

Aus der Klinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie  
(Direktor: Prof. Dr. A. Seekamp)  
im Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Kiel  
an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

FRAKTUREN DER LANGEN RÖHRENKNOCHEN  
BEI KINDERN – ERHEBUNG  
EPIDEMIOLOGISCHER DATEN UND  
VERGLEICH VON VIER  
FRAKTURKLASSIFIKATIONEN

Inauguraldissertation  
zur  
Erlangung der Doktorwürde  
der medizinischen Fakultät  
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

vorgelegt von  
SANDRA KÖHNCKE, geb. Kuhfittig  
aus Itzehoe

Kiel 2011

1. Berichterstatter: Prof. Dr. Seekamp, Klinik für Unfallchirurgie  
(Traumatologie)

2. Berichterstatter: Prof. Dr. Heller, Klinik für Diagnostische  
Radiologie

Tag der mündlichen Prüfung: 27.08.2012

Zum Druck genehmigt Kiel, den 27.08.2012

gez.: Prof. Dr. Biederer  
(Vorsitzender der Prüfungskommission)

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2 Heutiger Wissensstand</b>	<b>3</b>
2.1 Anatomie des kindlichen Knochens	3
2.2 Biomechanische Unterschiede	5
2.3 Physiologische Unterschiede	6
2.4 Frakturformen	9
2.5 Unfallhergang	15
2.6 Frakturlokalisation	15
2.7 Behandlungsprinzipien	16
2.8 Die suprakondyläre Humerusfraktur	22
2.9 Klassifikationen	23
<b>3 Material und Methoden</b>	<b>26</b>
3.1 Aufbau der Dokumentation	27
3.2 Klassifikationen	28
3.3 Statistik	37
<b>4 Ergebnisse</b>	<b>38</b>
4.1 Alters- und Geschlechtsverteilung	38
4.2 Monatliche Frequenzen	41
4.3 Unfallhergang	42
4.4 Begleitverletzungen/ Vorerkrankungen	45
4.5 Refraktur/Pathologische Fraktur	46
4.6 Luxation	47
4.7 Status der Wachstumsfugen	47
4.8 Lokalisation	47
4.9 Frakturtypen	49
4.10 Therapie	51
4.11 Die suprakondyläre Humerusfraktur	52
4.12 Vergleich der einzelnen Klassifikationen	54
<b>5 Diskussion</b>	<b>57</b>
5.1 Alter- und Geschlechtsverteilung	57
5.2 Monatliche Frequenzen	58
5.3 Unfallhergang	59
5.4 Begleitverletzungen/ Vorerkrankungen	60
5.5 Lokalisation	61
5.6 Frakturtypen	62
5.7 Korrelation Unfallhergang/Frakturlokalisation	63
5.8 Therapie	63
5.9 Klassifikationen	65
<b>6 Zusammenfassung</b>	<b>67</b>
<b>Verzeichnis der Abbildungen</b>	
<b>Verzeichnis der Tabellen</b>	
<b>Literaturverzeichnis</b>	
<b>Lebenslauf</b>	

## 1 Einleitung

„Kinder sind keine kleinen Erwachsenen“. So fangen viele Artikel und Lehrbücher an, die sich mit Personen der betreffenden Altersgruppe beschäftigen. Dieser Anspruch gilt insbesondere für medizinisches Personal, welches sich mit der Traumatologie am wachsenden Skelett befasst. Im deutschsprachigen Raum ist die Behandlung dieser Patienten nicht einem bestimmten Fachgebiet zugeordnet, sondern es beteiligen sich Kinder- und Unfallchirurgen, Pädiater sowie Allgemeinchirurgen, Orthopäden und praktische Ärzte. Laut von Laer [63] werden 60% der Kinder von Ärztinnen und Ärzten sowie Therapeuten/-innen behandelt, die dafür nicht spezifisch aus- und weitergebildet worden sind.

Die Kenntnis der Epidemiologie der Frakturen im Wachstumsalter, also deren Häufigkeit, Altersverteilung und Unfallursache, ist Grundvoraussetzung beim Umgang mit dem unfallverletzten Kind ebenso wie das Wissen über das Knochenwachstum und das Verhalten der Komponenten des wachsenden Skeletts nach einem Trauma inklusive der Korrekturpotenz [57]. Viele Autoren [13] verlangen eine spezielle Ausbildung für Ärzte, die mit kindlichen Frakturen umgehen, da die Diagnostik und die Festlegung der besten Behandlung oft eine Herausforderung ist. Für alle Beteiligten, insbesondere für das verletzte Kind, stellen Unfälle eine besondere Stress-Situation dar [71]. Ärzte, die verletzte Kinder behandeln, müssen über fachliche und ethische Kompetenz, medizinisches Wissen sowie technisches Können verfügen und auf die individuelle Situation des Kindes eingehen. Die Behandlung von verletzten Kindern kann jedoch nicht nur in hochspezialisierten Zentren erfolgen, sondern muss flächendeckend geschehen [57].

Aussagen über den Unfallhergang, ggf. altersspezifisch, sind Voraussetzung für die Entwicklung effektiver Prävention. Die Helmpflicht beim Fahrradfahren für Kinder unter 12 Jahren in Deutschland ist eine Folge epidemiologischer Studien. Schweden hat die weltweit niedrigste Inzidenz bei Kinderunfällen. Dies beruht auf der schwedischen Gesellschaft, welche klein, relativ homogen, gesundheitsbewusst und gesetzestreu ist und Kinder schätzt sowie auf einer über mehrere Jahrzehnte dauernden Kampagne mit Unfallstudien, Unfallverhütungsforschung, sicherer Umgebung und Produkten, Gesetzen, Reglementierungen und Sicherheitslehre [15].

Anders als erwachsene Patienten, die auch aufwendigere Therapieformen in Kauf nehmen, gelegentlich sogar erwarten und verlangen, wollen Kinder und Jugendliche

schnellstmöglich mit dem geringsten Aufwand das beste funktionelle und kosmetisch günstigste Ergebnis erreichen. Sie sind also direkt an klinischer Effizienz interessiert. Die beunruhigten und verunsicherten Eltern verletzter Kinder stellen hohe Erwartungen an den behandelnden Arzt [71].

Um im Zeitalter evidenzbasierter Medizin Leitlinien für die Versorgung kindlicher Extremitätenfrakturen und Prognosen über mögliche Wachstumsstörungen und Entwicklung von Strategien zu deren Vermeidung aufstellen zu können, bedarf es großer Fallzahlen in multizentrischen Studien mit gezielten Fragestellungen und einer kindspezifischen Klassifikation zur Vergleichbarkeit. Erst seit kurzem stehen zwei kindspezifische Klassifikationen zur Verfügung, die AO-Klassifikation im Kindesalter und die LiLa-Klassifikation (Li-La – Licht und Lachen für Kinder in der Medizin – Effizienz in der Medizin e. V.). Umfassende und systematische Dokumentation ist unabdingbare Grundvoraussetzung jeglicher Qualitätssicherung [61, 63].

In dieser Arbeit wurden mithilfe eines internetbasierten Dokumentationsprogrammes die Frakturen der langen Röhrenknochen bei Kindern bis 16 Jahren im Jahre 2004 erfasst und einer Multicenterstudie aus dem Jahre 2003 gegenübergestellt. Im Rahmen einer klinikinternen Qualitätssicherungsstudie sollten verschiedene kinderspezifische Frakturklassifikationen anhand des eigenen Patientenkollektivs evaluiert, die Gruppe innerhalb einer Multicenterstudie ausgewertet und die Ergebnisse in einer Literaturrecherche verglichen werden.

Zum anderen erfolgt ein Vergleich der klinischen Anwendbarkeit der neuen kinderspezifischen Klassifikationen auch im Hinblick auf die Entscheidungsfindung des behandelnden Arztes zur patientengerechten Therapie.

## 2 Aktueller Wissensstand

Der kindliche Knochen weist im Vergleich zum erwachsenen Skelett anatomische, biomechanische und physiologische Besonderheiten auf [33].

### 2.1 Anatomie des kindlichen Knochens

Man unterscheidet drei Arten von Bindegewebe: fibröses Bindegewebe, Knorpel und Knochen. Bindegewebe besteht aus zwei Komponenten, den Zellen und der Matrix. Knochen ist ein hoch spezialisiertes Bindegewebe. Seine Härte resultiert aus der Einlagerung von anorganischem Material in die weiche organische Matrix. Die Matrix des Knochens besteht aus fibrillären kollagenösen Strukturen. Die mechanischen Eigenschaften wie Kompressionsfähigkeit, Rigidität und Elastizität resultieren aus der Anordnung dieser Fibrillen.

Anhand der Struktur der Kollagenfasern werden zwei Knochentypen unterschieden, Lamellen- und Geflechtknochen. Der kompakte Lamellenknochen zeichnet sich durch strukturierte Anordnung neuer Lagen aus. Der Mineralgehalt dieses Knochentyps ist höher und die Zellzahl niedriger. Die Kortikalis eines Knochens besteht aus Lamellenknochen. Geflechtknochen, aus irregulären Trabekeln bestehend, ist sehr zellreich und mineralärmer. Er enthält dicke Bündel irregulär angeordneter Kollagenfibrillen. Dieser Knochentyp findet sich beim wachsenden Kind, im primären Frakturkallus und beim Morbus Paget.

#### 2.1.1 Epiphyse und Epiphysenfuge (Physe)

Die langen Röhrenknochen des Kindes sind alle ähnlich aufgebaut und bestehen aus je einer proximalen und einer distalen Epiphyse und Metaphyse mit dazwischen liegender Wachstumsfuge. Die Verbindung dieser Teile bildet die Diaphyse.

Die Epiphyse ist primär rein kartilaginär und bildet dann sekundäre Ossifikationszentren (Knochenkerne) aus [45]. Sie formt den Knochen an seinen Enden und ist der Gelenkträger [71]. Die Knorpelzellen kalzifizieren und sterben. Der Knorpel wird durch Knochen ersetzt. Lediglich die oberflächliche Knorpelschicht verbleibt als Gelenkknorpel [33, 41].

Die Epiphysenfuge besteht aus einem epiphysären Anteil mit Proliferationspotenz und einem metaphysären Anteil ohne Proliferationspotenz. Aus klinisch funktioneller

Sicht genügt es, diese beiden Teile der Fuge zu unterscheiden [71]. Die enchondrale Ossifikation aus der germinativen Zone der Epiphysenfuge ist verantwortlich für die Länge des Knochens und die Breite der Epiphysenfuge. Störungen des Längenwachstums sind außerordentlich häufig und in irgendeiner Form mit unterschiedlichen Folgen nach jeder Fraktur im Wachstumsalter zu erwarten. Die Epiphysenfuge ist umgeben vom kräftigen Perichondrium, das am Dickenwachstum beteiligt ist.

### 2.1.2 Metaphyse

Die Metaphyse zeichnet sich durch die abnehmende Dicke der Kortikalis im Vergleich zur Diaphyse und ihren hohen spongiösen Knochenanteil aus. Sie ist trompetenförmig und breiter als die korrespondierende Diaphyse [45].

Besonders epiphysennah besteht eine hohe Dichte an mikroskopischen Fenestrationen, welche die Porosität erhöhen: Hier entstehen die Wulstfrakturen. Dickes Periost umgibt die Metaphyse, welches durch fibrovaskuläres Gewebe fest mit dem Knochen verwoben ist. Je näher an der Epiphyse, desto fester ist diese Verbindung. In der Metaphyse herrscht aktiver Stoffwechsel; Hier findet stets Remodeling statt [41, 45].

### 2.1.3 Diaphyse

Bei Geburt besteht ein Großteil der Diaphyse aus Geflechtknochen. Sie wächst appositionell durch das Periost. Durch endostales Remodeling werden sukzessive Markhöhle, Lamellenknochen und Spongiosa formiert (periost-endostales Regulationssystem). Hier findet das Dickenwachstum des Knochens statt. Störungen des Dickenwachstums im Kindesalter in Form partieller oder vollständiger Pseudarthrosen sind angesichts der guten Regenerationsfähigkeit des periost-endostalen Systems beim gesunden Kind außerordentlich selten.

Die Diaphyse ist wie sämtlicher kindlicher Knochen sehr gut vaskularisiert. Mit zunehmender Skelettreife erhöht sich die kortikale Stabilität durch vermehrte Produktion von extrazellulärer Matrix und Ausbildung der Havers-Systeme, während die Vaskularisation abnimmt [41, 45, 62, 92].

#### 2.1.4 Apophysen (Traktionsapophysen)

Apophysen liegen metaphysär, sind ebenfalls zunächst knorpelig angelegt und dienen als Muskel- oder Sehnenansatzpunkte. Histologisch bestehen sie überwiegend aus Faserknorpel. Sie ossifizieren über eine der Epiphysenfuge im Aufbau gleichende Wachstumsfuge. Die mechanischen Zugkräfte der Muskeln und Sehnen geben ihnen ihre Form. Sie beteiligen sich nicht an der Formgebung der Gelenke und auch nicht am Längenwachstum der Knochen. Beispiele sind der Trochanter minor und der Epicondylus medialis humeri [41, 87].

#### 2.1.5 Periost

Als fibrovaskuläre Hülle umgibt das Periost den Knochen mit Ausnahme der Gelenkflächen. Das kindliche Periost ist deutlich dicker und kräftiger und damit reißfester. Es ist biologisch aktiver, besser vaskularisiert und hat eine höhere osteogene Potenz als das Periost des Erwachsenen [45]. Das periost-endostale System spielt bei der Heilung von Frakturen, Remodeling von Kallusmassen und Achsabweichungen eine große Rolle [71].

Diaphysär liegt das Periost dem Knochen eher im lockeren Verbund an und wird bei Verletzungen leicht vom Knochen abgehoben. Es ist mit der Epiphyse und dem dortigen Perichondrium kollagenös fest vernetzt (Ranvier-Zone). Das Periost dient als Ansatzfläche für Muskeln und Sehnen [13, 45].

Bei einigen Frakturen kann das Periost wie ein Scharnier wirken. Es kann das Ausmaß der Fragmentdislokation verringern oder zur Retention beitragen (daher mehr stabile Frakturen im Kindesalter), jedoch auch ein Repositionshindernis darstellen [33, 41, 45, 92].

## 2.2 Biomechanische Unterschiede

Knochen ist einer Vielzahl von Kräften ausgesetzt. Man unterscheidet Zug-, Druck- und Scherkräfte. Wird lokal die maximale Belastbarkeit überschritten bricht der Knochen.

Kindlicher Knochen ist flexibler als Erwachsenenknöchel, da er durch mehr und größere Havers-Kanäle und Gefäßkanälen durchzogen ist und eine größere Anzahl an Osteonen enthält. Diese Porosität erlaubt ein höheres Maß an plastischer Deformierung und somit die Möglichkeit, eine höhere Kraft zu absorbieren, bevor es

zu einer Fraktur kommt. Der kortikale Knochen enthält weniger Mineralien als der Kortex des Erwachsenen.

Kindlicher Knochen bricht bei Kompression und Spannung. Es wird nach Beginn einer Fraktur mehr Energie absorbiert. Das Fortschreiten der Fraktur wird durch die bessere Kraftverteilung aufgrund der höheren Porosität vermindert. Diese Kraftverteilung ist der Grund warum Mehrfragment- und Trümmerbrüche bei Kindern deutlich seltener sind als beim Erwachsenen und warum es zu Grünholzfrakturen kommen kann. Andere Autoren sind der Ansicht, dass die speziellen Frakturformen des Kindes durch das Brechen schon bei niedriger Kraffteinwirkung zustande kommen [33, 37, 45, 68].

## 2.3 Physiologische Unterschiede

### 2.3.1 Knochenbruchheilung

Man unterscheidet die direkte (primäre) von der indirekten (sekundären) Knochenbruchheilung. Bei der direkten Knochenbruchheilung findet sich radiologisch kein Kallus, da die Fragmente „wasserdicht“ aufeinander stehen. Mehr oder minder ausgeprägte Kallusbildung ist das Merkmal der sekundären Knochenbruchheilung.

Frakturen kindlicher Knochen heilen deutlich schneller, je jünger das Kind ist. So heilt beispielsweise eine kurz nach der Geburt entstandene Femurschaftfraktur in 3-4 Wochen, während die Heilung bei einem Erwachsenen 12-16 Wochen beansprucht [45]. Verletzungen der Wachstumsfugen heilen noch schneller, im Verlauf von etwa 3 Wochen [38]. Aus diesem Grunde sollte man eine notwendige Reposition nicht zu lange hinausschieben. Die Kallusbildung ist beim wachsenden Knochen extensiver und der Kallus wird im Verlauf des weiteren Lebens komplett resorbiert. Eine alleinige primäre Knochenbruchheilung ist bei Kindern aufgrund der nahezu immer vorhandenen zusätzlichen periostalen Kallusbildung radiologisch nicht auszumachen.

Die Knochenbruchheilung beim Kind verläuft in 3 Phasen [45, 103]:

1. Entzündungsphase (Frakturhämatom)
2. Reparationsphase (neue Blutgefäße, Knorpel, erste 2-3 Monate der Frakturheilung)
3. Remodeling (Monate bis Jahre)

### 2.3.2 Wachstum

Die Regel nach Roux und Pauwels besagt, dass der Knochen stets bestrebt ist durch ein Minimum an Materialaufwand ein Maximum an Belastbarkeit zu erreichen [71]. Das Wolff'sche Transformationsgesetz spricht von einer funktionellen Adaptation des Knochens [61, 102, 105].

„Structure therefore is nothing else but the physical expression of function“ [104]

Mit fortschreitender Ossifikation unterliegen die unterschiedlichen anatomischen Regionen eines kindlichen Knochens einem Wandel der biomechanischen Eigenschaften, woraus altersspezifische Verletzungsmuster resultieren [41].

### 2.3.3 Wachstumsstörungen

Man unterscheidet die stimulative und die hemmende Wachstumsstörung.

#### a) Stimulative Wachstumsstörungen

Stimulative Wachstumsstörungen treten nach jeder Fraktur auf [19, 71]. Besonders nach Frakturen im Bereich der Meta- und Epiphyse kommt es zu einem vermehrten Längenwachstum des betroffenen Extremitätenabschnittes, vermutlich durch eine Hyperämie auch in den umliegenden Epiphysenfugen während des Heilungsprozesses. Diese Stimulation kann nach fugenkreuzenden oder fugennahen Verletzungen auch nur partiell stattfinden und führt dadurch zu einem partiellen Mehrwachstum (z. B. am distalen Humerus nach Condylus radialis-Fraktur oder bei der Grünholzfraktur der proximalen Tibiametaphyse [71]).

#### b) Hemmende Wachstumsstörungen

Hierbei kommt es zu einem teilweisen oder vollständigen Verschluss der beteiligten Wachstumsfuge durch die Ausbildung von knöchernen Brücken oder durch die Zerstörung des epiphysären Gefäßsystemes. Bei einem teilweisen Verschluss bildet sich eine zunehmende Achsfehlstellung aus. Diese Wachstumsstörungen sind deutlich seltener [2].

Das Ausmaß einer stimulativen Wachstumsstörung hängt von der Dauer der Reparatonszeit ab, aber auch von der Häufigkeit und dem Zeitpunkt von Repositionsmaßnahmen und operativen Folgeeingriffen. Hemmende Störungen ziehen sich bis zum Ende des Wachstums hin. In der prämaturnen Ruhephase kommt es ebenfalls

zu einer Längenzunahme der betroffenen Extremität, jedoch auch zu einem vorzeitigen Fugenverschluss. In der Verschlussphase wird diese nach einem Trauma beschleunigt und es kann zu einer geringgradigen Verkürzung der betroffenen Extremität kommen [33, 71, 92].

#### 2.3.4 Korrekturpotenz

Aufgrund der noch offenen Wachstumsfugen besitzt der kindliche Knochen die Fähigkeit zur Korrektur posttraumatischer Fehlstellungen. Diese Korrektur vollzieht sich am besten in den Hauptbewegungsachsen (Sagittalebene) der umliegenden Gelenke und bei Seit-zu-Seit-Verschiebungen, sowie im Bereich hochprozentig wachsender Fugen (proximaler Humerus, distaler Unterarm, distales Femur, distaler Unterschenkel). Die Korrekturfähigkeit ist gebunden an das biologische Alter des Kindes und die damit verbundene verbleibende Wachstumspotenz. Je jünger das Kind ist, desto höher ist die Korrekturpotenz. Die Mechanismen sind asymmetrisches Fugenwachstum und periostaler-endostaler Knochenumbau. Sie folgen dem Roux-Gesetz (s. 2.3.2). Wallace und Hoffman [99] haben am Beispiel von 28 kindlichen Femurschaftfrakturen im mittleren Drittel mit einer Achsabweichung von  $10^\circ$  bis  $26^\circ$  nach der primären Frakturheilung gezeigt, dass im Mittel 85% der Fehlstellung korrigiert wurde. 74% der „Spontankorrektur“ entstammen der Physe, 26% des appositionellen Knochenumbaus des Schaftes [103].

Rotationsfehler werden nicht, oder allenfalls gering durch vermehrte oder verminderte Detorsion der umliegenden Gelenke (z. B. Hüftgelenk) ausgeglichen. Allerdings nehmen verbleibende Rotationsfehlstellungen an den Extremitäten im Verlauf des weiteren Wachstums nicht zu.

Unverletzte Gelenke erreichen auch nach längerer Ruhigstellung bei Kindern schnell wieder die volle Beweglichkeit auch ohne physiotherapeutische Übungsbehandlung. Bei verletzten Gelenken ist dies aufgrund der Narbenbildung gelegentlich nicht der Fall [33, 92].

„Mit keiner Methode sind wir imstande, ein jugendliches Gelenk, das nicht durch eine Verletzung oder Erkrankung zerstört worden ist, dauerhaft steif zu machen“ Lorenz Böhler [76]

## 2.4 Frakturformen

Bei Kindern kommen die aus der Erwachsenentraumatologie bekannten Frakturformen vor. Zusätzlich gibt es jedoch kindspezifische Frakturformen, die sich aus den speziellen anatomischen, biomechanischen und physiologischen Verhältnissen des wachsenden Knochens ergeben. Im Gegensatz zum Erwachsenen sind die Verletzungen im Wachstumsalter außerordentlich stereotyp [71].

Frick und Jones [45] teilen die kindlichen Frakturen in 5 Typen ein: plastische Deformität, Wulstfraktur, Grünholzfraktur, komplette Fraktur und Frakturen der Wachstumsfugen.

### 2.4.1 Plastische Deformität/„bowing fracture“

Die plastische Deformität des Knochens wurde erstmalig 1876 vom deutschen Anatom Augustus Rauber (1841-1917) beschrieben [68]. Allerdings konnten erst 1970 durch ein in vitro Experiment von Chamay die mikroskopischen Veränderungen sowie die Biomechanik der plastischen Deformierung eines gesamten Knochens dargestellt werden [68]. Borden [22] beschrieb 1974 erstmalig das Auftreten des traumatischen Bowings bei 8 Kindern.

Durch Biegungskräfte entsteht eine ausgedehnte plastische Deformation, welche in einer permanenten Deformation endet. Einen eigentlichen Frakturspalt gibt es nicht. Ist lediglich die Achsabweichung radiologisch sichtbar, spricht man von einer „bowing deformation“. Ist die konkave Stauchungszone infraktioniert ohne Fragmentdehizens, spricht man von einer „bowing fracture“.

Die Achsabweichung ist gelegentlich persistierend, wenn kein Frakturhämatom entsteht und das Periost nicht vom Knochen abgehoben wird und somit kein Remodeling vollzogen wird [45].

Diese Verletzungsformen kommen nahezu ausschließlich bei Kindern vor. Die Hauptlokalisationen sind der Ulna- und der Fibulaschaft. Insbesondere im Bereich des Unterarmes kann es zu operationsbedürftigen Funktionseinschränkungen kommen. Es handelt sich um seltene Verletzungen [33, 45, 52, 68].

### 2.4.2 Metaphysäre Wulstfrakturen

Die metaphysären Wulstfrakturen entstehen durch axiale Kompression. Hierbei kommt es zu einer Stauchung des porösen metaphysären Knochens an der Grenze

zur dichteren diaphysären Knochensubstanz mit Aufwerfung einer oder beider Kortikales und Verdichtung der Spongiosa in diesem Bereich. Die Frakturen liegen subperiostal, der Periostschlauch ist intakt. Es handelt sich um stabile Frakturen mit unproblematischer Heilung. Auch sie sind fast ausschließlich dem Kindesalter vorbehalten. In der angloamerikanischen Literatur werden diese Frakturen auch als „torus fractures“ bezeichnet, in Anlehnung an die klassischen griechischen Säulen [33, 41, 45, 52, 71].

#### 2.4.3 Grünholzfrakturen

Bei den Grünholzfrakturen bricht die Konvexseite unter einer Zugbelastung, die Konkavseite erleidet eine plastische Deformation. Es handelt sich um Biegebürche. Das Periost auf der Konkavseite bleibt intakt. Für die anatomische Reposition ist ein Brechen der Gegenkortikalis notwendig, um die Fehlstellung zu beseitigen und den Frakturspalt der Konvexseite zu vermindern [41, 45, 52, 71].

#### 2.4.4 Diaphysenfrakturen

Bei den Schafffrakturen findet man Grünholzfrakturen und bowing fractures ebenso wie Quer-, Schräg-, Spiral- und Trümmerfrakturen. Die Trümmerfrakturen bilden die Ausnahme, da der kindliche Knochen sehr flexibel ist und sich die einwirkende Kraft besser verteilen kann. Auch Biegungskeile und Schaltfragmente sieht man bei kindlichen Frakturen selten [41, 45].

#### 2.4.5 Epiphysenfrakturen

Die weit offene Epiphysenfuge schützt das Gelenk als Puffer gegen axiale Traumen. Eigentliche Gelenkfrakturen sind daher beim Kind selten, Verletzungen im Bereich der Wachstumsfuge jedoch häufig. Das Verhältnis zwischen intraartikulären und extraartikulären Frakturen beträgt 1:50 [71]. Die intraartikulären Verletzungen verursachen spezielle Probleme in der Diagnose und Behandlung [87].

Erstmalig erwähnt wurden Verletzungen der Wachstumsfuge bereits durch Hippokrates [12]. Eine erste Klassifikation der Epiphysenfrakturen erfolgte durch Poland [12], gebräuchlich sind die Einteilungen nach Salter und Harris (1963, 5 Typen, [87]) bzw. Aitken (1953, 3 Typen, [2]). Die Klassifikationen sind deskriptiv von der röntgenologischen Darstellung [41, 52].

Salter und Harris bauten ihre Klassifikation auf drei Haupttypen auf, der Epiphyseolyse, der Fraktur durch die Wachstumsfuge und den Crush-Verletzungen. Ihre Klassifikation stützt sich auf die Beziehung der Frakturlinie zur den germinativen Zellen und damit der Prognose der Wachstumsstörungen [87].

a) Epiphysenlockerung

Klinisch bestehen Schmerzen und Schwellung ohne Fehlstellung. Im Röntgenbild ist keine Verschiebung nachweisbar. Die Prognose ist im Gegensatz zu der crush-Verletzung gut [52].

b) Epiphyseolysen

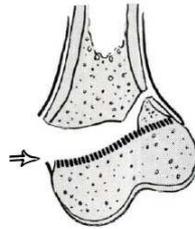
Salter und Harris I: Epiphysenlösung im metaphysären Fugenanteil durch die mechanisch schwächste, metaphysennah gelegene Blasenknorpelschicht wie in Abbildung 1 ersichtlich. Scher- und Biegungskräfte verursachen in dieser Zone Verletzungen. Insbesondere in der Pubertät kommt es durch hormonelle Einflüsse zu einer Lockerung in dieser Schicht [71, 87].

