

**Häufigkeit posteriorer Rippenfrakturen nach kardio-pulmonaler
Reanimation von Neugeborenen und Säuglingen im (korrigierten)
ersten vollendeten Lebensjahr**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität
Bonn

Annika Pingen
aus Köln
2014

Angefertigt mit Genehmigung der
Medizinischen Fakultät der Universität Bonn

1. Gutachter: Prof. Dr. R. Ganschow
2. Gutachter: PD Dr. C.P. Nähle

Tag der Mündlichen Prüfung: 12.05.2014

Aus der Abteilung für Allgemeine Pädiatrie, Zentrum für Kinderheilkunde, Bonn
Direktor: Professor Dr. Rainer Ganschow

Für Ursula und Bert Pingen

Inhaltsverzeichnis

1.	Abkürzungsverzeichnis	7
2.	Einleitung	8
2.1	Reanimation des Neugeborenen und Säuglings	8
2.2	Posteriore Rippenfrakturen	9
2.3	Problemstellung	13
3.	Material und Methoden	15
3.1	Ein- und Ausschlusskriterien	15
3.2	Archivsuche	15
3.3	Auswertung der Röntgenaufnahmen	17
3.4	Statistische Auswertung	18
3.5	Literaturrecherche	19
4.	Ergebnisse	20
4.1	Merkmale der Kohorte	20
4.1.1	Geschlechterverteilung der Kinder	20
4.1.2	Reife bei Geburt	20
4.1.3	Gewichts - und Längenverteilung der Kohorte	22
4.1.4	Pränatale Komplikationen und Erkrankungen im Kindesalter	25
4.2	Reanimation	28
4.3	Auswertung der Röntgenaufnahmen	30
4.3.1	Qualität der Röntgenaufnahmen	31
4.3.2	Qualitätsunterschied von digitalen und konventionellen Röntgenaufnahmen	36
4.4	Häufigkeit von Rippenfrakturen nach Reanimation	39
5.	Diskussion	46
5.1	Reanimation von Neugeborenen und Säuglingen – 2 Daumen - Technik vs 2 Finger - Technik	46

5.2	Ursachen posteriorer Rippenfrakturen von Neugeborenen und Säuglingen	47
5.3	Diagnostik posteriorer Rippenfrakturen	66
5.4	Limitationen der Studie	72
6.	Zusammenfassung	74
7.	Literaturverzeichnis	76
8.	Danksagung	89
9.	Lebenslauf	90

1. Abkürzungsverzeichnis

AAP	American Academy of Pediatrics
AHA	American Heart Association
ERC	European Resuscitation Council
CPR	Cardio Pulmonal Resuscitation
NAT	non accidental trauma
NON-NAT	accidental trauma
SBS / SIS	Shaken Baby Syndrome / Shaken Infant Syndrome
SUDI	Sudden Unexpected Death in Infancy
SSW	Schwangerschaftswoche
a. - p.	anterior - posterior
Rö - Th	Röntgen - Thorax
CT	Computertomographie
MRT	Magnetresonanztomographie
V. a.	Verdacht auf
RDS	Respiratory Distress Syndrome
VLBW / ELBW	very low birth weight infant (< 1500g) / extremely low birth weight infant (< 1000g)
OI	Osteogenesis Imperfecta

2. Einleitung

2.1 Reanimation des Neugeborenen und Säuglings

Seit dem Jahr 2000 werden von dem European Resuscitation Council (ERC) Reanimationsrichtlinien herausgegeben, die die 2 Daumen - Reanimationstechnik als bevorzugte Methode der Thoraxkompression während der professionellen Reanimation von Neugeborenen und Säuglingen empfehlen (ERC, 2002). Studienergebnisse weisen darauf hin, dass mit der 2 Daumen - Technik im Vergleich zu der ebenfalls empfohlenen 2 Finger - Technik ein höherer Koronararterienperfusionssdruck erzielt wird (AHA, 2000; David, 1988; ERC, 2002; Houry et al., 1997; Mene-gazzi et al., 1993). Die 2 Daumen - Technik besagt, dass der Reanimierende den Thorax des Säuglings mit beiden Händen von vorne umgreift und mit den Daumen die untere Hälfte des Sternums komprimiert (AHA, 2000; ERC, 2002). Die Kompressionsfrequenz soll 100 pro Minute und die Kompressionstiefe soll etwa ein Drittel bis zur Hälfte des anterior - posterioren Durchmessers der Brust betragen (AHA, 2000; ERC, 2002).



Abb.1a: 2 Finger - Reanimationstechnik



Abb. 1b: 2 Daumen - Reanimationstechnik

2.2 Posteriore Rippenfrakturen

Frakturen in der diskutierten Altersgruppe weisen signifikant auf ein nicht akzidentelles Trauma hin (Agran et al., 2003; Bulloch et al., 2000; Cadzow und Armstrong, 2000; Day et al., 2006; Herrmann et al., 2008; Kemp et al., 2008; Kleinman et al., 1997; Kleinman, 2005; Leventhal et al., 2008; Mulpuri, 2010; Offiah et al., 2009). Kemp et al. (2008) kommen in ihrem Review, in dem sechs Studien ausgewertet wurden, zu dem Ergebnis, dass bei Kindern unter einem Jahr Frakturen in 25 % - 56 % der Fälle nicht akzidentell verursacht sind. Die Wahrscheinlichkeit, dass bei dem Nachweis von Rippenfrakturen Kindesmisshandlung ursächlich ist, beträgt 71 % (Kemp et al., 2008). Bereits 2000 weisen Cadzow und Armstrong (2000) und Bulloch et al. (2000) nach, dass bei über 80 % der Kinder unter einem Jahr mit nachgewiesenen Rippenfrakturen Misshandlung ursächlich war.

Posteriore Rippenfrakturen sind besonders spezifisch für ein nicht akzidentelles Trauma (Barsness et al., 2003; Bulloch et al., 2000; Day et al., 2006; Herrmann et al., 2008; Kleinman et al., 1997; Kleinman, 2005; Mulpuri, 2010; Offiah et al., 2009). Zum einen ist das kindliche Skelett noch sehr elastisch, sodass Rippenfrakturen das Wirken starker Kräfte, wie zum Beispiel einen Autounfall, voraussetzen, zum anderen können nur sehr wenige Unfallgeschehen den speziellen Frakturmechanismus posteriorer Rippenfrakturen (siehe S.10 und 11) erklären (Barsness et al., 2003; Bulloch et al., 2000; Day et al., 2006; Herrmann et al., 2008; Kleinman et al., 1997; Kleinman, 2005; Mulpuri, 2010; Offiah et al., 2009). Sind plausible Ursachen für die Entstehung posteriorer Rippenfrakturen anamnestisch auszuschließen oder unglaubwürdig dargestellt, besteht der Verdacht auf Misshandlung, wie zum Beispiel das Schütteln eines Kindes (siehe Abb. 2 und 3). Laut einer retrospektiven Studie von Barsness et al. (2003) beträgt der positive prädiktive Wert für ein nicht akzidentelles Trauma (NAT) als Ursache von Rippenfrakturen bei Kindern unter 3 Jahren 95%.



