, die innerhalb dieser Studie mit 16,7% (73 von 437 Frakturen) auftrat; dies deckt sich nahezu exakt mit der in der Literatur angegebene Inzidenz von 16% aller pädiatrischen Frakturen [21, 161]. Zur Bewertung der Stabilität der Fraktur gelten für Kinder < 6. Lebensjahr Antekurvation bis 20° und Valgus bis 10° Abweichung als tolerabel, mit zunehmendem Alter besteht ein abnehmendes Korrekturpotenzial. Die 38 „stabilen“ Frakturen (Typ I und IIa; 1.3.s.2/3.0/1), wurden grundsätzlich konservativ behandelt: Frakturen des Typs I im Gips, Frakturen des Typs IIa im Blount-Verband bzw. Spitzwinkelgips [48, 76, 153, 161]. Im Rahmen der Therapie ist auf eine mögliche Antekurvationsstellung zu achten, die mit der Redression einer Blount-Schlinge konservativ gut behandelbar ist [155]; keineswegs darf eine weitere Achsabweichung bzw. eine Rotationsfehlstellung übersehen werden. Die Lübecker Patienten mit supracondylären Humerusfrakturen wurden gemäß diesen Empfehlungen behandelt und zeigten wie in der Literatur beschrieben exzellente Ergebnisse. Mit einem intermittierend auftretenden Bewegungsdefizit, das ebenfalls folgenlos ausheilte, traten - wie in der Literatur beschrieben - nahezu keine Probleme auf [76, 98, 108, 155].

b) Alle fünf nicht-dislozierten und tolerabel-dislozierten Frakturen des Condylus radialis (1.3.a.1.0/1) heilten komplikationslos mit Immobilisation aus. In der Literatur werden unter Beachtung der engen Grenzen der konservativen Therapie für nicht-dislozierte Frakturen gute Ergebnisse im 90°-Oberarmgips für drei bis vier Wochen berichtet. Werden die engen Grenzen (1.3.a.1.0-1: Frakturspalt < 2 mm) der konservativen Therapie überschritten oder sekundäre Dislokationen übersehen, kommt es zu schlechten Ergebnissen mit z. B. signifikanten Deformationen, Konsolidierungsstörungen oder Bewegungseinschränkungen [52, 73, 95, 150]. Im Rahmen dieser Studie wurden in Übereinstimmung mit der Literatur die Toleranzgrenzen nicht

überschritten. Somit konnte die begrenzte Indikation zur konservativen Behandlung bestätigt werden.

c) Die einzige konservativ behandelte und einzige initial tolerabel-dislozierte Epicondylus ulnaris Fraktur mit Frakturspalt < 1 cm dislozierte sekundär, wurde mit einer Schraubenosteosynthese versorgt und heilte folgenlos aus.

Die Angaben über die optimale Behandlungsindikation konservativ versus operativ, Toleranzgrenzen und Operationsverfahren sind auch heute noch in der Literatur uneinheitlich [147, 166]: Die Diskussion beruht darauf, dass es nach operativer Therapie zwar seltener zu Pseudarthrosenbildung kommt, funktionell aber keine Unterschiede zwischen operativ und konservativ behandelten Patienten bestehen sollen (auch bei vorliegenden Pseudarthrosen) [38, 147, 156]. Nach von Laer und Kraus stellt die isolierte Fraktur des Epicondylus ulnaris (1.3.a.3._) selbst bei deutlichen Dislokationen bis zu 2 cm nur eine relative Indikation zur Reposition und Osteosynthese dar, da auch bei einem hohen Prozentsatz daraus folgender Pseudarthrosen (bis zu 50%) der Anteil therapiebedürftiger Beschwerden wie Instabilität oder Ulnarisstörungen mit bis zu 10% niedrig sei [149, 155, 166]. Doch auch trotz operativer Therapie treten in etwa 10% der Fälle Pseudarthrosen auf [149, 155]. Daher empfehlen manche Autoren die konservative Therapie bei Frakturen mit einer Fragmentdislokation von < 2 mm bzw. die operative Therapie bei einer Dislokation von > 5 mm [95, 117, 147].

Andere Autoren präferieren ausschließlich operative Therapieverfahren [84, 156]. Ulmar befürwortet die stabile Osteosynthese, da er unter seinen 22 operierten Frakturen ein gutes Ergebnis ohne Pseudarthrosenbildung erreichte. Aufgrund seiner guten Ergebnisse und der seiner Meinung nach im Vergleich zur Literatur geringeren Rate von Pseudarthrosen – im Vergleich zu konservativ therapierten Patienten – empfiehlt er die Osteosynthese [147]. Ebenso berichtet Zanella über 7 Pseudarthrosen bei 8 konservativ behandelten Frakturen (entspräche 87,5%), sowohl bei den dislozierten als auch den nicht dislozierten Frakturen (eine Definition für "disloziert" und "nicht-disloziert" wird allerdings nicht angegeben). Lediglich die absoluten Operationsindikationen und Indikationen zur offenen Reposition mit medialer Instabilität, möglicher Ulnarisparese und Fragmenteinklemmungen werden definiert. Damit besteht nach Sichtung der Literatur kein Konsens über die optimale Therapieoption. Da auch bei konservativer Therapie die Wahrscheinlichkeit von bleibenden Defiziten, sogar bei eventuell entstehender Pseudarthrosenbildung, eher gering zu sein scheint, muss die Indikationsstellung zur operativen Therapie zur Verhinderung dieser Komplikationen aber mit den Risiken einer Operation mit Narkose jedoch grundsätzlich mit den Eltern besprochen werden [166] (Siehe auch unterer Abschnitt zu dislozierten Epicondylus ulnaris Frakturen).

Die initial tolerabel-dislozierte Epicondylus ulnaris Fraktur dieser Studie muss als Ausnahme

betrachtet werden, da sie mit einer proximalen Radiusfraktur (2.1.s.2.0) vergesellschaftet war. Somit kann von einem schwereren Trauma ausgegangen werden. Diese wurde initial immobilisiert und nach sekundärer Dislokation mit einer Schraubenosteosynthese versorgt und heilte folgenlos aus. Unter der Vorstellung, dass das Ellenbogengelenk von frühfunktioneller Behandlung bei übungsstabiler Osteosynthese profitiert, wäre retrospektiv bei dieser Kombinationsverletzung eine umgehende operative Versorgung zu bevorzugen gewesen. Die in der Literatur am häufigsten beschriebenen Komplikationen (Ulnarisläsion, Instabilität, Pseudarthrose [147, 149, 155, 166]) sind nicht entstanden. Bei diesem Einzelfall kann keine abschließende Bewertung der Güte der Therapie erfolgen. Zusammenfassend sollte in prospektiven randomisierten Untersuchungen jedoch die Grenze zur Operationsbedürftigkeit exakter definiert werden.

44 der 88 Frakturen des distalen Humerus wurden **reponiert und operativ** behandelt. Indikationen waren hierzu a) dislozierte supracondyläre Humerusfrakturen (1.3.s.3/4.2: Typ III und IV nach von Laer und zwei Typ IIb mit Extensionsfehlstellung > 30°), b) dislozierte Condylus radialis Frakturen (1.3.s.1.2: Frakturspalt zentral > 2mm) und c) dislozierte Epicondylus ulnaris Frakturen (1.3.s.3.2: Frakturspalt > 1 cm). Bis auf drei Frakturen (s.u.) wurden sehr gute Ergebnisse mit vollen Punktzahlen im Flynn-Score und im Mayo-Elbow-Performance-Score erreicht. Am Humerus auftretende Komplikationen und schlechte Ergebnisse betrafen zwei dislozierte supracondyläre Humerusfrakturen und eine dislozierte Condylus radialis Fraktur, die dementsprechend nicht die bestmöglichen Bewertungen in den Scores (Flynn-Score und Mayo-Elbow-Performance-Score) erreichten:

a) Die dislozierten supracondylären Humerusfrakturen (1.3.s.2-4.2) Typ IIb, III und IV nach von Laer wurden geschlossen reponiert und mit einer gekreuzten K-Drahtosteosynthese versorgt; trotz auftretender temporärer Komplikationen (bei den Typen III und IV) heilten alle folgenlos aus. Dokumentiert wurden folgende Probleme und Komplikationen: drei Spannungsblasen (als Folge des starken Traumas und der Manipulation, heilen jedoch in der Regel problemlos ab), zwei temporäre Bewegungsdefizite, eine lokale Infektion, eine Revisions-Operation wegen verbliebener Rotationsfehlstellung und ein intraoperativer Nervenschaden. Bei der Abschlussuntersuchung bestanden noch zweimal Bewegungsdefizite: einmal in der Extension/Flexion von 0-10-120° (Flynn-Score-Bewertung: "ausreichend", > 85% verglichen mit der Gegenseite) sowie einmal Extension/Flexion 0-10-140° (Flynn-Score-Bewertung: "gut"). Da diese zu keinen wesentlichen funktionellen Defiziten im Alltag führten (alle 100 Punkte im Mayo-Elbow-Performance-Score), ist das Endergebnis trotz verbliebener Defizite sehr zufriedenstellend.

Dislozierte supracondyläre Humerusfrakturen (Typ IIb, III und IV) müssen optimal reponiert und definitiv retiniert werden, da ansonsten die verbliebene Fehlstellung die Grenzen der konservativen Behandlung übersteigt, da hier kaum ein Remodeling verbliebener Fehlstellungen eintritt [66, 110, 153, 161]. Favorisierte Therapie ist nach geschlossener Reposition die K-Drahtosteosynthese, während die ESIN-Osteosynthese oder der Fixateur externe Alternativen darstellen. Die am häufigsten publizierte Variante ist diejenige K-Draht-Fixierung, bei der die Drähte von ulnar und radial gekreuzt eingebracht werden, danach folgt das Einbringen nur von lateral [76, 108, 153, 161]. Die Frakturen dieser Studie wurden alle mit der gekreuzten K-Drahtosteosynthese behandelt. Bezüglich der Bewegungsdefizite wird in der Literatur nach 12 Wochen ein Bewegungsausmaß von 85% verglichen mit der Gegenseite beschrieben [36, 146, 157, 167, 168], dieses wurde innerhalb dieser Studie erreicht.

Die mit einer Inzidenz von bis zu 30% häufigste Komplikation nach dislozierten supracondylären Humerusfrakturen ist die Varusdeformität. Diese entsteht nahezu immer durch operativ nicht optimal korrigierte Fehlstellungen und kann durch Bewegungseinschränkungen und kosmetisch störender Fehlstellung zu konsekutiven Korrekturosteotomien führen [32]. Eine ungenügende operative Reposition eines unserer Patienten wurde daher nach vier Tagen operativ korrigiert. Im Rahmen dieser Studie sind danach weder Varus- noch andere Achsdeformitäten entstanden.

Im Rahmen dieser Studie traten fünf Nervenschäden (viermal traumatisch, einmal iatrogen) auf. In der Literatur werden allgemein Inzidenzraten für Nervenschäden bei supracondylären Humerusfrakturen nach Babal in 16,6% der Fälle [8] berichtet. Nach Brubacher et al. entstehen Nervenläsionen bei diesem Frakturtyp mit einer Inzidenz von 12 bis 20% iatrogen bedingt bzw. von 2 bis 6% traumatisch bedingt [21]. In dieser Studie erlitten fünf von 35 operierten Patienten Nervenschäden, das entspricht einer Gesamtrate von 14%, wobei 3% iatrogene und 11% traumatische Ursachen hatten. Die Gesamtrate ist mit der von Babal vergleichbar. Die Rate der traumatischen Nervenschäden dieser Studie liegt über der von Brubacher berichteten, während die iatrogene Rate deutlich besser ist als in der Literatur beschrieben (3% vs. 12-20%). Traumatische Nervenläsionen sind ein Hinweis für ein schweres Trauma [66]. Sie betreffen in 52% den Nervus medianus und in 32% den Nervus radialis [8, 21, 32, 76, 108, 161]. Dahingegen betrafen sie in dieser Studie dreimal den Nervus ulnaris und einmal den Nervus medianus. Meistens handelt es sich dabei um eine Neurapraxie, die meist innerhalb von zwei bis drei Monaten spontan abheilt [8, 21, 32, 66, 76, 95, 108, 161]. Dieser Sachverhalt spiegelt sich in den Daten dieser Studie wider, da alle traumatischen Nervenläsionen untherapiert vollständig ausheilten. Iatrogene Nervenschäden betreffen v.a. den Nervus ulnaris und sind in über 90% innerhalb von sechs Monaten komplett reversibel. Der iatrogene Nervenschaden fand sich wie in der Literatur beschrieben am Nervus ulnaris als Verletzung durch den Kirschnerdraht und heilte

unbehandelt vollständig aus [8, 21, 32, 66, 76, 95, 108, 161]. Damit besteht ein mit der Literatur übereinstimmendes sehr gutes Endergebnis.

Im Rahmen eines Reviews (Evidenz based guideline) berichtet Mulpuri [108, 110] über ein erhöhtes Risiko (6% versus 0,53%) der (fast immer temporären) Nervus ulnaris Irritation durch den medialen Pin bei der gekreuzten K-Drahtosteosynthese gegenüber der parallelen lateralen K-Drahtfixation. Die Autoren schlussfolgerten, dass durch die mediale Stabilisierung tendenziell eine höhere Gefahr für eine Schädigung des N. ulnaris ausgeht, eine abschließende Empfehlung für eine bestmögliche Behandlung konnte jedoch nicht gegeben werden. Babal beschreibt in der mit 5148 Patienten und 5154 Frakturen größten Metaanalyse eine traumatische Nervenirritation bei der parallelen lateralen K-Drahtosteosynthese von 3,4% versus der gekreuzten K-Drahtosteosynthese von 4,1%, woraus sie eine Bevorzugung der parallelen lateralen Osteosynthese präferiert [8]. Im Rahmen einer weiteren Metaanalyse untersuchten Yousri et al. die gekreuzte versus die laterale K-Drahtosteosynthese und kamen zu dem Schluss, dass bei identischer Stabilität keine weiteren Evidenzlevel-1-Aussagen möglich waren [165]. Diese Daten führten in der Analyse der American Academy of Orthopaedic Surgeons zu einer „mäßigen“ Empfehlung für die Reposition und K-Drahtosteosynthese sowie einer „eingeschränkten“ Empfehlung für die Platzierung medialer Pins [108-110]. Im Gegensatz dazu zeigte die Metaanalyse nach Brauer et al. [19] eine höhere Stabilität bei gekreuzter K-Drahtosteosynthese gegenüber der radialen Spickung, weswegen in der Kinderchirurgie Lübeck die gekreuzte K-Drahtosteosynthese favorisiert wird.

Abschließend können folgende Schlüsse gezogen werden: a) Es bestehen enge Grenzen der konservativen Behandlung; b) für ein gutes Outcome bei dislozierten Frakturen sind optimale Reposition und Retention entscheidend; c) die Form der K-Drahtosteosynthese sollte in weiteren Studien vergleichend geprüft werden; d) für die Anwendung von Fixateur externe und ESIN-Osteosynthese ist bislang zu wenig Literatur vorhanden; hier sollten Studien initiiert werden.

b) Die sechs dislozierten Condylus-radialis-Frakturen (1.3.a.1.2: Frakturspalt > 2 mm) wurden mit je einer Zugschraube fixiert, wonach drei Frakturen Bewegungsdefizite noch nach zwei bis teilweise sogar nach neun Monaten zeigten: Ein Flexionsdefizit entstand durch vermehrte, auch nach sechseinhalb Monaten noch röntgenologisch nachweisbare, Kallusbildung aufgrund eines starken Traumas bei zusätzlicher nicht-dislozierter Olekranonfraktur (2.1.a.5.0.u). Ein endgradiges Bewegungsdefizit trat nach Schraubenosteosynthese mit bereits primär zusätzlicher K-Drahtosteosynthese wegen Instabilität auf, welches ebenso auf ein schweres Trauma hinweist. Das dritte Bewegungsdefizit ist mit einer nicht optimalen Fixierung erklärbar: Es entstand ein schlechtes Ergebnis durch Schraubenlockerung und -dislokation mit Fehlstellung,

Pseudarthrosenbildung und konsekutivem Bewegungsdefizit (85/100 Punkte im Mayo-Elbow-Performance-Score). Bewegungsdefizite durch eine verlängerte postoperative Immobilisation im Gipsverband [73] können für die Lübecker Patienten ausgeschlossen werden, da alle nur für wenige Tage eine Gipsschiene erhielten.

In der Literatur werden für dislozierte Frakturen des Condylus-radialis, bei denen bei Dislokation > 2 mm im zentralen Gelenkbereich immer eine Operationsindikation besteht, bei offener anatomischer Reposition und Fixation mit Zugschraube oder Bohrdrähten exzellente Ausheilungsraten von 90 bis 100% ohne signifikante Deformation oder Konsolidierungsstörung beschrieben [48, 52, 73, 86, 95, 150]. Die Autoren sind sich einig, dass bei technisch einwandfreier Operation die Ergebnisse sehr gut sind. Schlechte Ergebnisse entstehen durch Operationsfehler und nicht durch die gewählte Operationsmethode [48, 86]. Die typischen Ursachen für Behandlungsfehler liegen in der fehlerhaften Einschätzung der Stabilität nach Osteosynthese sowie im Übersehen einer sekundären Dislokation [52, 73, 95, 150]. Bezüglich der Operationsmethoden vergleichen Li et al. retrospektiv die Ergebnisse von insgesamt 62 Frakturen nach Schrauben- (n=30) mit denen nach K-Drahtosteosynthese (zwei K-Drähte n=23; drei K-Drähte n=7) und stellen fest, dass beide Methoden als „erfolgreich“ bezeichnet werden können. K-Drähte haben den Vorteil, dass sie einen kleineren Defekt im Knochenkern bedeuten und leichter zu implantieren sind. Schrauben hingegen führen zu radiologisch besseren Ergebnissen (sehr seltene „Fischschwanzdeformität“ des distalen Humerus) und geringerem Risiko einer Pseudarthrose, sind jedoch schwieriger zu platzieren [86]. Bezüglich auftretender Bewegungsdefizite berichten Weiss et al. in einer Studie von 158 mit K-Drahtosteosynthese behandelten Frakturen mit 109 nachuntersuchten Frakturen über das Auftreten von Bewegungsdefiziten bei 19 Patienten (17%) nach sechs Wochen bis sechs Monaten, deren Ursachen ungeklärt bleiben, da die Autoren keine Korrelationen zu Frakturtyp oder zur Immobilisationsdauer finden konnten. In der Literatur finden sich auch Ergebnisse notwendiger Korrekturoperationen: so publizierten Bauer et al. die Ergebnisse von sieben Patienten nach fehlverheilten Frakturen des Condylus radialis. Initial waren davon zwei nicht-dislozierte bzw. stabile Frakturen mit Immobilisation, zwei mit K-Drahtosteosynthese und drei Frakturen nach offener Reposition mit interner Fixation behandelt worden [12]. Dies weist indirekt darauf hin, dass schwerwiegende Komplikationen mit konsekutiven Korrekturoperationen im Kindesalter nicht selten sind und unabhängig vom Dislokationsgrad und der Behandlungsoption bzw. der Osteosynthesewahl auftreten können. Die Fehlheilung kondylärer Frakturen stellt auch nach von Laer [150] eine Problematik dar, die meist nach fehlerhafter Reposition und Osteosynthese auftritt und typischerweise zu Bewegungsdefiziten führt. Bei deutlicher Flexionseinschränkung sollte die Indikation zur Korrekturosteotomie so früh wie möglich gestellt werden [48, 52, 150]. Im Rahmen dieser Studie

entstand ein schlechtes Ergebnis durch Schraubenlockerung und -dislokation mit Fehlstellung, Pseudarthrosenbildung und konsekutivem Bewegungsdefizit (85/100 Punkte im Mayo-Elbow-Performance-Score).

Zusammenfassend können die in der Literatur beschriebenen sehr guten Ergebnisse nach komplikationslosem Verlauf für diese Frakturen und die von uns präferierte Zugschraubenosteosynthese mit sofortiger Übungsstabilität des Gelenkes bestätigt werden. Ebenso bestätigt das schlechte Ergebnis nach Osteosynthesenlockerung und die Bewegungseinschränkungen nach nicht optimal platzierter Schraubenosteosynthese die Bedeutung der technisch einwandfreien Operation [48, 52].

c) Die drei isolierten dislozierten Frakturen des Epicondylus ulnaris (1.3.a.3.2), von denen zwei mit einer Ellenbogenluxation einhergingen, heilten nach Schraubenosteosynthese vollständig aus. Zwei Frakturen gingen mit einem präoperativen reversiblen Nervus ulnaris-Schaden einher, eine Fraktur wies ein passageres Bewegungsdefizit auf. Da ein traumatischer Ulnarisschaden keine Komplikation der Behandlung, sondern ein Hinweis auf eine komplexe Verletzung darstellt und temporäre Bewegungseinschränkungen als Folge des Weichteilschadens nach Luxation sein können, bestehen somit in den drei Fällen exzellente Heilungsverläufe.

In der Literatur wird über die Therapieoptionen "konservativ versus operativ" weiterhin diskutiert (siehe oberen Abschnitt zur konservativen Therapie). Ebenso ist die Wahl der präferierten Osteosynthese nicht einheitlich. Nach Pappas et al. sind generelle Indikationen für die offene Reposition und Osteosynthese intraartikuläre Fragmente, unklare Nervus ulnaris-Störungen und Instabilität des Ellenbogens bei Valgusstress [117, 147].

Im Rahmen dieser Studie bestanden unabhängig von der Grundsatzdiskussion übereinstimmend mit Pappas bei allen drei Frakturen Operationsindikationen: zwei präoperative Nervus ulnaris-Schädigungen und zwei Gelenkluxationen. Innerhalb der wenigen Patienten entstand entgegen den Angaben nach von Laer und Kraus [155] sowie Zanella [166], aber übereinstimmend mit den Angaben von Ulmar [147], keine Pseudarthrose.

Verglichen mit den Ergebnissen der Literatur waren die im Rahmen der Lübecker Studie erreichten Punktzahlen im Mayo-Elbow-Performance-Score besser (alle 100/100 Punkten nach maximal sechs Monaten) als innerhalb des Patientenkollektivs von Ulmar (Durchschnitt 89/100 Punkte nach im Durchschnitt 4 Jahren): Ulmar berichtet in einer multizentrischen Studie mit (lediglich) 22 operierten Epicondylus-ulnaris-Frakturen von einem Nervus-ulnaris-Schaden (entspräche 4,5%) und durchschnittlich 89 Punkten im Mayo-Elbow-Performance-Score. 18% von ihnen wurden mit einer Schraubenosteosynthese versorgt [147], während die übrigen mit K-Drahtosteosynthese plus Schraube (55%) oder zwei K-Drähten (27%) mit jeweils gleich guten

Ergebnissen ausbehandelt wurden [147]. Das bessere Abschneiden des Lübecker Patientenkollektivs kann zum einen durch die geringere Fallzahl erklärt werden, zum anderen aber auch damit, dass die Langzeit-Nachbeobachtungen bis zum Abschluss des Wachstums noch ausstehen. Die Abschlussuntersuchungen bei Ulmar fanden nach im Durchschnitt vier Jahren und überwiegend bei 16-jährigen Patienten statt, während die Lübecker Patienten nach maximal sechs Monaten postoperativ und im Alter von 9 bis 13 Jahren bei nicht vollständig geschlossenen Epiphysenfugen abschließend nachuntersucht wurden. Eine Verschlechterung im weiteren Verlauf ist nach Einschätzung der Autorin nicht zu erwarten.
Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die bisher publizierte Datenlage bzgl. der Therapieempfehlung (s.o.) nur mäßig ist. Daher sollten Patienten und Eltern nach guter Aufklärung in die Therapieentscheidung individuell mit einbezogen werden. Im Falle eines operativen Vorgehens sollte eine Zugschraubenosteosynthese angestrebt werden, da das Ellenbogengelenk von einer übungsstabilen Versorgung mit frühfunktioneller Behandlung profitiert [147].

Insgesamt kann am distalen Humerus mit überwiegend (96,6% der Fälle - 85 von 88) bestmöglichen Bewertungen in den Scores und drei schlechten Ergebnissen (3,4% - 3 von 88), bei denen es sich um die diskutierten Einzelfälle handelt, von einer mindestens guten Versorgungssituation ausgegangen werden. Am distalen Humerus ist durch geringes Remodelingpotenzial insbesondere bei dislozierten Gelenkfrakturen (Frakturen des Condylus radialis) und bei dislozierten supracondylären Humerusfrakturen eine exakte Operationsindikationsstellung wichtig und das endgültige Ergebnis nahezu vollständig von der Qualität der operativen Versorgung abhängig. Zu klärende Fragen sind neben der Indikation zur Osteosynthese für Frakturen des Epicondylus ulnaris (1.3.a.3.2) die optimale Versorgung dislozierter supracondylärer Humerusfrakturen (1.3.s.2-4.2) hinsichtlich der Form der K-Drahtosteosynthese (gekreuzt oder nur von radial) bzw. eventuell die Retention mittels Fixateur externe oder ESIN-Osteosynthese.

4.2.2 Radius- und Ulnafrakturen

Im Bereich des Unterarmes wurden 244 Frakturen erfasst, davon 23 im proximalen, 40 im zentralen diaphysären und 181 im distalen Anteil. Der Schwerpunkt der Diskussion wurde auf die diaphysären Schaftfrakturen gelegt.
14 der 23 Frakturen des proximalen Unterarms wurden **konservativ** behandelt. Indikationen waren hierzu nicht-dislozierte Olekranonfrakturen (2.1.a.5.0.u), proximale Salter-Harris-1- und -2-Radiusfrakturen (2.1.s.1.0), Wulst- und Grünholzfrakturen von Ulna, Radius oder beider Knochen (2.1.s.2.0) und komplette tolerabel-dislozierte Radiusschaftfrakturen (2.1.s.3.1:

Seitdeviation bis zu einem Drittel der Schaftbreite). Definierte tolerable Grenzwerte der konservativen Behandlung am proximalen Radiusschaft waren bei Kindern < 10. Lj. Abkippungen bis zu 45° sowie bei Kindern > 10 Lj. Abkippungen bis maximal 20°. Seitverschiebungen um weniger als eine halbe Schaftbreite galten als tolerabel [100].

Alle Frakturen heilten folgenlos mit vollen Punktzahlen im Score nach Cooney sowie im Mayo-Elbow-Performance-Score aus. Diese guten Ergebnisse stimmen mit der Literatur überein, in der nicht-dislozierte und innerhalb der eng definierten Grenzen tolerabel-dislozierte Unterarmfrakturen als eine Domäne der konservativen Behandlung mit sehr guten Behandlungsergebnissen beschrieben werden [83, 88, 143, 155].

9 der 23 Frakturen des proximalen Unterarms wurden **reponiert** und in zwei Fällen **immobilisiert** bzw. 7mal **osteosynthetisch** behandelt.

Indikationen waren hierzu **drei dislozierte (Frakturspalt > 2 mm) Olekranonfrakturen** (2.1.a.5.2.u), die alle wie von Täger und Schmittenbecher empfohlen [131, 143] mit einer Zuggurtungsosteosynthese komplikationslos ausbehandelt wurden, was einem hervorragendem Ergebnis entspricht.

Weitere Indikationen bestanden in der heterogenen Gruppe aus **sechs dislozierten und somit operativ behandelten Schaftfrakturen** im proximalen Drittel (2.1.s._.2): aus einer Monteggia- (2.1.s.3.2.u: 3-Jähriger mit 40° Antekurvation), zwei Monteggiaäquivalentfrakturen (2.1.s.3.2: ein 4-jähriges Mädchen mit 10° Antekurvation und ein 10-Jähriger mit Seitverschiebung beider Knochen: Ulna mehr als eine Schafthälfte, Radius um eine halbe Schaftbreite), einer isolierten Ulnafraktur (2.1.s.3.2.u), einer Radiusköpfchen- und einer Radiushalsfraktur (beide 2.1.s.3.2: Seitdeviation um eine Schaftbreite).

