

Aus der Klinik für Kinderchirurgie der  
Universität zu Lübeck  
Komm. Direktor: PD. Dr. med. L. Wunsch

EPIDEMIOLOGIE VON FRAKTUREN DER LANGEN  
RÖHRENKNOCHEN IM WACHSTUMSALTER UNTER  
BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG UND VALIDIERUNG  
DER LILA-KLASSIFIKATION

Inauguraldissertation  
zur Erlangung der Doktorwürde  
der Universität zu Lübeck  
- Aus der medizinischen Fakultät-

vorgelegt von

Anna Maria Christina Kamphaus  
aus Lohne

Lübeck 2011

1. Berichterstatter:	Priv.- Doz. Dr. med. Martin M. Kaiser
2. Berichterstatter:	Priv.-Doz. Dr. med. Justus Gille
Tag der mündlichen Prüfung:	01.12.2011
Zum Druck genehmigt. Lübeck, den	01.12.2011

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Der Röhrenknochen im Wachstumsalter . . . . .	1
1.2	Frakturtypen des wachsenden Skelettes . . . . .	4
1.3	Dislokation von Frakturen . . . . .	9
1.4	Einteilung der Weichteilverletzungen . . . . .	9
1.5	Frakturheilung . . . . .	10
1.6	Behandlung kindlicher Frakturen . . . . .	12
1.7	Epidemiologische Daten zu Frakturen im Kindesalter . . . . .	14
1.8	Klassifikation von Frakturen . . . . .	16
1.8.1	Beschreibung der Klassifikationen . . . . .	17
1.9	Fragestellung . . . . .	22
<b>2</b>	<b>Methodik</b>	<b>24</b>
2.1	Studiendesign und Zulassung der Studie . . . . .	24
2.2	Patientenkollektiv . . . . .	24
2.2.1	Datenerhebung . . . . .	25
2.2.2	LiLa- Klassifikation . . . . .	25
2.3	Formulare zur Erhebung der Daten . . . . .	29
2.3.1	Einverständniserklärung . . . . .	29
2.3.2	Primärerfassungsbogen . . . . .	29
2.3.3	Nachuntersuchungen . . . . .	30
2.4	Dokumentation der Daten mittels MEMDOC . . . . .	30
2.4.1	Datenschutz . . . . .	31
2.5	Evaluation der Klassifikation . . . . .	31
2.6	Statistische Methoden . . . . .	32
<b>3</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>35</b>
3.1	Ergebnisse der epidemiologischen Auswertung . . . . .	35
3.1.1	Epidemiologische Daten aller Frakturen . . . . .	35
3.1.2	Beschreibung der häufigsten Frakturen . . . . .	44
3.2	Auswertung der Klassifikation . . . . .	46
3.2.1	Intraobserver - Übereinstimmung . . . . .	46
3.2.2	Interobserver - Übereinstimmung . . . . .	47
<b>4</b>	<b>Diskussion</b>	<b>52</b>
4.1	Diskussion der epidemiologischen Daten . . . . .	52
4.2	Diskussion der Klassifikationsvalidierung . . . . .	59

<b>5 Zusammenfassung</b>	<b>67</b>
<b>6 Literatur</b>	<b>69</b>
<b>7 Danksagung</b>	<b>80</b>
<b>8 Lebenslauf</b>	<b>81</b>
<b>9 Anhang</b>	<b>83</b>
9.1 Einverständniserklärung . . . . .	83
9.2 Informationsblatt zum Datenschutz . . . . .	84
9.3 Primärbogen . . . . .	85
9.4 Nachuntersuchungsbogen . . . . .	87
9.5 Neutral-Null-Methode . . . . .	89
9.6 Beinlängenmessung . . . . .	89
9.7 Ethikantrag . . . . .	90
9.8 Berechnung der Metaphysenverkürzung bei Konstruktion des Quadrates nach der LiLa-Klassifikationsdefinition . . . . .	91
9.9 LiLa - Klassifikation . . . . .	92
9.10 AO-Klassifikation für Kinder . . . . .	94
9.11 Abkürzungsverzeichnis . . . . .	96

# 1 Einleitung

Bedingt durch Spieltrieb und Erforschung der Umwelt, mangelnde Koordination und fehlende Risikoabschätzung sind Verletzungen bei Kindern und Jugendlichen häufig und reichen von Prellungen bis zu komplexen Knochenbrüchen (BUCKLEY et al. 1994; KRAUS 2005; KRAUS et al. 2006; KAHL et al. 2007). Frakturen der langen Röhrenknochen, d. h. Brüche der Knochen von Ober- und Unterarm sowie Ober- und Unterschenkel, werden bislang nach ihrer Lokalisation, Vollständigkeit und Stabilität unterschieden. Obwohl diese Frakturen für Kinderchirurgen und kindertraumatologisch tätige Unfallchirurgen ein großes Betätigungsfeld darstellen, existiert hier - im Gegensatz zu den Frakturen im Erwachsenenalter - bislang keine weltweit gültige Klassifikation. Erschwert wird die Erstellung einer Klassifikation durch die Besonderheit der Kindertraumatologie, Verletzungen des wachsenden Skelettes zu behandeln: Die im Vergleich zum adulten Skelett differente Anatomie führt zu unterschiedlichen Frakturtypen und beinhaltet außerdem die Möglichkeit zur Spontankorrektur von Fehlstellungen. Ohne eine valide Klassifikation ist es jedoch schwierig, Studienergebnisse verschiedener Zentren zu vergleichen, um dann mithilfe dieser Daten Therapien zu optimieren. Zur Verringerung der hohen Unfallrate bedarf es einer durchdachten Unfallprävention. Hier besteht jedoch das Problem, dass nur wenige Studien epidemiologische Daten zu kindlichen Verletzungen beisteuern.

## 1.1 Der Röhrenknochen im Wachstumsalter

Zum Verständnis der Besonderheiten kindlicher Frakturen muss zunächst auf die spezifischen Eigenschaften des wachsenden Knochens eingegangen werden. Der kindliche Röhrenknochen besteht aus dem lang gestreckten Schaft, der Diaphyse, und den zwei Knochenenden, den Epiphysen. Anders als beim Erwachsenen befindet sich bei den noch wachsenden Röhrenknochen von Kindern und Jugendlichen zwischen Epiphyse und Diaphyse die Metaphyse mit der Epiphysenfuge (auch Physe genannt) (RANG et al. 2005; RAUCH 2008).

Die Metaphyse ist eine histologisch definierte Übergangszone, die sich röntgenmorphologisch nicht scharf abgrenzen lässt und somit auf dem Röntgenbild abgeschätzt werden muss.

Die Epiphysenfuge (bzw. Epiphysenplatte) ist die Region des Längenwachstums der Knochen. Sie gliedert sich in einen epiphysären Anteil, welcher überwiegend aus Zellmatrix besteht und einen metaphysären Anteil, in welchem der zelluläre Anteil gegenüber der Matrix überwiegt (Abbildung 1). Im epiphysären Anteil proliferieren die Knorpelzellen und werden dann im Rahmen der enchondralen Ossifikation durch Mineralisation zu festem Knochen umgebaut (JUNQUEIRA et al. 1996; RAUCH 2008). Das Längenwachstum ist gegen Ende der Pubertät und somit zu einem interindividuell unterschiedlichen Alter abgeschlossen. Hierbei tritt die Epiphyse zunächst in einen Ruhezustand über.

# 1 Einleitung

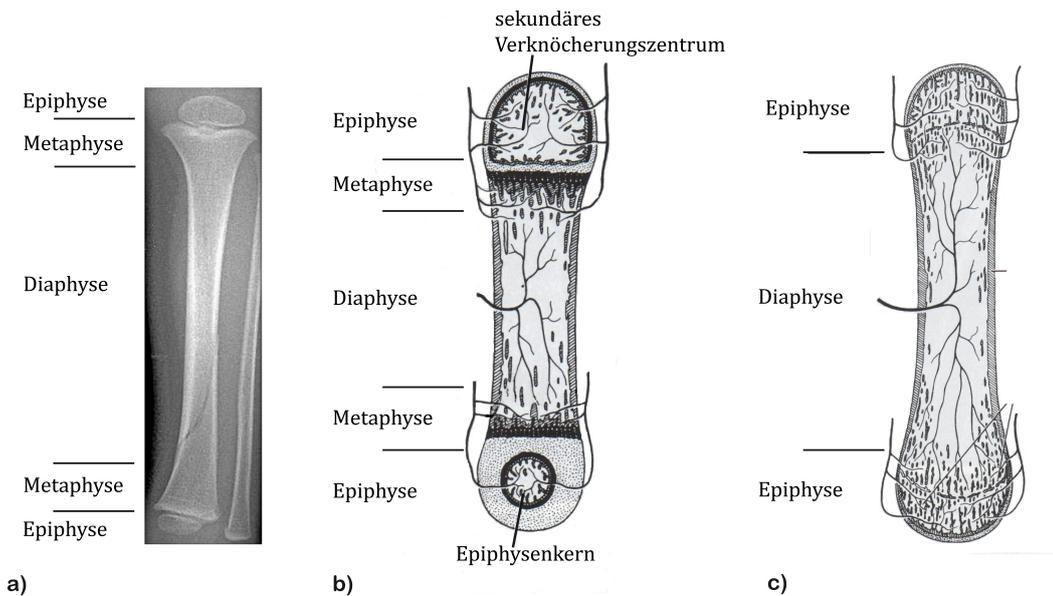


Abbildung 1: **Aufbau eines Röhrenknochens**

- a) Röntgenbild eines wachsenden Röhrenknochens (Unterschenkel einer 2-jährigen Patientin)
- b) Schematische Darstellung des Aufbaus und der chondralen Ossifikation beim kindlichen Röhrenknochen sowie
- c) beim adulten Röhrenknochen (modifiziert aus JUNQUEIRA et al. 1996)

Vor dem endgültigen Sistieren des Wachstums findet, vom metaphysären Grenzbereich ausgehend, eine Mineralisation der Epiphyse statt (Abbildung 2). Diese führt zum Verschmelzen von Epi- und Metaphyse (LAER VON et al. 2007).

Bei mechanischer Belastung in Form von axialen Stauchungstraumata stellt die Epiphysenfuge einen elastischen Puffer und somit einen Schutz für das Gelenk dar (RAUCH 2008). Hingegen ist sie gegenüber Scher- oder Biegungskräften verletzlich und Epiphysenlösungen oder -frakturen sind die möglichen Folgen (LAER VON et al. 2007).

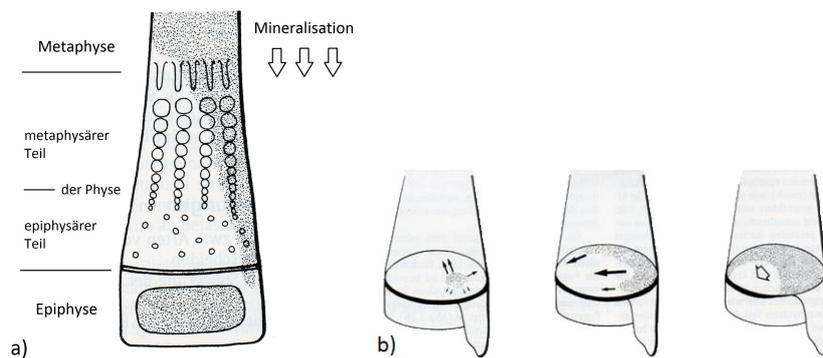


Abbildung 2: **Darstellung des physiologischen Fugenschlusses**

- a) Von der Metaphyse ausgehende Verknöcherung
- b) Darstellung des exzentrischen Fugenschlusses am Beispiel der distalen Tibiaepiphyse (modifiziert aus LAER VON et al. 2007)

### Wachstumspotential der Röhrenknochen

Röhrenknochen mit offenen Wachstumsfugen verfügen über die Möglichkeit, spontan Fehlstellungen zu korrigieren. Der entscheidende Faktor für die Prognose einer möglichen Spontan Korrektur ist das jeweilige Wachstumspotenzial eines Röhrenknochens, das daher bei der Beurteilung berücksichtigt werden muss. Das Wachstumspotenzial hängt dabei einerseits vom Alter und Entwicklungsstatus des Heranwachsenden und andererseits von der Lokalisation der jeweiligen Fuge ab (RANG et al. 2005; WILKINS und AROOJIS 2005; SLONGO und AUDIGE 2006).

An den langen Röhrenknochen sind, wie in Abbildung 3 deutlich wird, die proximalen und distalen Epiphysen unterschiedlich stark am Wachstum der Extremität beteiligt. An der oberen Extremität haben die proximale Humerusepiphyse und die distalen Unterarmepiphysen je einen Anteil von etwa 80 % am Längenwachstum des Knochens. An der unteren Extremität gehen 70 % des Längenwachstums des Femur von der distalen Femurepiphyse aus. Am Unterschenkel sind distale und proximale Epiphysen etwa zu gleichen Teilen am Wachstum beteiligt (MARZI et al. 2006).

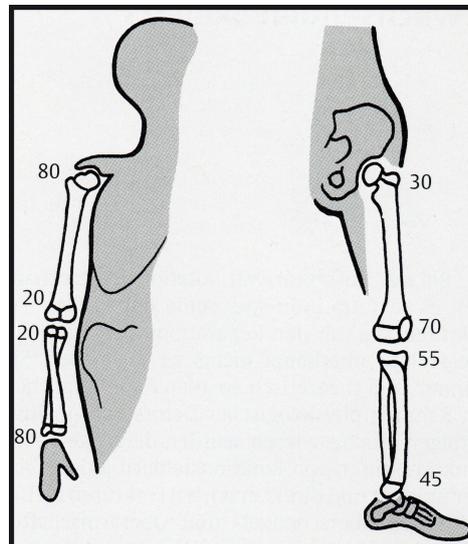


Abbildung 3: **Wachstumsanteil der einzelnen Epiphysenfugen am Längenwachstum der zugehörigen Knochen in Prozenten**

Der Wachstumsanteil ist an der oberen Extremität exzentrischer verteilt als an den unteren Extremitäten (LAER VON et al. 2007).

Am Röhrenknochen erfolgt das Breitenwachstum durch das periendostale System. Das Periost umgibt den Knochen von außen und baut Knochensubstanz an. Im Gleichgewicht zu diesen Anbauprozessen stehen die von innen ausgehenden Abbauprozesse des Endosts. Der Körper kann hierdurch mit einem Minimum an Materialaufwand eine möglichst hohe Stabilität erreichen. Diese Umbauprozesse sind zeitlebens aktiv und für die Frakturheilung zwingend notwendig (MCKIBBIN 1978; JUNQUEIRA et al. 1996).

## 1.2 Frakturtypen des wachsenden Skelettes

Als Fraktur bezeichnet man eine Kontinuitätsunterbrechung des Knochens, die durch Deformierung oder Stabilitätsverlust zu einer schmerzhaften Funktionseinschränkung des betroffenen Skelettabschnitts führt (BRUCH und TRENTZ 2006). Der Unfallmechanismus und die daraus resultierenden Kräfte sowie die Richtung der Gewalteinwirkung bestimmen in der Regel den Frakturverlauf. Ausnahmen stellen Frakturen bei Osteoporose oder pathologische Frakturen (z. B. bei Knochentumoren jeglicher Art) dar. Diese können einen atypischen Verlauf zeigen und sind bei Kindern und Jugendlichen äußerst selten. Neben den bei Erwachsenen auftretenden Frakturformen gibt es bei Kindern jedoch zusätzlich typische Frakturen, die nur beim wachsenden Knochen auftreten und deren Verlauf mit der Beschaffenheit des kindlichen Knochens, vor allem seiner höheren Elastizität und den noch offenen Wachstumsfugen, zusammenhängen (RANG et al. 2005).

### Wulst- und Grünholzfrakturen

Aufgrund eines rein axialen Stauchungstraumas entsteht beim wachsenden Knochen an der Metaphyse die sogenannte Wulstfraktur. Dabei werden die Spongiosa und die in diesem Bereich etwas dünnere Kortikalis eingestaucht und es bildet sich der im Röntgenbild charakteristisch sichtbare Wulst aus (weiße Pfeile, Abbildung 4).

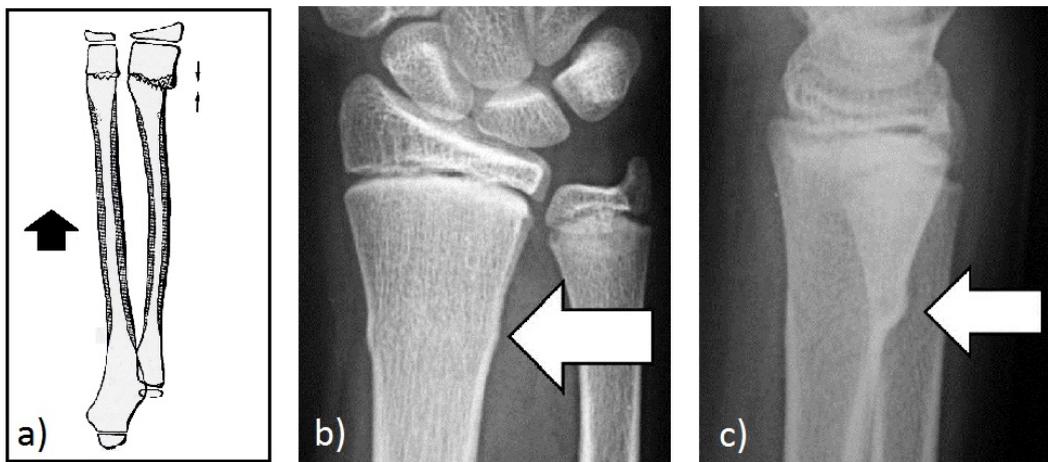


Abbildung 4: **Wulstfraktur**

- a): Schemazeichnung einer Unterarmwulstfraktur (kleine Pfeile) mit Darstellung der axialen Gewalteinwirkung (dicker Pfeil) (LAER VON et al. 2007)
- b)+c): Röntgenbilder einer Radiuswulstfraktur (a.p. und seitlich) von einem 13-jährigen Jungen aus unserem Patientenkollektiv (LiLa-Klassifikation: 2.3.s.2.0; AO-Klassifikation: 2.3-M/2.1)

Im Gegensatz zu den Frakturen bei Erwachsenen können sowohl metaphysär als auch diaphysär Biegungsfrakturen, sogenannte Grünholzfrakturen, auftreten. Durch das noch biegsame, jedoch sehr stabile Periost und die nicht vollständig verhärtete Knochenmatrix kann es bei

tangentialer Gewalteinwirkung zu einer Verbiegung des Knochens mit bleibender Deformierung kommen, dies wird als „Bowling-Fraktur“ bezeichnet (FIRL und WUNSCH 2004). Bei ausreichend großer Gewalteinwirkung führt die Biegung zur Grünholzfraktur. Ähnlich einem jungen Holzzweig bricht dabei der Knochen an der Stelle mit der größeren Zugbelastung (an der konvexen Seite) und wird an der anderen (konkaven) Seite von der noch intakten Kortikalis und dem Periost zusammengehalten (Abbildung 5).

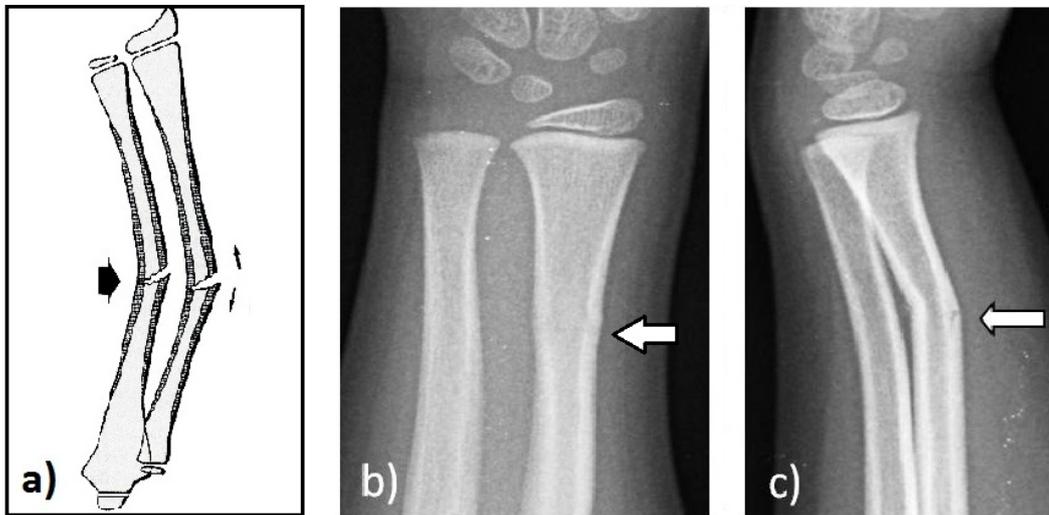


Abbildung 5: **Grünholzfraktur**

- a): Schemazeichnung mit der Angabe der Gewalteinwirkung (dicker Pfeil) und der resultierenden Zugkraft (kleine Pfeile) (LAER VON 2001)
- b)+c): Röntgenbilder in a.p. und seitlichem Strahlengang von einem 5 jährigen Mädchen (LiLa-Klassifikation: 2.2.s.2.1, AO-Klassifikation: 2.2-D/2.1)

Bei Kindern kann trotz einer Abknickung bis über 45° noch ein Knochenkontakt bestehen bleiben, wohingegen eine solche Gewalteinwirkung mit Biegung bei Erwachsenen nahezu immer auch eine starke Seitverschiebung oder eine Mehrfragmentfraktur zur Folge hätte.

### Toddlerfrakturen

Diese Frakturen sind als fissurale oder auch (radiologisch) okkulte Frakturen ohne Dislokation definiert und kommen bei „Toddlers“, also Kleinkindern im Alter zwischen 1 und etwa 3-4 Jahren vor (RANG et al. 2005). Diese Frakturen werden anhand des klinischen Untersuchungsbefundes und der Unfallanamnese diagnostiziert, ein radiologischer Nachweis gelingt in einigen Fällen durch die sichtbare Knochenreaktion in der Ausheilungsphase. Da diese Frakturen jedoch auch ohne adäquates Trauma auftreten können, werden sie mitunter auch als Ermüdungsbruch (infolge von rezidivierenden Mikrotraumata) interpretiert. Die häufigsten Lokalisationen sind der Tibiaschaft, die proximale Tibiametaphyse und die Fibula. Seltener treten diese am Kalkaneus, Os cuboideum, den Metatarsalia oder dem Femurschaft auf (LAER VON et al. 2007). Ein weiteres Beispiel für okkulte Frakturen sind nicht dislozierte supracondyläre Humerusfrakturen; diese lassen sich gelegentlich durch ein Abheben des Fettpolsters durch das Frakturhämatom bzw. die Dehnung der Gelenkkapsel („fat pad sign“

= „Fettpolsterzeichen“) radiologisch indirekt nachweisen (GOSWAMI 2002).

## Epiphysenverletzungen

Für die Einteilung von Epiphysenfugenverletzungen existieren zwei etablierte Klassifikationen: die Klassifikation nach Salter und Harris (SALTER und HARRIS 1963) und die Klassifikation nach Aitken (AITKEN 1965): Da im anglo-amerikanischen und europäischen Sprachraum die Klassifikation nach Salter und Harris häufiger eingesetzt wird, findet die Klassifikation nach Aitken in dieser Arbeit keine Berücksichtigung.

Epiphysenverletzungen treten vor allem zwischen dem 7. und dem 10. Lebensjahr auf und sind bei noch offenen Epiphysenfugen an der oberen Extremität doppelt so häufig wie an der unteren Extremität. An der oberen Extremität ist ein typischer Vertreter dieses Frakturtypes die Fraktur des Condylus radialis humeri, an der unteren Extremität die mediale Malleolarfraktur (LAER VON et al. 2007).

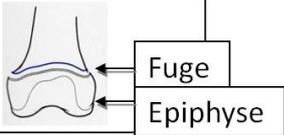
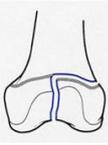
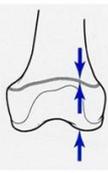
Einteilung nach Salter/Harris		
I	Epiphysenlösung	
II	Epiphysenlösung mit metaphysärem Fragment	
III	Epiphysenverletzung mit epiphysärem Knochenfragment	
IV	Epiphysenverletzung mit epi- und metaphysärem Knochenfragment	
V	Epiphysenstauchung, „Crush“ Verletzung	

Abbildung 6: **Epiphysenfrakturen/-lösungen, Einteilung nach Salter/Harris** mit Abbildungen modifiziert aus PETERSON 2001

Bei der Epiphysenlösung mit (Salter-Harris I) oder ohne (Salter-Harris II) metaphysärem Fragment ist die Gelenkfläche nicht betroffen (Abbildung 6 I und II). Die Lösung erfolgt im metaphysären Teil der Fuge, in dem die Proliferation bereits sistiert. Die Epiphyse selbst bleibt dabei intakt. Diese Frakturen werden daher in der Klassifikation nach von Laer als peripherste

Form der Schaftfrakturen gewertet. Die Fugelösungen haben ihren Häufigkeitsgipfel etwa um das 13. Lebensjahr. An der oberen Extremität sind Epiphysenlösungen viermal häufiger lokalisiert als an der unteren Extremität (LAER VON et al. 2007).

Bei Salter-Harris-III- und Salter-Harris-IV-Frakturen verläuft der Bruch durch die Epiphyse mit rein epiphysärem (S/H III) oder epi- und metaphysärem Knochenfragment (S/H IV). Hierbei wird - wie in Abbildung 6 schematisch dargestellt - die Gelenkkontinuität durch die Epiphysenverletzung unterbrochen.

### Übergangsfrakturen

Übergangsfrakturen treten nur bei Jugendlichen am Ende des Wachstums auf, wenn der physiologische Verknöcherungsvorgang der Epiphysenfuge schon begonnen hat, aber noch nicht abgeschlossen ist (PETERSON 2001). Der Zeitpunkt des Epiphysenfugenschlusses ist abhängig vom Alter, vom Geschlecht und von der individuellen Reife, er wird aber auch von der Lokalisation der Wachstumsfuge bestimmt. Man unterscheidet bei den Übergangsfrakturen die Twoplane- von den Triplane-I-/II-Frakturen. Bei der Twoplane-Fraktur liegt ein rein epiphysärer Fragmentausbruch bei einer medial verknöcherten Wachstumsfuge vor. Der Bruchspalt verläuft in zwei Ebenen (Sagittal- und Horizontalebene). Je weiter die Verknöcherung voranschreitet, desto kleiner und weiter lateral bricht das epiphysäre Fragment heraus. Bei einem weit lateral liegenden Frakturspalt gleicht diese Fraktur dem knöchernen Ausriss des Ligamentum tibiofibulare anterius. Diese Fraktur wird auch „juvenile Tillaux-Fraktur“ genannt (CUMMINS 2001).

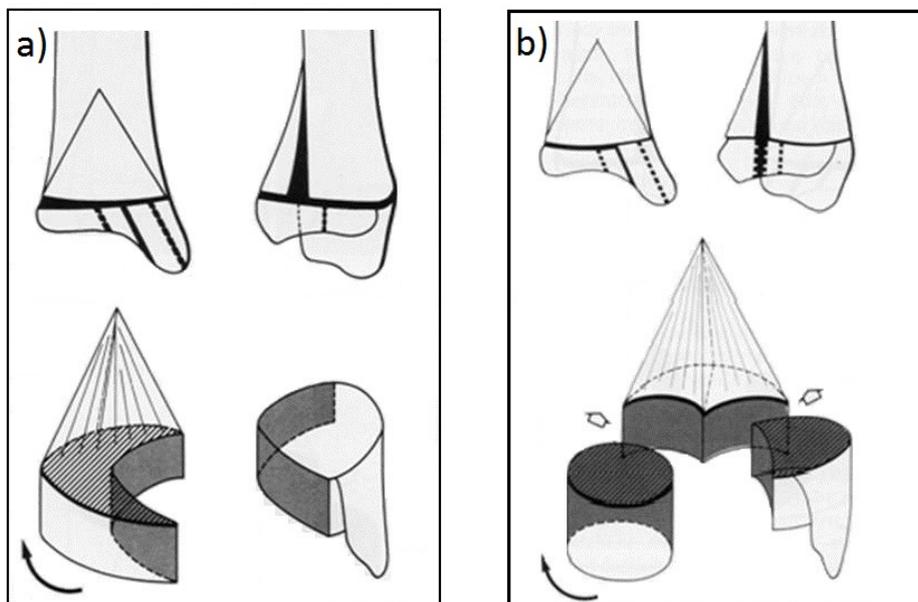


Abbildung 7: **Triplane Fraktur** a) Triplane I Fraktur b) Triplane II Fraktur

Die Triplane-Frakturen verlaufen komplex in drei Ebenen (Horizontal-, Sagittal- und Frontalebene). Bei der Triplane-I-Fraktur besteht neben der epiphysären Fraktur eine zusätzliche dorsale Fraktur mit metaphysärem Keil, wobei die metaphysäre Frakturlinie in der Epiphysenfuge dorsal endet (CUMMINS 2001; LAER VON et al. 2007). Bei der Triplane-II-Fraktur

liegt wie bei der Triplane-I-Fraktur eine zusätzliche metaphysäre Keilfraktur vor. Diese zieht jedoch durch die Wachstumsfuge bis in die Epiphyse hinein und führt dadurch zu zwei epiphysären Fragmenten (siehe Abbildung 7b). Das zweite Fragment liegt ebenfalls dorsal, ähnlich einer Volkmann-Fraktur in der Erwachsenen-Traumatologie (LAER VON et al. 2007).

### Apophysenverletzungen

Im Gegensatz zu den druckbelasteten Epiphysen stellen Apophysen zugbelastete Wachstumsfugen dar, an denen die Muskulatur ansetzt (z.B. der Trochanter major am Oberschenkel). Aufgrund der hormonellen Einflüsse während der Pubertät nimmt die Muskelmasse zu, während die Widerstandsfähigkeit des Knorpels sinkt. Diese Faktoren begünstigen das Auftreten von Apophysenausrissen besonders bei ruckartigen Bewegungen (z.B. beim Sport) mit starkem muskulärem Zug am sehnigen Ansatz an der Apophyse (BRUCH und TRENTZ 2006). Weitere Beispiele dafür sind der Abriss der Spina iliaca anterior inferior vor allem beim schnellen Sprint (M. tensor fascia latae), der Abriss der Tuberositas tibia durch das Ligamentum patellae oder ein Abriss des Trochanter minor durch die dort ansetzenden Adduktoren (PRETZSCH et al. 2004).

### Andere Frakturtypen

Neben den bereits beschriebenen kindestypischen Frakturformen seien hier im Überblick noch die weiteren, auch bei Erwachsenen auftretenden Frakturen zusammengefasst. Diese Frakturformen müssen nicht immer in ihrer Reinform vorliegen, je nach Krafteinwirkung und Knochenstruktur treten häufig auch Mischformen auf. Gelegentlich treten auch Frakturen auf, die sich - aufgrund eines schlechten Röntgenbildes oder ungewöhnlichen Frakturverlaufes - nicht einfach einer der Kategorien zuordnen lassen. Ein Beispiel für diese Art von Frakturen zeigt Abbildung 8, es handelt sich dabei um eine Fraktur, welche nicht nur aus der zunächst ins Auge fallenden metaphysären Querfraktur, sondern auch aus einer Frakturlinie besteht, welche in Richtung Epiphysenfuge zieht. Dieser metaphysäre Keil konnte besonders gut in der operativen Durchleuchtung gesehen werden und war aus dem präoperativen Röntgenbild nur schwer ersichtlich. Zumeist treten Querfrakturen allerdings als einfache, quer zur Achse



Abbildung 8: Beispiel einer schwierig zu interpretierenden distalen Unterarmfraktur

verlaufende Frakturen auf und entstehen oft durch direkte Gewalteinwirkung. Bei Schrägfrakturen ist ein Winkel größer als  $30^\circ$  zur Knochenachse definiert. Torsionskräfte wirken mittels gegenläufiger Drehmomente auf den Knochen, dabei treten meist Spiral- oder auch Schrägfrakturen auf. So können z. B. bei fixiertem Fuß (z. B. bei Skifahrern) und in der Drehung befindlichen Oberkörper Tibia- oder Femurspiralfrakturen auftreten. Axiale Kompressions- oder Stauchungskräfte führen in der Regel zu Berstungsfrakturen (z. B. Wirbelkörperfrakturen). Abscherfrakturen entstehen gelenknah oder am gelenkbildenden Knochen durch indirekte exzentrische Gewalteinwirkung. Typische Beispiele hierfür sind die Fraktur des Innenknöchels (OESTERN 2008) oder der knöcherne Bandausriss der Fibula beim Supinationstrauma. Nach der Anzahl der Fragmente kann zusätzlich in einfache, Mehrfragment- (4-6 Fragmente) oder Trümmerfrakturen (mehr als 6 Fragmente) unterschieden werden (MOMMSEN et al. 2000).

### 1.3 Dislokation von Frakturen

Als Dislokation bezeichnet man eine Verschiebung oder Abknickung der Fragmente einer Fraktur gegeneinander, die zu einer Fehlstellung des betroffenen Skelettanteils führt. Man kann fünf Dislokationsrichtungen unterscheiden (MOMMSEN et al. 2000):

1. *Dislocatio ad axim* = Achsknick der Fraktur. In der Frontalebene resultiert daraus eine Varus- oder Valgusfehlstellung, in der Sagittalebene führt diese Dislokationsform zur Retro- oder Antekurvatur.
2. *Dislocatio ad latus* = Seitverschiebung der Fragmente
3. *Dislocatio ad longitudinem cum contractione* = Verschiebung der Fragmente gegeneinander, die zur Verkürzung des betroffenen Knochens führt
4. *Dislocatio ad longitudinem cum distractione* = Verschiebung der Fragmente gegeneinander, die zur Verlängerung des frakturierten Knochens führt
5. *Dislocatio ad peripheram* = Verdrehung der Fragmente gegeneinander

### 1.4 Einteilung der Weichteilverletzungen

Bei der Entstehung einer Fraktur kommt es durch das auslösende Trauma zu einer begleitenden Verletzung der umgebenden Weichteile. Zur Einteilung der begleitenden Weichteilverletzungen existieren unterschiedliche Klassifikationen. In dieser Studie erfolgt die Klassifikation der geschlossenen Frakturen nach Tschernie und Oestern (OESTERN et al. 1985).

Tabelle 1: Einteilung der geschlossenen Frakturen nach Tscherne und Oestern

Grad 0	Keine oder unbedeutende Weichteilverletzung, indirekte Gewalteinwirkung
Grad I	Oberflächliche Schürfung oder Kontusion durch Fragmentdruck von innen, einfache bis mittelschwere Frakturform
Grad II	Tiefe kontaminierte Schürfung oder Kontusion durch direkte Gewalteinwirkung, drohendes Kompartmentsyndrom, mittelschwere bis schwere Frakturform
Grad III	Ausgedehnte Hautkontusion, -quetschung oder Zerstörung der Muskulatur, subkutanes Décollement, manifestes Kompartmentsyndrom, Verletzung eines Hauptgefäßes, schwere Frakturform

Die Einteilung der offenen Frakturen wird, wie in der folgenden Tabelle dargestellt, nach Gustilo und Anderson (GUSTILO und ANDERSON 1976; GUSTILO et al. 1984) vorgenommen.