Der epiphysäre Fugenanteil mit der Proliferationsschicht bleibt im Allgemeinen unbeschadet und periostbehaftet, was eine starke Dislokation meist verhindert und die Reposition vereinfacht. Wenn die Durchblutung nicht geschädigt wird, gibt es keine Wachstumsstörungen. Diese Verletzung betrifft hauptsächlich den proximalen Humerus und das proximale Femur [45, 87].



**Abb. 1: Salter-Harris Typ I-Verletzung aus Salter RB, Harris WR (1963) [87]**

Salter und Harris II: Epiphysenlösung mit metaphysärem Bruchfragment (s. Abbildung 2). Scher- oder Avulsionskräfte sind die Hauptursachen dieser Verletzung [87]. Mit zunehmender Größe der Knochenkerne steigt das Risiko dieser Verletzung [45]. Laut Salter und Harris tritt diese Verletzung normalerweise erst bei Kindern auf, die älter als 10 Jahre alt sind [87]. Sie ist die häufigste der Epiphysenfugenverletzungen (>50%). Der eigentliche epiphysäre Anteil wird nicht tangiert.

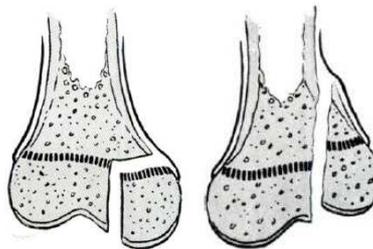


**Abb. 2: Salter-Harris Typ II-Verletzung aus Salter RB, Harris WR (1963) [87]**

Bei beiden Frakturtypen handelt es sich um Schafffrakturen. Sie haben eine gute Prognose, da die Blutversorgung der Epiphyse selbst nicht geschädigt wird. Die Reposition gelingt meist problemlos, da das Periost an einer Seite meist intakt ist bzw. der bestehende metaphysäre Keil eine Überkorrektur verhindert [33, 41, 52, 61].

### c) Eigentliche Epiphysenfrakturen

Die eigentlichen Epiphysenfrakturen entstehen durch eine Kombination aus axialer Kompression und Biegung, bzw. intraartikulären Scherkräften [87]. Es ist entweder nur der epiphysäre Anteil (Salter und Harris III) oder der epi- und metaphysäre Anteil (Salter und Harris IV) betroffen, wie in Abbildung 3 dargestellt [71]. Diese Verletzungen liegen intraartikulär und der epiphysenanteiligen Fugenknorpel, also die germinative Schicht, ist betroffen. Beide Eigenschaften der Verletzungen erklären deren Probleme. Die Salter-Harris IV-Verletzung hat eine schlechtere Prognose als die Salter-Harris III-Verletzung [87]. Eine anatomische Reposition ist notwendig, da epi-metaphysäre Ausheilungsbrücken mit resultierendem Fehlwachstum entstehen können. Häufig ist eine offene Reposition vonnöten. Eine Osteosynthese sollte so wenig zusätzlichen Schaden an der Fuge wie möglich verursachen.



**Abb. 3: Salter-Harris Typ III (links) und Typ IV (rechts) -Verletzung aus Salter RB, Harris WR (1963) [87]**

Salter-Harris III-Verletzungen treten am häufigsten an den proximalen oder distalen Tibiaepiphysen auf. Ein Paradebeispiel für eine Salter-Harris IV-Verletzung ist

die Condylus radialis-Fraktur [87]. An der oberen Extremität verlaufen die Epiphysefrakturen meist im tragenden Gelenkbereich, an der unteren Extremität meist randständig im unbelasteten Teil. Gefäßläsionen können zu Epiphysennekrosen führen [33, 41, 45, 61].

#### d) Crush-Verletzungen

Salter und Harris V: axiale Stauchungsverletzung (s. Abbildung 4). Die Diagnose dieser Verletzung ist primär schwierig, da nativradiologische Befunde zum Unfallzeitpunkt fehlen. Die Diagnose wird häufig erst bei auftretendem Fehlwachstum gestellt. Der Unfallhergang, schwere Ab- oder Adduktion in einem Gelenk, das normalerweise nur Extension oder Flexion durchführt wie das Sprunggelenk oder das Kniegelenk, und die Klinik mit längerer Schwellung im Bereich der Verletzung ohne Frakturachweis sollten an diesen Typ denken lassen und Nachkontrollen zur Folge haben. Diese Verletzung hat in Bezug auf Wachstumsstörungen die schlechteste Prognose [33, 41, 87].



**Abb. 4: Salter-Harris Typ V-Verletzung aus Salter RB, Harris WR (1963) [87]**

Die Salter-Harris-Klassifikation ist nützlich und wird klinisch häufig angewandt. Ogden präsentierte eine komplexere Klassifikation mit neun Typen und Subtypen von A-D [79]. Sie wird in der Praxis jedoch nicht häufig benutzt [45, 77]. Eine gewisse klinische Relevanz hat jedoch die Klassifikation von Peterson, welche zusätzlich eine quere metaphysäre Fraktur mit longitudinaler Ausdehnung in die Fuge und eine Verletzung mit partiellem Verlust der Fuge, wie sie beispielsweise bei Rasenmäherverletzungen entsteht, enthält [12, 80, 81].

#### e) Übergangsfrakturen

Gegen Ende des Knochenwachstums kommt es zur sukzessiven, meist exzentrisch beginnenden Ossifikation der Epiphysenfuge. Dieser Vorgang ist längere Zeit

radiologisch nicht bildgebend. Die gelenkprotective Funktion der Epiphysenfuge fällt aus. An die Stelle von Epiphysenlösungen treten die Übergangsfrakturen.

Löst eine Fraktur den noch offenen, mechanisch schwachen, metaphysären Fugenbereich (Blasenknorpel), und wird dieser dann vor dem schon mineralisierten Pfeiler Richtung Gelenk abgeleitet, entsteht die so genannte twoplane fracture (inkomplette Epiphysenfraktur).

Besteht zusätzlich eine Metaphysenbeteiligung, so liegt eine so genannte triplane fracture vor. Hier unterscheidet man zwei Typen.

Triplane I: Der Bruchspalt des metaphysären Keils endet in der Epiphysenfuge (wie Salter II).

Triplane II: Der Frakturspalt zieht durch Meta- und Epiphyse (wie Salter IV) [41, 61].

#### 2.4.6 Stressfrakturen

Stressfrakturen kommen in zwei Altersgipfeln vor, einmal als „toddler's fractures“ im Alter zwischen 2 und 4 Jahren und zum anderen um die Pubertät herum [71].

#### 2.4.7 Flake fracture

Durch Luxations- oder Subluxationsereignisse in den Gelenken entstehen Abscherverletzungen kleinerer chondraler oder osteochondraler Epiphysenfragmente. Bei einer vollständigen Fraktur findet man primär freie Gelenkkörper, bei einer inkompletten Fraktur kann es in der Folge zu einem osteochondralen Dissekat kommen. Hauptlokalisationen sind die Patellarrückfläche, die Femurkondylen und die Talus Schulter [45, 52].

#### 2.4.8 Apophysenavulsion

Die Apophysen erhalten nach einem Ausriß über die Ligamente noch eine gute Blutzufuhr, so dass es hier nicht zu Osteonekrosen kommt. Jedoch kommt es häufig zu Pseudarthrosen. Partielle Avulsionen können z. B. durch repetitive Mikrotraumen entstehen, die so genannte Traktionsapophysitis (z. B. Morbus Osgood-Schlatter) [33, 41].

## 2.5 Unfallhergang

Unfälle und Verletzungen im Kindesalter sind, mit Ausnahme des ersten Lebensjahres, die Hauptursache der Morbiditäts- und Mortalitätsrate in dieser Altersgruppe [35]. Säuglinge erleiden skeletale Verletzungen meist im Zusammenhang mit dem Geburtshergang oder im Rahmen einer Kindesmisshandlung. Ab etwa dem 18. Lebensmonat nehmen die eigentlichen Unfälle überhand [45]. In einer Literaturzusammenfassung [12] wurden 5 Umgebungen als unfallträchtig identifiziert: zu Hause, Schule, Sport, Spiel und Erholung. Opfer eines Verkehrsunfalls zu werden ist für Kinder eher ungewöhnlich.

## 2.6 Frakturlokalisation

In einer Literaturzusammenfassung in Rockwood and Wilkins' Fractures in Children [12] wird ein Überwiegen der Frakturen an der oberen Extremität mit 65-75% beziffert. Epiphyseolysen treten an der oberen Extremität etwa viermal häufiger auf als an der unteren Extremität [71].

Von Laer [61] beschreibt die Frakturen des distalen Unterarmes mit 19,4% als häufigste Frakturen, gefolgt von den Frakturen der Hand (16,8%) und den isolierten Tibiafrakturen (10,8%).

Epiphysenfrakturen werden mit über 10% (15% der Frakturen der langen Röhrenknochen, Salter und Harris, 1963 [87]) der kindlichen Frakturen angegeben, auch Ogden [79] spricht von 15% aller Frakturen. In einer Literaturzusammenfassung in Rockwood and Wilkins' Fractures in Children [12] werden die physären Frakturen mit 14,5-27,6% angegeben. In 6 Artikeln mit 6479 Frakturen betrafen 1404 die Physe. Salter und Harris beschreiben die häufigsten Epiphysenverletzungen an den Fugen mit hohem Wachstumspotential. Dies gelte jedoch nicht für crush-Verletzungen und fugenkreuzende Verletzungen. In absteigender Häufigkeit träte die Epiphyseolyse an folgenden Fugen auf: distaler Radius, distale Ulna, distaler Humerus (Condylus radialis), proximaler Radius, distale Tibia, distaler Femur, proximaler Humerus, proximaler Femur, proximale Tibia. Die Autoren beschreiben die Condylus radialis humeri-Fraktur als Typ IV-Fraktur. Salter-Harris III-Verletzungen treten am häufigsten an den distalen oder proximalen Tibiaepiphysen auf, auch die crush-Verletzungen kommen am häufigsten in der distalen Tibiaepiphyse vor [87].

## 2.7 Behandlungsprinzipien

Einige Prinzipien der Frakturbehandlung sind in allen Altersklassen gleich: Wiedererreichen der normalen Länge, achsgerechte Stellung, Rotation und anatomisches Reposition der Gelenkfläche [45]. Die Hauptziele bei der Behandlung kindlicher Frakturen sind die Vermeidung von Komplikationen wie Wachstumsstörungen und die zügige Wiederherstellung der Funktion. Die Therapieziele werden durch Reposition, adäquate Retention und ein festgelegtes Nachuntersuchungsschema erreicht.

Früher wurden etwa 90% aller kindlichen Frakturen „konservativ“ behandelt, wobei man unter „konservativer“ Behandlung einfache Gipsruhigstellung, geschlossene Repositionen und Nachrepositionen meist in Narkose und auch sämtliche Extensionsverfahren verstand. 1955 verdammt Blount in seinem viel beachteten Lehrbuch noch die operative Versorgung bei Kindern als unnötig und beeinflusste damit eine ganze Generation orthopädischer Chirurgen [12, 18, 62].

1962 propagierte Hughston für die AAOS (American Academy of Orthopaedic Surgeons) die konservative Behandlung der kindlichen Unterarmfrakturen durch Reposition und Ruhigstellung und sprach sich für eine Vermeidung der offenen Reposition aus. Damals jedoch wurde auch die einfache Wulstfraktur des distalen Radius mit einem Oberarmgips versorgt und für 4-6 Wochen ruhiggestellt. Außerdem wurde der Gips in korrigierender Form angelegt. Auch er kannte schon die geringe Zeitdauer (10-14 Tage), in der die geschlossene Reposition einer Epiphyseolyse des distalen Radius möglich ist und riet von einem Repositionsversuch nach Ablauf dieser Zeitdauer ab. Die Gipskeilung gehört seiner Meinung nach zu dem Repertoire eines guten orthopädischen Chirurgen [50].

1976 gibt Kuner [58] die Zahl der operativ versorgten kindlichen Frakturen mit 10-12% an. Als Indikationen zur Operation sieht er Frakturen durch die Wachstumsfuge (Aitken II und III), dislozierte mediale und laterale Schenkelhalsfrakturen, Distraktionsfrakturen (z. B. Patella, Olekranon, Epicondylus etc.), II° und III° offene Frakturen, Schafffrakturen bei Intensivpflege, irreponible Schafffrakturen, besondere Frakturen am Ende des Wachstums, Spontanfrakturen (Knochenzysten, Rezidive etc.), Pseudarthrosen, Korrekturosteotomien.

Weber [100] bestimmt in seinem Referat von 1976, dass nur 15% der kindlichen Frakturen operativ behandelt werden. Als Operationsindikationen nennt er offene Frakturen mit schwerem Weichteilschaden, Achsfehlstellungen beim Adoleszenten,

irreponible gelenknahe Brüche und echte Epiphysen-Gelenkbrüche sowie nicht genau reponierbare Brüche beim Adoleszenten. Blount sprach sich 1976 gegen offene Repositionen aus, diese seien nur für Verletzungen von Gelenken und Wachstumsfugen [19].

Bei Kindern muss nicht immer eine exakte anatomische Reposition erreicht werden, trotzdem sollte man unabhängig vom Patientenalter den Grad der Fehlstellung so gering wie möglich halten, hierbei jedoch, gerade bei Verletzungen mit Wachstumsfugenteilung, häufige Repositionsversuche vermeiden [45]. Heute differenziert man zwischen „konservativ ohne“ und „konservativ mit“ Anästhesie und versteht – mit oder ohne geschlossene Reposition – darunter stets eine nichtinvasive, externe Fixation. Unter operativ versteht man heute jede invasive Manipulation am Knochen.

Knöchelverletzungen bei Kindern werden häufiger durch geschlossene als durch offene Reposition behandelt. Als Grund hierfür sehen Green und Swiontkowski [45] die kurze Heilungszeit, die Möglichkeit nahezu anatomische Reposition (mit Hilfe des starken, reißfesten Periosts) zu erreichen und zu halten sowie das Potential zum Remodeling, weshalb eine leichte persistierende Fehlstellung belassen werden kann.

Zurzeit werden etwa 40% der Frakturen operativ, 60% konservativ behandelt [62]. Der Trend zur operativen Versorgung mit guten Ergebnissen ergibt sich aus der verbesserten Technik, zum Beispiel die Entwicklung von Bildwandlern, elektrischen Werkzeugen und kanülierten Implantaten, verminderter Invasivität durch perkutane Techniken, temporärer Fixierung, dem finanziellen und sozialem Druck zur Verkürzung der Krankenhausverweildauer bei Kindern und der Erwartung eines perfekten Ergebnisses durch die Öffentlichkeit [12]. Man versucht eine primäre Bewegungs- und wenn möglich auch eine Belastungsstabilität zu erreichen, sowie im Falle einer Narkose eine definitive Situation zu schaffen. Angesichts der offenen Wachstumsfugen können nicht sämtliche Frakturen bewegungsstabil versorgt werden (z. B. distale Unterarmfrakturen).

Femurschaftfrakturen bei Kindern waren früher eine Domäne der konservativen Behandlung jedoch mit vielfachem Verheilen in Fehlstellung [13, 28]. Obwohl sie nur etwa 1% aller kindlichen Frakturen ausmachen, ist die Zahl der Publikationen über diese Verletzungen immens.

Ogden [78] empfahl 1982 die unter 2-jährigen bzw. unter 18 kg leichten Patienten mit Femurschaftfrakturen mit Bryant-Extension für 2 bis 3 Wochen und nachfolgend Becken-Bein-Gips für 6-8 Wochen zu behandeln, die schwereren Kinder sollten mit Russell-Extension behandelt werden. Eine Operation sei unnötig und nur bei neurovaskulären Begleitverletzungen, großen Weichteildefekten, Mehrfachverletzten, Muskelinterposition oder schwerer Instabilität erforderlich.

Buckley [25] schreibt 1997, dass zu diesem Zeitpunkt die Behandlung der Femurschaftfraktur bei Kindern bis zu 6 Jahren der Becken-Bein-Gips sei, die Behandlung der 6-10-jährigen sei jedoch kontrovers. Viele würden erfolgreich mit einem Becken-Bein-Gips behandelt werden, ggf. mit vorheriger Extensionsbehandlung, jedoch würden immer häufiger Fixateur externe und ESIN (elastisch-stabile intramedulläre Nägel) eingesetzt, besonders bei Mehrfachverletzten. Marknagelung sei aufgrund der möglichen avaskulären Femurkopfnekrosen mit Vorsicht nur bei Adoleszenten anzuwenden unter Beachtung des Eintrittspunktes. Traktionsbehandlung sei meist eine temporäre Methode, Overhead-Extension sollte aufgrund des Risikos von Durchblutungsstörungen vermieden werden. Kinder über 2 Jahren sollten mit knöcherner Extension behandelt werden, um die Pflege zu erleichtern. Indikationen für den Fixateur externe sah er in offenen Frakturen, bei Mehrfachverletzten, in ipsilateralen Femur- und Tibiafrakturen und Frakturen mit signifikanter Verkürzung. Dieselben Indikationen fand er für die Plattenosteosynthese (mit den Nachteilen des großen Zuganges und dem Vorteil der einfacheren Wundnachbehandlung) und für ESIN, die jedoch nicht bei jüngeren Kindern und nicht bei Mehrfragmentfrakturen einsetzbar seien.

Im Jahre 2005 lautet die Empfehlung zur Therapie der Femurschaftfrakturen in einem amerikanischen Lehrbuch [84] bei den 0-2-jährigen konservativ mit Pavlik-Bandage oder Beckenringgips, operativ nur bei offenen Frakturen mit neurovaskulären Begleitverletzungen. Die 2-6-jährigen sollen mit Becken-Bein-Gips, ggf. mit vorheriger Extensionsbehandlung, die 6-12-jährigen mit intramedullärer Schienung und die über 14-jährigen mit Extensionsbehandlung und Becken-Bein-Gips oder die kleineren mit intramedullärer Nagelung, die größeren mit Marknägeln behandelt werden. Minimal-invasive Platten und Fixateur externe sollte nur bei gleichzeitigen Weichteilverletzungen oder Kreislaufinstabilität verwendet werden.

Maier et al. [71] empfehlen in einem deutschen Lehrbuch 2006 bei Säuglingen und Kleinkindern die konservative Therapie der Femurschaftfrakturen mit Becken-Bein-

Gips oder alternativ Pavlik-Bandage oder Overheadextension, ggf. Fixateur externe. Ab 3-4 Jahren bieten sich ESIN an, wodurch der Fixateur externe in den Hintergrund gerät und nur noch beim polytraumatisiertem Kind, ausgedehnten Weichteilverletzungen oder instabilen Schrägfrakturen und Mehrfragmentfrakturen Anwendung findet. Die Plattenosteosynthese bleibt Einzelfällen vorbehalten. Adoleszente können mit intramedullären Nägeln oder eingeschobener Platte behandelt werden, wobei der Marknagel über den Trochanter eingebracht werden sollte.

Als Therapie wird im Jahre 2006 in den USA bis zu einem Alter von 6 Monaten die Pavlik-Bandage oder eine dorsale Schiene, bzw. ein Beckenbeingips, selten die Extensionsbehandlung empfohlen. Bis zu einem Alter von 6 Jahren bietet sich der Becken-Bein-Gips, evtl. die Extensionsbehandlung sowie selten der Fixateur externe oder die intramedulläre Stabilisierung an. Bis 11 Jahre sollte eine Extensionsbehandlung, wahlweise die intramedulläre Stabilisierung, Kompressionsplatte oder der Fixateur externe verwendet werden. Die Therapie der Wahl bei den über 12jährigen ist die intramedulläre Stabilisierung. Als Alternativen gibt es die Platte, den Marknagel oder den Fixateur externe [12].

Kuremsky und Frick [59] schreiben 2007 unter Verweis auf die aktuelle Literatur, bei Patienten älter als 11 Jahre oder schweren Patienten Marknagel oder Platte anzuwenden, die 5-10jährigen sollten mit ESIN oder minimal-invasiver Platte behandelt werden. Die Platte zeige selten Komplikationen und sei stabil, jedoch technisch schwieriger und die Metallentfernung sei aufwendiger. Des Weiteren stände der Fixateur externe und der antegrade Nagel mit einem lateralen Eintrittspunkt ab einem Alter von 8 Jahren zur Verfügung. Eine avaskuläre Nekrose nach Marknagelung würde in 0-5% der mit dem Marknagel behandelten Kinder auftreten, meist bei den 11-14jährigen.

Maier et al. [69] beschreiben als Nachteil der Overhead-Extension die unwesentliche Reposition. Bei Kleinkindern würden jedoch vergleichbare Langzeitergebnisse erreicht. Der Fixateur externe erforderte die meisten Röntgenkontrollen und zeigte am häufigsten Komplikationen, als Grund käme die Anwendung bei Mehrfragmentfrakturen in Frage. Pininfekte seien hier ein großes Thema, auch Knieschmerzen und Kelloidbildung. Ältere Patienten zeigten eine eingeschränkte Toleranz gegenüber Extensionsbehandlung, eine reduzierte Spontankorrekturfähigkeit und eine Thromboseneigung. Im Vergleich zu den ESIN waren die Langzeitergebnisse schlechter. ESIN hatten einen verkürzten stationären Aufenthalt und die geringste

Komplikationsrate mit den Beinumfangsdifferenzen oder Bewegungseinschränkungen und selten Rotationsfehlstellungen oder Beinlängendifferenzen.

Hunter [51] beschreibt bei den kindlichen Femurschaftfrakturen die Hauptkontroverse, ab welchem Alter ESIN eingesetzt werden können und wie man ältere und schwerere Patienten behandelt. Dameron und Thompson stellten 1959 Prinzipien auf, die immer noch gelten: Die einfachste befriedigende Behandlung ist die beste. Die Primärbehandlung sollte definitiv sein. Eine anatomische Reposition ist nicht notwendig für eine perfekte Funktion. Das Alignment sollte wiederhergestellt werden, besonders die Rotation. Je mehr Wachstum der Patient noch vor sich hat, desto mehr Remodeling findet statt. Bis zur definitiven Behandlung sollte das Bein geschient werden. Hunter empfahl für das Alter von 0-18 Monate die konservative Behandlung mit Extension oder Becken-Bein-Gips oder einer Kombination. Bis zu einem Alter von 3 Monaten kann die Pavlik-Bandage verwendet werden. Von 18 Monaten bis 4 Jahren stünde die konservative Behandlung mit Extension oder Becken-Bein-Gips im Vordergrund. Beim Becken-Bein-Gips sollte nach den Prinzipien von Staheli vorgegangen werden: zuverlässige Eltern, unkomplizierte Fraktur, jünger als 9 Jahre, guter Allgemeinzustand. Verkürzungen von mehr als 1,5 cm, 15° Varus-/Valgusfehlstellung oder 25° Flexions-/Extensionsfehlstellung sind nicht tolerabel. Bei den 4 bis 12jährigen bietet sich die Extensionsbehandlung mit Pin an, ggf. kann noch der Becken-Bein-Gips zum Einsatz kommen. Hier gibt es jedoch in diesem Alter häufig Probleme mit der Haut und der Hygiene sowie in der Schule und im Sozialleben der Patienten. In Europa sind ESIN die Hauptmethode mit den Vorteilen des sofortigen Mobilisierung, minimalen Invasivität, biologischen Heilung, einfachen Metallentfernung, selten Refrakturen oder Infektionen, frühe Rückkehr in die Schule und in das Sozialleben. Als Nachteile sieht Hunter die Narkose und die Hautirritation. Der Fixateur externe habe die Nachteile der langsamen Heilung, hohen Refrakturrate, zu hohe Rigidität. Er sei jedoch einfach anzuwenden, eine Metallentfernung ohne Narkose ist möglich ebenso wie eine frühe Belastung. Ihren Stellenwert haben sie beim Polytrauma und bei Weichteilverletzungen. Platten zeichnen sich durch eine aufwendige Metallentfernung und hohe Refrakturrate aus, die neue minimal-invasive Generation verursacht weniger Narben und ist weichteilschonend, hat aber aufgrund ihrer inexakten Fixation und der häufig starken Beinlängendifferenz nur eine geringe Indikation. Die ESIN sind höchstens 4 mm dick, Adoleszente benö-

tigen jedoch häufig größere Durchmesser. Bei den Marknägeln sind in 1-2% avaskuläre Nekrosen zu befürchten.

Dietz et al. [39] beschreiben die Konsensempfehlungen zur Behandlung kindlicher Femurschaftfrakturen. Kleinkinder sollten konservativ mit Becken-Bein-Gips, der in 90% in Narkose angelegt werden muss, Pflaster- oder Overhead-Extension versorgt werden. In Einzelfällen kann auf ESIN zurückgegriffen werden. Bei Neugeborenen und Säuglingen kann die Pavlik-Bandage zur Anwendung kommen. Bei Schulkindern sind ESIN Therapie der Wahl. Alternativen wären der Fixateur externe mit bis zu 7,2% Pininfekten und die Platte.

Bei konservativer Frakturversorgung sind oft mehrfache Nachrepositionen erforderlich. Häufiges Röntgen, längere Hospitalisierung und unzureichende Spontankorrektur bei Fehlstellungen sind die Regel. Kinder und Eltern sind zunehmend kritischer. Verbesserte Implantate sind auf dem Markt [21, 26, 28, 76, 82, 106].

Die Komplikationen der Behandlung mit Fixateur externe sind die Pin-Infektion, die verzögerte Knochenbruchheilung, die Refraktur sowie ein möglicher Repositionsverlust [5, 7, 17, 98].

ESIN haben ein geringes Operationstrauma und –risiko mit minimaler Invasivität. Dadurch verkürzt sich die Krankenhausverweildauer und eine frühfunktionelle Nachbehandlung wird möglich. Durch minimale Bewegungen im Frakturbereich kommt es zu einer schnelleren Knochenbruchheilung, die Wachstumsfugen werden nicht oder nur gering stimuliert. Nachteil ist die Hautirritation. Die Nägel bewirken durch gegenläufige Biegung eine Drei-Punkt-Verspannung im Knochen. Durch das metaphysäre Einbringen werden die Wachstumsfugen nicht tangiert [10, 14, 21, 26, 31, 42, 49, 76]. Lascombes et al. [65] erklärten 2006, dass die meisten Komplikationen bei ESIN durch technische Fehler zustande kommen. In 0,2% käme es zu einer Osteomyelitis. Komplikationen traten vor allem bei älteren Patienten auf [44, 74].

Bei Kindern ist die Plattenosteosynthese aufgrund des großen Zuganges, der daraus folgenden großen Narben, dem Entfernen des Periosts vom Knochen, dem Auftreten von Infektionen, der Pseudarthrosenbildung und der aufwendigen Implantatentfernung von vielen Autoren nur in Ausnahmefällen zu rechtfertigen [31]. In den letzten Jahren hat sich in der Erwachsenentraumatologie die Anwendung biologischer Plattenosteosynthesen durch minimal-invasive Zugänge durchgesetzt. Der Frakturbereich wird hierbei nicht weiter freigelegt und die Durchblutung nicht noch

mehr gestört. Zu ihrer Anwendung bei Kindern gibt es nur wenig Literatur [1, 47, 48, 91].

Bei Adoleszenten wird teilweise auf die klassische Marknagelung zurückgegriffen. Die größte Sorge gilt hierbei der avaskulären Femurkopfnekrose bei offenen Fugen [27, 44]. Tabelle 1 zeigt eine Zusammenfassung der möglichen Behandlungen und deren Risiken für Komplikationen.

**Tab. 1: Risiko für Komplikationen nach Behandlungsart bei Femurschaftfrakturen übernommen aus Green NE, Swiontkowski MF (eds) (2009) [45]:**

	Beinlängendifferenz	Hautnekrose	Prominente Implantate	Infektion	Fehlverheilung	Rotationsfehlstellung	Pseudarthrose	Nervenverletzung
Hauttraktion	+	+			++	++		
Knochen-traktion	+	+		+	++	++		+
Becken-Bein-Gips	+	+			++	++		+
Fixateur externe				+++	+	+	+	+
Elast. Nägel			+	+	+	+	+	
Solide Nägel			+	+		+	+	
Platte			+	+	+	+	+	

## 2.8 Die suprakondyläre Humerusfraktur

Die suprakondyläre Humerusfraktur ist nach der distalen Radius-/Unterarmfraktur die zweithäufigste knöcherne Verletzung im Kindesalter. Die Einteilung erfolgt nach von Laer in vier Typen wie in Tabelle 2 dargestellt.