Diese wurden analog den Empfehlungen der Literatur [42, 48, 129, 131, 143] behandelt: Die Monteggiafraktur mit Reposition des Radiusköpfchens und Stabilisierung der reponierten Ulna (in diesem Fall im Gips), die Monteggia-Äquivalentfrakturen einmal mit Reposition und Gipsimmobilisation, einmal mit Reposition des Radiusköpfchens und ESIN-Osteosynthese sowie Zuggurtung der Ulnafraktur, die isolierte Ulnafraktur mit ESIN - Osteosynthese und die Radiusköpfchenfraktur sowie die Radiushalsfraktur mit Reposition und anschließender Fixierung durch K-Drähte [42, 48, 129, 131, 143]. Während vier der sechs Frakturen trotz eines reversiblen Bewegungsdefizites (Monteggiaäquivalentfraktur; 2.1.s.3.2.) folgenlos mit kompletten Punktzahlen im Score nach Cooney und im Mayo-Elbow-Performance-Score ausheilten, traten zweimal schlechte bzw. nicht zufriedenstellende Ergebnisse (Klassifikation 2.1.s.3.2) auf:

a) Bei einem 14-jährigen fast ausgewachsenen Patienten mit einer um eine Schaftbreite ad latus dislozierten isolierten Radiusköpfchenmehrfragmentfraktur (2.1.s.3.2) mit einem traumatischen

Schaden des Nervus radialis wurde mittels offener Reposition und K-Drähten ein Erhaltungsversuch unternommen. Daraus resultierte eine Pseudarthrose mit Valgusfehlstellung (85/100 Punkte im Mayo-Elbow-Performance-Score). Während der traumatische, nicht-iatrogene Nervenschaden auf ein schweres komplexes Trauma mit dementsprechendem höherem Risiko für Komplikationen hinweist, kann die Pseudarthrose sowohl als Komplikation der Verletzung als solche als auch als Operationsfolge gedeutet werden [112, 131, 143]. In diesem Fall handelt es sich um eine Fraktur jenseits der (typischen) Kindertraumatologie. In der Erwachsenen-traumatologie wird für ähnliche Frakturen, Radiusköpfchenfrakturen Typ Mason II bis III (d.h. dislozierte Zweifragmentbrüche oder komplexere Köpfchenverletzungen mit bis zu 4 Fragmenten) vor allem bei jüngeren Patienten die offene anatomische Frakturreposition mit interner Stabilisierung durch Schrauben empfohlen, Alternativen sind die K-Drahtosteosynthese oder die Stabilisierung mit resorbierbaren Pins. Retrospektiv wäre eine Schraubenosteosynthese [47] vermutlich besser gewesen, unklar bleibt jedoch, ob die Pseudarthrosenbildung damit hätte aufgehalten werden können, da das Radiusköpfchen aufgrund seiner eingeschränkten Blutversorgung generell nach Trauma und/oder Manipulation für eine ausbleibende Konsolidation oder Nekrose anfällig ist [164]. Erschwerend kommt bei einem nahezu ausgewachsenen Patienten hinzu, dass aufgrund der nahezu verschlossenen Epiphysenfugen kein spontanes Remodeling mehr möglich ist [63, 112, 131, 143, 164]. In diesem Fall handelt es sich um einen Sonderfall an den Grenzen der Kindertraumatologie, der somit nur schwerlich in die Aussage zur Versorgungssituation einbezogen werden kann.

b) Eine dislozierte Monteggia-Äquivalentfraktur eines 10-jährigen Jungen mit Seitverschiebung beider Knochen (Ulna mehr als eine Schafthälfte, Radiusluxationsfraktur um weniger als eine halbe Schaftbreite) wurde nach offener Reposition mit einer Zuggurtungsosteosynthese der Olekranonfraktur und mit einer ESIN-Osteosynthese der metaphysären Radiushalsfraktur (Salter-Harris-2-Fraktur) stabilisiert und zeigte nach neun Monaten ein Extensionsdefizit von 15° im Ellenbogen (95/100 Punkte im Mayo-Elbow-Performance-Score). Diese Problematik ist u.a. von Yarar [164] beschrieben: Dieser [164] berichtet, dass die Prognose für die Wiedererlangung der freien Bewegungsfunktion bei komplexen Ellenbogenverletzungen mit multiplen Frakturen wie bei unserem Patienten deutlich schlechter ist als bei der isolierten Radiushalsfraktur. Wie unter 4.2.2. beschrieben, sollte ab dem 10. Lebensjahr unbedingt eine Abkippung von > 20° korrigiert werden, da mit einem kompletten Remodeling nicht mehr zu rechnen ist. Aktueller Goldstandard ist eine aszendierende Nagelung (ESIN) als minimal-invasives Verfahren mit wenigen Komplikationen und guten kosmetischen sowie funktionellen Ergebnissen [112, 131, 143, 164].

Bei den zwei schlechten Ergebnissen handelt es sich somit um einen kindertraumatologischen Sonderfall bzw. um eine Kombinationsverletzung. Anhand der wenigen und unterschiedlichen Fälle ist eine abschließende Bewertung kaum möglich, in Einklang mit der Literatur kann jedoch davon ausgegangen werden, dass grundsätzlich mit der aszendierenden Nagelung (ESIN) für den proximalen Radiusschaft sowie für proximale metaphysäre Radiusfrakturen insgesamt eine gute bis sehr gute Behandlungsmethode zur Verfügung steht.

16 der 40 Frakturen des zentralen diaphysären Unterarms wurden konservativ behandelt. Indikationen waren hierzu nicht-dislozierte und tolerabel-dislozierte Grünholzfrakturen (2.2.s.2.0/1: Varus/Valgus bis 10°, Re-/Antekurvation bis 15° bei 3- bis 9-Jährigen), isolierte Ulnagrünholzfrakturen und nicht-dislozierte und tolerabel-dislozierte komplette Radiusfrakturen (2.2.s.3.0/1: Valgus bis 20°, Rekurvation bis 5°, Seitdeviation bis zu einer halben Schaftbreite bei 2- bis 13-Jährigen), die alle nach Immobilisation mit maximalen Bewertungen im Score nach Cooney ausheilten. Im Verlauf traten drei sekundäre Dislokationen in der Gruppe der tolerabel-dislozierten Frakturen auf, die nach adäquater Behandlung mit einer ESIN-Osteosynthese keine verbleibenden Defizite zur Folge hatten. Die Daten und die Literatur bestätigen, dass nicht-dislozierte und tolerabel-dislozierte Unterarmfrakturen eine Domäne der konservativen Behandlung mit sehr guten Ergebnissen darstellen [83, 88, 143, 155], die sekundären Dislokationen - mit der Konsequenz einer operativen Therapie - zeigen aber auch, dass Grenzen dieser Therapie bestehen. Die drei sekundären Dislokationen traten nur bei initial als "tolerabel-disloziert" eingeschätzten Frakturen auf. Die Rate mit 3 von 9 Frakturen muss als relativ hohe Rate bewertet werden. In der Literatur gibt es keine Studien, die bei der Bewertung der konservativen Therapie ohne vorherige Reposition zwischen den beiden Untergruppen "nicht-disloziert" und "tolerabel-disloziert" differenzieren, sodass kein Vergleich möglich ist. Wenn 1/3 der tolerabel dislozierten Frakturen sekundär dislozieren, so stellt sich die Frage, ob hier die Grenzen der konservativen Therapie überschritten wurden, die am Unterarm ohnehin sehr eng definiert sind: beispielsweise sind nach Smith [141] bei Kindern bis zu 10 Jahren lediglich 15 bis 20° und ab 10 Jahren bis zu 10° Achsabweichung tolerabel [141].

Die sekundäre Dislokation bei einem 6-jährigen Mädchen sowie bei einem 8-jährigen Jungen mit 10° Valgus und Seitverschiebung zeigt im Nachhinein, dass hier eine primäre Reposition sinnvoller gewesen wäre. Ebenso als ungünstig ist diese Indikationsstellung bei einem Mädchen mit Abweichung in beiden Ebenen von jeweils mehr als 10° im Alter von bereits 13 Jahren zu beurteilen, da nach Smith ab einem Alter von 10 Jahren kein vorhersehbares Korrekturpotenzial mehr besteht und bei mehr als 10° Achsdeviation die Gefahr möglicher Pro- und Supinationsdefizite besteht [141].

Somit sollten die exakten Grenzen der Achsabweichung bezogen auf das jeweilige Alter durch Studien noch klarer definiert werden. Weiterhin muss in Grenzfällen mit den Eltern zwischen den Vorteilen einer Reposition in Narkose mit Gefahr der sekundären Dislokation und möglicher Bewegungseinschränkung gegenüber der elastisch stabilen Nagelung mit den Vorteilen der nahezu optimalem Achsenstellung und der sofortigen Mobilisation mit dem Nachteil zweier Operationen abgewogen werden [141].

24 der 40 Frakturen des zentralen diaphysären Unterarms wurden **reponiert** und anschließend **7mal immobilisiert** und **17mal operativ** mit einer ESIN-Osteosynthese behandelt. Indikationen waren hierzu dislozierte Unterarmschaftfrakturen im mittleren Drittel (2.2.s.2.2 und 2.2.s.3.2: Seitdeviation um mindestens eine Schaftbreite, Rekurvation und Valgus bis 30°, Varus bis 20° und Antekurvation bis 35°); alle Frakturen heilten folgenlos aus und wurden im Score nach Cooney exzellent bewertet. Trotz der guten Endergebnisse traten im Verlauf Komplikationen bzw. Probleme auf, die jedoch allesamt folgenlos ausheilten: Nach Reposition und anschließender Immobilisation traten eine Refraktur durch erneuten Sturz (keine Komplikation im eigentlichen Sinn), zwei sekundäre Dislokationen (behandelt einmal mit Gipskeilung, einmal mit ESIN) und teils mit den bereits genannten Komplikationen der Refraktur oder sekundären Dislokation assoziierte sichtbare Achsenabweichungen (alle leichtgradig, reversibel und im Verlauf rückläufig) auf. Nach ESIN-Osteosynthese entstanden an Komplikationen eine nur temporäre Ulnarisläsion mit Parästhesien der Finger, die nach der Metallentfernung zügig sistierten und als einzige echte Komplikation der ESIN-Behandlung zu werten ist (Komplikationsrate 1 von 17, entspricht 5,9%). Weiterhin führte ein erneuter Sturz zu einer Refraktur (behandelt mit Gips), was jedoch keine Komplikation im eigentlichen Sinne darstellt. Alle Refrakturen entstanden durch ein erneutes, adäquates Trauma unabhängig von der Primärversorgung, so wie es auch bei Fernandez [40] berichtet wird. Technische Probleme oder Behandlungsfehler konnten als Ursache der Refrakturen nicht identifiziert werden.
In der Literatur wird für dislozierte Unterarmschaftfrakturen eine Reposition empfohlen, da diese Frakturen insgesamt nur ein geringes und nur bis zum 5. Lebensjahr bestehendes Potenzial zu Spontankorrekturen besitzen, zu sekundären Dislokationen neigen und nach Meinung vieler Autoren [72, 144, 159, 160] Achsabweichungen > 10° zu Funktionsdefiziten hinsichtlich der Pro- und Supination entstehen können [82, 160]. Bezüglich der Retention werden hierzu verschiedene Methoden beschrieben. Entscheidend bei der Ruhigstellung im Weißgips oder Cast ist aufgrund der bestehenden funktionellen Einheit aus proximalem und distalem Radio-Ulnar-Gelenk und der Membrana interossea auf eine dorsovolare Kompression auf Höhe der Fraktur zu achten. Dadurch

wird ein Auseinanderweichen von Radius und Ulna erreicht, was zum Aufspannen der Membrana interossea zwischen den Knochen führt und die Stabilität erhöhen soll [4, 115].

Einige Autoren präferieren nach Reposition nur eine Gipsimmobilisation: Boero [15] berichtet im Median 20 Jahre nach der Konsolidierung in einer Langzeit-Follow-up-Studie über das Outcome nach konservativer Therapie mit bei der Konsolidierung noch sichtbaren Achsabweichungen (> 5°). Seinen Ergebnissen nach sollen axiale Abweichungen bis zu 20° und Seitverschiebung bis zu 100% (eine Schaftbreite) bis zu einem Alter von 12 bis 13 Jahren bei diaphysären Frakturen kein Problem darstellen. Allerdings handelt es sich bei dieser Publikation um eine retrospektive Auswertung von nur 20 von ursprünglich 70 Patienten, sodass ein Selektions-Bias möglich ist. Diese Studie vergleicht v.a. die röntgenologischen Achsabweichungen bei Konsolidierung mit den Kontrollaufnahmen im Erwachsenenalter (Kontrolluntersuchung 11 bis 35 Jahre nach Fraktur). Bedauerlicherweise existieren keine Angaben zum klinischen Outcome bei Konsolidierung sowie zu eventuellen Komplikationen oder Korrekturmaßnahmen nach der Konsolidierung. Im heutigen Klinikalltag besteht das Ziel darin, eine nahezu sofortige komplette Beweglichkeit und Durchbauung ohne Refraktur zu erreichen. Dies ist nahezu immer nach ca. 8 Wochen zu erreichen. Interessant bleibt jedoch die Erkenntnis von Boero, dass noch über viele Jahre nach Abschluss der Behandlung ein weiteres Remodelingpotenzial zu bestehen scheint.

Ebenso hält Ostermann [115] mit der richtigen Technik und Indikationsstellung (v.a. geschlossene, stabile Unterarmfrakturen im distalen und mittleren Schaftdrittel) mehr als 95% der kindlichen Unterarmfrakturen durch Reposition und Retention im Gips bzw. oder alleinige Immobilisation mit gutem funktionellem Ergebnis ohne Einschränkungen im Alltag und nahezu seitengleicher Beweglichkeit behandelbar [115]. Allerdings berichtet er über Probleme der konservativen Therapie v.a. im proximalen Drittel (50% Bewegungseinschränkungen), während im distalen Drittel 2,9% Bewegungseinschränkungen und diaphysär 6,6% Bewegungseinschränkungen auftraten [115], sodass die Ergebnisse der Immobilisation im diaphysären Drittel zufriedenstellend sind. Cumming publiziert Daten zum Outcome von 19 diaphysären Frakturen nach ESIN-Osteosynthese. Aufgrund seiner eigenen hohen Komplikationsrate (16%, 3 von 19; Sehnenruptur, Sehnenteilruptur, Neurapraxie N. radialis superficialis; s.u.) dieser Methode präferiert er für stabile Frakturen wenn möglich dennoch weiterhin die Immobilisation [30]. Die Daten dieser Lübecker Studie zeigen ebenfalls gute funktionelle Ergebnisse sowie nur leichtgradige sichtbare Achsabweichungen. Allerdings bestehen 2 Redislokationen bei 7 Frakturen. Als Risikofaktoren für sekundäre Dislokationen definieren Pretell-Mazzini et al. [119] im Rahmen eines Reviews folgende: initial komplette Dislokation, nicht-anatomische Reposition und Schrägfrakturen [119]. Nach Ostermann [115] sind die Risikofaktoren für ein schlechtes Ergebnis nach Immobilisation ein höheres Durchschnittsalter, stärkere initiale Achsabweichung sowie Lokalisation im proximalen

oder mittleren Schaftdrittel [115]. Die beiden sekundären Dislokationen dieser Studie betrafen zwei dislozierte, isolierte, diaphysäre Radiusfrakturen mit querem Verlauf bei Mädchen im Alter von 4 und 7 Jahren, was sich mit dem o.g. Risikoprofil deckt. Die Rate der sekundären Dislokationen nach Immobilisation dieser Studie liegt mit zwei von sieben (entspricht 28,6%) innerhalb der beschriebenen Häufigkeit von Pretell-Mazzini et al. [119] und von Laurer [83] (7 bis 32% der Fälle) sowie innerhalb der stark variierenden Dislokationsraten von 10 bis 91% eines Literaturreviews von Pretell-Mazzini et al. [119]. Dagegen ist die Rate der sekundären Dislokationen von Ostermann [115] mit 5,8% zwar besser als innerhalb dieser Studie, dies ist aber nicht direkt miteinander vergleichbar, da Ostermann alle Unterarmfrakturen unabhängig vom Schaftdrittel betrachtet, während hier nur die des mittleren Drittels betrachtet werden, und Ostermann ausgeheilte Komplikationen nicht miteinbezieht. Die guten Endergebnisse nach Reposition und Immobilisation dieser Studie bestätigen in Einklang mit Ostermann [115], Pretell-Mazzini [119], Boero [15] und (für geringe Dislokationen) auch laut Price in einem Review [120] diese Behandlungsoption. Allerdings führt diese Therapie nur bei adäquater Indikation und technisch richtiger Durchführung (wie z.B. Gegenbrechen der Corticales bei Grünholzfrakturen) zu den publizierten guten bis sehr guten Ergebnissen und erfordert weitere Röntgenkontrollen im Verlauf.

Dagegen argumentieren andere Autoren wie auch von Laer [155] und Price in einem Review [120], dass bei Indikation zur Narkose auch immer eine definitive Retention zur Vermeidung von sekundären Dislokationen erfolgen sollte. Dazu wird im mittleren Schaftdrittel auch die ESIN-Osteosynthese mit hervorragenden Ergebnissen als Mittel der ersten Wahl beschrieben [72, 82, 160]. Die beschriebenen Probleme der ESIN-Osteosynthese sind meist technischen Fehlern geschuldet. Besonders zu erwähnen ist die Verwendung zu dünner intramedullärer Nägel oder die Modifikation mit Kirschnerdrähten, wie bei Fernandez beschrieben [40]. Bezüglich der Komplikationsraten nach ESIN-Osteosynthese werden in der Literatur verschiedene Zahlen genannt. Kang [72] bewertet die ESIN-Osteosynthese bei 90 dislozierten Unterarmschaftfrakturen und berichtet von einer Komplikationsrate von 14%. Bei 90 Frakturen traten 13 Komplikationen auf, auf deren Genese nicht näher eingegangen wird. 9 dieser 13 Komplikationen können als therapieassoziiert bewertet werden: 6 Hautirritationen durch die Nägel, 1 Fehlstellung, 1 Fehler bei der Implantatentfernung und 1 oberflächliche Infektion. Die hohe Rate an therapieassoziierten Komplikationen von 69% (9 von 13) kann mit dem hohen Anteil an offenen Repositionen von 44% erklärt werden. Prinzipiell besteht der Zusammenhang, dass je invasiver die Operation ist, auch die Rate an Komplikationen steigt. Des Weiteren werden zwei reversible Nervenirritationen beschrieben, deren Herkunft nicht näher erläutert wird, deren Auftreten ebenfalls mit der invasiveren Technik erklärt werden kann. Zudem sei anzumerken, dass die Ein- und

Ausschlußkriterien bei Kang nicht konsequent durchgeführt wurden. Es werden in einem Studienzeitraum von 10 Jahren 90 Frakturen mit ESIN behandelt. Alternative Methoden, beispielsweise Reposition mit Immobilisation, werden nur für die letzten 5 Jahre des Studienzeitraums erwähnt. Aufgrund einer fehlenden Gegenüberstellung der beiden Methoden für einen gemeinsamen Zeitraum bleibt unklar, wie sich das Verhältnis dieser Methoden zueinander entwickelt. Eine Evaluation der alternativen Behandlung mittels Immobilisation nach Reposition fehlt, sodass keine Rückschlüsse auf die zu bevorzugende Methode oder Grenzen der einzelnen Therapiemethoden gezogen werden können. Zudem bleibt bei Kang offen, nach welchen Kriterien zwischen den beiden Therapieoptionen entschieden wurde.

Dagegen beschreibt Cumming [30] bei nur 19 Fällen eine erstaunlich hohe Komplikationsrate von 26% (5 von 19; Therapieassoziierte Komplikationen: eine Neuropraxia des N. radialis superficialis, eine Teilruptur der Sehne des M. extensor pollicus brevis, eine Komplettruptur der Sehne des M. extensor pollicus longus, zweimal Nagelperforation der Haut mit vorzeitiger Entfernung). Der Autor erklärt die ersten drei genannten Komplikationen mit der Operationstechnik, da die ESIN durch Stichinzisionen platziert wurden, während alle anderen Patienten ein offenes Vorgehen erhielten. Wie bereits erwähnt besteht bei einem offenen Vorgehen eine höhere Chance für Infektionen, sodass bei den Lübecker Patienten ein nahezu immer geschlossenes Procedere Verwendung findet. Cumming beschreibt eine "Standard-Therapie" anhand eines Röntgenbildes. Bei diesem wurde der ulnare Nagel dorso-radial zu lang belassen, sodass er zu Weichteilirritationen und Sehnenschäden führen kann. Dieser technische Fehler könnte die genannten Komplikationen ebenfalls erklären.

Fernandez berichtet über 553 dislozierte Frakturen, die eine intramedulläre Osteosynthese mit K-Drähten erhielten, mit einer Komplikationsrate von 14,6% (81 von 553) [40]. Hier muss allerdings kritisch hinterfragt werden, ob dies eine sinnvolle Variante der ESIN-Osteosynthese darstellt. Die Komplikationsrate dieser Studie liegt mit 5,9% (1 von 17) unter den o.g. Angaben, was zum einen an der Unterteilung in Major- und Minorkomplikationen liegt, zum anderen aber aufgrund der vergleichsweise kleinen Fallzahl von 17 Frakturen zufällig sein kann. Weiterhin wurde bei der Implantation der Nägel immer auf ein strikt laterales Einbringen am distalen Radius geachtet, was Läsionen des N. radialis superficialis minimiert, und nahezu nie die Nägel von dorsal eingebracht, um die oben beschriebenen Sehnenverletzungen zu umgehen.

Im Rahmen dieser Lübecker Studie wurden alle Frakturen entsprechend der Literatur mittels Immobilisation oder ESIN-Osteosynthese behandelt. Wie oben beschrieben, findet sich in der Literatur kein klarer Konsens zur optimalen Therapie. Bei Betrachtung der eigenen Daten fällt jedoch auf, dass die Komplikationsrate der immobilisierten Patienten mit vier von sieben (entspräche 57%) sehr viel höher liegt als die der mit ESIN-Osteosynthese-behandelten Patienten

(ein Patient von 17, entspräche 5,9%), und dass die sekundären Dislokationen (mit 2 von 7) ausnahmslos die immobilisierten Patienten betrafen. Somit können weder die Immobilisation noch die ESIN-Osteosynthese einen komplikationslosen Verlauf versprechen. In Anbetracht der in der Literatur zum Teil nicht unerheblichen Komplikationsraten bei nicht-operativer Therapie und in Zusammenschau mit den Daten dieser Studie ziehe ich im Einklang mit Laurer [83], Price [120] sowie L. von Laer [155] den Schluss, dass bei gesicherter oder fraglicher Instabilität nach Reposition (insbesondere bei älteren Kindern und bei Indikation zur Versorgung in Narkose) die übungsstabile Osteosynthese der Immobilisation nach Reposition vorgezogen werden sollte.

134 der 181 Frakturen des distalen Unterarms wurden **konservativ** behandelt. Indikationen waren hierzu nicht-dislozierte und tolerabel-dislozierte Salter-Harris-1- und -2-Frakturen (2.3.s.1.0/1: Antekurvation 14°, Valgus 10°), Wulst- und Grünholzfrakturen (2.3.s.2.0/1: Valgus/Varus bis 5°, Ante-/Rekurvation bis 20° bei unter 10-Jährigen bzw. bis 10° bei über 10-Jährigen) und komplette distale Schaftfrakturen (2.3.s.3.0/1: maximale Dislokationen bis zu Varus 20°, Antekurvation bis zu 23° und Rekurvation bis zu 30° jeweils bei 3- bis 10-Jährigen, bzw. Antekurvation bis zu 12° bei 11- bis 15-Jährigen). Alle zeigten gute Endergebnisse mit maximalen Punktzahlen im Score nach Cooney. Bei den 97 nicht-dislozierten Frakturen traten zwei traumatische Nervus ulnaris Läsionen (2.3.s.1.0) auf, die innerhalb von sechs Monaten folgenlos ausheilten und keine Komplikation der Behandlungsmethode darstellen. In der Gruppe der 37 tolerabel-dislozierten Frakturen kam es zu fünf sekundären Dislokationen (2.3.s.2.1 und 2.3.s.3.1), die 3mal eine Gipskeilung bzw. 2mal eine K-Drahtosteosynthese erforderten und dann folgenlos ausheilten. Weiterhin trat temporär eine sichtbare Achsabweichung auf, die ebenfalls ohne funktionelle Defizite ausheilte und zeigt, dass hier das spontane Remodeling sinnvoll in die Therapie einbezogen wurde.
Aufgrund der sekundären Dislokationen bei als tolerabel-disloziert gewerteten Frakturen (Inzidenz 13,5% = 5 von 37) stellt sich erneut die Frage, ob in diesen Fällen die Grenzen der konservativen Behandlung überschritten wurden bzw. ob Repositionsindikationen früher gestellt werden sollten. Eine klare Definition hierzu existiert jedoch auch hier nicht, da die publizierten Studien aufgrund von unterschiedlichen und nur klinischen Studiendesigns sowie abhängig von Präferenz und Erfahrung der behandelnden Ärzte stark variierende Grenzen angeben. Da sich die distale Epiphysenfuge des Unterarms erst zwischen dem 15. und 18. Lebensjahr schließt und eine durchschnittliche Korrektur von 0,9° Achsfehlstellungen pro Monat (d. h. ca. 10° in einem Jahr) bei Kindern im Alter bis zu 15 Jahren besteht [42, 83, 123], werden allgemein relativ weite Grenzen publiziert. Nach Flynn sind bei Kindern unter 10 bzw. 12 Jahren am distalen Radius in der Frontal- oder Sagittalebene 20° bis 25°, nach Täger sogar 40° bis 50°, und ab dem 12. Lebensjahr noch 10° bis 15° Achsenabweichungen selbstständig korrigierbar [42, 44-46, 83, 123, 143]. Bohm dagegen

definiert für unter 12-Jährige isolierte distale Radiusfrakturen mit ≤ 5° Achsabweichungen in allen Richtungen und mit ≥ 95% Kontaktfläche der Fragmente als tolerabel, sowie kombinierte distale Radius- und Ulna-Frakturen mit ≤ 10° Achsabweichung eines jeden Knochens in allen Richtungen und mit ≥ 50% Kontaktfläche der Fragmente als tolerabel [16].

Für die distalen Salter-Harris-1- und -2-Frakturen bestehen abhängig von den Autoren ebenso stark differierende Angaben. So zitiert Burnei [23] in einem Literaturreview stark divergierende akzeptable Achsabweichungen: Hughston würde bis zu 30 bis 40° bei unter 10-Jährigen tolerieren, bei Cooper seien es bis zu 20° [28] bzw. bei Daruwalla bis zu 15° bei unter 5-Jährigen [23, 31]. Bleiben somit die definitiven Grenzen bislang ungeklärt, wurden jedoch mit den initial vorliegenden maximalen Abweichungen der Frakturen dieser Studie (von bis zu 20° Varus, bis zu 10° Valgus, bis zu 23° Antekurvation und bis zu 30° Rekurvation bei 3- bis 10-Jährigen, bzw. bis zu 12° Antekurvation bei 11- bis 15-Jährigen) die in der Literatur beschriebenen maximalen Grenzen tolerabler Achsdeviationen hinsichtlich einer konservativen Behandlung nicht überschritten. Aufgrund der geringen Anzahl sekundärer Dislokationen mit drei von fünf konsekutiven Korrekturen durch Gipskeilung ohne Narkose sowie exzellenten Endergebnissen kann von einer sehr guten Versorgungssituation ausgegangen werden. Die konservative Behandlung der nicht-dislozierten sowie der tolerabel-dislozierten und stabilen distalen Unterarmfrakturen bei bis zu 12-Jährigen ist immer noch die Therapie der Wahl, da es ein schonendes nebenwirkungsarmes und nahezu immer erfolgreiches Vorgehen ist [23, 83, 88, 143, 155].

Die Daten dieser Studie zeigen, dass bei Zunahme des primären Dislokationsgrades und des Alters des Patienten das Risiko zur sekundären Dislokation ansteigt. Daher sollte bereits bei der Erstversorgung auch bei vorhandenem selbstständigen Achsenkorrekturpotenzial individuell geprüft werden, ob eine Immobilisation tatsächlich ausreichend und damit empfehlenswert ist. Weiterhin zeigen temporäre sichtbare Achsabweichungen, dass das Remodelingpotenzial sinnvoll genutzt wurde. Doch eine klinisch sichtbare Achsabweichung muss vom Patienten und den Eltern über mehrere Monate toleriert und akzeptiert werden, sodass darüber vor der Therapie ausführlich aufgeklärt werden muss. Somit besteht grundsätzlich eine sehr gute Versorgung dieser Frakturgruppe, die durch die exaktere Definition tolerabler Dislokationsgrenzen durch randomisierte prospektive Studien noch weiter verbessert werden könnte.

47 der 181 Frakturen des distalen Unterarms wurden **reponiert** und anschließend 2mal **immobilisiert** bzw. 45mal **operativ** behandelt. Indikationen waren hierzu dislozierte Salter-Harris-1- und -2-Frakturen (2.3.s.1.2: Ante-/Rekurvation 15 bis 30°, Seitdeviation eine halbe bis zu einer Schaftbreite), Wulst- und Grünholzfrakturen (2.3.s.2.2: Antekurvation 10 bis 20°, Rekurvation 30°) sowie komplette distale Schaftfrakturen (2.3.s.3.2: Varus ab 20°, Achsdeviationen 10 bis 60° bei 4- bis 10-Jährigen bzw. Achsdeviationen ab 30° bei 11- bis 15-Jährigen und Seitdeviationen bis

mehr als eine Schaftbreite), die alle mit vollen Punktzahlen im Score nach Cooney folgenlos ausheilten.

Bis auf vier Schaftfrakturen am meta-diaphysären Übergang (2.3.s.3.2), die mit einer ESIN-Osteosynthese komplikationslos behandelt werden konnten, sowie einer komplexen Verletzung (2.3.s.3.2) mit ausgeprägten Seit-Dislokationen von Radius und Ulna, die mit einer Kombination aus ESIN- und K-Drahtosteosynthese und Gips versorgt wurde, erhielten alle übrigen distalen dislozierten Frakturen (2.3.s.1.2, 2.3.s.2.2 und 2.3.s.3.2) eine K-Drahtosteosynthese. Zwei von ihnen (2.3.s.3.2) wurden nach Reposition primär im Gips immobilisiert und beide nach sekundärer Dislokation ebenfalls mit K-Drähten stabilisiert. Dies betraf einmal ein 8-jähriges Mädchen mit initial 22° Antekurvation und Seitdeviation von einer halben Schaftbreite sowie einmal einen 14-jährigen Jungen mit initial 25° Antekurvation und weniger als einer halben Schaftbreite ad-latus-Deviation. Hinsichtlich der Indikationsstellung zur Fixation nach Reposition gibt es keine definierten Grenzen. Aufgrund der fehlenden eindeutigen Grenzen beruht die Entscheidung zwischen einer Immobilisation oder einer Osteosynthese auf der individuellen Erfahrung und Einschätzung der Stabilität des Operateurs. Damit gibt es einen "Graubereich", in dem beide Therapieoptionen Anwendung finden.