Tabelle 2: Einteilung der offenen Frakturen nach Anderson und Gustilo

Grad I	Hautwunde $\leq 1$ cm ohne Verschmutzung, Durchspießung von innen, minimale Muskelkontusion, einfach Quer- oder kurze Schrägfraktur
Grad II	Wunde $> 1$ cm, ausgedehnter Weichteilschaden mit Lappenbildung und Décollement, mittelgradige Muskelquetschung, einfache Fraktur mit kleiner Trümmerzone
Grad III	Ausgedehnter Weichteilschaden mit Zerstörung von Haut, Muskel oder neurovaskulären Strukturen, Hochrasanztrauma mit schwerer Gewebsquetschung III A: Ausgedehnte Weichteilwunden mit noch adäquater Knochendeckung, Stück- / Schussfrakturen III B: Ausgedehnter Weichteilschaden mit Deperiostierung und freiliegendem Knochen, massive Kontamination III C: Rekonstruktionspflichtige Gefäßverletzung

## 1.5 Frakturheilung

Man unterscheidet die primäre von der sekundären Knochenbruchheilung.

Bei der primären Frakturheilung besteht ein vollständiger Kontakt zwischen den Fragmenten, die Durchblutung ist intakt und die Fraktur ist ruhiggestellt. Dies ist beispielsweise bei nicht dislozierten Frakturen oder nach interfragmentärer Zugschraubenosteosynthese der Fall. Der Frakturspalt kann dann direkt von Osteonen längs durchzogen und verschlossen werden (MCKIBBIN 1978). Verbleibt ein minimaler Spalt zwischen den Frakturfragmenten (Spaltheilung), wird dieser mit Geflechtknochen vom Endost und Periost aufgefüllt (WEISE 2008).

Bei der sekundären Knochenheilung liegt kein direkter Kontakt der Knochenfragmente vor. Dies kann durch Dislokation der Fragmente oder Restbeweglichkeit während der Ruhigstellung bedingt sein. Sie stellt somit die physiologische Frakturheilung dar und ist durch die Ausbildung eines Kallus charakterisiert. Hierbei wird das entstandene Frakturhämatom anschließend durch einwachsende Fibroblasten organisiert und das Gewebe differenziert sich im Verlauf zu Geflechtknochen. Durch funktionelle Adaptation entsteht im Verlauf wieder die normale

Knochenstruktur. Durch den Umbau des Geflechtknochens in lamellären Knochen sowie durch Rekonstruktion des medullären Gefäßsystems und den Abbau des überschüssigen Kallus findet ein Remodelling statt (MCKIBBIN 1978; JOHNSTONE und FOSTER 1996).

Der Umbauprozess ist bei primärer Frakturheilung nach 1,5-2 Jahren, bei sekundärer Frakturheilung nach 2-3 Jahren vollständig abgeschlossen (OESTERN 2008; WEISE 2008).

### **Korrekturpotenzial des wachsenden Knochen: Möglichkeiten und Grenzen**

Im Gegensatz zum Erwachsenen verfügt der noch wachsende Knochen über die Möglichkeit, Fehlstellungen auszugleichen. Das Potenzial zur Spontankorrektur ist je nach Lokalisation und Dislokationsrichtung einer Fehlstellung unterschiedlich und vom Alter des Patienten abhängig. Besonders bei Frakturen in der Nähe von hochpotenten Wachstumsfugen können auch stärkere Dislokationen noch spontan ausgeglichen und somit konservativ behandelt werden. Bis zum zehnten (LAER VON et al. 2007) bzw. zwölften (MARZI et al. 2006) Lebensjahr besteht das größte Ausgleichspotenzial, daher können beispielsweise bei distalen Unterarmfrakturen Fehlstellungen von bis zu 50° belassen werden (LAER VON et al. 2007). Es konnte gezeigt werden, dass bei distalen Radiusfrakturen eine Fehlstellung von bis zu 15° Achsknick bzw. bis zu 1 cm Verkürzung bereits nach 7,5 Monaten immer vollständig korrigiert wurde (DO et al. 2003). Ab dem genannten Alter können nur noch zunehmend geringere Fehlstellungen in die konservative Behandlung integriert oder postoperativ belassen werden.

Seitverschiebungen können beispielsweise bei Kindern unter 10 Jahren bis zu einer Dislokation um die komplette Schaftbreite vollständig korrigiert werden, bei älteren Kindern werden maximal nur noch Seitverschiebungen bis zur halben Schaftbreite ausgeglichen. Als Ausnahmen sind die Bereiche des proximalen Radius und des distalen Humerus zu benennen, in denen keine relevante Korrektur erfolgt (PLATZ und TRENTZ 2004). Die Korrekturfähigkeit von Achsenabknickungen variiert stark und ist am proximalen Humerus und distalen Radius (den Fugen mit der höchsten Wachstumstendenz) am höchsten (vgl. dazu auch Abb. 3). Weiterhin werden Fehlstellungen in der Bewegungsebene (= Sagittalebene) besser korrigiert als in der Horizontalebene, eine Varusfehlstellung meist besser als eine Valgusstellung (LAER VON et al. 2007).

Die Grenzen der Spontankorrektur müssen dem behandelnden Arzt bekannt sein. In Fehlstellung verheilte Unterarmschaftfrakturen werden beispielsweise nicht korrigiert, sondern bleiben nahezu unverändert bestehen; sie können zu Störungen der Umwendebewegung der Hand führen, da dann die Rotation des Radius um die Ulna behindert wird (LASCOMBES et al. 1990; PRICE und MENICO 2001). Auch bei der Behandlung supracondylärer Humerusfrakturen müssen die Grenzen streng beachtet werden. In der Literatur besteht Einigkeit über eine Korrektur in der Sagittalebene, die eine Ante- und in geringerem Maße auch eine Rekurvation verbessert. Dies trifft allerdings nur in einem Bereich bis etwa 20° bei jüngeren Kindern zu. Es ist jedoch unklar, ob es sich um eine tatsächliche Korrektur handelt oder ob die ehemalige Fraktur vom Capitulum wegwächst und dadurch weniger in Erscheinung tritt. Nicht korrigiert wird an dieser Lokalisation ein Rotationsfehler, der später neben einer Bewegungseinschränkung als Varusfehlstellung imponiert (KASSER und BEATY 2001; WESSEL et al. 2003; KAISER et al. 2008).

Inwieweit generell ein Remodelling von Rotationsfehlstellungen erfolgt, wird dagegen in der Literatur kontrovers diskutiert. Eine physiologische Derotation wird von einigen Autoren für den Humerus und das Femur in der Kindheit beschrieben, andere Autoren verneinen eine solche Korrektur jedoch (DAVIDS 1994). Besonders bei operativer Versorgung von gelenknahen Frakturen und Frakturen der unteren Extremität müssen Rotationsfehlstellungen vermieden werden, da diese hier im Gegensatz zur oberen Extremität funktionell nur schlecht kompensiert werden (BRATEN et al. 1993).

Ebenso ist auf die korrekte Länge des Knochens zu achten, da Verlängerungen gar nicht und Verkürzungen in Verbindung mit Seitverschiebung nur in einigen Fällen spontan korrigiert werden (MARZI et al. 2006).

Bei den im Kindesalter nur selten eintretenden Gelenkfrakturen sind wie bei Erwachsenen verbleibende Gelenkstufen zu vermeiden, um damit die Gefahr der konsekutiven Arthrosebildung zu reduzieren. Mangels exakter Daten wird hierbei ein Frakturspalt ab 2 mm als operationspflichtig angesehen. Bei fugennahen Frakturen sind mögliche Wachstumsstörungen zu beachten, die zu einer Valgus- oder Varusfehlstellung des betroffenen Knochens oder zu einer Beinlängendifferenz führen und somit an der unteren Extremität die Gesamtstatik des Skelettes verändern.

### 1.6 Behandlung kindlicher Frakturen

Frakturen können entweder konservativ durch Ruhigstellung oder operativ behandelt werden. Die konservative Therapie findet im Allgemeinen bei gering dislozierten oder nicht dislozierten Frakturen Anwendung. Bei Kindern können - wie in Kapitel 1.1 beschrieben - aufgrund des hohen Korrekturpotenzials des wachsenden Knochens gelegentlich auch größere Fehlstellungen in die Behandlung integriert werden, da diese im Verlauf spontan korrigiert werden (BUESS und KAELIN 1998; LAER VON et al. 2007; BROWN und FISHER 2004; DE COULON et al. 2005; OLSSON et al. 2005; ROCKWOOD et al. 2005; LAURER et al. 2009).

Im Rahmen der konservativen Therapie wird die betroffene Extremität meist in einem Weißgips oder in einem Kunststoffgips ruhiggestellt. Bei der Anlage von Gipsverbänden werden die benachbarten Gelenke miterfasst, um eine adäquate funktionelle Ruhigstellung zu erreichen. Die Gipsbehandlung kann nicht nur zur einfachen Ruhigstellung verwendet werden, sondern durch Keilung des Gipses nach ca. 10 Tagen können Fehlstellungen partiell ausgeglichen werden (Redression). Ebenso werden nach geschlossener Reposition -zum Teil in Narkose- Gipsverbände zur Stabilisierung des Repositionsergebnisses angelegt. Die Zeitdauer der Ruhigstellung kann bei Kindern kürzer gewählt werden als bei Erwachsenen, da aufgrund der aktiveren Knochenumbauprozesse in der Wachstumsphase die Konsolidation von Frakturen schneller abläuft. Distale Radiusfrakturen werden beispielsweise bei Kindern im Alter bis zu 5 Jahren für 2 Wochen, im Alter von 5-10 Jahren etwa 3-4 Wochen und ab dem 10. Lebensjahr für 4-5 Wochen ruhig gestellt (LAER VON et al. 2007).

Mögliche Komplikationen einer konservativen Behandlung sind die Dislokation trotz Ruhigstellung sowie Haut-, Weichteil- und Nervenschädigungen durch den Gipsverband. Die Ursachen dafür sind schlecht angelegte oder verrutschte Gipsverbände sowie eine initial starke Weichteilschwellung. Nebenwirkungen der Ruhigstellung wie eine erhöhte Thrombose- und

Osteoporosegefahr treten bei Kindern und Jugendlichen im Vergleich zu Erwachsenen deutlich seltener auf (KASSER und BEATY 2001; MARZI et al. 2006). Absolute Seltenheiten sind schwere Infektionen der Haut unter dem Gips mit konsekutiver Sepsis bis hin zur Amputation der Extremität (DELASOBERA et al. 2010).

Frakturen der oberen Extremität können in einigen Fällen durch stabilisierende Verbände ohne Gips behandelt werden. Die subkapitale Humerusfraktur kann oft durch einen Dessaultverband, die im Kindesalter sehr häufige supracondyläre Humerusfraktur mit einer Blount'schen Schlinge bzw. „Cuff-and-Collar“ versorgt werden (siehe Abbildung 9). Der Muskelzug des Musculus triceps brachii bei ca. 120° im Ellenbogen gebeugtem Arm wird dabei zur Kompression der Knochenfragmente genutzt.



Abbildung 9: **Therapie der supracondylären Humerusfraktur durch „Cuff-and-Collar“** (KASSER und BEATY 2001)

Generelle Indikationen zur operativen Therapie bestehen bei stark dislozierten oder offenen Frakturen sowie bei dislozierten Gelenkfrakturen. Bei den dislozierten Frakturen hängt die Operationsindikation von dem zu erwartenden Spontankorrekturpotenzial ab. Dieses wiederum wird bestimmt durch die Lokalisation und den Schweregrad der Fraktur, die Dislokationsachse und zu einem wesentlichen Teil auch durch das Patientenalter (LAER VON et al.2007; DO et al. 2003; OLSSON et al. 2005). Bei gegebener relativer Indikation zur operativen Versorgung kann auch der Eltern- oder Patientenwunsch nach schnellstmöglicher Übungs- und Belastungsstabilität zur Entscheidungsfindung beitragen.

Im Falle von Gelenkfrakturen wird die Indikation zur operativen Versorgung bei Frakturspaltbildungen ab 2 mm gestellt, da eine Stufenbildung im Gelenk die zu einer Funktionsbeeinträchtigung und zu vorzeitiger Arthrose des betroffenen Gelenkes führen kann (SCHMITTENBECHER 2005).

Schaftfrakturen werden bevorzugt mit elastisch stabilen intramedullären Nägeln versorgt, der ESIN-Osteosynthese. Diese hat den Vorteil einer geringen Invasivität und erzielt meist gute bis sehr gute funktionelle Ergebnisse bei geringer Komplikationsrate (LASCOMBES et al. 1990; MANN et al. 2003; JUBEL et al. 2004; HOUSHIAN und BAJAJ 2005; KRAUS et al.

2008)

Die Verwendung von gekreuzten perkutanen Spickdrähten (Kirschner-Draht) ist ebenfalls ein häufiges kinderchirurgisches Osteosyntheseverfahren, das besonders bei fugennahen Frakturen bzw. gelenknahen Frakturen eingesetzt wird (KAISER et al. 2008). Zur Stabilisierung der Osteosynthese muss hierbei zusätzlich ein Gipsverband angelegt werden.

Bei offenen Frakturen oder Mehrfragmentfrakturen empfiehlt sich die Verwendung eines Fixateur externe. Die Versorgung mit Platten erfolgt im Wachstumsalter nur als Ausnahme. Bei Abrissfrakturen - beispielsweise von Apophysen wie dem Epicondylus ulnaris am Ellenbogen oder am oberen Sprunggelenk - werden auch im Kindesalter Zugschrauben eingesetzt.

### 1.7 Epidemiologische Daten zu Frakturen im Kindesalter

Frakturen bilden nach Prellungen, Verrenkungen und Zerrungen sowie offenen Wunden mit 19,8 % die dritthäufigste Unfallfolge bei Kindern und Jugendlichen. Dies folgt aus einem bundesweiten Kinder- und Jugendgesundheitsurvey zu „Verletzungen bei Kindern und Jugendlichen (1-17 Jahre) und Umsetzung von persönlichen Schutzmaßnahmen“, der von Mai 2003 bis Mai 2006 als bundesweite Befragung von 17641 Kindern und Jugendlichen durchgeführt wurde. Insgesamt hatten dabei 15,9 % der Kinder innerhalb der letzten 12 Monate vor der Befragung einen Unfall erlitten (KAHL et al. 2007).

In der Literatur finden sich hinsichtlich der Inzidenz je nach Studie allerdings abweichende Angaben. Eine prospektive Erfassung von Frakturdaten bei Kindern im Alter von 0 bis 12 Jahren in den Jahren 1992-1995 in Oslo zeigte eine Inzidenz von 1,28 % pro Jahr (KOPJAR und WICKIZER 1998). Ein Vergleich der Frakturinzidenzen des Jahres 1996 von Gebieten in Südwales, Norwegen, Schweden und Finnland ergab eine regional unterschiedliche Häufigkeit von Frakturen: Die Inzidenzen lagen zwischen 1,53 % in Jamtland (Schweden) und 3,55 % in Südwales. In dieser Studie konnte außerdem für die untersuchte Region in Südwales im Gegensatz zu den skandinavischen Gebieten ein Anstieg der Frakturhäufigkeit in den Sommermonaten nachgewiesen werden. Dies wurde durch eine erhöhte sportliche Aktivität in Südwales während der Sommermonate erklärt. Das Fehlen dieses Trends in den Sommermonaten in Skandinavien wurde auf eine vergleichbare bzw. zusätzliche Erhöhung wintersportassoziierter Frakturen in den Wintermonaten zurückgeführt (LYONS et al. 2000). Eine prospektive Erfassung aller Frakturen bei Kindern bis zum 16. Lebensjahr aus dem Jahre 1997 in Bergen (Norwegen) bezifferte die Frakturinzidenz mit 2,45 % (BRUDVIK und HOVE 2003).

In einer anderen Studie wurden in einer Notfallambulanz in Houston, USA, alle Frakturen bei Patienten jeden Alters über einen Dreijahreszeitraum (Januar 1998 bis Dezember 2000) erfasst und ausgewertet. Hier war mit einer Frakturrate von 2,15 % pro Jahr die Inzidenz in der Gruppe der 10- bis 14-Jährigen am höchsten (BRINKER und O'CONNOR 2004).

Landin wertete epidemiologische Daten zu 8682 Frakturen von Kindern im Alter von 0 bis 16 Jahren innerhalb der Jahre 1950-1979 (1950, 1955, 1960, 1965, 1970, 1975-1979) in Schweden aus. Bezüglich der Prävalenz wurde errechnet, dass die Wahrscheinlichkeit, eine Fraktur bis

zur Vollendung des 16. Lebensjahres zu erleiden, für Jungen 42 %, für Mädchen dagegen nur 27 % betrug. Außerdem wurde in dieser Studie ein longitudinaler Anstieg der Frakturinzidenz beschrieben, der vor allem mit einer Zunahme der Sportunfälle begründet wurde (LANDIN 1983). Ende der 1970er-Jahre kam es zu keiner weiteren Zunahme der Inzidenz, der Rückgang von schweren Frakturen wurde auf die Wirksamkeit von Präventionsmaßnahmen zurückgeführt (LANDIN 1997).

Jones et al. führten eine longitudinale Studie an Kindern durch, die innerhalb eines Jahres (1972/73) in Neuseeland geboren worden waren. Darin wurden die Eltern in Abständen von zwei bis drei Jahren zu den Verletzungen befragt, die die Kinder bis zu ihrem 18. Lebensjahr hatten. Nur etwa die Hälfte aller Kinder blieb frakturfrei: 60,1 % aller Mädchen, jedoch nur 49,3 % aller Jungen erreichten das Erwachsenenalter, ohne eine Fraktur erlitten zu haben (JONES et al. 2002).

Der Altersgipfel der Frakturen zeigte einen geschlechtsspezifischen Unterschied, bei den Mädchen lag er zwischen 9 und 14 Jahren, bei den Jungen traten die meisten Frakturen mit 13-14 Jahren auf (JONES et al. 2002). Weiterhin stieg die Anzahl der verletzten Jungen im Vergleich zu den Mädchen in den höheren Altersgruppen (LANDIN 1983).

Landin sah in seiner Studie außerdem für die einzelnen Frakturen unterschiedliche Altershäufigkeiten. Supracondyläre Humerusfrakturen betrafen hauptsächlich das 5.-10. Lebensjahr, während distale Unterarmfrakturen gehäuft bei älteren Kindern bzw. Jugendlichen auftraten. Die Radius- und Ulnaschaftfrakturen zeigten zwei Altersgipfel, einen um das 5. Lebensjahr und einen weiteren um das 15. Lebensjahr. Im Gegensatz dazu ließ sich bei den Tibiafrakturen kein altersabhängiges Auftreten eruieren (LANDIN 1983).

Die zuvor genannten Inzidenzen beziehen sich jeweils auf sämtliche Frakturen bei Kindern und nicht ausschließlich auf Frakturen der langen Röhrenknochen. Der Literatur ist zu entnehmen, dass 80,8-89,5 % aller Verletzungen im Kindes- und Jugendalter an den Extremitäten lokalisiert sind, davon wiederum betreffen 60,4-74,8 % den Bereich der langen Röhrenknochen (LANDIN 1983; WORLOCK und STOWER 1986; JONES et al. 2002; BRUDVIK und HOVE 2003). Bei 20-25 % aller Verletzungen kommt es dabei zur Frakturierung des betroffenen Knochens (JONASCH und BERTEL 1981; LANDIN 1983).

In den meisten Fällen ist die obere Extremität betroffen. Mit 45,1 % aller Frakturen wird die Radiusfraktur als häufigste Fraktur angegeben, gefolgt wird sie von den Humerusfrakturen mit 18,4 %. Danach traten Tibiafrakturen in einer Häufigkeit von 15,1 %, Claviculafrakturen in 13,8 % und Femurfrakturen in 7,6 % aller Frakturen der langen Röhrenknochen auf (BEATY und KASSER 2005). Von Januar bis April 2003 wurden im Rahmen einer Multicenterstudie an 13 Kliniken in Deutschland, Österreich und der Schweiz insgesamt 682 Frakturen der langen Röhrenknochen (ohne Clavicula) erfasst. Es wurden darin Unterarmfrakturen mit 54,1 %, Unterschenkelfrakturen mit 20,4 % und Humerusfrakturen mit 20,3 % als die häufigsten Frakturlokalisationen angegeben (KRAUS 2005).

Als Ursache für Frakturen im Kindesalter wurden in der Literatur Sportunfälle mit 38,5 % angegeben, am zweithäufigsten ereigneten sich die Unfälle zuhause (23 %), Unfälle auf einem Spielplatz standen mit 19,9 % an dritter Stelle (KRAUS 2005).

## 1.8 Klassifikation von Frakturen

Um Studien über Frakturen international sicher vergleichen zu können, bedarf es einer einheitlichen und validen Klassifikation. Im klinischen Alltag kann eine geeignete Klassifikation als Kommunikationshilfe in der Chirurgie sowie möglicherweise als Grundlage für Therapieentscheidungen dienen. Dazu muss diese Klassifikation einfach und sicher in der Anwendung und dabei ausreichend präzise sein (MARTIN und MARSH 1997).

Neben einer größtmöglichen Reliabilität ist eine leichte Verständlichkeit und Anwendbarkeit im klinischen Alltag ausschlaggebend für die Etablierung einer Klassifikation. Laut Maurice E. Müller ist „eine Klassifikation nur nützlich, wenn sie sich auf den Schweregrad der Fraktur bezieht und als Grundlage sowohl für die Behandlung, als auch für die Beurteilung der damit erreichten Ergebnisse dient“ (MÜLLER 2006).

Für kindliche Frakturen der langen Röhrenknochen wurde bislang keine einheitliche Klassifikation aller Frakturen der langen Röhrenknochen etabliert oder validiert. Für einzelne Frakturtypen wurden im Laufe der Jahre spezielle Klassifikationen entwickelt. Dazu gehören zum Beispiel die Klassifikation nach Salter und Harris für Verletzungen der Epiphysenfuge (SALTER und HARRIS 1963; SALTER 1992). Diese Klassifikation ist eine der wenigen, die weltweit eingesetzt werden. Zur Klassifikation supracondylärer Humerusfrakturen findet im deutschsprachigen Raum die Klassifikation nach von Laer (LAER VON et al. 2007), international aber auch die Klassifikationen nach Gartland (GARTLAND 1963) Anwendung. Bei Radiushals- und Radiusköpfchenfrakturen ist vor allem die Klassifikation nach Judet gebräuchlich (JUDET et al. 1962).

Die genannten Klassifikationen werden zwar im klinischen Alltag angewendet, wurden aber zuvor nicht durch Studien validiert (SLONGO et al. 2006). Es konnte gezeigt werden, dass einige der am häufigsten verwendeten Klassifikationen in wissenschaftlichen Studien hinsichtlich der Benennung von Frakturen bei unterschiedlichen Bewertern nur wenig übereinstimmen (Interobserver-Reliabilität). Das bedeutet, dass dieselbe Fraktur dabei von zwei oder mehreren Ärzten different klassifiziert wurde (AUDIGE et al. 2004 a). Ein Maß für die Bewertung der Übereinstimmung ist der Kappa-Wert ( $K$ ), dieser kann bei vollständiger Übereinstimmung den Wert 1 annehmen, ein  $K$  von 0 bezeichnet eine Übereinstimmung auf Höhe der Zufallswahrscheinlichkeit, somit sind auch negative Werte möglich. Eine ausführliche Erläuterung des Kappa-Koeffizienten erfolgt im Methodikteil (Kapitel 2.6).

Bei der Klassifikation der proximalen Humerusfrakturen nach Neer wurde beispielsweise für die paarweise Interobserver-Reliabilität in einer Untersuchung initial selbst unter Spezialisten nur ein Kappa-Wert von 0,27 und damit nur eine „ausreichende“ Übereinstimmung erreicht. Nach Anleitung und Instruktion der klassifizierenden Personen konnte die Übereinstimmung auf Kappa-Werte von 0,62 (BRORSON et al. 2002 b) (dies entspricht einer „wesentlichen“ Übereinstimmung) gesteigert werden. Andere Studien zur Klassifikation nach Neer gaben Kappa-Werte zwischen 0,3 (KRISTIANSSEN et al. 1988) und 0,54 (BERNSTEIN et al. 1996) an; dies entspricht einer „ausreichenden“ bis „mittelmäßigen“ Übereinstimmung (vgl. dazu Abschnitt 2.6).

Bei derart geringer Interobserver-Übereinstimmung kann eine Klassifikation somit weder als eindeutig noch als valide bezeichnet werden. Wird eine nicht validierte Klassifikation eingesetzt,

so kann dies zur Verfälschung von gewonnenen Daten einer Studie und damit zu falschen Schlussfolgerungen (AUDIGE et al. 2005) oder unter Umständen sogar zu Behandlungsfehlern führen.

In einer Analyse von Arzthaftpflichtverfahren aufgrund von Frakturenbehandlungen bei Kindern in den Jahren 2000-2008 war ein Großteil an Behandlungsfehlern auf eine ungenaue Angabe der Fraktur ohne Verwendung einer wissenschaftlichen Klassifizierung zurückzuführen (VINZ und NEU 2009). Dies zeigt, dass eine Klassifikation neben der wissenschaftlichen Relevanz auch in der Diagnostik und Therapieentscheidung eine wichtige Rolle spielt. Für die Klassifikation von Frakturen der langen Röhrenknochen bei Erwachsenen wurde 1987 erstmalig von der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen (AO) eine Klassifikation veröffentlicht (MÜLLER et al. 1987). Diese wurde seither mehrfach modifiziert und stellt heute die gängigste Frakturenklassifikation bei Erwachsenen dar. Um auch für die Frakturen bei Kindern eine weltweit eindeutige Beschreibung zu schaffen, bedarf es einer geeigneten Klassifikation, die auch die Besonderheiten kindlicher Frakturen berücksichtigt. Diese sollte zur Klassifikation aller Frakturen der langen Röhrenknochen dienen und so zur besseren Vergleichbarkeit von epidemiologischen und klinischen Daten im Rahmen von Studien beitragen (AUDIGE et al. 2004 b).

Vor diesem Hintergrund wurden zeitgleich zwei verschiedene Klassifikationen speziell für kindliche Frakturen entwickelt. Eine Expertengruppe für pädiatrische Frakturen der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen entwickelte die „AO-Klassifikation für Frakturen im Wachstumsalter“ oder auch „AO Pediatric Comprehensive Classification of Long-Bone Fractures“ (PCCF). Parallel dazu wurde vom gemeinnützigen Verein „Licht und Lachen für kranke Kinder - Effizienz in der Medizin e. V.“ (im Folgenden abgekürzt: LiLa) die sogenannte „LiLa-Klassifikation“ erarbeitet. Beide Klassifikationen beruhen auf der gebräuchlichen AO-Klassifikation für Frakturen der langen Röhrenknochen bei Erwachsenen.

### 1.8.1 Beschreibung der Klassifikationen

Die Beschreibung der LiLa-Klassifikation erfolgt, da sie die in dieser Arbeit verwendete Klassifikation ist, im Kapitel „Material und Methoden“. Im Folgenden wird zunächst (als Grundlage) die AO-Klassifikation für Erwachsene beschrieben, dann erfolgt eine Darstellung der AO-Klassifikation für Kinder als Alternative zur LiLa-Klassifikation.

#### **AO- Klassifikation für Erwachsene**

Die AO-Klassifikation wurde von der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen (AO) zur Klassifikation von Frakturen der langen Röhrenknochen bei Erwachsenen entwickelt (MÜLLER et al. 1987; NEWHEY et al. 1993; KREDER et al. 1996; MÜLLER 2006). Die AO hatte bereits bei ihrer Gründung im Jahre 1958 die Notwendigkeit einer Dokumentation von Frakturen erkannt und deshalb alle adulten Frakturen systematisch analysiert. Ziel dieser Klassifikation war eine Vergleichbarkeit von Frakturen, um die Studienlage zu verbessern, die Behandlung zu optimieren sowie die Ursachen für Komplikationen besser analysieren

zu können. Im Laufe ihrer jahrzehntelangen Anwendung konnten wichtige Daten bezüglich der unterschiedlichen Frequenz verschiedener Frakturtypen und deren Heilung - jeweils in Abhängigkeit vom gewählten Behandlungsverfahren - gesammelt und evaluiert werden. Nach wie vor findet diese Klassifikation weltweit klinische Anwendung.

Die Klassifikation besteht aus einem fünfstelligen alphanumerischen Code (Abbildung 10), die ersten beiden Ziffern geben die Lokalisation an, die folgenden geben Auskunft über den Frakturtyp. Die erste Ziffer bezeichnet den Knochen: 1 = Humerus, 2 = Radius und Ulna, 3 = Femur, 4 = Tibia und Fibula. Der jeweilige Knochen wird in weitere Segmente unterteilt. Mit der zweiten Ziffer wird mit 1 das proximale, mit 2 das diaphysäre und mit 3 das distale Segment bezeichnet. Bei distalen Unterschenkelfrakturen wird außerdem mit 4 die malleolare Fraktur determiniert. Die Art der Fraktur wird in drei mal drei Kategorien unterteilt. Der Frakturtyp wird mit A, B oder C angegeben, wobei A einfache oder extraartikuläre Frakturen bezeichnet, mit B werden Keil- oder teilweise artikuläre Frakturen benannt. C steht für komplexe, Mehrfragment- oder artikuläre Frakturen. Dann erfolgt jeweils die Einteilung in drei Gruppen, die den Frakturverlauf und die Fragmentposition genauer beschreiben (z. B. Schräg-, Quer- und Spiralfaktur). Mit der Angabe der jeweiligen Subgruppe (1-3) können diese weiter spezifiziert werden. So entstehen insgesamt 27 Gruppen.

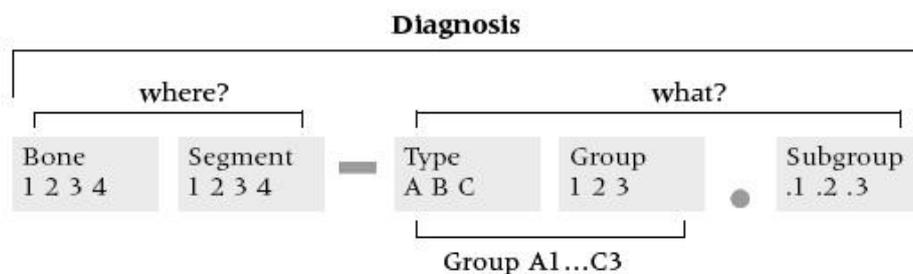


Abbildung 10: **Schema der AO-Klassifikation für Frakturen der langen Röhrenknochen bei Erwachsenen** (MÜLLER 2006)

### AO- Klassifikation für Frakturen im Wachstumsalter

Auf der Grundlage der AO-Klassifikation für Frakturen bei Erwachsenen wurde von einer zu diesem Zweck geschaffenen Arbeitsgruppe der AO eine Klassifikation für Frakturen im Kindesalter entwickelt, die „AO Pediatric Comprehensive Classification of Long-Bone Fractures“ oder kurz „PCCF“. Wie in Abbildung 11 zu sehen ist, wird danach jede Fraktur durch einen fünfstelligen alphanumerischen Code beschrieben (MARZI et al. 2006; MÜLLER 2006).

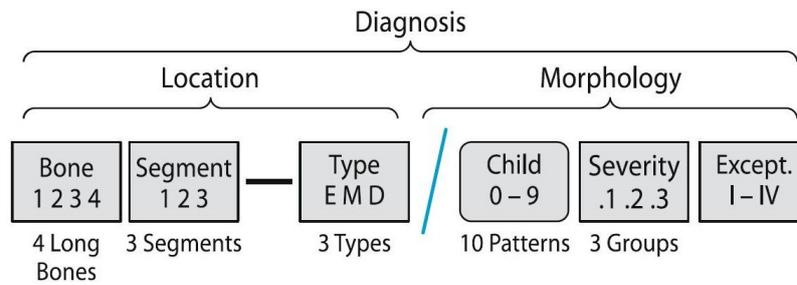


Abbildung 11: **Schema der Zusammensetzung der AO-Klassifikationscodes** für Frakturen der langen Röhrenknochen bei Kindern (SLONGO und AUDIGE 2006)

### Lokalisation im Skelett

Mit der ersten Ziffer wird die betroffene Körperregion angegeben.

1. Ziffer: Oberarm
2. Ziffer: Unterarm
3. Ziffer: Oberschenkel
4. Ziffer: Unterschenkel

### Angabe des Segmentes

Die zweite Ziffer bezeichnet das Segment am jeweiligen Knochen von proximal nach distal mit 1 für „proximal“, 2 für „Schaft“ und 3 für „distal“.

### Frakturlokalisierungstyp

Mit der dritten Ziffer wird - durch einen Bindestrich abgesetzt - der Frakturlokalisierungstyp angegeben, dieser kann e = „epiphysär“, m = „metaphysär“ und d = „diaphysär“ lokalisiert sein. Dabei können proximale und distale Frakturen je nach ihrer Lokalisation in epiphysäre und metaphysäre Frakturen unterteilt werden, Schaftfrakturen sind definitionsgemäß immer diaphysär. Als metaphysär werden die Frakturen bezeichnet, die sich innerhalb eines Quadrates befinden, dessen Basis der breitesten Stelle der Epiphysenfuge entspricht. Bei paarigen Knochen werden beide Knochen in das Quadrat eingeschlossen, als Basis dient dann die Breite beider Epiphysenfugen.

### Spezifizierung des Frakturtyps für kindliche Frakturen

Nach der Bezeichnung der Lokalisation mit den Buchstaben „e“, „m“ oder „d“ wird der Frakturtyp mit einer Ziffer näher beschrieben. Für epiphysäre Frakturen gelten die folgenden Ziffern: E/1 = Salter-Harris I, E/2 = Salter-Harris II, E/3 = Salter-Harris III, E/4 = Übergangsfaktur Twoplane, E/5 = Übergangsfaktur Triplane, E/6 = epiphysäre Bandausrisse, E/7 = Flake fractures, E/8 = andere epiphysäre Frakturen. Bei metaphysären Frakturen wird

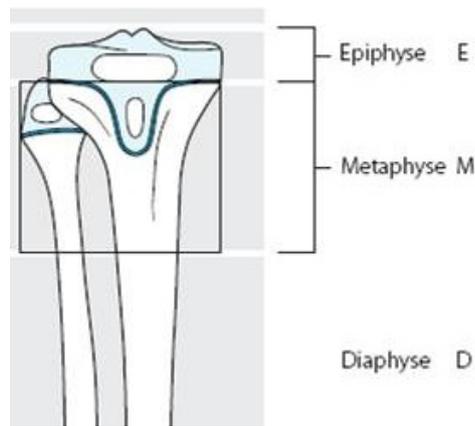


Abbildung 12: **Definition der Metaphyse**

Diese wird identifiziert durch ein Quadrat mit der Kantenlänge der weitesten Strecke der Epiphysenfugen in der a.-p. Röntgenaufnahme. Am Unterarm und Unterschenkel werden bei der Quadratbildung beide Knochen eingeschlossen (MARZI et al. 2006).

in M/2 = Wulst-, Spiral- und Grünholzfraktur, M/3 = komplette Fraktur und M/7 = osteoligamentäre, muskuloligamentäre und einfache Avulsionsverletzungen subklassifiziert.

Für diaphysäre Frakturen erfolgt die weitere Unterteilung in: D/1 = Bowing-Frakturen (Frakturen mit Biegungsverformung), D/2 = Grünholzfrakturen, D/3 = Toddler-Frakturen (nichtdislozierte Tibiaspiralfraktur beim Kleinkind), D/4 = komplette Querfraktur (Winkel  $< 30^\circ$ ), D/5 = komplette Schräg- und Spiralfraktur (Winkel  $> 30^\circ$ ), D/6 = Monteggia-Verletzung (proximale Ulnafraktur mit Radiusköpfchenluxation), D/7 = Galeazzi-Verletzung (distale Radiusfraktur mit Sub-/Luxation der Ulna), D/9 = Frakturen, die keiner der anderen Kategorien zugeordnet werden können.

### Schweregrad

Mit dem Code zur Angabe des Schweregrades wird zwischen einfachen Frakturen (1), Keilfrakturen (2) und komplexen Frakturen (3) unterschieden. Keilfrakturen sind dabei als partiell instabile Frakturen mit drei Fragmenten, von denen eines vollständig disloziert ist, definiert. Komplexe Frakturen sind dagegen vollständig instabil und bestehen aus mehr als drei Fragmenten.