Abb. 2. „The shaken infant“ (Illustriert von Laura Perry, M.D., basierend auf einer Täterbeschreibung) (Reproduziert mit Erlaubnis von Kleinman, 1990)

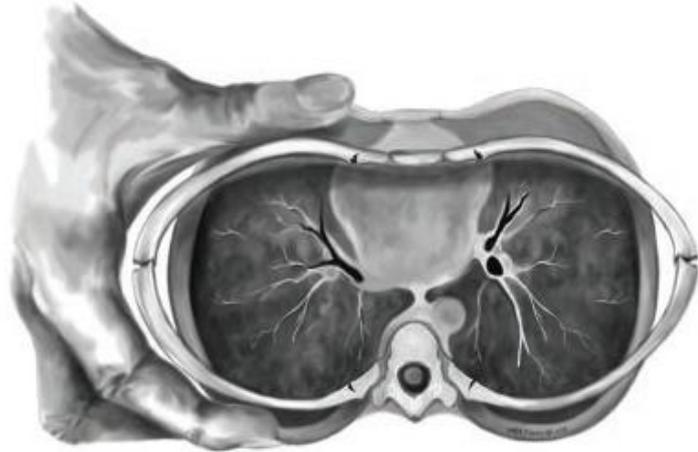


Abb. 3: Heftiges Schütteln und Quetschen des Thorax eines Säuglings kann unter anderem zu subduralen Hämatomen, Abscherverletzungen des Gehirns und Rippenfrakturen führen (Reproduziert mit Erlaubnis von Lonergan et al., 2003).

Entstehung posteriorer Rippenfrakturen

Ein Mechanismus, der die Entstehung posteriorer Rippenfrakturen erklärt, ist die anterior - posteriore Kompression des Brustkorbes (Bulloch et al., 2000; Herrmann et al., 2008; Kleinman et al., 1997; Kleinman, 2005; Maguire et al., 2006; Offiah et al., 2009). Aufgrund der Kompression rücken die Rippen nach dorsal, die Wirbelsäule verbleibt jedoch an ihrem Platz. Folglich wirken die transversalen Processus der Wirbelkörper als Hebel, an denen die Rippenköpfe oder - hälse brechen (Abb. 4) (Bulloch et al., 2000; Herrmann et al., 2008; Kleinman et al., 1997; Kleinman, 2005; Offiah et al., 2009). Des Weiteren bewirkt die anterior - posteriore Kompression eine große Spannung in den lateralen Anteilen der Rippe, wodurch Frakturen im Bereich der lateralen Arcus entstehen können (Abb. 4) (Bulloch et al., 2000; Herrmann et al., 2008; Kleinman et al., 1997; Kleinman, 2005). Andere Arten der Kompression können zu veränderten Bruchstellen führen (Bulloch et al., 2000; Herrmann et al., 2008; Kleinman et al., 1997; Kleinman, 2005).

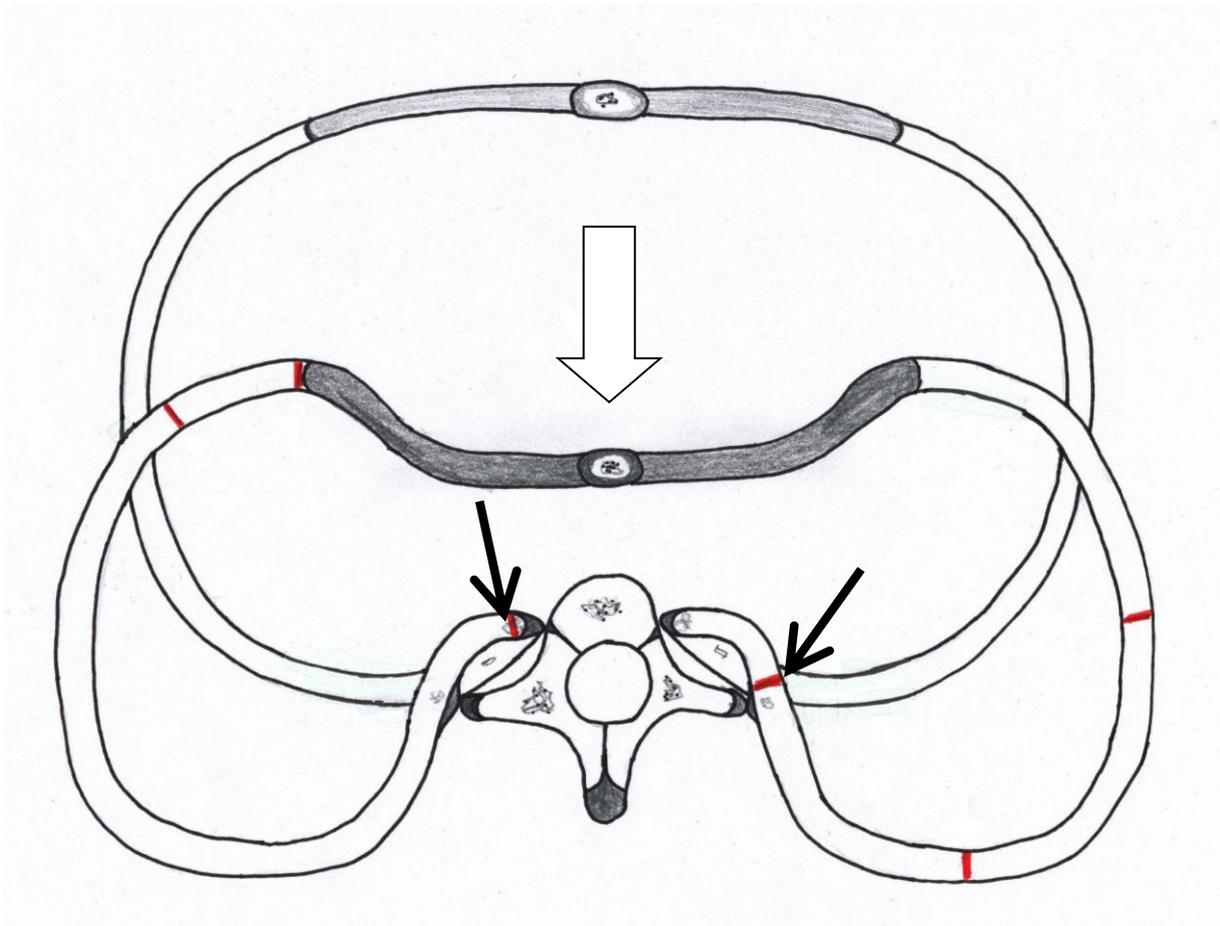


Abb. 4: Mechanismus der Entstehung von Rippenfrakturen. Durch antero - posteriore Kompression des Brustkorbes entsteht eine Hebelwirkung an den costovertebralen Gelenken. Die hierdurch verursachte Spannung am Rippenhals oder - kopf endet in einer posterioren Rippenfraktur (siehe Pfeile). Die durch die Kompression verursachte Spannung in der Rippe, kann zu weiteren Bruchstellen, wie anterioren oder lateralen Frakturen führen (siehe rote Markierungen) (angelehnt an Kleinman, 2005).