An Auffälligkeiten zeigten sich bei den Salter-Harris- und den Grünholzfrakturen sowie bei zwei Schaftfrakturen temporäre Bewegungsdefizite, die mit Restitutio ad integrum ausheilten und daher nicht als Komplikationen im eigentlichen Sinne gewertet werden können. Bei den Schaftfrakturen kam es weiterhin zu einer lokalen Infektion, die unter antibiotischer Therapie ausheilte sowie zu zwei Nervenläsionen (eine Hypästhesie im Bereich der Tabatière des Ramus superficialis nervi radialis und zu einer partiellen kombinierten Parästhesie im Bereich des N. ulnaris und des N. medianus), die ohne weitere Therapie ausheilten. Ein Kind zog sich eine Refraktur nach erneutem Sturz zu, was aufgrund des zweiten adäquaten Traumas nicht als Komplikation gewertet wurde. Bewegungsdefizite traten nur vorübergehend auf. Insgesamt fällt auf, dass beide primär nach Reposition immobilisierte Frakturen sekundär dislozierten und revidiert werden mussten, sodass letztendlich keine der dislozierten Frakturen durch Reposition und Gips erfolgreich behandelt werden konnte. Unabhängig von der Stabilitätseinschätzung des Operateurs stellt sich somit die Frage, ob eine Immobilisation nach bereits erfolgter Reposition einer dislozierten Fraktur überhaupt sinnvoll ist. Aus diesem Grund präferieren verschiedene Autoren in der Literatur für dislozierte distale Unterarmschaftfrakturen (2.3.s.3.2 und 2.3.s.2.2) und für distale dislozierte Salter-Harris-1- und -2-Frakturen (2.3.s.1.2) in der Regel nach geschlossener - ggf. auch nach offener Reposition - die Kirschner-Drahtosteosynthese, da sie im Gegensatz zur alleinigen Gipsbehandlung eine sekundäre Dislokation nahezu ausschließt [23, 65, 83]. Bei Schaftfrakturen des meta-diaphysären Überganges kann auf eine alternative Technik der

Retention mittels Fixateur externe oder ESIN-Osteosynthese zur Stabilisierung ausgewichen werden [23, 72], so wie bei unseren Patienten viermal die ESIN-Osteosynthese verwendet wurde. Bei adäquater Therapie ist die Prognose hervorragend [23, 82, 83].

Im Gegensatz dazu präferiert Bohm [16] die Immobilisation nach Reposition aufgrund der hervorragenden Endergebnisse einer prospektiven Studie mit 102 Patienten, von denen nur 4 eine weitere Reposition zur Achskorrektur erhielten. Bohm vergleicht verblindet und randomisiert die Effektivität von Unterarm- und Oberarmcasts bei dislozierten Frakturen nach der Reposition. Dabei definiert er klare Kriterien zur Indikation einer Remanipulation, die bei einer erstaunlich großen Anzahl von Frakturen sogar zutreffen (Oberarmcast: 23 von 55 (42%), Unterarmcast: 14 von 45 (31%)). Dennoch erhalten tatsächlich nur 4 dieser Frakturen die indizierte Remanipulation. Warum er von dem eigens definierten Procedere abweicht, bleibt unklar. Unabhängig von den Achskorrekturen beschreibt er weiter zu behandelnde Komplikationen wie Castspaltung wegen Schwellung, Castneuanlage wegen Zerbrechens bzw. drohendem Zerbrechen des Casts etc. Damit besteht eine Gesamtkomplikationsrate in beiden Gruppen zusammen von ca. 40% (39% bzw. 41%), womit auch diese Methode Grenzen und Nachteile besitzt. Nach der Castentfernung bestanden jedoch nur maximale Achsabweichungen von bis zu 6°. Auch Paneru [116] vergleicht nach Reposition den Oberarm- mit dem Unterarmcast und berichtet von insgesamt sehr guten und in beiden Gruppen vergleichbaren Ergebnissen nach Immobilisation bei 85 Patienten mit fünf Remanipulationen bei Kindern im Alter von 4 bis 12 Jahren. Die Immobilisierungszeit betrug nahezu immer 6 Wochen (einmal 8 Wochen). Zu Behandlungsabschluss bestanden im Mittel bis zu maximal 5° Achsabweichungen, jedoch zeigen die Standardabweichungen, dass auch mehr als 10° Abweichungen verblieben sind. Zusammenfassend zeigen entsprechend der aufgetretenen Komplikationen unserer Ansicht nach Bohm [16] und Paneru [116], dass der Oberarmgips/-Cast für diese spezielle Fragestellung keine Vorteile bringt. Weiterhin sind auch diese Ergebnisse abhängig von Technik und Erfahrung des Behandlers.

Die aktuelle vorherrschende "Philosophie" der Behandlung beruht auf einer möglichst sicheren und einzeitigen Versorgung der Fraktur, ohne später das Remodeling mit einzuplanen. Innerhalb dieser Studie wurden nur 2 Frakturen mit der gleichen Therapie (Immobilisation) behandelt, bei denen jedoch aufgrund von sekundären Dislokationen eine operative Therapie nötig wurde. Sekundäre Dislokationen nach Immobilisation nach geschlossener Reposition sind mit 24 bis 46% eher häufig [118]. In der Literatur werden breite Spannen zu dieser Häufigkeit angegeben, doch sind diese nicht uneingeschränkt vergleichbar, da repositionsbedürftige Redislokationen jeweils unterschiedlich definiert werden. Somit kann diese Studie die guten Ergebnisse der Immobilisation nicht bestätigen. Allerdings fehlen in beiden zitierten Studien die Daten, wie lange das eigenständige Remodeling bis zur vollständigen Wiederherstellung der Achse gedauert hat

und ob es als störend empfunden wurde. Weiterhin fehlen die Vergleiche mit anderen alternativen Therapieoptionen. Somit sind vermutlich die Ergebnisse einer therapievergleichenden Studie von Van Egmond [148] realistischer. Er betrachtet von 208 distalen, dislozierten, reponierten Unterarmschaftfrakturen die Komplikationsraten abhängig von der Therapieoption (alleinige Immobilisation nach Reposition, K-Draht- oder ESIN-Osteosynthese). Dabei unterteilt er nach Lokalisation (metaphysär vs. Diaphysär) sowie nach Frakturtyp (komplette Fraktur vs. Grünholzfraktur). Unabhängig von diesen Untergruppen und unabhängig vom Alter fand er bei den immobilisierten Patienten nach Reposition eine Rate zur Korrekturbehandlung unter Vollnarkose von 43,7%, während es bei der Gruppe der Osteosynthesen — unabhängig von K-Draht oder ESIN — keine Notwendigkeit zu Korrekturbehandlungen gab [148]. Seine Daten werden durch die Lübecker Daten untermauert und bestätigen die in der Literatur genannte gute Prognose nach Osteosynthese. Indikationen zu Korrekturbehandlungen bestanden ausschließlich nach Immobilisation, nicht aber nach osteosynthetischer Versorgung. Insgesamt besteht eine gute bis sehr gute Versorgungssituation der Frakturen am distalen Unterarm. Dennoch sind die notwendigen Korrekturoperationen nach Immobilisation trotz der sehr guten Endergebnisse nach adäquater Korrekturbehandlung nicht zufriedenstellend. Prinzipiell steht dem Versuch, Narkosen und Operationen durch Immobilisation zu vermeiden, eine hohe Rate an sekundären Dislokationen nach Immobilisation bei tolerabel-dislozierten und dislozierten Frakturen gegenüber. Damit unterstreicht das Ergebnis dieser Studie anhand der Komplikationsraten gemeinsam mit van Egmond [148] und Burnei [23] die Philosophie, dass bei Indikation zur Reposition unter Narkose sogleich eine definitive Osteosynthese-versorgung in Abhängigkeit vom Frakturtyp statt alleiniger Immobilisation erfolgen sollte.

Offen bleiben somit die konkrete Indikation zur Reposition sowie zur Entscheidung Osteosynthese vs. alleinige Immobilisation nach Reposition. Diese Grenzen sollten in prospektiven Vergleichsstudien mit höherer Fallzahl geprüft und klarer definiert werden. Weiterhin gibt es einen alters- und dislokationsabhängigen Bereich, indem sich die Behandlungsindikationen (Immobilisation und operative Optionen) überlappen; hier ist weiterhin mit dem Patienten und den Eltern das Vorgehen individuell zu besprechen.

4.2.3 Femurfrakturen

Im Bereich des Femurs wurden 19 Frakturen erfasst, davon eine im proximalen, 14 im diaphysären und 4 im distalen Anteil. Als Schwerpunkt wird die am Femur häufigste und relevanteste Schaftfraktur diskutiert werden.

Die nicht-dislozierte proximale komplette Femurschaftfraktur bei einer 13 Monate alten Patientin wurde **konservativ** behandelt und erreichte die volle Punktzahl im Harris-Score. Eine vorrübergehende Außenrotation im Gangbild direkt nach Gipsabnahme stellte ein temporäres

Problem [99] dar, auch wenn diese in der Tabelle 10 unter den Komplikationen aufgelistet steht. Für nicht-dislozierte Frakturen bei Kindern unter 5 Jahren wird in der Literatur [155] die konservative Behandlungsmethode empfohlen. Mit nur einer Fraktur im proximalen Drittel können jedoch keine allgemein gültigen Schlussfolgerungen gezogen werden.

Eine der 14 Frakturen des mittleren Drittels des Femurs wurde **konservativ** behandelt. Die Indikation war eine tolerabel um weniger als die halbe Schaftbreite ad latus dislozierte Femurschaftfraktur (3.2.s.3.1) eines 4-Jährigen, die als Refraktur nach Fixateur externe bei primär dislozierter Fraktur (3.2.s.3.2) auftrat und im Beckenbeincast komplikationslos mit voller Punktzahl im Harris-Score ausheilte. Am diaphysären Femur können nicht-dislozierte und tolerabel-dislozierte Frakturen bei Kindern unter 3 Jahren (nach von Laer [155]) bzw. unter 4 Jahren (nach einem Review über die aktuellen Studien nach Brousil [20]) konservativ behandelt werden. Im Review definiert Brousil bis zu 15° Varus bzw. Valgus sowie bis zu 25° Abweichungen in der Sagittalachse als tolerabel [20]. Damit liegt dieser 4-jährige Patient – insbesondere nach Komplikation der Fixateur-Behandlung – innerhalb der in der Literatur angegeben Altersgrenze und mit dezenter Lateralverschiebung innerhalb der angegebenen Toleranzgrenzen, sodass das gute Ergebnis mit den Ergebnissen der Literatur übereinstimmt.

13 der 14 Frakturen des mittleren Drittels des Femurs wurden **reponiert** und anschließend 3mal **immobilisiert** und 10mal **operativ** behandelt.
Indikationen zur Immobilisation waren drei dislozierte Femurschaftfrakturen (3.2.s.3.2) bei Kindern unterhalb des 3. Lebensjahres. Im Rahmen dieser Studie wurden bis auf einen 2,5-jährigen Patienten mit pathologischer Fraktur nach Chemotherapie, der mit ESIN-Osteosynthese versorgt wurde, alle anderen Patienten im Alter von ein und zwei Jahren im Becken-Bein-Cast komplikationslos ausbehandelt.
In der Literatur besteht aktuell kein einheitlicher Konsens zur Therapieempfehlung. Bisher wurde für diese Frakturen im Alter unter 3 Jahren nach Reposition die konservative Therapie mit Overheadextension, im Becken-Bein-Fußgips oder Becken-Bein-Cast bevorzugt [34, 89, 92, 99, 121]. Ab dem 3. Lebensjahr galt die meist als unkompliziert beschriebene ESIN-Osteosynthese als Methode der ersten Wahl [20, 89, 92, 99, 121]. In einem Review definiert Brousil diese Altersgrenze bei 4 Jahren [20]. Es gibt aber auch Autoren, die diese Frakturen bereits ab einem Alter von 1,5 Jahre mittels ESIN-Osteosynthese behandeln [17, 105]. Als mögliche Komplikationen der ESIN-Versorgung am Femurschaft berichten Maier und Marzi [92] über sekundäre Dislokationen bzw. instabile Osteosynthesen, die korrigiert oder einen Verfahrenswechsel (z. B. Fixateur externe) erfordern. Für höhergradig offene Frakturen oder Frakturzonen ohne

ausreichend stabile Drei-Punkt-Abstützung, wie in 3 Fällen dieser Studie (s.u.), wird der Fixateur externe, in seltenen Fällen auch die Plattenosteosynthese, empfohlen [20, 33, 89, 92, 99, 121].

Die Behandlungsmethoden innerhalb dieser Studie orientierten sich an der bestehenden awmf-Leitlinie [58], die sich seit Beginn 2014 in erneuter Überarbeitung befindet. Daher wurden Kinder < 3 Jahre nur immobilisiert. Die Daten zeigen, dass dieses Prozedere effektiv und nebenwirkungsarm ist und abschließend weiterhin seine Daseinsberechtigung besitzt.

Indikationen zur operativen Versorgung waren 10mal dislozierte Femurschaftfrakturen bei Kindern ab drei Jahre (3, 4, 7, 9, 11 Jahre, weiterhin eine Multifragmentfraktur bei einem 8-Jährigem und ein bereits o.g. 2,5-Jähriger mit pathologischer Fraktur nach Chemotherapie) mit folgenden Achsabweichungen: 15° Varus, 12-40° Valgus, 12-45° Antekurvation sowie 10° Rekurvation mit 16° Varus und Lateraldeviation jeweils größer als die Hälfte der Schaftbreite. Von den 10 Frakturen wurden drei mit Fixateur externe und sieben (davon eine dislozierte Mehrfragmentfraktur) mit ESIN-Osteosynthese versorgt. Die Ergebnisse waren bei der Abschlussuntersuchung alle unauffällig mit vollen Punktzahlen im Harris-Score. Drei der dislozierten Femurschaftfrakturen (3.2.s.3.2) heilten zwar folgenlos, aber mit Komplikationen aus: Zwei repositionsbedürftige sekundäre Dislokationen, die bei weiterhin liegenden Nägeln zusätzlich einmal mit Fixateur externe, einmal mit Gips behandelt wurden und eine Refraktur bei Fixateur externe (3.2.s.3.1).

Refrakturen nach Fixateur externe Behandlung sind ein bekanntes Problem. Die in der Literatur beschriebenen Raten an Refrakturen beim Fixateur externe, von 11% (3 von 33) bzw. bis zu 26% (6 von 23) [121, 122], haben u.a. dazu geführt, dass sich die ESIN-Osteosynthese auch in dieser Indikation etablieren konnte. Ein Vergleich mit der Literatur ist wegen der kleinen Fallzahl dieser Studie nicht sinnvoll.

Jedoch scheint die ESIN-Osteosynthese in der bisher angewendeten Form am Femur mit einer sekundären Dislokationsrate von 2 von 7 (entspräche 28,6%) nicht immer eine ausreichende Stabilität zu gewährleisten. Die sekundären Dislokationen betrafen einmal eine Querfraktur bei einem 11-jährigem Mädchen (in dieser Studie die älteste Patientin mit dieser Indikation) und einmal eine um 45° dislozierte Spiralfraktur eines 4-Jährigen. Ramseier [122] vergleicht in einer Studie vier verschiedene Methoden (Fixateur externe, ESIN-, Plattenosteosynthese und solide Marknagelung) zur operativen Versorgung der dislozierten Femurschaftfrakturen bei 11- bis 17-jährigen Kindern. Dabei berichtet er über eine Rate an repositionsbedürftigen sekundären Dislokationen nach ESIN-Osteosynthese von 2% (2 von 105), die damit deutlich besser abschneidet als die Rate dieser Studie. Bei Ramseier handelt es sich um eine retrospektive Kohortenstudie über 10 Jahre (1995-2005). Die klinisch relevante sekundäre Dislokation wird bei

Ramseier definiert als "jegliche Änderung zur postoperativen Stellung, die eine operative Intervention nötig macht bzw. zu einer Heilung in Fehlstellung (> 10° Varus/Valgus, > 20° Antekurvation/Rekurvation, Rotationsfehlstellung, Beinlängendifferenz > 2 cm) führt". Die Diskrepanz der Dislokationsraten liegt neben der geringen Fallzahl dieser Studie vermutlich im Studiendesign, da bei Ramseier je nach Patient und Frakturform auf andere Verfahrensweisen, z.B. eine rigide Nagelung, ausgewichen werden konnte. Weiterhin fällt auf, dass die behandelten Patienten bei Ramseier [122] mit im Durchschnitt 12,9 Jahren (Spanne 11 bis 17 Jahre) gegenüber dieser Studie mit im Durchschnitt 5,6 Jahren (Spanne 2,5 bis 11 Jahre) deutlich älter waren. Allerdings berichtet Bopst [17] von 72 Kindern unter 6 Jahren, die ebenfalls ohne sekundäre Dislokation mit ESIN-Osteosynthese behandelt wurden, sodass das Alter keine entscheidende Rolle zur Erklärung der Zahlendiskrepanz haben sollte. Auch Jubel [64] berichtet bei 46 mit ESIN-Osteosynthese behandelten Femurfrakturen von 2 Korrekturoperationen (4,3%). Ein weiterer Grund für die Diskrepanz dieser Zahlen kann in dem Vorliegen eines Selektionsbias bestehen. Gezielte Fehleranalysen bzw. prospektive Datensammlungen, so wie die hier vorliegende Studie, finden typischerweise höhere Komplikationsraten als retrospektive Aufarbeitungen nach (bereits bekannten) erfolgreichen Ergebnissen. Die Daten dieser Studie zeigen mit drei Komplikationen bei 10 operativ versorgten dislozierten Schaftfrakturen kein zufriedenstellendes Ergebnis. Die aufgetretenen Komplikationen mit erneut repositionsbedürftigen sekundären Dislokationen bei noch liegenden Nägeln und eine Refraktur nach Fixateur externe Behandlung entsprechen nicht den Vorstellungen einer erfolgreichen, minimal-invasiven und einzeitigen operativen Versorgung. Diese Daten weisen gemeinsam mit Brousil [20], Narayanan [111] sowie Luhmann [90] daraufhin, dass noch Entwicklungspotenzial mit Bedarf an weiteren Studien mit größerer Fallzahl zur Analyse der Ursache der verbleibenden Instabilität der ESIN-Osteosynthese besteht. Luhmann [90] berichtet von unzureichender Stabilität der ESIN bei älteren (> 10 Jahre) und schwereren Kindern (ermittelt durch die Ratio von Gewicht zu Nageldicke) und empfiehlt für dieses Alter eine alternative Osteosynthese z.B. mit rigiden Nägeln, einem größeren Durchmesser der Nägel oder der Verwendung eines dritten Nagels. Auch bei Narayanan [111] kam es bei 79 mit ESIN behandelten Femurschaftfrakturen 8mal zur Verheilung in Fehlstellung sowie 5mal zu sekundären Dislokationen. Damit besteht eine Kompliaktionsrate von 16,5%.

Somit sind Studien mit modifizierten bisherigen oder möglicherweise neuen Osteosyntheseverfahren notwendig, um sekundäre Dislokationen, Refrakturen und Achsenfehlstellungen nach Osteosynthese in Zukunft vermeiden zu können. Die guten Endergebnisse nach Behandlung stimmen mit der Literatur überein, was sicher auch mit dem Korrekturpotenzial des wachsenden Femurs zusammenhängt. Jedoch ist die Rate an Komplikationen der osteosynthetisch versorgten dislozierten Femurschaftfrakturen mit 30%

sowie der mit ESIN-versorgten Patienten mit 28,6% sehr hoch, sodass hier noch Verbesserungen erforderlich sind. Als Folge der Lübecker Daten und der Ergebnisse der Literatur (s.o.) wurde die Biomechanik des Femurschaftes in vitro anhand synthetischer Femurschaftspiralfraktur-Modelle erforscht. Dabei konnte gezeigt werden, dass die Stabilität der ESIN-Osteosynthese am Femurschaft bei Spiralfrakturen durch das Vorbiegen der ESIN um mehr als 30°, am besten um 60°, zu einer signifikant höheren Stabilität führt [70]. Diese in-vitro Ergebnisse sollten im Rahmen klinischer Studien nun in-vivo überprüft werden. Dahingegen können im Rahmen dieser in-vitro-Modelle End-Caps, die die ESIN in der Corticalis verankern, zu keiner Verbesserung der Stabilität beitragen [71]. Die gleiche Arbeitsgruppe um Kaiser et al. konnte anhand der synthetischen Femurspiralfrakturmodelle nachweisen, dass bei gleicher Anwendung und Lage des Osteosynthesematerials Stahlnägel stabiler sind als Titannägel [69]. Die biomechanischen Ergebnisse wurden erfolgreich in einer klinischen Studie mit aktuell > 25 Patienten evaluiert und konnten eine Verbesserung der Stabilität und Verhinderung von peri- und postoperativen Komplikationen durch Anwendung eines 3. ESIN-Nagels zeigen. Damit wird diese 2014 erstmals publizierte modifizierte ESIN-Osteosynthese empfohlen [67].
Insgesamt decken sich die Behandlungsmethoden, ihre Indikationen und die sehr guten Endergebnisse mit der Literatur. Weiterhin bleibt die Frage nach der optimalen Behandlung - konservativ oder operativ - der dislozierten Femurschaftfrakturen für Kinder unter 3 Jahren offen. Aufgrund dieser offenen Fragen wurden hierzu bereits Studien der Sektion Kindertraumatologie in der DGU (Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie, bestehend aus Unfallchirurgen und Kinderchirurgen) initiiert.

Drei der vier Frakturen des distalen Femurs wurden **konservativ** behandelt. Indikationen waren zwei nicht-dislozierte Wulstfrakturen und eine tolerabel - mit minimaler Verschiebung in der Sagittalebene - dislozierte Schaftfraktur bei einem 8-jährigen Jungen, die nach konservativer Behandlung komplikationslos mit voller Punktzahl im Harris-Score ausheilten. Nach Marzi [99] und von Laer [155] sollte aufgrund des späten Fugenschlusses mit Gefahr der hemmenden Wachstumsstörungen auf unnötige Repositionen verzichtet werden, da am distalen Femur iatrogene Schädigungen der Epiphysenfuge den größten negativen Prädiktor für frakturbedingte Wachstumsstörungen darstellen [155], sodass wenn möglich ein konservatives Vorgehen ohne Reposition anzustreben ist. Eine selbstständige Achskorrektur ist in der Sagittalebene mit bis zu 20° deutlich besser als in der Horizontalebene möglich.
Eine der vier distalen Femurfrakturen, eine distale dislozierte Epiphysiolyse ohne metaphysären Keil (3.3.s.1.2), wurde **operativ** mit einer K-Drahtosteosynthese behandelt. Die nach der Gipsabnahme endgradige Bewegungseinschränkung war nicht behandlungsbedürftig. Bei

Behandlungsabschluss bestand eine volle Punktzahl im Harris-Score. Innerhalb von sechs Monaten postoperativ sind keine Wachstumsstörungen aufgetreten.

Bei dislozierten Epiphysiolysen ist nach Oberle und Dietz die exakte offene oder geschlossene anatomische Reposition mit Stabilisierung durch Kirschner-Drähte das Mittel der Wahl. In der Literatur werden bei distalen Epiphysiolysen Komplikationsraten hinsichtlich Wachstumsstörungen zwischen 37 und 70% beschrieben [33, 114, 142]. Daher ist bei all diesen Verletzungen mit Epiphysenbeteiligung am distalen Femur eine frühzeitige Aufklärung über die - in diesem Fall tatsächlich schicksalshafte - Gefahr von Wachstumsstörungen, vorzeitigem Fugenschluss und Achsenabweichung notwendig. Da bei dislozierten Epiphysenlösungen, die mittels Drähten versorgt werden, keine bewegungsstabile Osteosynthese erzielt werden kann, ist ein Oberschenkelgips erforderlich [33, 114, 142]; bei großem metaphysärem Fragment und Zugschraubenosteosynthese kann darauf verzichtet werden. Die Therapie wich nicht von der Literatur ab und zeigte ein gutes Ergebnis. Allerdings stehen die Langzeitkontrollen bis zum Wachstumsabschluss aus. Insgesamt ist die aktuelle Behandlung als effizient einzustufen, da bislang keine sichere Methode zur Verfügung steht, um eventuelle Wachstumsschäden sicher beeinflussen zu können.

4.2.4 Tibia- und Fibulafrakturen

Im Bereich des Unterschenkels wurden 64 Frakturen erfasst, davon 5 im proximalen, 23 im diaphysären und 36 im distalen Anteil. Der Schwerpunkt der Diskussion liegt bei den diaphysären Tibiaschaftfrakturen.

Drei der fünf Frakturen des proximalen Unterschenkels wurden **konservativ** behandelt. Indikationen waren hierzu zwei nicht-dislozierte artikuläre Frakturen (eine Salter-Harris-4-Fraktur und eine Triplane-Fraktur) sowie eine nicht-dislozierte proximale Tibiaschaftfraktur, die alle komplikationslos im Gips ausheilten und volle Punktzahlen im Score nach Merchant und Dietz erreichten. Bei nicht-dislozierten Frakturen stimmen das Vorgehen mit Immobilisation sowie die sehr guten Ergebnisse mit der Literatur überein [43, 101, 114, 142, 155].

Zwei der fünf proximalen Tibiafrakturen wurden **reponiert und operativ** behandelt. Indikationen waren zwei dislozierte proximale Tibiaschaftfrakturen: eine Salter-Harris-2-Fraktur (4.1.s.1.2) mit Dislokation um die Hälfte der Schaftbreite ad latus, die mit Schrauben und einer Knieorthese stabilisiert wurde und eine proximale metaphysäre Fraktur (4.1.s.3.2) mit Valgusfehlstellung von 8°, die mit einer K-Drahtosteosynthese behandelt wurde. Beide Frakturen heilten komplikationslos aus und erreichten volle Punktzahlen im Score nach Merchant und Dietz. In der Literatur werden für diese Frakturen jeweils die von unserer Klinik verwendeten Behandlungsmethoden beschrieben [78, 101, 114, 142]. Aufgrund der guten Ergebnisse mit in der

Literatur empfohlenen Therapien sind trotz der kleinen Fallzahlen die Behandlungskonzepte am proximalen Unterschenkel als effektiv und kindgerecht einzustufen.

17 der 23 Frakturen des mittleren Drittels des Unterschenkels wurden **konservativ** behandelt. Indikationen waren hierzu nicht-dislozierte und tolerabel-dislozierte (Rekurvation bis 8°, Seitverschiebung bis maximal einem Drittel der Schaftbreite) komplette Tibiaschaftquer-, Schräg-, Spiralfrakturen und Wulstfrakturen (4.2.s.2-4.0-1) sowie zwei nicht-dislozierte Toddlerfrakturen (4.2-3.s.5.0). Im Rahmen der konservativen Behandlung kam es mit einer sekundären Dislokation bei einer initial als tolerabel dislozierten eingeschätzten Fraktur (5° Achsabweichung in der Sagittalachse) Fraktur eines 6-jährigen Jungen (4.2.s.3.1) zu einer in der Literatur beschriebenen Komplikation, die nach Gipskeilung wie alle anderen Frakturen folgenlos ausheilte [43, 101, 114, 142]. Nach von Laer [155] ist die isolierte Tibiaschaftfraktur eine Domäne der konservativen Behandlung. Instabile und dislozierte Frakturen beider Knochen sowie Frakturen mit Rotationsfehlern über 10° müssen jedoch reponiert werden [155]. Nach Flynn [43] sind maximal Dislokationen bis zu 10 mm Verkürzung, < 10° Varus, Valgus oder Rekurvation unter Ausschluss einer Rotationsfehlstellung tolerabel. Die in dieser Studie als tolerabel-dislozierte eingestuften Frakturen decken sich mit den Angaben von Flynn und heilten komplikationslos aus, sodass hier von gut definierten Grenzen ausgegangen werden kann. Alle Frakturen erreichten volle Punktzahl im Score nach Merchant und Dietz und sehr gute Abschlussergebnisse.