### Ausnahmen

Mit der sechsten Stelle des Codes werden Ausnahmen und Sonderfälle definiert. Entsprechend der Einteilung nach von Laer werden supracondyläre Humerusfrakturen nach dem Dislokationsausmaß in vier Grade eingeteilt: 1 = keine Dislokation, 2 = Dislokation in einer Ebene, 3 = Rotation des distalen Fragmentes mit Dislokation in zwei Ebenen und 4 = Rotation und Dislokation in drei Ebenen oder vollständige Dislokation mit Aufhebung des knöchernen

Kontaktes.

Radiusköpfchenfrakturen werden nach dem Ausmaß der Dislokation und der Angulation klassifiziert in: 1 = keine Dislokation oder Angulation, 2 = Angulation mit Dislokation um weniger als eine halbe Schaftbreite und 3 = Angulation mit Dislokation um mehr als eine halbe Schaftbreite.

Am Schenkelhals werden Epiphysenlösungen entsprechend der Klassifikation nach Salter und Harris in E/1 und E/2 unterteilt. Frakturen des Schenkelhalses werden als metaphysäre Frakturen klassifiziert: M I = transzervikal, M II = basozervikal und M III = pertrochantär, als Grenze der Metaphyse dient hierbei die intertrochantäre Linie.

Apophysenfrakturen werden zu den metaphysären, Übergangsfakturen zu den epiphysären Frakturen gezählt. Knöcherner Bandausrisse werden je nach Beziehung zum Gelenk als epiphysäre (bei intraartikulärem Bandausriss) oder metaphysäre (extraartikuläre) Frakturen gewertet.



a)



b)

Abbildung 13: **Frakturbeispiele mit Klassifikation**

a) Supracondyläre Humerusfraktur bei einem 5 jährigen Mädchen: AO-Klassifikation (PCCF): 1.3-M/3. II bzw. LiLa-Klassifikation: 1.3.s.3.1

b) distale Radius-Epiphysenlösung (Salter/Harris I) bei einem 11-jährigen Jungen: AO-Klassifikation (PCCF): 2.3-E/1.1 bzw. LiLa-Klassifikation: 2.3.s.1.2

## 1.9 Fragestellung

Verletzungen bei Kindern und Jugendlichen sind -wie bereits erläutert- häufig und reichen von Prellungen bis zu komplexen Knochenbrüchen. Frakturen der langen Röhrenknochen stellen somit für kindertraumatologisch tätige Kinderchirurgen und Unfallchirurgen ein großes Betätigungsfeld dar.

Um insbesondere die Häufigkeit der schweren Verletzungen zu senken, bedarf es der Identifikation der typischen Gefahrenbereiche in den unterschiedlichen Altersgruppen. Kindertraumatologen, interessierte Arbeitsgruppen und die entsprechenden Politiker -welche die Rahmenbedingungen für Prävention und optimale Behandlung gestalten können- sind dazu auf aktuelle epidemiologische Daten und Analysen der Verletzungen angewiesen. Es besteht jedoch das Problem, dass nur wenige Studien epidemiologische Daten zu kindlichen Verletzungen (Unfallort, Unfallhergang, Frakturart und Frakturinzidenz) bezogen auf das Alter bieten. Desweiteren ergeben sich große regionale Unterschiede und die vorhandenen Studien sind damit nicht ohne weiteres übertragbar. Insofern ist eine gezielte Senkung der hohen Rate kindlicher Unfälle kaum möglich und darüber hinaus eine konstruktive und effiziente Unfallprävention - sowohl im Allgemeinen als auch jeweils vor Ort - erschwert.

Nicht nur für die Prävention, sondern auch für die Optimierung der Behandlung sind epidemiologische Daten zu Frakturen unverzichtbar. Frakturen der langen Röhrenknochen bei Kindern unterscheiden sich dabei in vielen Aspekten (z.B. Häufigkeiten, Frakturheilung, Frakturformen und Lokalisationen) von den Frakturen bei Erwachsenen. Erkenntnisse aus der Erwachsenentraumatologie sind daher nicht ohne Weiteres auf kindliche Frakturen übertragbar. Um die Behandlung für die Kinder und Jugendlichen zu optimieren und möglichst kindgerechte Konzepte zu erstellen, müssen die Ergebnisse von Studien einfach und problemlos weltweit miteinander vergleichbar sein. Vereinfacht würde dies durch eine international gültige Klassifikation zur Beschreibung kindlicher Frakturen; diese existiert im Gegensatz zu den Frakturen im Erwachsenenalter bislang jedoch nicht. Erschwert wird die Erstellung einer Klassifikation durch die Besonderheiten des wachsenden Knochens mit einer differenten Anatomie gegenüber dem adulten Skelett, die zu unterschiedlichen Frakturtypen führt und Fehlstellungen zum Teil spontan korrigieren kann.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit sollen deshalb für beide Punkte jeweils folgende Fragen beantwortet werden:

### **Teil A/ Epidemiologie:**

1. Welche Frakturen treten in unserem Patientenkollektiv aus Lübeck und Umgebung mit welchen Häufigkeiten auf?
2. Bestehen relevante geschlechts- und altersspezifische Unterschiede?
3. Ergeben sich aus den Unfallorten und Unfallhergängen spezifische Ansätze für die Unfallprävention?
4. Unterscheiden sich unsere epidemiologischen Daten von den Ergebnissen, die in der Literatur dokumentiert sind?

**Teil B/LiLa-Klassifikation:**

1. Können mit der neuen LiLa-Klassifikation alle Frakturen kindlicher Röhrenknochen sicher und anwenderfreundlich abgebildet werden bzw. kann dies auch von kinderchirurgisch nicht versierten Ärzten geleistet werden?
2. Lassen sich die Ergebnisse der LiLa-Klassifikation hinsichtlich der Intra- und Interobserver-Variabilität mit den publizierten Ergebnissen zur AO-Klassifikation für Kinder vergleichen?
3. Ergeben sich aus unseren Erfahrungen mit der LiLa-Klassifikation Ansatzpunkte für Verbesserungen oder müssen grundsätzliche Änderungen erfolgen, um diese Klassifikation etablieren zu können?

## 2 Methodik

### 2.1 Studiendesign und Zulassung der Studie

Die hier erhobenen Daten waren Teil einer Multicenterstudie, die vom Institut für Evaluative Forschung in der Orthopädie (IEFO) der Universität Bern initiiert wurde. Neben der Klinik für Kinderchirurgie des Universitätsklinikums Lübeck nahmen 15 weitere Kliniken in Deutschland, Österreich und der Schweiz an dieser Studie teil. Über einen Zeitraum von drei Monaten (Oktober bis Dezember 2005) wurden an den teilnehmenden Kliniken die Daten aller Frakturen der langen Röhrenknochen bei Kindern erfasst und über eine Onlinedatenmaske an die Studienleitung in Bern übermittelt. Für die Durchführung der Multicenterstudie lag ein positives Votum der kantonalen Ethikkommission Bern vor (siehe Anhang).

Im Rahmen dieser Studie erweiterten wir den Untersuchungszeitraum an der Kinderchirurgie in Lübeck auf zwölf Monate, um durch eine größere Fallzahl die Fragestellungen zur Epidemiologie und zur LiLa-Klassifikation präziser beantworten zu können.

In einem Beschluss der Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der Universität zu Lübeck vom 30. Mai 2006 wurden für die Studie in der Kinderchirurgie keine berufsethischen, medizinisch-wissenschaftlichen oder berufsrechtlichen Bedenken geäußert (Aktenzeichen 06-060).

### 2.2 Patientenkollektiv

Das Studienkollektiv umfasste alle Kinder und Jugendlichen bis zum vollendeten 16. Lebensjahr, die innerhalb eines Jahres mit einer Fraktur der langen Röhrenknochen in der Kinderchirurgie des Universitätsklinikums Lübeck ambulant oder stationär behandelt wurden. Der Erhebungszeitraum erstreckte sich vom 01.10.2005 bis zum 30.09.2006.

Bei der Studienpopulation wurden epidemiologische Daten, die Diagnose sowie die Art der Behandlung (ambulant oder stationär) und die Therapie erfasst. Die Klassifikation der Fraktur erfolgte nach der LiLa-Klassifikation. Das Einzugsgebiet der Kinderchirurgie in Lübeck erstreckte sich auf den Raum Lübeck und Umgebung. In Schleswig-Holstein stellt die Kinderchirurgie Lübeck neben der Universität Kiel das einzige Kindertraumazentrum dar, sodass als Einzugsgebiet vor allem der Südosten Schleswig-Holsteins und die nordwestlichen Regionen Mecklenburg-Vorpommerns gelten.

Auch zugewiesene Patienten wurden in die Studie aufgenommen, wenn die Diagnosestellung und Therapie im Wesentlichen durch die Kinderchirurgie Lübeck erfolgte. Ebenfalls erfolgte die Aufnahme in die Studie, wenn die Behandlung in einer anderen Klinik fortgesetzt wurde.

In diesem Fall wurden die Nachuntersuchungsergebnisse durch die weiterbehandelnden Ärzte erhoben.

Zur Reduzierung des Selektionsbias wurden auch diejenigen Fälle eingeschlossen, bei denen die Röntgenbilder von ungenügender Qualität waren. Außerdem fand keinerlei Beschränkung hinsichtlich der Frakturlokalisationen statt. Es konnten bei eindeutigem klinischen Befund auch okkulte Frakturen, die im Röntgenbild nicht eindeutig diagnostizierbar waren, in diese Studie zur Auswertung der Epidemiologie eingeschlossen werden. Diese Frakturen wurden jedoch bei der Klassifikationsvalidierung nicht berücksichtigt.

Das Vorliegen einer von den Erziehungsberechtigten unterzeichneten Einverständniserklärung war Voraussetzung für Aufnahme der Patienten in diese Studie und für die Erfassung der Daten (siehe Anhang 9.1). Alle Fälle mit Verdacht auf Kindesmisshandlung wurden von dieser Studie ausgeschlossen

### 2.2.1 Datenerhebung

Alle für die Studie in Frage kommenden Patienten wurden anhand der ambulanten und stationären Akten täglich ermittelt.

Die mündliche und schriftliche Aufklärung wurde im Rahmen der Erstuntersuchung eingeholt. Bei vorliegender Einverständniserklärung wurden die Akten sowie die Röntgenbilder gesichtet und dokumentiert.

Die Behandlung erfolgte nach den Standards der Kinderchirurgie Lübeck und blieb somit durch die Teilnahme an der Studie unverändert. Dabei wurde im Rahmen der Therapiemöglichkeiten immer auch der Elternwille berücksichtigt.

### 2.2.2 LiLa- Klassifikation

Der gemeinnützige Verein „Licht und Lachen für kranke Kinder - Effizienz in der Medizin e.V.“ (LiLa) ist ein Zusammenschluss von Pädiatern und Kinderchirurgen aus Deutschland, Österreich und der Schweiz. Gegründet wurde der Verein LiLa am 11.12.2000, um durch den Erwerb und die Weitergabe von Kompetenzen in der Behandlung von Kindern eine kindgerechtere Medizin weiterzuentwickeln und zu verbreiten. Zu diesem Zwecke wurde in Zusammenarbeit mit dem Institut für Evaluative Forschung in Orthopädischer Chirurgie (IEFO) der Universität Bern unter anderem die „LiLa-Klassifikation“ auf der Grundlage der AO-Klassifikation entwickelt. Sie soll:

- zur Beschreibung aller Frakturen der langen Röhrenknochen im Wachstumsalter dienen
- eine einfachere Systematik als vergleichbare Klassifikationen aufweisen
- eine hohe Anwenderfreundlichkeit bei ausreichend hoher Spezifität bieten
- als Grundlage für die Entwicklung evidenzbasierter Therapieprinzipien nutzbar sein
- durch die Angabe des Dislokationsausmaßes innerhalb der Klassifikation bereits zur Therapieentscheidung beitragen.

Diese Klassifikation wurde erstmals im Jahre 2000 veröffentlicht (LAER VON 2000) und im Rahmen von zwei Multicenterstudien in den Jahren 2003 und 2005 an 13 bzw. 15 teilnehmenden Kliniken in Deutschland, Österreich und der Schweiz bereits angewendet. Die Klassifikation wurde im Rahmen dieser Multicenterstudien schon vor ihrer klinischen Anwendung validiert, um sie durch Anpassungen weiter verbessern zu können (AUDIGE et al. 2005). Es handelt sich bei der in dieser Studie verwendeten Form um die zweite Version der Klassifikation (LINHART 2009). Gemäß der LiLa-Klassifikation wird jede Fraktur mit einem fünf- bis sechsstelligen Code versehen (Abbildung 14).

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

Abbildung 14: **Übersicht über die LiLa-Klassifikation kindlicher Frakturen** (LINHART, 2009)

### Lokalisation im Skelett

Die erste Stelle des Klassifikationscodes bezeichnet wie bei der AO-Klassifikation den betroffenen langen Röhrenknochen. Hierbei werden die langen Röhrenknochen von kranial nach kaudal folgend nummeriert: 1 = Humerus, 2 = Radius, 3 = Femur und 4 = Tibia. Bei den paarigen Knochen wird nur der hauptsächlich tragende Knochen klassifiziert (Tibia bzw. Radius). Da begleitend auftretende Fibula- bzw. Ulnafrakturen bei Kindern meist keine therapeutische Relevanz haben, richtet sich die Therapie bei Frakturen beider paarigen Knochen nach dem tragenden Knochen. Sollen isolierte Frakturen an Ulna oder Fibula klassifiziert werden, besteht an sechster Position die Möglichkeit, diese Frakturen mittels „U“ für Ulna oder „F“ für Fibula zu bezeichnen.

### Angabe des Segmentes

Mit der zweiten Ziffer wird das betroffene Knochensegment von proximal nach distal definiert: 1 = das proximale, 2 = das mittlere, 3 = das distale Segment. Proximales und distales metaphysäres Segment werden laut offizieller Definition der LiLa-Klassifikation "mit dem Quadrat über der zugehörigen Fuge definiert (Zirkelschlag von den Ecken der Epiphysenfuge aus)" (LAER VON et al. 2007).

### Frakturtyp

An dritter Stelle erfolgt die Unterscheidung zwischen Gelenk- und Schaftfrakturen. Gelenkfrakturen werden mit dem Buchstaben „a“ für „articular“ und Schaftfrakturen mit einem „s“ für „shaft oder non-articular“ gekennzeichnet. Zu beachten ist, dass in dieser Klassifikation Epiphysenfrakturen zu den Gelenkfrakturen und Epiphysenlösungen und metaphysäre Frakturen zu den Schaftfrakturen gezählt werden, da sie die Gelenkfläche nicht tangieren.

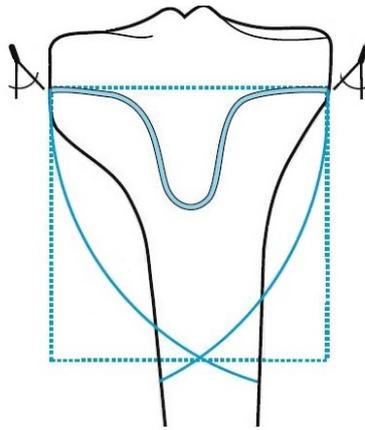


Abbildung 15: **Darstellung der Metaphyse nach Definition der LiLa-Klassifikation** (MARZI et al., 2006)

### Spezifizierung des Frakturtyps

An vierter Position wird mit einer Ziffer der Typ der Fraktur bezeichnet, für Schaft- oder Gelenkfrakturen werden dabei unterschiedliche Ziffern verwendet.

Für **Gelenkfrakturen** gibt es folgende Klassifikationsmöglichkeiten (Abbildung 16):

1 = Salter-Harris-III-Fraktur

2 = Salter-Harris-IV-Fraktur

3 = Twoplane-Übergangs-Fraktur

4 = Triplane-Übergangs-Fraktur

5 = andere Frakturtypen (alle Gelenkfrakturen, die statistisch nicht ins Gewicht fallen, wie Gelenkfrakturen am proximalen Humerus, am proximalen und distalen Radius, an der proximalen und distalen Ulna sowie dem proximalen Femur)

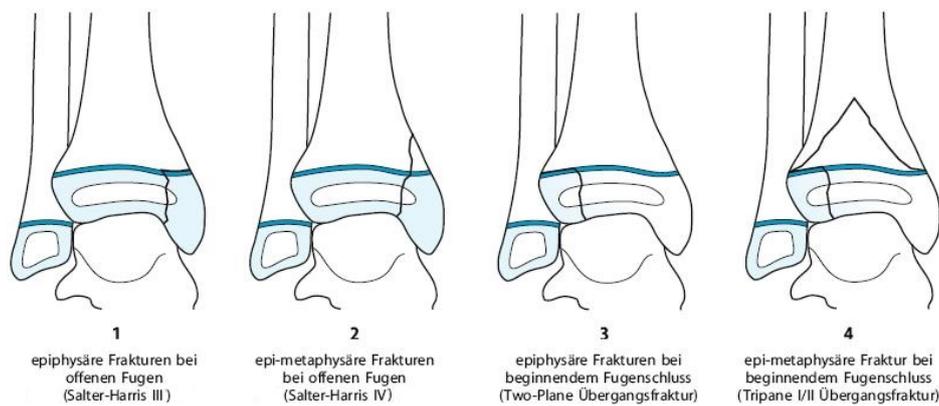


Abbildung 16: **Einteilung der epiphysären Frakturen nach der LiLa-Klassifikation** (MARZI et al. 2006)

**Schaftfrakturen** werden wie folgt klassifiziert (Abbildung 17):

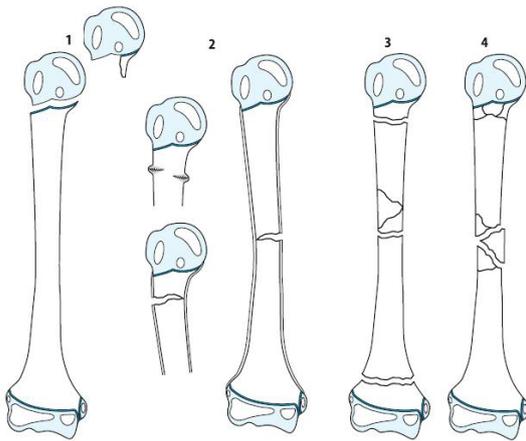


Abbildung 17: **Einteilung der Schaftfrakturen nach der LiLa-Klassifikation** (MARZI et al. 2006).

- 1 = Epiphysenlösungen (Salter I und II)
- 2 = Metaphysäre bzw. diaphysäre Grünholz- und Wulstfraktur
- 3 = Quer-, Schräg-, Torsionsfraktur
- 4 = Alle Mehrfragmentfrakturen
- 5 = Andere

#### **Klassifikation von Ausnahmen**

Aufgrund der Komplexität und der differenten Behandlung gelten artikuläre Frakturen des distalen Humerus als Ausnahme. Sie werden mit folgenden Ziffern klassifiziert:

- 1 = Fraktur des Condylus radialis humeri
- 2 = Y-Fraktur
- 3 = Fraktur des Condylus ulnaris humeri
- (4 = unbelegt)
- 5 = andere (z.B. osteochondrale Frakturen und knöcherne Bandausrisse).

#### **Schweregrad/Dislokationsausmaß**

Mit der fünften Ziffer wird die Frakturdislokation beurteilt. „0“ steht für „keine Dislokation“. Bei einer Dislokation wird je nach Wahrscheinlichkeit einer Spontankorrektur eine therapeutische Einschätzung getroffen. „1“ unterscheidet die „tolerable Dislokation“ von der mit „2“ als „nicht tolerabel“ eingeschätzten interventionsbedürftigen Dislokation (MARZI et al. 2006). Diese Entscheidung wird vom Betrachter anhand seiner Kenntnisse und Einschätzung getroffen. Somit geht die fünfte Ziffer über die reine Klassifikation einer Fraktur hinaus. Anhand dieser Position bezieht der Klassifizierende Stellung zum therapeutischen Vorgehen bei einer dislozierten Fraktur.



Abbildung 18: **Beispiele für die Anwendung der Klassifikationen**

- a) Distale Tibiafraktur Salter-Harris II bei einem 14-jährigen Jungen ohne Dislokation: LiLa-Klassifikation: 4.3.s.1.0 bzw. AO- Klassifikation: 4.3-E/2.1
- b) komplett dislozierte distale Unterarmschaftfraktur bei einem 13-jährigen Jungen: LiLa-Klassifikation: 2.2.s.3.2 bzw. AO- Klass: 2.2-D/4.1

## 2.3 Formulare zur Erhebung der Daten

### 2.3.1 Einverständniserklärung

Zu Beginn der Behandlung wurde das Einverständnis zur Teilnahme an der Studie und zur Erhebung der Daten von den Erziehungsberechtigten eingeholt. Hierfür wurde eine von MEMDOC bereitgestellte und für die Lübecker Kinderchirurgie modifizierte Einverständniserklärung verwendet (siehe Anhang).

Wenn die Erziehungsberechtigten nicht persönlich angetroffen werden konnten, erfolgte die Aufklärung telefonisch und die Zusendung der Einverständniserklärung auf dem Postweg.

### 2.3.2 Primärerfassungsbogen

Mit diesem Bogen wurden alle epidemiologischen und behandlungsspezifischen Daten erfasst (vgl. Anhang).

Folgende Daten zur **Aufnahme** wurden ermittelt: Unfalldatum, Aufnahmedatum und Art und Ort des Unfalls (dabei Doppelnennungen möglich). Außerdem wurden das Auftreten von zusätzliche Verletzungen dokumentiert. Haut- und Weichteilverletzungen wurden weiter differenziert (offen oder geschlossen, I° bis III°), während Nerven- und Gefäßverletzungen lediglich quantitativ erfasst wurden. Zusätzlich wurde der Frakturtyp angegeben („frisch“, „pathologisch“, „Re-Fraktur“ oder „andere“).

Nach der Verschlüsselung der Fraktur anhand der **LiLa-Klassifikation** wurde der Grad der Dislokation spezifiziert. Eine Varus-/ Valgus-, Antekurvations- oder Rekurvationsfehlstellung der Fraktur wurde am Röntgenbild mithilfe eines Goniometers in 5°- Abstufungen erfasst.

Bei „ad latus“ Verschiebung wurde in vier Schweregrade unterteilt, der Versatz wurde angegeben in: „Kortexbreite aber weniger als ein Drittel der Schaftbreite“, „weniger als halbe Schaftbreite“, „mehr als halbe Schaftbreite“ oder „komplette Schaftbreite“. Bei Tibiafrakturen wurde zusätzlich erfasst, ob eine Rotationsfehlstellung vorhanden war. Der Status der Epiphysenfuge wurde ebenfalls beurteilt: „nicht beurteilbar“, „offen“, „partiell geschlossen“ oder „vollständig geschlossen“. Sämtliche Daten zur Behandlung wurden auf dem Primärbogen unter den Punkten „Behandlung I“ und „Behandlung II“ (siehe Anhang) erfasst. Dabei wurde das Datum der primären und sekundären **Behandlung** erhoben und jeweils die Art der Therapieentscheidung mit „Reposition“, „Redression“ oder „Immobilisation“ angegeben. Bei Reposition und Redression wurden jeweils die Therapie und die Angabe der Fehlstellung danach spezifiziert. Bei Immobilisationsbehandlung wurden keine weiteren Angaben erhoben. Außerdem wurden zusätzliche lokale Eingriffe bzw. der Einsatz von Anästhesie oder einer Sedierung abgefragt.

Unter der Rubrik **Verlauf und Entlassung** wurden das Entlassungsdatum und eventuell aufgetretene Komplikationen dokumentiert und deren Status bei der Entlassung beurteilt. Die erhobenen Daten wurden direkt in die Onlinedatenmaske des MEMDOC-Systems eingegeben, verschlüsselt an die Studienzentrale in Bern übermittelt und dort für die Auswertung in der Multicenterstudie gespeichert. Alle Daten wurden von dort als Tabelle für die Auswertung im Rahmen dieser Arbeit zurückgesendet.

### 2.3.3 Nachuntersuchungen

Alle Patienten wurden im Rahmen der routinemäßigen Wiedervorstellungen in der Poliklinik nach Ausheilung der Fraktur bzw. spätestens 3 Monate danach nachuntersucht. Bei schwierigen Verläufen wurde nach 6 Monaten eine weitere Nachuntersuchung durchgeführt. Dabei wurden die vom LiLa-Kinderfrakturenregister angefertigten Nachuntersuchungsbögen verwendet (siehe Anhang). Diese enthalten Fragen zu Komplikationen, Funktion, Beschwerden und Belastbarkeit im Alltag. Weiterhin wurden die Beweglichkeit der betroffenen Gelenke im Seitenvergleich nach der Neutral-Null-Methode (siehe Anhang) sowie Beinlängenmessungen (siehe Anhang) und die Beurteilung des Gangbildes erfasst. Die erhobenen Nachuntersuchungsergebnisse wurden im Rahmen einer zweiten Studie analysiert.

## 2.4 Dokumentation der Daten mittels

### MEMDOC

Die erhobenen epidemiologischen Daten und die Ergebnisse der Nachuntersuchungen wurden mittels MEMDOC direkt online dokumentiert. MEMDOC ist eine online frei verfügbare Dokumentationshilfe für Chirurgen und Orthopäden. Sie wurde entwickelt vom Institut für Evaluative Forschung in der Orthopädie (IEFO) der Universität Bern und nach dem ehemaligen Chefarzt der Unfallchirurgie der Universitätsklinik Bern und Mitbegründer der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen, Maurice E. Müller (MEM), benannt.

### 2.4.1 Datenschutz

Zur Wahrung des Datenschutzes wurden alle Patienten pseudonymisiert an die Studienzentrale übermittelt. Jedem Patienten wurde dazu eine sechsstellige Bezeichnung zugeordnet. Diese setzt sich aus einer der Klinik zugeordneten dreistelligen Buchstabenfolge - in unserem Falle LUB für Lübeck - und einer fortlaufenden Nummerierung zusammen.

Die ermittelten epidemiologischen und frakturrelevanten Daten wurden nach Eingabe in die Onlinedatenmaske "MEMDOC" verschlüsselt an die Studienzentrale in Bern übermittelt. Nach Abschluss der Datenerfassungsphase wurden von der Studienzentrale alle Rohdaten in Form einer Exceltabelle zusammengefasst. So konnten sie anschließend an unserer Klinik von der Doktorandin ausgewertet werden. Die Studienzentrale verwendete ihrerseits die Daten für eigene Auswertungen, insbesondere im Vergleich zu den weiteren an der Multicenterstudie teilnehmenden Kliniken des Dreimonatszeitraumes vom 1. Oktober 2005 bis zum 31. Dezember 2005.

## 2.5 Evaluation der Klassifikation

Um die LiLa-Klassifikation auf ihre Qualität hin zu bewerten, mussten sowohl die Intra- als auch die Interobserver-Reliabilität untersucht werden. Die Reliabilität ist ein Maß für die Wiederholbarkeit und damit Reproduzierbarkeit eines Testes. So wurde durch Berechnung der Interobserver-Reliabilität geprüft, in wie weit unterschiedliche Bewerter bei der Klassifikation zu einem untereinander übereinstimmenden Ergebnis kamen (interindividuelle Reproduzierbarkeit).

Dazu erfolgte die Durchsicht aller von den Frakturen angefertigten Röntgenbilder unabhängig voneinander durch jeweils vier Betrachter. Es handelte sich dabei um den damaligen Direktor der Kinderchirurgie Prof. Dr. med. L. M. Wessel (im Folgenden *KCh1*), den Oberarzt der Kinderchirurgie Lübeck PD Dr. med. M. M. Kaiser (*KCh2*), den Oberarzt der Kinderradiologie Dr. med. M. Buchholz (*Rad*) und die Doktorandin als Vertreterin für medizinisch gebildete "Laien" (*Laie*). Dabei wurde für die Auswertung die Klassifikation des erfahrensten Kinderchirurgen, *KCh1*, (Prof. Dr. L. M. Wessel) als "Goldstandard" definiert. Zum Vergleich erfolgte die Auswertung mit der Klassifikation durch den erfahrenen Kinderchirurgen, *KCh2*, (PD Dr. M. M. Kaiser) als „alternativer Goldstandard 2“.

In dieser Arbeit wurden die Klassifikationsergebnisse der vier Beobachter im ersten Bewertungsdurchgang miteinander verglichen. Außerdem wurde die Übereinstimmung jedes einzelnen Beobachters mit dem als „Goldstandard“ definierten Beobachter berechnet. Des Weiteren wurde durch Berechnung der Intraobserver-Reliabilität geprüft, ob ein Bewerter bezüglich einer Fraktur bei wiederholter Beurteilung zum identischen Ergebnis, in diesem Fall Klassifikationscode, kam (intraindividuelle Reproduzierbarkeit). Dabei erfolgte zusätzlich zur rein quantitativen Berechnung der Übereinstimmung auch eine genaue Betrachtung der Tendenzen der Abweichungen der einzelnen Bewerter zwischen erster und zweiter Beurteilung. Um die Ursachen der Intraobserverabweichungen genauer nachvollziehen zu können wurden dann 65 zufällig gewählte Fälle mit Abweichungen von einem Klassifizierenden erneut betrachtet und die Gründe für die jeweilige Abweichung vom ersten Urteil benannt.

Zur Klassifikation erhielten alle Beteiligten eine Anleitung zur Anwendung der Klassifikation in Form einer Power-Point-Präsentation auf Compact Disc (CD) sowie in Papierform. Eine spezifische Einführung bzw. ein Training wurde bewusst nicht durchgeführt, um eine realitätsnahe klinische Anwendung zu simulieren.

Um eine zeitgleiche Beurteilung der Röntgenbilder durch mehrere Untersucher zu ermöglichen, wurden alle Bilder digitalisiert und auf digitalen Datenträgern (CD) vervielfacht. Epidemiologische Daten und Angaben über den klinischen Befund, die Behandlung oder den Unfallhergang wurden bei der Klassifikation der Röntgenbilder nicht zur Verfügung gestellt. Der Klassifikationscode wurde von den teilnehmenden Personen somit allein aufgrund des Röntgenbildes gewählt und dann schriftlich festgehalten.

Zur Validierung der Intraobserver-Variabilität fand eine zweite Beurteilung der Röntgenbilder nach sechs Monaten durch jede der beteiligten Personen statt. Die erneute Klassifikation der Frakturen wurde ebenfalls schriftlich festgehalten. Nach Abschluss beider Klassifikationsrunden wurden die erste und zweite Klassifizierung in Form einer Exceltabelle zusammengefügt und sowohl die Inter- als auch die Intraobserver-Reliabilität berechnet.

Die Berechnung der Übereinstimmung für die zweite bis fünfte Stelle der Klassifikation wurde nur dann vorgenommen, wenn die Klassifikation der vorigen Stelle übereinstimmte. Wurde eine Fraktur an einer Stelle abweichend klassifiziert, erfolgte daher für die folgenden Unterpunkte der Klassifikation keine weitere Auswertung.

## 2.6 Statistische Methoden

### Teil A/ Epidemiologie:

Die Studienzentrale in Bern übermittelte die online per Eingabemaske erhobenen Daten als Rohdatei. Diese wurde sowohl in Microsoft Excel 2007® als auch in SPSS® eingearbeitet und ausgewertet. Die Auswertung der epidemiologischen Daten erfolgte größtenteils mittels Microsoft Excel 2007®, für ergänzende Berechnungen wurde das Statistikprogramm SPSS® Version 17 verwendet. Mithilfe dieser Programme wurden Tabellen und Diagramme erstellt (Kreis- und Säulendiagramme, Berechnung und Darstellung der polynomischen Trendlinie), Mittelwerte berechnet, Kreuztabellen und Chi-Quadrat-Test durchgeführt. Darüber hinaus wurden absolute und relative Häufigkeiten ermittelt. Die Bearbeitung von eingescannten Bildern oder Anpassung von erstellten Grafiken und Tabellen erfolgte mit Adobe Photoshop CS3® und Adobe Illustrator CS3®. Die Literatur wurde mit dem Programm EndNoteX® verwaltet und die Textverarbeitung erfolgte abschließend mit MikTeX 2.9 (LaTeX)®.

**Teil B/ Klassifikation:**

Zur Bewertung der Klassifikation wurden die Inter- und Intraobserver-Reliabilität mithilfe des Kappa-Koeffizienten nach Cohen berechnet (COHEN 1960). Der Kappa-Koeffizient ( $K$ ) gibt das Maß der Übereinstimmung zweier Beobachter bezüglich einer Alternative an und berechnet sich aus

$$K = \frac{p_0 - p_e}{1 - p_e}$$

Hierbei ist  $p_0$  der Anteil der übereinstimmenden Urteile und  $p_e$  der Anteil, der der Zufallswahrscheinlichkeit entspricht. Bei vollständiger Übereinstimmung der Beobachter in allen Beobachtungen wäre  $K = 1$ , bei einer Übereinstimmung in Höhe der Zufallserwartung betrüge  $K = 0$ . Kappa kann theoretisch auch negative Werte (bis -1) annehmen (WEISS 2005).

$K$  misst dabei nur die Übereinstimmung zwischen zwei (oder mehreren) Bewertern, trifft allerdings keine Aussage darüber, ob diese Bewertung auch richtig ist. Man muss dazu einen Goldstandard definieren, der das korrekte Ergebnis vorgibt, und kann erst danach die Übereinstimmung der anderen Bewerter mit der - per definitionem - richtigen Klassifikation überprüfen. Daher wurde in unserem Fall der erfahrenste Kinderchirurg (*KCh1*) als Goldstandard angenommen.

Die Interpretation der Höhe des Kappa-Koeffizienten wird in der Literatur sehr unterschiedlich gehandhabt. Die am häufigsten verwendete Interpretationsrichtlinie für den  $K$ -Koeffizienten ist in Tabelle 3 dargestellt und stammt von Landis und Koch (KOCH et al. 1977).

<b>K</b>	<b>Interpretation</b>	<b>deutsche Entsprechung</b>
< 0	Poor agreement	Schlechte Übereinstimmung
0.0 – 0.20	Slight agreement	Geringe Übereinstimmung
0.21 – 0.40	Fair agreement	Ausreichende Übereinstimmung
0.41 – 0.60	Moderate agreement	Mittelmäßige Übereinstimmung
0.61 – 0.80	Substantial agreement	Wesentliche Übereinstimmung
0.81 – 1.00	Almost perfect agreement	Beinahe perfekte Übereinstimmung

Tabelle 3: Interpretation des Kappa-Koeffizient nach Cohen, Abbildung modifiziert übernommen aus: (KOCH et al. 1977)

Die Berechnungen der  $K$ -Werte wurden von der Studienzentrale in Bern mit dem Makro MAGREE von SAS (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) durchgeführt.

Zur Überprüfung der **Intraobserver-Übereinstimmung** wurden die in der ersten Klassifikationsrunde von jedem einzelnen Bewerter vergebenen Frakturcodes mit den eigenen vergebenen Codes in der zweiten Runde für jeweils dieselbe Fraktur verglichen. Dabei wurde jede Stelle der Frakturklassifikation einzeln betrachtet und wie zuvor die Übereinstimmung in der bzw. den vorangehenden Stellen vorausgesetzt. So wurden zur Berechnung der ersten Ziffer

des Klassifikationscodes (CD1) alle Fälle berücksichtigt, für die Übereinstimmung der zweiten Ziffer (CD2) dann nur diejenigen, die an erster Stelle (CD1) identisch klassifiziert wurden. Für die Berechnung der Konkordanz an dritter Stelle der Klassifikation wurden analog nur diejenigen Fälle mit übereinstimmender Klassifizierung der ersten und zweiten Ziffer (CD1 und CD2) herangezogen.