Obwohl Rippenfrakturen sehr spezifisch für nicht akzidentelle Traumata sind, dürfen andere mögliche Ursachen, wie geburtsbedingte Frakturen, Stoffwechselkrankheiten, Skelettdysplasien und Reanimation des Säuglings nicht vernachlässigt werden (Bullock et al., 2000; Chalumeau et al., 2002; Herrmann et al., 2008; Kleinman, 2005; Weber et al., 2009). Letzteres wird Gegenstand dieser Arbeit sein.

Diagnostik posteriorer Rippenfrakturen

Rippenfrakturen sind oft klinisch unauffällig und werden nicht selten zufällig entdeckt (Bullock et al., 2000; Herrmann et al., 2008; Kleinman et al. 2002; Mulpuri, 2010;

Offiah et al., 2009). Bei Verdacht auf Kindesmisshandlung ist bei allen Kindern unter 2 - 3 Jahren ein Röntgen - Skelettscreening die Methode erster Wahl (AAP 2009, Herrmann et al., 2008). Dieses Screening beinhaltet eine anterior - posteriore (a. - p.) Röntgen - Thorax - Aufnahme (Rö - Th) zum Detektieren von insbesondere posterioren Rippenfrakturen (AAP 2009, Herrmann et al., 2008). Es empfiehlt sich die Röntgenaufnahme nach 10 - 14 Tagen zu wiederholen, da die einsetzende Frakturheilung die Sensitivität der radiologischen Diagnostik um bis zu 36 % erhöht (Anilkumar et al., 2006; Harlan et al., 2009; Herrmann et al., 2008; Kemp et al., 2006; Kleinman et al., 1996 b; Offiah et al., 2009; Zimmerman et al., 2005). Die nachfolgenden Röntgenaufnahmen zeigen sowohl posteriore Rippenfrakturen nach 10 - 14 Tagen als auch akute laterale Rippenfrakturen eines misshandelten Jungen (Abb. 5).

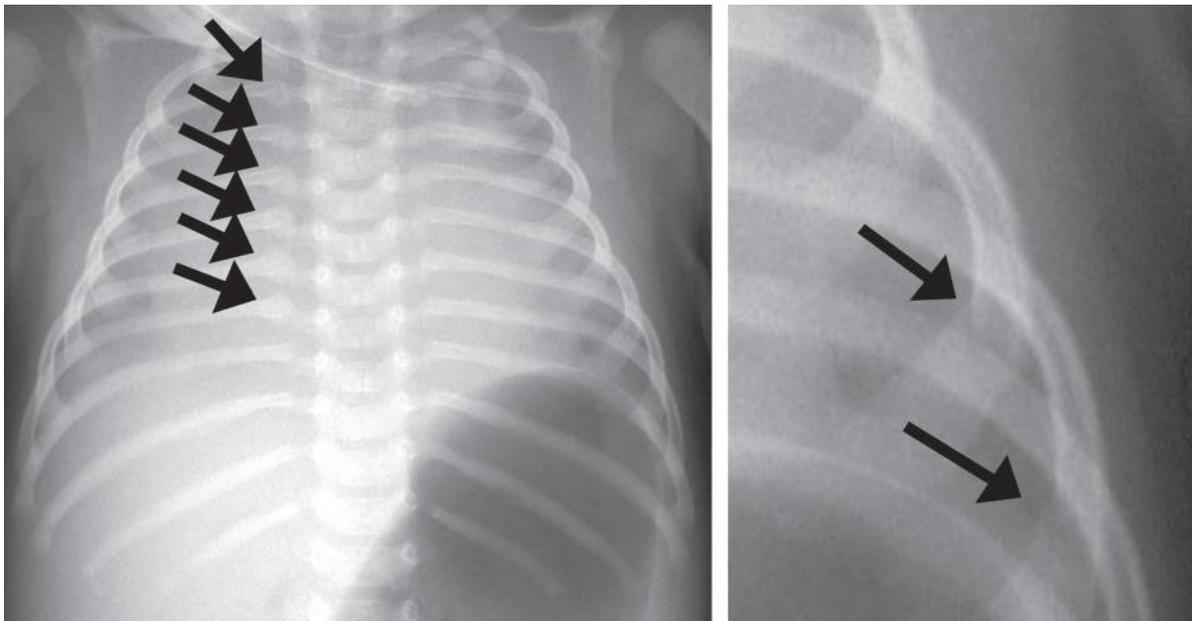


Abb. 5a und b: Sichtbar sind heilende posteriore (a) und akute laterale (b) Rippenfrakturen bei einem verstorbenen misshandelten 7 Monate alten Jungen. a) Die a. - p. Rö - Th - Aufnahme zeigt posteriore Rippenfrakturen der 3. - 8. Rippen rechts. Die Frakturkallus sind deutlich sichtbar. b) Vergrößerte Sicht auf den unteren lateralen linken Thoraxabschnitt. Erkennbar sind akute laterale Rippenfrakturen ohne Frakturkallus der 7. und 8. linken Rippen (reproduziert mit Erlaubnis von Lonergan et al., 2003)

Es wird diskutiert, ob weitere Aufnahmeebenen des Thorax (laterale und schräge Aufnahmen), ein besseres Erkennen der Rippenfrakturen ermöglicht (Herrmann et al., 2008; Kemp et al., 2006; Kleinman et al., 1996 b; Offiah et al., 2009; Wootton - Gorges et al., 2008). Ein Babygramm (eine komplette Abbildung eines Kindes auf

einem Röntgenbild) ist auf Grund von Verzerrungsartefakten und unzureichender Genauigkeit obsolet (Herrmann et al., 2008; Kleinman et al., 1996 b).

2.3 Problemstellung

Gegenstand dieser Studie ist, ob durch die Anwendung der beschriebenen 2 Daumen - Reanimationstechnik Rippenfrakturen entstehen. Die Vermutung kommt auf, da das Umgreifen des Thorax während der Reanimation dem Umgreifen des Thorax während des Schüttelns eines Säuglings ähnelt.