Sechs der 23 Tibiafrakturen des mittleren Schaftdrittels wurden **reponiert**. Indikationen waren hierzu folgende Dislokationen: Antekurvation von 10°, Valgus von 15°, Spiralfraktur mit Varus von 5°, Seitverschiebungen bis zu einer halben Schaftbreite sowie 2mal eine Rotationsfehlstellung (4.2.s.3.2). Nach geschlossener Reposition wurden je drei Patienten mit **Immobilisation** und drei Patienten mittels **ESIN-Osteosynthese** behandelt, wobei ein Kind zusätzlich zur ESIN-Osteosynthese einen Gips erhielt. Abhängig von der Stabilität nach Reposition sind beide Methoden als Standard bekannt [43, 101]. Komplikationen wie eine sekundäre Dislokation, die mit Gipskeilung ausreichend behandelbar war, sowie eine Beinlängenverkürzung von 0,7 cm, die spontan innerhalb von fünf Monaten ausheilte, traten nur in der Gruppe der immobilisierten Patienten auf. Die Komplikationen der Immobilisation liegen innerhalb dieser kleinen Gruppe mit 2 von 3 Patienten tendenziell höher als nach ESIN-Fixation (ohne Komplikation).
Wessel et al. [162] betonen in einer Studie mit 176 konservativ behandelten Unterschenkelfrakturen bei Patienten mit offenen Wachstumsfugen, dass die konservative Therapie weiterhin – wenn auch in engen Grenzen - indiziert ist, dies gilt insbesondere für die häufig stabilen isolierten Tibiaschaftfrakturen mit der Option der späteren Gipskeilung. Grenzen

dieser Therapie bestehen bei Fehlstellungen über 10°, die sich auf nur eine Ebene sowie auf Kinder ab 10 Jahren beziehen, darüber hinaus sollte die operative Therapie bevorzugt werden. Da mehrfache Repositionen oder sekundäre Operationen zu vermeiden sind, empfiehlt Wessel instabile Frakturen (lange Schräg- und Spiralfrakturen sowie abrutschgefährdete komplette Unterschenkelfrakturen) primär operativ zu stabilisieren [162]. Dieser Meinung schließen sich O`Brien [113], Till [145] und Jubel [64] an und betonen bei operativer Versorgung zusätzlich den Vorteil der frühfunktionellen Nachbehandlung. Zur ESIN-Osteosynthese publizierte Berger [14] die Ergebnisse von 9 Patienten ohne Komplikationen (wie in dieser Studie). Shalamon [128] berichtet hingegen in einer retrospektiven Erhebung aus vier Zentren von 47 mit ESIN-Osteosynthese behandelten dislozierten Tibiaschaftfrakturen von 15% traumaassoziierten Komplikationen (unfallbedingt vier Kompartmentsyndrome, eine primäre Peroneusparese, eine Refraktur nach erneutem Trauma bei liegenden Nägeln sowie eine Osteomyelitis bei offener Fraktur), sowie 9% Komplikationen durch technische Fehler (1mal Pseudarthrose durch zu dünnes Osteosynthesematerial, 1mal Wundinfektion durch zu lange, überstehende Nagel-Enden, 1mal Osteosyntheselockerung, 1mal Frakturdislokation wegen falsch gestellter Operationsindikation an der distalen Metaphyse). Angaben zum Dislokationsgrad der operierten Frakturen fehlen allerdings, sodass ein Vergleich mit den Daten dieser vorliegenden Studie kaum möglich ist. Nachteil der zitierten Studie von Shalamon ist die retrospektive Auswertung. Damit zeigt sich, dass die Methode bei guter Umsetzung zu hervorragenden Ergebnissen führt und Probleme v.a. durch technische Fehler auftreten.

Insgesamt erreichten alle 6 dislozierten Tibiaschaftfrakturen im mittleren Drittel gute bis sehr gute Endergebnisse und jeweils volle Punktzahl im Score nach Merchant und Dietz. Damit besteht ein hervorragendes Ergebnis unabhängig von der Wahl der beiden Behandlungsmethoden. Die Behandlungskonzepte sind trotz möglicher sekundärer Dislokation und geringgradiger Beinlängendifferenz nach Immobilisation als gut und effektiv einzustufen, weswegen nach Zusammenschau anderer Studien [14, 128, 145] und in Einklang mit dieser Studie die konservative Therapie bei richtiger Indikationsstellung ihre Daseinsberechtigung behält. Wichtig ist zum einen die richtige Indikationsstellung (Differenzierung nach stabilen und instabilen Frakturformen) und zum anderen die Durchführung der optimalen Technik, sowohl bei der Reposition mit Gips als auch bei der ESIN-Osteosynthese. Vor allem bei instabilen Frakturen und älteren Kindern ist die ESIN-Osteosynthese ein erfolgreiches Verfahren mit kosmetisch und funktionell hervorragenden Ergebnissen bei meist geringer Komplikationsrate (vergleiche auch [128]). Das Ergebnis dieser Studie weist auf komplikationsärmere Heilungsverläufe bei einer stabilen ESIN-Osteosynthese verglichen mit der Immobilisation nach Reposition hin, sodass bei repositionspflichtigen

Dislokationen die Indikation zur ESIN-Osteosynthese schneller gestellt werden sollte. Um diese Hypothese zu stärken, wären weitere prospektive Studien erforderlich.

27 der 36 Frakturen des distalen Unterschenkels wurden **konservativ** behandelt. Indikationen waren hierzu nicht-dislozierte und tolerabel-dislozierte Schaftfrakturen: Salter-Harris-1- bzw. -2-Frakturen (4.3.s.1.0-1), Grünholz- und Wulstfrakturen (4.3.s.2.0-1), komplette Schaftfrakturen (4.3.s.3.0-1), isolierte Fibulaschaftfrakturen (4.3.s._.2.f) und Toddlerfrakturen (4.3.s.5.0), die alle bis maximal ein Drittel der Schaftbreite ad latus disloziert oder eine Antekurvation bis zu 15° aufwiesen. Bis auf eine sekundäre Dislokation bei einer zuvor als tolerabel disloziert eingeschätzten Fraktur (3° Antekurvation und um weniger als eine Schaftbreite ad latus verschoben, 4.3.s.3.1) eines 7-jährigen Jungen, die mit Gipskeilung ausreichend behandelbar war bzw. einem Patienten und einer Druckstelle im Gips (4.3.s.2.0), heilten alle Frakturen innerhalb von 3,5 Monaten folgenlos aus. Sie erreichten alle 0 Punkte im Ertl-Score und 100 Punkte nach AOFAS, was bei beiden Scores einem exzellenten Ergebnis entspricht.
Für nicht-dislozierte und tolerabel-dislozierte distale Schaftfrakturen wird die Immobilisation empfohlen. Im Rahmen der konservativen Therapie kann sowohl geplant als auch bei sekundärer Dislokation die Möglichkeit, durch Gipskeilung eine achsengerechte Ausheilung zu erzielen, genutzt werden [43, 101, 114, 142, 155]. Insbesondere für isolierte Fibulafrakturen und Toddlerfrakturen besteht nach Immobilisation eine sehr gute Prognose [43, 142, 155]. Im Gegensatz zu den klinikeigenen Standards (max. Dislokation bis maximal ein Drittel der Schaftbreite ad latus oder Antekurvation bis zu 15°) variieren in der Literatur die Definitionen der tolerablen Dislokationsgrenzen abhängig vom Frakturtyp und verschiedenen Autoren: Nach Täger gelten aufgrund des hohen Wachstumsanteils der distalen Epiphysenfuge bis zum 10. Lebensjahr allgemein 30° Achsfehlstellungen als tolerabel [142]. Für Salter-Harris-1- und -2-Frakturen definieren Kraus et al. [78] altersunabhängig bis zu 10° Achsabweichungen in Antekurvation oder Valgusfehlstellung als tolerabel, während hinsichtlich Rekurvation und Varusfehlstellung nur bis zu 5° verbleiben sollten. Ebenfalls für Salter-Harris-1- und -2-Frakturen am distalen Unterschenkel beschreibt Flynn [43] bei Patienten mit mindestens zwei verbleibenden Jahren bis zum Wachstumsabschluss bis zu 15° Rekurvation, bis zu 10° Valgus und keine Varusdeviation als tolerabel. Bei Patienten mit weniger als zwei Jahren bis zum Wachstumsabschluss sind für ihn in allen Achsrichtungen nur noch weniger als 5° akzeptabel. Für distale isolierte Tibiaschaftfrakturen betont von Laer [155] die Gipsbehandlung als Therapie der Wahl mit der Option der Gipskeilung bei sekundären Dislokationen oder entstehenden Varusdeviationen, während instabile Frakturen beider Knochen sowie Frakturen mit Rotationsfehlern über 10° seiner Ansicht nach reponiert und osteosynthetisch versorgt werden müssen [155]. Im Einklang zu den genannten tolerablen

Dislokationsgrenzen zeigen die eigenen Ergebnisse dieser Studie, dass bei Kindern und Jugendlichen nicht-dislozierte Frakturen und mit den hier verwendeten Definitionen auch die „tolerabel-dislozierten“ Frakturen an der distalen Tibia durch Immobilisation erfolgreich behandelt werden können. Gemeinsam mit der Literatur deuten die Ergebnisse dieser Studie auf eine gute Definition der tolerablen Dislokationen und eine sehr gute Versorgungssituation dieser Frakturen hin.

Neun der 36 Frakturen des distalen Unterschenkels wurden **reponiert** und anschließend 8mal **osteosynthetisch** und einmal mittels **Immobilisation** versorgt. Indikationen waren hierzu alle distalen artikulären Frakturen (inklusive einer initial als nicht-dislozierten eingeschätzten Triplane-Fraktur, die erst im CT eine Gelenkstufe zeigte) sowie alle dislozierten kompletten Schaftfrakturen (4.3.s.3.2: Seitverschiebung um mehr als eine Schaftbreite, 10° Varus mit geschlossenem Weichteilschaden 2°) und alle dislozierten Salter-Harris-1- und -2-Frakturen (4.3.s.1.2: Dislokationen um eine halbe Schaftbreite ad latus bzw. Frakturspaltverbreiterung mit einer Lücke von mehr als 2 mm).

In der Literatur wird für dislozierte distale Tibia-Schaftfrakturen (4.3.s.3.2) die Schrauben- oder K-Drahtosteosynthese empfohlen [43]. Bei dislozierten distalen Salter-Harris-2-Frakturen (4.3.s.1.2) ist die Schraubenosteosynthese Mittel der Wahl, wenn das metaphysäre Fragment groß genug für die Schraube ist. Anderenfalls wird eine K-Drahtosteosynthese befürwortet [78]. Die Therapie innerhalb dieser Studie fand wie empfohlen statt. Eine distale dislozierte Salter-Harris-1-Fraktur (4.3.s.1.2) kann wegen fehlender Nachuntersuchung nicht bewertet werden; weiterhin ist das Ergebnis einer Patientin mit distaler dislozierter Tibiatrümmerfraktur mit Gelenkbeteiligung (4.3.a.5.2) nicht auswertbar, da sie zuletzt zwei Monate nach der Operation bei noch nicht abgeschlossener Behandlung und dementsprechend noch mangelhaften Ergebnissen (10 Punkte im Ertl-Score; 70 Punkte nach AOFAS) nachuntersucht wurde. Alle übrigen reponierten Frakturen erreichten zwar die bestmöglichen Bewertungen in den Scores (Ertl-Score und AOFAS), jedoch traten zweimal Auffälligkeiten bei den Schaftfrakturen und einmal bei den artikulären Frakturen auf (siehe a-c)). Weiterhin wurde bei den dislozierten artikulären Frakturen einmal vom Standard abgewichen (siehe d)). Die Auffälligkeiten in den Abschlussuntersuchungen riefen jedoch keine funktionellen Defizite hervor:

a) Bei einer dislozierten distalen Salter-Harris-2-Fraktur (4.3.s.1.2) mit postoperativer Peronäusparese (Endast des Nervus peronäus profundus) und konsekutiver Bewegungseinschränkung in der Dorsalextension/Plantarflexion war nach 15 Monaten eine seitengleiche Beweglichkeit möglich. Allerdings bestand eine persistierende Bewegungseinschränkung der Großzehe ohne frakturtypische Defizite. Die Ursache wurde am

ehesten in einer ischämischen Läsion des Endastes des Nervus peroneus profundus gesehen, jedoch wurden mittels MRT auch muskulotendinöse fibrosierende Veränderungen im Bereich des Musculus extensor Hallucis longus als untypische Frakturfolge diagnostiziert. Da eine iatrogene bzw. frakturbedingte Fixation der Sehne operativ ausgeschlossen wurde, war eine Korrekturoperation, z. B. eine Tenolyse, nicht möglich. Nerven- und Gefäßläsionen sind in der Literatur besonders bei dislozierten Frakturen als Begleitverletzungen beschrieben [43, 73, 82, 92, 114, 124] und sind als Hinweis auf die Schwere des Traumas zu werten, sodass hier eine eindeutige Festlegung auf die Ursache nicht möglich war.

b) Sechs Monate nach dislozierter distaler kompletter Schaftfraktur (4.3.s.3.2) wies ein Patient weder Beinlängendifferenzen, noch frakturtypische Komplikationen oder funktionelle Defizite auf, jedoch war der Fuß des frakturierten Unterschenkels 1,5 Schuhgrößen kleiner. Nach einem Jahr sollten weitere Kontrollen folgen, die außerhalb unseres Untersuchungszeitraums lagen. Eine Auffälligkeit von verschiedenen Schuhgrößen nach Fraktur am Unterschenkel (4.3.s.3.2) wurde in den bisher gesichteten Quellen nicht beschrieben, sodass es sich hierbei um ein ungeklärtes Phänomen handelt.

c) Unter den artikulären distalen reponierten bzw. operierten Frakturen verblieb eine kontrollbedürftige Auffälligkeit bei einer im konventionellen Röntgenbild als nicht-disloziert bewerteten distalen Triplane-Fraktur mit Gelenkstufe im CT (4.3.a.4.0). Sie wurde nach Reposition mit einer Schraubenosteosynthese stabilisiert. Generelles Ziel ist bei diesen Frakturen die Wiederherstellung der Gelenkfläche, wobei, wie in der Literatur [101, 107, 133, 142] empfohlen, das fugenkreuzende Einbringen vermieden wurde. Obwohl bei Übergangsfrakturen mit relevanten Wachstumsstörungen aufgrund des bereits begonnenen Fugenschlusses kaum mehr zu rechnen ist [29, 43, 101, 107, 133, 142, 162], zeigte sich im Verlauf eine geringe Beinlängenverkürzung von 0,5 cm, die nach sieben Monaten in der gesamten Beinlänge zwar nicht mehr bestand, jedoch war der frakturierte Unterschenkel 0,5 cm länger und der Oberschenkel der frakturierten Seite 0,5 cm kürzer als auf der Gegenseite. Weitere Kontrollen bis zum kompletten Wachstumsabschluss sind daher indiziert.

d) Von den zwei dislozierten distalen Salter-Harris-4-Frakturen (4.3.a.2.2) wurde eine mit einer Schraubenosteosynthese versorgt und heilte innerhalb von 6 Monaten vollständig aus, während die andere nach Immobilisation im Gips komplikationslos innerhalb von 3 Monaten ausbehandelt wurde. Letztere war initial anamnestisch disloziert und wurde vom Notarzt am Unfallort reponiert, sodass sie bei der Röntgenkontrolle in der Klinik nicht mehr disloziert war. Daher sind diese Frakturen nicht direkt vergleichbar. Anhand des Röntgenbildes hätte sie als "nicht-disloziert" klassifiziert werden können, ist aber wegen der Anamnese als "disloziert" bewertet worden. In der Literatur wird empfohlen, distale Salter-Harris-4-Frakturen zur Wiederherstellung der

Gelenkkongruenz mit Schrauben zu fixieren [43, 78, 85, 101, 114, 142]. Eine der beiden Frakturen wurde nach diesen Richtlinien behandelt und zeigt wie in der Literatur beschrieben ein hervorragendes Ergebnis. Bei der anderen Fraktur wurde wie oben beschrieben vom Standard abgewichen. Nach Lendemans [85] können auch stabile Frakturen mit Gelenkspalt < 2 mm auch mit konservativen Methoden gut ausheilen. Der weitere komplikationslose Verlauf bestätigt die Einschätzung, in diesem Fall auf eine Osteosynthese verzichten zu können.

Für das distale Tibiadrittel kann insgesamt von einer guten Versorgung ausgegangen werden. Obwohl im Rahmen der Abschlussuntersuchungen vier der 36 Frakturen im distalen Tibiadrittel die oben genannten – eher ungewöhnlichen – Auffälligkeiten aufwiesen, erreichten bis auf eine Fraktur mit noch nicht abgeschlossener Behandlung die drei anderen Frakturen volle Punktzahlen in den Score-Bewertungen, was einem exzellenten Ergebnis entspricht. Allerdings stehen einschränkend die Langzeitergebnisse hinsichtlich sich möglicherweise ausbildender Arthrose nach Gelenkverletzung oder weiteren Wachstumsstörungen im Bereich bzw. in der Nähe der distalen Tibiawachstumsfuge aus.

4.3 Korrelation zwischen LiLa-Klassifikation und resultierender Behandlung

Ein Ziel der Studie war es, die LiLa-Klassifikation als Instrument im klinischen Alltag zu bewerten. Dazu stellte sich die Frage, ob die Zuordnung zu einem Klassifikationscode damit auch gleichzeitig eine feste Zuordnung zu einer standardisierten bzw. zu der optimalen Behandlungsoption zulässt. Die Ergebnisse zeigen jedoch, dass auch durch korrekt vergebene LiLa-Klassifikationscodes eine klare und eindeutige Korrelation zu einer Behandlungsempfehlung nicht gewährleistet ist. Dies ist aus mehreren Gründen nicht möglich:

Um die große Anzahl unterschiedlicher Frakturtypen innerhalb einer übersichtlichen und im klinischen Alltag anwendbaren Klassifikation abzubilden, werden einander ähnliche, aber verschiedene Frakturtypen innerhalb eines Klassifikationscodes zusammengefasst. Als Beispiel eines sehr inhomogenen Klassifikationscodes sei der proximale Unterarm genannt, an dem alle diaphysären Frakturen, Monteggia-, Monteggia-Äquivalentfrakturen, Radiusköpfchen- und Radiushalsfrakturen, mit 2.1.s._._ klassifiziert werden (siehe Kapitel 2.3.1 und 3.3). Zusätzlich zeigen die Fallbeschreibungen unterschiedlich schwere Verletzungsgrade. Allgemein ist bei den kombinierten Frakturen an paarigen Knochen wie den Monteggiafrakturen und den kompletten Unterschenkelfrakturen eine klar erkennbare Klassifikation dieser komplexen Verletzungen nicht möglich. Es ist lediglich die Klassifikation des gewichttragenden Knochens oder die getrennte Klassifikation beider Knochen umsetzbar. Beide Möglichkeiten bilden die vorliegende Verletzung aber nicht adäquat ab, wodurch eine Zuordnung zur eindeutig optimalen Therapie unmöglich bleibt. Zusätzlich stehen im Rahmen der konservativen Behandlung der nicht-

repositionsbedürftigen Frakturen neben dem Weißgips weitere spezielle Verbände wie der Gilchrist-Verband oder die Blount-Schlinge zur Verfügung, deren Indikation anhand der LiLa-Klassifikation nicht exakt abgebildet werden können, da lediglich die Zuordnungen "Immobilisation" oder "Redression" möglich sind. Ein weiteres Problem besteht darin, dass neben der großen Diversität von Frakturtypen und Behandlungsoptionen auch die klinische Bewertung des Dislokationsausmaßes eine Rolle spielt. Mit der Klassifikation des Dislokationsausmaßes anhand des Röntgenbildes soll im Sinne der Gestalter der LiLa-Klassifikation eine therapeutische Konsequenz festgelegt werden. Dies setzt ausreichende, besser noch eine sehr gute klinische Erfahrung mit der Behandlung aller Frakturen des wachsenden Skeletts abhängig vom Alter, des Dislokationsgrades sowie der Lokalisation voraus. Im Gegensatz zu dieser Zielsetzung besteht dafür bisher kein international üblicher Standard, sodass die Differenzierung zwischen „tolerabel“ oder „nicht-tolerabel" dislozierte abhängig von der persönlichen Erfahrung des Bewertenden als auch von seiner Ausbildung ist. Möglicherweise werden in Zukunft aufgrund weiterer Studien oder der Entwicklung neuer Behandlungsmethoden auch Frakturen als tolerabel-dislozierte definiert werden, die nach heutigem Kenntnisstand als nicht-tolerabel-dislozierte betrachtet werden. Bei der Wahl der optimalen Behandlungsmethode spielen nicht nur der Frakturtyp und der Dislokationsgrad, beides in dem Klassifikationscode enthalten, sondern auch das Alter des Kindes eine entscheidende Rolle. Weiterhin entscheidend ist neben dem Grad der Dislokation auch das Remodeling-Potenzial des spezifischen Knochens, das u.a. auch altersabhängig individuell bewertet werden muss. Beispiele dazu sind die dislozierten Femurschaftfrakturen, bei denen die aktuelle Leitlinie nach Alter trennt (unterhalb des 3. Lebensjahres wird eine konservative und ab dem 3. Lebensjahr eine operative Therapie empfohlen) oder die Wichtung der Dislokation supracondylärer Humerusfrakturen nach Grad der Abweichung und Alter des Kindes bei den Typ 2-Frakturen nach von Laer.

Eine bessere Korrelation zwischen LiLa-Klassifikation und resultierender Behandlung ist bei altersunabhängigen Therapieempfehlungen möglich. Als Beispiel sei die distale Humerusfrakturen des Condylus radialis genannt: eine nach wie vor gültige Unterscheidung für nicht-dislozierte und tolerabel-dislozierte mit Immobilisation bzw. die Zugschraubenosteosynthese für dislozierte Frakturen ergibt sich aus der Breite des Frakturspaltes von > bzw. ≤ 2 mm.

Um ein standardisiertes Prozedere für die kindertraumatologische Frakturversorgung in Abhängigkeit zur Klassifikation zu gewährleisten sind entweder altersabhängige Leitlinien oder weitere Modifikationen der Klassifikation notwendig. Eine mögliche Klassifikationsmodifikation wäre ein Dislokationsausmaß ohne Bezug zur Therapie, beispielsweise durch Einteilung in 10°-Schritten ohne Bezug zu einer Therapieform (konservativ/operativ). Daher ist es nach den Ergebnissen dieser Studie bislang fraglich, ob aufgrund der oben beschriebenen Komplexität eine

Kodierstelle für den Dislokationsgrad mit Bezug zur Therapie innerhalb der Klassifikation im klinischen Alltag notwendig oder überhaupt sinnvoll ist.

4.4 Schlussfolgerungen

Diese Studie zeigt einen Querschnitt durch die Inzidenz von Frakturen der langen Röhrenknochen innerhalb eines Jahres an einer Klinik der Maximalversorgung, wodurch Gruppen mit kleinen Fallzahlen und mit zum Teil inhomogenen Klassifikations- bzw. Altersgruppen entstehen. Aus diesem Grund sind keine Signifikanzberechnungen und dadurch nur teilweise allgemeingültige Aussagen möglich. Daher ist es empfehlenswert, im Rahmen weiterer Studien hierzu gezielt Daten mit größeren Fallzahlen zu sammeln, um so die Behandlung nicht nur zu einem Frakturtyp, sondern auch innerhalb einer Altersgruppe und innerhalb einer Behandlungsmethode bzw. mehrere Methoden miteinander vergleichen und bewerten zu können. In den weiteren Abschnitten wird erläutert, zu welchen Frakturen und Fragestellungen weiterer Handlungsbedarf besteht oder weitere Studien erforderlich und wünschenswert sind.

Die Daten der konservativ bzw. mit Immobilisation ohne Reposition behandelten Frakturen - somit alle nicht- und tolerabel-dislozierten Frakturen - zeigten hervorragende Ergebnisse. Dies unterstreicht, dass ca. 63% der kindlichen Frakturen weder eine Reposition noch eine operative Versorgung benötigen. Da die Toleranzgrenzen mit der Literatur übereinstimmen und die Frakturen alle ohne Defizite ausheilten, können diese Grenzen so beibehalten werden. Das Hauptrisiko der sekundären Dislokation sollte jedoch auch bei der Primärversorgung bedacht werden, um ggf. früher die Indikation zur Reposition oder zur Osteosynthese stellen zu können.
Im Rahmen dieser Arbeit konnte speziell herausgearbeitet werden, dass am Humerus bei den tolerabel-dislozierten Epicondylus ulnaris Frakturen (1.3.a.3.1) trotz guter Ergebnisse die Toleranzgrenzen bzw. die Operationsbedürftigkeit exakter definiert werden sollten. Weiter wären am Unterarm Studien zur einheitlichen Definition der altersabhängigen tolerablen Dislokationsgrenzen am mittleren und distalen Drittel des Unterarmschafts sinnvoll, da diese Frakturen eine beachtliche klinische Bedeutung besitzen. Besonders bei den distalen Salter-Harris-1- und -2-Frakturen des Unterarms, bei denen die Literatur sehr widersprüchlich ist, sollten diese Grenzen in Abhängigkeit vom Alter sowie den heutigen Behandlungsoptionen ermittelt werden.

Bei den operativ versorgten Frakturen lassen die Daten der dislozierten Humerus-, Radius- und Tibiaschaftfrakturen die Schlussfolgerung zu, dass eine übungsstabile Osteosynthese wie die aktuell präferierte ESIN-Osteosynthese der Immobilisation nach Reposition durch eine geringere Komplikationsrate überlegen ist und dieser in Zukunft der Vorzug gegeben werden sollte. Dieses wäre im Rahmen von Studien mit höherer Fallzahl zu prüfen (siehe Kapitel 4.2.1, 4.2.2 und 4.2.4).

Weiterhin weisen die beschriebenen Komplikationen bei der ESIN-Osteosynthese dislozierter Femurschaftfrakturen darauf hin, dass durch diese Technik durch Modifikationen oder auch neue Osteosyntheseformen optimiert werden sollte, um eine höhere Stabilität zu gewähren (vergleiche Kapitel 3.4 und 4.2.3).

Für die Zukunft können anhand der Ergebnisse dieser Studie und der ausgewerteten Literatur folgende Studien als sinnvoll erachtet werden:

1) Studien zur Optimierung der Klassifikation, um durch homogenere Frakturgruppenbildung eine evidenzbasierte und validierte Unterstützung zur Indikationsstellung der optimalen Therapie zu ermöglichen.

2) Studien hinsichtlich der dislozierten supracondylären Humerusfrakturen um a) die Form der optimalen K-Drahtosteosynthese, parallel-lateral oder gekreuzte-medial/laterale Osteosynthese zu ermitteln und b) eventuelle Indikationen und Grenzen für die Anwendung von Fixateur externe und ESIN-Osteosynthese als Alternative zur K-Drahtosteosynthese zu etablieren.

3) Studien zur Klärung der optimalen Therapie - konservativ oder operativ - der dislozierten Femurschaftfrakturen für Kinder unter 3 bzw. unter 4 Jahren.

4) Prospektiv randomisierte Studien hinsichtlich der „Philosophie“, dass nach Reposition dislozierter Humerus-, Radius- und Tibiaschaftfrakturen eine übungsstabile Osteosynthese der Immobilisation überlegen ist und der Patient somit von einer Operation profitiert.

5) Studien zur exakteren Definition von klaren verbindlichen Grenzen der tolerablen Dislokationsgrade - ggf. auch altersabhängig definiert - um Studien in Zukunft besser miteinander vergleichen zu können und um im klinischen Alltag eine Qualitäts- und Effizienz-basierte Medizin unabhängig von der individuellen Erfahrung eines einzelnen Operateurs verwirklichen zu können. Zu diesen Definitionslücken gehören die tolerabel-dislozierten Epicondylus ulnaris-Frakturen (1.3.a.3.1), die tolerabel-dislozierten Unterarmschaftfrakturen im mittleren und distalen Drittel (2.2-3.s.2-3.1) sowie die distalen Salter-Harris-1- und -2-Frakturen des Unterarms (2.3.s.1._).

6) Studien zur klinischen Evaluation (auf ihre Praktikabilität und in-vivo-Relevanz) der von der Forschungsgruppe um Kaiser et al. durchgeführten in-vitro-Studien bezüglich der Osteosyntheseverfahren, um am Femurschaft für die Zukunft eine effizientere Therapieform zu entwickeln.

Insgesamt haben Frakturen im Kindes- und Wachstumsalter bei adäquater Behandlung eine hervorragende Prognose. Die guten bis sehr guten Endergebnisse dieser Studie, gemessen an den Bewertungen der Scores und der klinischen Symptomatik der Abschlussuntersuchung bestätigen dies. Nicht spontan korrigierbare Achs- oder Rotationsdeviationen müssen ebenso wie

verbliebene Gelenkstufen rechtzeitig erkannt und korrigiert werden, um irreversible Funktionseinschränkungen zu verhindern; jedoch können „schicksalhafte“ Wachstumsstörungen als Traumafolge für das wachsende Skelett nie gänzlich vermieden werden. Die Daten dieser Studie zeigen aber, dass durch die rechtzeitige Revision Defizite fast immer vermieden werden können. Dieses kann jedoch mehrere Monate in Anspruch nehmen und die Heilungszeit drastisch, auf bis zu mehr als 12 Monate, verlängern.
Um eine klare Zuordnung zwischen der LiLa-Klassifikation und der Wahl der Behandlungsmethode einfacher oder realitätsnaher zu gestalten, wären Modifikationen der LiLa-Klassifikation denkbar. Dies wären beispielsweise eine Dislokationsangabe in 10°-Intervallen ohne Bezug zu einer der Behandlungsoptionen (konservativ – operativ) bzw. in Seitdeviationsintervallen sowie eine zusätzliche Variable für das Alter.

Zusammenfassend bestehen für die konservative Therapie enge Grenzen vor allem bei älteren Kindern, bei ellenbogengelenksnahen Frakturen und generell bei Gelenkfrakturen. Für die operative Therapie bestehen teils unklar definierte Dislokationsgrenzen. Bei der Indikation zur Reposition besteht nicht immer ein einheitlicher Konsens, ob eine Immobilisation mit Gefahr einer sekundären Dislokation oder eine definitive Osteosynthese mit einer daraus resultierenden zweiten Operation zur Metallentfernung vorzuziehen ist.

5 Zusammenfassung

Mit der vorliegenden Studie wurde die Ergebnisqualität der kindertraumatologischen Versorgung an einer Klinik der Maximalversorgung innerhalb eines Jahres prospektiv evaluiert. Es bestehen Unterschiede zwischen den Knocheneigenschaften und folglich den Frakturen im Kindes- und Wachstumsalter verglichen mit denen im Erwachsenenalter. Daher sind die Behandlungsmethoden aus der Erwachsenentraumatologie nur eingeschränkt in die Kindertraumatologie übertragbar. Prospektive Studien zur Qualitätssicherung in der Kindertraumatologie sind selten.