Zur Auswertung der **Interobserver-Übereinstimmung** wurde (wie bereits für die Berechnung der Intraobserver-Übereinstimmung beschrieben) die Übereinstimmung zwischen den Bewertern für jede der Klassifikationsstellen berechnet. Dabei wurden die Bewerter untereinander und im Vergleich zum Goldstandard gesetzt. Als Goldstandard wurde der vom erfahrensten Kinderchirurgen (*KCh1*) vergebene Klassifikationscode angenommen, zum Vergleich wurde in einer zweiten Berechnung ein alternativer Goldstandard definiert (der erfahrene Chirurg, *KCh2*).

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Ergebnisse der epidemiologischen Auswertung

Aus den Einschlusskriterien ergab sich ein Patientenkollektiv von 516 Patienten. Davon mussten insgesamt 89 von der Studie ausgeschlossen werden: Bei 22 Patienten waren die Unterlagen (Röntgenbilder oder Akten) unvollständig, bei 30 Patienten konnte eine Fraktur nicht sicher diagnostiziert werden, 23 weitere Patienten erhielten die wesentliche Behandlung nicht in der Kinderchirurgie der Universitätsklinik Lübeck (nur Einholung einer Zweitmeinung etc.) und 14 Patienten konnten aufgrund fehlender Einwilligung nicht in die Studie aufgenommen werden.

Traten bei einem Patienten mehrere Frakturen gleichzeitig oder in zeitlichem Abstand zueinander auf, wurden diese Fälle unabhängig voneinander betrachtet. Somit konnten insgesamt 425 Patienten mit 438 Frakturen im Alter von 0-16 Jahren analysiert werden. Es lagen bei 4 Mädchen je zwei Frakturen gleichzeitig und einmal eine Refraktur vor. 3 Jungen erlitten je zwei Frakturen synchron, bei 3 Jungen traten 2 Frakturen bzw. bei einem Jungen 3 Frakturen metachron auf. Im Weiteren wird ausschließlich auf die Frakturen und nicht auf die Patienten Bezug genommen.

Zunächst erfolgte die Auswertung der epidemiologischen Daten gemeinsam für alle erfassten Frakturen. Anschließend wurden die epidemiologischen Zahlen für die häufigsten Frakturlokalisationen getrennt analysiert.

#### 3.1.1 Epidemiologische Daten aller Frakturen

##### Alter und Geschlecht

Es traten von den 438 ausgewerteten Frakturen 194 bei Mädchen und 244 bei Jungen auf. Der Altersdurchschnitt des Patientenkollektives betrug  $7,3 \pm 4,2$  Jahre, der Median lag bei 7 Jahren. Das Verhältnis von Mädchen zu Jungen betrug 1 : 1,26. Das durchschnittliche Alter bei Fraktureintritt lag bei den Mädchen bei 6,84 Jahren und bei den Jungen bei 7,74 Jahren. Während des Erfassungszeitraumes vom Oktober 2005 bis zum September 2006 war die Häufigkeit der dokumentierten Frakturen bei den Kindern im 4. bis 9. Lebensjahr steigend, wobei der Altersgipfel bei den Mädchen früher erreicht wurde. Danach waren die Fallzahlen bis zum 16. Lebensjahr sinkend. Im 11. Lebensjahr war ein erster Rückgang zu beobachten, im 15.-17. Lebensjahr wurden nur noch wenige Patienten mit Frakturen behandelt (Abbildung 19).

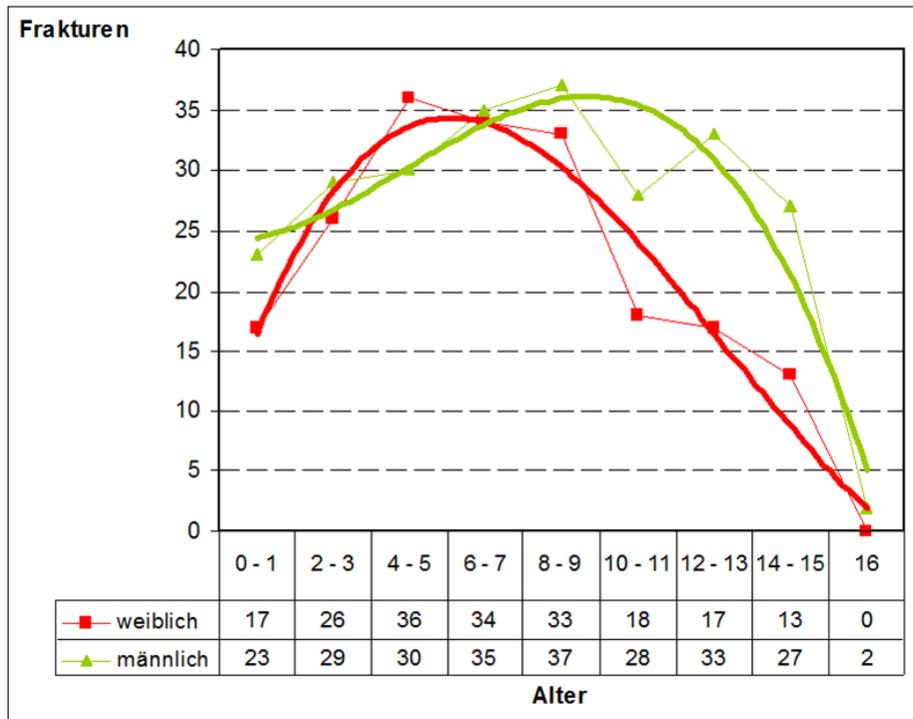


Abbildung 19: **Verteilung der Frakturhäufigkeit** im jeweiligen Alter (Zweijahresintervalle) mit polynomischer Trendlinie. Differenzierung nach dem Geschlecht.

Die Häufigkeitsgipfel lagen bei den Mädchen im 4. und im 7. Lebensjahr, bei den Jungen lag er zwischen dem 7. und dem 15. Lebensjahr mit einem zwischenzeitlichen Absinken der Frakturhäufigkeit im 9. Lebensjahr.

Bei den Mädchen war die Frakturhäufigkeit früher rückläufig als bei den Jungen: 75 % der Frakturen ereigneten sich bei den Mädchen vor dem 9. Lebensjahr, bei den Jungen traten 75 % der Frakturen vor dem 12. Lebensjahr ein.

## Unfalldaten

### Verteilung der Frakturhäufigkeit auf die Monate eines Jahres

Innerhalb des Beobachtungszeitraumes vom 01. Oktober 2005 bis zum 30. September 2006 ergaben sich unterschiedliche Verteilungen der Frakturhäufigkeit bezogen auf die Monate (Abbildung 20).

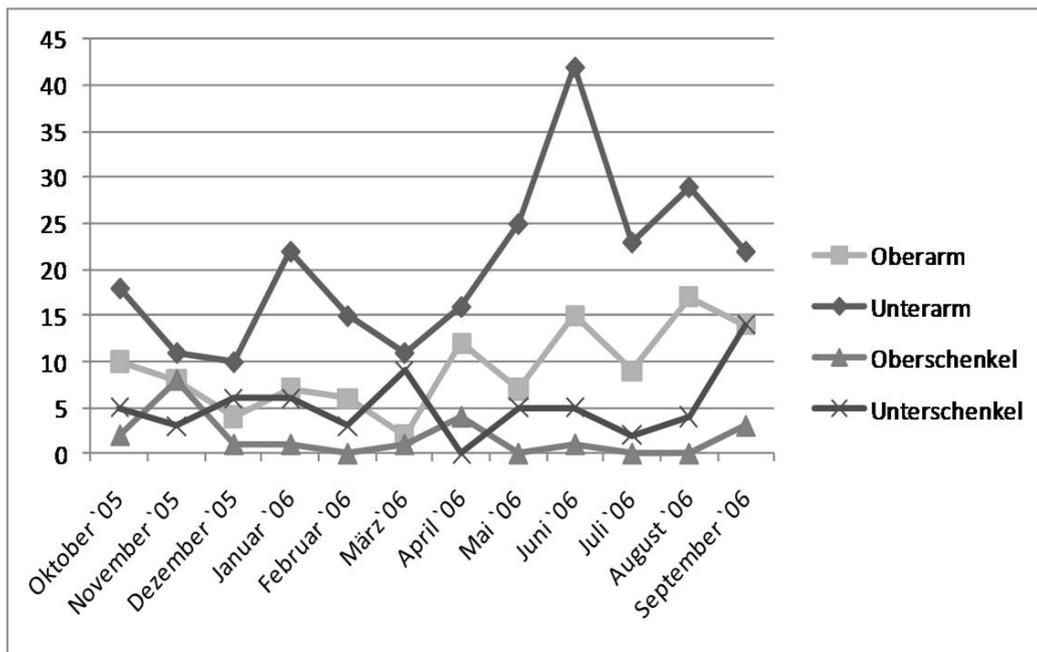


Abbildung 20: Verteilung der Frakturen (absolute Häufigkeiten) der einzelnen Lokalisationen auf die Monate über den Untersuchungszeitraum von einem Jahr

In den Sommermonaten Juni bis August kam es zu einer starken Zunahme der Frakturen (bedingt durch die hohe Zahl der Unterarmbrüche), in diesem Zeitraum ereigneten sich 33,6 % aller Frakturen. Bei Frakturen der oberen Extremität betrug dieser Anteil 37,7 %, während sich Frakturen der unteren Extremität während der Sommermonate nur in 11,3 % ereigneten.

### Unfallort und Unfallhergang

Bis auf einen Fall wurde anamnestisch immer ein Unfall als auslösende Ursache genannt. Bei einem Jungen trat im ersten Lebensjahr eine Fraktur ohne nachweisliches Trauma auf. In diesem Fall konnte eine Osteogenesis imperfecta nachgewiesen werden.

153 der Unfälle ereigneten sich im häuslichen Umfeld und 72 Unfälle in Schule und Kindergarten. In 112 Fällen stellte Sport die Unfallursache dar, 72 Frakturen zogen sich die Kinder auf Spielplätzen zu. In 14 Fällen war ein Verkehrsunfall ursächlich, davon in einem Fall als Autoinsasse, viermal als Fußgänger und neunmal als Fahrradfahrer.

In Fällen, bei denen keine Zuordnung zu einer der vorher genannten Gruppen möglich war, wurde als Unfallort „andere“ gewählt ( $n = 14$ ). Beschränkt man die Auswahl des Patientenkollektivs auf die schulpflichtigen Kinder (als schulpflichtig wurden alle Kinder ab dem vollendeten 6. Lebensjahr angenommen), ergab sich als häufigste Ursache in 34,5 % aller Fälle ein Sportunfall. Unfälle zu Hause machten ein Viertel (25,7 %), Unfälle in der Schule etwa ein Fünftel (21,2 %) der Frakturursachen aus. Unfälle auf dem Spielplatz traten in 11,7 % und Verkehrsunfälle in 3,8 % ( $n = 10$ ) der Fälle auf.

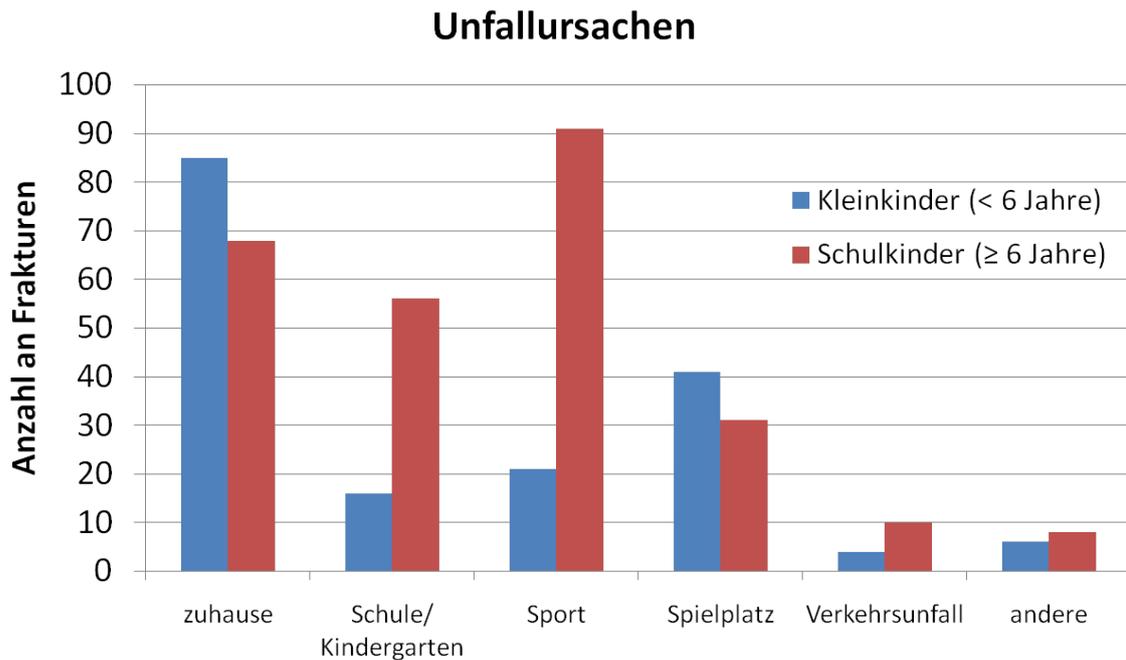


Abbildung 21: Unfallorte bezogen auf die Gruppe der Schul- und der Kleinkindern

In der Gruppe der unter 6-jährigen Kinder traten die meisten Frakturen bei häuslichen Unfällen (48,9 %) auf. Auf dem Spielplatz ereignete sich etwa ein Viertel aller Unfälle (23,6 %), sportliche Aktivitäten führten zu 12 % bzw. im Kindergarten erlittene Unfälle zu 9 % der Frakturen. Als Ausnahme zog das bereits erwähnte Kind mit Osteogenesis imperfecta sich bei einem Bagateltrauma eine Fraktur zu (vgl. Abbildung 21).

### Erfasste Frakturen

#### Lokalisation im Skelett

Frakturen der oberen Extremität dominierten: Hier waren etwa  $\frac{3}{4}$  (76,5 %) aller von uns erfassten Frakturen lokalisiert (Abbildung 22). 55,7 % (n = 244) aller Frakturen waren am Unterarm (Radius und Ulna) lokalisiert, die zweithäufigste Frakturlokalisierung bildete der Humerus mit einem Anteil von 25,3 % (n = 111) aller Frakturen.

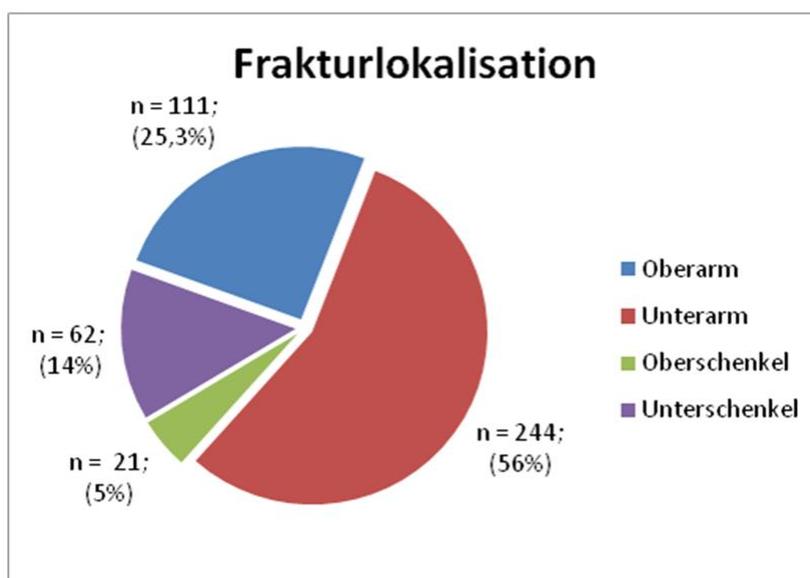


Abbildung 22: Frakturlokalisation. Anzahl der Frakturen in Bezug auf die Skelettabschnitte (Gesamtfrakturzahl n= 438).

### Lokalisation am frakturierten Knochen

Die Aufschlüsselung der Frakturen im Hinblick auf ihre Lokalisation am jeweiligen Knochen (angegeben durch die zweite Stelle der LiLa-Klassifikation, siehe Abbildung 14) ergab: Von den 438 Frakturen lagen 49 (11 %) proximal, 83 (19 %) zentral und 306 (70 %) distal. Bezogen auf die in der LiLa-Klassifikation aufgeführten 12 möglichen Lokalisationen (1.1, 1.2., etc. bis 4.3) trat die distale Unterarmfraktur (2.3.) mit einem Anteil von 40,6 % (n = 178) aller Frakturen am häufigsten auf. Mit 20 % (n = 88) stellten distale Humerusfrakturen (1.3.) die zweithäufigste Frakturlokalisation dar. An dritter Stelle folgten die zentrale Unterarmschaftfraktur (2.2.) mit 9,6 % (n = 42) sowie an vierter Stelle die distale Tibiafraktur (4.3.) mit 8 % (n = 35). Alle übrigen Frakturlokalisationen wiesen eine Häufigkeit von  $\leq 5$  % auf.

		Anzahl	relative Häufigkeit (der jeweiligen Lokalisation)	relative Häufigkeit (von allen Frakturen)
Oberarm	proximal (1.1.)	19	17,12%	4,34%
	central (1.2.)	4	3,60%	0,91%
	distal (1.3.)	88	79,28%	20,09%
	<b>Summe</b>	<b>111</b>		<b>25,34%</b>
Unterarm	proximal (2.1.)	24	9,84%	5,48%
	central (2.2.)	42	17,21%	9,59%
	distal (2.3.)	178	72,95%	40,64%
	<b>Summe</b>	<b>244</b>		<b>55,71%</b>
Oberschenkel	proximal (3.1.)	1	4,76%	0,23%
	central (3.2.)	15	71,43%	3,42%
	distal (3.3.)	5	23,81%	1,14%
	<b>Summe</b>	<b>21</b>		<b>4,79%</b>
Unterschenkel	proximal (4.1.)	5	8,06%	1,14%
	central (4.2.)	22	35,48%	5,02%
	distal (4.3.)	35	56,45%	7,99%
	<b>Summe</b>	<b>62</b>		<b>14,16%</b>
<b>gesamt</b>		<b>438</b>		<b>100,00%</b>

Tabelle 4: Darstellung der Frakturlokalisationen (absolute und relative Häufigkeiten).

### Seitenverteilung

259 Frakturen (59 %) waren links und 179 Frakturen (41 %) rechts lokalisiert, das Verhältnis von Frakturen der linken Körperhälfte zu Frakturen der rechten Körperhälfte betrug demnach 1,45 : 1.

### Dislokation

Die Angabe des Dislokationsausmaßes an fünfter Stelle der LiLa-Klassifikation ergab für 207 Frakturen (47,3 %) keine Dislokation. In 231 Fällen (52,7 %) wurde eine Dislokation angegeben. Davon wurden 79 Frakturen (18,0 %) als „tolerabel disloziert“ bzw. 152 Frakturen (34,7 %) als „nicht tolerabel disloziert“ und somit interventionsbedürftig eingeschätzt.

Eine ad latus-Dislokation war bei 148 der dislozierten Frakturen aufgetreten (Tabelle 5). Bei diesen ad latus dislozierten Frakturen betrug die Dislokation meistens eine Kortexbreite oder weniger als ein Drittel der Schaftbreite (37,8 %). Am zweithäufigsten trat eine Dislokation um die gesamte Schaftbreite auf. Dislokationen um 1/3 bis 1/2 Schaftbreite waren deutlich seltener (22,3 %); am seltensten wurden Dislokationen um 1/2 bis eine ganze Schaftbreite angegeben (12,8 %).

Ausmaß der Dislokation	Anzahl	Anteil an "ad latus" dislozierten Frakturen	Anteil an allen Frakturen
keine	83	56,08%	18,95%
Kortexbreite bis zu 1/3 Schaftbreite	56	37,84%	12,79%
1/3 bis 1/2 Schaftbreite	33	22,30%	7,53%
1/2 bis gesamte Schaftbreite	19	12,84%	4,34%
ab gesamter Schaftbreite	40	27,03%	9,13%

Tabelle 5: Ausmaß der Dislocatio ad latus (= Ausmaß der Seitverschiebung).

Von allen dislozierten Frakturen lag 142-mal eine Dislocatio ad axim vor, dies entspricht 32,4 % aller Frakturen. Bei den meisten, d. h. bei 38 % der ad axim dislozierten Frakturen bzw. 12,3 % aller Frakturen, trat eine Antekurvatur auf. Die zweithäufigste Achsabweichung stellte die Rekurvation mit 9,6 % aller Frakturen dar, Varus- oder Valgusfehlstellungen traten bei je 5,7 % bzw. 4,8 % aller Frakturen auf (Tabelle 6).

### 3 Ergebnisse

	Anzahl	Anteil an "ad axim" dislozierten Frakturen	Anteil an allen Frakturen
Varusfehlstellung	25	17,61%	5,71%
Valgusfehlstellung	21	14,79%	4,79%
Antekurvatur	54	38,03%	12,33%
Rekurvatur	42	29,58%	9,59%

Tabelle 6: Darstellung der relativen Häufigkeit und Dislokationsrichtung bei Dislocatio „ad axim“ (Achsknick)

Im Durchschnitt betrug das Ausmaß der Dislokation für die Varusfehlstellung 16° (Spanne 2°-40°), bei Valgusfehlstellung 15° (4°-40°), bei Antekurvatur 20° (3°-50°) und bei Rekurvatur 19° (5°-50°), vergleiche dazu auch Tabelle 7.

Dislokationsausmaß in Grad	Varus	Valgus	Antekurvatur	Rekurvatur
0-5°	5	4	3	3
6-10°	4	6	10	11
11°-15°	4	4	15	9
16°-20°	6	4	9	2
21°-25°	2	0	6	1
26-30°	0	2	2	11
31-35°	1	0	4	1
über 35°	2	1	5	2

Tabelle 7: Frakturen mit Fehlstellung „ad axim“. Differenzierung nach Dislokationsrichtung und Ausmaß der Fehlstellung in Grad (5° Intervalle)

Eine Rotationsfehlstellung lag bei 2 von 23 Tibiafrakturen vor, diese wurde nicht weiter spezifiziert.

Insgesamt bildete eine Seitverschiebung um  $< 1/3$  Schaftbreite ( $n = 56$  bzw. 12,8 % aller Frakturen) die häufigste Dislokation in unserem Patientenkollektiv, gefolgt von Ante- ( $n = 54$  bzw. 12,3 %) und Rekurvationsfehlstellungen ( $n = 42$  bzw. 9,6 % aller Frakturen).

#### Weichteilverletzungen

Die Schwere begleitender Weichteilverletzungen wurde bei geschlossenen Frakturen nach Tscherne und Oestern, bei offenen Frakturen nach Gustilo und Anderson klassifiziert.

Bei 54,3 % ( $n = 238$ ) aller Frakturen wurden begleitende Weichteilverletzungen dokumentiert. Dabei handelte es sich zu 95,8 % ( $n = 228$ ) um geschlossene Weichteilschäden, 70 % ( $n = 160$ ) davon waren erstgradig. 22,8 % der Weichteilverletzungen ( $n = 52$ ) wurden als zweitgradige, 7 % ( $n = 16$ ) als drittgradige Weichteilverletzungen klassifiziert.

Bei den zehn offenen Frakturen waren 8 Frakturen 1° und 2 Frakturen 2° offen. Drittgradig

offene Frakturen waren in der Studienpopulation nicht aufgetreten. Insgesamt waren bei Mädchen 51 %, bei den Jungen 57 % aller Frakturen mit Weichteilverletzungen verbunden.

#### **Begleitende Verletzungen von Gefäßen oder Nerven**

Nerven- und/oder Gefäßverletzungen, die sich in Form von Sensibilitäts- oder Durchblutungsstörungen äußerten, traten bei 27 der 438 Frakturen auf. Dies entspricht einer relativen Häufigkeit von 6,2 %. 9 dieser Verletzungen fanden sich bei Oberarm-, 23 bei Unterarmfrakturen. An der unteren Extremität kam es bei einer Oberschenkelfraktur und 3 Unterschenkelfrakturen zu einer Gefäß- oder Nervenverletzung. Das Verhältnis von Mädchen zu Jungen mit diesen Begleitverletzungen betrug 1,4 : 1.

#### **Weitere Begleitverletzungen**

Sonstige Begleitverletzungen, wie zum Beispiel eine zusätzliche Luxation, traten bei Frakturen an der oberen Extremität mit einer relativen Häufigkeit von 9 % (n = 32) auf. Bei Oberarmfrakturen lagen solche Begleitverletzungen bei 8,1 % (n = 9), bei Unterarmfrakturen bei 9,4 % (n = 23) der Frakturen vor. Bei Frakturen der unteren Extremität kam es an Ober- und Unterschenkel je in etwa 4,8 % der Fälle zu Begleitverletzungen (einmal am Oberschenkel und dreimal am Unterschenkel). Insgesamt gingen 8,2 % aller Frakturen mit einer Begleitverletzung einher, das Verhältnis von Mädchen zu Jungen betrug dabei 0,8 zu 1.

#### **Frakturtyp**

425 der Frakturen waren akute traumatische Frakturen aufgrund eines adäquaten Traumas. Achtmal lag eine Refraktur vor, diese betraf fünfmal den Unterarm und jeweils einmal den Oberarm, den Ober- und den Unterschenkel.

Bei zwei Frakturen handelte es sich um pathologische Frakturen: In einem Fall war eine dislozierte Femurschaftfraktur bei einem 2-jährigen Jungen durch einen Sprung von einer Schaukel aufgetreten, bei dem nach Chemotherapie eine Osteopenie vorlag, in einem weiteren Fall hatte ein 2 Wochen alter Junge aufgrund einer Osteogenesis imperfecta eine Humerusschaftfraktur erlitten.

Zwei Frakturen konnten keiner dieser Gruppen sicher zugeordnet werden, da diese Frakturen uns verzögert vorgestellt wurden. In einem Fall lag das Trauma bereits eine Woche zurück, die Fraktur war von einem niedergelassenen Chirurgen nicht diagnostiziert worden. Im zweiten Fall hatte bereits eine Vorbehandlung stattgefunden und die Überweisung erfolgte bei sekundärer Dislokation unter Therapie.

#### Status der Epiphysenfuge

Die Beurteilung der Epiphyse im Röntgenbild ergab in 423 Fällen (96,6 %) eine noch offene Epiphysenfuge. Bei 14 Patienten (96,6 %) war diese bereits partiell und in einem Fall (0,23 %) vollständig geschlossen.

#### Therapie

Bei der Angabe der primären Therapie wurde differenziert in Reposition, Redression und Immobilisation. Es wurden 161 Frakturen (37 %) primär reponiert, 9 Frakturen (2,1 %) wurden redressiert und 268 Frakturen (61,2 %) wurden ausschließlich durch einen Gips- oder Castverband immobilisiert (Abbildung 23).

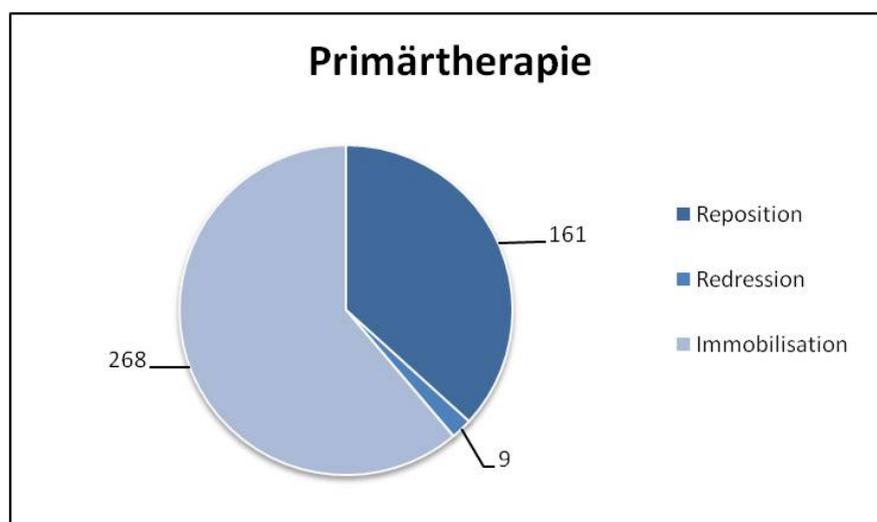


Abbildung 23: **Primärtherapie**

Anteil der primär mit Immobilisation, Reposition oder Redression therapierten Frakturen (n = 438)

134 (83,2 %) Frakturen konnten geschlossen, 27 Frakturen (16,8 %) mussten offen reponiert werden. Nach der Reposition erfolgte in 110 Fällen (40,9 %) eine Ruhigstellung durch eine Gipsbehandlung. Bei 86 Patienten (32 %) wurde die Fraktur durch einen Kirschner-Draht fixiert und im Gips ruhiggestellt, bei 3 Patienten (1,1 %) wurde ein Fixateur externe eingesetzt und bei 40 Patienten (14,9 %) wurde eine elastisch stabile intramedulläre Nagelung verwendet. Eine Zuggurtungsosteosynthese wurde bei 18 (6,7 %), eine Plattenosteosynthese bei 4 (1,5 %) und eine Zugschraubenosteosynthese bei 8 (3 %) der Behandlungen eingesetzt.

Eine Redressionsbehandlung wurde in 9 Fällen durch Blount'sche Schlinge durchgeführt. Bei 268 Frakturen (61,2 %) konnte als primäre Therapieentscheidung die Ruhigstellung durch Anlage eines Gipsverbandes (oder Kunststoffcasts) gewählt werden.

In 3 von 438 Fällen waren zusätzliche lokale Eingriffe notwendig, es handelte sich hierbei immer um Tibiafrakturen. Einmal erfolgte bei Übergangsfaktur der proximalen Tibia eine Punktion des begleitenden Kniegelenkergusses zur Entlastung des Gelenkes und zur Schmerztherapie. Bei 259 konservativen Behandlungen (56,7 %) war keine Anästhesie oder Sedierung erforderlich.

Eine Vollnarkose erhielten 149 Patienten (32,6 %), bei 23 Patienten (5 %) wurde eine Sedierung durchgeführt. In einem Fall kam eine Regionalanästhesie zum Einsatz.

#### 3.1.2 Beschreibung der häufigsten Frakturen

Nach der Auswertung der epidemiologischen Daten für alle Frakturen erfolgte die getrennte Auswertung zu den häufigsten Frakturen.

76,5 % aller Frakturen betrafen die obere Extremität. 244 Frakturen waren am Unterarm (Radius und Ulna) lokalisiert und damit die häufigste Lokalisation (55,7 %), Humerusfrakturen bildeten mit 25,3 % (n = 111) die zweithäufigste Lokalisation aller Frakturen.

#### Distale Unterarmfrakturen

Die distale Unterarmfraktur stellte mit 178 (40,6 %) die häufigste aller Frakturen in unserem Patientenkollektiv dar. 103 Frakturen waren bei Jungen und 75 Frakturen bei Mädchen aufgetreten. Daraus ergab sich ein Verhältnis von 1,4 : 1. Der Altersdurchschnitt für alle distalen Unterarmfrakturen lag bei 8,35 Jahren. Die geschlechtsspezifische Berechnung ergab für die Jungen einen Altersdurchschnitt von 8,81 Jahren und für die Mädchen einen von 7,72 Jahren. Somit waren die Jungen zum Zeitpunkt der Fraktur im Durchschnitt ein Jahr älter als die Mädchen.

Von den distalen Radiusfrakturen wurden 60,1 % (n = 107) als Wulst- oder Grünholzfrakturen, 30,3 % (n = 54) als komplette Frakturen (Quer-, Schräg- oder Spiralfrakturen) und 9,6 % (n = 17) als Epiphysenlösungen mit oder ohne metaphysärem Keil (Salter-Harris-I- und Salter-Harris-II-Frakturen) klassifiziert.

Das Dislokationsausmaß wurde bei den Salter-Harris-I- und Salter-Harris-II-Frakturen des distalen Unterarms in 8 Fällen als „nicht tolerierbar“ disloziert in 7 Fällen als „nicht disloziert“ und bei 2 Frakturen als „tolerierbar disloziert“ eingestuft. Bei den Wulst- und Grünholzfrakturen des distalen Unterarmes lag in 78,5 % (n = 84) keine Dislokation vor, bei 18,7 % (n = 20) lag eine tolerable Dislokation vor und in 3 Fällen wurde die Dislokation als „nicht tolerabel“ beschrieben. Die kompletten Frakturen (Quer-, Schräg- und Spiralfrakturen) zeigten in 63 % (n = 34) eine nicht tolerable Dislokation, bei 27,8 % (n = 15) lag eine tolerable und bei den restlichen 9,3 % (n = 5) keine Dislokation vor.

74,2 % (n = 132) der Frakturen wurden ausschließliche immobilisiert und 25,8 % (n = 43) reponiert. Die Reposition erfolgte bei 44 Frakturen (96 %) geschlossen und bei 2 Frakturen (4 %) offen.

Mehr als ein Drittel aller distalen Unterarmfrakturen (34,6 %, n = 71) ereignete sich beim Sport. 23,4 % (n = 48) der Unfälle geschahen zu Hause, 21,5 % (n = 44) auf dem Spielplatz und 12,7 % (n = 26) in der Schule oder im Kindergarten.

Im Jahresverlauf (Abbildung 24) zeigt sich, dass distale Unterarmfrakturen besonders in den Sommermonaten von Juni bis September auftraten. Bei Mädchen sahen wir einen Häufigkeitsgipfel mit 16 Frakturen im Juni, während im restlichen Jahresverlauf die Frakturhäufigkeit bei 3-8 Frakturen pro Monat (Mittel 6,3 Frakturen) lag. Bei den Jungen fanden sich zwei Häufigkeitsgipfel: im Juni und im August mit 17 bzw. 18 Frakturen. Der Mittelwert lag bei den Jungen bei 8,6 Frakturen pro Monat.

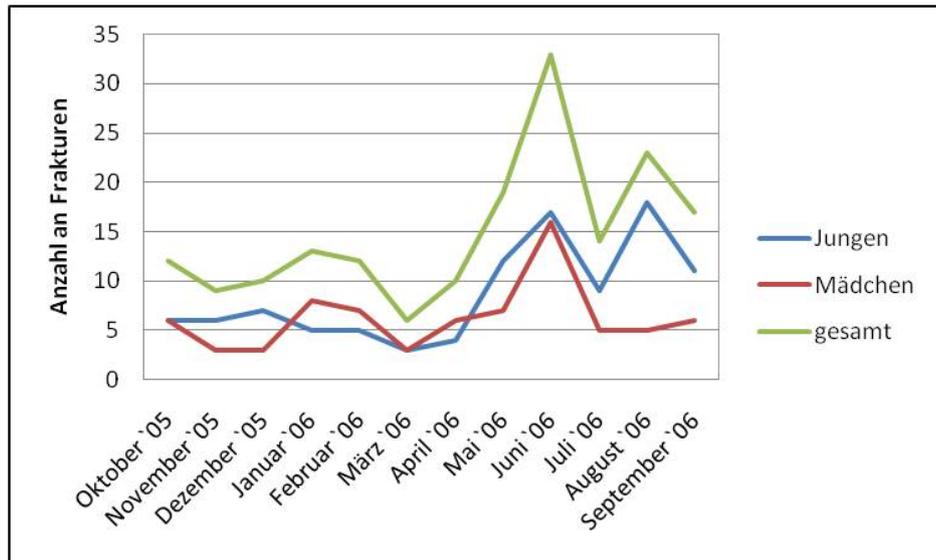


Abbildung 24: **Häufigkeit distaler Unterarmfrakturen** bezogen auf den Jahresverlauf und das Geschlecht.