**Tab. 2: Klassifikation der suprakondylären Humerusfraktur nach v. Laer**

Typ I	Nicht disloziert
Typ II	In einer Ebene disloziert
Typ III	In zwei Ebenen disloziert
Typ IV	Komplett disloziert

In einer Literaturzusammenfassung in Rockwood and Wilkins' Fractures in Children [12] wird das Alter bei suprakondylären Humerusfrakturen mit 5-7 Jahren angegeben (Mittelwert 6,7 Jahre). Insgesamt wurden 64 Artikel ausgewertet. Nur 2% waren Flexionsfrakturen, 7,7% hatten neurologische Begleitverletzungen (41,2% Radialis, 36% Medianus, 22,8% Ulnaris), 1% zeigten vaskuläre Begleitverletzungen. Die Behandlung der dislozierten suprakondylären Humerusfraktur war früher konservativ, entweder mit Dunlop-Traktion, Gipsextension, Thomas-Splint in Extension oder Extensionsbehandlungen. Traktionsbehandlungen führten häufig zu einem Verlust des physiologischen Cubitus valgus. Die Ruhigstellung im cuff-and-collar-Verband mit extremer Flexion im Ellenbogengelenk trägt das Risiko einer Volkmannkontraktur. Die geschlossene Reposition mit perkutaner Spickung kam später hinzu.

## 2.9 Klassifikationen

Klassifikationen sollen dem Chirurgen als Werkzeug dienen, seine Therapieentscheidung zu erleichtern, die Kommunikation zwischen den Kollegen zu vereinfachen, Dokumentation und Forschung zu assistieren und die Prognose einer bestimmten Fraktur möglichst genau stellen zu können [9, 30].

Klassifikationssysteme sollen klinisch relevant, verlässlich, wiederholbar und valide sein. Weitere nützliche Eigenschaften sind einfache Anwendbarkeit und ein logischer Aufbau. Die ideale Frakturklassifikation soll einfach anwendbar, leicht zu merken, eindeutig und spezifisch sein, auf die zu wählende Therapie schließen lassen, eine Prognose ermöglichen und von unterschiedlichen Anwendern ohne Variationen verwendet werden [16, 60, 75, 92, 101].

Frakturklassifikation kann generell unter verschiedenen Gesichtspunkten wie Lokalisation, Morphologie, Unfallmechanismus oder für das wachsende Skelett auch im Hinblick auf eine posttraumatische Wachstumsstörung erfolgen [41].

Würde man in eine Klassifikation alle Faktoren, die das Outcome und somit auch eventuelle Wachstumsstörungen beeinflussen, einfließen lassen, so würde diese zu komplex für den klinischen Gebrauch. An eine Klassifikation für den täglichen Gebrauch sind somit andere Ansprüche zu stellen als an eine Klassifikation für die Forschung. Bernstein et al. [16] plädierten dafür, dass eine Fraktur nach zwei Klassifikationen codiert werden sollte, eine für den klinischen Alltag und eine für Forschungszwecke. Colton [36] äußerte, dass dies zu mehr Verwirrung führen würde und dass

eine Klassifikation sehr vielschichtig sein sollte. Die oberen Schichten sollten als Basis für die praktische Arbeit dienen. Von Laer et al. [63] erklärten, dass eine Einteilung sämtlicher Frakturen nach der Wachstumsprognose unmöglich ist, denn diese sei von allzu unterschiedlichen Parametern abhängig. Eine Einteilung nach therapeutischen Richtlinien zu formulieren sei ebenso wenig praktikabel, da sich die Therapie einerseits nach der Lokalisation der Fraktur und deren Dislokationsausmaß, andererseits nach individuellen, sozialen und wirtschaftlichen Bedürfnissen und Gegebenheiten richten muss. Es bleibt also lediglich die morphologische Beschreibung, um im Disput in der Literatur, in Dokumentationen und dergleichen vergleichsweise zu wissen, wovon man redet.

Jede Klinik, die sich mit Frakturen beschäftigt, hat nur eine gewisse Anzahl einer bestimmten Verletzung in ihrem Patientengut. Insbesondere bei den selteneren Frakturen kommen so nur geringe Fallzahlen zusammen. Zum Erkennen der Charakteristik einzelner Frakturen ist es notwendig, Multicenterstudien durchzuführen, um so Daten beispielsweise zur Altersverteilung, zum Unfallhergang und zum Auftreten von Wachstumsstörungen zu erhalten. Für die Qualitätssicherung und klinische Forschung ist es notwendig, Frakturen zu klassifizieren, um sie im Rahmen von Multicenterstudien vergleichbar zu machen und Behandlungsregime zu evaluieren, Leitlinien für die Therapie bestimmter Frakturen aufstellen zu können und die Prognose einer bestimmten Verletzung ermitteln zu können. Es können keine Hierarchien wie Wachstumsprognose, Behandlung, die lebensalterabhängig variiert, Schwere der Verletzung und Alter einfließen, nur die Lokalisation und Morphologie der Fraktur [9, 36, 60].

„A classification is useful only if it considers the severity of the bone lesion and serves as a basis for treatment and for the evaluation of the result. To classify a fracture one must know its morphological characteristics and its location. The coding of the morphology and the location must be simple and easy to memorize” [75]

Die ideale Frakturklassifikation gibt es weder für Kinder noch für Erwachsene und es wird sie auch in absehbarer Zeit nicht geben. Die Gründe hierfür sind, dass eine einzelne Verletzung heutzutage nicht nur eine einzelne anerkannte Behandlungsmöglichkeit zulässt, dass auch eine einzelne Verletzung bei einem Individuum in den Händen eines bestimmten Behandlers so viele Variablen enthält und so einzigartig ist, dass eine Gruppierung sehr schwierig wird und das viele Therapien empirisch

sind und nicht ausreichend geprüft wurden. Würde eine solche Klassifikation existieren, so würde sie zu fundamentalen Änderungen in der Therapiewahl führen, sie würde sich selbst zerstören. Die ideale Frakturklassifikation müsste also auch dynamisch und an Fortschritte in der Entwicklung durch vermehrtes Wissen orientiert sein [36].

Die Tatsache, dass der Wachstumsabschluss zur endgültigen Beurteilung abgewartet werden muss, und die Vielfalt der möglichen Verletzungen in den verschiedenen Altersstufen erlaubt derzeit noch keine Integration von klassifikationsorientierten Therapieempfehlungen im Kindesalter [71]. Eine Klassifikation kann nur ein Kompromiss aus den gestellten Anforderungen sein.

Spezifische Regeln und/oder Richtlinien basierend auf klinisch relevanten diagnostischen Hilfsmitteln sind für eine Klassifikation notwendig. Alle möglichen Frakturen sollen jeweils in nur eine Kategorie passen. Reliabilität und Exaktheit sind die Schlüsselkomponenten einer Frakturklassifikation. Behandlungsmöglichkeiten sollen per se nicht Teil der Definition einer Klassifikationskategorie sein [9].

Bevor eine Klassifikation in den klinischen Gebrauch eingeht und als Grundlage für Studien dienen kann, sollte deren intra- und interindividuelle Reliabilität geprüft werden [30]. Während der Validierung einer Klassifikation sollte der Wert spezifischer klinischer Informationen (z. B. konventionelle Röntgendiagnostik oder Computertomographie) in Bezug auf die Möglichkeit der korrekten Codierung beurteilt werden.

Audigé et al. [9] plädieren für ein dreiphasisches Validierungskonzept:

1. Definition von Klassifikationskategorien und Evaluierung durch Experten in einer Serie von Übereinstimmungsstudien (Reliabilität, Akkuratheit, Ähnlichkeitsverhältnisse)
2. Eine Multicenter-Übereinstimmungsstudie mit einer repräsentativen Gruppe an zukünftigen Nutzern der Klassifikation
3. Prospektive klinische Studie zum Absichern der klinischen Nützlichkeit.

Der Wert einer Klassifikation misst sich anhand ihrer klinischen Bedeutung, Prognosegenauigkeit und der Hilfe bei Behandlungsentscheidungen [9].

### 3 Material und Methoden

Mithilfe der webbasierten MEMdoc Plattform „Orthoglobe“ des Instituts für Evaluative Forschung in Orthopädischer Chirurgie der Universität Bern wurden in dem von Li-La – Licht und Lachen für Kinder in der Medizin – Effizienz in der Medizin e. V. konzipierten Dokumentationssystem die Frakturen der langen Röhrenknochen bei Kindern, die sich im Jahre 2004 in Behandlung der Klinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie des Universitätsklinikums Schleswig-Holsteins, Campus Kiel befanden, dokumentiert. Dieses „Li-La – MEMdoc – Qualitätsdokumentations-System für die Traumatologie des Wachstumsalters“<sup>®</sup> wurde als Qualitätssicherungsinstrument entwickelt. Die Zertifizierung als QS-Verfahren ist eingeleitet.

Einschlusskriterien waren Frakturen der langen Röhrenknochen der Extremitäten (Humerus, Radius, Ulna, Femur, Tibia und Fibula). Der Unfalltag musste im Jahr 2004 liegen und der Patient durfte nicht älter als 16 Jahre sein. Frakturen, die an unterschiedlichen Seiten oder an unterschiedlichen Knochen bei demselben Patienten an einem Unfalltag entstanden, wurden als zwei Frakturen dokumentiert.

Als Vergleichskollektiv wurden die Daten der von LiLa vom 13. Januar bis zum 14. April 2003 durchgeführten Multicenterstudie zur Validierung der Frakturklassifikation und zur Überprüfung der Anwendbarkeit des Dokumentationssystems verwendet. Tabelle 3 nennt die teilnehmenden Kliniken mit dem verantwortlichen Mitarbeiter und dem Leiter der jeweiligen Klinik.

**Tab. 3: An der Pilotstudie beteiligte Kliniken aus Laer LR von et al. (2005) [63]**

	Mitarbeiter	Klinik	Leiter
1.	Bahr, Micha	Kinderchirurgische Universitätsklinik Jena	Prof. Dr. med. Felix Schier
2.	Bartl, Christoph	Unfallchirurgische Universitätsklinik Ulm	Prof. Dr. med. Lothar Kinzl
3.	Gutermuth, Ludwig	Unfallchirurgische Abteilung Kreis Krankenhaus Altötting	Dr. med. Werner Wambach
4.	Hannmann, Torsten	Kinderchirurgische Universitätsklinik Mannheim-Heidelberg	Prof. Dr. med. Lucas Wessel
5.	Knorr, Peter	Kinderchirurgische Universitätsklinik München	Prof. Dr. med. Hans-Georg Dietz
6.	Knösel, Katrin	Kinderchirurgische Universitätsklinik Greifswald	Prof. Dr. med. Joachim Festge
7.	Kosina, Jana	Universitätskinderklinik Bern	Dr. med. Theddy Slongo
8.	Kraus, Ralf	Unfallchirurgische Universitätsklinik Giessen	Prof. Dr. med. Reinhard Schnettler
9.	Lieber, Justus	Kinderchirurgische Klinik Barmherzige Brüder Regensburg	PD Dr. med. Peter Schmittenebecher
10.	Müller, Michael	Klinik für Unfall- und Wiederherstellungs- chirurgie des Universitätsklinikums Schleswig-Holstein, Campus Kiel	PD Dr. med. Heinz-Jürgen Egbers

11.	Pizanis, Antonio	Unfallchirurgische Universitätsklinik Homburg/Saarbrücken	Prof. Dr. med. Tim Pohlemann
12.	Ploss, Carola; Schneidmüller, Dorien	Unfallchirurgische Universitätsklinik Frankfurt	Prof. Dr. med. Ingo Marzi
13.	Weinberg, Annelie	Kinderchirurgische Universitätsklinik Graz	Prof. Dr. med. Michael Höllwarth
14.	Worel, Andreas	Kinderchirurgische Klinik Kinderspital Wildermeth, Biel	Dr. med. Markus Bittel

Eingaben konnten nur nach Autorisierung über Identifikation und Passwort erfolgen. Die Patientendaten wurden anonymisiert. Die Daten werden auf einem zentralen Server gespeichert. Dieser ist durch eine Firewall und Verschlüsselung gegen unbefugten Zugriff geschützt. Der Zugang zum Gebäude des Servers ist ebenfalls gesichert. Die Datenübermittlung erfolgte nach der SSL-128-Bit-Verschlüsselung.

Für die Auswertung der Daten sowie deren graphische Darstellung wurde das Tabellenkalkulationsprogramm Excel 2003 verwendet. Deskriptiv konnten so die qualitativen und quantitativen Variablen als absolute oder relative Häufigkeiten abgebildet und miteinander verglichen sowie die Mittelwerte ermittelt werden.

### 3.1 Aufbau der Dokumentation

Das Dokumentationsprogramm enthält zwei Hauptbögen, das Primärformular und das Nachuntersuchungsformular. Das Primärformular selbst besteht aus fünf einzelnen Bögen, die sich mit den demographischen Daten, dem Unfallhergang, der Fraktur sowie deren Therapie und dem Befund bei der Entlassung aus der Primärbehandlung. Das Nachuntersuchungsformular enthält zwei Bögen zur Anamnese und zu aktuellen Untersuchungsergebnissen. Die einzelnen Unterpunkte sind aus der Tabelle 4 entnehmbar.

**Tab. 4: Aufbau der Dokumentation**

Erster Bogen (primary 2003)	Demographie	Geschlecht, Alter
	Unfallspezifische Daten (admission subform) Frakturdefinition und -klassifikation (fracture dislocation subform)	Unfalltag, Aufnahmezeitpunkt, Unfallort, Begleitverletzungen, Vorerkrankungen Lokalisation, Weichteilverletzungen, Luxation, Art der Fraktur (frische Fraktur, Refraktur, pathologische Fraktur), Status der Wachstumsfugen, Dislokation, Knochensegment
	Therapie (surgery subform)	Datum, Art der Behandlung, andere Prozeduren, Art der Anästhesie/Sedierung
	Entlassung (discharge subform)	Datum, Komplikationen, Immobilisierung, Gehhilfen

Zweiter Bogen (follow-up 2003)	Anamnese und Behandlung (clinical assessment subform)  Untersuchungsergebnis (axis and function subform)	Datum Nachuntersuchung, Intervall, Komplikationen, Sportfähigkeit, Behandlungsdauer, Konsolidierung, ggf. Röntgenbefund Lokalisation, Achsen, Beweglichkeit der umliegenden Gelenke, ggf. Gangbild
-----------------------------------	--	---

### 3.2 Klassifikationen

Die Daten dieser Studie wurden bereits bei der Eingabe nach der LiLa-Frakturklassifikation Vers. 1 dokumentiert. Anhand der Daten wurden die Frakturen nach drei weiteren Klassifikationen, der AO-Frakturklassifikation für Erwachsene, der LiLa-Frakturklassifikation Vers. 2.1 und der AO-Kinderklassifikation der Frakturen der langen Röhrenknochen codiert.

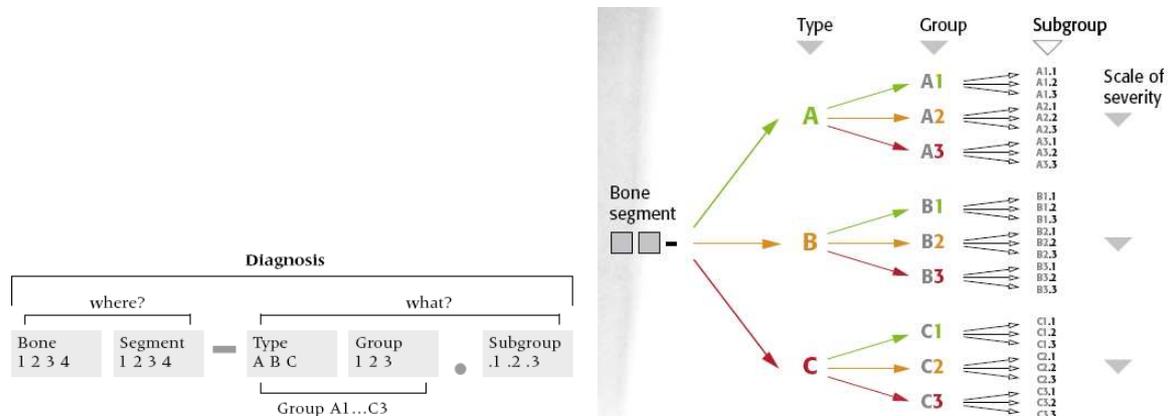
#### 3.2.1 Die AO-Frakturklassifikation für Erwachsene

Anfang der 70er Jahre des letzten Jahrhunderts gab es unzählige Klassifikationen, die sich jeweils nur auf einen bestimmten Skelettabschnitt bezogen. Zu diesem Zeitpunkt wurde der Ruf nach einem einheitlichen und systematischen Frakturklassifikationssystem für das gesamte Skelett des Erwachsenen laut. Ab 1977 begann auf Initiative von Maurice E. Müller (Bern) die Entwicklung einer solchen Klassifikation. Im Laufe der folgenden Jahre erfuhr diese durch Mitwirkung etlicher weiterer Kliniken und Ärzte eine Verfeinerung.

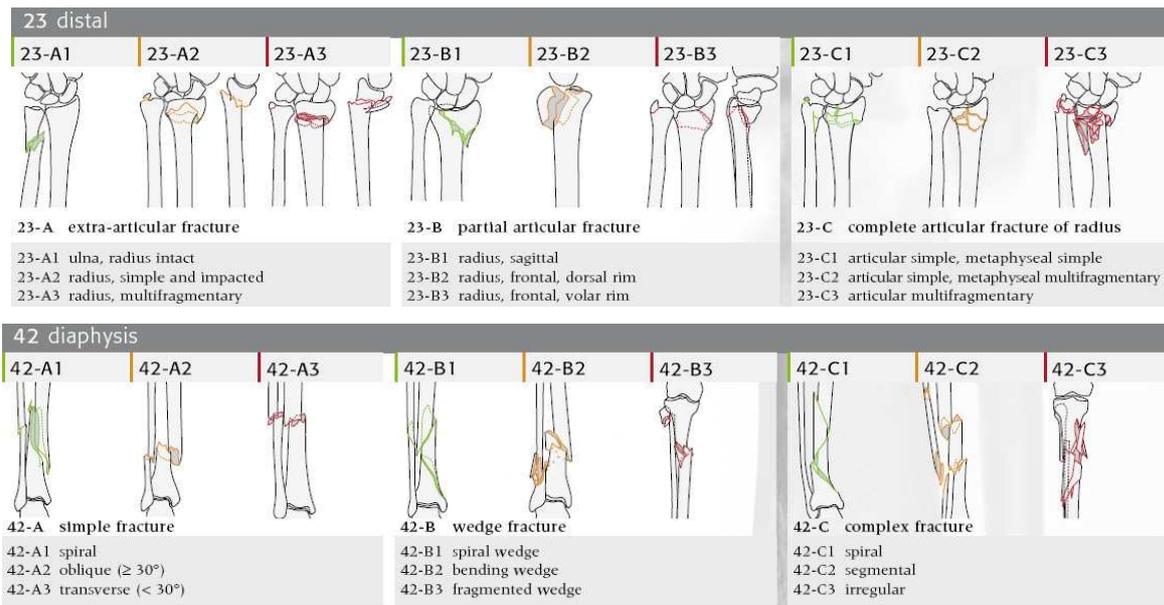
1986 wurde die Frakturklassifikation für Erwachsene von der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen (AO) akzeptiert. 1988 formierte der SICOT (International Society of Orthopaedic Surgery) eine „Presidential Commission for Documentation and Evaluation“ mit Maurice E. Müller als Vorsitzenden. Im selben Jahr erfolgte die Veröffentlichung der „AO Frakturklassifikation“.

Die AO-Frakturklassifikation für Erwachsene ist fünfstellig und besteht aus zunächst zwei Ziffern, die die Lokalisation im Skelett bezeichnen. In der Abbildung 5 ist der Aufbau der Klassifikation schematisch dargestellt. Die erste Ziffer (1-9) bezieht sich auf den Knochen bzw. die Knochengruppe, die zweite (1-3) auf das Segment (Ausnahme Unterschenkel, hier wird der Malleolarbereich als eigenes Segment erklärt und erhält die Gruppe 4). Es folgen ein Buchstabe (A, B oder C) und zwei weitere Ziffern (1, 2 oder 3, dann .1, .2 oder .3), welche die Morphologie charakterisieren (3 Typen, 3 Gruppen und 3 Untergruppen). Mit diesem System nicht klassifi-

zierbare Frakturen kommen in die Gruppe D1. So lassen sich 783, unter Einbeziehung der ergänzenden Codes sogar mehr als 1500, Frakturen mit Hilfe dieses alphanumerischen Codes klassifizieren. Die Klassifikation des Schweregrades erfolgt aufsteigend, wobei in den Schweregrad die zu vermutenden Schwierigkeiten in der Behandlung, die zu erwartenden Komplikationen und auch die Prognose einfließen. Die Komplexität einer Fraktur bezeichnet in diesem Zusammenhang die Anzahl einzelner Fragmente und deren Kontakt zueinander. Eine einfache Fraktur ist charakterisiert durch nur zwei Fragmente. Es kann sich hierbei um Quer- (der Frakturwinkel ist kleiner als 30 Grad), Schräg- (der Frakturwinkel ist größer als oder gleich 30 Grad) oder Spiralfrakturen handeln. Mehrfragmentfrakturen bestehen aus mindestens einem komplett abgetrennten Fragment, hierzu gehören die Stück- und die komplexen Frakturen. Bei Stückbrüchen gibt es nach Reposition einen Kontakt zwischen den Hauptfragmenten. Die Schaltfragmente können intakt oder fragmentiert sein. Bei komplexen Frakturen besteht nach Reposition kein Kontakt zwischen den beiden Hauptfragmenten. Komplexe Frakturen sind Spiral-, segmentierte oder irreguläre Frakturen [75]. Beispiele zeigt die Abbildung 6.



**Abb. 5: Aufbau der AO-Frakturklassifikation für Erwachsene aus Müller ME et al. (1990) [75]**



**Abb. 6: Beispiele AO-Frakturklassifikation für Erwachsene aus Müller ME et al. (1990) [75]**

### 3.2.2 Die LiLa-Klassifikation für Frakturen langer Röhrenknochen beim Kind Vers. 1

Der gemeinnützige Verein Li-La e.V. hat gemeinsam mit dem Institut für Evaluative Forschung in Orthopädischer Chirurgie der Universität Bern eine Dokumentation entwickelt und diese samt der dazugehörigen Klassifikation in einer Pilotphase erprobt und validiert [71].

Im Kindesalter variieren die therapeutischen Konsequenzen für jeden Skelettabschnitt sowie lebensalterabhängig. Eine Wachstumsstörung kann nicht zuverlässig prognostiziert werden, daher erscheint zunächst eine allgemeine Frakturteilung sinnvoll, welche sich auf die morphologische Deskription und anatomische Lokalisation der Läsion beschränkt. Es kann also keine Hierarchie nach Schweregrad der Verletzung und der daraus folgenden Therapie aufgestellt werden, wie es in der AO-Klassifikation für Erwachsene durch die Einteilung in A, B und C-Verletzungen umgesetzt wurde [41, 60]. Eine Klassifikation der Frakturen im Wachstumsalter muss folgende Merkmale aufweisen:

- Kinderspezifisch
- Exakt vergleichbar
- Hinreichend differenzierbar
- Einfach anzuwenden
- Sich selbst erklären [63]

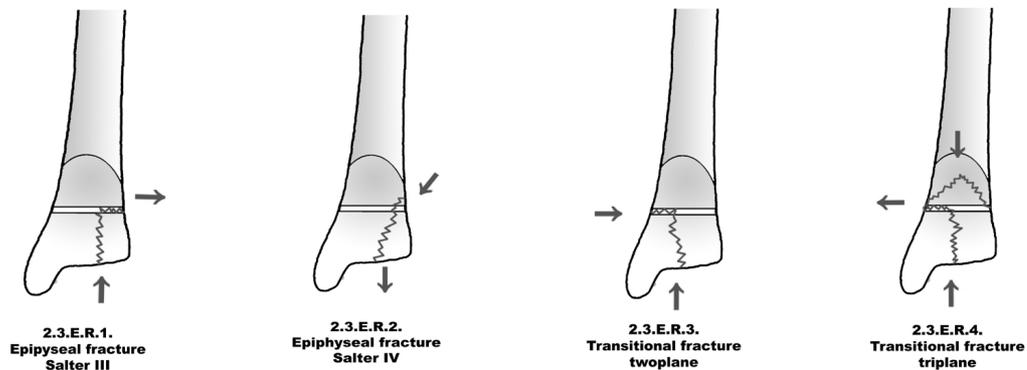
Der Beginn der vier- bis (bei paarigen Knochen) fünfstelligen Klassifikation bezeichnet in Anlehnung an die AO-Frakturklassifikation der Erwachsenen [75]

zunächst den Knochen, dann das Segment. Es folgt als Buchstabe die Segmenteinteilung des wachsenden Knochens. Die abschließende Ziffer beschreibt die Frakturmorphologie. Bei den Frakturen im Bereich der Epiphysenfuge wurden die Frakturen, welche den metaphysären Teil der Fuge ohne Proliferationspotenz betreffen, der Metaphyse zugeordnet (Salter und Harris I und II), die übrigen der Epiphyse. Tabelle 5 gibt einen schematischen Überblick.

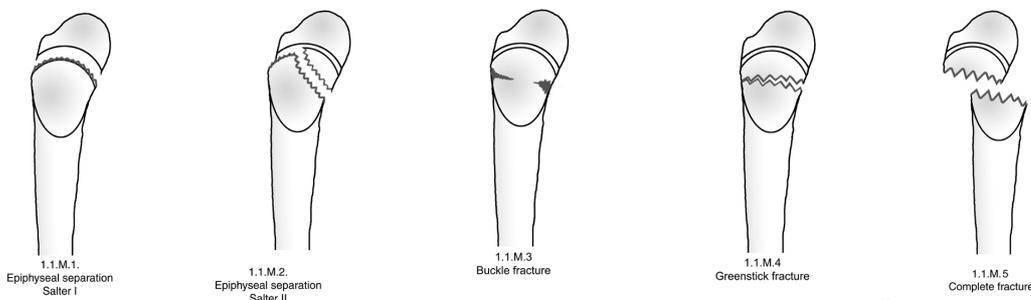
**Tab. 5: Die LiLa-Klassifikation Vers. 1**

Knochen	Segment	Wachstumsspezifische Identifikation	Morphologie
1 Oberarm	1 proximal	E Epiphyse	<b>1-9</b>
2 Unterarm	2 Mitte	M Metaphyse	
3 Oberschenkel	3 distal	D Diaphyse	
4 Unterschenkel			

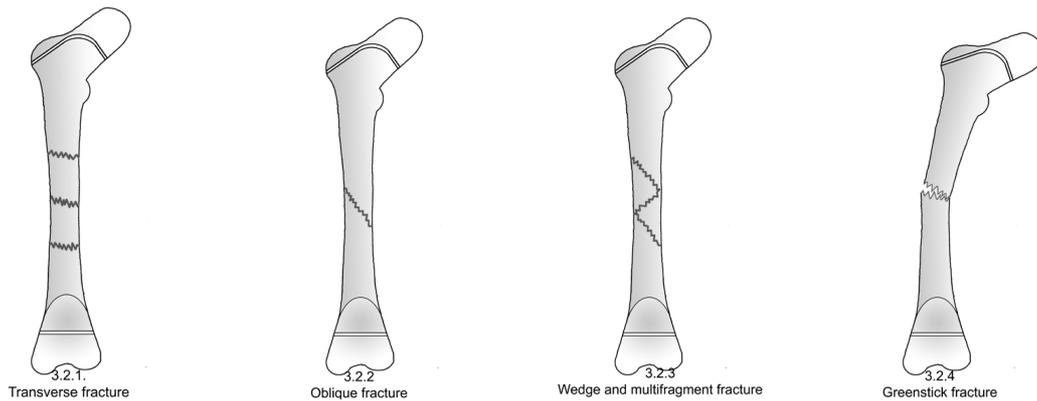
Die folgenden Abbildungen 7-9 zeigen schematisch Beispiele der angewandten Klassifikation an ausgewählten Skelettabschnitten.