In dieser Studie wurden Frakturen der langen Röhrenknochen im Kindes- und Wachstumsalter anhand der Röntgenbilder mit Hilfe der neuen LiLa-Klassifikation in Gruppen eingeteilt und auf Behandlung, Auftreten von Komplikationen sowie das funktionelle Outcome hin untersucht. Die LiLa-Klassifikation wurde weiterhin genutzt, um eine Korrelation zwischen „Klassifikation – Behandlung – Endergebnis“ herzustellen und somit zu ermitteln, inwieweit die Klassifikation zur Standardisierung der kindertraumatologischen Behandlung beitragen kann. Das funktionelle Outcome im Rahmen der Nachbehandlung wurde anhand klinischer, validierter Scores abhängig von der Frakturlokalisation bewertet. Um langfristig die Behandlungsqualität durch Standards zu steigern, werden die Ergebnisse anhand der Literatur kritisch diskutiert. Eingeschlossen wurden alle im Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Lübeck, vom 01.10.2005 bis 31.09.2006 behandelten Frakturen der langen Röhrenknochen bei Kindern bis zum 17. Lebensjahr. 419 Patienten mit 437 Frakturen konnten in diese Studie eingeschlossen werden, von denen 374 Patienten nachuntersucht wurden. Durch das Studiendesign zeigt diese Studie einen Querschnitt durch die Epidemiologie eines Jahres mit den häufigsten Frakturen und Komplikationen.

Am Oberarm kamen die supracondylären Humerusfrakturen mit 73 von 110 Oberarmfrakturen (66%), am Unterarm die distalen, metaphysären Radiusschaftfrakturen mit 181 von 244 (74%), am Oberschenkel die Femurschaftfrakturen mit 14 von 19 (73,6%) und am Unterschenkel die distalen Tibiaschaftfrakturen mit 32 von 64 (50%) am häufigsten vor. Insgesamt heilten alle nicht-dislozierten und tolerabel-dislozierten Frakturen dieser Studie (276 Frakturen; 63,2% der Fälle) nach konservativer Therapie (Immobilisation ohne Reposition sowie Redression) vollständig aus. Im Verlauf auftretende Komplikationen konnten mit frühzeitiger adäquater Therapie, z.B. Gipskeilung nach sekundären Dislokationen, vollständig behoben werden. Die Daten dieser Studie zeigen, dass Korrekturbehandlungen mit zunehmendem Dislokationsgrad vermehrt nötig werden. Am Unterarm wird durch die deutlich höhere Rate an sekundären Dislokationen bei den tolerabel-dislozierten Frakturen (21,2%) gegenüber den nicht-dislozierten Frakturen (1,7%) geschlussfolgert, dass die Indikation zur Reposition bei tolerabel-dislozierten Frakturen früher gestellt werden sollte. Dislozierte Frakturen wurden an allen Röhrenknochen reponiert und abhängig vom Frakturtyp, vom Alter und von der Stabilität unterschiedlich fixiert. Zum Einsatz kamen

verschiedene Osteosynthesematerialien (ESIN, K-Draht, Schraube, Cerclage) oder eine Immobilisation, um eine erneute Operation zur Metallentfernung zu verhindern. Diese Studie zeigt, dass dislozierte Schaftfrakturen mit Immobilisation nach Reposition an Humerus, Radius und Tibia ein erhöhtes Risiko für sekundäre Dislokationen besitzen, die behandlungsbedürftig sind und zu erneuten Korrekturmaßnahmen, teils sogar in erneuter Narkose oder mit Osteosyntheseeinlage führen. Um dies zu verhindern besteht nach der Reposition die Option einer sofortigen definitiven osteosynthetischen Versorgung.

Insgesamt zeigen die Daten übereinstimmend mit der Literatur eine äußerst zufriedenstellende Versorgung für nahezu alle Frakturen inklusive der repositionsbedürftigen dislozierten Frakturen. Bei den aufgetretenen schlechten Ergebnissen, die nur dislozierte Frakturen betrafen, handelte es sich um Einzelfälle und keine systematischen Behandlungsfehler. Größtenteils beruhen diese auf der Schwere der Verletzungen mit einer technisch anspruchsvollen Operation und bestätigen die Wichtigkeit der exakten Reposition sowie einer technisch einwandfreien Osteosynthese. Weiter zeigt diese Studie, dass die Komplikationsrate der dislozierten Femurschaftfrakturen nach operativer Versorgung mit 30% sehr hoch und nicht zufriedenstellend ist. Die Problematik beruht sowohl auf der Qualität der operativen Versorgung als auch systemimmanent auf der nicht immer ausreichenden Stabilität der ESIN-Osteosynthese.

Weiterhin gehört zur Fragestellung dieser Studie eine Einschätzung der Praktikabilität und des Nutzens der neuen LiLa-Klassifikation für den klinischen Alltag. Diese Studie zeigt, dass anhand der LiLa-Klassifikation keine direkte Korrelation von einem Klassifikationscode zu einer standardisierten Therapieoption im Sinne eines Leitfadens möglich ist. Weiterhin bleibt fraglich, ob eine Kodierstelle für den Dislokationsgrad mit direktem Bezug zur Repositionsindikation im klinischen Alltag hilfreich ist. Um ein standardisiertes Prozedere für die kindertraumatologische Frakturversorgung in Abhängigkeit zur Klassifikation zu gewährleisten sind entweder altersabhängige Leitlinien oder weitere Modifikationen der Klassifikation notwendig.

Resultierend auf den Ergebnissen dieser Studie entstehen neue Fragestellungen für weitere prospektive, ggf. randomisierte Studien, anhand derer die Effizienz der Behandlung erhöht werden kann. So ist eine Optimierung der Klassifikation zur Verbesserung der Alltagstauglichkeit zu empfehlen. Studien zur Ermittlung der optimalen K-Drahtosteosynthese sowie zu alternativen Osteosyntheseverfahren für die dislozierten supracondylären Humerusfrakturen sind indiziert. Eine Klärung der optimalen Therapie der dislozierten Femurschaftfrakturen für Kinder unter 3 Jahren sollte angestrebt werden. Aufbauend auf den Ergebnissen dieser Studie ist eine Verifizierung der Hypothese anzustreben, dass nach Reposition dislozierter Humerus-, Radius- und Tibiaschaftfrakturen eine übungsstabile Osteosynthese der Immobilisation trotz der Risiken einer Operation überlegen ist. Altersabhängige, verbindliche Grenzen der tolerablen Dislokationsgrade

sollten definiert werden. Anhand der Ergebnisse der vorliegenden Studie wurden bezüglich der Osteosyntheseverfahren für Femurschaftfrakturen bereits in-vitro-Studien von der Forschungsgruppe um Kaiser et al. durchgeführt. Eine klinische Evaluation auf Praktikabilität in-vivo ist sinnvoll, um eine effizientere Therapieform zu entwickeln.

Abschließend spricht diese Studie übereinstimmend mit der Literatur für eine aktuell bestehende gute bis sehr gute Versorgungsrealität, dauerhafte funktionelle Einschränkungen sind bei adäquater und frühzeitiger Therapie nicht zu erwarten. Eine hohe Expertise ist zur Indikationsstellung der skelettalter-entsprechenden Therapie, zur technisch einwandfreien Osteosynthese und zur Früherkennung sowie ggf. Behandlung von Folgeschäden essentiell.

6 Literaturverzeichnis

1. Aitken AP and Ingersoll RE, *Fractures of the proximal tibial epiphyseal cartilage.* J Bone Joint Surg Am, 1956. 38-A(4): p. 787-96.
2. Aitken AP and Magill HK, *Fractures involving the distal femoral epiphyseal cartilage.* J Bone Joint Surg Am, 1952. 34-A(1): p. 96-108.
3. Angermann P, Lutz M, Zimmermann R, Reinhart C, Gabl M and Pechlaner S, *Monteggia injuries in childhood.* Handchir Mikrochir Plast Chir, 2000. 32(4): p. 260-70.
4. Arnander MWT and Newman KJH, *Forearm Fractures.* Surgery, 2006. 24:12: p. 426-428.
5. Audige L, Bhandari M, Griffin D, Middleton P and Reeves BC, *Systematic reviews of nonrandomized clinical studies in the orthopaedic literature.* Clin Orthop Relat Res, 2004(427): p. 249-57.
6. Audige L, Bhandari M and Kellam J, *How reliable are reliability studies of fracture classifications? A systematic review of their methodologies.* Acta Orthop Scand, 2004. 75(2): p. 184-94.
7. Ayubi N, Mayr JM, Sesia S and Kubiak R, *Treatment of lateral humeral condyle fractures in children.* Oper Orthop Traumatol, 2010. 22(1): p. 81-91.
8. Babal JC, Mehlman CT and Klein G, *Nerve injuries associated with pediatric supracondylar humeral fractures: a meta-analysis.* J Pediatr Orthop, 2010. 30(3): p. 253-63.
9. Bado JL, *The Monteggia lesion.* Clin Orthop Relat Res, 1967. 50: p. 71-86.
10. Baitner AC, Perry A, Lalonde FD, Bastrom TP, Pawelek J and Newton PO, *The healing forearm fracture: a matched comparison of forearm refractures.* J Pediatr Orthop, 2007. 27(7): p. 743-7.
11. Barlas K, George B, Hashmi F and Bagga T, *Open medial placement of Kirschner wires for supracondylar humeral fractures in children.* J Orthop Surg (Hong Kong), 2006. 14(1): p. 53-7.
12. Bauer AS, Bae DS, Brustowicz KA and Waters PM, *Intra-articular corrective osteotomy of humeral lateral condyle malunions in children: early clinical and radiographic results.* J Pediatr Orthop, 2013. 33(1): p. 20-5.
13. Beaty J, Kasser J and Editors, *Rockwood and Wilkins` fractures in Children 6th Edition*. 2006, p. 709-713 Lippincott William & Wilkins Philadelphia.
14. Berger P, De Graaf JS and Leemans R, *The use of elastic intramedullary nailing in the stabilisation of paediatric fractures.* Injury, 2005. 36(10): p. 1217-20.
15. Boero S, Michelis MB, Calevo MG and Stella M, *Multiple forearm diaphyseal fracture: reduction and plaster cast control at the end of growth.* Int Orthop, 2007. 31(6): p. 807-10.
16. Bohm ER, Bubbar V, Yong Hing K and Dzus A, *Above and below-the-elbow plaster casts for distal forearm fractures in children. A randomized controlled trial.* J Bone Joint Surg Am, 2006. 88(1): p. 1-8.
17. Bopst L, Reinberg O and Lutz N, *Femur fracture in preschool children: experience with flexible intramedullary nailing in 72 children.* J Pediatr Orthop, 2007. 27(3): p. 299-303.
18. Bradshaw JH, Holland P and Feltbower RG, *Evaluation of bone mass in children with long bone fracture compared with controls.* J Pediatr Orthop B, 2008. 17(4): p. 159-63.
19. Brauer CA, Lee BM, Bae DS, Waters PM and Kocher MS, *A systematic review of medial and lateral entry pinning versus lateral entry pinning for supracondylar fractures of the humerus.* J Pediatr Orthop, 2007. 27(2): p. 181-6.
20. Brousil J and Hunter JB, *Femoral fractures in children.* Curr Opin Pediatr, 2013. 25(1): p. 52-7.
21. Brubacher JW and Dodds SD, *Pediatric supracondylar fractures of the distal humerus.* Curr Rev Musculoskelet Med, 2008. 1(3-4): p. 190-6.
22. Brudvik C and Hove LM, *Childhood fractures in Bergen, Norway: identifying high-risk groups and activities.* J Pediatr Orthop, 2003. 23(5): p. 629-34.

23. Bumei G, Gavriliu S, Georgescu I, Vlad C, Draghici I, Hurmuz L, Dan D and Hodorogea D, *The therapeutic attitude in distal radial Salter and Harris type I and II fractures in children.* J Med Life, 2010. 3(1): p. 70-5.
24. Calder PR, Achan P and Barry M, *Diaphyseal forearm fractures in children treated with intramedullary fixation: outcome of K-wire versus elastic stable intramedullary nail.* Injury, 2003. 34(4): p. 278-82.
25. Conboy VB, Morris RW, Kiss J and Carr AJ, *An evaluation of the Constant-Murley shoulder assessment.* J Bone Joint Surg Br, 1996. 78(2): p. 229-32.
26. Constant CR and Murley AH, *A clinical method of functional assessment of the shoulder.* Clin Orthop Relat Res, 1987(214): p. 160-4.
27. Cooney WP, Bussey R, Dobyns JH and Linscheid RL, *Difficult wrist fractures. Perilunate fracture-dislocations of the wrist.* Clin Orthop Relat Res, 1987(214): p. 136-47.
28. Cooper RR, *Management of Common Forearm Fractures in Children.* J Iowa Med Soc, 1964. 54: p. 689-98.
29. Cooperman DR, Spiegel PG and Laros GS, *Tibial fractures involving the ankle in children. The so-called triplane epiphyseal fracture.* J Bone Joint Surg Am, 1978. 60(8): p. 1040-6.
30. Cumming D, Mfula N and Jones JW, *Paediatric forearm fractures: the increasing use of elastic stable intra-medullary nails.* Int Orthop, 2008. 32(3): p. 421-3.
31. Daruwalla JS, *A study of radioulnar movements following fractures of the forearm in children.* Clin Orthop Relat Res, 1979(139): p. 114-20.
32. Davids JR, Lamoreaux DC, Brooker RC, Tanner SL and Westberry DE, *Translation step-cut osteotomy for the treatment of posttraumatic cubitus varus.* J Pediatr Orthop, 2011. 31(4): p. 353-65.
33. Dietz HG, Joppich I, Marzi I, Parsch K, Schlickewei W and Schmittenbecher PP, *Treatment of femoral fractures in childhood. Consensus Report of the 19th Meeting of the Child Traumatology Section of the DGU, Munich, 23-24 June 2000.* Unfallchirurg, 2001. 104(8): p. 788-90.
34. Dietz HG and Schlickewei W, *Femoral shaft fractures in children.* Unfallchirurg, 2011. 114(5): p. 382-7.
35. Dietz HG, Schmittenbecher PP and Illing P, *Intramedulläre Osteosynthese im Wachstumsalter*. 1997, Kösel, Kempten: Urban & Schwarzenberg.
36. Dong Z and Shi MQ, *An investigation of the improvement of the management for supracondylar fractures of humerus and prevention of complications.* Zhongguo Gu Shang, 2009. 22(5): p. 329-30.
37. Ertl JP, Barrack RL, Alexander AH and VanBuecken K, *Triplane fracture of the distal tibial epiphysis. Long-term follow-up.* J Bone Joint Surg Am, 1988. 70(7): p. 967-76.
38. Farsetti P, Potenza V, Caterini R and Ippolito E, *Long-term results of treatment of fractures of the medial humeral epicondyle in children.* J Bone Joint Surg Am, 2001. 83-A(9): p. 1299-305.
39. Fernandez FF, Egenolf M, Carsten C, Holz F, Schneider S and Wentzensen A, *Unstable diaphyseal fractures of both bones of the forearm in children: plate fixation versus intramedullary nailing.* Injury, 2005. 36(10): p. 1210-6.
40. Fernandez FF, Langendorfer M, Wirth T and Eberhardt O, *Failures and complications in intramedullary nailing of children's forearm fractures.* J Child Orthop, 2010. 4(2): p. 159-67.
41. Flynn JC, Matthews JG and Benoit RL, *Blind pinning of displaced supracondylar fractures of the humerus in children. Sixteen years' experience with long-term follow-up.* J Bone Joint Surg Am, 1974. 56(2): p. 263-72.
42. Flynn JM, Sarwark JF, Waters PM, Bae DS and Lemke LP, *The surgical management of pediatric fractures of the upper extremity.* Instr Course Lect, 2003. 52: p. 635-45.
43. Flynn JM, Skaggs DL, Sponseller PD, Ganley TJ, Kay RM and Leitch KK, *The surgical management of pediatric fractures of the lower extremity.* Instr Course Lect, 2003. 52: p. 647-59.

44. Friberg KS, *Remodelling after distal forearm fractures in children. I. The effect of residual angulation on the spatial orientation of the epiphyseal plates.* Acta Orthop Scand, 1979. 50(5): p. 537-46.
45. Friberg KS, *Remodelling after distal forearm fractures in children. II. The final orientation of the distal and proximal epiphyseal plates of the radius.* Acta Orthop Scand, 1979. 50(6 Pt 2): p. 731-9.
46. Friberg KS, *Remodelling after distal forearm fractures in children. III. Correction of residual angulation in fractures of the radius.* Acta Orthop Scand, 1979. 50(6 Pt 2): p. 741-9.
47. Gebauer M, Rucker AH, Barvencik F and Rueger JM, *Therapy for radial head fractures.* Unfallchirurg, 2005. 108(8): p. 657-67; quiz 668.
48. Gunther P and Wessel LM, *Corrective interventions after elbow para-articular fractures in childhood.* Unfallchirurg, 2002. 105(5): p. 478-82.
49. Haddad RJ, Cook SD and Brinker MR, *A comparison of three varieties of noncemented porous-coated hip replacement.* J Bone Joint Surg Br, 1990. 72(1): p. 2-8.
50. Haddad RJ, Jr., Skalley TC, Cook SD, Brinker MR, Cheramie J, Meyer R and Missry J, *Clinical and roentgenographic evaluation of noncemented porous-coated anatomic medullary locking (AML) and porous-coated anatomic (PCA) total hip arthroplasties.* Clin Orthop Relat Res, 1990(258): p. 176-82.
51. Harris WH, *Traumatic arthritis of the hip after dislocation and acetabular fractures: treatment by mold arthroplasty. An end-result study using a new method of result evaluation.* J Bone Joint Surg Am, 1969. 51(4): p. 737-55.
52. Hasler C and von Laer L, *Screw osteosynthesis in dislocated fractures of the radial condyle of the humerus in the growth period. A prospective long-term study.* Unfallchirurg, 1998. 101(4): p. 280-6.
53. Haxhija EQ, Mayr JM, Grechenig W and Hollwarth ME, *Treatment of medial epicondylar apophyseal avulsion injury in children.* Oper Orthop Traumatol, 2006. 18(2): p. 120-34.
54. Hertlein H, Aidelsburger P, Huber A, Hartl WH and Andress HJ, *Unstable pediatric femoral and forearm shaft fractures. Comparison between conservative treatment and stable intramedullary nailing.* Zentralbl Chir, 2000. 125(9): p. 756-62.
55. http://de.wikipedia.org/wiki/Maurice_Edmond_Müller. Zugriff am 11.04.2012.
56. http://www.aofas.org. Zugriff am 28.09.2006.
57. http://www.awmf.org. Zugriff am 21.09.2011.
58. http://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/006-016l-S1_Femurschaftfraktur.pdf. Zugriff am 13.02.2008.
59. http://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/006-040l_S1_Oberarmfraktur_proximal_2011-07.pdf. Zugriff am 02.11.2012. 2011.
60. http://www.li-la.org. Zugriff am 28.09.2005.
61. http://www.lila.de. Zugriff am 04.09.2007.
62. Hutchinson PH, Bae DS and Waters PM, *Intramedullary nailing versus percutaneous pin fixation of pediatric proximal humerus fractures: a comparison of complications and early radiographic results.* J Pediatr Orthop, 2011. 31(6): p. 617-22.
63. Josten C and Freitag S, *Monteggia and Monteggia-like-lesions: Classification, Indication, and Techniques in Operative Treatment.* European Journal of Trauma and Emergency Surgery, 2008. Urban & Vogel.
64. Jubel A, Andermahr J, Isenberg J, Schiffer G, Prokop A and Rehm KE, *Experience with elastic stable intramedullary nailing (ESIN) of shaft fractures in children.* Orthopade, 2004. 33(8): p. 928-35.
65. Jung HJ, Jung YB, Jang EC, Song KS, Kang KS, Kang SY and Lee JS, *Transradioulnar single Kirschner-wire fixation versus conventional Kirschner-wire fixation for unstable fractures of both of the distal forearm bones in children.* J Pediatr Orthop, 2007. 27(8): p. 867-72.
66. Kaiser MM, Kamphaus A, Massalme E and Wessel LM, *Percutaneous closed pin fixation of supracondylar fractures of the distal humerus in children.* Oper Orthop Traumatol, 2008. 20(4-5): p. 297-309.

67. Kaiser MM, Stratmann C, Zachert G, Schulze-Hessing M, Gros N, Eggert R and Rapp M, *Modification of elastic stable intramedullary nailing with a 3rd nail in a femoral spiral fracture model - results of biomechanical testing and a prospective clinical study.* BMC Musculoskelet Disord, 2014. 15: p. 3.
68. Kaiser MM, Wessel LM, Kraus R and Rapp M, *Alte und neue Konzepte in der Kindertraumatologie: Abschied von der Extensionsbehandlung.* Päd Praktische Pädiatrie, 2011. 17(17): p. 98-108.
69. Kaiser MM, Wessel LM, Zachert G, Stratmann C, Eggert R, Gros N, Schulze-Hessing M, Kienast B and Rapp M, *Biomechanical analysis of a synthetic femur spiral fracture model: Influence of different materials on the stiffness in flexible intramedullary nailing.* Clin Biomech (Bristol, Avon), 2011. 26(6): p. 592-7.
70. Kaiser MM, Zachert G, Wendlandt R, Eggert R, Stratmann C, Gros N, Schulze-Hessing M and Rapp M, *Increasing stability by pre-bending the nails in elastic stable intramedullary nailing: a biomechanical analysis of a synthetic femoral spiral fracture model.* J Bone Joint Surg Br, 2012. 94(5): p. 713-8.
71. Kaiser MM, Zachert G, Wendlandt R, Rapp M, Eggert R, Stratmann C, Wessel LM, Schulz AP and Kienast BJ, *Biomechanical analysis of a synthetic femoral spiral fracture model: Do end caps improve retrograde flexible intramedullary nail fixation?* J Orthop Surg Res, 2011. 6: p. 46.
72. Kang SN, Mangwani J, Ramachandran M, Paterson JM and Barry M, *Elastic intramedullary nailing of paediatric fractures of the forearm: a decade of experience in a teaching hospital in the United Kingdom.* J Bone Joint Surg Br, 2011. 93(2): p. 262-5.
73. Kiderlen MJ and Schlickewei W, *Operative procedures for intraarticular distal humerus fractures in children and adolescents.* Oper Orthop Traumatol, 2008. 20(4-5): p. 423-34.
74. Kitaoka HB, Alexander IJ, Adelaar RS, Nunley JA, Myerson MS and Sanders M, *Clinical rating systems for the ankle-hindfoot, midfoot, hallux, and lesser toes.* Foot Ankle Int, 1994. 15(7): p. 349-53.
75. Kitaoka HB, Schaap EJ, Chao EY and An KN, *Displaced intra-articular fractures of the calcaneus treated non-operatively. Clinical results and analysis of motion and ground-reaction and temporal forces.* J Bone Joint Surg Am, 1994. 76(10): p. 1531-40.
76. Knorr P, Joeris A, Lieber J, Schalamon J and Dietz H-G, *The Use of ESIN in Humerus Fractures.* European Journal of Trauma, 2005. 1(31): p. 12-18.
77. Krämer K-L and Maichl F-P, *Scores, Bewertungsschemata und Klassifikationen in Orthopädie und Traumatologie*. 1993: Georg Thieme Verlag Stuttgart NY.
78. Kraus R, Herbst U, Perler G, Schnettler R and Roder C, *Traumatic physeal separations of the distal tibia. Occurrence, forms, treatment strategies.* Unfallchirurg, 2011. 114(5): p. 403-10.
79. Kraus R, Schneidmüller D and Röder C, *Häufigkeit von Frakturen der langen Röhrenknochen im Wachstumsalter.* Deutsches Ärzteblatt, 2005. 102(12): p. A 838-842.
80. Kreusch-Brinker R and Noack W, *Injuries of the distal epiphysis of the humerus in the period of growth.* Unfallchirurgie, 1986. 12(2): p. 60-7.
81. Kuner EH, Mellios K and Berwarth H, *Treatment of complicated fracture of the distal radius with external fixator. Follow-up--complications--outcomes.* Unfallchirurg, 2002. 105(3): p. 199-207.
82. Lascombes P, Haumont T and Journeau P, *Use and abuse of flexible intramedullary nailing in children and adolescents.* J Pediatr Orthop, 2006. 26(6): p. 827-34.
83. Laurer H, Sander A, Wutzler S, Walcher F and Marzi I, *Therapy principles of distal fractures of the forearm in childhood.* Chirurg, 2009. 80(11): p. 1042-52.
84. Lee HH, Shen HC, Chang JH, Lee CH and Wu SS, *Operative treatment of displaced medial epicondyle fractures in children and adolescents.* J Shoulder Elbow Surg, 2005. 14(2): p. 178-85.
85. Lendemans S, Nast-Kolb D and Tager G, *Aitken grade III fracture of the medial malleolus. Operative technique.* Unfallchirurg, 2009. 112(2): p. 202-6.

86. Li WC and Xu RJ, *Comparison of Kirschner wires and AO cannulated screw internal fixation for displaced lateral humeral condyle fracture in children.* Int Orthop, 2012. 36(6): p. 1261-6.
87. Lindaman LM, *Bone healing in children.* Clin Podiatr Med Surg, 2001. 18(1): p. 97-108.
88. Linhart WE and von Laer L, *General considerations in the management of paediatric injuries.* Orthopade, 2005. 34(11): p. 1169-84, quiz 1185.
89. Logters T, Windolf J and Flohe S, *Fractures of the shaft of the femur.* Unfallchirurg, 2009. 112(7): p. 635-50; quiz 651.
90. Luhmann SJ, Schootman M, Schoenecker PL, Dobbs MB and Gordon JE, *Complications of titanium elastic nails for pediatric femoral shaft fractures.* J Pediatr Orthop, 2003. 23(4): p. 443-7.
91. Luhmann SJ, Schootman M, Schoenecker PL, Dobbs MB and Gordon JE, *Complications and outcomes of open pediatric forearm fractures.* J Pediatr Orthop, 2004. 24(1): p. 1-6.
92. Maier M and Marzi I, *Elastic stable intramedullary nailing of femur fractures in children.* Oper Orthop Traumatol, 2008. 20(4-5): p. 364-72.
93. Marsh JL, Slongo TF, Agel J, Broderick JS, Creevey W, DeCoster TA, Prokuski L, Sirkin MS, Ziran B, Henley B and Audige L, *Fracture and dislocation classification compendium - 2007: Orthopaedic Trauma Association classification, database and outcomes committee.* J Orthop Trauma, 2007. 21(10 Suppl): p. S1-133.
94. Marzi I, *Behandlungsprinzipien - Operative Therapiemöglichkeiten*, in *Kindertraumatologie*, 6. 2006, Steinkopff-Verlag: Darmstadt. p. 63-78.
95. Marzi I, *Ellenbogen*, in *Kindertraumatologie*, 13. 2006, Steinkopff-Verlag: Darmstadt. p. 154 ff.
96. Marzi I, *Frakturklassifikationen im Kindesalter*, in *Kindertraumatologie*, 3. 2006, Steinkopff-Verlag: Darmstadt. p. 23-29.
97. Marzi I, *Knochenwachstum und Knochenheilung*, in *Kindertraumatologie*, 1. 2006, Steinkopff-Verlag: Darmstadt. p. 3-13.
98. Marzi I, *Oberarm*, in *Kindertraumatologie*, 12. 2006, Steinkopff-Verlag: Darmstadt. p. 139 ff.
99. Marzi I, *Oberschenkel*, in *Kindertraumatologie*, 19. 2006, Steinkopff-Verlag: Darmstadt. p. 287 ff.
100. Marzi I, *Unterarm*, in *Kindertraumatologie*, 15. 2006, Steinkopff-Verlag: Darmstadt. p. 201-222.
101. Marzi I, *Unterschenkel*, in *Kindertraumatologie*, 21. 2006, Steinkopff-Verlag: Darmstadt. p. 337 ff.
102. Marzi I, *Verletzungsformen*, in *Kindertraumatologie*, 2. 2006, Steinkopff-Verlag: Darmstadt. p. 15-21.
103. Merchant TC and Dietz FR, *Long-term follow-up after fractures of the tibial and fibular shafts.* J Bone Joint Surg Am, 1989. 71(4): p. 599-606.
104. Morrey BF and Adams RA, *Semiconstrained arthroplasty for the treatment of rheumatoid arthritis of the elbow.* J Bone Joint Surg Am, 1992. 74(4): p. 479-90.
105. Mortier D and De Ridder K, *Flexible intramedullary nailing in the treatment of diaphyseal fractures of the femur in preschool children.* Acta Orthop Belg, 2008. 74(2): p. 190-4.
106. Müller-Mai C, David S and Ekkernkamp A, *Diagnostik kindlicher Frakturen.* Trauma und Berufskrankheit, 2006. 1(8): p. 28-37.
107. Müller-Mai CM and Ekkernkamp A, *Oberes Sprunggelenk*, in *Frakturen - Klassifikation und Behandlungsoptionen*, 14. 2010, Springer-Verlag: Berlin Heidelberg. p. 226-230.
108. Mulpuri K, Hosalkar H and Howard A, *AAOS clinical practice guideline: the treatment of pediatric supracondylar humerus fractures.* J Am Acad Orthop Surg, 2012. 20(5): p. 328-30.
109. Mulpuri K and Tritt BL, *Low incidence of ulnar nerve injury with crossed pin placement for pediatric supracondylar humerus fractures using a mini-open technique.* J Orthop Trauma, 2006. 20(3): p. 234; author reply 234.