#### Distale Humerusfraktur

Die Häufigkeit distaler Humerusfrakturen betrug in unserem Patientenkollektiv 20,1 % (n = 88). Von diesen waren 84,1 % (n = 74) Schaftfrakturen, 15,9 % (n = 14) der Frakturen waren artikulär lokalisiert.

Die Geschlechtsverteilung von Jungen (n = 42 distale Humerusfrakturen) zu Mädchen (n = 46) betrug 1 : 0,9. Das Durchschnittsalter dieser Frakturen lag bei 5,9 Jahren insgesamt, davon für Mädchen bei 5,63 und für Jungen bei 6,19 Jahren. Bei den Schaftfrakturen fanden sich 10 Wulst- oder Grünholzfrakturen, von denen 9 keine Dislokation aufwiesen und in einem Fall ein tolerabler Achsknick vorlag. Komplette Frakturen des distalen Humerusschaftes traten in 63 Fällen auf, davon lag bei 33 Frakturen eine nicht tolerable Dislokation vor, 4 Frakturen waren tolerabel disloziert und 26 Frakturen waren nicht disloziert.

Ein 6-jähriges Mädchen erlitt als Ausnahme eine Mehrfragmentfraktur des distalen Humerus. 51 % (n = 45) der Frakturen wurden durch Reposition, 38,6 % (n = 34) durch Immobilisation und 10,2 % (n = 9) durch Redression behandelt.

Die Repositionsbehandlung erfolgte zu 68,9 % (n = 31) geschlossen und in 31,1 % (n = 14) der Fälle musste offen reponiert werden. 33,7 % (n = 33) der Frakturen traten zu Hause, 22,5 % (n = 22) in der Schule oder im Kindergarten, 21,4 % (n = 21) beim Sport sowie 12,2 % (n = 12) auf dem Spielplatz auf.

In zwei Fällen war die Fraktur durch einen Verkehrsunfall verursacht; jeweils ein Kind verunglückte als Fahrradfahrer bzw. als Autoinsasse.

#### **Zentrale Unterarmschaftfraktur**

Bei den zentralen Unterarmschaftfrakturen kam es 23-mal zu einer kompletten Fraktur (Quer-, Schräg-, Spiralfaktur), 18-mal lag eine Wulst- oder Grünholzfraktur vor. Das Verhältnis von Mädchen zu Jungen mit zentralen Unterarmschaftfrakturen war ausgeglichen (1 : 1), der Altersdurchschnitt betrug insgesamt 7,6 Jahre, geschlechtsspezifisch betrachtet betrug er 7,1 Jahre bei den Mädchen und 8 Jahre bei den Jungen.

Bei den kompletten Frakturen wiesen 18 eine nicht tolerable Dislokation auf, 3 waren nur tolerabel disloziert und in 2 Fällen lag keine Dislokation vor. Von den Grünholz- und Wulstfrakturen lag bei jeweils 5 Frakturen keine oder eine tolerable Dislokation vor, bei 8 Frakturen wurde die Dislokation als nicht tolerabel gewertet. Von den zentralen Unterarmschaftfrakturen wurden 26 (61,9 %) reponiert, bei 16 (38,1 %) erfolgte ausschließlich die Immobilisation als Therapie. Sämtliche Brüche wurden geschlossen reponiert.

## **3.2 Auswertung der Klassifikation**

Von den insgesamt 438 der in dieser Studie eingeschlossenen Frakturen konnten für die Klassifikation 408 Fälle für die Auswertung herangezogen werden. Es mussten 25 Fälle ohne oder mit nicht verwertbaren Röntgenbildern und 5 Fälle mit röntgenologisch nicht sichtbarer (okkult) Fraktur ausgeschlossen werden.

### **3.2.1 Intraobserver - Übereinstimmung**

Die Berechnung der Intraobserver-Reliabilität, also die Übereinstimmung zwischen erster und zweiter Klassifizierung durch denselben Klassifizierenden, wurde zunächst isoliert für die erste Ziffer des Frakturcodes (CD1 = die Angabe des betroffenen Knochens) durchgeführt. Dabei ergab sich eine Übereinstimmung von 100 %. Dies entspricht einem Kappa-Wert von 1 (perfekte Übereinstimmung).

Bei Übereinstimmung an der vorigen Stelle wurde der Kappa-Wert für die weiteren Stellen der Klassifikation berechnet. Frakturen mit diskrepanter Bewertung wurden für die jeweils nächste Position nicht mehr berücksichtigt.

Für die Angabe der Frakturlokalisierung (Knochen und Segment), durch die erste und zweite Stelle des Frakturcodes, ergaben sich Übereinstimmungen zwischen erster und zweiter Bewertung zwischen 93-96 % ( $K = 0,91-0,95$ ) was eine beinahe perfekte Übereinstimmung bedeutet. Die Übereinstimmung an der dritten Klassifikationsstelle, also der Angabe des Frakturtyps (CD 3) mit Unterscheidung zwischen Schaft- und Gelenkfrakturen betrug (nach Abzug der Klassifikationen mit abweichender Bewertung an zweiter Stelle) 89-95 %. Der Kappa-Wert lag bei 0,87-0,93 (beinahe perfekte Übereinstimmung).

Die Analyse ergab eine Intraobserver-Übereinstimmung bis zur vierten Stelle der Klassifikation (Frakturlokalisierung, Angabe Gelenk- oder Schaftfraktur sowie Frakturtyp) von 70-75 % ( $K = 0,67-0,72$ ), dies entspricht einer wesentlichen Übereinstimmung. Es traten 60 % der Abweichungen an dieser Stelle bei der Entscheidung zwischen „Wulst- und Grünholzfrakturen“ und den „Quer-, Schräg- oder Torsionsfrakturen“ auf. Dabei wurde etwa gleich häufig von ersterem („Wulst- und Grünholzfrakturen“) zu zweitem Frakturtyp („Quer-, Schräg- oder Torsionsfrakturen“) gewechselt (15,3 %) wie umgekehrt (14,1 %).

Betrachtet man alle Punkte der Klassifikation (CD1-5) inklusive der Angabe des Dislokationsausmaßes an der fünften Stelle, dann lag die Übereinstimmung bei 56-60 % ( $K = 0,534-0,58$ ). Es bestand damit eine mittelmäßige Übereinstimmung. Die höchste Intraobserver-Übereinstimmung lag bei *KCh1* und *KCh2* vor.

Bei abweichender Bewertung wurde in 62 % die Dislokation von den Bewertern im zweiten Klassifikationsdurchgang als höhergradig eingeschätzt. Bei stichprobenweiser Auswertung von 65 Fällen mit Abweichungen zwischen erster und zweiter Klassifikation durch einen Bewerter lag als Ursache in jeweils 21,5 % der Fälle ( $n=14$ ) ein grenzwertiger Befund der Fraktur, zum Einen hinsichtlich des Frakturtyps und zum Anderen bei minimaler Dislokation, vor. In 7 Fällen war die Operationsindikation fraglich und führte deshalb zu Abweichungen bei Angabe des Dislokationsausmaßes (Wechsel zwischen „tolerabler“ und „nicht tolerabler“ Fraktur). Eindeutige Fehler des Klassifizierenden führten in 3 Fällen zu abweichender Klassifikation der Lokalisation und in 6 Fällen zu Abweichungen bei Klassifikation der Dislokation, sowie in 3 Fällen aufgrund eines Zahlendrehers der beiden letzten Stellen zur gleichzeitigen Abweichung bei Frakturtyp und Dislokationsausmaß. In 6 Fällen wurde die Verwendung des „u“ für isolierte Ulnafrakturen falsch eingesetzt und bei weiteren 5 Frakturen war die schlechte Qualität der digitalisierten Röntgenbilder ursächlich für die Abweichungen. Die Definition der Mataphyse war bei 5 Frakturen Ursache für Intraobserverabweichungen und eine falsche Klassifikation einer Olecranonfraktur in 2 Fällen.

#### 3.2.2 Interobserver - Übereinstimmung

Zur Berechnung der Interobserver-Übereinstimmung wurden die von den einzelnen Bewertern pro Fraktur vergebenen Klassifikationscodes miteinander bezüglich ihrer Konkordanz verglichen. Ausgewertet wurde der erste Beurteilungsdurchgang. Soweit nicht ausdrücklich erwähnt, wurde der Code mit dem Goldstandard (definiert als der erfahrenste Kinderchirurg = *KCh1*) verglichen.

##### Angabe der Frakturlokalisierung

Für die erste Stelle der Frakturklassifikation, die Angabe des betroffenen Knochens mit einer Ziffer zwischen 1 und 4, ergab die Auswertung des Goldstandards der 408 Frakturen: 105 Humerusfrakturen (bezeichnet mit der Ziffer 1 an erster Stelle des Frakturcodes,  $CD1 = 1$ ), 228 Unterarmfrakturen ( $CD1 = 2$ ), 19 Oberschenkelfrakturen ( $CD1 = 3$ ) und 56 Unterschenkelfrakturen ( $CD1 = 4$ ). Die Interobserver-Übereinstimmung für alle Beobachter, ausgedrückt durch den Kappa-Koeffizienten nach Cohen, betrug  $K = 1$ .

Hinsichtlich der Lokalisation der Fraktur im Skelett bestand somit eine komplette Übereinstimmung (bzw. ein perfektes Agreement).

#### Klassifikation des Knochensegmentes

An zweiter Position der Klassifikation, der Unterscheidung zwischen proximaler, zentraler und distaler Fraktur, werteten die Klassifizierenden im ersten Bewertungsdurchgang 82 von 408 Frakturen und im zweiten Durchgang 79 von 408 Frakturen unterschiedlich.

Die Interobserver-Reliabilität betrug somit im ersten Rating durchschnittlich  $K = 0,809$  (Spannweite 0,649-0,913) mit einer Standardabweichung von 0,016 bzw.  $K = 0,816$  (Spannweite 0,68-0,895) im zweiten Rating. Dies entspricht einer sehr hohen Übereinstimmung der unterschiedlichen Bewerter hinsichtlich der Klassifikation an den ersten beiden Stellen. Vom sogenannten Goldstandard (*KCh1*) als **proximal** definierte Frakturen wurden von den anderen Ratern 17 bis 77 mal (4,17-18,75 %) abweichend als zentrale Frakturen bewertet. In 81,25-95,83 % der Fälle bestand Übereinstimmung. Die von *KCh1* als **zentral** bewerteten Frakturen wurden in 96-98,7 % der Fälle von den anderen Bewertern identisch klassifiziert. In 5-10 Fällen (1,33-2,67 %) wurden diese Frakturen von den anderen Bewertern als distale Schaftfrakturen klassifiziert. Fünfmal (1,33 %) wurde die vom Goldstandard (*KCh1*) als zentrale Fraktur von *Laie* als proximale Fraktur definiert. Bei den als **distal** klassifizierten Frakturen (durch *KCh1*) ergab sich zu den anderen Bewertern eine Übereinstimmung von 76,8-95,8 %, dabei wurden 17 (4,21 %) von *Laie*, 34 (8,42 %) von *KCh2* und 94 (23,16 %) vom Radiologen (*Rad*) abweichend vom Standard als zentrale Schaftfrakturen gewertet. Betrachtet man die Abweichungen vom „alternativen Goldstandard“ (*KCh2*) zu den anderen Bewertern, so zeigt sich eine größere Übereinstimmung. Von *KCh2* als **proximal** gewertete Frakturen wurden von *Laie* und *KCh1* zu 100 % in gleicher Weise klassifiziert, von *Rad* wurden abweichend 13,3 % als zentrale Frakturen klassifiziert. In 73,3-97 % lag eine Übereinstimmung von als **zentral** klassifizierten Frakturen (*KCh1*) vor. Es wurden 73 (17,82 %) der Frakturen von *Laie*, 97 (23,76 %) von *KCh2* und 12 (2,97 %) von *Rad* abweichend vom Goldstandard als distal eingeordnet. *Laie* klassifizierte 1,98 % der Frakturen als proximal, *KCh2* ordnete 2,97 % dieser Kategorie zu, während *Rad* keine Fraktur benannte. Bei den als **distal** bewerteten Frakturen betrug die Übereinstimmung 82,8-99,62 %, die größte Abweichung bestand zwischen *KCh1* und *Rad*, der 17,18 % der Frakturen abweichend als zentrale Frakturen wertete, *Laie* und *KCh2* wichen in diesem Punkt nur in 0,38-1,91 % der Frakturen von *KCh1* ab.

#### Klassifikation des Frakturtyps

Hinsichtlich der dritten Stelle des Frakturcodes (Schaft- oder Gelenkfrakturen) verblieben nach Ausschluss der an den ersten beiden Stellen unterschiedlich klassifizierten Frakturen 326 Frakturen für die weitere Auswertung.

Von *KCh2* wurden 303 Fälle (92,9 %) als Schaftfrakturen („s“ an dritter Stelle) und 23 als Gelenkfrakturen (7,1 %) („a“ an dritter Stelle) eingestuft. Im ersten Rating klassifizierten die anderen Bewerter 24 Frakturen abweichend von *KCh2*, die Übereinstimmung lag dabei zwischen  $K = 0,84$  und  $K = 0,527$ , mit einem Median von  $K = 0,645$ .

Im zweiten Rating lag bei 20 Klassifikationen keine Übereinstimmung vor, die Kappa-Werte lagen zwischen  $K = 0,84$  und  $K = 0,547$  mit dem Median von  $K = 0,685$ .

		<b>KCh1 = Goldstandard</b>	
		<b>a</b>	<b>s</b>
<b>Laie</b>	<b>a</b>	73,91%	1,65%
	<b>s</b>	26,09%	98,35%
<b>KCh 2</b>	<b>a</b>	73,91%	0,33%
	<b>s</b>	26,09%	99,67%
<b>Rad</b>	<b>a</b>	52,17%	2,64%
	<b>s</b>	47,83%	97,36%

Tabelle 8: Übereinstimmung der einzelnen Bewerter bezüglich der dritten Stelle der Klassifikation in Bezug zum Goldstandard = *KCh1* (= erfahrester Kinderchirurg). Angabe der relativen Häufigkeiten in Prozent. (a = Gelenkfraktur, s = Schaftfraktur, *Laie* = medizinisch gebildeter Laie = Doktorandin, *KCh2* = erfahrener Kinderchirurg, *Rad* = Kinderradiologe)

Wie in Tabelle 8 zu sehen ist, bewertete der Goldstandard 23 Frakturen als Gelenkfrakturen, eine identische Klassifikation lag bei *Laie* und *KCh2* jeweils in 73,9 % ( $n=17$ ) bzw. bei *Rad* in 47,8 % ( $n = 11$ ) vor. Bei den 303 Schaftfrakturen wurden von *Laie* 98,4 % ( $n= 298$ ), von *KCh2* 99,7 % ( $n = 302$ ) und von *Rad* 97,4 % ( $n = 295$ ) in gleicher Weise klassifiziert.

Die größte Übereinstimmung bestand zwischen *KCh2* und dem Goldstandard (*KCh1*), sie betrug für die Gelenkfrakturen 73,9 % und für die Schaftfrakturen 99,7 %. Bei allen Bewertern war die Übereinstimmung bezüglich der Schaftfrakturen mit 97,4-99,7 % deutlich höher als bei den Gelenkfrakturen mit 47,8-73,9 %.

### **Klassifikation des kinderspezifischen Frakturtyps**

An vierter Position erfolgte die Angabe des kinderspezifischen Frakturtyps. Für diese Analyse wurden alle Frakturen ausgeschlossen, die an Klassifikationsstelle 1, 2 oder 3 different klassifiziert worden waren. Bei den verbliebenen 302 Frakturen trat an vierter Position im ersten Bewertungsdurchgang bei 154 keine Übereinstimmung auf. Dies ergab einen durchschnittlichen Kappa-Koeffizienten von  $K = 0,548$  mit einer Varianz von  $K = 0,473-0,579$ . Für die zweite Klassifikationsrunde lag bei 144 Frakturen keine Übereinstimmung vor, der durchschnittliche Kappa-Wert betrug 0,573, die Varianz von  $K = 0,492-0,635$ . Die größte Übereinstimmung bestand mit  $K = 0,579$  zwischen den beiden Kinderchirurgen *KCh1* und *KCh2*, die geringste Übereinstimmung ergab sich zwischen *KCh1* und *Rad* mit einem  $K = 0,473$  (Tabelle 9).

Bewerter	<i>KCh2</i>	<i>KCh1</i>	<i>Rad</i>
<i>Laie</i>	0.521	0.579	0.531
<i>KCh2</i>	-	0.566	0.473
<i>KCh1</i>	-	-	0.565

Tabelle 9: Kappakoeffizienten der paarweisen Übereinstimmung zwischen den Bewertern an vierter Stelle der Klassifikation. (*Laie* = medizinisch gebildeter *Laie* = Doktorandin, *KCh1* = erfahrenster Kinderchirurg, *KCh2* = erfahrener Kinderchirurg, *Rad* = Kinderradiologe), Median 0.548, Varianz 0.473 – 0.579.

An allen Knochen fanden sich insgesamt 10 Gelenkfrakturen (Klassifikationscode: x.x.a.x.x, wobei „x“ für eine beliebige Ziffer der Klassifikation steht), davon wurden durch den Goldstandard 4 Frakturen als Aitken-II- bzw. Salter-Harris-III-Frakturen und 6 als „andere“ Frakturen klassifiziert. Bezüglich der Übereinstimmung bei den Epiphysenfrakturen ergab sich ein Kappa-Koeffizient von 0,532, bei der zweiten einer von 0,325. Der durchschnittliche Kappa-Koeffizient für diese Frakturen lag bei  $K = 0,31$ . Bei den 220 distalen und proximalen Schaftfrakturen (x.1.s.x.x oder x.3.s.x.x.) wurden 41 als Epiphysenlösung (Salter-Harris-I und Salter-Harris-II), 109 als Grünholz-, Wulst- oder Bowing-Fraktur, 67 als Quer-, Schräg- oder Torsionsfraktur, eine als Mehrfragmentfraktur und zwei als „andere“ Frakturen klassifiziert. Die Kappa-Werte betragen bei diesen im Mittel  $0,514 \pm 0,02$ . Die höchste Übereinstimmung mit  $K = 0,53$  lag bei den Mehrfragmentfrakturen vor, dicht gefolgt von  $K = 0,532$  bei den als Epiphysenlösung klassifizierten Frakturen. Die geringste Übereinstimmung mit  $K = 0,217$  trat bei den als „andere“ klassifizierten Frakturen auf. Bei den 72 zentralen Schaftfrakturen (x.2.s.x.x) lag die durchschnittliche Übereinstimmung bei einem Kappa-Wert von 0,52. Die größte Übereinstimmung lag mit  $K = 0,575$  bei den Wulst- und Grünholzfrakturen vor, wobei Übereinstimmung am geringsten bei Epiphysenlösungen und „andere“n Frakturen war. Diese wurden nur vom Goldstandard entsprechend klassifiziert ( $K = -0,003$ ).

### Klassifikation des Dislokationsausmaßes

Die Beurteilung des Dislokationsausmaßes mit den Abstufungen „nicht disloziert“ (0), „tolerable Dislokation“ (1) und „nicht tolerable Dislokation“ (2) ergab bei 148 verbleibenden Frakturen eine Interobserver-Übereinstimmung von durchschnittlich  $K = 0,546$  (im zweiten Rating  $K = 0,535$ ). Gemäß Einschätzung von *KCh1* lagen dabei 59 „nicht“, 36 „gering“ und 53 „nicht tolerabel“ dislozierte Frakturen vor. Die Codes an fünfter Stelle zeigten zwischen *Rad* und den übrigen Klassifizierenden eine niedrige Übereinstimmung (siehe Tabelle 10), die geringste Übereinstimmung hinsichtlich der Dislokation lag zwischen *Rad* und *Laie* mit  $K = 0,346$  (ausreichende Übereinstimmung) vor. Die höchste Übereinstimmung von  $K = 0,702$  bestand zwischen *KCh2* und *KCh1*, dies entspricht einer „wesentlichen“ Übereinstimmung.

### 3 Ergebnisse

Bewerter	KCh2	KCh1	Rad
Laie	0.620	0.689	0.290
KCh2	-	0.702	0.472
KCh1	-	-	0.346

Tabelle 10: Kappakoeffizienten der paarweisen Übereinstimmung zwischen den Bewertern an der fünften Stelle der Klassifikation (Laie = medizinisch gebildeter Laie = Doktorandin, KCh1 = erfahrenster Kinderchirurg, KCh2 = erfahrener Kinderchirurg, Rad = Kinderradiologe).

Wurden bei der Auswertung nicht dislozierte und tolerabel dislozierte Frakturen zusammengefasst (kein Unterschied in der therapeutischen Konsequenz), erhöhte sich die Übereinstimmung im Durchschnitt auf  $K = 0,77$  (zweite Runde  $0,723$ ) wie in Abbildung 25 graphisch veranschaulicht. Zwischen  $KCh2$  und  $KCh1$  betrug die Übereinstimmung  $K = 0,871$  die geringste Übereinstimmung wiesen  $Laie$  und  $Rad$  mit  $K = 0,612$  auf (Tabelle 10).

Bewerter	KCh2	KCh1	Rad
Laie	0.872	0.854	0.612
KCh2	-	0.871	0.685
KCh1	-	-	0.638

Tabelle 11: Kappakoeffizienten der paarweisen Übereinstimmung an 5. Stelle der Klassifikation zwischen den Bewertern nach Zusammenfassung von nichtdislozierten und gering dislozierten Frakturen ( $Laie$  = medizinisch gebildeter Laie = Doktorandin,  $KCh1$  = erfahrenster Kinderchirurg,  $KCh2$  = erfahrener Kinderchirurg,  $Rad$  = Kinderradiologe).

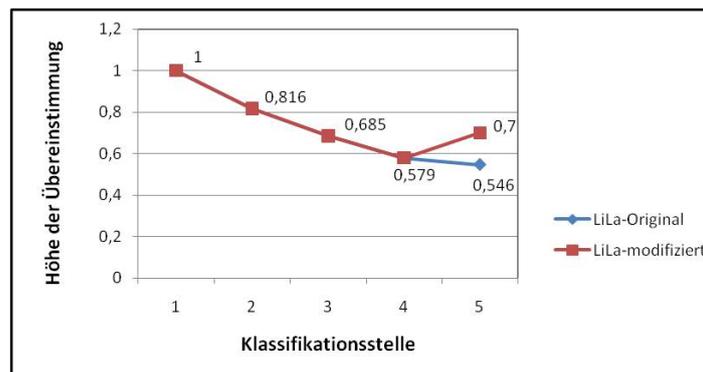


Abbildung 25: Darstellung der Interobserverübereinstimmung (angegeben in Kappawerten) zwischen allen Bewertern für die einzelnen Stellen der Klassifikation im Vergleich Originalversion der LiLa-Klassifikation zur modifizierten Version mit Zusammenfassung der nicht und gering dislozierten Frakturen.

## 4 Diskussion

### 4.1 Diskussion der epidemiologischen Daten

Im Rahmen der prospektiven Erfassung aller Frakturen, die zwischen dem 1. Oktober 2005 und dem 30. September 2006 an der Kinderchirurgie Lübeck bei Kindern bis 16 Jahren behandelt wurden, konnten insgesamt 516 Frakturen erfasst und davon 438 Frakturen ausgewertet werden.

Von diesen 438 Frakturen traten 194 bei weiblichen und 244 bei männlichen Patienten auf. Dies entspricht einem Verhältnis von 1 : 1,26 (Mädchen zu Jungen). Dieses Geschlechtsverhältnis deckt sich mit epidemiologischen Daten anderer Studien, die ebenfalls ein Überwiegen von Frakturen bei Jungen zeigen. Kraus und Mitarbeiter erfassten innerhalb von 3 Monaten im Jahre 2003 multizentrisch an 13 Kliniken in Deutschland, Österreich und der Schweiz insgesamt 682 Frakturen und kamen dabei auf ein annähernd gleiches Geschlechterverhältnis mit 1 : 1,3 (KRAUS 2005). Das Patientgut ist mit den Patienten in dieser Studie vergleichbar. Der kürzere Erfassungszeitraum in der Studie von Kraus mit 3 Monaten von Januar bis März im Vergleich zu dem von uns gewählten Einjahreszeitraum hatte, wie auch bei Prüfung unserer Daten durch Selektion der entsprechenden Monate (Jahreszeit) nachzuvollziehen ist, keinen Einfluss auf das Geschlechterverhältnis.

Für das Überwiegen des männlichen Geschlechts hinsichtlich der Frakturhäufigkeit können mehrere Ursachen genannt werden. Ein Grund dafür kann die erhöhte Risikobereitschaft bei Jungen aller Altersklassen sein, die zu einem riskanteren Verhalten und damit zu vermehrten Unfällen mit Frakturfolge führt. Des Weiteren kann auch eine schlechtere Körperwahrnehmung und Koordination der Jungen im Vorschulalter als mögliche Ursache gelten. Auch ein Aufmerksamkeitsdefizits- und Hyperaktivitätssyndrom (ADHS) wird in der Literatur als Risikofaktor für Verletzungen und Frakturen angegeben. Rowe et al. konnten dies in einer Studie zum Auftreten von Unfällen bei Kindern mit psychiatrischen Störungen zeigen (ROWE et al. 2004). Die Gesamtpävalenz für ADHS wird in Deutschland mit etwa 5-6 % angegeben. Laut einer Veröffentlichung aus dem Kinder- und Jugendsurvey von 2007 tritt ein ADHS bei Jungen in Deutschland circa viermal häufiger auf als bei Mädchen (SCHLACK et al. 2007). Betrachtet man das altersabhängige Geschlechterverhältnis der in dieser Studie eingeschlossenen Kinder und Jugendlichen genauer, werden die Unterschiede noch deutlicher. Bei den Mädchen lagen zwei Häufigkeitsgipfel, und zwar im 4. und im 7. Lebensjahr, vor. Für die Jungen ergab sich eine annähernd plateauartige Häufung von Frakturen ab dem 4. Lebensjahr bis in die Pubertät mit einem zwischenzeitlichen Absinken der Frakturhäufigkeit im 9. Lebensjahr. Frakturen traten bei den Mädchen in unserer Studie insgesamt früher auf und der Rückgang der Häufung begann eher als bei den Jungen. 75 % der Frakturen bei den Mädchen ereigneten sich vor dem 9. und bei den Jungen vor dem 12. Lebensjahr. Damit ergab sich ein

Geschlechterverhältnis von 1,1 zu 1 im Vergleich Jungen zu Mädchen vor dem 10. Lebensjahr und ein Verhältnis von 1,9 : 1 nach dem 10. Lebensjahr.

Dies deckt sich mit den Angaben Lyons, der im Jahre 1996 in Wales Daten über 2463 Frakturen bei Kindern, davon 1155 Frakturen der langen Röhrenknochen, erhob. Dabei lag das Geschlechterverhältnis bei den ausgewählten Frakturen vor dem 10. Lebensjahr bei 1,3 : 1, ab dem 10. Lebensjahr bei 1,9 : 1 im Vergleich von Jungen zu Mädchen (LYONS et al. 1999). Hassan gab in seiner Studie zu Sportverletzungen bei Kindern in Nordostengland für das Geschlechterverhältnis in der Altersgruppe 5-15 Jahre mit 2 : 1 ebenfalls ein Überwiegen des männlichen Geschlechts bei Frakturen an (HASSAN und DORANI 2001). Kraus beziffert in seiner Untersuchung den Anteil der Jungen bei Schulunfällen mit Frakturfolge mit 2/3 aller Fälle (KRAUS et al. 2006).

Die Beobachtung, dass es bei den männlichen Patienten in der Pubertät zu einem deutlich späteren Abfall der Frakturhäufigkeit kommt, deckt sich folglich mit bereits veröffentlichten Studien. Dies lässt sich mit einer, vor allem in der Pubertät, deutlich erhöhten Risikobereitschaft der Jungen im Vergleich zu gleichaltrigen Mädchen erklären (LANDIN 1983; CHENG und SHEN 1993).

Weiterhin beobachteten wir geschlechterunabhängig einen starken Rückgang der Frakturhäufigkeit mit zunehmendem Alter in der Adoleszenz. Ebenso stieg in den Studien von Brinker und O'Connor die Frakturhäufigkeit konstant bis zum 14. Lebensjahr und sank dann stark ab (BRINKER und O'CONNOR 2004), Hassan beschrieb diesen Anstieg nur bis ins 12. Lebensjahr (HASSAN und DORANI 2001), wohingegen Brudvik und Hove einen Anstieg der Frakturhäufigkeit bei Jungen bis zum 16. und bei Mädchen bis zum 14. Lebensjahr beschrieben (BRUDVIK und HOVE 2003). Zusätzlich zu dem auch in anderen Studien beschriebenen Rückgang der Frakturen ab dem 12. Lebensjahr kommt in unserer Studie möglicherweise ein Selektionsbias zum Tragen. Für Frakturen bei älteren Jugendlichen ist anzunehmen, dass diese vermehrt durch andere Fachrichtungen als die Kinderchirurgie (z.B. Orthopädie, Unfallchirurgie, niedergelassene Chirurgen) behandelt wurden und damit unserer Datenerfassung entgingen. Inwieweit dieser Selektionsbias in den anderen Studien ebenfalls von Bedeutung ist, lässt sich den Studienprotokollen nicht entnehmen.

Eine exakte Angabe zur Gesamtinzidenz könnte für den Zeitraum und das Einzugsgebiet dieser Studie nur getroffen werden, wenn man auch diejenigen Frakturen hätte erfassen können, die von niedergelassenen Chirurgen oder in anderen Kliniken behandelt wurden. Die von uns erhobenen Daten zur Epidemiologie spiegeln aber im Allgemeinen die in der Literatur angegebenen Tendenzen wider. In der Literatur variieren die Aussagen zur Inzidenz von Frakturen bei Kindern zwischen 4,55 % bei Jungen und 3,7 % bei Mädchen (LANDIN 1997; LYONS et al. 1999) und 2,57 % bei Jungen und 1,65 % bei Mädchen (LANDIN 1997) sowie 1,28 % pro Jahr im Alter von 0-12 Jahren in einer Studie aus Oslo. In der Literatur zeigte sich ein Anstieg der Frakturinzidenz innerhalb der Jahre 1950-1979, der vor allem in einer Zunahme der Sportunfälle begründet ist (LANDIN 1983). Seit Ende der 1970er-Jahre scheint die Inzidenz jedoch gleich zu bleiben (LANDIN 1997).

### Unfallursache

Hinsichtlich der Unfallursachen zeigte sich in unserer Studie ein deutliches Überwiegen von häuslichen Unfällen (34,9 %) und Sportunfällen (25,6 %). Danach folgten Unfälle auf dem Spielplatz (16,4 %) oder im Kindergarten bzw. in der Schule (16,4 %). Verkehrsunfälle machten nur einen sehr geringen Anteil (3,2 %) an Frakturursachen aus. Von anderen Autoren werden Zahlen in ähnlicher Größenordnung genannt. Lyons gibt in seiner Analyse von Patienten, die in den Notaufnahmen zweier Regionen in Süd Wales im Jahr 1996 behandelt wurden, an, dass 29,9 % aller Frakturen durch einen Unfall im häuslichen Umfeld, 17 % durch einen Sportunfall, 14,7 % in der Schule und 1,4 % durch Verkehrsunfälle verursacht wurden (LYONS et al. 1999). Bei isolierter Betrachtung der Gruppe der nicht schulpflichtigen Kinder (< 6. Lebensjahr) in der hier vorliegenden Studie nahmen die häuslichen Unfälle mit 45,7 % einen noch größeren Stellenwert ein. Diese Altersgruppe erlitt signifikant häufiger eine Fraktur im häuslichen Umfeld als die Gruppe der Schulkinder (vergleiche dazu auch Abbildung 21). Die zweithäufigste Frakturursache bei den jüngeren Kindern waren Spielplatzunfälle (24,5 %), gefolgt von Sportunfällen (13,04 %). Kindergartenunfälle stellten mit 9,24 % eine relativ seltene Frakturursache dar. In einer Befragung von Eltern zu vorangegangenen Unfällen mit Verletzungsfolge des Kindes im Rahmen der Einschulung im Jahre 2004 in Schleswig-Holstein wurde in drei Kategorien unterteilt. Hierbei ereigneten sich 4,3 % der Unfälle im Straßenverkehr, die meisten - nämlich 83,2 % - im häuslichen Umfeld und 12,4 % in Kindertageseinrichtungen (KAHL et al. 2007). Die abweichenden Werte sind mit der geringeren Anzahl an Kategorien zu erklären, bestätigen in der Tendenz aber eindeutig, dass Unfälle im häuslichen Umfeld die häufigste Verletzungsursache im Vorschulalter bilden. Somit sind die in der Befragung angegebenen Unfallursachen bei Verletzungen in etwa mit den in dieser Studie erhobenen Ursachen für Frakturen vergleichbar. Der hohe Anteil an Frakturen, die sich im häuslichen Rahmen ereignen, ist zum Teil damit zu begründen, dass sich die jüngeren Kinder vorwiegend zuhause aufhalten. Im Vergleich zu den älteren Kindern kommt hinzu, dass die noch unsichere Balance und mangelnde Körperkontrolle zu einer erhöhten Anzahl banaler Stürze mit möglicher Frakturfolge führen können. Auch ist bei Kindern bis zum 5. Lebensjahr die Reaktionszeit noch etwa doppelt so lang wie beim Erwachsenen und ein vorausschauendes Gefahrenbewußtsein entwickelt sich meist erst ab dem 15. Lebensjahr (STRASSBURG, 2008). Um einen Ansatzpunkt für die Prävention zu finden, müsste man die Unfälle und Stürze dieser Altersgruppe in gezielten Studien genauer analysieren und die Risikofaktoren (Wickelkommoden, Hochbetten, Treppen, Teppichkanten, Spielzeug, Lauflernhilfen oder Sportgeräte) benennen. Die Bundesarbeitsgemeinschaft „Mehr Sicherheit für Kinder e. V.“ hat dazu ebenso wie die „Deutsche Gesellschaft für Sozialpädiatrie und Jugendmedizin e. V.“, bereits vielfältige Angebote und Informationen bereitgestellt, um das Personal in Kindertagesstätten und Kindergärten sowie die Eltern für die besonders riskanten Faktoren im Haus und auf Spielplätzen zu sensibilisieren und dadurch insbesondere die tödlichen und schweren Verletzungen in diesem Alter zu reduzieren.

Bei den Schulkindern (> 6. Lebensjahr) traten in unserem Patientenkollektiv signifikant die meisten Unfälle bei sportlichen Aktivitäten (36,1 %) auf ( $p = 0,004$ ), Unfälle zu Hause waren in dieser Altersgruppe nur noch die zweithäufigste Frakturursache (22,4 %), gefolgt von Schulunfällen mit 18,83 %. Diese Verteilung ergibt sich aus dem Tätigkeitsprofil der Kinder und findet sich in der Literatur in vergleichbarer Größenordnung. Lyons nennt in seiner

Studie von 1996 in einem Drittel der Frakturen Sport oder Freizeitaktivitäten als ursächlich (LYONS et al. 2000). Mit zunehmendem Alter der Kinder steigt die sportliche Aktivität und Risikobereitschaft und damit auch das Frakturrisiko beim Sport, gleichzeitig sinkt außerdem die Akzeptanz von Präventionsmaßnahmen und Schutzausrüstung, z. B. Handgelenksstützen beim Inlineskaten (CARTY 1998; KAISER et al. 2001). So wurde in einer Studie von den Befragten die Ablehnung der Schutzmaßnahmen beim Inlineskaten damit begründet, dass die Schutzausrüstung: „nicht erforderlich“ (47,3 %), „zu unbequem“ (37,5 %) oder „zu teuer“ (15,9 %) sei (LYONS und OATES 1993; KAISER et al. 2001). Schiebler et al. konnten allerdings in einer Studie durch Befragung von 161 beim Inlineskaten verletzten Personen zeigen, welchen Nutzen Präventionsmaßnahmen beinhalten können. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass ohne Handgelenkschoner das Frakturrisiko für handgelenksnahe Frakturen bei Stürzen mit Inlineskates verzehnfacht war, für das Tragen von Ellbogenschützern wurde die Effektivität von Protektoren mit einer Odds Ratio von 9,5 beschrieben (SCHIEBER et al. 1996). Ähnlich der oben genannten Publikation zeigte auch der bundesweite Kinder- und Gesundheitssurveys zu Verletzungen bei Kindern und Jugendlichen, dass die Anwendung von Schutzmaßnahmen mit zunehmendem Alter rapide sinkt. Während die Helm- und Protektorenragequote bei den 3- und 4-Jährigen noch zwischen 83 und 90 % betrug, lag sie bei den 5- bis 14-Jährigen nur noch bei 61-80 % und bei den 15- bis 17-Jährigen trugen nur noch 13-15 % beim Inlineskaten einen Helm bzw. 42-52 % Protektoren (KAHL et al. 2007). Diese Entwicklung kann darauf zurückgeführt werden, dass mit zunehmendem Alter der Einfluss der Eltern sinkt und die Außenwirkung an Bedeutung gewinnt.