**Abb. 7: Frakturen der distalen Radiusepiphyse**



**Abb. 8: Frakturen der proximalen Humerusmetaphyse**

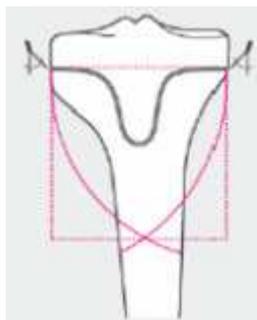


**Abb. 9: Frakturen des Femurschaftes**

Aufgrund spezieller Frakturen bestehen vier Ausnahmen:

- Metaphysäre Frakturen des distalen Humerus
- Epiphysäre Frakturen des distalen Humerus
- Olekranonfrakturen
- Schenkelhalsfrakturen [63]

Die Ausdehnung der Metaphyse wird hierbei, wie bei der AO-Klassifikation für Erwachsene, durch ein Quadrat, dessen Seitenlänge durch die größte Ausdehnung der betreffenden Epiphysenfuge in einer strengen a.p.-Röntgenaufnahme gegeben wird, festgelegt (s. Abbildung 10). Bei paarigen Knochen beträgt die Seitenlänge des Quadrates die Ausdehnung beider Epiphysenfugen. Eine Fehlbestimmung kann durch nicht korrekte a.-p.-Aufnahmen bzw. durch Angulation des Knochens in der frontalen Ebene entstehen.



**Abb. 10: „Metaphysenquadrat“**

Eine Ausnahme bildet das proximale Femur, welches mit einer Linie am Unterrand des Trochanter minor abschließt.

### 3.2.3 LiLa-Klassifikation für Frakturen der langen Röhrenknochen beim Kind Version 2.1

Nach der Multicenterstudie 2003 ist die LiLa-Klassifikation aufgrund der Ergebnisse geändert und ergänzt worden. Die Dokumentation sowie die Klassifikation sind als Version 2.1 mit einem Online-Dokumentationssystem beim Institut für Evaluative Forschung in Bern sowie auf der Webseite von Li-La ([www.li-la.org](http://www.li-la.org)) einsehbar [71]. Der nun fünf- bis sechsstellige Code beginnt wieder mit einer Ziffer für den betreffenden Knochen (1-4), gefolgt von einer Ziffer für die Lokalisation im Knochen (1-3). An dritter Stelle steht nun aufgrund der therapeutischen Relevanz entweder ein a für das Gelenk oder ein s für den Schaft (die Metaphyse wird zum Schaft gezählt). Die nächste Ziffer beschreibt die Morphologie der Fraktur (1-5), jeweils für Gelenk- und Nichtgelenkfrakturen separat, die fünfte Stelle das Dislokationsausmaß (0-2). An sechster Stelle steht bei einer isolierten Ulnafraktur ein U, bei einer isolierten Fibulafraktur ein F (s. Tabelle 6). Beispiele zeigt die Abbildung 11.

**Tab. 6: LiLa-Klassifikation Vers. 2.1**

Knochen	Segment	Lokalisation	Morphologie	Dislokationsausmaß	Paariger Knochen
1 Oberarm	1 proximal	a Gelenk	1-5	0 undisloziert	U Ulna
2 Unterarm	2 Mitte	s Schaft		1 tolerabel	F Fibula
3 Oberschenkel	3 distal			2 nicht tolerabel	
4 Unterschenkel					

Die Morphologie für die Gelenkfrakturen wird wie folgt codiert:

- 1 – epiphysäre Fraktur (Salter III)
- 2 – epiphysäre Fraktur mit metaphysärem Keil (Salter IV)
- 3 – twoplane fracture
- 4 – triplane fracture
- 5 – andere

Die Morphologie für die Schaftfrakturen wird wie folgt codiert:

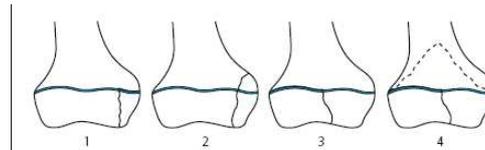
- 1 – Epiphysenlösung mit oder ohne epiphysären Keil (Salter I und II)
- 2 – metaphysär: Grünholz- oder Wulstfraktur, Stauchung  
diaphysär: Grünholzfraktur oder bowing fracture
- 3 – komplette Fraktur (Quer-, Schräg- oder Torsionsfraktur)
- 4 – Mehrfragmentfraktur
- 5 – andere

Die einzige Ausnahme bilden bei dieser Klassifikation die Frakturen des distalen Humerus (1.3.a):

- 1 – Condylus-radialis-Fraktur
- 2 – Y-Fraktur
- 3 – Condylus-ulnaris-Fraktur
- 4 – /
- 5 – andere

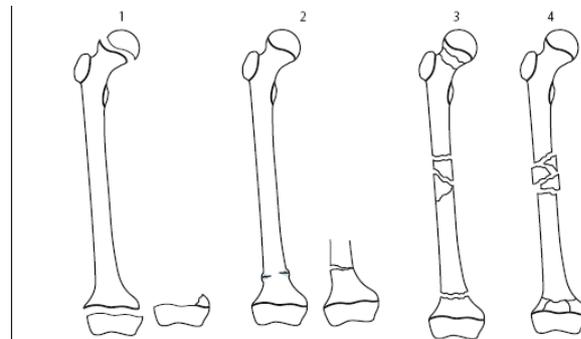
3.3.a.1-5.0-2.

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



3.1-3.s.1-5.0-2.

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



**Abb. 11: Beispiele der LiLa-Klassifikation für Frakturen der langen Röhrenknochen beim Kind Vers. 2.1**

### 3.2.4 Die AO-Kinderklassifikation der Frakturen der langen Röhrenknochen

Slongo et al. [92] stellten als Mitglieder der AO Paediatric Expert Group (PAEG) in Zusammenarbeit mit der AO Investigation und Documentation (AOCID) sowie der International Working-Group for Paediatric Traumatology (IAGKT) 2006 die auf Veranlassung der AO entwickelte „AO pediatric comprehensive classification of long bone fractures“ vor. Sie wurde mit Hilfe des AO Classification Supervisory Committee einem strikten Validierungsprozess unterzogen [71, 92, 93].

Diese Klassifikation folgt den Prinzipien der AO-Erwachsenen-Frakturklassifikation und integriert die meisten für Kinder relevanten bestehenden Klassifikationssysteme. Sie orientiert sich an der Lokalisation und Morphologie der Fraktur. Die Beurteilung erfolgt anhand der konventionellen anterior-posterioren und lateralen Unfallbilder. Auch hier beginnt der Code mit einer Ziffer für den Knochen oder das Knochenpaar und einer zweiten Ziffer für das Segment des Knochens, genau wie bei der

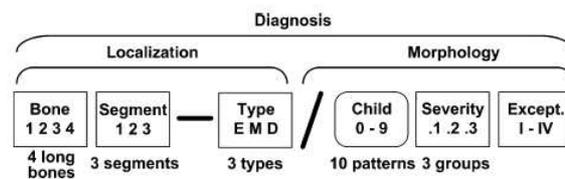
Erwachsenenklassifikation. Malleolarfrakturen in Kindesalter werden als distale Tibiafrakturen klassifiziert. An der dritten Stelle folgt die Bezeichnung der Epiphyse, Metaphyse oder Diaphyse. Nach einer Studie von Audigé et. al., die 2004 publiziert wurde, hat sich die Definition des Metaphysenquadrates für diese Klassifikation geändert. Bei paarigen Knochen wird das Quadrat auf beide Knochen ausgedehnt. Dadurch konnte die Exaktheit deutlich verbessert werden. Es folgen die Ziffern 0-9 für zehn unterschiedliche morphologische Ausprägungen. An fünfter Stelle steht der Schweregrad von 1-3 (einfach, mehrfragmentär oder komplex). Bei bestimmten Frakturen (suprakondyläre Humerusfrakturen, Radiusköpfchenfrakturen, Schenkelhalsfrakturen) folgt dann ein ergänzender Code für die Dislokation. Die suprakondylären Humerusfrakturen werden nach der Klassifikation von von Laer eingeteilt [8, 92, 94].

Die Morphologie wird für jede Lokalisation gesondert angegeben.

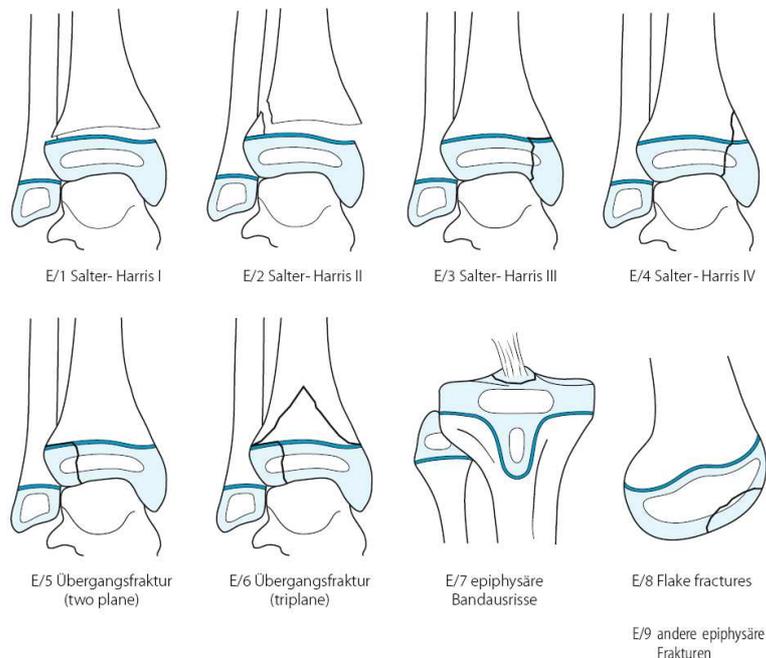
- Epiphyse:
- E/1 Salter-Harris I
  - E/2 Salter-Harris II
  - E/3 Salter-Harris III
  - E/4 Salter-Harris IV
  - E/5 Twoplane fracture (Tillaux-Fraktur)
  - E/6 Triplane fracture
  - E/7 ligamentäre Avulsionsfraktur
  - E/8 flake fracture
  - E/9 andere epiphysäre Frakturen
- Metaphyse:
- M/2 inkomplette Fraktur (Wulst- oder Grünholzfraktur)
  - M/3 komplette Fraktur
  - M/7 ligamentäre Avulsionsfraktur
  - M/9 andere metaphysäre Frakturen
- Diaphyse:
- D/1 bowing fracture
  - D/2 Grünholzfraktur
  - D/3 Toddler's fracture
  - D/4 komplette Querfraktur (<30°)
  - D/5 komplette Schräg-/Spiralfraktur (>30°)
  - D/6 Monteggia
  - D/7 Galeazzi
  - D/9 andere diaphysäre Frakturen

Bei den paarigen Knochen wird bei gleichem Frakturtyp beider Knochen der Code mit dem höheren Schweregrad gewählt, bei Frakturen nur eines der Unterarm- oder Unterschenkelknochen wird dieser durch ein kleines „r“, „u“, „t“ oder „f“ hinter der Ziffer für das Segment bezeichnet. Beispiel: 22r für eine Fraktur des Radius. Weisen die paarigen Knochen unterschiedliche Frakturtypen auf, zum Beispiel eine Radiuschaftquerfraktur mit bowing fracture der Ulna, so sind beide Knochen einzeln zu codieren.

Zusätzliche Definitionen und Regeln: Apophysenfrakturen werden den metaphysären Frakturen zugerechnet, Übergangsfrakturen zählen zu den epiphysären Frakturen. Knöcherne Bandausrisse werden den epiphysären bzw. metaphysären Frakturen zugeordnet [92]. Abbildung 12 zeigt einen schematischen Überblick, Abbildung 13 bildliche Beispiele.



**Abb. 12: AO-Kinderklassifikation aus Slongo T et al. (2006) [92]**



**Abb. 13: Beispiele für die AO-Kinderklassifikation aus Slongo T et al. (2006) [92]**

In einer Multicenterstudie gab es Schwierigkeiten mit der Differenzierung epiphysär und metaphysär sowie mit der Salter-Harris-Klassifikation. Nach dieser Studie

wird überlegt, die drei Kategorien einfach, Keil- und Komplexfrakturen zu zwei Kategorien zusammenzufassen. Die toddler fracture wurde aus der Klassifikation herausgenommen, da sie nicht zuverlässig zu diagnostizieren ist [93, 94].

### 3.3 Statistik

Im Rahmen der deskriptiven Statistik wurden zu der zu untersuchenden Größe jeweils der Mittelwert und die Standardabweichung, Minimum und Maximum, der Median sowie die 25%- und 75%-Perzentile berechnet.

Die epidemiologischen Daten des Patientenguts wurden ebenso wie die Verteilung der Frakturen nach den einzelnen Klassifikationstypen grafisch in Säulen-, Balken- und Kreisdiagrammen veranschaulicht, die mithilfe des Tabellenkalkulationsprogrammes Excel 2003 erstellt wurden.

## 4 Ergebnisse

Im Jahre 2004 wurden in der Klinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie des Universitätsklinikums Schleswig-Holstein, Campus Kiel 201 Kinder mit Frakturen der langen Röhrenknochen ambulant oder stationär behandelt. Nachkontrolliert wurden hiervon 151 Patienten (75,12%).

Das Vergleichskollektiv besteht aus 695 Kindern. Nachkontrollen erfolgten in 446 Fällen (64,17%).

### 4.1 Alters- und Geschlechterverteilung

Mit 10,45% waren die meisten Kinder zum Zeitpunkt des Unfalls im eigenen Patientengut 8 Jahre alt. Weitere Altersgipfel fanden sich bei 12, 10 und 7 Jahren, wie der Abbildung 14 zu entnehmen ist.

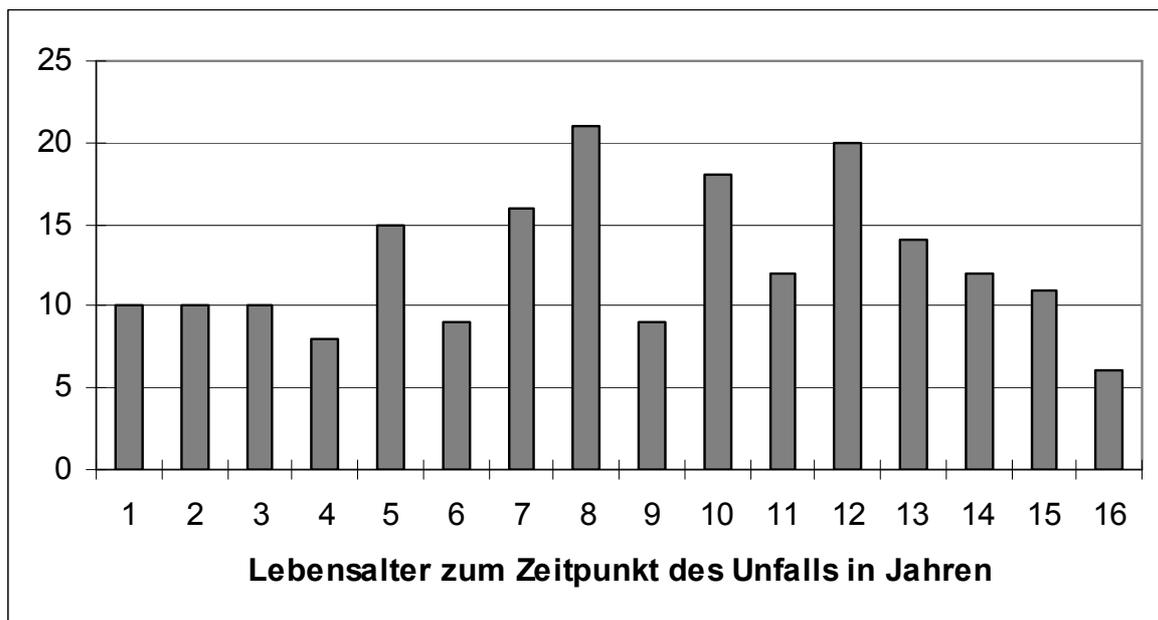


Abb. 14: Altersverteilung in absoluten Zahlen eigenes Patientengut 2004

Im Vergleichskollektiv findet man den Altersgipfel bei 12 Jahren. Weitere Maxima ergeben sich bei 13, 8 und 5 Jahren (s. Abbildung 15).

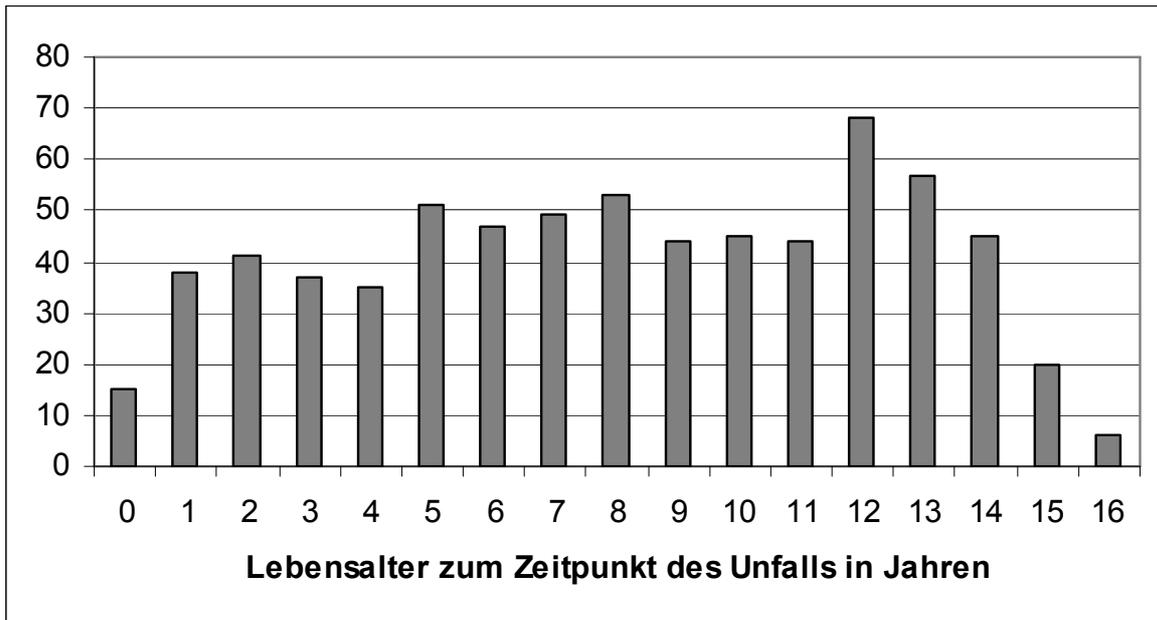


Abb. 15: Altersverteilung Vergleichskollektiv

Bei der Geschlechterverteilung zeigten sich in beiden Kollektiven ähnliche Ergebnisse, in Abbildung 16 dargestellt. Auf 2 Extremitätenfrakturen bei Mädchen kamen 3 bei den Jungen (Verhältnis weiblich: männlich 1:1,5).

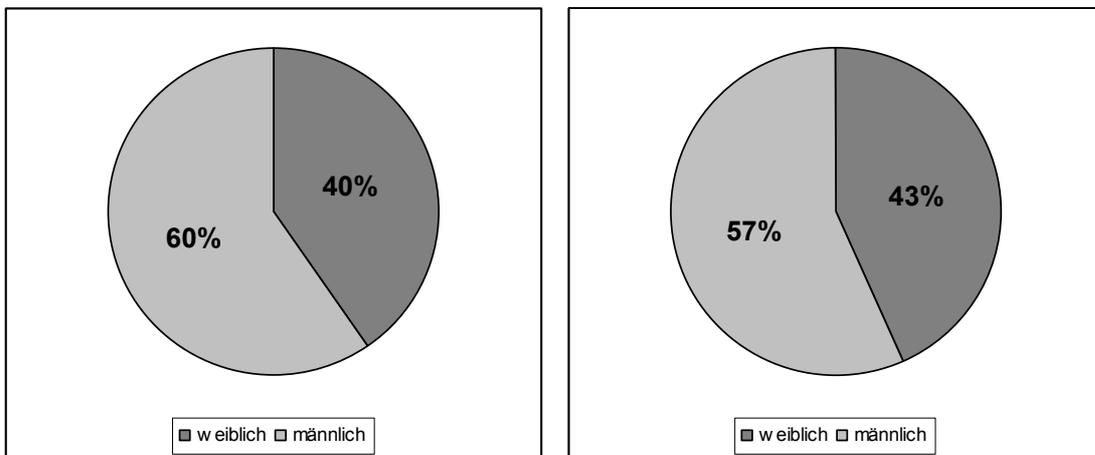


Abb. 16: Geschlechterverteilung eigenes Patientengut 2004 (links) und Vergleichskollektiv (rechts)

Aus der Abbildung 17 geht hervor, dass bei der Aufstellung der Geschlechterverteilung nach Alter das männliche Geschlecht mit den Ausnahmen der 5-, 8- und 11jährigen überwog. Auffällig ist, dass ab einem Alter von 13 Jahren die Jungen deutlich häufiger betroffen sind, während die Gesamtzahl an Frakturen in dieser Altersgruppe sinkt (s. Abbildung 18).

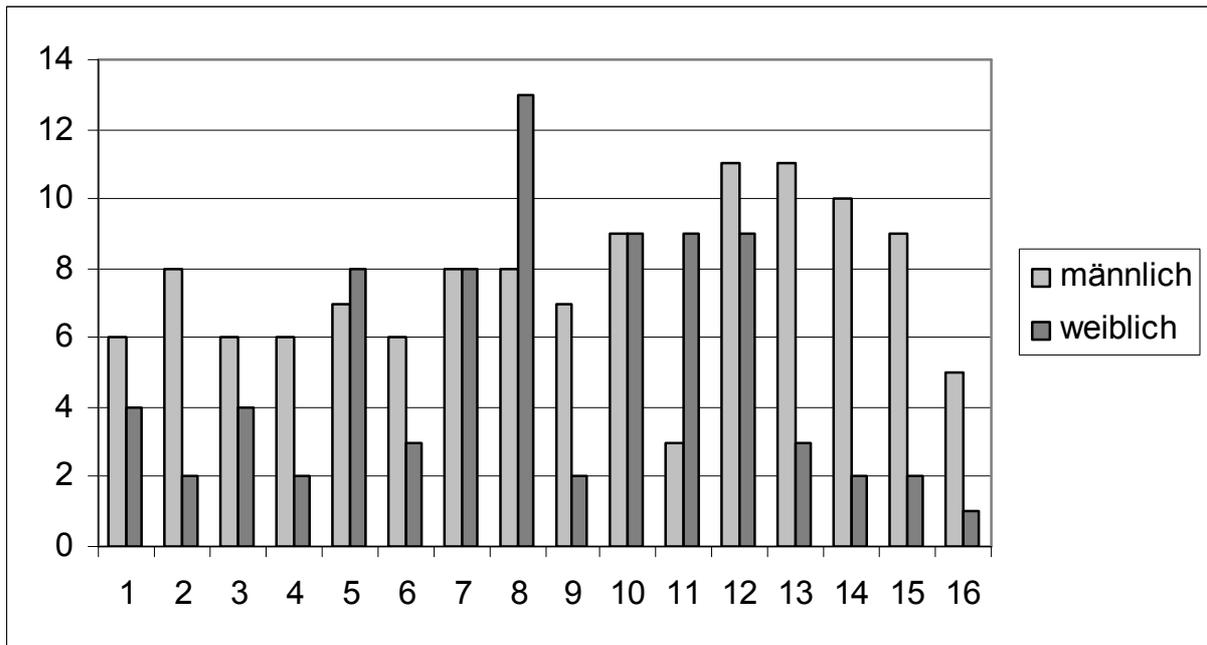


Abb. 17: Geschlechterverteilung nach Alter eigenes Patientengut 2004

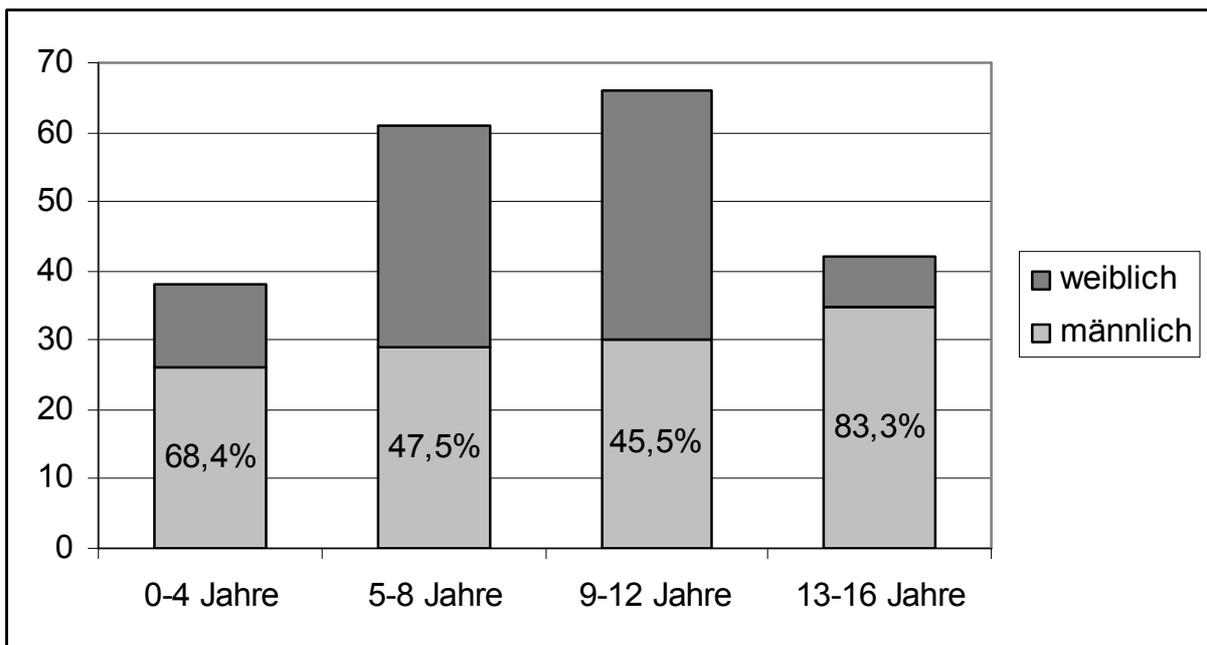


Abb. 18: Geschlechterverteilung nach Altersgruppen eigenes Patientengut 2004

Im Vergleichskollektiv überwog das weibliche Geschlecht bei 0, 3, 5 und 11 Jahren, ansonsten dominierte auch hier das männliche Geschlecht. Bei der Geschlechterverteilung nach Altersgruppen zeigte sich ebenfalls bei einem Rückgang der Gesamtzahl bei den 13-16jährigen ein deutliches Überwiegen der Jungen (Abbildungen 19 und 20).