Die bisherige Lehrmeinung besagt, dass posteriore Rippenfrakturen bei gesunden Neugeborenen und Säuglingen, (also ohne den Knochenstoffwechsel beeinflussende Erkrankungen oder Osteopenie), nicht durch eine Herzdruckmassage verursacht werden können (Betz und Liebhardt, 1994; Bulloch et al., 2000; Bush et al., 1996; Dolanik, 2007; Gunther et al. 2000; Herrmann et al., 2008; Hoke und Chamberlain, 2004; Matshes und Lew, 2010; Offiah et al., 2009). Diese Meinung beruht zum einen auf der Vermutung, dass während der Herzdruckmassage nicht genug Kraft ausgeübt wird, um das junge elastische Skelett brechen zu lassen und zum anderen darauf, dass der Säugling auf einer festen Fläche aufliegt, sodass die beschriebenen Hebelkräfte nicht wirken (was auf die 2 Finger - Technik zutrifft). Nach der Einführung der 2 Daumen - Technik, die die Reanimation effizienter gestalten soll, muss diese Lehrmeinung neu diskutiert werden. Clouse und Lantz (2008) beschrieben vier Frühgeborene (1 Tag - 3 Monate alt), die trotz Reanimation (unter Verwendung der 2 Daumen - Technik) verstarben. In allen Fällen wurde Misshandlung ausgeschlossen, jedoch wurden bei der Obduktion posteriore Rippenfrakturen festgestellt. In einer Studie von Reyes et al. (2011), in der Sektionsprotokolle von 571 reanimierten Säuglingen in dem Zeitraum von 1997 - 2008 ausgewertet wurden, wurde festgestellt, dass nach der Einführung der 2 Daumen - Reanimationstechnik (hier im Jahr 2005) die Rate von anterioren und lateralen Rippenfrakturen nach Reanimation von 1,3 % auf 7,9 % anstieg. Ein Hasenexperiment von Kleinman et al. (1997) zeigt, dass Rippenfrakturen nicht auftreten, wenn der Körper auf einer stabilen Fläche liegt und nur von vorne Druck auf das Sternum ausgeübt wird (entsprechend der 2 Finger - Reanimationstechnik). Rippenfrakturen treten jedoch auf, wenn der Hasenthorax mit

beiden Händen umschlossen wird und, wie bei der 2 Daumen - Technik, mit den Daumen Druck auf das Sternum ausgeübt wird (Kleinman et al., 1997).

Diese Arbeit untersucht, ob und wie häufig posteriore Rippenfrakturen nach der Reanimation von Neugeborenen und Säuglingen bis zum (korrigierten) ersten vollendeten Lebensjahr auftreten. Es wurden a. - p. Rö - Th - Aufnahmen von 80 Neugeborenen und Säuglingen retrospektiv von zwei unabhängigen Gutachtern auf das Vorkommen von posterioren Rippenfrakturen untersucht und statistisch ausgewertet.

Wenn Rippenfrakturen als Folge einer Herzdruckmassage bei Säuglingen und Neugeborenen auftreten, muss geklärt werden, ob und wie sich diese Rippenfrakturen von nicht akzidentell verursachten Rippenfrakturen unterscheiden.

3. Material und Methoden

3.1 Ein- und Ausschlusskriterien

Diese Studie ist retrospektiv und multizentrisch angelegt. Es wurden Archive von drei deutschen Kinderkliniken nach Fällen im Zeitraum vom 01.01.2001 bis zum 31.12.2010 durchsucht. Es wurde nach Kindern unter einem Jahr gesucht, bei denen in der Krankenakte eine im Krankenhaus durchgeführte Herzdruckmassage dokumentiert wurde. Bei diesen Fällen wurde anschließend geprüft, ob nach der Reanimation a. – p. Rö -Th - Aufnahmen vorgenommen wurden. Waren Aufnahmen vorhanden, wurde der Fall vorläufig in die Studie aufgenommen. Alle vorläufig in die Studie aufgenommenen Patienten konnten nach Prüfung der Ausschlusskriterien in die Auswertung aufgenommen werden. Ausschlusskriterien waren Sternotomie, Osteopenie, Osteoporose, andere den Knochenstoffwechsel beeinflussende Erkrankungen und Misshandlung. Misshandlung wurde ausgeschlossen in dem entweder die Kinder zwischen der Geburt und dem Reanimationseignis das Krankenhaus nicht verlassen haben oder in dem eine a. - p. Rö - Th - Aufnahme vor der Reanimation als Referenzaufnahme vorlag. Die anderen Ausschlusskriterien wurden anhand der Krankenakte geprüft.

3.2 Archivsuche

In der Universitätskinderklinik Bonn wurde in der Neonatologie in Neodat®, in der Kinderkardiologie in Hospidata® und in der zentralen Datenbank des Universitätsklinikums (KAS®) gesucht. Folgende Suchbegriffe wurden verwendet: Herzdruckmassage, Reanimation, Herzkreislaufstillstand, Wiederbelebung. Es wurden 102 Treffer gefunden. Nachträglich wurden 29 Patienten auf Grund der Ein- und Ausschlusskriterien oder dem nicht Auffinden der Krankenakten ausgeschlossen. Von den eingeschlossenen Patienten konnten nur in 58 % der Fälle (43 Kinder) Röntgenaufnahmen im Röntgenarchiv gefunden werden, (obwohl in der Krankenakte ein Rö - Th - Befund mit entsprechendem Datum vorhanden war). Diese Patienten (43 Kinder) wurden in die Studie aufgenommen.

Im Klinikum Nürnberg wurde im Archiv der Neonatologie gesucht. Es wurden 11 Patienten gefunden, die den Kriterien entsprachen. 2 Kinder wurden nachträglich

ausgeschlossen, da unklar war ob die Röntgenaufnahme vor oder nach der Reanimation durchgeführt wurde. Die restlichen 9 Patienten wurden in die Studie aufgenommen.

In der Kinderklinik des Universitätsklinikums Düsseldorf wurde eine Freitextsuche in der entsprechenden Datenbank des Klinikums (Medico®) durchgeführt. Folgende Suchbegriffe wurden verwendet: Herzdruckmassage, Reanimation, Herzkreislaufstillstand, Wiederbelebung. Es wurden 337 Treffer erzielt. In etwa zwei Dritteln der Kinder wurden jedoch nur Reanimationsmaßnahmen der Atemwege und keine Thoraxkompression durchgeführt. Diese wurden ausgeschlossen. Von dem verbliebenen Drittel wurden noch einmal 65 % ausgeschlossen, hauptsächlich da rein medikamentöse Reanimationsmaßnahmen durchgeführt wurden oder die Reanimation außerhalb des Krankenhauses im Rahmen eines Notfalleinsatzes stattfand. Letztendlich erfüllten 34 Patienten die Ein- und Ausschlusskriterien. Bei diesen Patienten konnten in 81 % (28 Kinder) Röntgenaufnahmen im Röntgenarchiv gefunden werden und in die Studie aufgenommen werden.

In Diagramm 1 sind die teilnehmenden Kliniken anteilig der Anzahl der beige-steuerten Patienten zusammengefasst.