Zur Prävention von sportassoziierten Frakturen wäre daraus folgend nicht nur die Entwicklung und Effektivitätsprüfung von sportartspezifischen Protektoren, sondern auch eine Erhöhung der Akzeptanz und Anwendung in der Zielgruppe notwendig. In einigen Sportarten hat die Pflicht zum Tragen bestimmter Protektoren in Wettbewerben bereits zu einer erhöhten Akzeptanz auch im Freizeitbereich geführt (z. B. Reitkappe im Reitsport). Zum anderen sind allerdings auch sportliche Vorbilder und das Wissen um die möglichen Konsequenzen und den Nutzen von entscheidender Bedeutung. Wie wirksam Aufklärung und Medien zur Akzeptanz von Protektoren beitragen können, wurde am Beispiel des schweren Skiunfalls eines in der Öffentlichkeit stehenden Politikers im Januar 2009 deutlich, der im Gegensatz zu seiner Kollisionsgegnerin einen Skihelm trug und damit tödlichen Kopfverletzungen entging. Berichte über den Nutzen von Helmen und Empfehlungen, diese zu tragen, existierten schon weit vor diesem Ereignis (MCDONAH 2000). Erst durch das Interesse der Medien und die Popularität eines der Unfallbeteiligten wurden diese jedoch an die breite Öffentlichkeit getragen. Innerhalb kürzester Zeit wurden anschließend vielfältige Studien zum Nutzen dieser Helme in den Medien zitiert und es wurde öffentlich über die Einführung einer Helmpflicht diskutiert. In der Folge kam es zu einer drastischen Steigerung der Nachfrage und Akzeptanz von Skihelmen, die erstmals flächenweise ausverkauft waren. An diesem Beispiel wird deutlich, dass neben der Kenntnis möglicher Frakturen und geeigneter Schutzmaßnahmen auch die öffentliche Meinung für den Erfolg von Präventionsstrategien entscheidend ist. Kinder und Jugendliche werden dabei altersabhängig vor allem durch ihre Erziehung oder die jeweiligen Vorbilder (Eltern, Freunde, Sportstars) beeinflusst, sodass Aufklärung auch darauf zielen sollte, den Heranwachsenden und Vorbildern ihre Verantwortung bewusst zu machen.

Aufgrund eines in stetigem Wandel begriffenen Sport- und Freizeitverhaltens sind allerdings auch immer wieder neue Betrachtungen der unfallträchtigsten Tätigkeiten erforderlich. In einer noch nicht veröffentlichten Untersuchung unserer Klinik zeichnet sich beispielsweise in neuester Zeit eine starke Zunahme an Frakturen durch Trampolinspringen ab. Wie bei anderen neuen Sportarten kann auch hier erst nach einem initialen Anstieg der Verletzungshäufigkeit durch ein anschließendes Erkennen der typischen Unfallmechanismen die Entwicklung von Schutzmaßnahmen erfolgen und dann zu einem zeitverzögerten Rückgang der Verletzungsrate führen.

Im Vergleich zu sportassoziierten Frakturen nahmen Verkehrsunfälle mit Frakturfolge mit 3,8 % einen geringen Anteil in unserem Patientenkollektiv ein; dies entspricht in etwa der in der Studie des Ministeriums für Soziales aus dem Jahre 2005 in Schleswig-Holstein erhobenen Häufigkeit von 4,33 % (MINISTERIUM FÜR SOZIALES 2005). Vergleichbare Zahlen lieferte ebenfalls die multicentrische (13 Kliniken in Österreich, Schweiz und Deutschland) Studie von Kraus et al. zu Frakturen der langen Röhrenknochen aus dem Jahre 2003, hier lag die Rate an Verkehrsunfällen bei 4,6 % (KRAUS 2005). Lyons et al. sahen den Anteil an Verkehrsunfällen im Jahre 1996 in Südwales bei Frakturen mit 1,4 % jedoch deutlich geringer. Vergleicht man mit der Studie von Lyons et al., dann ist anzumerken, dass diese Studie etwa 10 Jahre vor den anderen zitierten Studien durchgeführt wurde, außerdem sind möglicherweise die Verkehrsverhältnisse in Wales nicht mit den Verhältnissen in unserer Studie vergleichbar. Landin dagegen gab für den Beobachtungszeitraum von 1950-1979 mit 12 % einen erheblich höheren Anteil der durch Verkehrsunfälle verursachten Frakturen an und beschrieb einen Anstieg an Verkehrsunfällen in dem zuvor genannten Zeitraum um ein Drittel (LANDIN 1983). Dieser Trend setzte sich allerdings in einer Folgestudie nicht fort, als Grund wurde ein Erfolg von Präventionsmaßnahmen zur Verhinderung schwerer Unfälle angenommen (LANDIN 1997). Die Studien von Landin sind wegen des Erfassungszeitraumes und Untersuchungsraumes in Skandinavien mit unseren Ergebnissen allerdings nur eingeschränkt vergleichbar.

Laut einer Statistik des Bundesministeriums für Soziales aus dem Jahre 2005 waren Schüler in Schleswig-Holstein (4,8 Verkehrsunfälle pro 1000 Schüler) im Vergleich zum Bundesdurchschnitt (3,4 Verkehrsunfälle pro 1000 Schüler) einem höheren Risiko ausgesetzt, einen Verkehrsunfall zu erleiden. Schleswig-Holstein wies zudem im Vergleich mit den anderen Bundesländern eine der höchsten Raten an Verkehrsunfällen mit dem Fahrrad auf (MINISTERIUM FÜR SOZIALES 2005). Auch wenn die Verkehrsunfälle nur einen kleinen Teil aller Frakturen bedingen, ist eine Verbesserung der Prävention in diesem Bereich dennoch in Anbetracht der möglichen Schwere der Verletzungen erstrebenswert. Eine Verbesserung der Verkehrserziehung der Schüler und der Ausbau von Radwegen wären Ansatzpunkte, um die Schulwege sicherer zu gestalten. So könnten gezielt in praktischen Übungen die Situationen im Straßenverkehr trainiert werden, bei denen es gehäuft zu Unfällen kommt. In Lübeck kommt es beispielsweise an einem unübersichtlichen zweispurigen Kreisverkehr (zwischen Hauptbahnhof und Holsten-tor) gehäuft zu Unfällen mit Fahrradfahrern. Ob diese Maßnahmen tatsächlich zur Reduktion der schweren Unfälle beitragen können bleibt offen und bedarf einer gezielten Analyse.

Im Jahresverlauf zeigte sich eine deutliche Zunahme der Frakturhäufigkeit in den Sommermonaten Juni bis August. In diesem Vierteljahr ereignete sich bei unseren Patienten ein Drittel aller Frakturen (33,6 %). Von dieser Tendenz ist bereits in anderen Publikationen berichtet worden

(WONG 1965, 1966; WORLOCK und STOWER 1986; CHENG und SHEN 1993; REINBERG et al. 2002; ATHERTON et al. 2005; REINBERG et al. 2005). Als Erklärung werden die höhere sportliche Aktivität während der Sommermonate und in den langen Schulferien angeführt. Atherton et al. konnten eine Abhängigkeit vom Wetter nachweisen und zeigen, dass an Tagen mit längerer Sonnenscheindauer und weniger Niederschlag deutlich mehr Kinder in der Traumatologie behandelt wurden. Für Erwachsene war dieser Zusammenhang nicht nachzuweisen (ATHERTON et al. 2005). Reinberg konnte zusätzlich eine zirkadiane Rhythmik für das Auftreten von Frakturen bei Kindern mit einem Frakturmaximum gegen 16 Uhr nachweisen, wobei eine wochentägliche Rhythmik sowie ein Einfluss des Geschlechts nicht erhoben werden konnten (REINBERG et al. 2002). In unserer Studie kam neben den beschriebenen Einflüssen auf die ortsansässigen Kinder und Jugendlichen zusätzlich ein Zustrom von Urlaubsgästen in den Sommermonaten zum Tragen. Aufgrund der hohen Anzahl an Unterarmfrakturen hatten diese einen größeren Einfluss auf die Frakturverteilung im Jahresverlauf. Von den Frakturen der unteren Extremität ereigneten sich nur etwa 11 % während der Sommermonate, da diese Frakturen allerdings nur einen kleinen Teil aller Frakturen darstellen, ist der Einfluss auf die Gesamtverteilung innerhalb des Jahres gering. In Regionen mit Skisportmöglichkeiten würde diese Monatsverteilung aufgrund der größeren sportlichen Aktivität im Winter sicherlich stark differieren.

Insgesamt zeigte die Verteilung der Frakturlokalisationen ein deutliches Überwiegen der oberen Extremität: bei den von uns erhobenen Daten betrafen 76,5 % aller Frakturen der langen Röhrenknochen die obere Extremität.

Die Fraktur des distalen Radius war mit 40,64 % die häufigste der in dieser Studie erfassten Frakturen. Übereinstimmend werden distale Unterarmfrakturen beziehungsweise Radiusfrakturen in allen Studien als die häufigste Fraktur bei Kindern genannt. Ein direkter quantitativer Vergleich fällt jedoch schwer, da das für die Berechnung herangezogene Patientenkollektiv in den Studien unterschiedlich definiert ist. Hassan untersuchte Sportfrakturen bei 5-15 Jahre alten Kindern in Nordostengland und gab Handgelenksfrakturen mit 43 % ebenfalls als häufigste Fraktur an (HASSAN und DORANI 2001). Dagegen werteten Brudvik und Hove 1725 kindliche Frakturen im Jahre 1998 in Bergen (Norwegen) bei Kindern von 0-16 Jahren aus. Auch hier war die Radiusfraktur die häufigste Fraktur, sie machte jedoch nur einen Anteil von 27 % aus (BRUDVIK und HOVE 2003). In beiden Studien wurden, im Gegensatz zur vorliegenden Studie, alle bei Kindern auftretenden Frakturen und nicht nur die Frakturen langer Röhrenknochen untersucht. Berechnet man diese Ergebnisse nach Abzug der Frakturen, die nicht die langen Röhrenknochen betreffen, so erhält man aus den Daten von Brudvik und Hove einen Anteil distaler Radiusfrakturen von 50 % und für die Daten von Hassan und Dorani - also bei den sportassoziierten Frakturen - sogar einen von 68,6 %. Bei Kraus et al., die nur Frakturen der langen Röhrenknochen untersuchten, werden die distalen Unterarmfrakturen mit einer Häufigkeit von 41,6 % angegeben, dieser Wert ist bei ähnlichem Studiendesign mit dieser Studie und der Häufigkeit von 40,64 % vergleichbar. Zusammenfassend stellt die distale Radiusfraktur übereinstimmend in allen Studien die häufigste Frakturlokalisation dar. Der deutlich höhere Anteil in der Studie von Hassan und Dorani ist möglicherweise darin begründet, dass diese nur sportassoziierte Frakturen untersuchten. Dies würde auch zu der Beobachtung passen, dass die distale Radiusfraktur eine häufige Folge von Stürzen aus dem

Laufen heraus auf die, zum Abfangen des Sturzes, dorsalextendierte Hand ist. Frakturen der anderen Lokalisationen treten im Vergleich dazu öfter unabhängig von sportlicher Aktivität auf. Beispiele dafür sind Stürze aus großer Höhe oder Verkehrsunfälle, welche eher zu Oberarmfrakturen oder Frakturen der unteren Extremität führen als Sport- und Stolperunfälle.

Die distale Radiusfraktur zeigte im Vergleich zur zweithäufigsten Fraktur in unserem Patientenkollektiv, der supracondylären Humerusfraktur, einen späteren Altersgipfel. Während der Altersdurchschnitt bei supracondylären Humerusfrakturen bei 5,3 Jahren lag, betrug er bei den Kindern mit distalen Unterarmfrakturen 8,3 Jahre. Bereits Landin beschrieb die unterschiedliche Altersverteilung von Frakturen mit den frühen Frakturen, zu denen er die supracondylären Humerusfrakturen zählt, und den spät auftretenden Frakturen, bei denen er als typische Vertreter die distalen Radiusfrakturen, proximale Humerusfrakturen und Frakturen der Phalangen nennt (LANDIN 1983).

Neben dem Alter bei Eintritt der Fraktur fanden wir im Vergleich zwischen distaler Unterarmfraktur und supracondylärer Humerusfraktur eine unterschiedliche Verteilung der häufigsten Unfallursachen. Von den supracondylären Humerusfrakturen traten 33,7 % im häuslichen Umfeld und 21,4 % beim Sport auf. Bei den distalen Radiusfrakturen dagegen lag der Anteil der im Sport erlittenen Frakturen mit 34,6 % deutlich über dem Anteil der zu Hause erworbenen Frakturen von 23,41 %. Zu berücksichtigen ist bei der Bewertung dieser Zahlen, dass die Häufigkeitsverteilung von Alter und Unfallursache in wechselseitiger Beziehung zueinander stehen. So treten supracondyläre Humerusfrakturen öfter bei jüngeren Kindern, begünstigt auch durch die altersbedingt meist größere Überstreckbarkeit im Ellbogengelenk, auf. Bei diesen jüngeren Kindern ist es wiederum aufgrund ihres Tätigkeitsprofils sehr viel wahrscheinlicher, dass sie sich eine Fraktur zu Hause und nicht beim Sport zuziehen.

Die Seitenverteilung der Frakturen wies eine Bevorzugung der linken Seite auf, hier lag ein Verhältnis von 1,45 : 1 vor. Diese Seitenwendigkeit lag leicht über dem in der Literatur angegebenen Verhältnis von 1,3 : 1 (RIVARA et al. 1982; CHENG und SHEN 1993; LANDIN 1997). An der oberen Extremität betrug das Verhältnis bei uns 1,5 : 1, an der unteren Extremität 1,2 : 1. Von Mortensson und Thonell sind mögliche Ursachen für die Bevorzugung der linken Seite an der oberen Extremität untersucht worden. Ihrer Beobachtung nach wird zum einen der linke Arm öfter zum Schutz eingesetzt, während der rechte Arm beim Sport eine aktivere Funktion erfüllt, zum anderen scheint der linke Arm bei einem Trauma leichter zu frakturieren (MORTENSSON und THONELL 1991). Daher ist vermutlich die Händigkeit ausschlaggebend für die Seitenverteilung. Der Anteil an Linkshändern ist nicht genau statistisch erfasst und wird in Deutschland je nach Quelle mit 10-15 % oder auch 22 % angegeben (SATTLER 2005). Als ein mögliches Maß für die Erhebung der Frakturschwere wurde das Auftreten von Begleitverletzungen oder aber das Dislokationsausmaß herangezogen. Begleitende Nerven- oder Gefäßverletzungen waren relativ selten und traten in 6 % der Fälle und bei den als „andere“ bezeichneten Begleitverletzungen in 9 % der Fälle auf. Betrachtet man die Geschlechterverteilung bei auftretenden Begleitverletzungen, so überwiegt das Verhältnis mit 1 : 1,4 bei den Nerven- und Gefäßverletzungen auf Seite der Mädchen. Bei den „anderen“ Begleitverletzungen war das Verhältnis umgekehrt und der Jungenanteil überwog. Hinsichtlich des Dislokationsausmaßes zeigten sich Häufigkeiten für nicht tolerable Fehlstellung bei Frakturen von 34 % bei den Mädchen und 25,3 % bei den Jungen.

Somit konnte für die von uns untersuchte Patientenklientel bezüglich des Schweregrades der Frakturen kein signifikanter Geschlechterunterschied nachgewiesen werden. Besonders die stark dislozierten Frakturen waren häufig eine Folge nicht sportassoziierter Frakturen, zum Beispiel von Stürzen aus großer Höhe. In einer Studie zu Sportfrakturen bei Kindern in Nordengland konnte ebenfalls kein Unterschied hinsichtlich der Verletzungsschwere zwischen Mädchen und Jungen festgestellt werden (HASSAN und DORANI 2001).

Ein weiterer wichtiger Parameter für die Schwere der Verletzung ist auch der begleitende Weichteilschaden. Hierbei war in unserem Patientenkollektiv etwa die Hälfte aller Frakturen mit einem erkennbaren Weichteilschaden verbunden. In 95 % der Fälle mit Weichteilschaden war dieser geschlossen, aber in immerhin 12 % aller Frakturen lag ein zweitgradiger Weichteilschaden (offen oder geschlossen) und in 2 % ein drittgradiger Weichteilschaden (geschlossen) vor. Dies zeigt, dass Weichteilverletzungen häufig auftreten und durchaus bei der Behandlung von kindlichen Frakturen eine Rolle spielen. Die hohe Zahl der geschlossenen Weichteilverletzungen erfordert eine genaue klinische Kontrolle und Beobachtung, um ein beginnendes Kompartmentsyndrom frühzeitig zu erkennen und die notwendigen Behandlungsschritte einleiten zu können.

## 4.2 Diskussion der Klassifikationsvalidierung

Bezüglich der ersten Stelle der Klassifikation bestand bei allen Betrachtern eine hundertprozentige **Intraobserverübereinstimmung** zwischen dem ersten und zweiten Bewertungsdurchgang. Diese komplette Übereinstimmung zeigt, dass die Angabe des frakturierten Knochens durch die Ziffern 1-4 an erster Stelle keine Schwierigkeiten bereitet und damit sowohl eindeutig als auch praktikabel ist. Diese Einteilung hat sich in gleicher Weise schon bei der AO-Klassifikation für Erwachsene bewährt.

Für die nächsten beiden Stellen der Klassifikation lag die Übereinstimmung zwischen erstem und zweitem Bewertungsdurchgang mit durchschnittlich über 90 % ebenfalls sehr hoch. Die Lokalisation am frakturierten Knochen wurde in 93-96 % der Fälle und die Unterscheidung zwischen Gelenk- und Schaftfrakturen in 89-95 % der Fälle vom selben Bewerter beim zweiten Durchgang identisch angegeben.

Bei der Angabe des Frakturtyps (vierte Stelle der Klassifikation) wichen die Bewerter bei der zweiten Bewertung in 25-30 % und bei der Angabe der Dislokationsausmaßes in 40-44 % von ihrem Ersturteil ab. Diese Abweichungen könnten zum einen durch einen „Lerneffekt“ zwischen erstem und zweitem Klassifikationsdurchgang begründet sein, andererseits könnten sie auch auf einer etwas anderen Einschätzung grenzwertiger Befunde beruhen.

Um diese Vermutungen zu konkretisieren, erfolgte die erneute Durchsicht von 65 Fällen mit Abweichungen zwischen erster und zweiter Klassifikation durch einen Bewerter. Dabei lag als Ursache in 62 % (n=40) der Fälle ein Problem beim Erkennen der Fraktur aufgrund schlechter Qualität der Röntgenbilder, Unsicherheit bei der Entscheidung zwischen minimal dislozierter oder nicht dislozierter Fraktur oder einer schwer zu bestimmenden Fraktur vor. Bei nur 20 % traten Unsicherheiten in der Anwendung der Klassifikation auf, dabei vor allem bei der Zuordnung des zusätzlichen „U“ oder „F“ bei isolierten Ulna oder Fibulafrakturen oder Flüchtigkeitsfehler. In 14 % der Fälle war eine Schwäche der Klassifikation als Grund

für die Abweichung nachzuvollziehen, dabei in mehr als der Hälfte der Fälle aufgrund einer ungenauen Definition der Metaphyse und schwierigen Beschreibung von speziellen Frakturen (z.B. Olecranonfrakturen).

Die **Interobserver-Übereinstimmung** betrug in unserer Studie für die vollständige Klassifikation der Frakturen im Mittel 0,546 für alle Beobachter verglichen mit dem Goldstandard. Dies entspricht definitionsgemäß einer „mittelmäßigen“ Übereinstimmung. Betrachtet man die große Varianz von 0,290-0,702, so entspricht dies einer Bandbreite von einer lediglich „ausreichenden“ bis hin zu einer „wesentlichen“ Übereinstimmung für die einzelnen Bewerter. Wurden bei der Auswertung nicht dislozierte und tolerabel dislozierte Frakturen zusammengefasst (kein Unterschied in der therapeutischen Konsequenz), erhöhte sich die Übereinstimmung im Durchschnitt auf  $K = 0,77$  (zweite Runde 0,723). Zwischen *KCh2* und *KCh1* betrug die Übereinstimmung  $K = 0,871$ , die geringste Übereinstimmung wiesen *Laie* und *Rad* mit  $K = 0,612$  auf.

Zur Analyse der Differenzen erfolgt die detaillierte Betrachtung der Abweichungen an jeder einzelnen Klassifikationsstelle.

An erster Stelle der Klassifikation wurde von allen Bewertern eine perfekte, d. h. hundertprozentige Übereinstimmung entsprechend einem Kappa von 1 erreicht. Diese außerordentlich hohe Übereinstimmung zeigt - wie schon bei der Auswertung der Intraobserver-Übereinstimmung -, dass die Klassifikation an dieser Stelle leicht verständlich und eindeutig ist.

Für die zweite Stelle der Klassifikation bestand eine Übereinstimmung von  $K = 0,809$ . Dies ist - laut Definition - noch als beinahe perfekte Übereinstimmung zu bezeichnen. Andererseits traten immerhin in 82 von 408 Fällen Unstimmigkeiten hinsichtlich der Abgrenzung von proximalen zu zentralen und von zentralen zu distalen Frakturen auf. Dies ist sicherlich auf die geringe Trennschärfe zwischen meta- und diaphysären Frakturen zurückzuführen (d. h. jeweils zwischen zentraler und distaler sowie zwischen zentraler und proximaler Frakturlokalisierung). Auffällig ist dabei außerdem, dass die Übereinstimmung zwischen den beiden Kinderchirurgen und dem medizinisch gebildeten Laien mit Kappa-Werten zwischen 0,86-0,913 deutlich höher lag als die Übereinstimmung dieser drei Personen zu dem Radiologen mit 0,649-0,758. Man kann daraus schließen, dass für diese Entscheidung nicht allein radiologische Gesichtspunkte ausschlaggebend waren. Wie bereits beschrieben, ist die Metaphyse nur per Definition zu bestimmen und radiologisch nicht sicher abgrenzbar.

Hinsichtlich der Unterscheidung zwischen Gelenkfrakturen und Schaftfrakturen fiel auf, dass Frakturen, die vom erfahrensten Kinderchirurgen als Schaftfrakturen definiert wurden, in 97,4-99,7 % von den anderen drei Bewertern ebenfalls als solche erkannt wurden. Bei den per Definition durch Goldstandard als Gelenkfraktur spezifizierten Frakturen stimmten die anderen drei Bewerter allerdings in nur 52,17-73,91 % damit überein. Dies zeigt, dass bei der Identifikation von Gelenkfrakturen in dieser Studie eine deutlich größere Unsicherheit auftrat als bei den Schaftfrakturen. Gelenkfrakturen wurden demnach im Zweifelsfalle eher den Schaftfrakturen zugerechnet. Dies könnte sich auf die Therapie erheblich auswirken, da bei der Behandlung von Gelenkfrakturen im Gegensatz zu den Schaftfrakturen nur eine deutlich geringere Fehlstellung toleriert werden kann (siehe Abschnitt 1.6).

Es bleibt jedoch zu bedenken, dass die Gelenkfrakturen an dieser Stelle der Auswertung mit einer Anzahl von nur 23 im Vergleich zu 303 Schaftfrakturen einen Anteil von nur 7 % ausmachen, wodurch zufällige Abweichungen statistisch deutlich stärker ins Gewicht fallen.

### Vergleich der LiLa-Klassifikation mit der AO-Klassifikation für Kinder

Die Interobserverübereinstimmung für die Gesamtklassifikation lag in der LiLa-Klassifikation mit  $K = 0,55$  im Bereich einer „mittelmäßigen“ Übereinstimmung. Dieser Wert war damit besser als die Interobserver-Übereinstimmung, die in unterschiedlichen Studien für bereits etablierte Klassifikationen ermittelt wurde. Ein Beispiel ist die Klassifikation nach Neer, die eine gängige Klassifikation für proximale Humerusfrakturen darstellt. Hier wurden in unterschiedlichen Reliabilitätsstudien Interobserver-Übereinstimmungen zwischen  $K = 0,27$  (BRORSON et al. 2002 a) für die paarweise und  $K = 0,54$  (BERNSTEIN et al. 1996) für die Gesamtübereinstimmung erhoben. Für die Klassifikation von distalen Radiusfrakturen nach der Müller-AO-Klassifikation (für Frakturen der langen Röhrenknochen bei Erwachsenen) ergaben sich je nach Studie Kappa-Werte zwischen 0,23 (FLINKKILÄ et al. 1998) und 0,65 (OSKAM et al. 2001) für die Gesamtübereinstimmung, für die paarweise Übereinstimmung lag der Wert bei  $K = 0,37$  (ILLARRAMENDI et al. 1998).

Daten zur Interobserver-Übereinstimmung sind für die AO-Klassifikation bereits publiziert. Um die Qualität der beiden Klassifikationen zu vergleichen, wurden die Interobserver-Übereinstimmung der in dieser Studie verwendeten LiLa-Klassifikation der bereits veröffentlichten AO-Klassifikation gegenübergestellt. Da jedoch detaillierte Angaben hinsichtlich der Interobserver-Übereinstimmung bei der AO-Klassifikation nur für die Angabe des Klassifikationstyps (entsprechend der dritten Stelle der AO-Klassifikation) existieren, wurden die Klassifikationen hinsichtlich ihrer jeweiligen Genauigkeit an dieser Stelle verglichen werden. In der LiLa-Klassifikation wird an zweiter Position in proximale, zentrale und distale Frakturen unterschieden. Dabei kann davon ausgegangen werden, dass die Entscheidung zwischen proximaler und distaler Fraktur eindeutig ist und Abweichungen dieser Art nur durch Anwenderfehler („Flüchtigkeitsfehler“) und nicht durch eine Schwäche der Klassifikation entstehen können. Dies bestätigt auch unsere Klassifikationsevaluation, in der abweichende Bewertungen zwischen proximal und distal nicht auftraten. Somit bleiben an dieser Stelle die zentralen von den proximalen oder distalen Schaftfrakturen abzugrenzen. Dies ergibt sich in der LiLa-Klassifikation aus der Definition der Metaphyse (zentrale Schaftfrakturen sind alle diaphysär, proximale und distale Frakturen sind metaphysär). Daraus folgend kann die Entscheidung zwischen dia- und metaphysär in der AO-Klassifikation mit der Unterscheidung zentrale gegenüber distale / proximale Schaftfrakturen der LiLa-Klassifikation gleichgesetzt werden.

Die Übereinstimmung zwischen den Beobachtern war für die beschriebene Angabe der Frakturlokalisierung in beiden Studien „beinahe perfekt“ bei einem Kappa von  $K > 0,8$ . Allerdings war bei unseren Ergebnissen mit der LiLa-Klassifikation die Übereinstimmung mit  $K = 0,81$  an der Grenze zu einer „wesentlichen Übereinstimmung“ und damit geringer als in der Studie zur AO-Klassifikation mit dem höheren Kappa-Wert von  $K = 0,98$ .

Betrachtet man das Design der Studien, so fallen einige Unterschiede auf:

a) Bei der Validierung der AO-Klassifikation für kindliche Frakturen, Studie 4 (AUDIGE et al.

2004 b), nahm ein homogene Gruppe aus fünf kindertraumatologisch erfahrenen Chirurgen an der Validierung teil. Im Gegensatz dazu war in unserer Studie bewußt eine heterogene Gruppe gewählt worden, die sich aus zwei erfahrenen Kinderchirurgen sowie aus einem Kinderradiologen und einem medizinisch gebildeten Laien zusammensetzte. Diese Gruppe bietet durch ihre individuell unterschiedliche klinische Erfahrung und dem jeweiligen fachlichen Hintergrund eine gute und realistische Abbildung der Zielgruppe, die für eine klinische Anwendung der Klassifikation in Betracht kommt.

b) Es wurden zur Auswertung der Übereinstimmung der Klassifikation von der AO-Gruppe nur die häufigen Frakturlokalisationen einbezogen, seltener auftretende wurden ausgeschlossen; Femurfrakturen wurden in der Studie beispielsweise überhaupt nicht aufgeführt. Im Gegensatz dazu wurde in dieser Studie keine Beschränkung auf die häufigen Frakturlokalisationen getroffen, sondern es wurden sämtliche innerhalb eines Jahres in unserer Klinik behandelten Frakturen aufgenommen. Frakturen mit einem auf dem Röntgenbild schwer erkennbaren Frakturverlauf oder schwer klassifizierbare Frakturen wie in Abbildung 8 beispielhaft zu sehen wurden in dieser Studie ebenfalls eingeschlossen. Durch den Einschluss auch der seltenen Frakturen kann zwar möglicherweise nur eine geringere Interobserverübereinstimmung erreicht werden, allerdings lässt sich aber nur so eine Aussage treffen, ob sich die Klassifikation für eine Beschreibung aller - also auch der seltenen - kindlichen Frakturen eignet. Gerade bei der Klassifikation von seltenen und schwierigen Frakturen zeigt sich, wie man in dieser Arbeit sehen kann, die Qualität einer Klassifikation.

c) Die Fallzahl war mit 267 Fällen in der AO-Klassifikationsstudie im Vergleich zu 438 Fällen in unserer Studie deutlich geringer. Bei einer höheren Fallzahl können im Allgemeinen statistisch genauere Aussagen getroffen werden.

d) Die teilnehmenden Personen (fünf Kinderchirurgen) wurden in der AO-Studie zunächst hinsichtlich der Anwendung der Klassifikation anhand eines Probedurchgangs geschult, bevor sie die Klassifizierung der Frakturen vornahmen. In dem von uns gewählten Setting wurde den Klassifizierenden lediglich die Definition der LiLa-Klassifikation ausgehändigt (als Handout und in elektronischer Form). Es wurden somit im Gegensatz zur Klassifikationsstudie der AO-Klassifikation keine wiederholten Pilotstudien und Übungsrunden durchgeführt und es kann daher besser beurteilt werden ob die Klassifikation einfach und selbsterklärend ist und damit für eine breite Anwendung geeignet scheint.

Zusammenfassend scheint das von uns gewählte Vorgehen in vielen Punkten wesentlich stärker einer angestrebten klinischen Anwendung zu entsprechen. Zieht man eine vorhergehende Pilotstudie (Studie 3) zur beschriebenen Studie zur AO-Klassifikation (AUDIGE et al. 2004) heran, so betrug in dieser Phase der Evaluierung die Übereinstimmung nur  $K = 0,78$ . Sie lag damit unter dem in unserer Studie für die LiLa-Klassifikation erzielten Wert von  $K = 0,81$ . Die Übereinstimmung hat sich zwischen der dritten und der vierten Studie der AO-Klassifikation von  $K = 0,78$  auf  $K = 0,98$  drastisch erhöht. Um diese überraschend große Diskrepanz nachvollziehen zu können, müssen die Modifikationen zwischen diesen beiden Studien betrachtet werden. In der Pilotstudie 3 zur AO-Klassifikation war das Studiendesign im Vergleich zur abschließenden Studie (Pilotstudie 4) leicht verändert. Es nahmen sechs Kinderchirurgen teil, die zuvor in der Klassifikationsanwendung geschult worden waren. Zum Zeitpunkt der Pilotstudie 3 war in der AO-Klassifikation die Metaphyse noch, wie bei der LiLa-Klassifikation, als

Quadrat über der Epiphyse des entsprechenden Knochens definiert. Erst in der Modifikation (Studie 4) erfolgte die Definition als Quadrat über die Breite beider Epiphysen bei paarigen Knochen (z. B. Radius und Ulna bei distalen Unterarmfrakturen), dadurch vergrößert sich der Bereich der Metaphyse für diese Frakturen. Des Weiteren wurde in Studie 4 erstmalig eine Schablone mit vorgefertigten Quadraten unterschiedlicher Größe für die Anwendung am Röntgenshirm bzw. am Monitor angewendet, um die Ungenauigkeit der Quadratberechnung zu verringern. Aus der daraus folgenden Erhöhung der Übereinstimmungsrate zwischen Studie 3 und 4 der AO-Klassifikation von 69 % auf 98 % (bzw  $K = 0,78$  auf  $K = 0,98$ ) kann geschlossen werden, dass die genaue Definition der Metaphyse einen wesentlichen Faktor zur Erhöhung der Übereinstimmung zwischen den Ratern darstellt (AUDIGE et al. 2004). Dies wird auch durch unsere Ergebnisse bestätigt, bei der 56 % der Intraobserverabweichungen, die auf eine Schwäche der Klassifikation zurückzuführen waren, in einer Ungenauigkeit der Definition der Metaphyse begründet waren.

Als mögliche Fehlerquellen, die artifiziell die Übereinstimmung zwischen den unterschiedlichen Bewertern reduzieren, sind Verwechslungen und Eingabefehler zu benennen. Dies war in unserer Analyse bei einem Viertel (24,62 %) aller Intraobserverabweichungen die Ursache der abweichenden Angabe. In einem Fall wurde beispielsweise eine zentrale Schaftfraktur als Epiphysenlösung klassifiziert. Hierbei kann es sich nur um einen Eingabefehler handeln, da diese Klassifikation per definitionem nicht existiert. Solche Fehler sind nicht einer Klassifikation anzulasten und können bei einer Eingabe ohne technische Hilfsmittel nie komplett ausgeschlossen werden. Ein sicherer Ausschluss solcher Eingabefehler wäre nur durch vordefinierte Eingabemasken am PC möglich, bei der unmögliche Klassifikationskombinationen nicht akzeptiert werden. Weiterhin wäre eine visuelle Rückkopplung während der Dateneingabe eine weitere Möglichkeit, derartige Fehler sofort zu erkennen und zu eliminieren. Für die tägliche klinische Verwendung der Klassifikation ist ein solches Vorgehen wenig praktikabel; denkbar wäre dies aber beispielsweise während der Erstellung eines digitalen Arztbriefes, im Rahmen gutachterlicher Tätigkeiten sowie natürlich im Rahmen von Studien. Eine Beeinflussung der Klassifikationsergebnisse durch fehlerhafte Eingabe seitens des Klassifizierenden („Flüchtigkeitsfehler“, Zahlendreher) ist besonders für die sehr seltenen Frakturen von Bedeutung, da hier die Ergebnisse durch kleine Abweichungen in größerem Ausmaß verzerrt werden. Bei häufigen Frakturen fallen diese Eingabefehler, zum einen durch die größere Gesamtzahl, zum anderen auch aufgrund der schneller einsetzenden Routine, bei der Klassifikation statistisch weniger ins Gewicht.