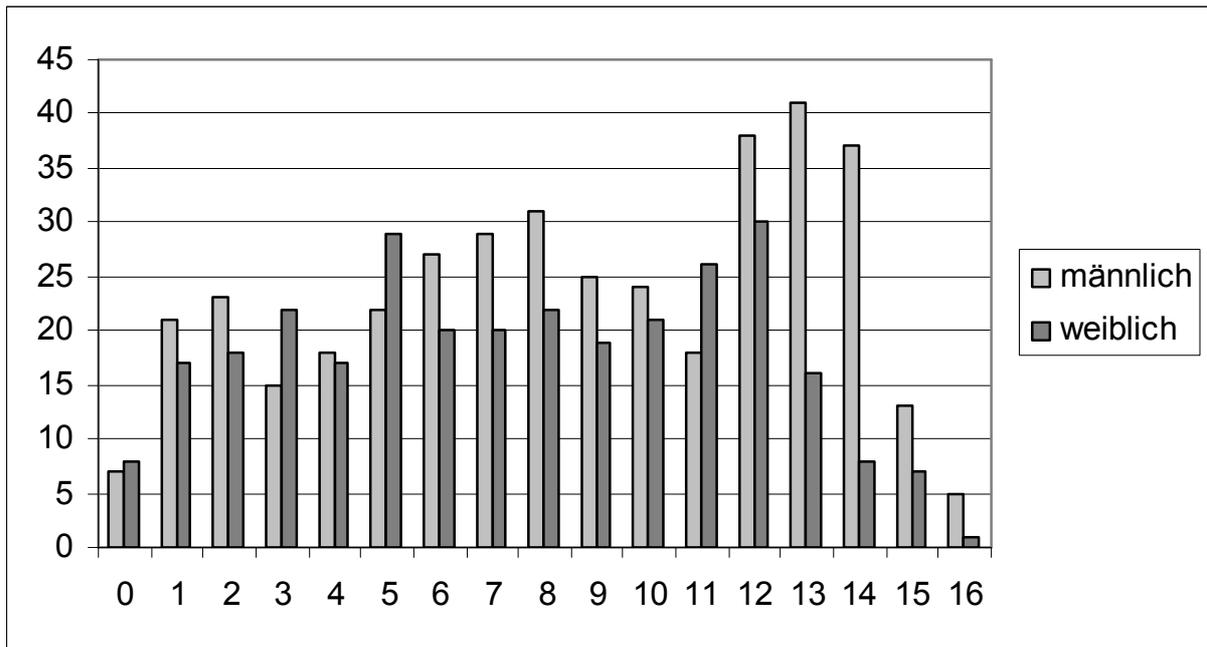


Abb. 19: Geschlechterverteilung nach Alter Vergleichskollektiv

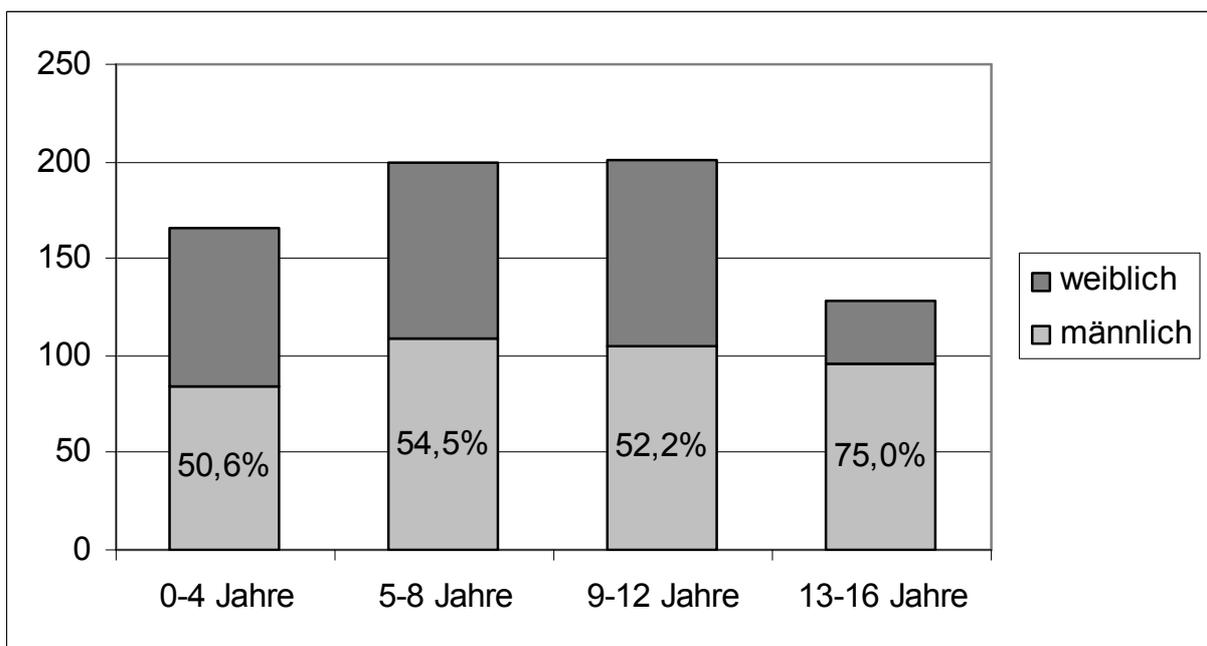
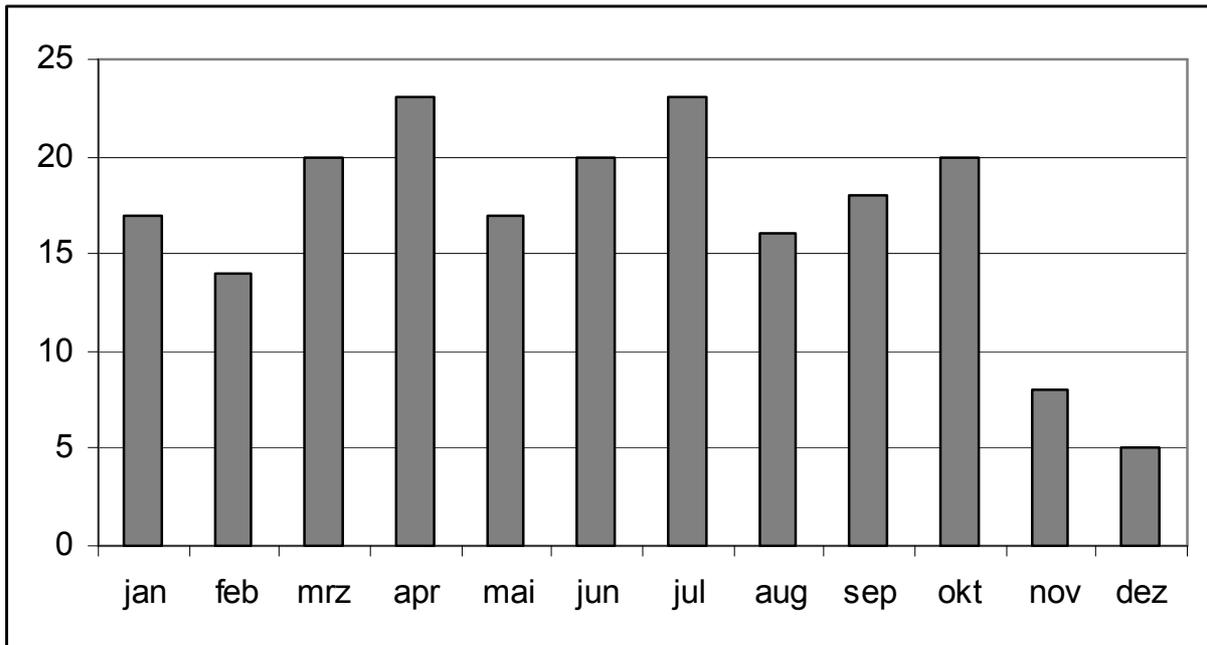


Abb. 20: Geschlechterverteilung nach Altersgruppen Vergleichskollektiv

#### 4.2 Monatliche Frequenzen

Die meisten Unfälle im eigenen Patientengut ereigneten sich im April und Juli (je 23), die wenigsten im November (8) und Dezember (5), im Balkendiagramm in Abbildung 21 ist dies ersichtlich.



**Abb. 21: Anzahl der Frakturen in den einzelnen Monaten**

#### 4.3 Unfallhergang

Frakturen der langen Röhrenknochen im eigenen Patientengut im Jahre 2004 ereigneten sich zu etwa gleichen Teilen zu Hause, beim Sport, auf dem Spielplatz und in der Schule bzw. im Kindergarten wie die Tabelle 7 und die Abbildung 22 verdeutlichen. Verkehrsunfälle fielen mit 10,5% nur gering in das Gewicht. Hier handelte es sich in den meisten Fällen um Fahrradunfälle, in 2 Fällen um Mofafahrer.

**Tab. 7: Unfallhergang eigenes Patientengut 2004**

Unfallhergang	Gesamt	Prozent
zu Hause	50	24,9
Sport	46	22,9
Spielplatz	44	21,9
Schule und Kindergarten	39	19,4
Verkehrsunfall Fahrer	17	8,5
Verkehrsunfall Fußgänger	3	1,5
Verkehrsunfall Insasse	1	0,5
landwirtschaftlicher Unfall	1	0,5
Gesamtergebnis	201	100,0

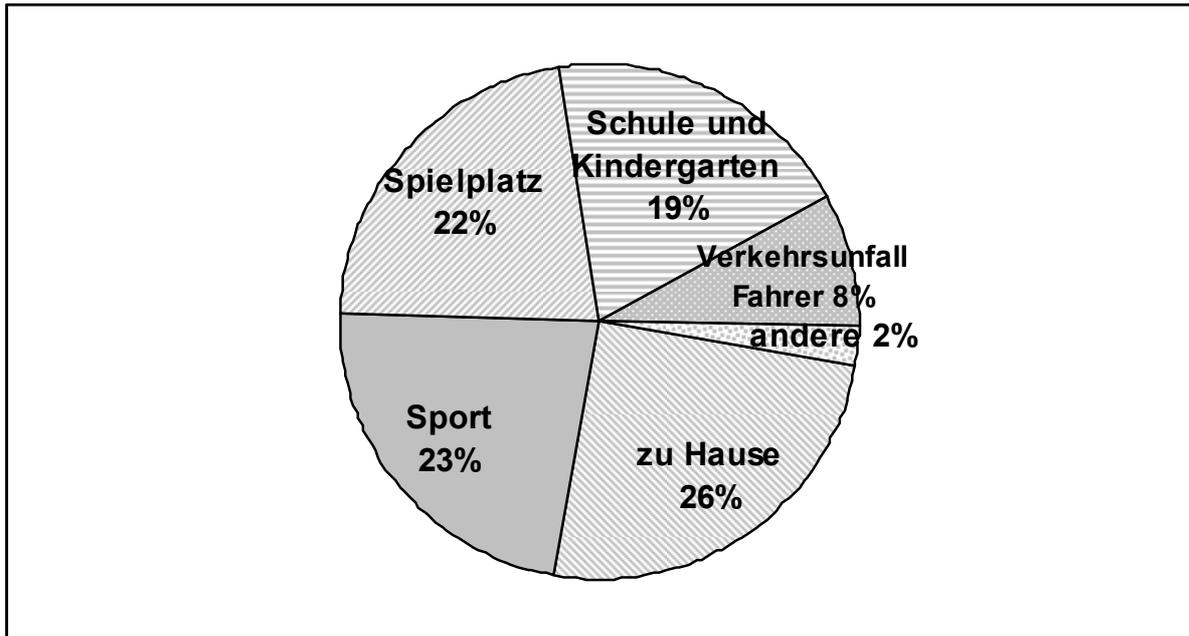


Abb. 22: Unfallhergang eigenes Patientengut 2004

Im Vergleichskollektiv nahmen die Sportunfälle deutlich den Hauptanteil der Unfallhergänge ein (s. Tabelle 8 und Abbildung 23). Während häusliche Unfälle und Spielplatzunfälle in einem vergleichbaren Maße auftraten, waren die Schulunfälle geringer vertreten. Dies mag daran liegen, dass Unfälle von den Studienteilnehmern unterschiedlich bewertet und kategorisiert werden. Man kann Fahrradfahren als Sport oder als Verkehrsunfall Fahrer kodieren.

Tab. 8: Unfallhergang Vergleichskollektiv

Unfallhergang	Anzahl	Prozent
Sport	296	42,5
zu Hause	161	23,1
Spielplatz	128	18,4
Schule und Kindergarten	67	9,6
Verkehrsunfall Fußgänger	15	2,2
Verkehrsunfall Insasse	9	1,3
Verkehrsunfall Fahrer	6	0,9
Andere	4	0,6
landwirtschaftlicher Unfall	4	0,6
Kindesmisshandlung	3	0,4
kein Unfall	2	0,3
Gesamtergebnis	696	100,0

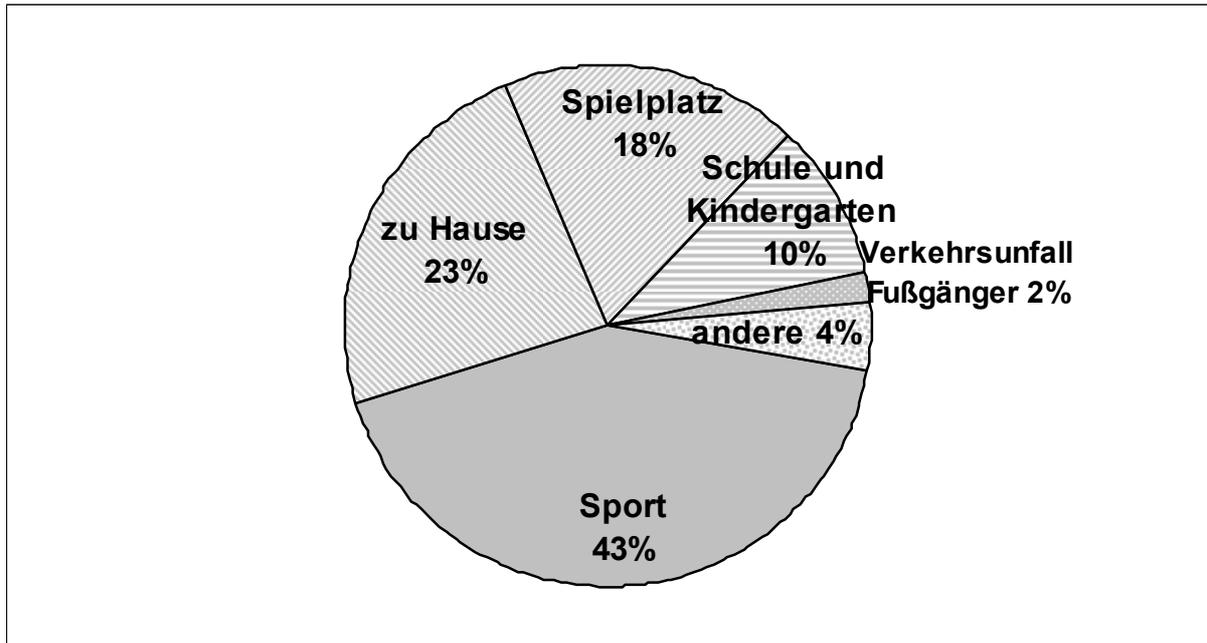


Abb. 23: Unfallhergang Vergleichskollektiv

Bei den Unfallhergängen nach Altersgruppen sortiert wie in Abbildung 24 fällt deutlich die Prävalenz der häuslichen Unfälle in der Altersgruppe der unter Vierjährigen auf (65,8%). Während bei den 9-12jährigen die Sportunfälle (45,8%) dominieren, halten sich bei den 5-8jährigen und bei den 13-16jährigen die Spielplatz- und Schulunfälle (31,1% und 26,2%) bzw. die Schul- und Sportunfälle (27,9% und 25,6%) in etwa die Waage.

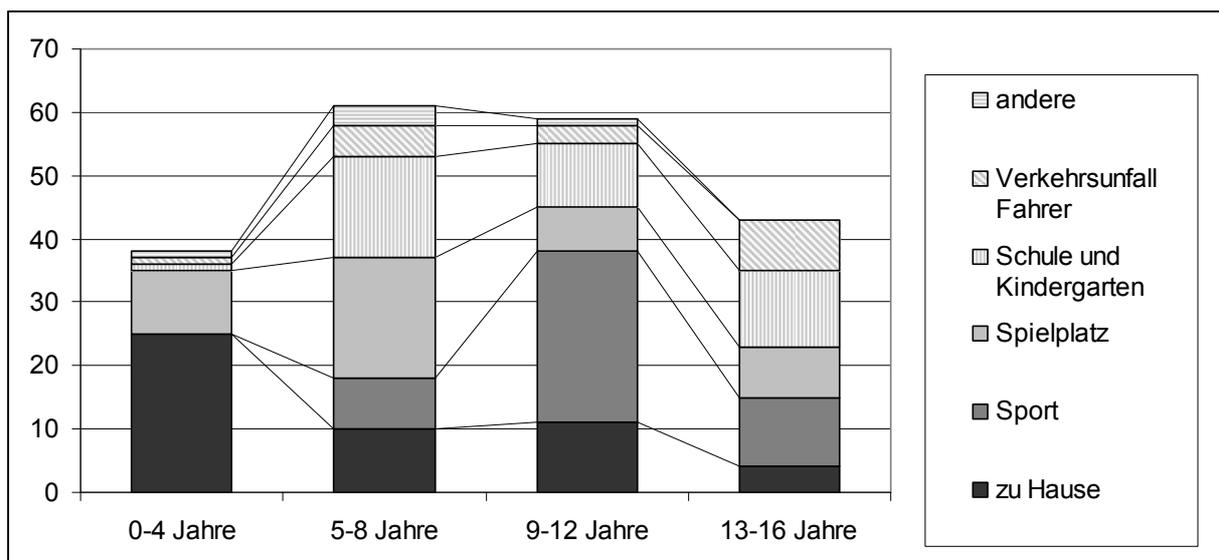


Abb. 24: Unfallhergang nach Altersgruppen eigenes Patientengut 2004

Auch im Vergleichskollektiv stehen bei den bis Vierjährigen die häuslichen Unfälle mit 54,8% an erster Stelle, der Abbildung 25 zu entnehmen. Sportunfälle sind die

häufigsten Ursachen bei den übrigen Gruppen (5-8 Jahre 36%, 9-12 Jahre 56,2%, 13-16 Jahre 72,7%)

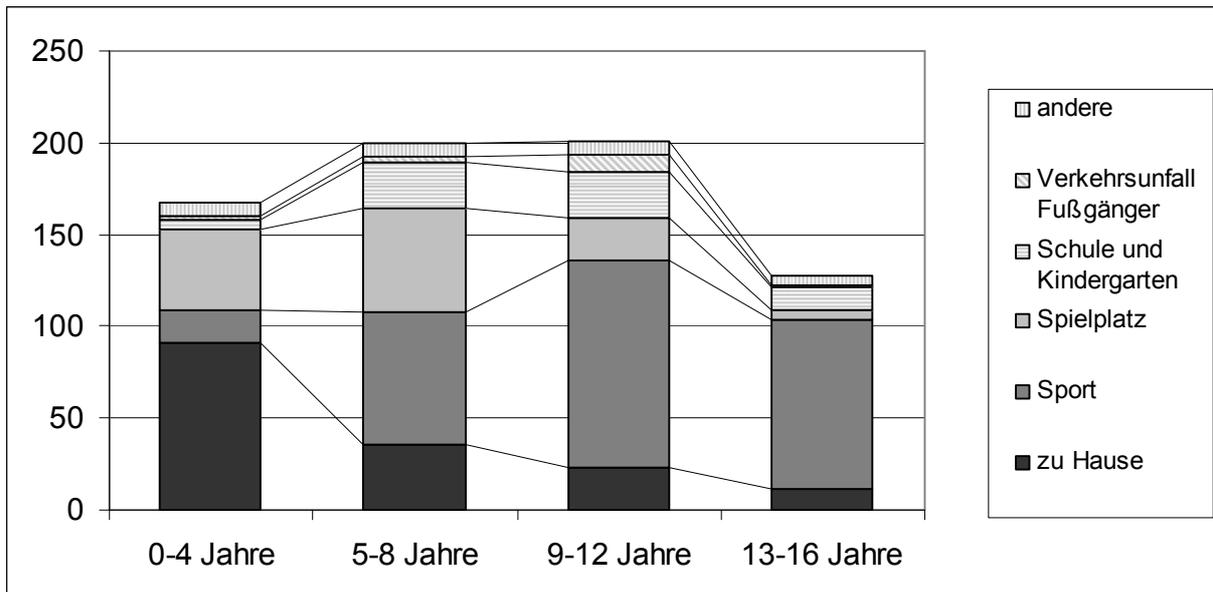


Abb. 25: Unfallhergang nach Altersgruppen Vergleichskollektiv

#### 4.4 Begleitverletzungen/Vorerkrankungen

Begleitverletzungen traten in unserem Patientengut bei 15 Kindern (7,46%) auf. Es handelte sich in 6 Fällen um Kopfverletzungen, 1 Kind hatte zusätzlich Mittelgesichtsverletzungen, bei einem Patienten bestand zusätzlich ein Bauchtrauma, 6 Kinder hatten auch Weichteilverletzungen an anderen Lokalisationen und ein Kind erlitt zusätzlich eine Brustwirbelsäulenprellung.

12 Kinder (5,97%) hatten zusätzlich Haut- oder Weichteilverletzungen im Frakturbereich. 1 Kontusion, zwei Abschürfungen, 6 erstgradig offene Frakturen, hiervon 5 am Unterarmschaft und eine am distalen Unterschenkel, eine höhergradig offene Fraktur am proximalen Unterarm, eine Verletzung der lokalen Muskulatur und eine traumatische Nervenverletzung.

Im Vergleichskollektiv hatten 37 Kinder (5,32%) Begleitverletzungen. 20 Patienten zogen sich zusätzlich eine Kopfverletzung zu, 7 hatten Mittelgesichtsverletzungen, bei 2 Kindern bestanden Verletzungen weiter peripher, 8 Weichteilverletzungen waren zu finden.

50 Kinder (7,19%) hatten zusätzlich Haut- und Weichteilverletzungen im Bereich der Fraktur. In 28 Fällen handelte es sich um Kontusionen, 11 Abschürfungen, 8 waren erstgradig offene Frakturen, hiervon 2 am Unterarmschaft, 5 am Unterschen-

kelschaft und eine Femurschaftfraktur, eine höhergradig offene Fraktur am Unterschenkelschaft, 2 Nervenverletzungen und eine ventrale Syndesmosenruptur.

Kompartmentsyndrom sowie Gefäßverletzungen fanden sich bei keinem Kind.

8 der eigenen Kinder (3,98%) hatten weitere Frakturen, 2 Unterarmfrakturen, eine Femurfraktur, 2 Beckenfrakturen, 2 Frakturen im Handskelett und eine im Fußskelett.

Im Vergleichskollektiv fanden sich 34 (5,04%) weitere Frakturen, 2 Humerusfrakturen, 22 Unterarmfrakturen, 2 Femurfrakturen, 2 Unterschenkelfrakturen, 2 Frakturen im Fußskelett, 2 Claviculafrakturen, ein Schädelbruch und einmal Rippenfrakturen. Ein Kind hatte zusätzlich Mittelgesichts- und Fußwurzelfrakturen.

Handelte es sich um Begleitfrakturen, die ebenfalls in die Studie miteinfließen, so sind diese als neuer Fall dokumentiert.

Bei 10 unserer Kinder waren Vorerkrankungen bekannt (4,98%). Es handelte sich hierbei um ein Kind mit Mukoviszidose, eines hatte einen Hirntumor, 3 eine vorherige Fraktur, 2 eine Osteogenesis imperfecta, 2 eine metabolische Erkrankung und eine lokale Knochenkrankung.

Im Vergleichskollektiv fanden sich in 25 (3,60%) Fällen Vorerkrankungen, 7 hatten bereits zuvor eine Fraktur erlitten, bei 3 Kindern war eine Osteogenesis imperfecta bekannt, 1 Kind mit Arthrogrypose, eines mit Zerebralparese, eines mit einer metabolischen Erkrankung und 3 Kinder mit lokalen Knochenpathologien. 3 Kinder waren adipös, bei einem fand sich zusätzlich eine Absence-Epilepsie. 2 Kinder waren mental retardiert, eines hatte eine Hörschwäche und bei einem Kind war allergisches Asthma bekannt. Ein Kind hatte zuvor eine Osteomyelitis an einem anderen Knochen und eines ein Waterhouse-Friedrichs-Syndrom sowie eine Faktor-V-Mangel.

#### 4.5 Refraktur/Pathologische Fraktur

In 5 Fällen handelte es sich im Kieler Kollektiv um Refrakturen (2,49%), 1 pathologische Fraktur (0,50%) war aufgetreten.

Im Vergleichskollektiv fanden sich 6 Refrakturen (0,83%) und 7 pathologische Frakturen (1,01%).

#### 4.6 Luxation

Bei den Kieler Kindern fanden sich 6 Luxationsfrakturen, 5 Ellenbogen- und 1 Patellaluxation.

Im Vergleichskollektiv waren 37 Luxationsfrakturen, 1 Schulter- und 2 Ellenbogenluxationen.

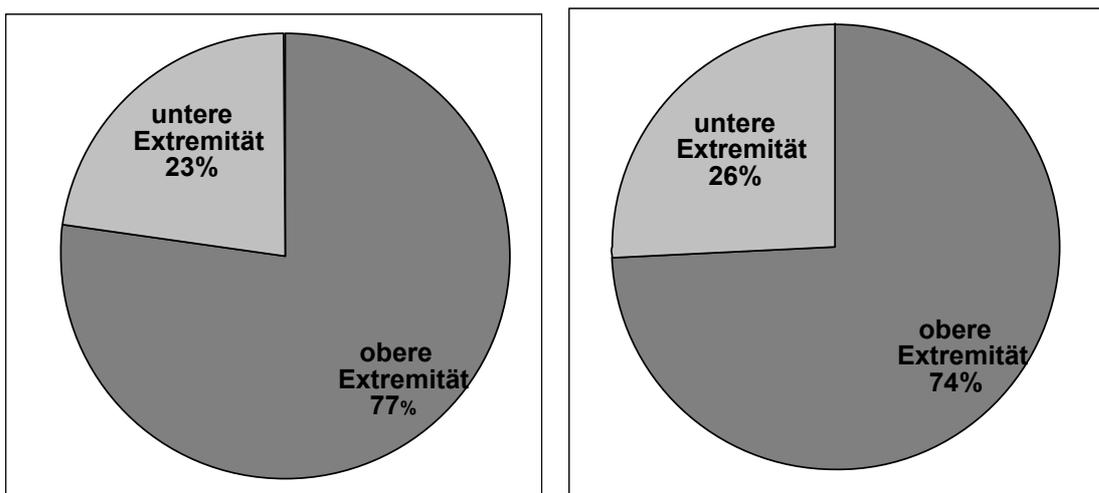
#### 4.7 Status der Wachstumsfugen

7 der in Kiel radiologisch sichtbaren Wachstumsfugen waren prä matur, 4 partiell verschlossen und 4 komplett verschlossen.

Im Vergleichskollektiv waren die angrenzenden Wachstumsfugen in 7 Fällen radiologisch nicht sichtbar, 59 prä matur, 28 partiell und 9 komplett verschlossen. Eine Epiphysenfuge zeigte einen kompletten vorzeitigen Verschluss.