110. Mulpuri K and Wilkins K, *The treatment of displaced supracondylar humerus fractures: evidence-based guideline.* J Pediatr Orthop, 2012. 32 Suppl 2: p. S143-52.
111. Narayanan UG, Hyman JE, Wainwright AM, Rang M and Alman BA, *Complications of elastic stable intramedullary nail fixation of pediatric femoral fractures, and how to avoid them.* J Pediatr Orthop, 2004. 24(4): p. 363-9.
112. Novoth B, Fekete K, Hargitai E, Kassai T, Kõvári T and Sashegyi M, *Die perkutane intramedulläre Reposition und Stabilisierung dislozierter Radiushalsfrakturen im Wachstumsalter.* Operative Orthopädie und Traumatologie, 2002(14): p. 313-322.
113. O'Brien T, Weisman DS, Ronchetti P, Piller CP and Maloney M, *Flexible titanium nailing for the treatment of the unstable pediatric tibial fracture.* J Pediatr Orthop, 2004. 24(6): p. 601-9.
114. Oberle M, Bonetta M and Schlickewei W, *Surgical treatment of epiphysiolyses of the distal femur and the proximal tibia.* Oper Orthop Traumatol, 2008. 20(4-5): p. 387-95.
115. Ostermann PA, Richter D, Mecklenburg K, Ekkernkamp A, Muhr G and Hahn MP, *Pediatric forearm fractures: indications, technique, and limits of conservative management.* Unfallchirurg, 1999. 102(10): p. 784-90.
116. Paneru SR, Rijal R, Shrestha BP, Nepal P, Khanal GP, Karn NK, Singh MP and Rai P, *Randomized controlled trial comparing above- and below-elbow plaster casts for distal forearm fractures in children.* J Child Orthop, 2010. 4(3): p. 233-7.
117. Pappas N, Lawrence JT, Donegan D, Ganley T and Flynn JM, *Intraobserver and interobserver agreement in the measurement of displaced humeral medial epicondyle fractures in children.* J Bone Joint Surg Am, 2010. 92(2): p. 322-7.
118. Pretell Mazzini J, Beck N, Brewer J, Baldwin K, Sankar W and Flynn J, *Distal metaphyseal radius fractures in children following closed reduction and casting: can loss of reduction be predicted?* Int Orthop, 2012. 36(7): p. 1435-40.
119. Pretell Mazzini J and Rodriguez Martin J, *Paediatric forearm and distal radius fractures: risk factors and re-displacement--role of casting indices.* Int Orthop, 2010. 34(3): p. 407-12.
120. Price CT, *Acceptable Alignment of Forearm Fractures in Children: Open Reduction Indications.* J Pediatr Orthop, 2010. 30(2 Supplement): p. 82-84.
121. Ramseier LE, Bhaskar AR, Cole WG and Howard AW, *Treatment of open femur fractures in children: comparison between external fixator and intramedullary nailing.* J Pediatr Orthop, 2007. 27(7): p. 748-50.
122. Ramseier LE, Janicki JA, Weir S and Narayanan UG, *Femoral fractures in adolescents: a comparison of four methods of fixation.* J Bone Joint Surg Am, 2010. 92(5): p. 1122-9.
123. Rodriguez-Merchan EC, *Pediatric fractures of the forearm.* Clin Orthop Relat Res, 2005(432): p. 65-72.
124. Rodriguez-Merchan EC, *Pediatric skeletal trauma: a review and historical perspective.* Clin Orthop Relat Res, 2005(432): p. 8-13.
125. Rössler H and Rüther W, in *Orthopädie und Unfallchirurgie*, 1+14. 2005, Elsevier - Urban und Fischer: München. p. 4, 7, 200-201.
126. Salter RB and Harris WR, *Injuries Involving the Epiphyseal Plate.* Journal of Bone and Joint Surgery Am., 1963. 45-A(3): p. 587-622.
127. Schaffer K, Bohm R and Dietz HG, *Elastic stable intramedullary nailing (ESIN) of supracondylar fractures of the humerus in children.* Unfallchirurg, 2007. 110(10): p. 852-8.
128. Schalamon J, Ainödhofer H, Joeris A, Knorr P, Lieber J and Höllwarth M, *Elastic Stable Intramedullary Nailing (ESIN) in Lower Leg Fractures.* European Journal of Trauma, 2005. 1: p. 19 - 23.
129. Schmidt CM, Mann D and Schnabel M, *Elastic stable intramedullary nailing as alternative therapy for pediatric Monteggia fractures.* Unfallchirurg, 2008. 111(5): p. 350-7.
130. Schmittenbecher P-P and Dietz H-G, *Elastic Stable Intramedullary Nailing of Femoral Shaft Fractures in Children ("Nancy-Nailing").* Orthopaedics and Traumatology, 1995. 4(4): p. 201-210.

131. Schmittenbecher PP, *Osteosynthesis in proximal forearm fractures in children.* Oper Orthop Traumatol, 2008. 20(4-5): p. 321-33.
132. Schmittenbecher PP, Blum J, David S, Knorr P, Marzi I, Schlickewei W and Schonecker G, *Treatment of humeral shaft and subcapital fractures in children. Consensus report of the child trauma section of the DGU.* Unfallchirurg, 2004. 107(1): p. 8-14.
133. Schneidmueller D and Marzi I, *Surgical treatment of fractures of the distal tibia in adolescents.* Oper Orthop Traumatol, 2008. 20(4-5): p. 354-63.
134. Schneidmuller D, Roder C, Kraus R, Marzi I, Kaiser M, Dietrich D and von Laer L, *Development and validation of a paediatric long-bone fracture classification. A prospective multicentre study in 13 European paediatric trauma centres.* BMC Musculoskelet Disord, 2011. 12: p. 89.
135. Sigge W, Behrens K, Roggenkamp K and Wurtenberger H, *Comparison of Blount's sling and Kirschner wire fixation in the treatment of a dislocated supracondylar humeral fracture in childhood.* Unfallchirurgie, 1987. 13(2): p. 82-90.
136. Slongo T, Audige L, Clavert JM, Lutz N, Frick S and Hunter J, *The AO comprehensive classification of pediatric long-bone fractures: a web-based multicenter agreement study.* J Pediatr Orthop, 2007. 27(2): p. 171-80.
137. Slongo T, Audige L, Lutz N, Frick S, Schmittenbecher P, Hunter J and Clavert JM, *Documentation of fracture severity with the AO classification of pediatric long-bone fractures.* Acta Orthop, 2007. 78(2): p. 247-53.
138. Slongo T, Audige L, Schlickewei W, Clavert JM and Hunter J, *Development and validation of the AO pediatric comprehensive classification of long bone fractures by the Pediatric Expert Group of the AO Foundation in collaboration with AO Clinical Investigation and Documentation and the International Association for Pediatric Traumatology.* J Pediatr Orthop, 2006. 26(1): p. 43-9.
139. Slongo TF, *Ante- and retrograde intramedullary nailing of humerus fractures.* Oper Orthop Traumatol, 2008. 20(4-5): p. 373-86.
140. Slongo TF, *Correction osteotomy of neglected "monteggia" lesion with an external fixator.* Oper Orthop Traumatol, 2008. 20(4-5): p. 435-49.
141. Smith VA, Goodman HJ, Strongwater A and Smith B, *Treatment of pediatric both-bone forearm fractures: a comparison of operative techniques.* J Pediatr Orthop, 2005. 25(3): p. 309-13.
142. Tager G, Hussmann B, Lendemans S and Nast-Kolb D, *Fractures of and near the epiphysis in children. Part II: lower extremity.* Unfallchirurg, 2009. 112(2): p. 185-99; quiz 200.
143. Tager G, Podleska LE, Ruchholtz S, Sommerfeldt D and Nast-Kolb D, *Fractures close to the epiphysis in children. Part I: upper extremities.* Unfallchirurg, 2007. 110(10): p. 867-82; quiz 883.
144. Tarr RR, Garfinkel AI and Sarmiento A, *The effects of angular and rotational deformities of both bones of the forearm. An in vitro study.* J Bone Joint Surg Am, 1984. 66(1): p. 65-70.
145. Till H, Huttl B, Knorr P and Dietz HG, *Elastic stable intramedullary nailing (ESIN) provides good long-term results in pediatric long-bone fractures.* Eur J Pediatr Surg, 2000. 10(5): p. 319-22.
146. Tripuraneni KR, Bosch PP, Schwend RM and Yaste JJ, *Prospective, surgeon-randomized evaluation of crossed pins versus lateral pins for unstable supracondylar humerus fractures in children.* J Pediatr Orthop B, 2009. 18(2): p. 93-8.
147. Ulmar B, Brunner A, Schwarz J, Kocak T, Stockle U, Mittlmeier T, Stuby F and Freude T, *Clinical results of surgically treated paediatric fractures of the medial humeral epicondyle.* Z Orthop Unfall, 2013. 151(1): p. 52-6.
148. van Egmond PW, Schipper IB and van Luijt PA, *Displaced distal forearm fractures in children with an indication for reduction under general anesthesia should be percutaneously fixated.* Eur J Orthop Surg Traumatol, 2012. 22(3): p. 201-207.
149. von Laer L, *Frakturen und Luxationen im Wachstumsalter*. p.144-147. Vol. 4. 2001, Stuttgart: Georg Thieme Verlag.

150. Von Laer L, *Surgical correction of the upper and lower arm of children.* Unfallchirurg, 2004. 107(7): p. 552-62.
151. von Laer L, *Frakturen im Wachstumsalter.* Trauma und Berufskrankheit, 2005. 1: p. 6 - 10.
152. von Laer L, Gruber R, Dallek M, Dietz H-G, Kurz W, Linhart W, Marzi I, Schmittenbecher P, Slongo T, Weinberg A and Wessel L, *Classification and Documentation of Children's Fractures.* European Journal of Trauma, 2000. No. 1(26): p. 2-14.
153. von Laer L, Gunter SM, Knopf S and Weinberg AM, *Supracondylar humerus fracture in childhood--an efficacy study. Results of a multicenter study by the Pediatric Traumatology Section of the German Society of Trauma Surgery--II: Costs and effectiveness of the treatment.* Unfallchirurg, 2002. 105(3): p. 217-23.
154. von Laer L and Hasler C, *Spontaneous corrections, growth disorders and post-traumatic deformities after fractures in the area of the forearm of the growing skeleton.* Handchir Mikrochir Plast Chir, 2000. 32(4): p. 231-41.
155. von Laer L and Kraus R, *Conservative treatment of fractures of the long bones during the growth phase.* Unfallchirurg, 2007. 110(10): p. 811-23.
156. Wahl D and Friedrich J, *Results of the treatment of avulsion fractures of the medial epicondyle of the humerus during the growth period.* Zentralbl Chir, 1986. 111(17): p. 1048-55.
157. Wang YL, Chang WN, Hsu CJ, Sun SF, Wang JL and Wong CY, *The recovery of elbow range of motion after treatment of supracondylar and lateral condylar fractures of the distal humerus in children.* J Orthop Trauma, 2009. 23(2): p. 120-5.
158. Weinberg A-M, Hasler C, Leitner A, Lampert C and von Laer L, *External Fixation of Pediatric Femoral Shaft Fractures.* European Journal of Trauma, 2000. 1(26): p. 25-32.
159. Weinberg A-M, Kasten P, Castellani C, Jablonski M, Hofmann U and Reilmann H, *Which Axial Deviation Results in Limitations of Pro- and Supination Following Diaphyseal Lower Arm Fracture in Childhood?* European Journal of Trauma, 2001. 27(27): p. 309-316.
160. Weinberg AM, Castellani C and Amerstorfer F, *Elastic Stable Intramedullary Nailing (ESIN) of forearm fractures.* Oper Orthop Traumatol, 2008. 20(4-5): p. 285-96.
161. Weinberg AM, Marzi I, Gunter SM, Wessel L, Riedel J and von Laer L, *Supracondylar humerus fracture in childhood--an efficacy study. Results of a multicenter study by the Pediatric Traumatology Section of the German Society of Trauma Surgery--I: Epidemiology, effectiveness evaluation and classification.* Unfallchirurg, 2002. 105(3): p. 208-16.
162. Wessel L, Seyfriedt CS, Hock S and Waag KL, *Pediatric tibial fractures: is conservative therapy still currently appropriate?.* Unfallchirurg, 1997. 100(1): p. 8-12.
163. Wolff J, *Das Gesetz der Transformation der Knochen*.Berlin: Verlag von August Hirschwald, 1892.
164. Yarar S, Sommerfeldt DW, Gehrmann S and Rueger JM, *Severely displaced radial neck fractures after minimally invasive joystick reduction and Prevot nailing: long-term course in childhood.* Unfallchirurg, 2007. 110(5): p. 460-6.
165. Yousri T, Tarassoli P, Whitehouse M, Monsell F and Khan WS, *Systematic review of randomized controlled trials comparing efficacy of crossed versus lateral K-wire fixation in extension type Gartland type III supracondylar fractures of the humerus in children.* Ortop Traumatol Rehabil, 2012. 14(5): p. 397-405.
166. Zanella FE and Piroth P, *Injuries of the medial epicondyle of the humerus in children. Conservative or surgical therapy?.* Rofo, 1985. 143(3): p. 346-50.
167. Zhao YG, Wang N and Tong W, *Kirschner wire cross fixation for the treatment of supracondylar fracture of the humerus in 126 cases of children.* Zhongguo Gu Shang, 2009. 22(11): p. 864-5.
168. Zhong ZP, Cao J, Zhou L, Xu RM, Chen Q, Pen LR and Ren R, *Comparison of two approaches for the treatment of supracondylar fractures in children by K-wires.* Zhongguo Gu Shang, 2009. 22(10): p. 767-9.

7 Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
sA	sichtbare Achsenabweichung
AO-Klassifikation	Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthese, Klassifikation für Frakturen bei Erwachsenen
AO-Ped-Klassifikation	Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthese, Klassifikation für Frakturen bei Kindern und Jugendlichen
BBC	Becken-Bein-Cast
BD	Bewegungsdefizit
BLD	Beinlängendifferenz
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CT	Computertomogramm/Computertomografie
d. h.	das heißt
Dig	Digitus = Finger
DGU	Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie
ESIN	Elastische Stabile Intramedulläre Nagelung
et al.	und weitere Autoren
FE	Fixateur externe
GK	Gipskeilung
ggf.	gegebenenfalls
K-Draht	Kirschner-Draht
LiLa	Licht und Lachen für kranke Kinder e. V.
Lj.	Lebensjahr
ME	Metallentfernung
MAYO	Mayo-Elbow-Performance-Score
Medianus	Nervus medianus Schädigung
MRT	Magnet-Resonanz-Tomographie
Ulnaris	Nervus ulnaris Schädigung
NU	Nachuntersuchung
OA	Oberarm
OP	Operation
OS	Oberschenkel
Pkt	Punkte
Prä-OP	prä-operativ, vor der OP
Radialis	Nervus radialis Schädigung
Re#	Refraktur
Repo	Reposition
s.	siehe
S.	Seite
sekDis	sekundäre Dislokation
S-H	Salter-Harris-Klassifikation
Tab.	Tabelle
u. a.	unter anderem
UA	Unterarm
US	Unterschenkel
v.a.	vor allem
vs.	versus
z.B.	zum Beispiel

8 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Formen der Fugenverletzungen in den Klassifikationen nach Salter und Harris (1963) sowie nach Aitken (1952) 8
Tabelle 2: Frakturlokalisationen (n=437 Frakturen) 36
Tabelle 3: Verteilung der Behandlungsmethoden je Lokalisation (n=437 Frakturen) 36
Tabelle 4: Behandlung und Outcome der proximalen Humerusfrakturen 37
Tabelle 5: Behandlung und Outcome der diaphysären zentralen Humerusfrakturen 38
Tabelle 6: Behandlung und Outcome der distalen Humerusfrakturen 39
Tabelle 7: Behandlung und Outcome der proximalen Radius- und Ulnafrakturen 43
Tabelle 8: Behandlung und Outcome der zentralen diaphysären Radius- und Ulnafrakturen 46
Tabelle 9: Behandlung und Outcome der distalen Radius-und Ulnafrakturen 48
Tabelle 10: Behandlung und Outcome der Femurfrakturen 51
Tabelle 11: Behandlung und Outcome der proximalen Tibia- und Fibulafrakturen 54
Tabelle 12: Behandlung und Outcome der zentralen Tibia- und Fibulafrakturen 55
Tabelle 13: Behandlung und Outcome der distalen Tibia- und Fibulafrakturen 56
Tabelle 14: Klassifikation der supracondylären Humerusfrakturen nach L. von Laer xviii
Tabelle 15: Score nach Flynn xxi
Tabelle 16: Score nach Flynn in deutscher Übersetzung xxi

9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufbau eines langen Röhrenknochens am Beispiel des Humerus mit zusätzlicher Beschriftung der Metaphysengrenzen 2
Abbildung 2: Mögliche Abgrenzung der Metaphyse anhand des Quadrates über der Epiphysenfuge 2
Abbildung 3: Schematische Darstellung der Epiphysenfugen 4
Abbildung 4: Metaphysäre Wulstfraktur 6
Abbildung 5: Formen diaphysärer Biegungsfrakturen 7
Abbildung 6: Übergangsfrakturen der distalen Tibia 9
Abbildung 7: Judet Klassifikation der proximalen Radiusschaftfrakturen 11
Abbildung 8: Klassifikation der supracondylären Humerusfrakturen nach L. von Laer 12
Abbildung 9: Supracondyläre Humerusfrakturen: Differenzierung der Typ-II-Frakturen 12
Abbildung 10: Femurschaftquerfraktur mit ESIN-Osteosynthese 22
Abbildung 11: 2.3.s.2.0 - nicht-dislozierte distale Radiuswulstfraktur eines Patienten dieser Studie 30
Abbildung 12: 4.2.s.3.1 - tolerabel-dislozierte Tibiaschaftfraktur im mittleren Drittel eines Patienten dieser Studie 30
Abbildung 13: LiLa-Klassifikation, Version 2 x
Abbildung 14: LiLa-Klassifikation - Gelenkfrakturen xi
Abbildung 15: LiLa-Klassifikation - Schaftfrakturen xii
Abbildung 16: Prinzip der AO-Ped-Klassifikation xiii
Abbildung 17: Einteilung diaphysärer Frakturen xiii
Abbildung 18: Einteilung epiphysärer Frakturen xiv
Abbildung 19: Einteilung der Monteggiafrakturen nach Bado xv
Abbildung 20: Einteilung der Wachstumsfugenverletzungen nach Aitken am Beispiel des distalen Femurs xvi
Abbildung 21: Einteilung der Wachstumsfugenverletzungen nach Salter und Harris xvii

10 Lebenslauf

Name	Elisabeth Gabriele Massalme
	geb. Spallek
Geburtstag	04.08.1983
Geburtsort	Hamburg

Schulische Laufbahn

1994 bis 2002	Sankt-Ansgar-Schule, Hamburg

Universitäre Ausbildung

2002 bis 2010	Studium der Humanmedizin an der Universität zu Lübeck
05/2010	Staatsexamen und Approbation

Arbeitsverhältnisse

10/2010 bis 12/2011	Assistenzärztin AHG-Klinik Lübeck, Psychiatrie und Psychotherapie
Seit 01/2012	Assistenzärztin Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Lübeck, Dermatologie

Zeitlicher Ablauf dieser Dissertation im Kontext zum Lebenslauf

09/2005	Annahme der Dissertationsarbeit, Recherche zu Vorstudien, Einarbeitung in die Thematik
10/2005 bis 10/2007	Erhebung der Daten und klinische Nachuntersuchungen
10/2007 bis 10/2008	Pausieren wegen Geburt des zweiten Kindes, während dieser Zeit Fortsetzung des Studiums der Humanmedizin mit zwei Kleinkindern
11/2008	Beginn der statistischen Auswertung
02/2009 bis 01/2010	Praktisches Jahr in Vollzeit, Pause der Dissertation
05/2010	Abschluss des Medizinstudiums mit Staatsexamen
06/2010 bis 09/2010	Statistische Auswertung der Ergebnisse
Ab 10/2010	Schriftliche Auswertung und Diskussion der Arbeit
10/2010 bis 12/2011	Assistenzärztin an der AHG-Klinik Lübeck, Weiterbildungszeit für Psychiatrie und Psychotherapie
Seit 01/2012	Assistenzärztin am Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Lübeck, Weiterbildungszeit für Dermatologie und Venerologie
04/2015	Abgabe der Arbeit

11 Wissenschaftliche Publikationen

Teilergebnisse dieser Studie wurden 2008 in dem Journal “Operative Orthopädie und Traumatologie“ unter dem Titel „Gekreuzte Kirschner-Drahtosteosynthese der supracondylären Humerusfraktur bei Kindern“ veröffentlicht:

a) Kaiser MM, Kamphaus A, Massalme E und Wessel LM: Percutaneous closed pin fixation of supracondylar fractures of the distal humerus in children. Oper Orthop Traumatol 20, 297-309 (2008)

Ebenso wurden zu den Themen LiLa-Klassifikation und Epidemiologie publiziert:

b) Kamphaus A, Rapp M, Wessel LM, Buchholz M, Massalme E, Schneidmüller D, Roeder C und Kaiser MM: LiLa classification for paediatric long bone fractures: Intraobserver and interobserver reliability. Unfallchirurg (2013)

c) Kamphaus A, Rapp M, Wessel LM, Massalme E, Kaiser MM: Epidemiologie von Frakturen der langen Röhrenknochen im Kindesalter – Prospektive Erfassung unter Berücksichtigung der LiLa-Klassifikation. Praktische Päd (18) 2012

12 Danksagung

An einem großen Projekt sind viele Helfer notwendig. An erster Stelle danke ich meinem Doktorvater Prof. Dr. med. Martin M. Kaiser, ohne den dieses Projekt nicht zustande gekommen wäre. Ebenso danke ich allen Mitarbeitern der Kinderchirurgie Lübeck, für die freundliche Atmosphäre sowie den zeitlich unbegrenzten Zutritt zum Archiv. Selbstverständlich danke ich meiner Mitstreiterin Dr. med. Anna Kamphaus für die gute, vertrauensvolle und zuverlässige Zusammenarbeit, sowie das gegenseitige Mutmachen und Festhalten an unserem Projekt. Weiterhin danke ich Frau Dr. med. Marion Rapp, die mit viel Geduld und Engagement die ersten Versionen meiner Arbeit gelesen und kritisiert hat.

Besonderer Dank gilt meiner Schwester Johanna Spallek und meiner Mutter Ulrike Spallek, die sich die Zeit genommen haben, auch als Nicht-Medizinerinnen die Arbeit zu lesen und diese auf Verständlichkeit und Grammatik zu überprüfen.
Besonderer Dank an meine beiden Kinder, Franziska Sophia und Johann Ferdinand, die trotz ihres jungen Alters immer wieder auf meine Anwesenheit bei Ausflügen verzichtet und mit viel Verständnis über meine Ungeduld hinweggesehen haben.
Viel Dank gilt meinem Ehemann Dr. med. Maximilian Samir, der stundenlange Diskussionen aushalten konnte und der immer an das Gelingen der Arbeit geglaubt hat.
In diesem Zusammenhang vielen Dank an alle anderen, die sich ebenfalls Zeit für meine Sorgen genommen haben und mit Rat und Unterstützung mir jederzeit zur Seite standen: meine Eltern, Ulrike und Dr. med. Wolfgang Spallek, meine Schwestern Irene und Johanna Spallek und meine Brüder Klemens und Richard Spallek.

13 Anhang

13.1 Patienten- und Elternaufklärung

LiLa – Licht und Lachen für kranke Kinder – Effizienz in der Medizin e.V.

Patienten und Eltern - Information

Liebe Patientin, lieber Patient, liebe Eltern,

Du (Ihr Kind) befindest Dich derzeit wegen eines Knochenbruchs in ärztlicher Behandlung. Zur weiteren Verbesserung der Behandlungsmöglichkeiten bei Verletzungen im Wachstumsalter und zur Qualitätssicherung werden die Behandlungsdaten an vielen Kliniken der Schweiz, Österreich und Deutschland durch den gemeinnützigen Verein LiLa (www.Li-La.org) in Zusammenarbeit mit dem Institut für Evaluative Forschung in Orthopädischer Chirurgie der Universität Bern gesammelt und ausgewertet.

Das Projekt wurde der Kantonalen Ethik-Kommission des Kantons Bern zur Begutachtung vorgelegt. Nach eingehender Prüfung wurde es am 26.11.2002 gut geheißen.

Deine individuelle Behandlung und Nachbetreuung (bzw. die Ihres Kindes) ändert sich durch die Teilnahme an der Studie nicht!
Jede teilnehmende Klinik und Praxis behandelt Ihre Patientinnen und Patienten wie zuvor!

Hinweise zum Datenschutz

Zugang zu den vertraulichen, persönlichen Daten, die auf höchstem technischen Niveau gesichert sind, haben ausschließlich die Dir/Ihnen bekannten behandelnden Ärzte. Diese unterliegen selbstverständlich der gesetzlichen ärztlichen Schweigepflicht. Die Weitergabe von medizinischen Daten erfolgt ausschließlich anonymisiert und verschlüsselt zu statistischen und wissenschaftlichen Zwecken. Du (Ihr Kind) und Deine Eltern (Sie) werden darin unter keinen Umständen namentlich genannt. Auch in etwaigen Veröffentlichungen in Fachzeitschriften und Fachbüchern zu dieser Medizinischen Studie erfolgt keine Namensnennung.

Zur Qualitätssicherung bietet die online- Dokumentation den behandelnden Ärzte die Möglichkeit, die erhobenen Daten in Deine / Ihre Patientenunterlagen einzufügen und auszuwerten. Dies erfordert die elektronische Übermittlung die Übermittlung zusätzlicher persönlicher Daten (Name, Adresse, Geburtsdatum etc.) und geschieht nur, wenn ein ausdrückliches Einverständnis hierfür vorliegt. Auch und gerade hier erfolgt der Datenschutz selbstverständlich auf höchstem Niveau. Persönliche Daten werden nach der Integration in Deine / Ihre Patientenunterlagen wieder gelöscht.

Informationen zur Freiwilligkeit und zum vorzeitigen Ausscheiden aus der Studie

Die Freigabe der Behandlungsdaten zu dieser Sammelstudie erfolgt uneingeschränkt freiwillig. Du kannst (Sie können) jederzeit ohne Angabe von Gründen aus der Dokumentation ausscheiden. Hierzu reicht eine einfache mündliche Mitteilung an den behandelnden Arzt. Es werden dann umgehend sämtliche persönlichen und medizinischen Daten aus dem Studienarchiv gelöscht.

Die Ablehnung der Teilnahme oder ein vorzeitiges Ausscheiden aus dieser Dokumentation hat keine nachteiligen Folgen für Deine medizinische Betreuung!

Patienten / Elterninformation Dokumentationsstudie LiLa 2005 24.08.05

13.2 Schriftliche Einverständniserklärung zur Verwendung von Daten des Kindes

LiLa – Licht und Lachen für kranke Kinder – Effizienz in der Medizin e.V.

Schriftliche Einverständniserklärung

zur Verwendung von Daten Ihres Kindes

- Bitte lesen sie dieses Formular vor Unterschrift sorgfältig durch
- Bitte fragen Sie Ihre behandelnden Ärzte, wenn Sie etwas nicht verstehen oder zusätzlich wissen möchten

Patientenetikett	MRN Nummer:

- Ich wurde vom unterzeichnenden Arzt mündlich und schriftlich über Ziele, Zweck und Ablauf der Studie, über mögliche Vor- und Nachteile sowie über Risiken für mein Kind informiert.
- Ich habe die zur oben genannten Studie abgegebene schriftliche Patienteninformation gelesen und verstanden. Meine Fragen im Zusammenhang mit dieser Studie sind mir zufriedenstellend beantwortet worden. Ich kann die schriftliche Patienteninformation behalten und erhalte eine Kopie dieser Einverständniserklärung.

- Ich hatte ausreichend Zeit, um meine Entscheidung für oder gegen die Teilnahme an dieser Studie zu treffen.

- Ich nehme an dieser Studie freiwillig teil. Ich kann jederzeit und ohne Angaben von Gründen meine Zustimmung zur Teilnahme widerrufen, ohne dass deswegen meinem Kind Nachteile bei der weiteren medizinischen Betreuung entstehen.
- Ich bin damit einverstanden, dass die zuständigen Fachleute von „LiLa – Licht und Lachen für kranke Kinder – Effizienz in der Medizin“ e.V., MEMdoc, Universität Bern und der kantonalen Ethik-Kommission des Kantons Bern zu Prüf- und Kontrollzwecken in die Originaldaten meines Kindes, selbstverständlich unter Einhaltung strikter Vertraulichkeit, Einsicht nehmen dürfen.

- Sollten sich Fragen bezüglich der Studie ergeben, kann ich mich jederzeit an die behandelnden Ärzte oder den Studienkoordinator, Herrn Dr. R. Kraus, Oberarzt der Klinik und Poliklinik für Unfallchirurgie der Justus-Liebig-Universität, Giessen wenden (Tel.: 0049 641 99 44200, Email: Ralf.Kraus@chiru.med.uni-giessen.de).

Ort, Datum	Unterschrift Patient / gesetzl. Vertreter
Ort, Datum	evtl. Unterschrift Zeuge / Übersetzer
Zusatzerklärung Zur Weitergabe persönlicher, nicht anonymisierter Daten. Ich bin ausdrücklich einverstanden, dass persönliche Daten meines Kindes aus Gründen der Dokumentation und Qualitätssicherung online übermittelt werden, unter Einhaltung der ärztlichen Schweigepflicht und mit maximal möglichen Sicherheitsvorkehrungen.	
Ort, Datum	Unterschrift Patient / gesetzl. Vertreter
Ort, Datum	Unterschrift der Prüfarztes / behandelnden Arztes

Kopie bitte dem Patienten, bzw. seinen Eltern aushändigen!