Eine Einschränkung hinsichtlich der Aussagekraft der von uns ermittelten Kappa-Werte und damit der Validierung der Klassifikation liegt im gewählten Studiendesign. Es konnte damit lediglich eine Aussage getroffen werden, ob die unterschiedlichen Klassifizierenden zu dem gleichen Ergebnis kamen wie der als Goldstandard definierte Kinderchirurg mit der größten klinischen Erfahrung. Um in allen Fällen eine optimale Zuweisung der Fraktur innerhalb der Klassifikation zu gewährleisten, müsste immer durch ein Expertengremium vorher oder nach den Klassifikationsdurchgängen ein Konsensus gefunden werden. Für die Prüfung der klinischen Anwendbarkeit erscheint uns dennoch das gewählte Verfahren angemessen.

Analysiert man die Intraobserverdifferenzen, zeigt sich, dass Abweichungen oft in der nicht hundertprozentig scharfen Definition einer Fraktur oder einer Unsicherheit in der Anwendung zu suchen sind. Die meisten Intraobserverabweichungen traten bei der Abgrenzung der „Wulst- und Grünholzfrakturen“ von den „Quer-, Schräg- oder Torsionsfrakturen“ auf. Diese Abweichung ist bei erneuter Betrachtung der Frakturbilder in 62 % auf eine schlechte Röntgenbildqualität oder auch schwer erkennbare Fraktur (fissurale, nicht dislozierte oder grenzwertige Frakturen) zu begründen.

An der 2. Stelle der Klassifikation (Angabe des Fraktursegmentes) kam es zu einer hohen Varianz der Kappa-Werte zwischen  $K = 0,65$  bis  $K = 0,91$ , dies spricht für eine interindividuell unterschiedliche Wertung der eigentlich simplen Angabe des Segmentes als proximal, zentral oder distal.

Die wesentliche Ursache für differente Einschätzungen zwischen den Bewertern ist, wie schon bei der Diskussion der Intraobserverabweichungen erläutert, in der Definition der Metaphyse selbst gegeben. Sie ist, da sie röntgenmorphologisch nicht sichtbar ist, als das Quadrat über der Epiphysenfuge definiert. Konstruiert man das Quadrat wie in der Definition der LiLa-Klassifikation beschrieben, muss man zunächst von den Eckpunkten der Epiphysenfuge aus jeweils einen Kreisbogen mit der Epiphysenfugenbreite als Radius schlagen. Durch den Schnittpunkt dieser beiden Kreisbögen legt man eine Parallele zur Epiphysenfuge. Verbindet man diese beiden Parallelen, so erhält man allerdings ein Rechteck und kein Quadrat (wie in Abbildung 26 a zu sehen) was bei Berücksichtigung der geometrischen Grundregeln unstrittig ist.

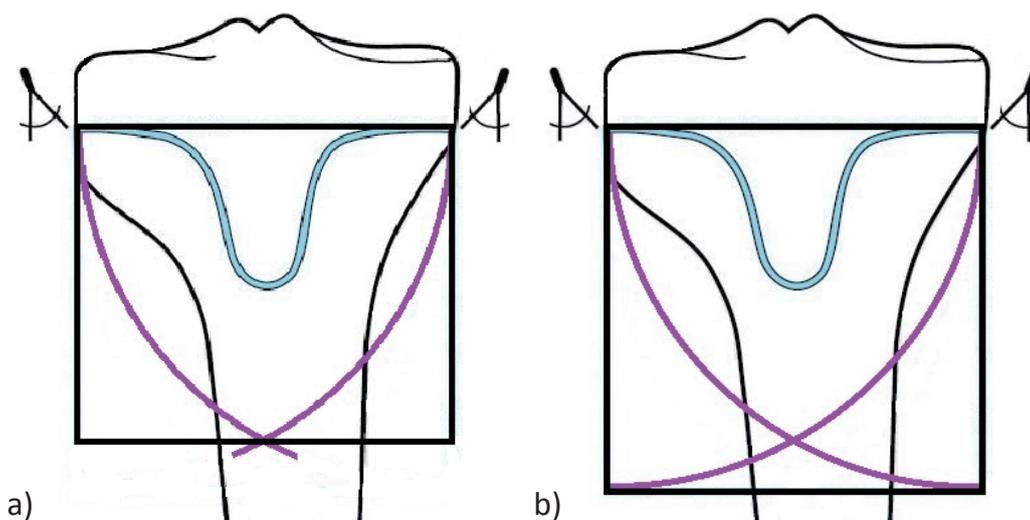


Abbildung 26: **Darstellung der unterschiedlichen Konstruktion des metaphysären Quadrates**

- a) gemäß der Definition der LiLa-Klassifikation (MARZI et al. 2006)
- b) geometrisch korrekte Konstruktion eines Quadrates über der Epiphyse

Somit ist bereits die Definition nicht sehr verständlich und erfordert zudem einen Zirkel und geometrisches Geschick. Die aus dieser Definition resultierende Verkürzung der Metaphyse

lässt sich nach dem Satz des Pythagoras berechnen mit:

$$\text{Abweichung} = \left(1 - \frac{\sqrt{3}}{2}\right) * a \quad (4.1)$$

Hierbei ist **a** die Länge der Fuge (siehe Anhang 9.8). Die Definition der Metaphyse ist damit in der LiLa-Klassifikation kompliziert und geometrisch nicht korrekt. Des Weiteren kommt hinzu, dass im Unterschied zur AO-Klassifikation (SLONGO et al. 2007) bei der LiLa-Klassifikation auch bei paarigen Knochen nur die Breite der Epiphysenfuge des jeweiligen Knochens als Basis für das Quadrat genommen wird (LAER VON et al. 2004; LINHART 2009) und nicht die Breite der Epiphysenfugen beider Knochen. Dies führt zu einer weiteren Verkürzung der Metaphyse nach der Definition der LiLa-Klassifikation im Vergleich zur AO-Klassifikation.

Ob die Wahl beider Epiphysenfugen als Basis für das gewählte Quadrat eine geeignetere Definition darstellt als die Beschränkung auf den haupttragenden Knochen, kann aus diesen Daten nicht beurteilt werden. Durch eine Vergrößerung des Metaphysenbereiches ist jedoch eine Trennung der Schaftfrakturen von den metaphysären Frakturen erleichtert, da die aufgrund der Lila-Klassifikation im dia-metaphysären Übergang befindlichen Frakturen einfacher der Metaphyse zugeordnet werden können. Zusätzlich ist die Konstruktion des Quadrates mit einem Zirkel kompliziert und in der Praxis schlecht anwendbar. Eine Möglichkeit wäre die Einführung einer Schablone mit Quadraten unterschiedlicher Größe, die ähnlich bereits in der Studie zur AO-Klassifikation eingesetzt wurde. Diese könnte sowohl bei digitalen Röntgenbildern am PC als auch auf ausgedruckten Folienfilmen angewendet werden. In DICOM-Bildbetrachtungsprogrammen wäre die Einführung einer Funktion zur Erstellung eines skalierbaren Quadrates eine präzise Lösung des Problems.

Zu dem Problem der schwierigen Konstruktion und Definition der Metaphyse kommt eine weitere Unklarheit in der Definition: In der Beschreibung der LiLa-Klassifikation (wie auch der AO-Klassifikation) findet sich keine Aussage darüber, wie Frakturen bezeichnet werden sollen, die zu einem Teil metaphysär und zum anderen Teil diaphysär lokalisiert sind. An dieser Stelle kann nun der Klassifizierende selbst die Entscheidung fällen, ob er nach dem Hauptanteil der Fraktur geht oder ob er im Zweifelsfalle vom prognostisch ungünstigeren Falle ausgeht. Daher wäre es sinnvoll, diese Definition in beiden Frakturklassifikationen zu verbessern. Dadurch könnte nicht nur eine höhere Anwenderfreundlichkeit, sondern vermutlich auch eine höhere Übereinstimmung erzielt werden.

Eine Zusammenfassung von „nicht dislozierten“ Frakturen und solchen mit „tolerabler“ Dislokation in eine Gruppe, wie sie bei der zweiten Studie der AO-Klassifikation vorgenommen wurde, erscheint ebenfalls interessant. Wie in Abbildung 25 dargestellt, könnte die Interobserverübereinstimmung deutlich erhöht werden. Allerdings würden dann auch Frakturen mit „tolerabler“ Fehlstellung, die jedoch aufgrund einer möglichen sekundären Dislokation als kontrollwürdig eingeschätzt werden, in einer Gruppe mit den „nicht dislozierten“ Frakturen subsumiert. Als Folge dessen würden die kontrollbedürftigen „nicht dislozierten“ Frakturen mit hoher Wahrscheinlichkeit unterdiagnostiziert. An dieser Stelle bleibt zu überdenken, ob eine solche Veränderung der Klassifikation nur dazu dient, eine höhere Übereinstimmung für die Klassifikationsevaluation zu schaffen, oder ob sie tatsächlich klinische Vorteile bietet. Um dies zu überprüfen wären neue Studien notwendig, darin müssten die Alternativen : a)

Beschränkung auf zwei Kategorien: „disloziert“ und „ nicht disloziert“ und b) Erweiterung auf vier Kategorien „nicht disloziert“, „geringe Dislokation ohne klinische Relevanz“, „geringe Dislokation, kontrollbedürftiges Remodelling erwartet“, „ relevant disloziert“ gegeneinander geprüft werden. Eine besondere Herausforderung bei dieser Einschätzung stellt - im Gegensatz zu den Frakturen bei Erwachsenen - die große Varianz des zu erwartenden Remodeling bei kindlichen Frakturen dar. Diese hängt vom Alter des Kindes, der Lokalisation der Fraktur, dem Frakturtyp und der Dislokationsrichtung ab (vgl. dazu Kap. 1.5).

Insgesamt zeigt die LiLa-Klassifikation somit eine gute Anwendbarkeit, da sie zum einen aufgrund ihrer logischen Struktur sowohl von Spezialisten bzw. Fachärzten als auch von medizinisch gebildeten Laien leicht erlernbar ist und zum anderen fast alle Frakturen mit hinreichender Genauigkeit beschrieben werden können.

Bei Anwendung der Klassifikation kann man die Lokalisation durch die Angabe der ersten drei Stellen schnell benennen, wenn man das Prinzip (das den meisten Anwendern bereits von der AO-Klassifikation für Frakturen bei Erwachsenen bekannt ist) verinnerlicht hat. Die weitere Klassifikation des Frakturtyps lässt sich leicht erlernen, Sonderfälle sind selten und einfach nachzuschlagen.

Allerdings ist durch die Angabe des Dislokationsausmaßes innerhalb der Klassifikation auch eine therapeutische Relevanz vorgesehen. Dies erfordert gegenüber den ersten Positionen der Klassifikation jedoch einen deutlich höheren Grad an Spezialisierung und eine ausreichende klinische Erfahrung, um alle kindlichen Frakturen und deren Korrekturmöglichkeiten bezogen auf Lokalisation, Dislokationsgrad und Alter des Kindes sicher beurteilen zu können. Problematisch können hierbei weiterhin unterschiedlichen Schulen sein, die eine mehr konservative oder mehr operative Herangehensweise präferieren. Ob diese Angabe in einer Klassifikation überhaupt gemacht werden sollte, oder es sinnvoller wäre der Klassifikation eine rein beschreibende Funktion ohne darüber hinausgehende Deutung zuzuschreiben ist dabei eine wichtige Frage. Zur Optimierung der Klassifikation wäre in jedem Fall eine genauere und einfachere Definition der Metaphyse notwendig, um Frakturen am Übergang zwischen Meta- und Diaphyse unterscheiden zu können. Hier bieten sich die oben genannten quadratischen Schablonen bzw. entsprechende technische Möglichkeiten am Monitor an. Eine noch detailliertere Beschreibung einiger Frakturen wäre wünschenswert: so ist es insbesondere bei kombinierten Frakturen an paarigen Knochen (zum Beispiel der Monteggia- oder Galeazzifaktur) nicht möglich, diese innerhalb dieser Klassifikation adäquat zu beschreiben. Als Alternative bleibt, sich nach dem stärker dislozierten Knochen zu richten, oder einen zweiten Code für Ulna bzw Fibula zu vergeben. Inwiefern dieses von klinischer Relevanz ist wäre noch zu prüfen, für eine wissenschaftliche Anwendung der Klassifikation wäre diese Möglichkeit auf jeden Fall erforderlich. Bei Abwägung zwischen Detailtreue und Einfachheit einer Klassifikation muss entschieden werden, ob die klinische Relevanz den Maßstab bilden soll. Unter dem Gesichtspunkt einer einfachen und für klinische Zwecke bestimmten Klassifikation bietet die LiLa-Klassifikation eine unkomplizierte und ausreichend genaue Beschreibung der Frakturen für die klinische Anwendung. Im Vergleich zu bereits veröffentlichten und etablierten Klassifikationen weist die LiLa-Klassifikation bereits jetzt eine teils bessere oder vergleichbare Validität und Reliabilität auf. Entsprechend unserer Analysen besteht allerdings noch Potential für Verbesserungen.

## 5 Zusammenfassung

Frakturen der langen Röhrenknochen sind eine häufige Verletzung im Kindes- und Jugendalter. In der Klinik für Kinderchirurgie des Universitätsklinikums Schleswig-Holstein, Campus Lübeck, wurden in der Zeit vom 1. Oktober 2005 bis zum 31. September 2006 516 Kinder mit Frakturen behandelt, davon konnten 438 in die vorliegende Studie eingeschlossen und die epidemiologischen Daten erhoben werden. Es erfolgte, je zweimalig, eine Klassifikation der Frakturen anhand der Röntgenbilder durch vier voneinander unabhängige Bewerter. Daraus wurde die Inter- und Intraobserver-Reliabilität bestimmt.

Der Altersdurchschnitt der 438 eingeschlossenen Fälle betrug 7,34 Jahre, von den Patienten waren 194 weiblichen und 244 männlichen Geschlechts. Das Verhältnis von Mädchen zu Jungen betrug somit 1 : 1,26. Geschlechtsspezifische Unterschiede waren vor allem in der Altersverteilung erkennbar, bei den Mädchen traten die meisten Frakturen zu einem früheren Zeitpunkt auf. Bei den Jungen wurden in der Pubertät deutlich mehr Frakturen behandelt als bei den gleichaltrigen Mädchen. Geschlechtsspezifisch signifikante Unterschiede hinsichtlich der Frakturschwere konnten nicht erhoben werden.

Im Bereich der Frakturen der oberen Extremität sahen wir eine deutliche Häufung während der Sommermonate. Mit 76,5 % waren in dieser Studie Frakturen am häufigsten an der oberen Extremität erhoben worden. Die drei häufigsten Frakturlokalisationen waren die distale Unterarmfraktur (40,6 %, n = 178), die distale Oberarmfraktur (20,1 %, n = 88) und die distale Unterschenkelfraktur (8 %, n = 35). Die Mehrheit der Frakturen (61 %, n = 268) konnte durch konservative Therapie in Form von Ruhigstellung behandelt werden und bedurfte keiner weiteren Therapie.

Die Unfälle ereigneten sich am häufigsten im häuslichen Umfeld (35%), gefolgt von Unfällen beim Sport (26%), in der Schule bzw. im Kindergarten (16,4 %) oder auf einem Spielplatz (16,4 %); Verkehrsunfälle waren nur in 14 Fällen (3,2 %) Ursache für eine Fraktur. Es zeigte sich dabei eine unterschiedliche Verteilung der Unfallursachen für verschiedene Altersgruppen, so traten bei Kleinkindern die meisten Unfälle zuhause auf, während bei Schulkindern Sportunfälle die häufigste Unfallursache waren. Daraus lassen sich auch altersspezifische Empfehlungen zur Prävention ableiten, die bei den Kleinkindern auf eine sichere Gestaltung des häuslichen Umfeldes und bei Schulkindern auf eine Verbesserung der Akzeptanz von Schutzausrüstung beim Sport abzielen sollte. Insgesamt entsprachen unsere Ergebnisse größtenteils denen vergleichbarer europäischer Studien.

Im zweiten Teil dieser Arbeit erfolgte die Validierung einer neu entwickelten Klassifikation für Frakturen im Wachstumsalter. Zur Beschreibung der Frakturen der langen Röhrenknochen bei Kindern konnte bisher keine geeignete Klassifikation wissenschaftlich validiert und in der klinischen Anwendung etabliert werden. In dieser Arbeit wurde die sogenannte „LiLa-Klassifikation“, die von einer Arbeitsgruppe „Licht und Lachen für kranke Kinder - Effizienz in der Medizin e. V.“ entwickelt wurde, erstmalig in einem der klinischen Realität

entsprechenden Setting auf ihre Anwenderfreundlichkeit und Reliabilität hin untersucht. Diese Frakturklassifikation leitet sich von der etablierten AO-Klassifikation für Frakturen der langen Röhrenknochen bei Erwachsenen ab und ist speziell für die Klassifikation kindlicher Frakturen entwickelt worden. Sie besteht aus einem fünfstelligen Code, der die Frakturlokalisierung, den Frakturtyp und an letzter Stelle auch die Frakturschwere durch Angabe der Therapiekonsequenz beschreibt. Diese Klassifikation wurde mit der AO-Klassifikation für die Beschreibung kindlicher Röhrenknochen (PCCF = AO Pediatric Comprehensive Classification of Long-Bone Fractures) hinsichtlich der Anwendungsfreundlichkeit sowie der Übereinstimmung der Bewerter bei der Klassifikation von Frakturen (Interobserver-Variabilität, ausgedrückt als Kappa-Wert) verglichen. Insgesamt zeigte sich mit  $K = 0,55$  eine mittelmäßige Übereinstimmung, welche mit der Klassifikation der AO-Gruppe nicht direkt vergleichbar ist, da der Kappawert für die Gesamtklassifikation bei der AO-Klassifikation nicht veröffentlicht wurde. An zwischen beiden Klassifikationen vergleichbarer Stelle lag die Interobserverübereinstimmung bei der LiLa-Klassifikation mit  $K = 0,81$  in der gleichen Größenordnung wie bei der AO-Klassifikation ( $K = 0,78$  in Studie 3, bzw  $K = 0,98$  in Studie 4). Im Gegensatz zur AO-Klassifikationsstudie lag eine heterogene Gruppe an Bewertern vor, welche zuvor nicht durch mehrfache Übungsrunden geschult wurden, sondern lediglich anhand der Definition der LiLa-Klassifikation die vorgelegten Frakturen klassifizierten. Auch wurden alle Frakturen in die Klassifikationsstudie einbezogen und nicht nur die häufigen. Die LiLa-Klassifikation konnte dabei von medizinisch gebildeten Laien ohne größere Anleitung ebenso angewendet werden wie von erfahrenen Kinderchirurgen. Sie stellt damit ein geeignetes und überwiegend leicht anwendbares Mittel für die klinische Beschreibung von Frakturen dar. Es konnten in dieser Studie außerdem, durch gezielte Analyse der aufgetretenen Abweichungen, mehrere Ansatzpunkte für Verbesserungen der LiLa-Klassifikation aufgezeigt werden: eine Überarbeitung der Definition der Metaphyse erscheint dringend notwendig, da sie in der aktuellen Klassifikationsdefinition geometrisch nicht korrekt und zudem nicht praktikabel ist (Resultat ist ein Rechteck anstelle eines Quadrates und die Konstruktion soll mittels Zirkel erfolgen). Weiterhin konnte gezeigt werden, dass diese Ungenauigkeit der Definition der Metaphyse zu wesentlichen klassifikationsbedingten Intra- und Interobserverabweichungen führte. Eine Modifikation der Definition des Dislokationsausmaßes beispielsweise durch die Zusammenfassung der „nicht-dislozierten“ und „tolerabel“ dislozierten Frakturen wäre denkbar. Durch Umsetzung dieser Veränderungen in der Klassifikationsdefinition könnten die Genauigkeit und Anwenderfreundlichkeit der Klassifikation gesteigert werden. Ob dies allerdings tatsächlich auch klinisch sinnvoll ist bleibt durch vergleichende Studien zu prüfen.

## 6 Literatur

Aitken AP: Fractures of the epiphyses. *Clin Orthop Relat Res* 41, 19-23 (1965).

Atherton WG, Harper WM und Abrams KR: A year's trauma admissions and the effect of the weather. *Injury* 36, 40-46 (2005).

Audige L, Bhandari M, Hanson B und Kellam J: A concept for the validation of fracture classifications. *J Orthop Trauma* 19, 401-406 (2005).

Audige L, Bhandari M und Kellam J: How reliable are reliability studies of fracture classifications? A systematic review of their methodologies. *Acta Orthop Scand* 75, 184-194 (2004, a).

Audige L, Hunter J, Weinberg A, Magidson J und Slongo T: Development and Evaluation Process of a Pediatric Long-Bone Fracture Classification Proposal. *Eur J Trauma* 30, 248-254 (2004, b).

Beaty JH und Kasser JR, Eds.: *Rockwood and Wilkin's Fractures in Children*. Philadelphia, USA, Lippincott Williams and Wilkins, (2005).

Bernstein J, Adler LM, Blank JE, Dalsey RM, Williams GR und Iannotti JP: Evaluation of the Neer system of classification of proximal humeral fractures with computerized tomographic scans and plain radiographs. *J Bone Joint Surg Am* 78, 1371-1375 (1996).

Bhatia MS, Nigam VR, Bohra N und Malik SC: Attention deficit disorder with hyperactivity among paediatric outpatients. *J Child Psychol Psychiatry* 32, 297-306 (1991).

Braten M, Terjesen T und Rossvoll I: Torsional deformity after intramedullary nailing of femoral shaft fractures. Measurement of anteversion angles in 110 patients. *J Bone Joint Surg Br* 75, 799-803 (1993).

Brinker MR und O'Connor DP: The incidence of fractures and dislocations referred for orthopaedic services in a capitated population. *J Bone Joint Surg Am* 86-A, 290-297 (2004).

Brorson S, Bagger J, Sylvest A und Hrobjartsson A: Improved interobserver variation after training of doctors in the Neer system. A randomised trial. *J Bone Joint Surg Br* 84, 950-954 (2002, a).

Brorson S, Bagger J, Sylvest A und Hrobjartsson A: Low agreement among 24 doctors

using the Neer-classification; only moderate agreement on displacement, even between specialists. *Int Orthop* 26, 271-273 (2002, a).

Brown D und Fisher E: Femur fractures in infants and young children. *Am J Public Health* 94, 558-560 (2004).

Bruch H-P und Trentz O, Eds.: *Berchthold-Chirurgie*. München, Urban und Fischer Verlag. (2006).

Brudvik C und Hove LM: Childhood fractures in Bergen, Norway: identifying high-risk groups and activities. *J Pediatr Orthop* 23, 629-634 (2003).

Buckley SL, Gotschall C, Robertson W, Jr., Sturm P, Tosi L, Thomas M und Eichelberger M: The relationships of skeletal injuries with trauma score, injury severity score, length of hospital stay, hospital charges, and mortality in children admitted to a regional pediatric trauma center. *J Pediatr Orthop* 14, 449-453 (1994).

Buess E und Kaelin A: One hundred pediatric femoral fractures: epidemiology, treatment attitudes, and early complications. *J Pediatr Orthop B* 7, 186-192 (1998).

Buitelaar JK, Barton J, Danckaerts M, Friedrichs E, Gillberg C, Hazell PL, Hellemans H, Johnson M, Kalverdijk LJ, Masi G, Michelson D, Revol O, Sebastian JS, Zhang S und Zuddas A: A comparison of North American versus non-North American ADHD study populations. *Eur Child Adolesc Psychiatry* 15, 177-181 (2006).

Carty H: Children's sports injuries. *Eur J Radiol* 26, 163-176 (1998).

Cheng JC und Shen WY: Limb fracture pattern in different pediatric age groups: a study of 3,350 children. *J Orthop Trauma* 7, 15-22 (1993).

Cohen J: A Coefficient of Agreement for Nominal Scales. *Educational and Psychological Measurement* 20, 37-46 (1960).

Cummins RJ: Distal tibial and fibular fractures. *Rockwood and Wilkins' Fractures in children*. Beaty, JH und Kasser, JR. Philadelphia, USA, Lippincott Williams and Wilkins (2001).

Davids JR: Rotational deformity and remodeling after fracture of the femur in children. *Clin Orthop Relat Res*, 27-35 (1994).

Debrunner HU: *Orthopädisches Diagnostikum*, 4. Aufl.; Stuttgart (1982)

de Coulon G, Ceroni D, de Rosa V, Pazos JM und Kaelin A: Nonoperative treatment of displaced supracondylar fractures in children: Rigault type 2 fractures. *Acta Orthop* 76,

858-861 (2005).

Delasobera BE, Place R, Howell J und Davis JE: Serious Infectious Complications Related to Extremity Cast/Splint Placement in Children. *J Emerg Med* (2010).

Do TT, Strub WM, Foad SL, Mehlman CT und Crawford AH: Reduction versus remodeling in pediatric distal forearm fractures: a preliminary cost analysis. *J Pediatr Orthop B* 12, 109-115 (2003).

Firl M und Wunsch L: Measurement of bowing of the radius. *J Bone Joint Surg Br* 86, 1047-1049 (2004).

Flinkkilä T, Nikkola-Sihto A, Kaarela O, Paakko E und Raatikainen T: Poor interobserver reliability of AO classification of fractures of the distal radius. Additional computed tomography is of minor value. *J Bone Joint Surg (Br)* 80, 670-672 (1998).

Gartland JJ: Supracondylar Fractures of the Humerus. *Med Trial Tech Q* 10, 37-46 (1963).

Goswami GK: The fat pad sign. *Radiology* 222, 419-420 (2002).

Gustilo RB und Anderson JT: Prevention of infection in the treatment of one thousand and twenty-five open fractures of long bones: retrospective and prospective analyses. *J Bone Joint Surg Am* 58, 453-458 (1976).

Gustilo RB, Mendoza RM und Williams DN: Problems in the management of type III (severe) open fractures: a new classification of type III open fractures. *J Trauma* 24, 742-746 (1984).

Hassan I und Dorani BJ: Sports related fractures in children in north east England. *Emerg Med J* 18, 167-171 (2001).

Houshian S und Bajaj SK: Forearm fractures in children. Single bone fixation with elastic stable intramedullary nailing in 20 cases. *Injury* 36, 1421-1426 (2005).

Illarramendi A, Gonzalez Della Valle A, Segal E, De Carli P, Maignon G und Gallucci G: Evaluation of simplified Frykman and AO classifications of fractures of the distal radius. Assessment of interobserver and intraobserver agreement. *Int Orthop* 22, 111-115 (1998).

Johnstone EW und Foster BK: The biologic aspects of children's fractures, in: Rockwood and Wilkins' *Fractures in Children*. Beaty, JH und Kasser, JR. Philadelphia, Lippincott Williams and Wilkins. 5: 35ff (2001).

Jonasch E und Bertel E: [Injuries in children up to 14 years of age. Medico-statistical

study of over 263,166 injured children]. *Hefte Unfallheilkd* 150, 1-146 (1981).

Jones IE, Williams SM, Dow N und Goulding A: How many children remain fracture-free during growth? A longitudinal study of children and adolescents participating in the Dunedin Multidisciplinary Health and Development Study. *Osteoporos Int* 13, 990-995 (2002).

Jubel A, Andermahr J, Isenberg J, Schiffer G, Prokop A und Rehm KE: [Experience with elastic stable intramedullary nailing (ESIN) of shaft fractures in children]. *Orthopade* 33, 928-935 (2004).

Judet J, Judet R und Lefranc J: [Fracture of the radial head in the child.]. *Ann Chir* 16, 1377-1385 (1962).

Junqueira LC, Carneiro J und Schiebler TH: *Histologie*. Berlin, Heidelberg Springer (1996).

Kahl H, Dortschy R und Ellsasser G: [Injuries among children and adolescents (1-17 years) and implementation of safety measures. Results of the nationwide German Health Interview and Examination Survey for Children and Adolescents (KiGGS)]. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz* 50, 718-727 (2007).

Kaiser MM, Barthel M, Outzen S und Halsband H: Inline-Skating-Verletzungen im Kindes- und Jugendalter. *Zentralblatt für Kinderchirurgie* 10, 96-100 (2001).

Kaiser MM, Kamphaus A, Massalme E und Wessel LM: Gekreuzte Kirschner-Draht-Osteosynthese der supracondylären Humerusfraktur bei Kindern. *Oper Orthop Traumatol* 20, 297-309 (2008).

Kasser JR und Beaty JH: Supracondylar fractures of the distal humerus, in: Roockwood an Wilkins´ fractures in children. Beaty, JH und Kasser, JR. Philadelphia, USA, Lippincot Williams and Wilkins 517-624 (2001).

Koch GG, Landis JR, Freeman JL, Freeman DH, Jr. und Lehnen RC: A general methodology for the analysis of experiments with repeated measurement of categorical data. *Biometrics* 33, 133-158 (1977).

Kopjar B und Wickizer TM: Fractures among children: incidence and impact on daily activities. *Inj Prev* 4, 194-197 (1998).

Kraus R, Heiss C, Alt V und Schnettler R: [School accidents—an epidemiological assessment of injury types and treatment effort]. *Zentralbl Chir* 131, 411-416 (2006).

Kraus R, Schiefer U, Schafer C, Meyer C und Schnettler R: Elastic stable intramedullary nailing in pediatric femur and lower leg shaft fractures: intraoperative radiation load. *J Pediatr Orthop* 28, 14-16 (2008).

Kraus R, Röder, Ch.: Häufigkeiten von Frakturen der langen Röhrenknochen im Wachstumsalter. Deutsches Ärzteblatt 102, 838-842 (2005).

Kreder HJ, Hanel DP, McKee M, Jupiter J, McGillivray G und Swiontkowski MF: Consistency of AO fracture classification for the distal radius. J Bone Joint Surg Br 78, 726-731 (1996).

Kristiansen B, Andersen UL, Olsen CA und Varmarken JE: The Neer classification of fractures of the proximal humerus. An assessment of interobserver variation. Skeletal Radiol 17, 420-422 (1988).

Laer von L: Frakturen und Luxationen im Wachstumsalter. Stuttgart, New York, Georg Thieme Verlag (2001).

Laer von L, Kraus R und Linhart WE: Frakturen und Luxationen im Wachstumsalter. Stuttgart, New York, Georg Thieme Verlag (2007).

Laer von L, Dallek M, Dietz HG : Classification and Documentation of children's fractures. Eur J Trauma 2000 2000, 2-14 (2000).

Landin LA: Fracture patterns in children. Analysis of 8,682 fractures with special reference to incidence, etiology and secular changes in a Swedish urban population 1950-1979. Acta Orthop Scand Suppl 202, 1-109 (1983).

Landin LA: Epidemiology of children's fractures. J Pediatr Orthop B 6, 79-83 (1997).

Lascombes P, Prevot J, Ligier JN, Metaizeau JP und Poncelet T: Elastic stable intramedullary nailing in forearm shaft fractures in children: 85 cases. J Pediatr Orthop 10, 167-171 (1990).

Laurer H, Sander A, Wutzler S, Walcher F und Marzi I: [Therapy principles of distal fractures of the forearm in childhood.]. Chirurg (2009).

Linhart WE: „www.li-la.org.“ Download: 26.05.2009, (2009).

Lyons RA, Delahunty AM, Heaven M, McCabe M, Allen H und Nash P: Incidence of childhood fractures in affluent and deprived areas: population based study. BMJ 320, 149 (2000).

Lyons RA, Delahunty AM, Kraus D, Heaven M, McCabe M, Allen H und Nash P: Children's fractures: a population based study. Inj Prev 5, 129-132 (1999).

Lyons RA, Sellstrom E, Delahunty AM, Loeb M und Varilo S: Incidence and cause of

fractures in European districts. Arch Dis Child 82, 452-455 (2000).

Lyons TJ und Oates RK: Falling out of bed: a relatively benign occurrence. Pediatrics 92, 125-127 (1993).

Mann D, Schnabel M, Baacke M und Gotzen L: [Results of elastic stable intramedullary nailing (ESIN) in forearm fractures in childhood]. Unfallchirurg 106, 102-109 (2003).

Martin JS und Marsh JL: Current classification of fractures. Rationale and utility. Radiol Clin North Am 35, 491-506 (1997).

Marzi IH, Audigé L, Bühren V und Castellani C: Kindertraumatologie. Darmstadt, Steinkopff (2006).

McDonah MR: Trauma risks and prevention strategies for snowboarders. J Am Acad Nurse Pract 12, 517-521 (2000).

McKibbin B: The biology of fracture healing in long bones. J Bone Joint Surg Br 60-B, 150-162 (1978).

Ministerium für Soziales GuV: Bericht über die Untersuchung des Kinder- und Jugendärztlichen Dienstes in Schleswig-Holstein im Jahr 2004 Kiel, Eigenverlag (2005).

Mommsen U, Holzrichter D und Schumpelick V: Chirurgie. Schumpelick, V, Bleese, N und Mommsen, U. Stuttgart, New York, Thieme. 6: 755 ff (2000).

Mortensson W und Thonell S: Left-side dominance of upper extremity fracture in children. Acta Orthop Scand 62, 154-155 (1991).

Müller: „AO Classification of Fractures.“ AO Publishing 1, 1-7 DOI: (2006).

Müller ME, Nazarian S und Koch P: Classification AO des fractures: les os longs. Berlin, Heidelberg, New York, Springer (1987).

Newey ML, Ricketts D und Roberts L: The AO classification of long bone fractures: an early study of its use in clinical practice. Injury 24, 309-312 (1993).

Oestern H-J, Henne-Bruns D, Kremer B und Dürig M.: Traumatologie. Duale Reihe- Chirurgie. Stuttgart, Thieme Verlag. 3: 731-775 (2008).

Oestern HJ, Tscherne H, Sturm J und Nerlich M: [Classification of the severity of injury]. Unfallchirurg 88, 465-472 (1985).

Olsson C, Nordquist A und Petersson CJ: Long-term outcome of a proximal humerus fracture predicted after 1 year: a 13-year prospective population-based follow-up study of 47 patients. *Acta Orthop* 76, 397-402 (2005).

Oskam J, Kingma J und Klasen HJ: Interrater reliability for the basic categories of the AO/ASIF's system as a frame of reference for classifying distal radial fractures. *Percept Mot Skills* 92, 589-594 (2001).

Peterson HA: Physeal injuries and growth arrest. In: Rockwood and Wilkins' Fractures in children. Beaty, JH und Kasser, JR. Philadelphia, USA, Lippincott Williams and Wilkins (2001).

Platz A und Trentz O: Frakturen mit Weichteilschaden Unfallchirurgie. Rüter, A, Trentz, O und Wagner, M. München, Urban und Fischer. 4: 191-194 (2004).

Pretzsch M, Scholz R und Matzen P: Sportverletzungen bei Kindern. *Klinische Sportmedizin* 5, 35-38 (2004).

Price CT und Menico GA: Injuries to the shaft of the radius and the ulna. In: Rockwood and Wilkins' Fractures in children. Beaty, JH und Kasser, JR. Philadelphia, Lippincott Williams and Wilkins. 5: 443 ff (2001).

Rang M, Pring ME und Wenger DR: Rang's Children's Fractures. Philadelphia, USA, Lippincott Williams and Wilkins (2005).

Rauch F: Die Entwicklung des Skelettsystems im Kindes- und Jugendalter. *Kinder- und Jugendmedizin* 8, 335-342 (2008).

Reinberg O, Reinberg A und Mechkouri M: 24-hour, weekly, and annual patterns in traumatic and non-traumatic surgical pediatric emergencies. *Chronobiol Int* 22, 353-381 (2005).

Reinberg O, Reinberg A, Tehard B und Mechkouri M: Accidents in children do not happen at random: predictable time-of-day incidence of childhood trauma. *Chronobiol Int* 19, 615-631 (2002).

Rivara FP, Bergman AB, LoGerfo JP und Weiss NS: Epidemiology of childhood injuries. II. Sex differences in injury rates. *Am J Dis Child* 136, 502-506 (1982).

Rockwood CA, Wilkins KA und Beaty JH, Eds.: Rockwood and Wilkin's Fractures in Children. Philadelphia. (2005).