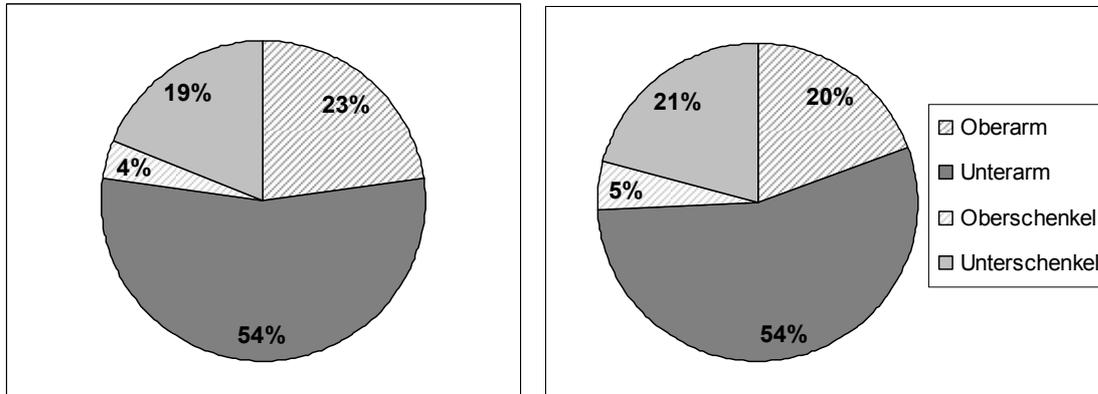
#### 4.8 Lokalisation

Abbildung 26 zeigt die Verteilung auf die Extremitäten. Die Frakturen im Bereich der oberen Extremität überwogen deutlich (77% bzw. 74%).



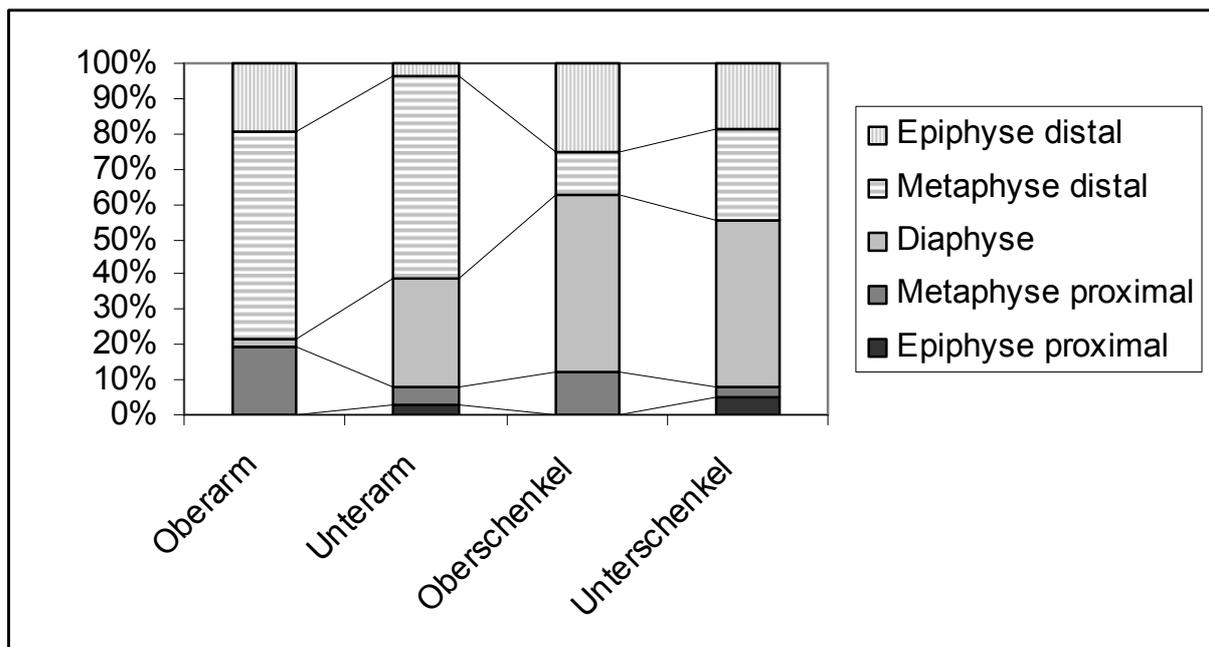
**Abb. 26:** Verteilung auf die Extremitäten eigenes Patientengut 2004 (links) und Vergleichskollektiv (rechts)

Auf die einzelnen Regionen bezogen zeigte sich der jeweils körperferne Extremitätenabschnitt häufiger betroffen (s. Abbildung 27).

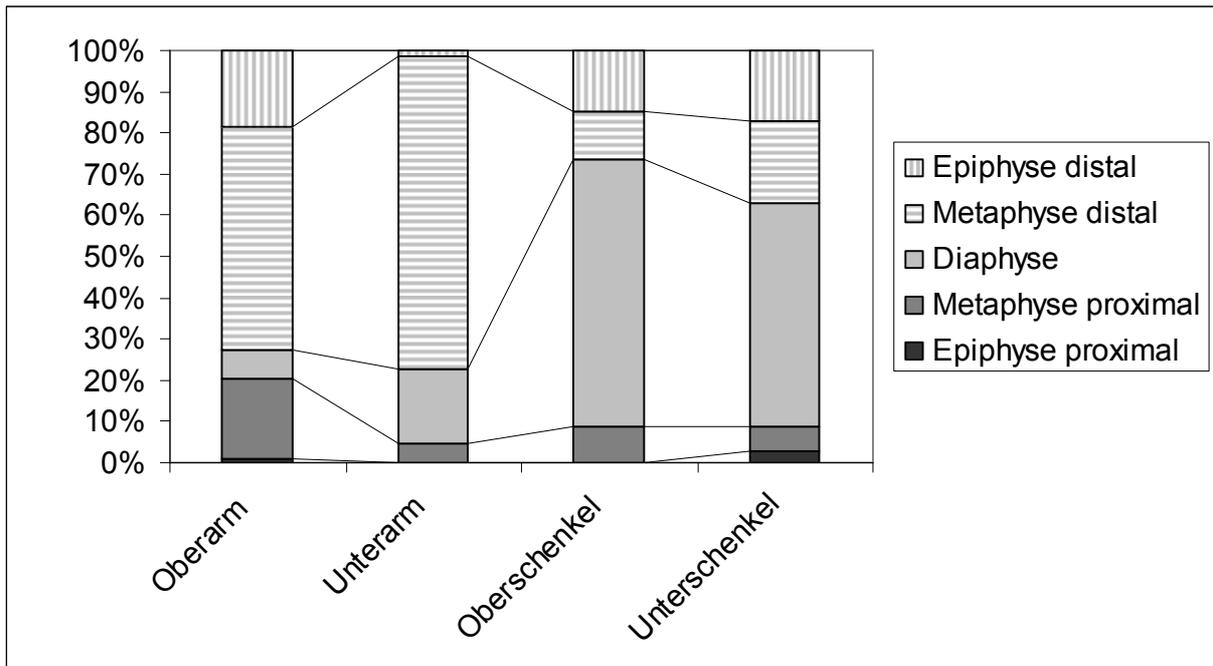


**Abb. 27: Verteilung auf die Körperregionen eigenes Patientengut 2004 (links) und Vergleichskollektiv (rechts)**

Im Bereich der oberen Extremitäten dominierten die distalen metaphysären Frakturen (58,7% bzw. 57,8%) wie in Abbildung 28 zu erkennen, während an den unteren Extremitäten der Schaft das am häufigsten betroffene Segment war (50,0% bzw. 47,4%). Diese Verteilung zeigte in Abbildung 29 auch das Vergleichskollektiv (distale Metaphysen obere Extremität 54,4% und 75,5%, Diaphysen untere Extremität 64,7% und 53,8%).



**Abb. 28: Segmentverteilung eigenes Patientengut 2004**



**Abb. 29: Segmentverteilung Vergleichskollektiv**

Die häufigsten Frakturen befanden sich im metaphysären Anteil des distalen Unterarmes (31,3%), gefolgt von den Schaftfrakturen des Unterarmes (16,4%).

Gelenkfrakturen machten nur 13,43% der Extremitätenfrakturen aus. Gelenkbeteiligung zeigen in den meisten Fällen der distale Humerus (2,0%) und der distale Unterschenkel (3,5%).

Im Vergleichskollektiv trat die Häufigkeit der metaphysären Frakturen des distalen Unterarmes noch deutlicher hervor (41,3%), gefolgt von den Schaftfrakturen des Unterschenkels (11,2%) und den Frakturen der distalen Humerusmetaphyse (10,6%).

Gelenkfrakturen waren nur in 9,50% zu finden. Auch hier zeigten sich als häufigste Lokalisationen der distale Humerus und der distale Unterschenkel mit jeweils 3,60% aller Frakturen.

#### 4.9 Frakturtypen

Bei den einzelnen Frakturtypen war die Wulstfraktur mit 16,92% am häufigsten, gefolgt von den Querfrakturen des Schaftes (15,92%) und den Salter II-Frakturen der Metaphysen (12,94 %). Weitere Frakturanzahlen sind der Abbildung 30 zu entnehmen.

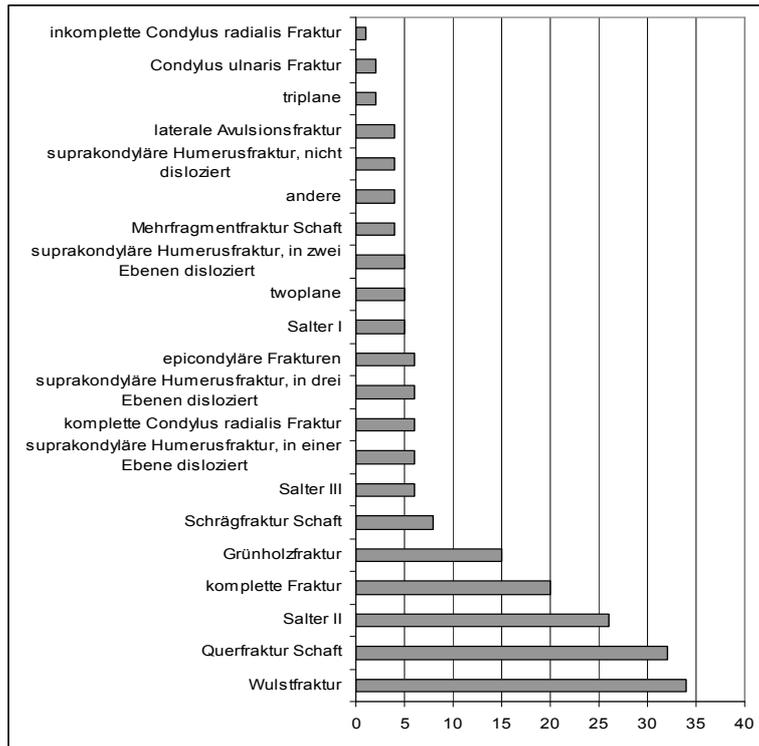


Abb. 30: Frakturtypen in absoluten Zahlen eigenes Patientengut 2004

Auch im Vergleichskollektiv (s. Abbildung 31) findet man bei den Frakturtypen die Wulstfraktur an erster Stelle, hier jedoch gefolgt von den kompletten metaphysären Frakturen und den Grünholzfrakturen.

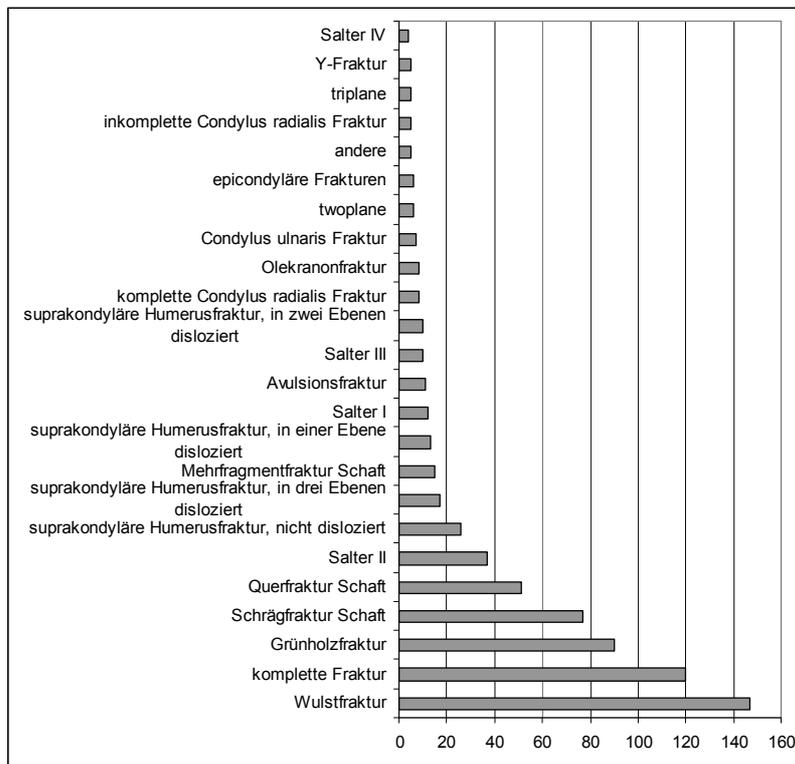


Abb. 31: Frakturtypen in absoluten Zahlen Vergleichskollektiv

#### 4.10 Therapie

91 (45,27%) der Kieler Kinder wurden in Narkose reponiert, eines redressiert (0,50%) und die übrigen 109 (54,23%) nur immobilisiert. In 60,44% erfolgte die Reposition geschlossen, 38,46% wurden offen reponiert. Ein Kind mit einem knöchernen Seitenbandausriss am Knie wurde arthroskopisch versorgt. Die Art der Ruhigstellung ist in Tabelle 9 dargestellt.

**Tab. 9: Retention eigenes Patientengut 2004**

<b>Art der Retention</b>	<b>Anzahl</b>	<b>Prozent</b>
<b>Gips</b>	108	53,73
<b>synthetischer cast</b>	35	17,41
<b>Kirschnerdrähte</b>	25	12,44
<b>Fixateur externe</b>	3	1,49
<b>ESIN</b>	9	4,48
<b>Schrauben</b>	6	2,99
<b>Platten</b>	6	2,99
<b>Gilchrist</b>	7	3,48
<b>Knieorthese</b>	1	0,50
<b>Aircast-Schiene</b>	1	0,50

In 12 Fällen wurden ergänzende lokale Maßnahmen notwendig: 5 Debridements, ein zusätzlicher Muskel-Sehneneingriff, eine Bandnaht, ein Eingriff am Nerven und eine Eröffnung der Haut. Eine juvenile Knochencyste wurde im gleichen Eingriff entfernt, einmal erfolgte die Entfernung von zwei Kirschnerdrähten und bei einer Epiphyseolysis capitis femoris wurde zusätzlich die Hüftgelenkscapsel gespalten.

Ein Patient erhielt während der gleichen Operation eine neurochirurgische Intervention und ein anderer wurde gleichzeitig durch die Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie behandelt.

Ein Eingriff erfolgte in Lokal-, 3 in Regionalanästhesie. Bei 87 Patienten wurde eine Allgemeinnarkose durchgeführt.

245 (35,25%) der Kinder im Vergleichskollektiv wurden reponiert, 55 redressiert (7,91%) und die übrigen 395 (56,83%) nur immobilisiert. In 79,59% erfolgte die Reposition geschlossen, 20,00% wurden offen reponiert. Ein Kind wurde arthroskopisch reponiert. Die Art der Ruhigstellung ist der Tabelle 10 zu entnehmen.

Tab. 10: Retention Vergleichskollektiv

<b>Art der Retention</b>	<b>Anzahl</b>	<b>Prozent</b>
<b>Gips</b>	398	57,27
<b>synthetischer cast</b>	106	15,25
<b>Pflasterverband</b>	15	2,16
<b>Zug durch Pflaster</b>	2	0,29
<b>Zug durch</b>		
<b>Kirschnerdraht</b>	7	1,01
<b>andere Redression</b>	4	0,58
<b>Kirschnerdrähte</b>	41	5,90
<b>Fixateur externe</b>	11	1,58
<b>ESIN</b>	50	7,19
<b>Schrauben</b>	21	3,02
<b>Platten</b>	6	0,86
<b>Cerclage</b>	2	0,29
<b>Gilchrist</b>	15	2,16
<b>Desault</b>	8	1,15
<b>Knieorthese</b>	1	0,14
<b>Zinkleim</b>	1	0,14
<b>Overheadextension</b>	4	0,58
<b>Extension</b>	1	0,14
<b>cuff-and-collar</b>	1	0,14
<b>Unbekannt</b>	1	0,14

Im Vergleichskollektiv wurden in 13 Fällen wurden ergänzende lokale Maßnahmen notwendig: 6 Debridements, 2 Fasziotomien und eine Eröffnung der Haut. Eine juvenile Knochenzyste wurde im gleichen Eingriff entfernt, zweimal erfolgte eine Metallentfernung und einmal wurde eine Biopsie entnommen.

Ein Patient erhielt während der gleichen Operation eine neurochirurgische Intervention und zwei wurden gleichzeitig durch die Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie behandelt. Einmal erfolgte ein Eingriff an einem weiteren Knochen und einmal wurde eine Kopfplatzwunde mit Gewebekleber verschlossen.

3 Eingriffe erfolgten in Lokal-, 33 in Regionalanästhesie. Bei 203 Patienten wurde eine Allgemeinnarkose durchgeführt.

#### 4.11 Die suprakondyläre Humerusfraktur

Im Gesamtkollektiv finden sich 87 suprakondyläre Humerusfrakturen. Sie machen somit 9,71% der Frakturen der langen Röhrenknochen aus. Die meisten (34,48%) waren nicht disloziert, wobei die Verteilung auf die einzelnen Typen recht gleichmäßig erfolgte, wie in Tabelle 11 dargestellt.

**Tab. 11: Verteilung der suprakondylären Humerusfrakturen**

LiLa Vers. 1	Anzahl	Prozent	Reposition	Redression	nur Immobilisierung
1.3.M.3.1	30	34,48		9	21
1.3.M.3.2	19	21,84	6	6	7
1.3.M.3.3	15	17,24	15		
1.3.M.3.4	23	26,44	22	1	
Gesamtergebnis	87	100,00	43	16	28

43 der Frakturen (49,43%) wurden reponiert. 29 der Repositionen konnten geschlossen erfolgen, 14 wurden offen durchgeführt. Hierbei handelte es sich in 4 Fällen um Typ III und in 10 Fällen um Typ IV-Verletzungen. 47 der Kinder (54,02%) sind weiblich, der Altersdurchschnitt beträgt 5,58 Jahre (1-15 Jahre) mit 32,18% der Kinder im 6. und 7. Lebensjahr (s. Abbildung 32). 48 (55,17%) der Frakturen befinden sich auf der rechten Seite.

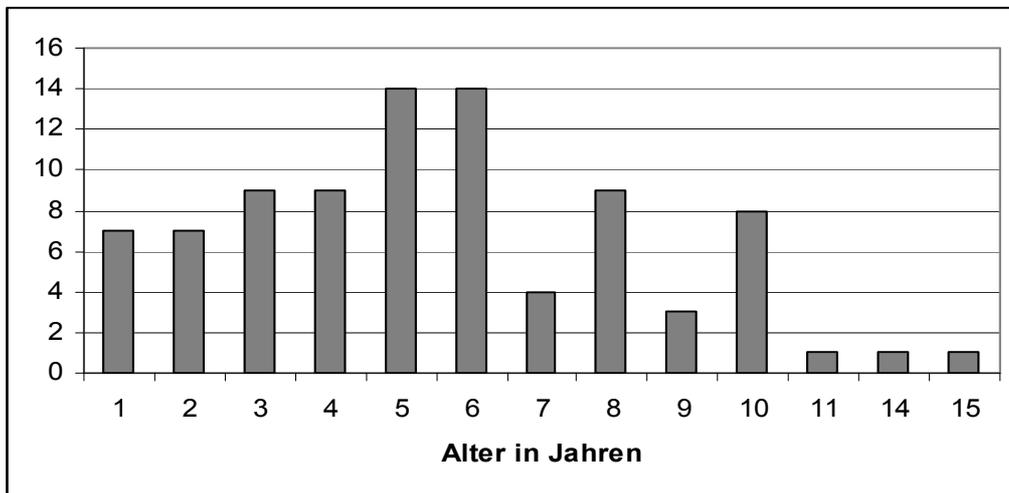
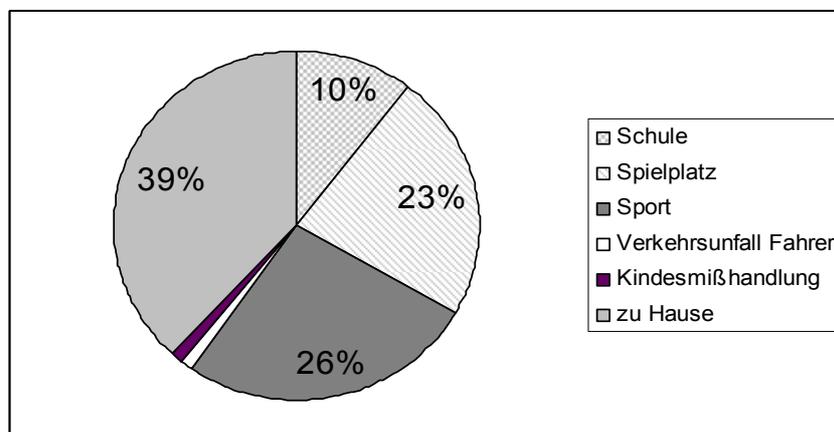
**Abb. 32: Altersverteilung bei suprakondylären Humerusfrakturen**

Abbildung 33 zeigt die Unfallhergänge. Es überwiegen die häuslichen Unfälle (39%).

**Abb. 33: Unfallhergänge bei supracondylärer Humerusfraktur**

#### 4.12 Vergleich der einzelnen Klassifikationen

Die Frakturen dieser Studie wurden nach den vier unterschiedlichen Klassifikationen soweit möglich eingeordnet. Hierbei gibt es insbesondere Probleme bei der LiLa-Klassifikation Vers. 1 aufgrund der nicht zu klassifizierenden distalen Fibulafrakturen und bei der AO-Erwachsenen-Klassifikation, da hier die besondere Anatomie des kindlichen Knochens, die Wachstumsfuge und die besonderen Frakturformen des Kindes wie die Wulstfraktur und die Grünholzfraktur nicht einzuordnen sind. Anhand der zehn jeweils häufigsten Frakturen soll hier der Zusammenhang zwischen der Klassifikation und der daraus folgenden Therapie gezeigt werden. Tabelle 12 nennt in den einzelnen Klassifikationen die jeweils häufigsten Codes.

Die meisten unterschiedlichen Codes ergeben sich für die LiLa Vers. 2.1 (118), gefolgt von der AO Kinder-Klassifikation (115). Die LiLa Vers. 1 hat deutlich weniger Codes (78). Aufgrund der schlechten Zuordnung hat die AO Erwachsenen-Klassifikation nur wenige Codes (52). Von der Anwendbarkeit hat insbesondere die LiLa Vers. 2.1 durch ihre klare Strukturierung überzeugt.

**Tab. 12: Die zehn häufigsten Frakturen der einzelnen Klassifikationen**

LiLa Vers. 1	Anzahl	Prozent	LiLa Vers 2.1	Anzahl	Prozent
2.3.M.R.3	158	17,63	2.3.s.2.0	157	17,52
2.3.M.R.5	95	10,60	2.3.s.3.2	66	7,37
4.2.2	56	6,25	1.3.s.3.2	46	5,13
2.3.M.R.4	52	5,80	2.3.s.2.1	41	4,58
2.2.R.1	47	5,25	2.2.s.3.2	38	4,24
2.2.R.4	39	4,35	4.2.s.3.0	37	4,13
2.3.M.R.2	39	4,35	1.3.s.3.0	30	3,35
1.3.M.3.1	30	3,35	2.2.s.2.2	27	3,01
1.1.M.5	29	3,24	4.2.s.3.1	22	2,46
1.3.M.3.4	23	2,57	2.3.s.1.2	19	2,12

AO Erw.	Anzahl	Prozent	AO Kinder	Anzahl	Prozent
23-A2	194	21,65	23-M/2.1	157	17,52
23-A2.1	156	17,41	23-M/3.3	66	7,37
13-A2.3	88	9,82	23-M/2.2	41	4,58
22-A3	70	7,81	22-D/4.3	36	4,02
42-A2.1	45	5,02	42-D/5.1	33	3,68
43-A1.3	39	4,35	13-M/3.I	30	3,35
13-B1.2	20	2,23	22-D/2.3	27	3,01
11-A3.1	19	2,12	13-M/3.IV	23	2,57
22-A2.2	18	2,01	42-D/5.2	21	2,34
43-B1	18	2,01	13-M/3.II	19	2,12

In der LiLa-Klassifikation Version 1 finden sich 30 suprakondyläre Humerusfrakturen ohne Dislokation. Auch in der Version 2.1 und in der AO Kinder-Klassifikation werden diese als eigene Entität behandelt. Alle 30 Frakturen wurden durch alleinige Ruhigstellung oder Redression behandelt. Die drei kinderspezifischen Klassifikationen unterscheiden sich jedoch bei den dislozierten Frakturen. Während die Einteilung in die AO Kinderklassifikation sich an den rein morphologischen Kriterien orientiert und in ihrer Einteilung der LiLa-Klassifikation Version 1 entspricht, wird in der Version 2.1 bereits bei der Klassifikation die Einschätzung der tolerablen Dislokation vorgenommen und die therapeutischen Optionen werden eingegrenzt. Die beiden erstgenannten Klassifikationen unterscheiden drei dislozierte Varianten der suprakondylären Humerusfraktur, die LiLa Vers. 2.1 nur zwei. Bei den 19 Frakturen 1.3.M.3.2 (LiLa Vers. 1) bzw. 13-M/II.2 (AO-Kinderklassifikation) ist die Therapie mit 36,84% Immobilisation, 31,58% Redression und 31,57% Reposition uneinheitlich. Bei den anderen beiden Gruppen der dislozierten Frakturen werden alle bzw. fast alle (22 von 23) reponiert. In der Vers. 2.1 mit ihren zwei unterschiedlichen Einteilungen wurden von den tolerabel dislozierten Frakturen 54,55% immobilisiert, 27,27% redressiert und 18,18% reponiert, bei den nicht tolerabel dislozierten wurden 89,13% reponiert, 8,70% redressiert und 2,17% immobilisiert. Die AO Erwachsenenklassifikation unterscheidet die einzelnen Schweregrade der suprakondylären Humerusfrakturen nicht, sie werden alle als extraartikuläre Frakturen geführt.

Bei den 47 Radiuschaftquerfrakturen in der LiLa Vers. 1 wird im Gegensatz zu allen drei anderen Klassifikationen nicht im Schweregrad unterschieden. So wurden 70,12% reponiert, 8,51% redressiert und 21,28% nur immobilisiert. Bei diesen Frakturen entsprechen sich die LiLa Vers. 2.1 und die AO-Kinderklassifikation wieder in ihren Einteilungen in 3 Schweregrade. Bei den nicht dislozierten Frakturen wurden 80% nur immobilisiert, 20% reponiert. Die tolerabel dislozierten Frakturen wurden zu 100% immobilisiert, bei den nicht tolerabel dislozierten Frakturen wurden 88,89% reponiert und 11,11% redressiert. Die AO-Erwachsenenklassifikation zeigt hier etwas bessere therapeutische Ableitungen. Die 47 Frakturen werden hier zwei Codes zugeordnet. Beim ersten Code (22-A2.2) wurden von 8 Frakturen 4 nur immobilisiert, die anderen 4 reponiert. Die 39 Frakturen im zweiten Code (22-A3) wurden 15,38% durch Immobilisation, 10,26% durch Redression und 74,38% durch Reposition behandelt.

Die Schweregrade der 39 Grünholzfrakturen werden in der LiLa Vers. 1 ebenfalls nicht unterschieden. Als Therapie erfolgte in 23,08% eine Immobilisation, in 15,38% eine Redression und in 61,54% eine Reposition. Die LiLa-Klassifikation Vers. 2.1 entspricht hier wieder der AO-Kinderklassifikation. Von den nicht dislozierten Frakturen wurden 66,67% immobilisiert und 33,33% redressiert, von den tolerabel dislozierten wurden 83,33% immobilisiert und 16,67% redressiert und von den nicht tolerabel dislozierten wurden 88,89% reponiert und 11,11% redressiert. In der AO-Erwachsenenklassifikation ist die Aussagekraft der aus der Klassifikation folgenden Therapie von 50% Immobilisation, 20% Redression und 30% Reposition bzw. 72,41% Reposition, 13,79% Redression und 13,79% Immobilisation etwas geringer.