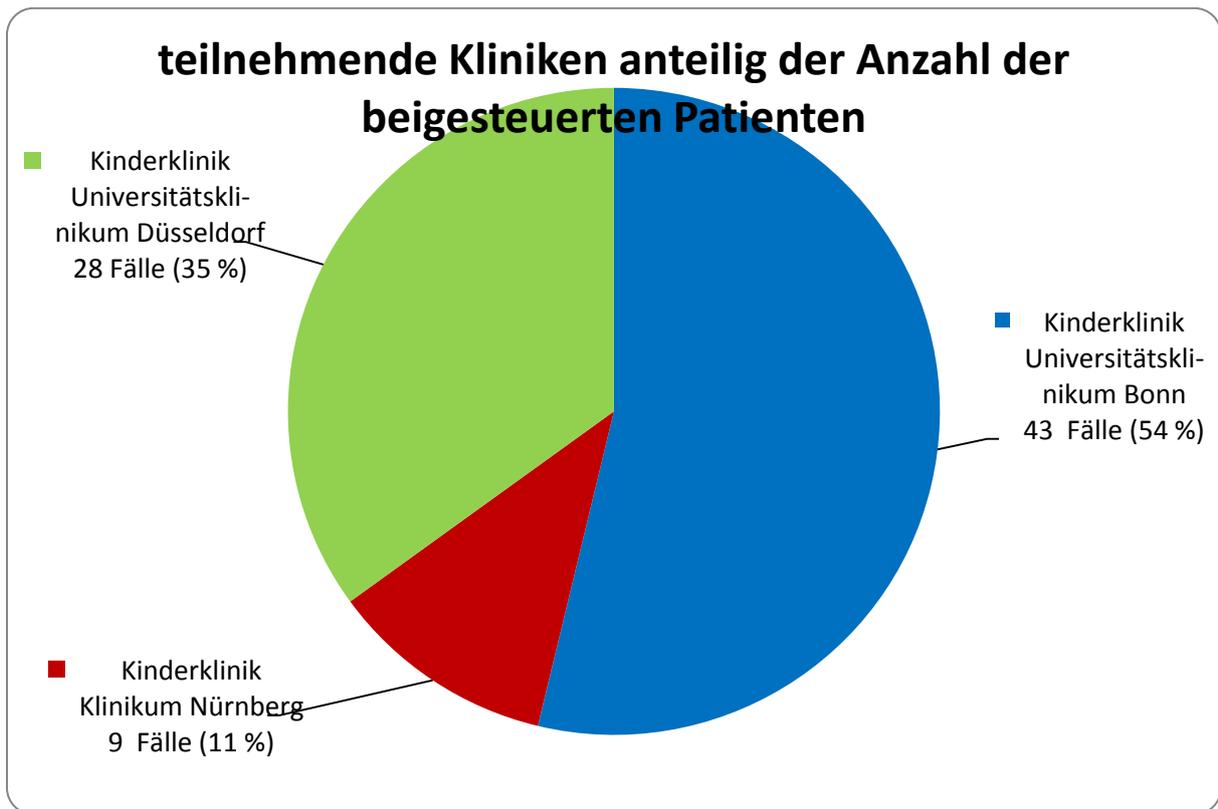


Diagramm 1: Übersicht über die teilnehmenden Kliniken und die Anzahl der beigesteuerten Patienten

3.3 Auswertung der Röntgenaufnahmen

Die Röntgenaufnahmen wurden unabhängig voneinander von dem Leiter der Kinder-radiologie der Universitätskinderklinik Bonn und einem im Kinderschutz erfahrenen Pädiater (leitender Oberarzt der Universitätskinderklinik Bonn und Sprecher der Kinderschutzgruppe Bonn) mit insgesamt 25 - jähriger Expertise begutachtet. Die Unabhängigkeit wurde gewährleistet, indem die Begutachtung der Röntgenaufnahmen sowohl zeitlich, als auch örtlich getrennt erfolgte und die Beurteilung in zwei verschiedenen Listen erfolgte. Die Begutachtung erfolgte bei den konventionellen Röntgenaufnahmen am Leuchtkasten Planilux® (Gerätetyp: DX 140 x 43 cm / EHR-AP; Leuchtdichte: 2000 cd/m² - 5600 cd/m²) und an der Blende mit Standfuß mit stufenlos verstellbarer Helligkeit (Gerätetyp: IRIS 100®; Leuchtdichte: 52.300 cd/m²). Die digitalen Röntgenaufnahmen wurden an Röntgenbegutachtungsschirmen (Bildwiedergabegeräte für Befundung nach DIN V 6868-57 und QS – Richtlinie) mit AGFA Health Care® durchgeführt. Es wurde speziell nach Rippenfrakturen gesucht.

Insgesamt wurden 546 Rö - Th - Aufnahmen beurteilt. Jede Röntgenaufnahme wurde auf zwei Merkmale geprüft: Hinweis auf eine oder mehrere Rippenfrakturen (ja/nein) und: Qualität der Aufnahme (1 = Rippen sehr gut beurteilbar; 2 = Rippen gut beurteilbar; 3 = Rippen ausreichend beurteilbar; 4 = Rippen mäßig beurteilbar; 5 = Rippen eingeschränkt beurteilbar; 6 = Rippen nicht beurteilbar).

Anhand dieser Ergebnisse wurde jeder Fall in eine der folgenden fünf Kategorien eingeteilt:

1 = Es liegt keine Fraktur vor. Eine Follow Up – Aufnahme ist vorhanden und bestätigt den Befund.

2 = Es gibt keinen Anhalt für eine Fraktur. Es ist keine Follow Up – Aufnahme vorhanden.

3 = Eine Fraktur kann nicht ausgeschlossen werden, (z.B. auf Grund der Bildqualität).

4 = Es besteht der Verdacht auf eine Fraktur. Dieser Verdacht kann auf Grund fehlender Kontrollaufnahmen nicht bestätigt werden.

5 = Es liegt eine gesicherte Fraktur vor.

3.4 Statistische Auswertung

Die Befunde wurden mit Hilfe von Excel 2010® und IBM SPSS Statistics 21® statistisch ausgewertet. Statistische Mittel für metrische Daten waren Mittelwert, Standardabweichung, Varianz und Median. Folgende Variablen wurden berücksichtigt: Geschlecht, Länge und Gewicht des Kindes, Alter des Kindes zum Zeitpunkt des Reanimationsereignisses, Reanimationsereignis direkt nach der Geburt, Dauer der Reanimation, Reife des Kindes beim Zeitpunkt der Geburt (Gestationsalter), Art der Geburt, Erkrankungen des Kindes, Operationen des Kindes, Komplikationen während der Schwangerschaft, Art und Wiederholung der Röntgenaufnahme, Rippenfraktur vorhanden / nicht vorhanden, Art und Lokalisation der Rippenfraktur, Qualität und Beurteilbarkeit der Röntgenaufnahme. Aus Gründen der Vergleichbarkeit wurden die drei qualitativ hochwertigsten Röntgenaufnahmen je Patient zur

statistischen Analyse genutzt. Mit Cohens Kappa – Koeffizienten wurde die Übereinstimmung der Ergebnisse der zwei Gutachter und mit dem exakten Test nach Fisher wurde die Nullhypothese überprüft.

3.5 Literaturrecherche

Es wurde eine Literaturrecherche in der medizinischen Datenbank PubMed® und Google® mit folgenden einzelnen oder kombinierten Begriffen durchgeführt: Neugeborenen- und Säuglingsreanimation, Herzdruckmassage bei Neugeborenen und Säuglingen, pediatric basic life support, Kindesmisshandlung, child abuse, Shaken Infant Syndrome, Shaken Baby Syndrome, Rippenfrakturen bei Neugeborenen und Säuglingen, newborn and infant rib fractures, Differentialdiagnosen von posterioren Rippenfrakturen im Neugeborenen- und Säuglingsalter, Diagnostik von posterioren Rippenfrakturen, diagnostic imaging of infant rib fractures, Diagnostik bei Verdacht auf Kindesmisshandlung, diagnostic imaging in child abuse, forensic aspects of child abuse

Die gefundenen Artikel wurden ausgewertet, analysiert und ihre Quellen wurden ebenfalls gesucht und ausgewertet. Es wurden 4 Fachbücher genutzt (Altman, 2009; Bilo et al., 2010; Herrmann et al., 2008; Lentze et al., 2007) und die angegebenen Quellen zu den behandelten Themen wurden gesucht und ausgewertet. Artikel, die in PubMed® oder Google® nicht verfügbar waren, wurden in der deutschen Zentralbibliothek für Medizin in Köln recherchiert.