Einverständniserklärung Dokumentationsstudie LiLa 2005 Version 24.08.05

13.3 Postalische Aufklärung der Eltern

Sehr geehrte Eltern,

Ihr/e Sohn/Tochter wurde in unserer Klinik für Kinderchirurgie des Universitätsklinikums Lübeck wegen eines Knochenbruchs behandelt.

Zur Zeit führen wir zusammen mit mehreren Kliniken eine Studie über Knochenbrüche im Kindes- und Jugendalter durch. Ziel dieser Untersuchung ist es, langfristig die Behandlung der kindlichen Knochenbrüche zu analysieren und zu verbessern.

Hierzu sind 2 Dinge für Sie wichtig:

- Persönliche Daten, wie Name, Adresse oder Telefonnummer, werden nicht verwendet und weiter gegeben. Wir benötigen Daten wie Alter und Geschlecht des Kindes sowie Daten zum Unfallhergang, der Behandlung und des Verlaufes. Diese Daten werden anonymisiert und statistisch ausgewertet.

- Durch Ihre Teilnahme ändert sich nichts an der Behandlung Ihres Kindes, an Sie und Ihr Kind werden keine zusätzlichen Anforderungen gestellt, sondern nur die im Rahmen der Behandlung des Knochenbruches üblichen Untersuchungen durchgeführt. Weiterhin entbinden Sie durch ihre Unterschrift die Ärzte nicht von ihrer Schweigepflicht. Sie können jederzeit wieder von Ihrer Einverständniserklärung zurücktreten.

Wir bitten Sie daher herzlich, sich die Einverständniserklärung und den Elterninformationsbogen sorgfältig durchzulesen, zu unterschreiben und in dem beigefügten Rückumschlag an die Kinderchirurgie zurückzusenden.

Sollten Sie nicht einverstanden sein, schicken Sie die Einverständniserklärung bitte ohne Unterschrift trotzdem zurück!

Bei Fragen können Sie sich gerne an uns unter folgender Rufnummer wenden:
OA Dr. med. M. Kaiser, Tel. 0451-500-2127 oder
Fr. Lange, Sekretariat Professor Wessel, Tel. 0451-500-2581 oder Fax 6206.
Vielen Dank für ihre Mithilfe,

Dr. med. M. Kaiser	A. Kamphaus	E. Massalme
(Oberarzt der Klinik)	(Assistentin)	(Assistentin)

13.4 Der Frakturerhebungsbogen (Primärbogen 2005)

LiLa 2005 Kinderfrakturenregister

Li-La Licht und Lachen für kranke Kinder - Effizienz in der Medizin e.V.

PRIMÄRBOGEN 2005

Fragetypen
○ ○ *nur 1 Antwort erlaubt*
☐ *mehrere Antworten erlaubt*

Seite ○ ○ rechts ○ ○ links

Nachname	Vorname	Geschlecht
Strasse		Pat.-Nr.
Postleitzahl	Wohnort	
Beruf	Geburtstag (TT.MM.JJJJ)	Telefon

Aufnahme

Unfalldatum
Tag ○1 ○2 ○3 ○4 ○5 ○6 ○7 ○8 ○9 ○10 ○11 ○12 ○13 ○14 ○15 ○16 ○17 ○18 ○19 ○20 ○21 ○22 ○23 ○24 ○25 ○26 ○27 ○28 ○29 ○30 ○31
Monat ○1 ○2 ○3 ○4 ○5 ○6 ○7 ○8 ○9 ○10 ○11 ○12 Jahr ○04 ○05 ○06 ○07 ○08 ○09 ○10 ○11 ○12 ○13 ○14 ○15 ○16

Aufnahmedatum
Tag ○1 ○2 ○3 ○4 ○5 ○6 ○7 ○8 ○9 ○10 ○11 ○12 ○13 ○14 ○15 ○16 ○17 ○18 ○19 ○20 ○21 ○22 ○23 ○24 ○25 ○26 ○27 ○28 ○29 ○30 ○31
Monat ○1 ○2 ○3 ○4 ○5 ○6 ○7 ○8 ○9 ○10 ○11 ○12 Jahr ○04 ○05 ○06 ○07 ○08 ○09 ○10 ○11 ○12 ○13 ○14 ○15 ○16

Art und Ort des Unfalls
☐ kein Unfall ☐ Sport ☐ Verkehrsunfall: Fahrrad ☐ andere .....
☐ Zu Hause ☐ Spielplatz ☐ Verkehrsunfall: Fussgänger
☐ Schule/Kindergarten ☐ Verkehrsunfall: Mitfahrer ☐ Kindesmissbrauch

Zusätzliche Verletzungen ○ ○ ja ○ ○ nein
Nerven- und Gefässverletzungen ○ ○ ja ○ ○ nein

Haut- und Weichteilverletzungen ○ ○ keine ○ ○ geschlossen, erstgradig ○ ○ geschlossen, zweitgradig ○ ○ geschlossen, drittgradig ○ ○ offen, erstgradig ○ ○ offen, zweitgradig ○ ○ offen, drittgradig

Fraktur / Luxation ○ ○ Fraktur ○ ○ Schulterluxation ○ ○ Ellenbogenluxation ○ ○ Radiusköpfchenluxation (Monteggia) ○ ○ Hüftluxation ○ ○ Patellaluxation ○ ○ andere Luxation

Frakturtyp ○ ○ frisch ○ ○ pathologisch ○ ○ Re - Fraktur ○ ○ andere .....

Fraktur-Klassifikation

1. Anatomische Lokalisation ○ ○ 1. Oberarm ○ ○ 2. Unterarm ○ ○ 3. Oberschenkel ○ ○ 4. Unterschenkel
2. Segment ○ ○ 1. proximal ○ ○ 2. Mitte ○ ○ 3. distal

3. Gelenkbeteiligung ○ ○ S. Schaft / nicht-artikulär ○ ○ A. artikulär

4. Frakturtyp

S. Schaft: meta- und diaphysäre Frakturen = nicht-artikulär
○ ○ 1. Epiphysenlösung mit oder ohne metaphysären Keil (Salter I und II)
○ ○ 2. Meta- u. Diaphyse: Stauchungs- (Wulst-) u. Grünholzfraktur
○ ○ 3. Meta- u. Diaphyse: Komplette Fraktur: Quer-/ Schräg-/ TorsionsFx
○ ○ 4. Meta- u. Diaphyse: Trümmerfraktur
○ ○ 5. andere

Bitte klassifizieren Sie alle Gelenkfrakturen der oberen Extremität als "5. andere".
Distale Humerusfrakturen bitte unter "Ausnahmen" klassifizieren.

A. artikuläre = epiphysäre Frakturen
○ ○ 1. Epiphysäre Fraktur (Salter III)
○ ○ 2. Epiphysäre Fraktur mit metaphysärem Keil (Salter IV)
○ ○ 3. Twoplane-Fraktur (Übergangsfraktur)
○ ○ 4. Triplane-Fraktur (Übergangsfraktur)
○ ○ 5. andere

Ausnahmen!

A. artikuläre Frakturen des distalen Humerus
○ ○ 1. Condylus radials humeri
○ ○ 2. Y - Fraktur
○ ○ 3. Condylus ulnaris Fraktur
○ ○ 4. (unbelegt)
○ ○ 5. andere

5. Dislokation ○ ○ 0. keine Dislokation ○ ○ 1. tolerierbar ○ ○ 2. nicht tolerierbar

6. Paarige Knochen ○ ○ U. Ulna ○ ○ F. Fibula
>> Zur Klassifikation des Gegenknochens: bei isolierten Ulna- bzw. Fibulafrakturen, bei Olekranonfrakturen

Beschreibung der Fraktur in Worten _____

Frakturcode z.B. komplette, nicht dislozierte Oberschenkelschaftfraktur 3.2.S.3.0
>>> setzt sich aus den Antworten 1 - 6 der Frakturklassifikation zusammen
>>> bitte Zahlen von Hand eintragen (6.Stelle optional!)
☐.☐.☐.☐.☐.(☐)

SPEZIFIKATION DISLOKATION

Varusfehlstellung (°) ☐ **Valgusfehlstellung** (°) ☐
Antekurvation (°) ☐ **Rekurvation** (°) ☐

Ad latus Verschiebung ○ ○ keine ○ ○ um Kortikalisbreite, weniger als 1/3 d. Knochendurchmessers ○ ○ um mehr als die Hälfte ○ ○ um weniger als die Hälfte ○ ○ um die vollständige Knochenbreite
Drehfehler Tibia ○ ○ vorhanden ○ ○ nicht vorhanden

Status Epiphysenfuge ○ ○ nicht beurteilbar (Fuge im Rx nicht dargestellt) ○ ○ partiell geschlossen ○ ○ offen ○ ○ vollständig geschlossen

Copyright MEMdoc, 2002-2005 All rights reserved
10.08.05

LILA 2005 Kinderfrakturenregister

PRIMÄRBOGEN
Seite 2 von 2

Behandlung

Behandlungsdatum

Tag ○1 ○2 ○3 ○4 ○5 ○6 ○7 ○8 ○9 ○10 ○11 ○12 ○13 ○14 ○15 ○16 ○17 ○18 ○19 ○20 ○21 ○22 ○23 ○24 ○25 ○26 ○27 ○28 ○29 ○30 ○31
Monat ○1 ○2 ○3 ○4 ○5 ○6 ○7 ○8 ○9 ○10 ○11 ○12 Jahr ○04 ○05 ○06 ○07 ○08 ○09 ○10 ○11 ○12 ○13 ○14 ○15 ○16

Primäre Entscheidung ○ Reposition ○ Redression ○ Immobilisation

Art der Reposition ○ geschlossen ○ offen ○ arthroskopisch

Post-Repositionsbehandlung
☐ Gips ☐ Fixateur Externe ☐ Platte(n)
☐ Gips, Keilung beabsichtigt ☐ ESIN (Elastischer Marknagel) ☐ Schrauben
☐ K - Draht ☐ Cerclage ☐ andere .....

Redressionsbehandlung
☐ Gipskeilung ☐ Extension durch Pflaster ☐ Extension durch Steinmann-Nagel
☐ Blountsche Schlinge ☐ Extension durch K-Draht ☐ andere .....

Zusätzliche lokale Eingriffe ○ ja ○ nein

Anästhesie / Sedierung
☐ keine ☐ Sedierung ☐ Lokalanästhesie
☐ Regionalanästhesie ☐ Vollnarkose ☐ andere .....

Fehlstellung nach Therapie (nur wenn Rx) ○ wie zuvor ○ verändert ○ nicht kontrolliert ○ beseitigt

>>> falls Antwort "verändert" bitte folgende Fragen ausfüllen:

SPEZIFIKATION DISLOKATION II

Varusfehlstellung (°) ☐ **Valgusfehlstellung** (°) ☐
Antekurvation (°) ☐ **Rekurvation** (°) ☐
Ad latus Verschiebung ○ keine ○ um Kortikalisbreite, weniger als 1/3 d. Knochendurchmessers
○ um mehr als die Hälfte ○ um weniger als die Hälfte ○ um die vollständige Knochenbreite
Drehfehler Tibia ○ vorhanden ○ nicht vorhanden

Status Epiphysenfuge ○ nicht beurteilbar (Fuge im Rx nicht dargestellt) ○ partiell geschlossen
○ offen ○ vollständig geschlossen

Verlauf / Entlassung

Entlassungsdatum

Tag ○1 ○2 ○3 ○4 ○5 ○6 ○7 ○8 ○9 ○10 ○11 ○12 ○13 ○14 ○15 ○16 ○17 ○18 ○19 ○20 ○21 ○22 ○23 ○24 ○25 ○26 ○27 ○28 ○29 ○30 ○31
Monat ○1 ○2 ○3 ○4 ○5 ○6 ○7 ○8 ○9 ○10 ○11 ○12 Jahr ○04 ○05 ○06 ○07 ○08 ○09 ○10 ○11 ○12 ○13 ○14 ○15 ○16

Lokale / allgemeine Komplikationen
☐ keine ☐ Lokale Infektion ☐ sekundäre Fehlstellung m. Therapieänderung
☐ Kompartmentsyndrom ☐ Nachreposition ☐ andere .....

>>> falls Antwort "Nachreposition" oder "sekundäre Fehlstellung m. Therapieänderung" bitte Feld **Behandlung II** *ausfüllen!*

Status der Komplikationen zum Entlassungszeitpunkt
○ geheilt ○ unverändert
○ gebessert ○ tot

Behandlung II

Behandlungsdatum

Tag ○1 ○2 ○3 ○4 ○5 ○6 ○7 ○8 ○9 ○10 ○11 ○12 ○13 ○14 ○15 ○16 ○17 ○18 ○19 ○20 ○21 ○22 ○23 ○24 ○25 ○26 ○27 ○28 ○29 ○30 ○31
Monat ○1 ○2 ○3 ○4 ○5 ○6 ○7 ○8 ○9 ○10 ○11 ○12 Jahr ○04 ○05 ○06 ○07 ○08 ○09 ○10 ○11 ○12 ○13 ○14 ○15 ○16

Therapientscheidung ○ Reposition ○ Redression ○ Immobilisation

Art der Reposition ○ geschlossen ○ offen ○ arthroskopisch
Post-Repositionsbehandlung
☐ Gips ☐ Fixateur Externe ☐ Platte(n)
☐ Gips, Keilung beabsichtigt ☐ ESIN (Elastischer Marknagel) ☐ Schrauben
☐ K - Draht ☐ Cerclage ☐ andere .....

Redressionsbehandlung
☐ Gipskeilung ☐ Extension durch Pflaster ☐ Extension durch Steinmann-Nagel
☐ Blountsche Schlinge ☐ Extension durch K-Draht ☐ andere .....

Zusätzliche lokale Eingriffe ○ ja ○ nein
Anästhesie / Sedierung
☐ keine ☐ Sedierung ☐ Lokalanästhesie
☐ Regionalanästhesie ☐ Vollnarkose ☐ andere .....

Fehlstellung nach Therapie (nur wenn Rx) ○ wie zuvor ○ verändert ○ nicht kontrolliert ○ beseitigt

Copyright MEMdoc, 2002-2005 All rights reserved
10.08.05

13.5 Der Nachuntersuchungsbogen (Follow-up-Bogen 2005)

LiLa 2005 Kinderfrakturenregister

Li-La Licht und Lachen für kranke Kinder - Effizienz in der Medizin e.V.

NACHUNTERSUCHUNG 2005

Anweisungen
- *Benutzen Sie einen weichen #2 Bleistift zur Markierung.*
- *Textantworten sind online auszufüllen.*
- *Felder sind komplett auszufüllen.*

Seite: ○ rechts ○ links

Fragetypen
○ *nur 1 Antwort erlaubt*
☐ *mehrere Antworten erlaubt*

Nur zum internen Gebrauch. Nicht vom Scanner gelesen.

Nachname	Vorname	Geschlecht
Strasse		Pat.-Nr.
Postleitzahl	Wohnort	
Beruf	Geburtstag (TT.MM.JJJJ)	Telefon

KLINISCHE BEURTEILUNG

Untersuchungsdatum

Tag ○1 ○2 ○3 ○4 ○5 ○6 ○7 ○8 ○9 ○10 ○11 ○12 ○13 ○14 ○15 ○16 ○17 ○18 ○19 ○20 ○21 ○22 ○23 ○24 ○25 ○26 ○27 ○28 ○29 ○30 ○31
Monat ○1 ○2 ○3 ○4 ○5 ○6 ○7 ○8 ○9 ○10 ○11 ○12 **Jahr** ○04 ○05 ○06 ○07 ○08 ○09 ○10 ○11 ○12 ○13 ○14 ○15 ○16

Behandlungsintervall ○ <= 6 Monate ..... ○ 13 - 24 Monate ○ 25 - 36 Monate ○ 7 - 12 Monate ○ > 36 Monate .....

Lokale Komplikationen ☐ keine ☐ lokale Infektion ☐ Nerven- / Gefässschaden ☐ andere .....

Vollbelastung ○ ja ○ nein

Druckschmerz ○ ja ○ nein

Schmerzlokalisation ☐ Frakturgebiet (Knochen) ☐ Weichteile

Teilnahme am Schulsport ○ wie vorher ○ eingeschränkt

Tägliche Aktivitäten ○ wie vorher ○ eingeschränkt

Ruhigstellung ○ keine ○ bis zu 4 Wochen ○ mehr als 4 Wochen

Implantat ○ keines ○ entfernt ○ noch nicht entfernt

Konsolidierung ○ vollständig ○ unvollständig

Remodelling ○ entfällt ○ vollständig ○ unvollständig

Dokumentation ○ keine ○ Röntgenbilder ○ fotografisch

Status Epiphysenfuge
○ nicht beurteilbar (Fuge im Rx nicht dargestellt)
○ offen
○ partiell geschlossen, physiologisch
○ vollständig geschlossen, physiologisch
○ vorzeitiger, posttraumatischer Verschluss, partiell
○ vorzeitiger, posttraumatischer Verschluss, vollständig

Konsequenzen
☐ weitere Nachuntersuchung ☐ keine weitere Nachuntersuchung
☐ Korrekturbehandlung .....

ACHSE UND FUNKTION

Primärer Frakturcode: ☐.☐.☐.☐.☐.(☐)

Sichtbare Deformität ○ ja ○ nein

Frontale Ebene ○ keine Deformität ○ Varus-Deformität ○ Valgus-Deformität

Sagittale Ebene ○ keine Deformität ○ Antekurvation ○ Rekurvation

Horizontale Ebene (nur bei Tibiafrakturen) ○ keine Deformität ○ Aussenrotationsfehlstellung ○ Innenrotationsfehlstellung

Anatomische Lokalisation
○ Oberarm ○ Ellbogen ○ Unterarm
○ Oberschenkel ○ Knie ○ Unterschenkel

Copyright MEMdoc, 2002-2005 All rights reserved
10.08.05

LILA 2005 Kinderfrakturenregister **NACHUNTERSUCHUNG**

Seite 2 von 2

ACHSE UND FUNKTION *(Fortsetzung)*

Im Falle einer Mobilitätseinschränkung:
Bitte geben Sie den Fuktionsverlust im Vergleich zur Gegenseite ein !!

- Schulter -

Mobilität Schulter ○ uneingeschränkt, symmetrisch ○ funktionelle Einschränkung auf der frakturierten Seite

Flexion (°) ____ **Extension** (°) ____ **Pronation** (°) ____ **Supination** (°) ____

- Ellbogen -

Mobilität Ellbogen ○ uneingeschränkt, symmetrisch ○ funktionelle Einschränkung auf der frakturierten Seite

Flexion (°) ____ **Extension** (°) ____ **Pronation** (°) ____ **Supination** (°) ____

- Handgelenk -

Mobilität Handgelenk ○ uneingeschränkt, symmetrisch ○ funktionelle Einschränkung auf der frakturierten Seite

Flexion (°) ____ **Extension** (°) ____ **Radiale Abduktion** (°) ____ **Ulnare Abduktion** (°) ____

- Hüftgelenk -

Mobilität Hüfte ○ uneingeschränkt, symmetrisch ○ funktionelle Einschränkung auf der frakturierten Seite

Flexion (°) ____ **Extension** (°) ____ **Innenrotation** (°) ____ **Aussenrotation** (°) ____

Abduktion (°) ____ **Adduktion** (°) ____

- Knie -

Mobilität Knie ○ uneingeschränkt, symmetrisch ○ funktionelle Einschränkung auf der frakturierten Seite

Flexion (°) ____ **Extension** (°) ____ **Innenrotation** (°) ____ **Aussenrotation** (°) ____

- Sprunggelenk -

Mobilität Sprunggelenk ○ uneingeschränkt, symmetrisch ○ funktionelle Einschränkung auf der frakturierten Seite

Flexion (plantar) (°) ____ **Extension (dorsal)** (°) ____ **Eversion** (°) ____ **Inversion** (°) ____

Gangbild ○ uneingeschränkt, symmetrisch ○ Hinken auf der frakturierten Seite

Beschreibung Gangbild
○ nicht frei auf Zehenspitzen ○ Trendelenburghinken
○ nicht frei auf Fersen ○ andere .....
○ nicht frei auf ebenem Boden

Beinlängendifferenz (funktionelle Prüfung)
○ keine
○ Verkürzung der gebrochenen Extremität ○ Verlängerung der gebrochenen Extremität

Verkürzung / Verlängerung (in 5 mm-Einheiten)
○5 ○10 ○15 ○20 ○25 ○30 ○35 ○40 ○45 ○50 ○55 ○60 ○65 ○70 ○75 ○80 ○85 ○90 ○95 ○100

Bemerkungen _____

Copyright MEMdoc, 2002-2005 All rights reserved
10.08.05

13.6 Das strukturierte Telefoninterview

Entwickelt nach dem „LiLa-Nachuntersuchungs-Bogen 2005“ von der Doktorandin Elisabeth G. Massalme, Autorin dieser Arbeit.

Wenn zum Zeitpunkt des Telefonates die Behandlung noch nicht abgeschlossen war oder wenn die Eltern von klinisch vorhandenen Defiziten bzw. Komplikationen berichteten, erfolgte die Einbestellung in die Universitätsklinik Schleswig-Holstein, Campus Lübeck. Dort wurde das Kind von der Doktorandin Elisabeth G. Massalme nachuntersucht. Befunde und Abschlussberichte aus anderen Kliniken wurden angefordert.

Allgemeiner Fragebogen:

1) Bei welchem Arzt haben Sie die Nachuntersuchungen wahrgenommen?

2) Hat Ihr Arzt die Behandlung für abgeschlossen erklärt?

Wenn ja: Wann hat die Abschlussuntersuchung stattgefunden?

Wenn nein: Ist Ihr Kind zurzeit in physiotherapeutischer Behandlung?
Welche Untersuchungen bzw. Therapien sind geplant?
Wann haben Sie den nächsten Termin zur Kontrolluntersuchung?
Bitte an die Eltern, Ihr Kind zur weiteren Untersuchung in der Universitätsklinik Schleswig-Holstein, Campus Lübeck vorzustellen oder die Befunde weiterzuleiten.

3) Sind nach der Entlassung aus der Kinderchirurgie der Universitätsklinik Schleswig-Holstein, Campus Lübeck lokale Komplikationen wie z. B. lokale Infektionen, Nervenschäden oder Gefäßschäden aufgetreten?

4) Kann Ihr Kind die betroffene Extremität voll belasten? Wenn ja: Seit wann?

5) Besteht an der Lokalisation der Fraktur ein Schmerz bei Druck?

6) Kann Ihr Kind am Schulsport / Kindergartensport / Vereinssport uneingeschränkt, so wie vor der Verletzung, teilnehmen? Wenn ja: Seit wann?
Wenn nein: Welche Defizite sind noch vorhanden? Sind diese noch in Behandlung?

Ersatzfrage bei Kleinkindern: Belastet Ihr Kind die betroffene Extremität wieder vollständig? Kann es uneingeschränkt, so wie vor der Verletzung, toben und sich auf Spielplätzen bewegen?
Wenn ja: Seit wann?

7) Kann Ihr Kind Tätigkeiten des Alltagslebens uneingeschränkt, so wie vor der Verletzung, ausführen?

8) Hat Ihr Kind im Verlauf der Behandlung Physiotherapie (Krankengymnastik) benötigt?
Wenn ja: Wie lange?

9) Waren/Sind Achsenabweichungen oder Deformitäten sichtbar?

Wenn ja: Bitte beschreiben Sie diese. Wie ist die Extremität geformt?

10) Sind im Verlauf Bewegungseinschränkungen aufgetreten?

Wenn ja: Sind diese noch vorhanden?
Sind diese behandelt worden?
Seit wann ist die Bewegungsfähigkeit seitengleich möglich?

Welche Bewegungen waren / sind eingeschränkt?
Welche Gelenke waren dabei betroffen?
(Hier wurden zum Teil Alltagsbewegungen und Tätigkeiten nach ihrer Durchführbarkeit in Abhängigkeit zur betroffenen Extremität ausgewählt und einzeln abgefragt)

11) Sind Komplikationen wie z. B. Refrakturen (erneuter Knochenbruch am gleichen Knochen) oder sekundäre Dislokationen (erneute Fehlstellung des Knochens) aufgetreten?
Wenn ja: Wann und wie wurden diese behandelt?
Erfolgte nach der Primärbehandlung eine Korrekturoperation mit Implantateinlage in einer anderen Klinik?
Wenn ja: Wann und wo fand diese Operation statt?
Es erfolgte die Befundanforderung in der genannten Klinik.

12) Wurde zum Abschluss ein Röntgenbild angefertigt?
Wenn ja: Was hat Ihr behandelnder Arzt dazu gesagt?

<u>Nur bei Immobilisation/ konservativer Behandlung:</u>
13) Wann konnte der Gips / die Gipsschiene / der Gilchrist-Verband / der Blount-Verband entfernt werden?

<u>Nur bei operativer Behandlung:</u>
14) Erfolgte die Metallentfernung des Implantats bereits in einer anderen Klinik?
Wenn ja: Wann und wo fand diese Operation statt?
Es erfolgte die Befundanforderung in der genannten Klinik.

<u>Nur untere Extremität:</u>
15) Fällt Ihnen an der Gangart ihres Kindes etwas auf?
Ist das Gangbild symmetrisch? Hinkt ihr Kind?
Kann es auf den Fersen bzw. auf den Zehenspitzen laufen? (Bewertung altersabhängig)

16) Sind die beiden Beine gleich lang?
Wenn nein: Welches Bein ist länger?
Um wie viele Zentimeter handelt es sich?

<u>Bei bestehenden Defiziten</u>:
Bitte an die Eltern, ihr Kind zur weiteren Untersuchung in der Universitätsklinik Schleswig-Holstein, Campus Lübeck, vorzustellen oder die auswärtigen Befunde weiterzuleiten.

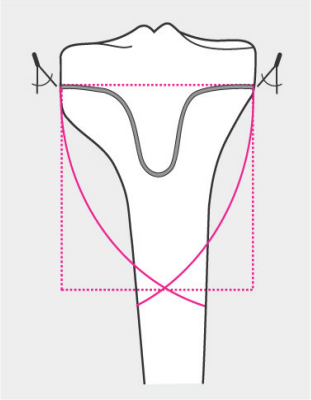
Vielen Dank für Ihre Mitarbeit!