Bei den distalen Radiusfrakturen entsprechen sich die LiLa-Klassifikation Vers. 2.1 und die AO-Kinderklassifikation wieder. Die LiLa Vers. 1 unterscheidet bei den häufigsten Frakturen 4 Codes (Salter II-, Wulst-, Grünholz- und komplette Frakturen), die beiden vorher genannten Klassifikationen 9 Codes (3 Hauptcodes mit je drei unterschiedlichen Schweregraden) unter Zusammenfassung der Wulst- und Grünholzfrakturen. Die AO-Erwachsenenklassifikation bildet diesen Bereich nur durch 2 Codes ab. Die Therapie erfolgte nach der LiLa Vers. 1 zu 48,71% durch Immobilisation, zu 7,69% durch Redression und zu 43,59% durch Reposition bzw. zu 98,11%, 0,63% und 1,27% bzw. zu 75%, 11,54% und 21,15% bzw. zu 28,42%, 1,05%, 70,53%. Bei der LiLa-Klassifikation Vers. 2.1 und der AO-Kinderklassifikation bestand die Therapie der Salter-II-Frakturen zu 91,67% in Immobilisation bei den nicht dislozierten, zu 72,72% in Immobilisation bei den tolerabel dislozierten und zu 100% in Reposition bei den nicht tolerablen Frakturen. Die Wulst- bzw. Grünholzfrakturen werden ohne Dislokation zu 98,09% durch Immobilisation, bei tolerabler Dislokation zu 87,80% durch Immobilisation und bei nicht tolerabler Dislokation zu 83,33% durch Reposition behandelt. Die kompletten Frakturen werden ohne Dislokation zu 90,91% nur immobilisiert, bei tolerabler Dislokation zu 94,44% immobilisiert und bei nicht tolerabler Dislokation zu 100% reponiert. Aus der AO-Erwachsenenklassifikation lässt sich aus einem Code keine Therapie ableiten (43,81% Immobilisation, 5,15% Redression, 51,03% Reposition), der zweite Code ist spezifischer (98,08% Immobilisation, 0,64% Redression, 1,28% Reposition).

## **5 Diskussion**

Der Vergleich der vorliegenden Ergebnisse mit publizierten Studien ist durch die unterschiedlichen Altersbegrenzungen (bis 12 Jahre, bis 16, 18 oder gar bis 20 Jahre) erschwert und dadurch, dass es kaum eine Studie isoliert über die Frakturen der langen Röhrenknochen bei Kindern gibt. Aus den Angaben der Literatur konnte die Häufigkeit der Frakturen der langen Röhrenknochen mit etwa 59,34% aller Frakturen bei Kindern ermittelt werden [24, 46, 53, 61, 64, 66, 67, 85, 86, 97].

### 5.1 Alters- und Geschlechtsverteilung

Jonasch [53] findet in seiner Studie mit knapp 2 Mio. Verletzten, darunter 263.166 Kinder, die von 1966-1976 in Österreichs Unfallkrankenhäusern behandelt wurden, in der Altersgruppe von 0-14 Jahren 62,35% Jungen. In einer Studie aus Bergen, Norwegen [24], in der 1998 1725 Frakturen bei Kindern und Jugendlichen im Alter von 0-15 Jahren dokumentiert wurden, finden sich ebenfalls 59% Jungen. Bei den repositionsbedürftigen, also schwereren Frakturen beträgt deren Anteil 62%. Frakturen bei Mädchen sind im Alter von 2 und 4 Jahren gleich häufig und im Alter von 7 und 10 Jahren häufiger als bei Jungen. Deutlich ist in dieser und auch in anderen Studien eine erhebliche Abnahme der relativen Unfallhäufigkeit bei Mädchen im Vergleich zu Jungen ab dem 12. Lebensjahr. [24, 46, 55, 64, 66, 67, 73, 85, 86, 97, 105].

Cheng und Shen [34] untersuchten in den Jahren 1986 bis 1990 in Hong Kong 3350 stationär aufgenommene Kinder mit 3413 Extremitätenfrakturen. Im Alter von 0-3 Jahren sind beide Geschlechter etwa gleich häufig vertreten, bei den Adoleszenten (12-16 Jahre) findet sich ein Verhältnis von Jungen zu Mädchen von 5,5:1. Mann et al. [70] finden bei ihrer Auflistung von 2650 Frakturen der langen Röhrenknochen, dass die Alterverteilung der gleichen Frakturen bei den Mädchen eine um anderthalb Jahre frühere Spitze zeigt.

Kraus et al. [56, 57] veröffentlichten im Jahre 2004 mit den Daten des Vergleichskollektivs mehrere epidemiologische Vergleiche. Das Überwiegen des männlichen Geschlechtes kommt bei ihnen auch deutlich zum Ausdruck mit 58,92%. Das mittlere Alter betrug 8,9 Jahre. Bis zu einem Alter von 6 Jahren überwogen die Mädchen. Altersgipfel fand er im 3./4., 7./8. und am stärksten im 13./14. Lebensjahr.

Die oben genannten Ergebnisse konnten in der vorliegenden Untersuchung bestätigt werden, so fanden wir 60% Jungen. Die Mädchen überwogen nur in den Altersgruppen von 5, 8 und 11 Jahren.

Cheng et al. [35] fanden in ihrer Studie aus Hong Kong, in der in den Jahren 1985-1995 6389 stationär behandelte Kinder mit 6493 Frakturen einfließen, ein Verhältnis von Jungen zu Mädchen von 2,5:1 (71,43% Jungen, Kleinkinder 1,4:1). Da hier nur stationär behandelte Kinder betrachtet wurden, also Patienten mit Frakturen, die zumindest eine Reposition erforderten, erklärt sich der höhere Jungenanteil (s. nächster Absatz). Auch hier zeigt sich bei den Adoleszenten (12-16 Jahre) eine deutliche Zunahme des Anteils des männlichen Geschlechtes (4,9:1; 83%, Kiel 2004: 73,02%, Vergleichskollektiv 2003: 68,38%).

Bei den Frakturen, die eine Reposition erforderten, also von einer höheren Gewaltwirkung zeugen, liegt der Anteil der Jungen sowohl in der eigenen Untersuchungsgruppe (70,33%), im Vergleichskollektiv (63,27%) und in der Studie aus Bergen (62% [24]) deutlich höher als der der Mädchen. Do et al. [40] fanden in ihrer Untersuchung repositionsbedürftiger distaler Unterarmfrakturen bei einer Gesamtzahl von 34 Patienten 26 Jungen (76,47%). Bei Gandhi et al. [43] fanden sich bei 1767 Unterarmfrakturen ebenfalls mit 60% mehr männliche Patienten.

Aktas et al. [3] hatten von 1994 bis 1996 bei 515 Frakturen außerhalb der Physe 376 Jungen (73,01%) und 139 Mädchen (26,99%). Der Altersdurchschnitt betrug 9,9 Jahre (1-18, +/-4,7J), bei Jungen 10,5 J (+/-4,7J), bei Mädchen 8,2J (+/-4,3J). Auch bei Rennie et al. [100] hatten die Mädchen ihren Altersdurchschnitt mit 8,9 Jahren (median 9,5 Jahre) früher als die Jungen mit 10,3 Jahren (median 11,3 Jahre).

## 5.2 Monatliche Frequenzen

Die meisten Frakturen des Patientenkollektivs 2004 ereigneten sich im April und Juni, die wenigsten im November und Dezember. Dies deckt sich mit der großen Anzahl (>260.000) an Verletzungen bei Jonasch [52], der die meisten Verletzungen im Mai, April und Juni fand. Auch bei ihm sind November und Dezember die Monate, in denen sich die wenigsten Unfälle ereigneten. In Hong Kong [34, 35] waren die Monate September und Oktober die unfallträchtigsten, da in dieser Zeit die Schule wieder beginnt und das beste Wetter herrscht. Hier geschehen die wenigsten Verletzungen im Dezember bis Februar, Monate in denen das Wetter deutlich

schlechter ist und Wintersport aufgrund des Klimas nicht möglich ist. In Malmö [64] zeigen jedoch der Mai, der August und der September die meisten Unfallzahlen, während der Juli, der Juni und der Dezember die „sichersten“ Monate sind. Im Juni beginnen in Schweden die Sommerferien, in denen viele Familien die Stadt verlassen. Bei 1767 Unterarmfrakturen, die sich von Juni 1955 bis Dezember 1960 in Edinburgh ereigneten [43], fanden sich 70% in den Monaten April bis September. Auch Thomas et al. [96] fanden eine Häufung von Mai bis September.

Masterson et al. [72] veröffentlichten 1993 eine epidemiologische Studie, in der sie eine starke positive Korrelation von Frakturen bei Kindern pro Monat mit den monatlichen Sonnenstunden herstellen konnten, sowie eine schwache negative Korrelation mit dem monatlichen Regenfall. Über einen Zeitraum von 3 Jahren (1988 bis 1990) zeigt die Fraktur des distalen Radius, mit 48,7% auch die am häufigsten auftretende Fraktur, die höchste Korrelation mit den Sonnenstunden. Insgesamt flossen die Daten von 1122 Patienten in die Studie mit ein. In Dublin treten die meisten Frakturen von Mai bis August auf, im Dezember bis Februar die wenigsten, das Verhältnis der Frakturrenzahl betrug von Sommer zum Winter 2,5:1.

### 5.3 Unfallhergang

Als Hauptunfallhergang des eigenen Gesamtkollektivs ermittelten wir Sportunfälle (38,17%), gefolgt von häuslichen Unfällen (23,55%) und Spielplatzunfällen (19,20%). Seltener waren Schul- und Verkehrsunfälle (11,83% und 5,69%).

Kraus et al. [56, 57] veröffentlichten im Jahre 2004 mehrere epidemiologische Auswertungen mit den Daten des Vergleichskollektivs. Als Unfallursache geben sie in 38,5% Sport, 23% zu Hause, 19,9% Spielplatz, 8,2% Schule und 4,6% Verkehrsunfall an. 71,4% aller Verletzungen am distalen Unterschenkel durch Verkehrsunfälle geschehen in der Altersgruppe der 12-16jährigen.

Bei Brudvik und Hove [24] erlitten die meisten Kinder unter 6 Jahren (n=327) Frakturen zu Hause (32%, n=88), 30% außerhalb des Hauses und auf dem Spielplatz (n=82) und 17% im Kindergarten.

Bei den in der vorliegenden Studie untersuchten Kindern dieser Altersgruppe ereigneten sich 53% (n=38) der Frakturen zu Hause, wobei hier auch die Unfälle im Garten zugezählt wurden, 26% auf dem Spielplatz (n=14) und 9% im Kindergarten (n=5). Im Vergleichskollektiv ist bei den kleinen Kindern ebenfalls die häusliche

Umgebung der häufigste Unfallort (48%, n=102), gefolgt vom Spielplatz (28%, n=60). An dritter Stelle liegt hier jedoch mit 17% (n=36) der Sport.

Landin [64] findet als Hauptunfallursache die Spielunfälle (24%) vor den Sportunfällen (21%) und den Verkehrsunfällen (12%). Häusliche Unfälle spielen mit 5% eine eher untergeordnete Rolle, ebenso wie Schulunfälle mit 4% und Kindergartenunfälle mit 1%. Allerdings ist der Unfallhergang bei 34% seiner Patienten ungeklärt oder nicht zuzuordnen.

Rennie et al. [86] finden als häufigste Unfallursache den Sturz aus geringer Höhe mit 37,8% vor den stumpfen Traumata mit 18,8% und den Stürzen aus größerer Höhe mit 17,2%, Sportunfällen mit 12,1%, Verkehrsunfällen mit 6,7%. Actas et al. [3] finden bei ihren 515 Frakturen 412 durch Stürze, 49 durch Sport, 52 durch einen Verkehrsunfall, zwei durch körperliche Gewalt.

Es zeigt sich deutlich, dass sich bei den kleinen Kindern, entsprechend ihren alltäglichen Aktivitäten, die meisten Unfälle zu Hause oder auf dem Spielplatz ereignen. Die Vergleichbarkeit der einzelnen Studien ist wiederum durch unterschiedliche Gruppierungen stark eingeschränkt.

Kindesmisshandlung wurde in Kiel bei keiner Fraktur als Ursache gefunden, im Vergleichskollektiv in 3 Fällen (0,43%, hierunter eine suprakondyläre Humerusfraktur, eine Humerus- und eine Radiuschaftfraktur). Bei Brudvik und Hove [30] wurden 4 Fälle von Kindesmisshandlung entdeckt (0,23%, hierunter eine Metakarpalefraktur, eine Claviculafraktur, eine Radius- und eine Femurschaftfraktur). Die Dunkelziffer dürfte deutlich höher sein. Bei Anderson [6] fanden sich bei 117 Patienten mit Femurfrakturen 24 Kindesmisshandlungen, darunter sind 19 Patienten jünger als 2 Jahre, von insgesamt 24 Kindern, die jünger als 24 Monate waren. Beals und Tufts [11] finden bei 80 Femurfrakturen bei Kindern unter 4 Jahren in 30% Kindesmisshandlung als Ursache, die Inzidenz bei den bis 1 Jahr alten Kindern ist deutlich höher.

#### 5.4 Begleitverletzungen/Vorerkrankungen

In einer Literaturzusammenfassung [12] wird die Zahl der multiplen Verletzungen mit 1,7-9,7% angegeben. In 4 Artikeln mit 5262 Patienten waren 192 mehrfach verletzt, das entspricht einer Rate von 3,65%. Jonasch [53] fand in 3,5% multiple

Verletzungen, Lyons et al. [67] in 6,7%, Hanlon und Estes [46] 6,3%, fast die Hälfte hiervon, 21 von 44 Patienten, waren angefahren worden.

In der vorliegenden Studie waren 7,46% der Kinder mehrfach verletzt, im Vergleichskollektiv 5,32%.

7 Frakturen des eigenen Kollektivs waren offene Verletzungen (3,48%), im Vergleichskollektiv waren es 8 (1,15%).

In der Literatur wird die Zahl der offenen Verletzungen bei kindlichen Frakturen mit 1,25-6,5% angegeben. Die Hauptlokalisation offener Frakturen betrifft den Unterarm und die Tibia [4, 12, 29, 34, 35, 46, 54, 70, 90, 95, 105].

Landin [64] fand von 1975 bis 1979 bei 4621 Frakturen in 0,45% (n=21) der Fälle Refrakturen, 8 betreffen den distalen Unterarm, 5 den Unterarmschaft. Im eigenen Patientenkollektiv waren es 2,49%, im Vergleichskollektiv 0,86%.

Bei 1767 Unterarmfrakturen, welche von Gandhi et al. [43] untersucht wurden, finden sich nur 9 Refrakturen, welche sich 2-6 Monate nach der Heilung ereigneten. Bould und Bannister [23] finden bei 768 kindlichen dislozierten Unterarmfrakturen von Juni 1990 bis Juni 1995, die eine Reposition erforderten, 38 Refrakturen (4,95%), davon 34 an der früheren Frakturlokalisation. Diese 34 Refrakturen ereigneten sich in den ersten 9 Monaten nach dem Erstereignis. Die meisten waren Schafffrakturen (24 von 163 Schafffrakturen, 14,72%), bei distalen Unterarmfrakturen fanden sie ein Refrakturrisiko von 1,66% (10/601). Das Risiko einer Refraktur ist umgekehrt proportional zur Dauer der Ruhigstellung. 32 der Refrakturen waren Grünholzbrüche (insgesamt 572 Grünholzbrüche). Als Ergebnis ihrer Untersuchung plädierten sie für eine Mindestdauer der Ruhigstellung von 6 Wochen.

## 5.5 Lokalisation

Jonasch [53] findet ein geringes Überwiegen der Verletzungen an der oberen Extremität gegenüber der unteren Extremität (55,71% zu 44,29%).

Dies konnte sowohl im eigenen Patientenkollektiv mit 77% der Frakturen, als auch im Vergleichskollektiv der Multicenterstudie (74%) deutlicher dargestellt werden.

Die Literaturrecherche ergab ein Überwiegen der Frakturlokalisation in der oberen Extremität in einer Bandbreite von 66,52-80,87% [3, 13, 24, 34, 35, 46, 64, 66, 70, 73, 85, 86, 88, 97].

Cheng und Shen [34] finden die distale Radiusfraktur mit 19,87% (n=678) als häufigste Fraktur, gefolgt von der suprakondylären Fraktur (16,64%, n=594) und der Unterarmschaftfraktur (13,36%, n=456). Betrachtet man nur die langen Röhrenknochen, hat der distale Radius mit 24,65% den höchsten Anteil vor der suprakondylären Humerusfraktur mit 21,60% und der Unterarmschaftfraktur mit 16,58%. Die isolierte Tibiafraktur macht 12,80% aus (n=352). Kraus et al. [56] finden in ihrer Auswertung der Daten des Vergleichskollektivs in 40,8% Frakturen des distalen Unterarmes, in 16% des distalen Humerus (davon 67,3% suprakondyläre Humerusfrakturen), 10,4% Unterschenkelschaft, 9,7% Unterarmschaft. Jonasch [53] beschreibt die isolierte Tibiaschaftfraktur als häufigste aller Frakturen (13,39%), gefolgt von den distalen metaphysären Unterarmfrakturen (12,30%) und den Unterarmschaftfrakturen (9,19%). Die Häufigkeit der Tibiafraktur ist auf die geographischen Gegebenheiten mit ihren spezifischen sportlichen Aktivitäten in Österreich zurückzuführen (8,2% Skifahren als Unfallursache bei allen Verletzungen).

Der am häufigsten betroffene Skelettabschnitt aus der Literaturrecherche heraus ist mit 39,84% (24,57-55,11%) der distale Unterarm gefolgt von Frakturen des distalen Humerus mit 18,21% (8,09-28,34%), dem Unterarmschaft mit 14,7% (7,06-22,34%) und dem Unterschenkelschaft mit 10,97% (6,5-17,52%) [12, 13, 24, 35, 40, 64, 67, 73, 85, 86, 88, 97, 105].

Bei den Schaftfrakturen überwiegen im eigenen Patientengut diejenigen des Unterarmschaftes (43,83%) und des Unterschenkelschaftes (40,85%) vor denjenigen des Femurs (11,06%) und des Humerus (4,68%).

Bei Kraus et al. [56] machen Schaftfrakturen 24,1% aller Frakturen der langen Röhrenknochen aus (71,2% metaphysär, 4,7% epiphysär).

In der Literatur zeigen sich wieder unterschiedliche Werte. Zwischen 12,86-53,1% entfallen auf den Unterarm, 33,75-67,36% auf den Unterschenkel, 9,18-13,85% auf den Femur und 1,77-11,21% auf den Humerus [34, 35, 56, 97, 101, 102, 105].

## 5.6 Frakturtypen

Die Häufigkeit von Grünholzfrakturen am distalen Unterarm wird bei Fehmer et al. [41] mit zwei Dritteln angegeben. Worlock und Stower [105] sprechen von 51,6% Grünholzfrakturen (476 von 923). Cheng und Shen [34] finden nur in 5,27%

(180/3413) ihrer 3413 Frakturen Grünholzbrüche. Cheng et al. [35] geben die Grünholzfraktur mit einer Häufigkeit von 6% aller Frakturen an, 75% davon treten im distalen Radius und im Unterarmschaft. Alpar et al. [4] haben bei ihren 80 Unterarmschaftfrakturen 66 Grünholzfrakturen (82,5%) sowie 3 mit kompletter Fraktur eines Knochens und 11 mit kompletter Fraktur beider Knochen.

In der vorliegenden Studie macht die Grünholzfraktur einen Anteil von 7,46% (eigenes Kollektiv) bzw. 13,09% (Vergleichskollektiv) aus mit 86,67% bzw. 87,91% im Bereich des distalen Radius und des Unterarmschaftes.

### 5.7 Korrelation Unfallhergang/Frakturlokalisierung

Häufungen fanden wir bei Frakturen des distalen Humerus infolge von häuslichen Unfällen (35,07%) und distalen Unterarmfrakturen bei Sportverletzungen (45,25%). Femurschaftfrakturen entstehen meistens in Zusammenhang mit häuslichen Unfällen (50%), Unterarmschaftfrakturen beim Sport (28,16%) und zu Hause (27,18%).

Do et al. [40] fanden bei 34 Patienten mit distaler Unterarmfraktur 9 Sport- und 8 Spielplatzunfälle (26,47% bzw. 23,52%). Hanlon und Estes [46] fanden 60% aller Epiphysenverletzungen beim Sport oder bei einem Sturz aus der Höhe.

### 5.8 Therapie

Bei Hanlon und Estes [46] wurden 1954 von 698 kindlichen knöchernen Verletzungen 31,1% stationär behandelt. Fast die Hälfte (348) wurden keiner Reposition unterzogen, 49 mussten mehr als einmal reponiert werden, 52 erhielten offene Repositionen, davon 24 primär und 28 sekundär. Zusammenfassend beschrieben sie bessere Ergebnisse bei konservativer Therapie, eine anatomische Reposition sollte jedoch angestrebt werden. Lichtenberg [66] beschrieb im selben Jahr, dass eine Operation zum Desaster führen würde. Von seinen 2538 Frakturen bei Patienten jünger als 13 Jahre wurden 7% der 368 Unterschenkel-, keine der 95 Femurfrakturen, 7 der 1032 Unterarm- und 14 von 255 Humerusfrakturen operativ versorgt.

Schmittenebecher [88] beschrieb bei 1497 Extremitätenfrakturen in den Jahren 1998 bis 2000 65% (n=973) konservative Behandlungen, 10,9% mit Reposition und Gips (n=163) und 24,1% mit Osteosynthese. Im Verlauf der drei Jahre änderte sich

die Rate der konservativ versorgten Frakturen von 70,6% auf 58,1% und die der operativen von 18,6% auf 30,9%.

Proctor et al. [83] behandelten von 1989-1991 68 dislozierte distale Radiusfrakturen durch geschlossene Reposition und externe Ruhigstellung. Wurde eine perfekte Reposition erzielt, kam es in 5% der Behandlungen (inkomplett dislozierte Frakturen), bzw. in 20% (komplett dislozierte Frakturen) zu einer Redislokation, während es bei einer nicht perfekten Reposition in 43% (inkomplett dislozierte Frakturen), bzw. 73% (komplett dislozierte Frakturen) zu einer Redislokation kam. Im Anschluss an diese Studie wurde in ihrer Klinik nur noch die perfekte Reposition akzeptiert und ggf. mit perkutaner Kirschner-Draht-Fixierung gehalten.

Bei Cheng et al. [35] stieg die Rate der durch geschlossene Reposition und Drähten stabilisierten distalen Radiusfrakturen von 1985 bis 1995 von 9,5% auf 38,7%. Die Rate der offenen Repositionen sank jedoch von 29% 1985 auf 14% 1995.

45,27% des eigenen Patientenkollektivs erfuhren eine offene oder geschlossene Reposition, jedoch nur 35,25% der Kinder des Vergleichskollektivs der Multicenterstudie. Bei Brudvik und Hove [24] sind es gar nur 21%, die eine Reposition erhielten. Bei Cheng et al. [35] erhielten von den stationären Patienten 59,7% eine offene oder geschlossene Reposition unter Anästhesie.

Schmitzenbecher [89] schreibt, die Behandlung der Unterarmschaftfrakturen sei in seiner Klinik von 1976 bis 1985 zu 95,6% konservativ gewesen mit schlechter Funktion durch Fehlverheilung. 38,7% zeigten eine Fehlverheilung mit mehr als 10°, 13,2% hatten eine sichtbare Fehlstellung und 7,9% ein Pronationsdefizit von mehr als 20°. In den Jahren 1998 bis 2000 wurden von 161 Unterarmschaftfrakturen 27,9% im Gips behandelt, 31,7% durch Reposition und Gips und 40,4% durch intramedulläre Stabilisierung. In den Jahren 2001 bis 2003 wurden von 115 Unterarmschaftfrakturen 27% durch Reposition und Gips, 70,4% durch ESIN und 2,6% durch Fixateur externe behandelt.

Calder et al. [32] verglichen die Stabilisierung von operationspflichtigen Unterarmschaftfrakturen (instabil, nicht reponierbar, offen) mit Kirschner-Drähten (36, Komplikationsrate 16%) und ESIN (24, Komplikationsrate 9%). 7 Kinder zeigten eine Einschränkung der Umwendbewegungen des Unterarmes (4 K-Drähte, 3 ESIN). Sie fanden keine relevanten Unterschiede beider Methoden, außer dass die Kirschnerdrähte deutlich preiswerter sind. In ihrer Diskussion bestärkten sie die prinzipiell konservative Behandlung kindlicher Unterarmschaftfrakturen.

Bonnaire und Seif el Nasr [20] geben an, dass 80% aller extraartikulären Unterschenkelfrakturen beim Kind konservativ behandelt werden. Dies kann in unseren Patientengut mit 79,31% (23 von 29) bestätigt werden. Im Vergleichskollektiv sind es genau 80% (92 von 115), die konservativ behandelt wurden. Früher waren Tibiaschaftfrakturen eine Domäne der konservativen Behandlung. So wurden alle 117 Tibiaschaftfrakturen bei Shannak [90] von 1973-1983 entweder durch Extension oder alleinige externe Ruhigstellung behandelt.

## 5.9 Klassifikationen

Die AO-Klassifikation der langen Röhrenknochen für Erwachsene eignet sich nicht zur Klassifikation von Frakturen am wachsenden Skelett, da die kinderspezifischen Frakturen nicht abgebildet werden.

Die AO-Klassifikation der Frakturen der langen Röhrenknochen im Kindesalter entspricht weitestgehend der LiLa-Klassifikation für Frakturen der langen Röhrenknochen Version 2.1 wie aus der Tabelle 12 auf der Seite 54 der Ergebnisse hervorgeht. Bei den häufigsten Frakturen unterscheiden sich diese beiden Klassifikationen jedoch in der Einteilung der suprakondylären Humerusfrakturen. Hinsichtlich der Therapiewahl ist hier die LiLa-Klassifikation der AO-Klassifikation überlegen. Insgesamt zeigen diese beiden Klassifikationen jedoch eine bessere Hinleitung zur Therapie als die LiLa-Klassifikation für Frakturen der langen Röhrenknochen Version 1.

Problematisch bei der LiLa-Klassifikation für Frakturen der langen Röhrenknochen beim Kind Version 2.1 ist die 5. Stelle, das Dislokationsausmaß. Hier wird zwischen nicht disloziert, tolerabel und nicht tolerabel unterschieden. Es wird also vom Anwender schon eine Einschätzung der Tolerabilität der Frakturstellung und damit schon eine Therapieentscheidung gefordert, welche die Hilfestellung der Klassifikation zur Wahl der Therapie deutlich einschränkt. Welche Fehlstellung nun tolerabel ist, ist je nach betroffenen Knochen, Lage der Fraktur im Knochen, Alter des Kindes und Ausprägung und Richtung der Fehlstellung unterschiedlich. Auch die eventuell zu erwartenden emotionalen Schwierigkeiten des Kindes und seiner Eltern, für eine gewisse Zeit mit einer „deformierten“ Extremität zu leben, sollten in die Therapieentscheidung mit einbezogen werden. Nicht zuletzt spielt die Erfahrung des behandelnden Arztes eine Rolle in der Therapiewahl. Um diese Entscheidung für einen indivi-

duellen Patienten zu treffen, bedarf es entweder großer Erfahrung mit kindlichen Frakturen langer Röhrenknochen oder der Zuhilfenahme von Fachliteratur. Je nach Autor variiert die Angabe tolerabler Fehlstellungen jedoch erheblich. Von Laer et al. beschrieben anhand der im Jahre 2003 durchgeführten Multicenterstudie ohne Altersunterscheidung die als tolerierbar eingestufte Dislokation zwischen 10 und 25°, als nicht tolerierbar fanden sie durchschnittlich 25° [40, 63, 103].