4. Ergebnisse

4.1 Merkmale der Kohorte

4.1.1 Geschlechterverteilung der Kinder

Insgesamt entsprachen 80 Patienten den Einschlusskriterien und wurden in die Studie aufgenommen. Zwei Drittel der Kinder sind männlichen Geschlechtes (66,2 %), ein Drittel ist weiblichen Geschlechtes (33,8 %). In Diagramm 2 ist die Geschlechterverteilung der Kohorte graphisch dargestellt. 11 Kinder (13,8 %) sind Mehrlinge, davon sind 10 Kinder (13 %) Zwillinge und 1 Kind (1,3 %) ein Drilling.

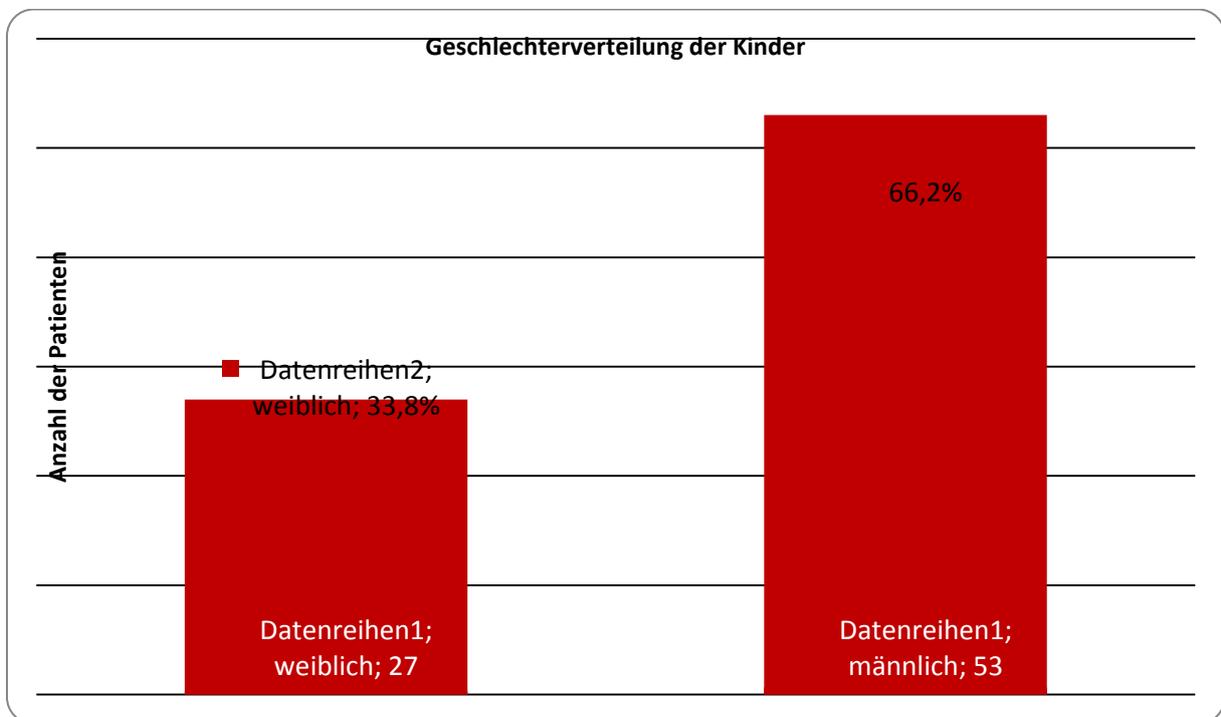


Diagramm 2: Geschlechterverteilung der Kohorte – 33,8 % der Patienten (27 Kinder) sind weiblich, 66,2 % der Patienten (53 Kinder) sind männlich.

4.1.2 Reife bei Geburt

Eine Übersicht bezüglich der Reife der Kohorte zum Zeitpunkt der Geburt ist in Diagramm 3 dargestellt. Auf der y – Achse ist die Anzahl der Patienten aufgezeigt, auf der x – Achse sind die Schwangerschaftswochen (SSW) in Wochen zu vier Wochen Schritten zusammengefasst, dargestellt. Die Patienten wurden zwischen der 23 + 5 SSW und der 42 + 2 SSW geboren. Im Mittel kam es in der 32 + 2 +/- 5 + 6

SSW zur Geburt. Der Median beträgt 31 + 6 SSW. 61,3 % der Patienten (49 Kinder) sind Frühgeborene. 38,7 % der Patienten (31 Kinder) sind reife Neugeborene. Bei 81,3 % der Patienten (65 Kinder) erfolgte die Geburt per sectio caesarea. 18,7 % der Patienten (15 Kinder) wurden vaginal geboren, davon 3 Kinder mit Hilfe des Vakuum-extraktionsverfahrens.