Rowe R, Maughan B und Goodman R: Childhood psychiatric disorder and unintentional injury: findings from a national cohort study. *J Pediatr Psychol* 29, 119-130 (2004).

Salter R und Harris W: Injuries involving the epiphyseal plate. *J Bone Joint Surg Am* 45, 587-622 (1963).

Salter RB: Injuries of the epiphyseal plate. *Instr Course Lect* 41, 351-359 (1992).

Sattler, JB: *Der umgeschulte Linkshänder oder Der Knoten im Gehirn*. Donauwörth, Auer Verlags Gmbh(2005).

Schieber RA, Branche-Dorsey CM, Ryan GW, Rutherford GW, Jr., Stevens JA und O'Neil J: Risk factors for injuries from in-line skating and the effectiveness of safety gear. *N Engl J Med* 335, 1630-1635 (1996).

Schlack R, Holling H, Kurth BM und Huss M: The prevalence of attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD) among children and adolescents in Germany. Initial results from the German Health Interview and Examination Survey for Children and Adolescents (KiGGS) in *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz* 50, 827-835 (2007).

Schmittenebecher PP: What must we respect in articular fractures in childhood? *Injury* 36 Suppl 1, A35-43 (2005).

Slongo T, Audige L, Clavert JM, Lutz N, Frick S und Hunter J: The AO comprehensive classification of pediatric long-bone fractures: a web-based multicenter agreement study. *J Pediatr Orthop* 27, 171-180 (2007).

Slongo T, Audige L, Schlickei W, Clavert JM und 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* 26, 43-49 (2006).

Strassburg H-M: Leitlinie Unfallprävention „www.dgspj.de“, Download: 07.05.2010 (2008)

Vinz H und Neu J: Arzthaftpflichtverfahren nach Frakturbehandlung bei Kindern. *Deutsches Ärzteblatt* 106, 491-498 (2009).

Weise K, Hirner, A und Weise, K: *Allgemeine Frakturenlehre, Physiologie und Pathophysiologie der Frakturheilung Chirurgie*. Stuttgart, Thieme Verlag. 2: 224-243 (2008).

Weiß C: *Basiswissen medizinische Statistik Heidelberg Springer Medizin Verlag* (2005).

Wessel LM, Gunter SM, Jablonski M, Sinnig M und Weinberg AM: [Predicting growth patterns after supracondylar fracture of the humerus in childhood]. *Orthopade* 32, 824-832

(2003).

Wilkins K und Aroojis A: The present status of children's fractures. Rockwood and Wilkin's Fractures in Children. Beaty, JH und Kasser, JR. Philadelphia. 6: 4-18 (2005).

Wong PC: Epidemiology of fractures of bones of the forearm in a mixed South East Asian community, Singapore. A preliminary study. Acta Orthop Scand 36, 153-167 (1965).

Wong PC: Fracture epidemiology in a mixed southeastern Asian community (Singapore). Clin Orthop Relat Res 45, 55-61 (1966).

Worlock P und Stower M: Fracture patterns in Nottingham children. J Pediatr Orthop 6, 656-660 (1986).

# Abbildungsverzeichnis

1	Aufbau eines Röhrenknochen . . . . .	2
2	Darstellung des physiologischen Fugenschlusses . . . . .	2
3	Wachstumsanteil der einzelnen Epiphysenfugen am Längenwachstum . . . . .	3
4	Wulstfraktur: Schemazeichnung und Röntgenbild . . . . .	4
5	Grünholzfraktur: Schemazeichnung und Röntgenbild . . . . .	5
6	Epiphysenfrakturen/-lösungen, Einteilung nach Salter/Harris . . . . .	6
7	Triplane Fraktur . . . . .	7
8	Beispiel einer schwierig zu interpretierenden distalen Unterarmfraktur . . . . .	8
9	„Cuff- and Collar“ bei supracondylärer Humerusfraktur . . . . .	13
10	AO-Klassifikation für Frakturen der langen Röhrenknochen bei Erwachsenen	18
11	Schema des AO-Klassifikationscodes . . . . .	19
12	Definition der Metaphyse . . . . .	20
13	Frakturbeispiele mit Klassifikation . . . . .	21
14	Schema der Zusammensetzung der LiLa-Klassifikation kindlicher Frakturen .	26
15	Darstellung der Metaphyse nach Definition der LiLa-Klassifikation . . . . .	27
16	Einteilung der epiphysären Frakturen nach der LiLa-Klassifikation . . . . .	27
17	Einteilung der Schaftfrakturen nach der LiLa-Klassifikation . . . . .	28
18	Beispiele für die Anwendung der Klassifikationen . . . . .	29
19	Verteilung der Frakturhäufigkeit . . . . .	36
20	Verteilung der Frakturhäufigkeit nach Lokalisation und Unfallmonat . . . . .	37
21	Unfallorte im Vergleich zwischen Schul- und Kleinkindern . . . . .	38
22	Frakturlokalisierung . . . . .	39
23	Primärtherapie . . . . .	43
24	Häufigkeit distaler Unterarmfrakturen im Jahresverlauf . . . . .	45
25	Übersichtsdarstellung der Interobserverübereinstimmung für alle Stellen der LiLa-Klassifikation . . . . .	51
26	Darstellung der unterschiedlichen Konstruktion des metaphysären Quadrates nach AO- bzw. LiLa-Klassifikation . . . . .	64

## Tabellenverzeichnis

1	Einteilung der geschlossenen Frakturen nach Tscherne und Oestern . . . . .	10
2	Einteilung der offenen Frakturen nach Anderson und Gustilo . . . . .	10
3	Interpretation des Kappa-Koeffizient nach Cohen . . . . .	33
4	Darstellung der Frakturlokalisationen . . . . .	39
5	Ausmaß der Dislocatio ad latus . . . . .	40
6	Relative Häufigkeiten bei „ad axim“ Dislokation . . . . .	41
7	Häufigkeit und Ausmaß der „ad axim“ Dislokation . . . . .	41
8	Kappawerte der Übereinstimmung an dritter Stelle der Klassifikation . . . . .	49
9	Kappakoeffizienten der paarweisen Übereinstimmung zwischen den Bewertern an vierter Stelle der Klassifikation . . . . .	50
10	Kappakoeffizienten der paarweisen Übereinstimmung an der fünften Stelle der Klassifikation . . . . .	51
11	Kappakoeffizienten der paarweisen Übereinstimmung nach Modifikation an 5. Stelle der Klassifikation . . . . .	51

## 7 Danksagung

Ich danke allen, die zur Fertigstellung dieser Arbeit beigetragen haben. Im Einzelnen möchte ich Herrn Prof. Dr. med. L. Wessel für die Vergabe dieser Arbeit und die Betreuung bis zu seinem Wechsel nach Mannheim danken. Herrn PD Dr. med. M. M. Kaiser danke ich für die Betreuung der Arbeit und die Übernahme der Funktion als Doktorvater. Mein Dank gilt dabei insbesondere der Anleitung zum selbständigen wissenschaftlichen und klinischen Arbeiten und seinem festen Glauben an eine erfolgreiche Fertigstellung dieser Arbeit, mit denen er meinen Zweifeln stets begegnete.

Danken möchte ich auch Herrn PD Dr. med. L. Wünsch, der mich als Berufsanfängerin eingestellt hat und mir so die Möglichkeit gab, dem theoretischen Wissen praktische Erfahrungen hinzufügen zu können.

Ganz besonderer Dank gilt den beiden Chefsekretärinnen Frau Lange und Frau Graumann, die mir, ebenso wie Frau Abel und Frau Bach in der Poliklinik, die ein oder andere Tür öffneten. Die netten Gespräche und die unglaublich nützlichen kleinen Ratschläge bei größeren und kleineren Problemchen waren von unschätzbarem Wert. Herrn Dr. med. M. Buchholz danke ich für die Bereitschaft zur Teilnahme an der Studie und die Durchsicht und Klassifikation der Röntgenbilder. Auch meinen Kollegen in der Kinderchirurgie, von deren Erfahrungen ich nicht nur in der täglichen klinischen Arbeit sondern auch beim Verfassen der Doktorarbeit profitieren durfte, möchte ich vielmals danken. Ich schätze mich sehr glücklich, Teil eines so netten und freundschaftlichen Teams sein zu dürfen.

Besonders herzlich möchte ich meinen Eltern danken, die mich stets bestmöglich unterstützt und motiviert haben. Meinen Freunden danke ich für ihr Verständnis und die nötige Ablenkung und Erholung. Meinen Brüdern und meinem Freund möchte ich ebenso danken, da sie mich in besonderer Weise bei Stimmungsschwankungen ertragen, bei Computerproblemen unterstützt und manchmal auch angeschubst haben.

## 8 Lebenslauf

### **Anna Maria Christina Kamphaus**

geboren am 17. Februar 1983 in Lohne

Eltern: Antonius Kamphaus (Studiendirektor, Dipl. Kaufmann)  
Bernadette Kamphaus (pharmaz. techn. Assistentin, Landwirtin)  
Familienstand: ledig  
Nationalität: deutsch  
Religion: römisch-katholisch

#### **Schulbildung**

1989 - 1993 Ketteler-Grundschule in Lohne  
1993 - 2002 Liebfrauenschule Vechta, Abschluss mit der allgemeinen Hochschulreife (Note 1,6) und Auszeichnung für besondere Leistungen im Fach Physik

#### **Hochschulausbildung**

Oktober 2002 Beginn des Studiums der Humanmedizin an der Universität zu Lübeck  
August 2004 Ärztliche Vorprüfung (Physikum) an der Universität zu Lübeck mit der Note „befriedigend“  
Oktober 2008 Zweite ärztliche Prüfung nach neuer ÄAppO an der Universität zu Lübeck mit der Note „gut“ und Erlangung der Approbation

#### **Beruflicher Werdegang**

Seit März 2009 Assistenzärztin in der Kinderchirurgie, UKSH, Campus Lübeck

**zeitlicher Rahmen der Dissertation**

Oktober 2005	Annahme als Doktorandin und Beginn des Erhebungszeitraum
Ende 2007	Abschluss der Datenerfassung, Durchführung der Klassifikation der Röntgenbilder
Ende 2009	Fertigstellung der statistischen Auswertung
2009 bis Juli 2011	schriftliche Auswertung und Abgabe der Arbeit

**wissenschaftliche Publikationen**

März 2008	Ergebnisse dieser Arbeit wurden in dem Fachjournal "Operative Orthopädie und Traumatologie" unter dem Titel „Gekreuzte Kirschner-Draht-Osteosynthese der suprakondylären Humerusfraktur bei Kindern“ veröffentlicht.  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)
-----------	--

# 9 Anhang

## 9.1 Einverständniserklärung



UNIVERSITÄTSKLINIKUM  
Schleswig-Holstein

Campus Lübeck  
Klinik für Kinderchirurgie  
Prof. Dr. med. L. Wessel

### 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
- 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 der Klinik für Kinderchirurgie, UK S-H, Campus Lübeck, oder Herrn Dr. med. M. Kaiser, Oberarzt der Klinik für Kinderchirurgie, UK S-H, Campus Lübeck 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, E-Mail: [Ralf.Kraus@chiru-med.uni-giessen.de](mailto:Ralf.Kraus@chiru-med.uni-giessen.de)).

Ort, Datum	Unterschrift Patient / gesetzl. Vertreter
Ort, Datum	evtl. Unterschrift Zeuge / Übersetzer
<b>Zusatzklärung zur Weitergabe persönlicher, nicht anonymisierter Daten</b> Ich bin ausdrücklich damit 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 des Prüfarztes / behandelnden Arztes

**Kopie bitte dem Patienten, bzw. seinen Eltern aushändigen!**

## 9.2 Informationsblatt zum Datenschutz

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](http://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

### 9.3 Primärbogen



**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	Geburtsdatum (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)     4. Meta- u. Diaphyse: Trümmerfraktur  
 2. Meta- u. Diaphyse: Stauchungs- (Wulst-) u. Grünholzfraktur     5. andere  
 3. Meta- u. Diaphyse: Komplette Fraktur: Quer-/ Schräg-/ TorsionsFx

*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)     4. Triplane-Fraktur (Übergangsfaktur)  
 2. Epiphysäre Fraktur mit metaphysärem Keil (Salter IV)     5. andere  
 3. Twoplane-Fraktur (Übergangsfaktur)

**Ausnahmen!**

**A. artikuläre Frakturen des distalen Humerus**

1. Condylus radialis humeri     4. (unbeflegt)  
 2. Y - Fraktur     5. andere  
 3. Condylus ulnaris Fraktur

**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

**Frakturcode** z.B. komplette, nicht dislozierte Oberschenkelchaftfraktur 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**

**Antekurvatur**        **Rekurvatur**

**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 Röntgen nicht dargestellt)     partiell geschlossen  
 offen     vollständig geschlossen



**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:

<b>SPEZIFIKATION DISLOKATION II</b>	Varusfehlstellung (?) <input type="checkbox"/>	Valgusfehlstellung (?) <input type="checkbox"/>
	Antekurvation (?) <input type="checkbox"/>	Rekurvation (?) <input type="checkbox"/>
	Ad latus Verschiebung <input type="checkbox"/> > keine <input type="checkbox"/> > um Kortikalisbreite, weniger als 1/3 d. Knochendurchmessers	<input type="checkbox"/> > um mehr als die Hälfte <input type="checkbox"/> > um weniger als die Hälfte <input type="checkbox"/> > um die vollständige Knochenbreite
	Drehfehler Tibia <input type="checkbox"/> > vorhanden <input type="checkbox"/> > 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

**Therapieentscheidung**  > 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 .....

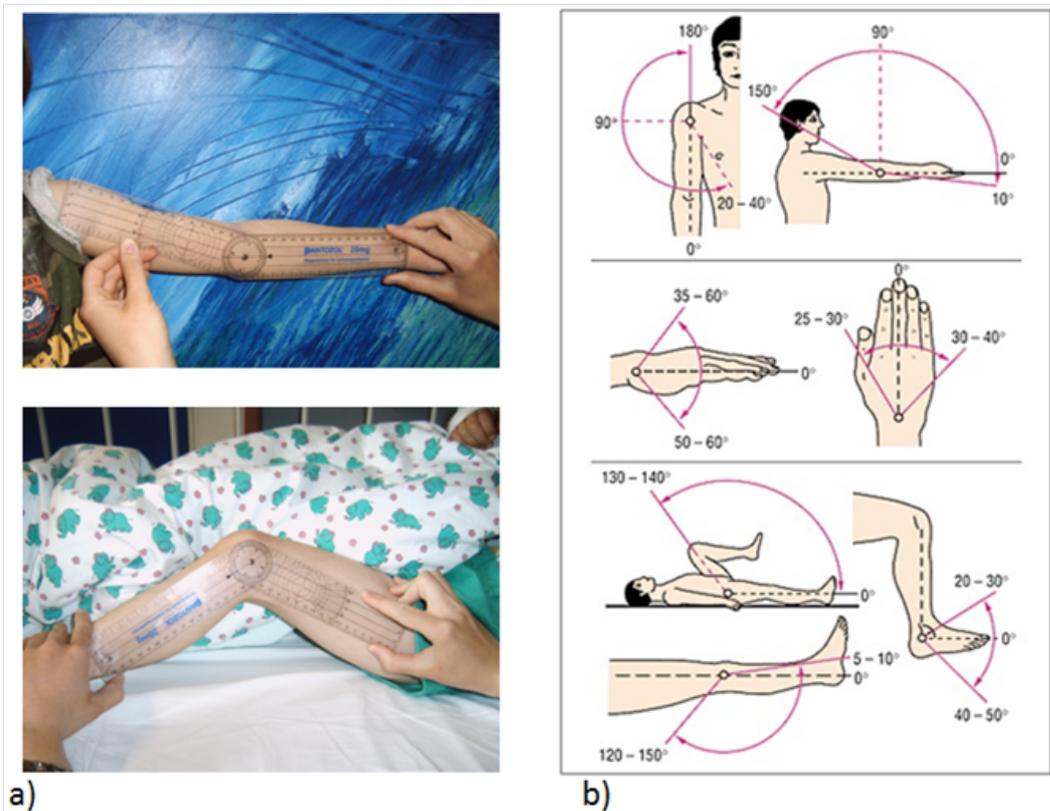
**Fehlstellung nach Therapie (nur wenn Rx)**  > wie zuvor  > verändert  > nicht kontrolliert  > beseitigt





## 9.5 Neutral-Null-Methode

Nach der Neutral-Null-Methode kann das Bewegungsausmaß eines jeden Gelenkes von der Neutralstellung aus gemessen werden. Die Angabe erfolgte mittels dreier Gradangaben, und zwar jeweils die größtmögliche Bewegung von der Neutralstellung aus, dabei steht die Neutralstellung (als  $0^\circ$  definiert) in der Mitte.



Messung des Bewegungsausmaßes a) in der praktischen Anwendung am Ellbogengelenk und Kniegelenk eines unserer Patienten b) Beispiele für normale Bewegungsausmaße an verschiedenen Gelenken (aus: H. U. Debrunner: Orthopädisches Diagnostikum, 4. Aufl.; Stuttgart 1982)

## 9.6 Beinlängenmessung

Die Messung der Beinlänge erfolgte mittels eines Maßbandes. Sie addiert sich aus der Strecke von der Spina iliaca ant. sup. bis zum lateralen Kniegelenkspalt (für den Oberschenkel) und vom lateralen Kniegelenkspalt bis zum Malleolus lateralis (für den Unterschenkel). Eine Bewertung der Beinlänge geschah dabei jeweils im Seitenvergleich und im Vergleich zum Vorbefund (falls gegeben). Eine andere Methode zur Bestimmung einer Beinlängendifferenz ist die Betrachtung der Beckenkämme von dorsal. Bei Beckenschiefstand erfolgt ein Ausgleich des verkürzten Beines durch das Unterlegen von standardisierten 0,5 cm dicken Brettchen bis zum Beckengradstand. An der Anzahl der benötigten Brettchen lässt sich die Beinlängendifferenz ablesen.

## 9.7 Ethikantrag



# Universität zu Lübeck

Medizinische Fakultät - Der Vorsitzende der Ethikkommission

Dekanat der Medizinischen Fakultät der Universität zu Lübeck  
Ratzeburger Allee 160, D-23538 Lübeck

Herrn  
Dr. med. Kaiser  
Klinik für Kinderchirurgie

im Hause

nachrichtlich:  
Herrn Prof. Dr. Wessel  
Direktor der Klinik für Kinderchirurgie

Bearbeiter: Frau Erdmann  
Telefon: (0451) 500- 4639  
Fax: (0451) 500- 3026  
email: erdmann@zuv.uni-luebeck.de

Datum: 06.06.06  
Aktenzeichen:  
( immer angeben ! ) 06-060

**Sitzung der Ethik-Kommission am 30. Mai 2006**

**Antragsteller: Herr Dr. Kaiser / Herr Prof. Wessel**

**Titel: Prospektive Studie über eine neue Klassifizierung der Frakturen langer Röhrenknochen bei Kindern ("LiLa-Klassifikation"), Validierung der Klassifikation sowie Überprüfung der Effektivität der Behandlung und Zufriedenheit in der Nachsorge anhand der Klassifikation**

Sehr geehrter Herr Dr. Kaiser,

der Antrag wurde unter berufsethischen, medizinisch-wissenschaftlichen und berufsrechtlichen Gesichtspunkten geprüft.  
Die Kommission hat keine Bedenken.

Bei Änderung des Studiendesigns sollte der Antrag erneut vorgelegt werden. Über alle schwerwiegenden oder unerwarteten und unerwünschten Ereignisse, die während der Studie auftreten, muß die Kommission umgehend benachrichtigt werden.

Nach Abschluß des Projektes bitte ich um Übersendung eines knappen Schlussberichtes (unter Angabe unseres Aktenzeichens), aus dem der Erfolg/Misserfolg der Studie sowie Angaben darüber, ob die Studie abgebrochen oder geändert bzw. ob Regressansprüche geltend gemacht wurden, ersichtlich sind.

Die ärztliche und juristische Verantwortung des Leiters der klinischen Prüfung und der an der Prüfung teilnehmenden Ärzte bleibt entsprechend der Beratungsfunktion der Ethikkommission durch unsere Stellungnahme unberührt.

Mit freundlichem Gruß und den besten Wünschen für den weiteren Verlauf Ihrer Forschung bin ich

Ihr

Prof. Dr. med. Dr. phil. H. Raspe  
Vorsitzender

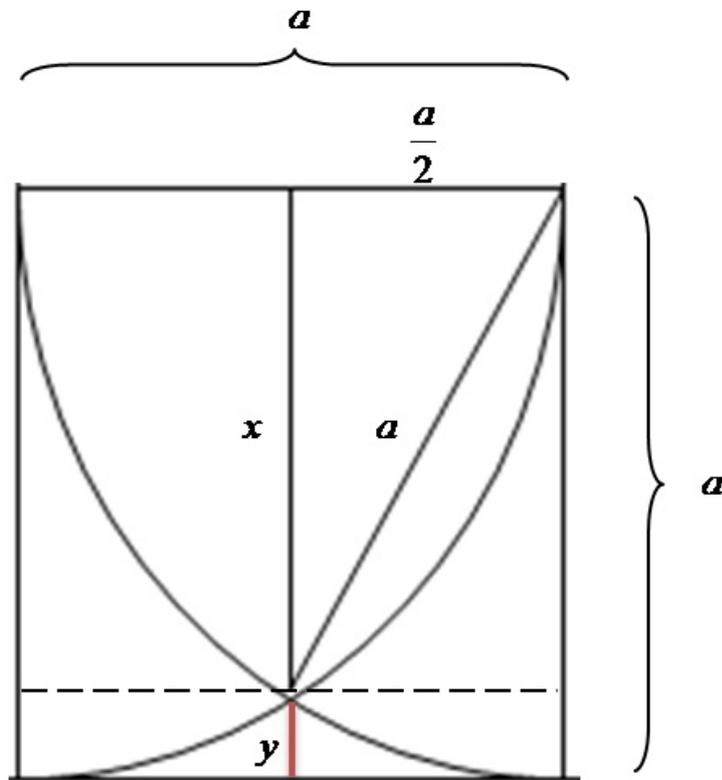
anwesende Kommissionsmitglieder: ☒

☒ Prof. Dr. Dr. H.-H. Raspe  
(Sozialmedizin, Vorsitzender der EK)  
Prof. Dr. F. Hohagen  
(Psychiatrie)  
☒ Prof. Dr. Dendorfer  
(Pharmakologie)

☒ Frau H. Müller  
(Pflege)  
Prof. Wessel  
(Kinderchirurgie, Stellv. Vorsitzender der EK)  
☒ Herr Dr. Fieber  
(Richter am Landgericht Lübeck)  
☒ Prof. Schwinger  
(Humangenetik)

Herr Prof. Dr. H. L. Fehm  
(Medizinische Klinik I)  
☒ Frau Prof. Dr. M. Schrader  
(Plastische Chirurgie)  
☒ Herr Dr. Schultz  
(Pädiatrie)  
☒ Herr D. Stojan  
(Präsident des Amtsgerichtes Lübeck)

## 9.8 Berechnung der Metaphysenverkürzung bei Konstruktion des Quadrates nach der LiLa-Klassifikationsdefinition



$$x^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2 = a^2$$

$$x^2 = a^2 - \left(\frac{a}{2}\right)^2$$

$$x = \sqrt{\frac{3}{4}a^2}$$

$$x = \frac{a}{2}\sqrt{3}$$

$$y = a - x$$

$$y = a - \frac{a}{2}\sqrt{3}$$

$$y = a \cdot \left(1 - \frac{\sqrt{3}}{2}\right)$$

oder

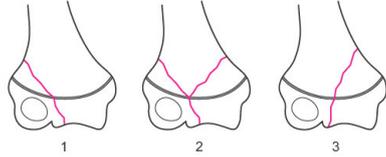
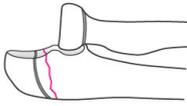
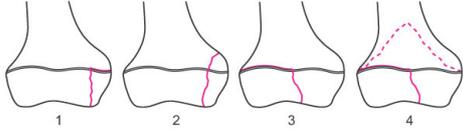
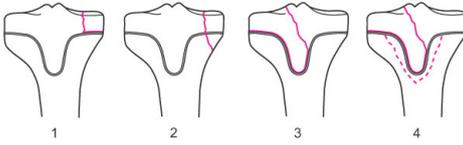
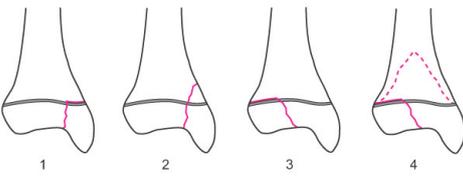
$$y = 0,13397 \cdot a$$

Mit dieser Berechnung wird deutlich, dass das gewünschte Quadrat bei der angegebenen Konstruktion um ca. 13,4 % zum Rechteck verkürzt wird.

## 9.9 LiLa - Klassifikation

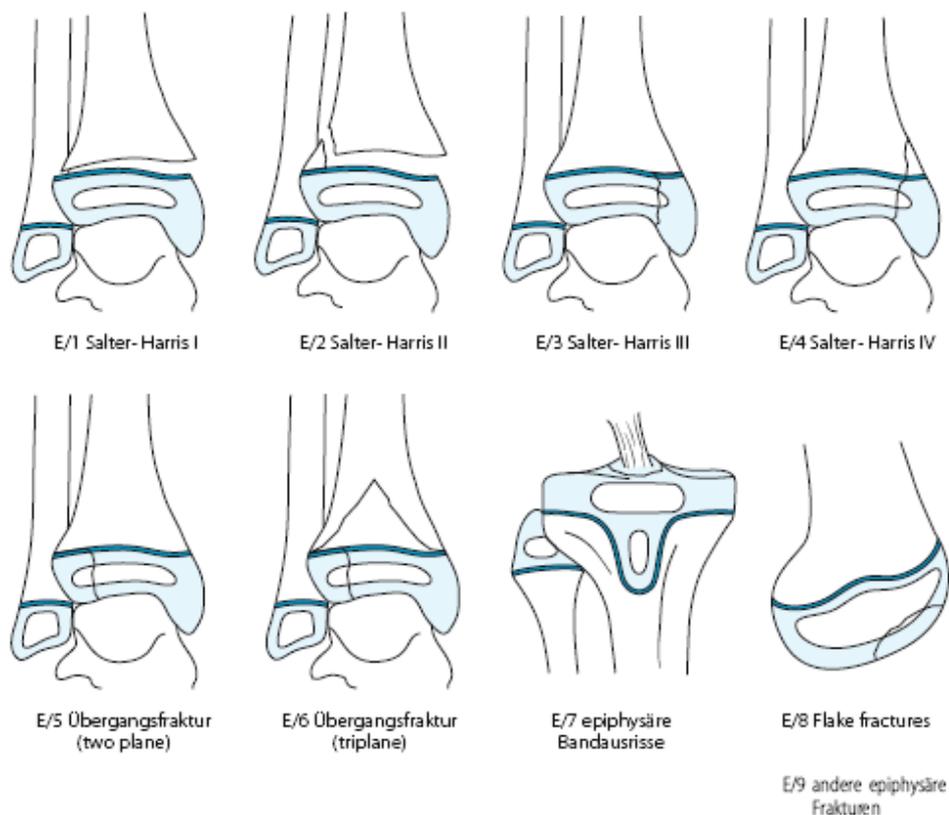
Schaft #	
<p>1.1-3.s.1-5.0-2.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Epiphysenlösung ohne und mit metaphysärem Keil (Salter I und II)</li> <li>2. metaphysäre Stauchungs- und metaphysäre Grünholz Fx/ diaphysäre Grünholzfrakturen</li> <li>3. Quer-, Schräg- und Torsions Fx</li> <li>4. Mehrfragment Fx</li> <li>5. andere</li> </ol>	
<p>2.1-3.s.1-5.0-2.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Epiphysenlösung ohne und mit metaphysärem Keil (Salter I und II)</li> <li>2. metaphysäre Stauchungs- und metaphysäre Grünholz Fx/ diaphysäre Grünholzfrakturen</li> <li>3. Quer-, Schräg- und Torsions Fx</li> <li>4. Mehrfragment Fx</li> <li>5. andere</li> </ol>	
<p>3.1-3.s.1-5.0-2.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Epiphysenlösung ohne und mit metaphysärem Keil (Salter I und II)</li> <li>2. metaphysäre Stauchungs- und metaphysäre Grünholz Fx/ diaphysäre Grünholzfrakturen</li> <li>3. Quer-, Schräg- und Torsions Fx</li> <li>4. Mehrfragment Fx</li> <li>5. andere</li> </ol>	
<p>4.1-3.s.1-5.0-2.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Epiphysenlösung ohne und mit metaphysärem Keil (Salter I und II)</li> <li>2. metaphysäre Stauchungs- und metaphysäre Grünholz Fx/ diaphysäre Grünholzfrakturen</li> <li>3. Quer-, Schräg- und Torsions Fx</li> <li>4. Mehrfragment Fx</li> <li>5. andere</li> </ol>	

Klassifikation der Schaftfrakturen nach der LiLa-Klassifikation (aus : MARZI et al. 2006)

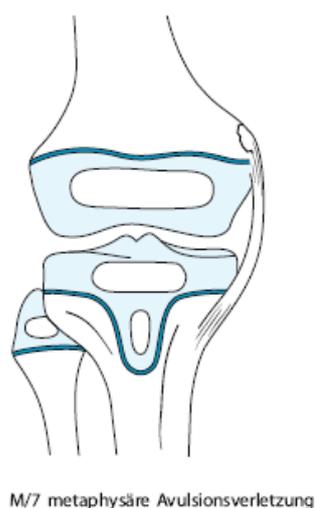
Gelenk #	
1.1.a.5.0-2.: andere <b>praktisch keine Gelenkfrakturen</b> , Flakes, Tuberkulumausrisse etc., werden unter andere (=5) subsumiert	<b>proximaler Humerus</b>
1.3.a.1-5.0-2. 1. Condylus radialis Fx 2. Y-Fx 3. Condylus ulnaris Fx 4. / (leer) 5. andere	
2.1.a.5.0-2.: andere <b>praktisch keine Gelenkfrakturen</b> , Übergangsfx, Meisel etc. beim Jugendlichen werden unter andere (=5) subsumiert	<b>proximaler Radius</b>
2.1.a.5.0-2.U: andere <b>kaum Gelenkfx</b> , artikuläre Olekranon Fx und Fx des Processus coronoideus werden unter andere (=5) subsumiert	
2.3.a.5.0-2.: andere <b>praktisch keine Gelenkfrakturen</b> , Übergangsfx etc. werden unter andere (=5) subsumiert	<b>distaler Radius</b>
3.1.a.5.0-2.: andere <b>praktisch keine Gelenkfrakturen</b> , Flakes etc. werden unter andere (=5) subsumiert	<b>proximales Femur</b>
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	

Klassifikation der Gelenkfrakturen nach der LiLa-Klassifikation (aus : MARZI et al. 2006)

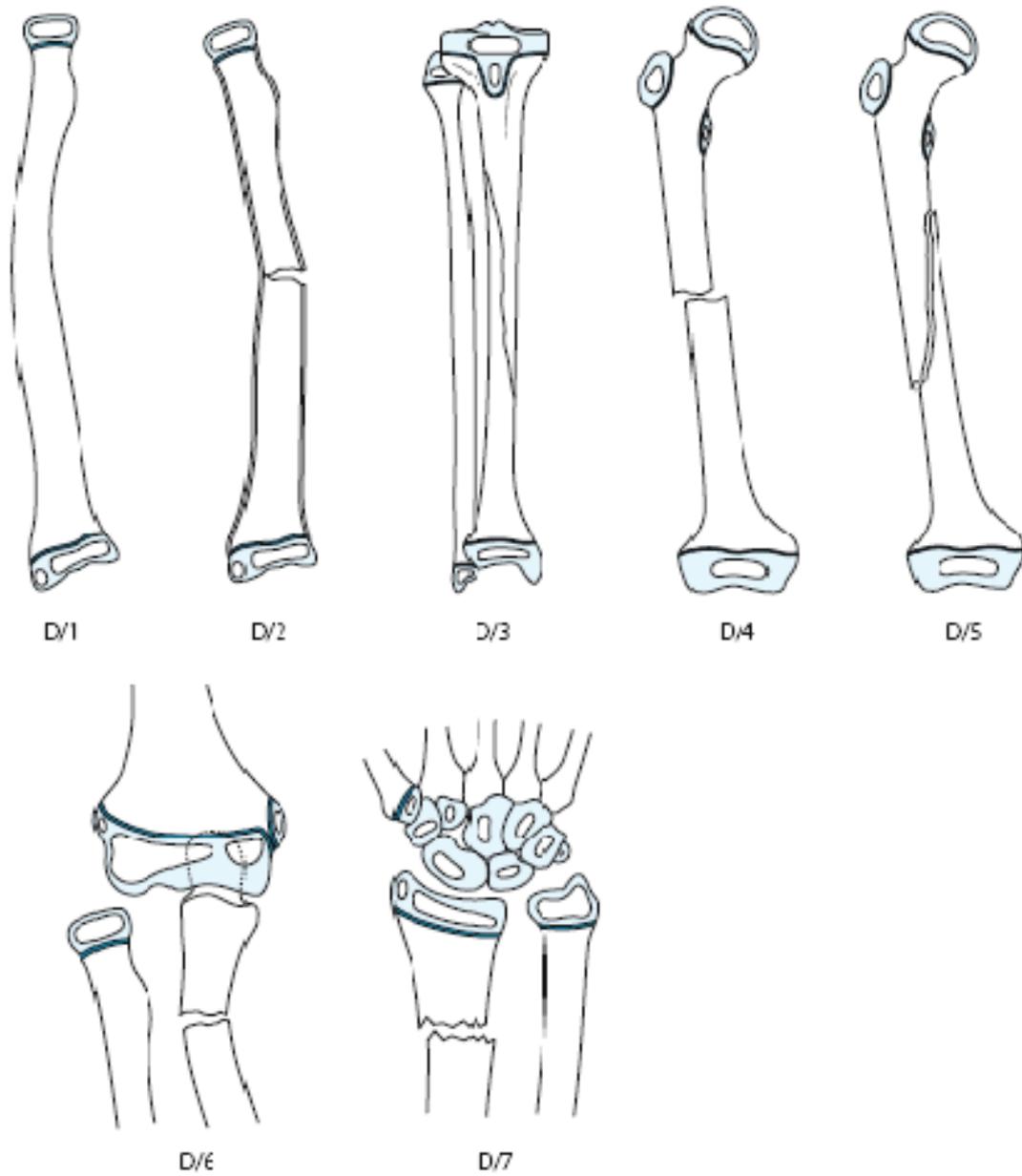
## 9.10 AO-Klassifikation für Kinder



Übersicht der Klassifikation epiphysärer Frakturen nach der AO Klassifikation (aus: MARZI et al 2006)



Definition der metaphysären Avulsionsverletzung nach der AO-Klassifikation (PCCF) (aus: MARZI et al 2006 )



Darstellung der Klassifikation der diaphysären Frakturen nach der AO Klassifikation, D 1-7;  
D/9 = andere diaphysäre Frakturen (aus: MARZI et al 2006)

## 9.11 Abkürzungsverzeichnis

AO	Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen
a.p.	anterior posteriorer Strahlengang im konventionellen Röntgen
bzw.	beziehungsweise
CD 1-5	Klassifikationsstelle 1-5
DICOM	Digital Imaging and Communications in Medicine,
d.h.	das heißt
etc.	et cetera
LiLa	gemeinnütziger Verein: „Licht und Lachen für kranke Kinder- Effizienz in der Medizin e. V.“
PCCF	AO Pediatric Comprehensive Classification of Long-Bone Fractures
u. a.	und andere
usw.	und so weiter
vgl.	vergleiche
z. B.	zum Beispiel