Ein Hauptunterschied der AO-Kinderklassifikation und der LiLa-Klassifikation Vers. 2.1 liegt in der Zuordnung der Salter-Harris-Verletzungen zum Schaft oder zu den Gelenkbereichen. Dies hat jedoch keinen Einfluss auf die Therapiewahl.

Boyd (1896):

„The most important divisions of fractures are based upon the condition of the soft parts; less important varieties rest upon the condition of the bone“ [36]

Mithilfe der beiden untersuchten aktuellen Kinderklassifikationen gelang es, anhand morphologischer Gesichtspunkte die Frakturen älteren Klassifikationen überlegen einzuteilen. Es wurde ein Instrument geschaffen, mit dem in Zukunft vergleichende Studien unter definierten Bedingungen möglich sind.

Der Anspruch an eine Qualitätssicherung bezüglich kindlicher Frakturen kann durch die untersuchten Klassifikationen erfüllt werden.

Im Verlauf der Studie ist es in keinem Fall durch die Anwendung der genannten Klassifikationen zu einer Änderung des Therapiealgorithmus gekommen.

## 6 Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurden mithilfe eines internetbasierten Dokumentationsprogrammes die Frakturen der langen Röhrenknochen bei Kindern bis 16 Jahren im Jahre 2004 erfasst und einer Multicenterstudie aus dem Jahre 2003 gegenübergestellt. Im Rahmen einer klinikinternen Qualitätssicherungsstudie sollten verschiedene kinderspezifische Frakturklassifikationen anhand des eigenen Patientenkollektivs evaluiert, die Gruppe innerhalb einer Multicenterstudie ausgewertet und die Ergebnisse in einer Literaturrecherche verglichen werden.

Zum anderen erfolgt ein Vergleich der klinischen Anwendbarkeit der neuen kinderspezifischen Klassifikationen auch im Hinblick auf die Entscheidungsfindung des behandelnden Arztes zur patientengerechten Therapie.

Bei der Auswertung der epidemiologischen Daten wurden im Wesentlichen die bekannten Parameter bestätigt. Frakturen der langen Röhrenknochen sind bei Jungen häufiger als bei Mädchen. Das Risiko, eine Fraktur zu erleiden sinkt bei Mädchen nach Vollendung des 13. Lebensjahres deutlich, während es bei Jungen mit dem 12. Lebensjahr nur gering zurück geht, in einigen Studien sogar steigt. Jungen erleiden häufiger schwerere, das heißt dislozierte Verletzungen. Bei Mädchen liegt der Altersdurchschnitt bei den häufigsten Frakturen etwa 1,5 Jahre unter dem der Jungen. Bei Kindern jünger als 2 Jahre mit Femurfrakturen muss schlussfolgernd aus der Literaturrecherche an eine mögliche Kindesmisshandlung gedacht werden.

Als Unfallhergang spielen besonders Unfälle beim Sport, in häuslicher Umgebung, in der Schule und im Kindergarten und auf dem Spielplatz eine Rolle, während schwere Verkehrsunfälle relativ selten vorkommen. Im Sommer ist die Zahl der Frakturen höher als im Winter.

Frakturen der oberen Extremität sind häufiger als Frakturen der unteren Extremität. Die häufigste Lokalisation bei den Frakturen der langen Röhrenknochen ist der distale Unterarm. Die meisten offenen Frakturen finden sich an der Tibia und am Unterarm.

Die Therapie kindlicher Frakturen hat sich in den vergangenen Jahrzehnten durch Verbesserung der Operationsverfahren und durch ein höheres Anspruchsverhalten vor allem der Eltern deutlich zur operativen Versorgung verlagert. Besonders bei den suprakondylären Humerusfrakturen und bei den Femurschaftfrakturen lassen sich durch eine Operation bessere Ergebnisse erzielen. Trotzdem sollte die

konservative Behandlung kindlicher Frakturen nicht in Vergessenheit geraten, da bei Kindern unter Vermeidung der operativen Risiken auch bei nicht perfekten anatomischen Repositionen gute Ergebnisse erzielt werden können. Die meisten kindlichen Frakturen der langen Röhrenknochen werden weiterhin konservativ behandelt. Operativ versorgte Frakturen haben generell ein erhöhtes Komplikationsrisiko, heutzutage jedoch meistens aufgrund der Verletzungsschwere, da schwerere Verletzungen häufiger operiert werden.

Die Weiterentwicklung kindspezifischer Frakturklassifikationen ist von großer Bedeutung, um die Frakturen vergleichend gut einordnen zu können und damit die Voraussetzung für eine bestmögliche Therapie kindlicher Verletzung zu schaffen.

Eine absolute Therapieentscheidung lässt sich aus den in der vorliegenden Untersuchung geprüften Klassifikationen nicht direkt ableiten. Die LiLa-Klassifikation Vers. 2.1 schneidet in dieser Arbeit in der prädiktiven Voraussage etwas besser ab als die AO-Kinder-Klassifikation. Beide befinden sich jedoch noch in der Entwicklungsphase. Welche Klassifikation sich schlussendlich in der täglichen Praxis bewähren wird, bleibt abzuwarten.

## Verzeichnis der Abbildungen

Abb. 1: Salter-Harris Typ I-Verletzung aus Salter RB, Harris WR (1963)	11
Abb. 2: Salter-Harris Typ II-Verletzung aus Salter RB, Harris WR (1963)	12
Abb. 3: Salter-Harris Typ III (links) und Typ IV (rechts) –Verletzung aus Salter RB, Harris WR (1963)	12
Abb. 4: Salter-Harris Typ V-Verletzung aus Salter RB, Harris WR (1963)	13
Abb. 5: Aufbau der AO-Frakturklassifikation für Erwachsene aus Müller ME et al. (1990)	29
Abb. 6: Beispiele AO-Frakturklassifikation für Erwachsene aus Müller ME et al. (1990)	30
Abb. 7: Frakturen der distalen Radiusepiphyse	31
Abb. 8: Frakturen der proximalen Humerusmetaphyse	31
Abb. 9: Frakturen des Femurschaftes	32
Abb. 10: „Metaphysenquadrat“	32
Abb. 11: Beispiele der LiLa-Klassifikation für Frakturen der langen Röhrenknochen beim Kind Vers. 2.1	34
Abb. 12: AO-Kinderklassifikation aus Slongo T et al. (2006)	36
Abb. 13: Beispiele für die AO-Kinderklassifikation aus Slongo T et al. (2006)	36
Abb. 14: Altersverteilung in absoluten Zahlen eigenes Patientengut 2004	38
Abb. 15: Altersverteilung in absoluten Zahlen Vergleichskollektiv	39
Abb. 16: Geschlechterverteilung eigenes Patientengut 2004 (links) und Vergleichskollektiv (rechts)	39
Abb. 17: Geschlechterverteilung nach Alter eigenes Patientengut 2004	40
Abb. 18: Geschlechterverteilung nach Altersgruppen eigenes Patientengut 2004	40
Abb. 19: Geschlechterverteilung nach Alter Vergleichskollektiv	41
Abb. 20: Geschlechterverteilung nach Altersgruppen Vergleichskollektiv	41
Abb. 21: Anzahl der Frakturen in den einzelnen Monaten	42
Abb. 22: Unfallhergang eigenes Patientengut 2004	43
Abb. 23: Unfallhergang Vergleichskollektiv	44
Abb. 24: Unfallhergang nach Altersgruppen eigenes Patientengut 2004	44
Abb. 25: Unfallhergang nach Altersgruppen Vergleichskollektiv	45
Abb. 26: Verteilung auf die Extremitäten eigenes Patientengut 2004 (links) und Vergleichskollektiv (rechts)	47
Abb. 27: Verteilung auf die Körperregionen eigenes Patientengut 2004 (links) und Vergleichskollektiv (rechts)	48
Abb. 28: Segmentverteilung eigenes Patientengut 2004	48
Abb. 29: Segmentverteilung Vergleichskollektiv	49
Abb. 30: Frakturtypen in absoluten Zahlen eigenes Patientengut 2004	50
Abb. 31: Frakturtypen in absoluten Zahlen Vergleichskollektiv	50
Abb. 32: Altersverteilung bei suprakondylären Humerusfrakturen	53
Abb. 33: Unfallhergänge bei suprakondylärer Humerusfraktur	53

## **Verzeichnis der Tabellen**

Tab. 1: Risiko für Komplikationen nach Behandlungsart bei Femurschaftfrakturen übernommen aus Green NE, Swiontkowski MF (eds) (2009)	22
Tab. 2: Klassifikation der suprakondylären Humerusfrakturen nach v. Laer	22
Tab. 3: An der Pilotstudie beteiligte Kliniken aus Laer LR von et al. (2005)	26
Tab. 4: Aufbau der Dokumentation	27
Tab. 5: Die LiLa-Klassifikation Vers. 1	31
Tab. 6: LiLa-Klassifikation Vers. 2.1	33
Tab. 7: Unfallhergang eigenes Patientengut 2004	42
Tab. 8: Unfallhergang Vergleichskollektiv	43
Tab. 9: Retention eigenes Patientengut 2004	51
Tab. 10: Retention Vergleichskollektiv	52
Tab. 11: Verteilung der suprakondylären Humerusfrakturen	53
Tab. 12: Die zehn häufigsten Frakturen der einzelnen Klassifikationen	54
Tab.13: Zusammenfassung von 10 Studien zur suprakondylären Humerusfraktur	76

## Literaturverzeichnis

1. Agus H, Kalenderer Ö, Eryanilmaz G, Ömeroglu H (2003): Biological internal fixation of comminuted femur shaft fractures by bridge plating in children. *J Pediatr Orthop* 23:184-189
2. Aitken AP (1936): The end results of the fractured distal tibial epiphysis. *J Bone Joint Surg Am* 18:685-691
3. Aktas S, Saridogan K, Moralar U, Ture M (1999): Patterns of single segment non-physeal extremity fractures in children. *Int Orthop* 23:345-347
4. Alpar EK, Thompson K, Owen R, Taylor JF (1981): Midshaft fractures of forearm bones in children. *Injury* 13:153-158
5. Al-Sayyad MJ (2006): Taylor spatial frame in the treatment of pediatric and adolescent tibial shaft fractures. *J Pediatr Orthop* 26:164-170
6. Anderson WA (1982): The significance of femoral fractures in children. *Ann Emerg Med* 11:174-177
7. Aronson J, Tursky EA (1992): External fixation of femur fractures in children. *J Pediatr Orthop* 12:157-163
8. Audigé L, Hunter J, Weinberg AM, Magidson J, Slongo T (2004): Development and evaluation process of a pediatric long-bone fracture classification proposal. *Eur J Trauma* 30:248-254
9. Audigé L, Bhandari M, Hanson B, Kellam J (2005): A Concept for the validation of fracture classifications. *J Orthop Trauma* 19:404-409
10. Bar-On E, Sagiv S, Porat S (1997): External fixation or flexible intramedullary nailing for femoral shaft fractures in children. A prospective, randomised study. *J Bone Joint Surg Br* 79:975-978
11. Beals RK, Tufts E (1983): Fractured femur in infancy: The role of child abuse. *J Pediatr Orthop* 3:583-586
12. Beaty JH, Kasser JR (2006): *Rockwood and Wilkins' Fractures in Children*. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia 6<sup>th</sup> Edition
13. Beekman F, Sullivan J (1941): Some observations on fractures of long bones in the child. *Am J Surg* 51:722-738
14. Berger P, De Graaf JS, Leemans R (2005): The use of elastic intramedullary nailing in the stabilization of paediatric fractures. *Injury* 36:1217-1220

15. Bergman AB, Rivara FP (1991): Sweden's experience in reducing childhood injuries. *Pediatrics* 88:69
16. Bernstein J, Monaghan B, Silber JS, DeLong WG (1997): Taxonomy and treatment - a classification of fracture classifications. *J Bone Joint Surg Br* 79:706-707
17. Blasier RD, Aronson J, Tursky EA (1997): External fixation of pediatric femur fractures. *J Pediatr Orthop* 17:342-346
18. Blount WP (1955): *Fractures in children*. Williams & Wilkins, Baltimore
19. Blount WP (1976): Fractures in children are different. *J Orthop Nurses Assoc* 3:296
20. Bonnaire F, Seif el Nasr M (2001): Indikationsstellung im Kindesalter. *Trauma Berufskrankh* 3:93-102
21. Bopst L, Reinberg O, Lutz N (2007): Femur fracture in preschool children. *J Pediatr Orthop* 27:299-303
22. Bordon S (1974): Traumatic bowing of the forearm in children. *J Bone Joint Surg Am* 56:611-616
23. Bould M, Bannister GC (1999): Refractures of the radius and ulna in children. *Injury* 30:583-586
24. Brudvik C, Hove LM (2003): Childhood fractures in Bergen, Norway: Identifying high-risk groups: a study of 3350 children. *J Pediatr Orthop* 23:629-634
25. Buckley SL (1997): Current trends in the treatment of femoral shaft fractures in children and adolescents. *Clin Orthop* 338:60-73
26. Buess E, Kaelin A (1998): One hundred pediatric femoral fracture: epidemiology, treatment attitudes, and early complication. *J Pediatr Orthop B* 7:186-192
27. Buford D, Christensen K, Weatherall P (1998): Intramedullary nailing of femoral fractures in adolescents. *Clin Orthop Relat Res* 350:85-89
28. Burton VW, Fordyce AJW (1973): Immobilization of femoral shaft fractures in children aged 2-10 years. *Injury* 4:47-53
29. Burri C, Rüter A (1976): Die offene Fraktur im Kindesalter. *Langenbecks Arch Chir* 342:305-310
30. Burstein AH (1993): Do they work and are they useful? (Editorial. Fracture classification systems). *J Bone Joint Surg Am* 75:1743-1744
31. Caglar O, Aksoy MC, Yazici M, Surat A (2006): Comparison of compression plate and flexible intramedullary nail fixation in pediatric femoral shaft fractures. *J Pediatr Orthop B* 15:210-214

32. Calder PR, Achan P, Barry M (2003): Diaphyseal forearm fractures in children treated with intramedullary fixation: outcome of K-wires versus elastic stable intramedullary nail. *Injury* 34:278-282
33. Chapchal G (1979): *Fractures in children*. Basel München Paris London New York Sydney, Karger
34. Cheng JCY, Shen WY (1993): Limb Fracture Patterns in Different Pediatric Age Groups: A Study of 3350 Children. *J Orthop Trauma* 7:15-22
35. Cheng JCY, Ng BKW, Ying SY, Lam PKW (1999): A 10-year study of the changes in the pattern and treatment of 6493 fractures. *J Pediatr Orthop* 19:344-350
36. Colton CL (1997): Fracture classification. *J Bone Joint Surg Br* 79:708-709
37. Currey JD, Butler G (1975): Mechanical properties of bone tissue in children. *JBJS Am* 57:810-814
38. Dale GG, Harris WR (1958): Prognosis in epiphyseal separation. An experimental study. *J Bone Joint Surg Br* 40:116-122
39. Dietz HG, Joppich I, Marzi I, Parsch K, Schlickewei W, Schmittenbecher PP (2001): Die Behandlung der Femurfrakturen im Kindesalter. *Unfallchirurg* 104:788-790
40. Do TT, Strub WM, Foad SL, Mehlman CT, Crawford AH (2003): Reduction versus remodeling in pediatric distal forearm fractures: a preliminary cost analysis. *J Pediatr Orthop B* 12:109-115
41. Fehmer T, Arens S, Muhr G, Kälicke T (2005): Klassifikation von Frakturen im Wachstumsalter. *Trauma Berufskrankh* 7
42. Gaid M, Jeer P (2006): Cost analysis of managing paediatric femoral shaft fractures: Flexible intramedullary nailing versus non-operative management. *Acta Orthop Belg* 72:170-175
43. Gandhi RK, Wilson P, Mason Brown JJ, Mac Leod W (1962): Spontaneous correction of deformity following fractures in children. *Br J Surg* 50:5-10
44. Gordon JE, Khanna N, Luhmann SJ, Dobbs MB, Ortman MR, Schoenecker PL (2004): Intramedullary nailing of femoral fractures in children through the lateral aspect of the greater trochanter using a modified rigid humeral intramedullary nail: Preliminary results of a new technique in 15 children. *J Orthop Trauma* 18:416-422
45. Green NE, Swiontkowski MF (eds) (2009): *Skeletal Trauma in Children*. 4<sup>th</sup> ed. Saunders Elsevier, Philadelphia
46. Hanlon CR, Estes WL (1954): Fractures in childhood – a statistical analysis. *Am J Surg* 87:312-323

47. Hedequist DJ, Sink E (2005): Technical aspects of bridge plating for pediatric femur fractures. *J Orthop Trauma* 19:276-279
48. Hedequist D, Bishop J, Hresko T (2008): Locking plate fixation for pediatric femur fractures. *J Pediatr Orthop* 28:6-9
49. Ho CA, Skaggs DL, Tang CW, Kay RM (2006): Use of flexible intramedullary nails in pediatric femur fractures. *J Pediatr Orthop* 26:497-504
50. Hughston JC (1962): Fractures of the forearm in children. *J Bone Joint Surg Am* 44:1678-1693
51. Hunter JB (2005): Femoral shaft fractures in children. *Injury* 36(suppl 1):A86-A93
52. Jonasch E (1982): Knochenbruchbehandlung bei Kindern. Berlin, De Gruyter
53. Jonasch E, Bertel E (1981): Verletzungen bei Kindern bis zum 14. Lebensjahr. *Unfallheilkd* 150:1-139
54. Jones BG, Duncan RDD (2003): Open tibial fractures in children under 13 years of age – 10 years experience. *Injury* 34:776-780
55. Kopjar B, Wickizer TM (1998): Fractures among children: incidence and impact on daily activities. *Injury Prevention* 4:194-197
56. Kraus R, Schnettler R, Busato A, Bahr M, Schneidmüller D, Schiefer U, Worel A, Laer L (2004): Age and activity related prevalence of longbone fractures in childhood and adolescence – a multicenter study. Vortrag DGU 2004
57. Kraus R, Schneidmüller D, Roeder C (2005): Häufigkeit von Frakturen der langen Röhrenknochen im Wachstumsalter. *Dtsch Arztebl* 102:A 838-842
58. Kuner EH (1976): Die Osteosynthese bei der kindlichen Fraktur. *Langenbecks Arch Chir* 342:291-298
59. Kuremsky MA, Frick SL (2007): Advances in the surgical management of pediatric femoral shaft fractures. *Curr Opin Pediatr* 19:51-57
60. Laer LR von, Gruber R, Dallek M et al. (2000): Classification and documentation of children's fractures. *Eur J Trauma* 26:2-14
61. Laer LR von (2001): Frakturen und Luxationen im Wachstumsalter. Stuttgart New York, Thieme 4.Aufl.
62. Laer LR von (2005): Frakturen im Wachstumsalter. Wandel in der Behandlung in den letzten 30 Jahren. *Trauma Berufskrankh* 7:6-10
63. Laer LR von, Worel A, Röder Ch, El-Kerdi A, Straub LP, Busato A (2005): Qualitätssicherung in der Traumatologie des Wachstumsalters - eine Pilotstudie. *Schweizerische Ärztezeitung* 48:2520-2527

64. Landin L (1983): Fracture patterns in children. Analysis of 8682 fractures with special reference to incidence, etiology and secular changes in Swedish urban population 1950-1979. *Acta Orthop Scand Suppl* 202:1-109
65. Lascombes P, Haumont T, Journeau P (2006): Use and abuse of flexible intramedullary nailing in children and adolescents. *J Pediatr Orthop* 26:827-834
66. Lichtenberg RP (1954): A study of 2,532 fractures in children. *Am J Surg* 87:330-338
67. Lyons RA, Delahunty AM, Kraus D, Heaven M, McCabe M, Allen H, Nash P (1999): Children's fractures: a population based study. *Inj Pre* 5:129-132
68. Mabrey JD, Fitch RD (1989): Plastic deformation in pediatric fractures: mechanism and treatment. *J Pediatr Orthop* 9:310-314
69. Maier M, Maier-Heidkamp P, Lehnert M, Wirbel R, Marzi I (2003): Ausheilungsergebnisse konservativ und operativ versorgter kindlicher Femurfrakturen. *Unfallchirurg* 106:48-54
70. Mann DC, Rajmaira S (1990): Distribution of physeal and nonphyseal fractures in 2,650 long-bone fractures in children aged 0-16 years. *J Pediatr Orthop* 10:713-716
71. Marzi I (2006): *Kindertraumatologie*. Steinkopff, Darmstadt 1. Aufl.
72. Masterson E, Borton D, O'Brien T (1993): Victims of our climate. *Injury* 24:247
73. Mizuta T, Benson WM, Foster BK, Paterson DC, Morris LL (1987): Statistical analysis of the incidence of physeal injuries. *J Pediatr Orthop* 7:518-523
74. Moroz LA, Launay F, Kocher MS, Newton PO, Frick SL, Sponseller PD, Flynn JM (2006): Titanium elastic nailing of fractures of the femur in children. Predictors of complications and poor outcome. *J Bone Joint Surg Br* 88:1361-1366
75. Müller ME, Nazarian S, Koch P, Schatzker J (1990): *The comprehensive classification of fractures of the long bones*. Berlin Heidelberg New York, Springer
76. Oestern HJ, Rieger G, Jansen T (2000): Intramedulläre Osteosynthesen beim Kind. *Unfallchirurg* 103:2-11
77. Ogden JA (1981): Injury to the growth mechanisms of the immature skeleton. *Skeletal Radiol* 6:237-253
78. Ogden JA (1982): *Skeletal injury in the child*. Lea and Febiger, Philadelphia
79. Ogden JA (1982): Skeletal growth mechanism injury patterns. *J Pediatr Orthop* 2:371-377
80. Peterson HA (1994): Physeal fractures: Part 2. Two previously unclassified types. *J Pediatr Orthop* 14:431-438

81. Peterson HA (1994): Physeal fractures: Part 3. Classification. *J Pediatr Orthop* 14:439-448
82. Poolman RW, Kocher MS, Bhandari M (2006): Pediatric femoral fractures: A systematic review of 2422 cases. *J Orthop Trauma* 20:648-654
83. Proctor MT, Moore DJ, Paterson JM (1993): Redisplacement after manipulation of distal radial fractures in children. *J Bone Joint Surg Am* 75:453-454
84. Rang M, Pring M, Wenger D (2005): Rang's children's fractures. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia 3<sup>rd</sup> Edition
85. Reed MH (1977): Fractures and dislocations of the extremities in children. *J Trauma* 17:351-354
86. Rennie L, Court-Brown CM, Mok JYQ, Beattie TF (2007): The epidemiology of fractures in children. *Injury* 38:913-922
87. Salter RB, Harris WR (1963): Injuries involving the epiphyseal plate. *J Bone Joint Surg Am* 45:587-622
88. Schmittenebecher PP (2004): Analysis of Reinterventions in children's fractures – an aspect of quality control. *Eur J Trauma* 30:104-109
89. Schmittenebecher PP (2005): State-of-the-art treatment of forearm shaft fractures. *Injury* 36(suppl 1):A25-A34
90. Shannak AO (1988): Tibial fractures in children: Follow-up study. *J Pediatr Orthop* 8:306-310
91. Sink EL, Hedequist D, Morgan SJ, Hresko T (2006): Results and technique of unstable pediatric femoral fractures treated with submuscular bridge plating. *J Pediatr Orthop* 26:177-181
92. Slongo T, Audigé L, Schlickewei W, Clavert JM, Hunter J (2006): Development and validation of the AO Pediatric Comprehensive Classification of Long Bone Fractures by the Pediatric Expert Group of the AO Foundation in collaboration with AO Clinical Investigation and Documentation and the International Association for Pediatric Traumatology. *J Pediatr Orthop* 26:43-49
93. Slongo T, Audigé L, Clavert JM, Lutz N, Frick S, Hunter J (2007): The AO Comprehensive Classification of Pediatric Long-bone Fractures. A web-based multicenter agreement study. *J Pediatr Orthop* 27:171-180
94. Slongo T, Audige L, Lutz N, Frick S, Schmittenebecher P, Hunter J, Clavert JM (2007): Documentation of fracture severity with the AO-Classification of pediatric long-bone fractures. *Acta Orthopaedica* 78:247-253
95. Stewart DG, Kay RM, Skaggs DL (2005): Open fractures in children. Principles of evaluation and management. *J Bone Joint Surg Am* 87:2784-2798

96. Thomas EM, Tuson KWR, Browne PSH (1975): Fractures of the radius and ulna in children. *Injury* 7:120-124
97. Tiderius CJ, Landin L, Diippe H (1999): Decreasing of fractures in children: an epidemiological analysis of 1,673 fractures in Malmö, Sweden, 1993-1994. *Acta Orthop Scand* 70:622-626
98. Tolo VT (1983): External skeletal fixation in children's fractures. *J Pediatr Orthop* 3:435-442
99. Wallace ME, Hoffman EB (1992): Remodeling of angular deformity after femoral shaft fractures in children. *J Bone Joint Surg Br* 74:765-769
100. Weber BG (1976): Allgemeines einführendes Referat zur Therapie der kindlichen Fraktur. *Langenbecks Arch Chir* 342:282-286
101. Weber BG, Brunner C, Freuler F (1980): Treatment of fractures in children and Adolescents. Berlin Heidelberg New York, Springer.
102. Weinberg AM, Reilmann, H (1999): Frakturen der Diaphyse im Kindesalter. *Unfallchirurg* 102:132-140
103. Wilkins K (2004): Principles of fracture remodelling in children. *Injury* 36(suppl 1):A3-A11
104. Wolff J (1988): The classic: Concerning the interrelationship between form and function of the individual parts of the organism. *Clin Orthop* 228:2-11; Übersetzung von Wolff J (1901): Über die Wechselbeziehungen zwischen der Form und der Function der einzelnen Gebilde des Organismus. FCW Vogel, Leipzig
105. Worlock P, Stower M (1986): Fracture Patterns in Nottingham Children. *J Pediatr Orthop* 6:656-661
106. Wright JG, Wang EE, Owen JL, Stephens D, Graham HK, Hanlon M, Nattrass GR, Reynolds RAK, Coyte P (2005): Treatment for paediatric femoral fractures: A randomised trial. *Lancet* 365:1153-1158

**Sandra Köhncke, geb. Kuhfittig**

---

Papenkamp 61

24114 Kiel

Telefon: 0431/28906024

**PERSÖNLICHE DATEN**

Geburtsdaten: 09.07.1976 in Itzehoe

verheiratet, 1 Kind

**SCHULBILDUNG**

1983-1987 Grundschule Hohenlockstedt

1987-1996 Kaiser-Karl-Schule Itzehoe,  
Allgemeine Hochschulreife

**AUSBILDUNG/UNIVERSITÄT**

WS 1996/97-SS 2002 Studium der Humanmedizin an der  
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

**BERUFLICHE TÄTIGKEIT**

01.01.2003-30.06.2004 Ärztin im Praktikum in der Klinik für  
Unfallchirurgie, Universitätsklinik Schleswig-Holstein, Campus Kiel

01.07.2004-31.05.2009 Assistenzärztin in der Klinik für  
Unfallchirurgie, Universitätsklinik Schleswig-Holstein, Campus Kiel

Während dieser Tätigkeit zweijährige Rotation in die Klinik für Chirurgie des  
Städtischen Krankenhauses Kiel (01.04.06-31.03.08)

01.06.2009-31.05.2011 Assistenzärztin in der Orthopädischen Klinik des  
Klinikum Stuttgarts, Olgahospital

seit 01.06.2011 Mutterschutz bzw. Elternzeit

**DOKTORARBEIT**

2003 Teilnahme an der von LiLa durchgeführten Multicenterstudie

2004 bis 2005 Datenerhebung