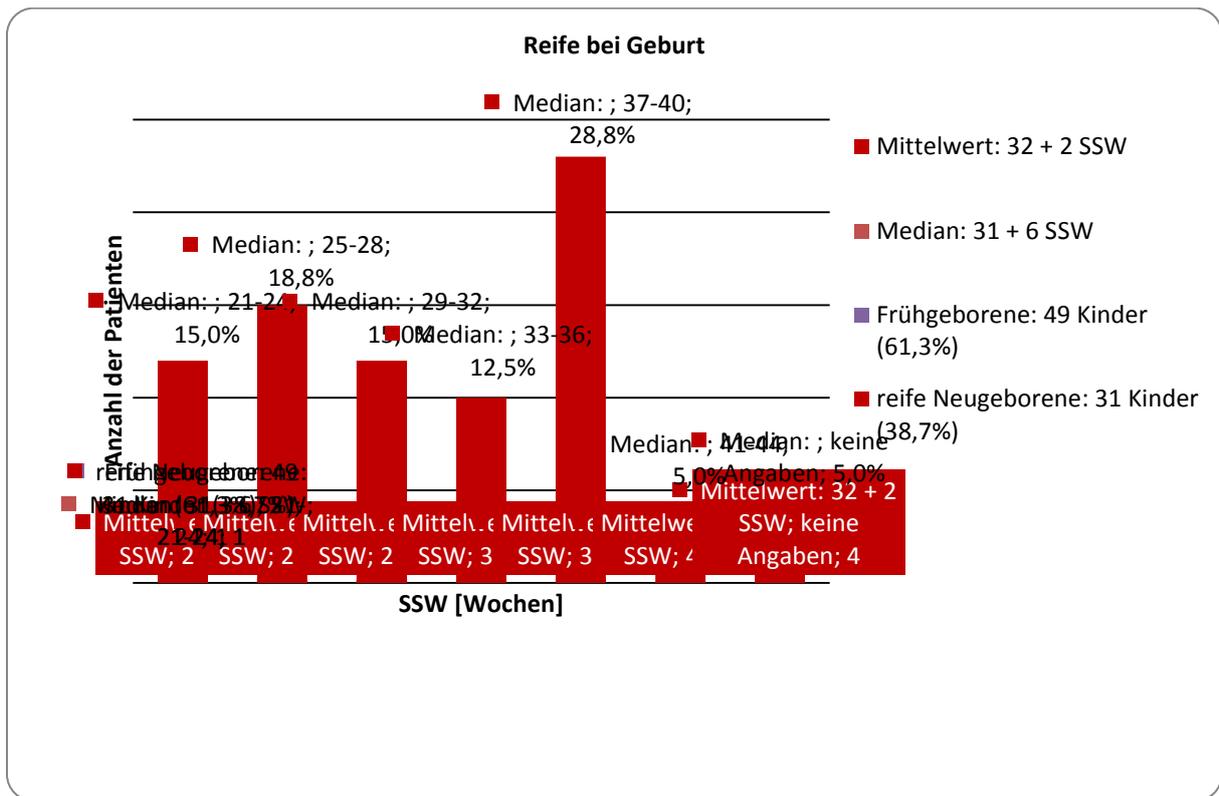


Diagramm 3: Die Reife der Patienten zum Geburtstermin in SSW – Im Durchschnitt wurden die Kinder in der 32 + 2 SSW geboren. 38,8 % der Patienten (31 Kinder) sind reife Neugeborene, 61,2 % der Patienten (49 Kinder) sind Frühgeborene.

4.1.3 Gewichts- und Längenverteilung der Kinder

Das mittlere Geburtsgewicht der Kohorte beträgt 2072 +/- 1269 g und liegt in einer Spanne von 308 g – 4970 g. Der Median beträgt 2000 g. Das mittlere Geburtsgewicht der weiblichen Patienten beträgt 1999 +/- 1014 g, der Median 2280 g. Das Geburtsgewicht der männlichen Patienten beträgt im Mittel 2005 +/- 1361 g, der Median beträgt 1670 g. Die männlichen Patienten wurden im Schnitt zwei Wochen vor den weiblichen Patienten geboren (mittlere Reife bei Geburt, m: 221 +/- 41 Tage; w: 235 +/- 41 Tage). In Diagramm 4 ist eine Übersicht über die Gewichtsverteilung der Kohorte bei Geburt dargestellt. Auf der y - Achse ist die Anzahl der Patienten aufgezeigt. Auf der x - Achse ist das Gewicht in Gramm dargestellt. Es wurden 500 g - Schritte gewählt. Der erste Datensatz (blau) beschreibt die Verteilung des Geburtsgewichtes der männlichen Patienten, der zweite Datensatz (rot) beschreibt die Verteilung des Geburtsgewichtes der weiblichen Patienten und mit dem dritten Datensatz (grün) wird die Gewichtsverteilung der gesamten Kohorte dargestellt. 28,8 % der Patienten (23 Kinder) sind extremely low birth weight infants (ELBW), bei denen das Geburtsgewicht unter 1000 g beträgt. Weitere 10,0 % (8 Kinder) sind very low birth weight infants (VLBW), bei denen das Geburtsgewicht unter 1500 g beträgt. 76 % der Patienten (61 Kinder) sind eutrophe Neugeborene, das heißt ihr Geburtsgewicht liegt verglichen mit ihrer Geburtsreife über der 10. und unter der 90. Percentile. 15 % der Patienten (12 Kinder) sind hypotrophe Neugeborene, das heißt ihr Geburtsgewicht lag im Vergleich mit Neugeborenen ihrer Reife unter der 10. Percentile. 7 der 12 Kinder sind hypotrophe Frühgeborene und haben ein Geburtsgewicht unter 1500 g (VLBW). 8,8 % der Patienten (7 Kinder) sind hypertrophe Neugeborene. 5 der 7 Neugeborenen sind hypertrophe Frühgeborene.

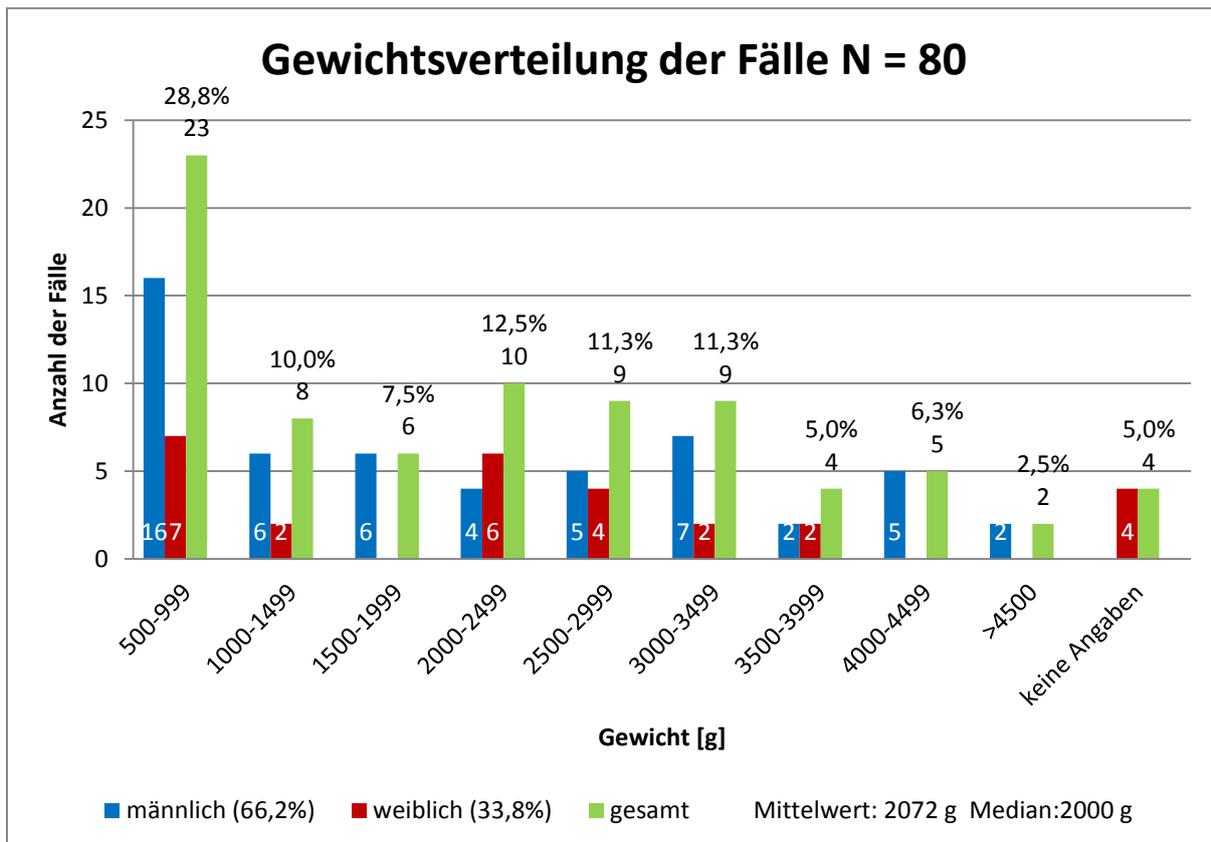


Diagramm 4: Gewichtsverteilung der Patienten – Der blaue Datensatz stellt das Geburtsgewicht der männlichen Patienten, der rote Datensatz das Geburtsgewicht der weiblichen Patienten dar. Der grüne Datensatz gibt das Geburtsgewicht beider Geschlechter wieder. 38,8 % der Patienten (31 Kinder) sind VLBWs.