13.7 Die LiLa-Klassifikation, Version 2

LiLa Klassifikation
Version 2

1. Stelle	2. Stelle	3. Stelle	4. Stelle	5. Stelle	6. Stelle
Lokalisation im Skelett: (***1-4***)	Lokalisation im Knochen (Segment): (***1-3***)	Morphologie: – Gelenk (***a***) – Schaft (***s***)	Spezifizierungen Morphologie: – Gelenk (***1-5***) – Schaft (***1-5***)	Dislokationsausmass: – undisloziert (***0***) – tolerabel (***1***) – nicht tolerabel (***2***)	(Ausnahme) paariger Knochen nicht tragend – Ulna (***U***) – Fibula (***F***)

- bei paarigen Knochen wird jeweils der haupttragende Knochen klassifiziert: **Radius** oder **Tibia**
- soll der Gegenknochen klassifiziert werden, so wird an 6. Stelle das **U** bzw. das **F** eingefügt (siehe Gelenkfrakturen Olekranon)
- die Metaphyse wird mit dem **Quadrat über der zugehörigen Fuge** definiert (Zirkelschlag von den Ecken der **Epiphysenfuge** aus)



Gelenkverletzungen die statistisch nicht ins Gewicht fallen, werden an der jeweiligen Lokalisation mit 5= andere klassifiziert (proximaler Humerus, proximaler und distaler Radius, proximale und distale Ulna und proximales Femur)

Abbildung 13: LiLa-Klassifikation, Version 2
aus [61, 96]

Gelenk

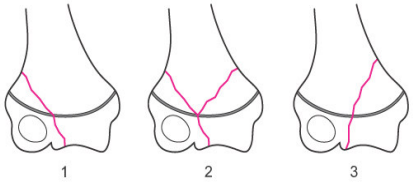
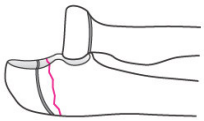
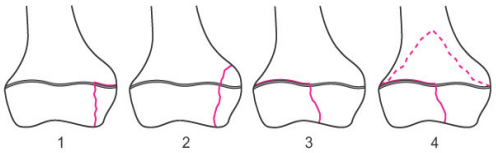
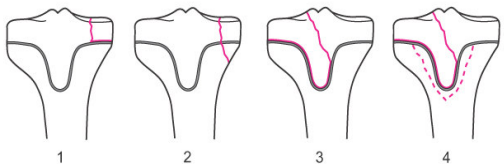
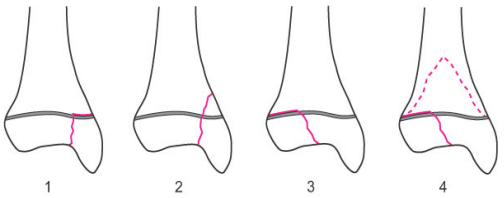
1.1.a.5.0-2.: andere **praktisch keine Gelenkfrakturen**, Flakes, Tuberkulumausrisse etc., werden unter andere (=5) subsumiert	**proximaler Humerus**
1.3.a.1-5.0-2. 1. Condylus radialis Fx 2. Y-Fx 3. Condylus ulnaris Fx 4. / (leer) 5. andere	
2.1.a.5.0-2.: andere **praktisch keine Gelenkfrakturen**, Übergangsfx, Meisel etc. beim Jugendlichen werden unter andere (=5) subsumiert	**proximaler Radius**
2.1.a.5.0-2.U: andere **kaum Gelenkfx**, artikuläre Olekranon Fx und Fx des Processus coronoideus werden unter andere (=5) subsumiert	
2.3.a.5.0-2.: andere **praktisch keine Gelenkfrakturen**, Übergangsfx etc. werden unter andere (=5) subsumiert	**distaler Radius**
3.1.a.5.0-2.: andere **praktisch keine Gelenkfrakturen**, Flakes etc. werden unter andere (=5) subsumiert	**proximales Femur**
3.3.a.1-5.0-2. 1. epiphysäre (Salter III) Fx bei offenen Fugen 2. epi-metaphysäre (Salter IV) Fx bei offenen Fugen 3. epiphysäre (two plane) Fx bei beg. Fugenschluss 4. epi-metaphysäre (triplane) Fx bei beg. Fugenschluss 5. andere	
4.1.a.1-5.0-2. 1. epiphysäre (Salter III) Fx bei offenen Fugen 2. epi-metaphysäre (Salter IV) Fx bei offenen Fugen 3. epiphysäre (two plane) Fx bei beg. Fugenschluss 4. epi-metaphysäre (triplane) Fx bei beg. Fugenschluss 5. andere	
4.3.a.1-5.0-2. 1. epiphysäre (Salter III) Fx bei offenen Fugen 2. epi-metaphysäre (Salter IV) Fx bei offenen Fugen 3. epiphysäre (two plane) Fx bei beg. Fugenschluss 4. epi-metaphysäre (triplane) Fx bei beg. Fugenschluss 5. andere	

Abbildung 14: LiLa-Klassifikation - Gelenkfrakturen
aus [61, 96]

Schaft

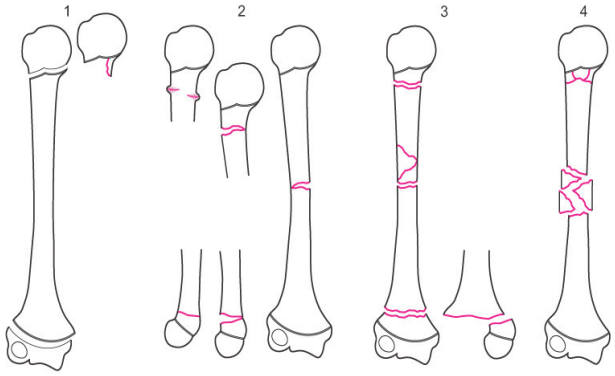
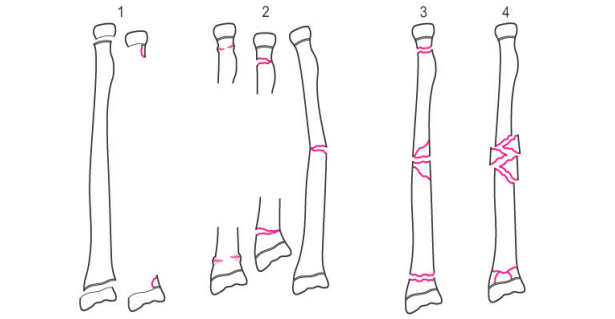
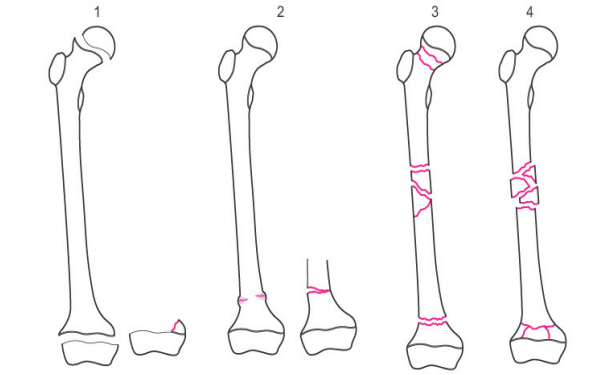
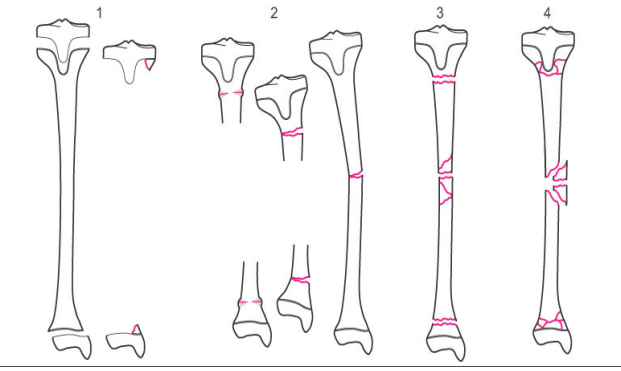
1.1-3.s.1-5.0-2. 1. Epiphysenlösung ohne und mit metaphysärem Keil (Salter I und II) 2. metaphysäre Stauchungs- und metaphysäre Grünholz Fx/ diaphysäre Grünholzfrakturen 3. Quer-, Schräg- und Torsions Fx 4. Mehrfragment Fx 5. andere	
2.1-3.s.1-5.0-2. 1. Epiphysenlösung ohne und mit metaphysärem Keil (Salter I und II) 2. metaphysäre Stauchungs- und metaphysäre Grünholz Fx/ diaphysäre Grünholzfrakturen 3. Quer-, Schräg- und Torsions Fx 4. Mehrfragment Fx 5. andere	
3.1-3.s.1-5.0-2. 1. Epiphysenlösung ohne und mit metaphysärem Keil (Salter I und II) 2. metaphysäre Stauchungs- und metaphysäre Grünholz Fx/ diaphysäre Grünholzfrakturen 3. Quer-, Schräg- und Torsions Fx 4. Mehrfragment Fx 5. andere	
4.1-3.s.1-5.0-2. 1. Epiphysenlösung ohne und mit metaphysärem Keil (Salter I und II) 2. metaphysäre Stauchungs- und metaphysäre Grünholz Fx/ diaphysäre Grünholzfrakturen 3. Quer-, Schräg- und Torsions Fx 4. Mehrfragment Fx 5. andere	

Abbildung 15: LiLa-Klassifikation - Schaftfrakturen
aus [61, 96, 155]

13.8 Die AO-Klassifikation für Frakturen im Kindesalter

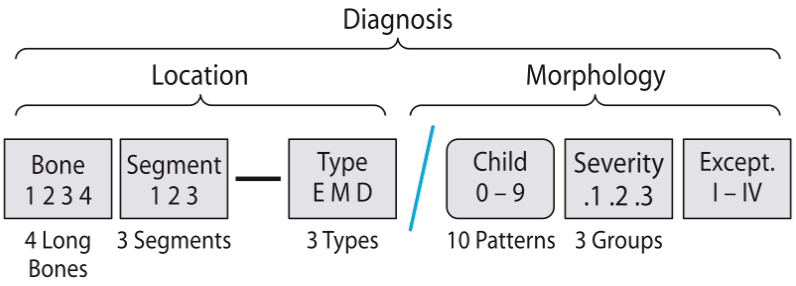


Abbildung 16: Prinzip der AO-Ped-Klassifikation
aus [96]

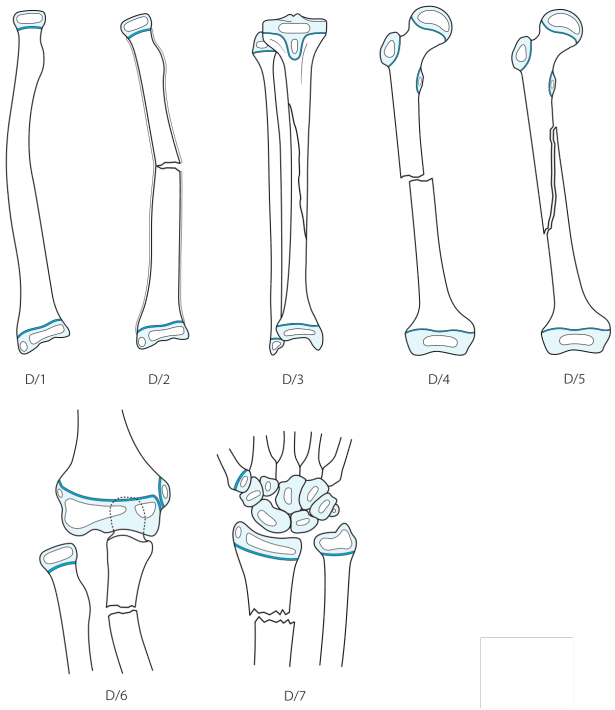


Abbildung 17: Einteilung diaphysärer Frakturen
aus [96]

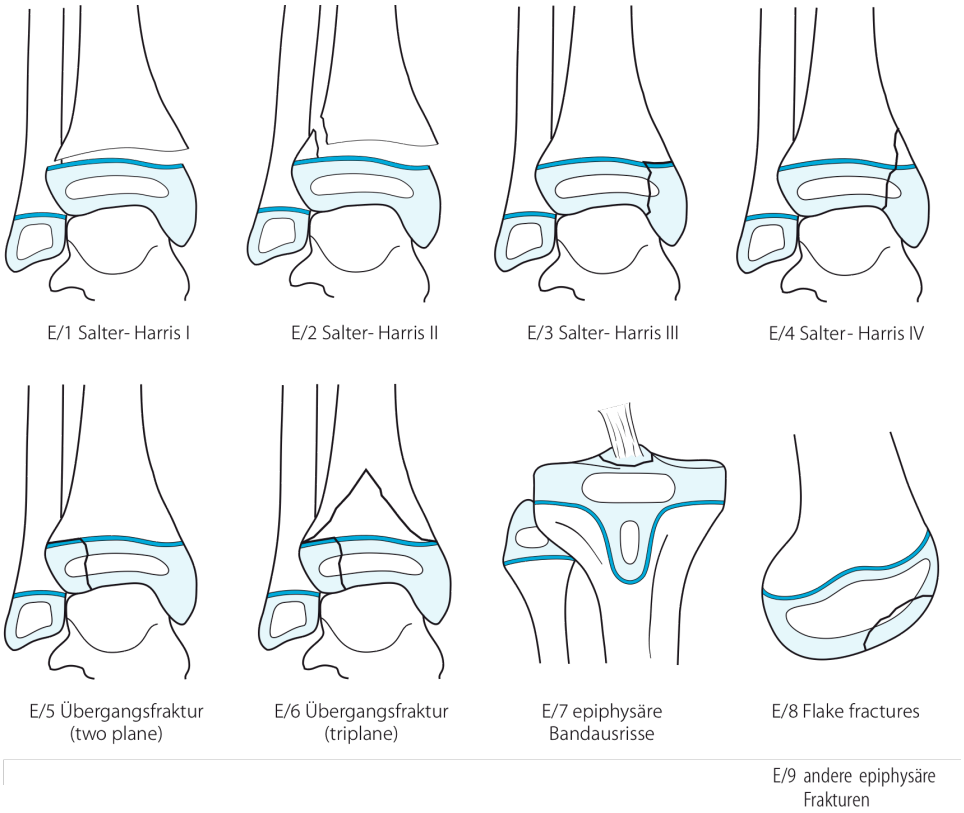


Abbildung 18: Einteilung epiphysärer Frakturen
aus [96]

13.9 Klassifikation der Monteggiafrakturen nach Bado

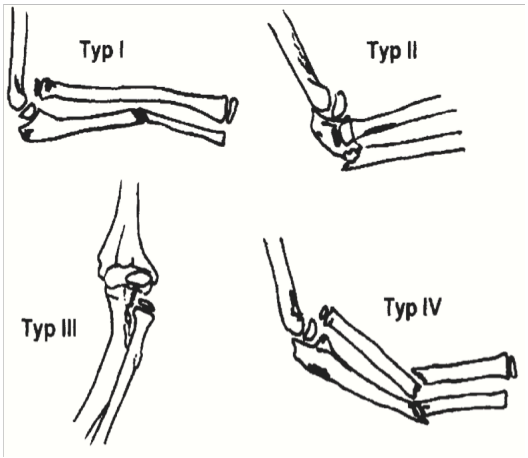


Abbildung 19: Einteilung der Monteggiafrakturen nach Bado

Typ I: vordere Dislokation,
Typ II: hintere Dislokation,
Typ III: laterale Dislokation,
Typ IV: vordere Dislokation mit Radiusschaftfraktur
aus [48]

13.10 Einteilung der Wachstumsfugenverletzungen nach Aitken

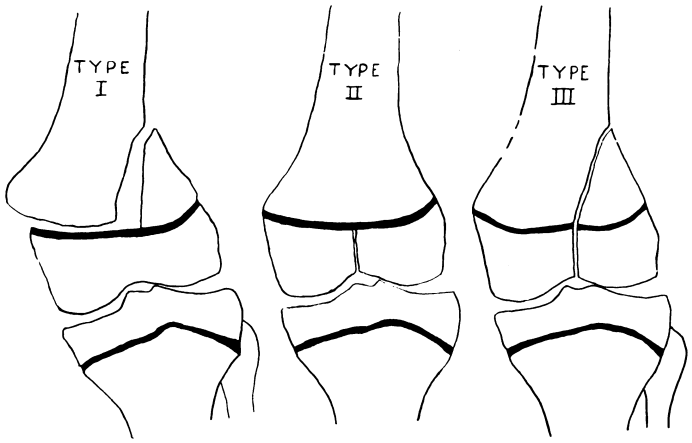


Abbildung 20: Einteilung der Wachstumsfugenverletzungen nach Aitken am Beispiel des distalen Femurs

aus [1, 2]

Typ I: Avulsionstyp

Typ II: Kompressionstyp der Fraktur,

häufig involviert: die distale Tibiaepiphyse,

selten involviert: distale Femurepiphyse

Typ III: Kompressionstyp eines Unfalls, während dem die Epiphysenfuge zwischen der knöchernen Epiphyse und der Diaphyse zerrieben wurde.

13.11 Einteilung der Wachstumsfugenverletzungen nach Salter und Harris

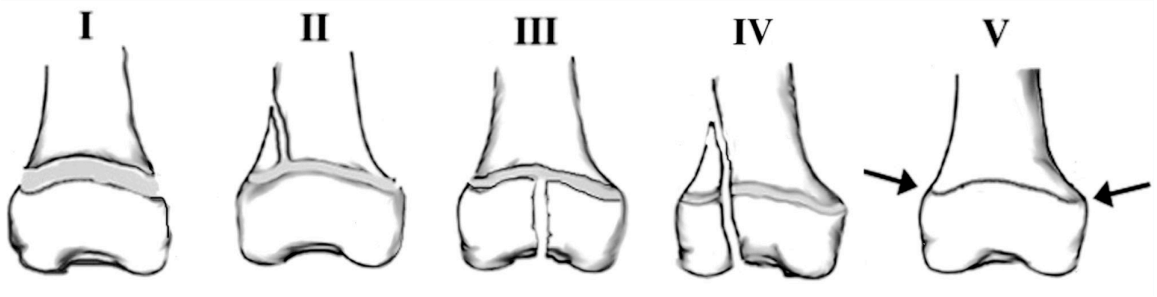


Abbildung 21: Einteilung der Wachstumsfugenverletzungen nach Salter und Harris

aus [43]

Salter-Harris 1 =	Epiphysiolyse
Salter-Harris 2 = Aitken I =	Epiphysiolyse mit metaphysärem Fragment
Salter-Harris 3 = Aitken II =	Epiphysiolyse mit epiphysärem Fragment
Salter-Harris 4 = Aitken III =	Epiphysiolyse mit meta-epiphysärem Fragment
Salter-Harris 5 =	Epiphysenstauchung

13.12 Klassifikation der supracondylären Humerusfrakturen nach L. von Laer

Tabelle 14: Klassifikation der supracondylären Humerusfrakturen nach L. von Laer

Einteilung		Häufigkeit
Typ I	undisloziert	Typ I + IIa: stabile Frakturen (ca. 35%)
Typ II	Dislokation in 1 Ebene	Typ IIb stark disloziert: drohend instabile Frakturen (ca. 22%)
Typ III	Dislokation in 2 Ebenen	Typ III + IV: instabile Frakturen (ca. 43%)
Typ IV	Dislokation in 3 Ebenen	s.o.

Typ I = nicht-dislozierte Fraktur, stabile Frakturen

Röntgenologisch manchmal nur Fettpolsterzeichen sichtbar,

Behandlung: Oberarmgipsschiene für 2-3 Wochen, bei kleineren Kindern Ruhigstellung im Blount-Verband (Fixierung des Handgelenkes über eine Schlaufe, die um den Hals gelegt wird, ca. 120° gebeugter Ellenbogen)

Typ II = Dislokation in der sagittalen Ebene

98% Antekurvation,

Stabile Fraktur: < 20° Antekurvation: Redression im Blount.

Instabile Fraktur:

- ausbleibender Erfolg der konservativen Behandlung
- Entwicklung eines Rotationsfehlers unter Behandlung: OP indiziert, da ansonsten häufig ein Flexionsdefizit und später eine Varusfehlstellung entsteht

Typ III = Dislokation in 2 Ebenen

Typ II + Rotationsfehler oder Seit-zu-Seit-Verschiebung. Immer OP-Indikation

Typ IV = Dislokation in 3 Ebenen komplett dislozierte Fraktur. Immer OP-Indikation

aus [57, 161]

13.13 Verwendete Scores

13.13.1 Score nach Constant und Murley

Schmerzen (max. 15 Pkt):

keine:	15 Punkte
mild:	10 Punkte
moderat:	5 Punkte
schwer:	0 Punkte

Kraft (Maximal 25 Punkte):

100% =	25 Punkte
75-100% =	15 Punkte
50-75% =	10 Punkte
25-50% =	5 Punkte
0 % =	0 Punkte

Aktivitäten des täglichen Lebens (maximal 20 Punkte):

Aktivitätslevel:	voll arbeitsfähig	4 Punkte
	uneingeschränkt Sport/Freizeit	4 Punkte
	ungestörter Schlaf	2 Punkte

Bewegung der Hand bis:	Hüfte:	2 Punkte
	Xyphoid:	4 Punkte
	Hals:	6 Punkte
	Kopf:	8 Punkte
	über Kopf:	10 Punkte

Grad des Bewegungsumfangs (max 40 Punkte):

Außenrotation:

Hand hinter Kopf / Ellenbogen hinten:	2 Punkte
Hand hinter Kopf / Ellenbogen vorne:	2 Punkte
Hand auf dem Kopf /Ellenbogen vorne:	2 Punkte
Hand auf dem Kopf Ellenbogen hinten:	2 Punkte
vollständige Elevation:	2 Punkte

Innenrotation:

Handrücken zur….

Zur Hüfte:	0 Punkte
zum Gesäß:	2 Punkte
zur LWS:	4 Punkte
zur Taille:	6 Punkte
BWK 12:	8 Punkte
Scapula:	10 Punkte

Anteversion:

0-30°: 0 Punkte, 31-60°: 2 Punkte, 61-90°: 4 Punkte, 91-120°: 6 Punkte, 121-150°: 8 Punkte, 151-180°: 10 Punkte,

Abduktion/Elevation:

0-30°: 0 Punkte, 31-60°: 2 Punkte, 61-90°: 4 Punkte, 91-120°: 6 Punkte, 121-150°: 8 Punkte, 151-180°: 10 Punkte

Gesamtzahl: 100 Punkte

aus [26]

13.13.2 Mayo-Elbow-Performance-Score

Schmerzen (45 Punkte)

keine =	45 Punkte
mild =	30 Punkte
mäßig =	15 Punkte
stark =	0 Punkte

Bewegungsumfang (20 Punkte)

> 100°=	20 Punkte
50-100° =	15 Punkte
< 50°=	5 Punkte

Stabilität (10 Punkte)

stabil =	10 Punkte
leicht instabil =	5 Punkte
instabil =	0 Punkte

Funktion (25 Punkte)

Haare kämmen =	5 Punkte
Essen =	5 Punkte
persönliche Hygiene =	5 Punkte
Oberteil Anziehen =	5 Punkte
Schuhe anziehen =	5 Punkte

Bewertung:
90 bis 100 Punkte: exzellent
75 bis 89 Punkte: gut
60 bis 74 Punkte: fair
Weniger als 60 Punkte: schlecht

Gesamtpunktzahl: 100 Punkte
aus [104]

13.13.3 Score nach Flynn

Tabelle 15: Score nach Flynn

TABLE I
CRITERIA FOR GRADING

Result	Rating	Cosmetic Factor: Carrying-Angle Loss (*Degrees*)	Functional Factor: Motion Loss (*Degrees*)
	Excellent	0–5	0–5
Satisfactory	Good	5–10	5–10
	Fair	10–15	10–15
Unsatisfactory	Poor	Over 15	Over 15

aus [41]

Tabelle 16: Score nach Flynn in deutscher Übersetzung

Veränderung			
Ergebnis	**Bewertung**	**Ellenbogengelenk-Achse**	**Bewegungseinschränkung**
zufriedenstellend	exzellent	0 - 5°	0 - 5°
	gut	5 - 10°	5 - 10°
	ausreichend	10 - 15°	10 - 15°
nicht zufriedenstellend	schlecht	> 15 °	> 15°

übersetzt aus [41]

13.13.4 Score nach Cooney et al.

Schmerzen (25 Punkte)

kein Schmerz =	25 Punkte
mild/gelegentlich =	20 Punkte
mäßig =	15 Punkte
schwer =	0 Punkte

Kraft (25 Punkte)

100% =	25 Punkte
75-100% =	15 Punkte
50-75% =	10 Punkte
25-50% =	5 Punkte
0-25% =	0 Punkte

Differenz Tätigkeiten vor Unfall – jetzt (25 Punkte)

wie zuvor =	25 Punkte
eingeschränkt =	20 Punkte
möglich, aber nicht ausgeführt =	15 Punkte
nicht möglich wegen Beschwerden =	0 Punkte

Bewegungsumfang: Bogen Extension / Flexion (25 Punkte)

>= 120° =	25 Punkte
90-120° =	15 Punkte
60-90° =	10 Punkte
30-60° =	5 Punkte
< 30° =	0 Punkte

Bewertung:
90 - 100 Punkte: exzellent
80 - 90 Punkte: gut
65 - 80 Punkte: ausreichend
< 65 Punkte: schlecht

Gesamtpunktzahl: 100 Punkte
aus [27]

13.13.5 Harris-Score 1969, modifiziert nach Haddad 1990

Schmerzen:	keine	44 Punkte
	leicht gelegentlich	40 Punkte
	mild, selten, mäßig/ gelegentlich Analgesie	30 Punkte
	mäßiger Schmerz dadurch einige Einschränkungen	20 Punkte
	starke Schmerzen mit Einschränkungen	10 Punkte
	stärkste Schmerzen/ bettlägerig	0 Punkte
Hinken:	keines	11 Punkte
	leicht	8 Punkte
	mäßig	5 Punkte
	schwer	0 Punkte
Hilfe:	keine	11 Punkte
	Stock für lange Strecken	7 Punkte
	meistens Stock	5 Punkte
	1 Gehstütze	3 Punkte
	2 Stöcke	2 Punkte
	zwei Stützen oder kein Gehen	0 Punkte
Gehstrecke:	unlimitiert	11 Punkte
	6 Wohnblöcke	8 Punkte
	2-3 Wohnblöcke	5 Punkte
	nur zu Hause	2 Punkte
	Rollstuhl	0 Punkte
Treppen:	normal	4 Punkte
	mit Geländer	2 Punkte
	mit Hilfen	1 Punkt
	keine	0 Punkte
Schuhe/Socken anziehen: (altersabhängig)	ja	4 Punkte
	mit Problemen	2 Punkte
	nein	0 Punkte
Sitzen:	komfortabel > 1 h	5 Punkte
	hoher Stuhl für ½ Stunde	3 Punkte
	komfortabel nicht möglich	0 Punkte
Öffentliche Verkehrsmittel betreten:	ja	1 Punkt
	nein	0 Punkte
Kontraktur:	keine 30°	1 Punkt
	keine fixierte Adduktion > 10°	1 Punkt
	keine fixierte Innenrotation > 10°	1 Punkt
	keine Beinlängendifferenz > 3 cm	1 Punkt

Bewegung gesamt:
(Summe in Grad der Extension/Flexion/Abduktion/Adduktion/Außen-/Innenrotation)

> 210° :	5 Punkte
160°-209°:	4 Punkte

100°-159°:	3 Punkte
60°-99°:	2 Punkte
30°-59°:	1 Punkt
< 30°:	0 Punkte

Gesamtpunktzahl: 100 Punkte
aus [51] und [49]

13.13.6 Score nach Merchant und Dietz

Aktivität (40 Punkte):

Alltagstätigkeiten ohne Probleme	8 Punkte
Treppen problemlos	6 Punkte
Treppen mit Einschränkung	4 Punkte
Last tragen	4 Punkte
Rennen / Sport	4 Punkte
normale Laufstrecke	8 Punkte
Freizeitbeschäftigungen	4 Punkte
Auto einsteigen	6 Punkte

Gangbild (10 Punkte):

kein Hinken	10 Punkte
gelegentlich	8 Punkte
Stützen	2 Punkte
Rollstuhl / Bett	0 Punkte

Schmerzen (40 Punkte):

keine	40 Punkte
bei länger Tätigkeit	30 Punkte
beim Tragen	20 Punkte
mäßiger Schmerz unter Vollbelastung	15 Punkte
starker Schmerz bei Bewegung	10 Punkte
in Ruhe	0 Punkte

Bewegungsbogen (maximal 10 Punkte):
von Dorsalextension bis Plantarflexion: 2 Punkte pro 20°, max. 10 Punkte

Bewertung:
90-100 Punkte: exzellent
80-89 Punkte: gut
70-79 Punkte: ausreichend
< 70 Punkte: schlecht

Gesamtpunktzahl: 100 Punkte
aus [103]

13.13.7 Score nach Ertl et al.

Schmerzen:	
keine	0 Punkte
bei starker Beanspruchung	1 Punkt
leicht bei normaler Aktivität	2 Punkte
im Stehen	3 Punkte
in Ruhe	4 Punkte
Gangbild:	
normal	0 Punkte
eingeschränkt bei stärkerer Beanspruchung	1 Punkt
leichtes Humpeln	2 Punkte
partiell behindert	3 Punkte
komplett behindert	4 Punkte
Aktivität:	
Arbeiten des täglichen Lebens ohne Probleme	0 Punkte
leichte Einschränkung	1 Punkt
eingeschränkt	2 Punkte
partiell behindert	3 Punkte
komplett behindert	4 Punkte
Röntgenbild:	
perfekt	0 Punkte
minimale Veränderungen	1 Punkt
mittelgradige Veränderungen	2 Punkte
schwere Veränderungen	3 Punkte
Funktion Oberes Sprunggelenk:	
seitengleich komplett	0 Punkte
Bewegungsverlust von 10°	1 Punkt
Bewegungsverlust von > 10° jedoch Dorsalflexion > 95°	2 Punkte
Bewegung > 10° aber Dorsalflexion > 95°	3 Punkte
Gelenk steif	4 Punkte
Deformität:	
Varus / Valgus > 4°	1 Punkt
Beinlängendifferenz > 8 mm	1 Punkt
Außenrotationsdeformität > 10°	1 Punkt

Bewertung:
0 Punkte: exzellent, 1-2 Punkte: gut, 3-4 Punkte: befriedigend, > 4 Punkte: schlecht

Gesamtpunktzahl: maximal 22 Punkte
aus [37]

13.13.8 Beurteilung der Funktion anhand der Punktevergabe der American Orthopaedic Foot and Ankle Society (AOFAS)

1) Hatten Sie seit der OP Schmerzen?

keine	40 Punkte
manchmal	30 Punkte
täglich	20 Punkte
fast immer	0 Punkte

2) Wie ist die Ausrichtung des Fußes bzw. Gelenks?

gut	10 Punkte
ausreichend	5 Punkte
schlecht	0 Punkte

3) Waren Sie seit der OP in der Bewegung eingeschränkt? Benötigten Sie Unterstützung in Form von Hilfsmitteln, z.B. Bandagen, Gehstützen oder einem Rollstuhl?

keine Einschränkung/ keine Unterstützung	10 Punkte
keine Einschränkung im Alltag, aber in der Freizeit/ keine Unterstützung	7 Punkte
leichte Einschränkung im Alltag und in der Freizeit/ manchmal Hilfsmittel	4 Punkte
schwere Einschränkung/ oft oder immer Hilfsmittel	0 Punkte

4) Wie groß ist Ihre maximale Laufstrecke in Metern?

> 600m	5 Punkte
400 – 600m	4 Punkte
100 – 300m	2 Punkte
< 100m	0 Punkte

5) Wie ist Ihr Laufverhalten auf bestimmten Oberflächen?

keine Schwierigkeiten auf irgendeiner Oberfläche	5 Punkte
leichte Schwierigkeiten auf unebenen Oberflächen, Treppen, Leitern oder bei Gefälle Punkte	3 Punkte
schwere Schwierigkeiten auf unebenen Oberflächen etc.	0 Punkte

6) Sind Gangabweichungen vorhanden?

keine	8 Punkte
schwach ausgeprägt	4 Punkte
auffallend ausgeprägt	0 Punkte

7) Wie groß ist die Sagittalbewegung (Flexion plus Extension)?

> 30°	= normale oder milde Einschränkung	8 Punkte
15° - 29°	= mäßige Einschränkung	4 Punkte
< 15°	= schwere Einschränkung	0 Punkte

8) Ist das Gelenk stabil (nach anterior/posterior und medial/lateral)?

stabil	8 Punkte
instabil	0 Punkte

9) Wie groß ist die Supinations- und Pronationsbewegung?

75% - 100%	6 Punkte
25% - 74%	3 Punkte
< 25%	0 Punkte

Gesamtpunktzahl: 100 Punkte

aus [56, 74]