Die Geburtslänge der Kohorte beträgt im Mittel 43 +/- 8,5 cm und liegt in einer Spanne von 26 cm - 55 cm. Der Median beträgt 44 cm. Die mittlere Geburtslänge der weiblichen Patienten beträgt 42 +/- 6,9 cm, der Median beträgt 44 cm. Die Geburtslänge der männlichen Patienten beträgt im Mittel 43 +/- 9,3 cm, der Median beträgt 43,5 cm. In Diagramm 5 sind die Geburtslängen der Kohorte dargestellt. Die y - Achse beschreibt die Anzahl der Patienten, die x - Achse zeigt die Größe in cm in 5 cm - Schritten auf. Der erste Datensatz (blau) beschreibt die Verteilung der Geburtslängen der männlichen Patienten, der zweite Datensatz (rot) beschreibt die Verteilung der Geburtslängen der weiblichen Patienten und der dritte Datensatz (grün) beschreibt die Gesamtkohorte. Bei der Geburtslängenverteilung fehlt die bei der Geburtsgewichtsverteilung vorhandene Häufung im unteren Bereich der Skala. Geburtsgewicht und -länge der Neugeborenen korrelieren mit der Reife bei Geburtstermin.

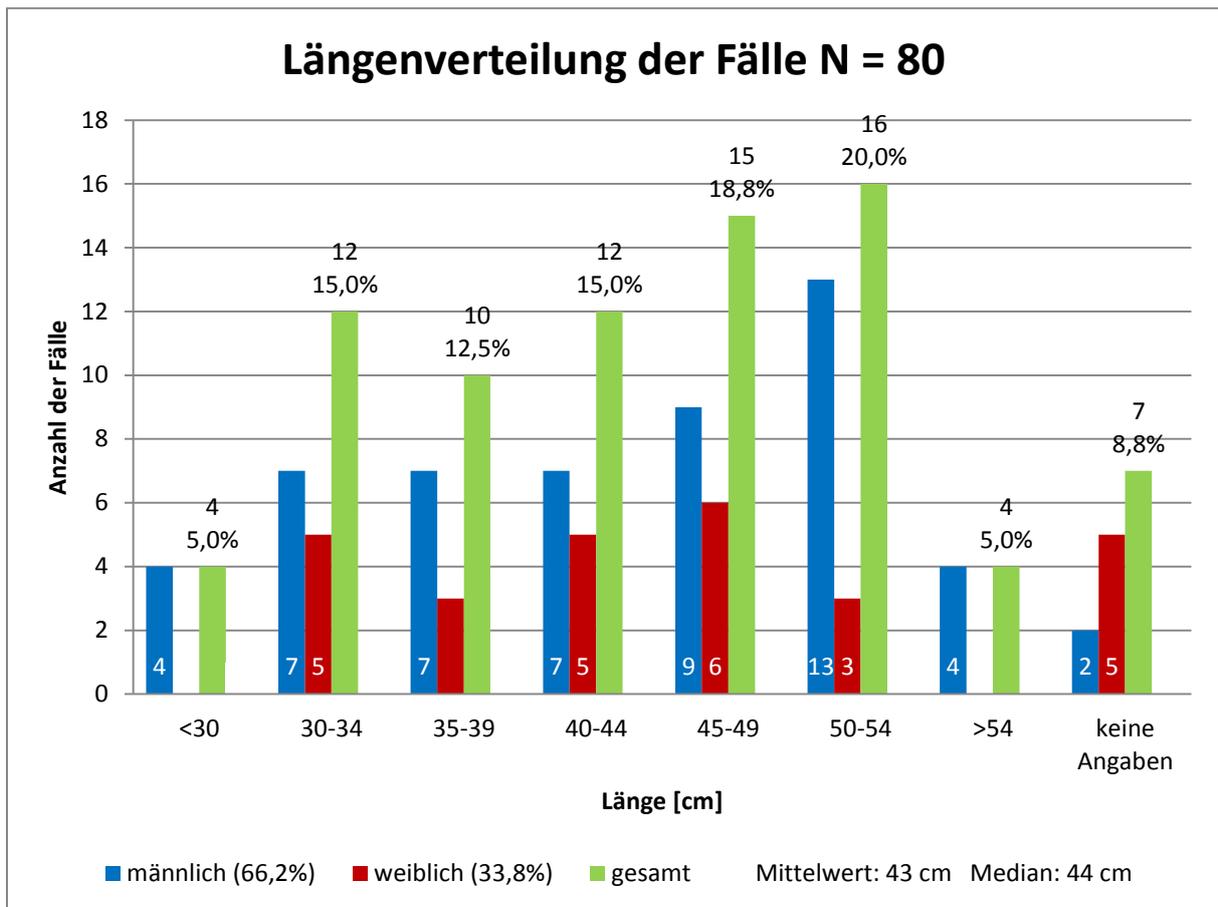


Diagramm 5: Größenverteilung der Patienten - Der blaue Datensatz stellt die Geburtslänge der männlichen Patienten, der rote Datensatz die Geburtslänge der weiblichen Patienten dar. Der grüne Datensatz gibt die Geburtslänge beider Geschlechter wieder.

4.1.4 Pränatale Komplikationen und Erkrankungen der Kinder

Die häufigsten pränatalen Komplikationen und die häufigsten postnatalen Diagnosen der Patienten werden in den Diagrammen 6 und 7 zusammengefasst. Die häufigste Problematik sowohl pränatal als auch postnatal sind Infektionen des Feten bzw. des Neugeborenen. Bei 13,8 % der Patienten (11 Kinder) lag ein Amnioninfektionssyndrom und bei 38,8 % der Patienten (31 Kinder) lag eine Sepsis des Neugeborenen vor. Schwere kardiale Fehlbildungen (Pulmonalklappenstenose, Aortenklappen- und Aortenisthmusstenose, Fallot Tetralogie, Kardiomyopathie, Truncus Arteriosus Communis, Transposition der großen Arterien, Linksherzhypoplasie, Ebstein Anomalie) lagen bei 30,0 % der Patienten (24 Kinder) vor und stellen somit neben Sepsis und Atemnotsyndrom eine der drei häufigsten Erkrankungsgruppen der Patienten dar. Wie schon erläutert, sind 61,3 % der Patienten (49 Kinder) Frühgeborene. 50,1 % der Patienten (41 Kinder) wurden vor dem Abschluss der Lungenreifung (34. SSW) geboren.

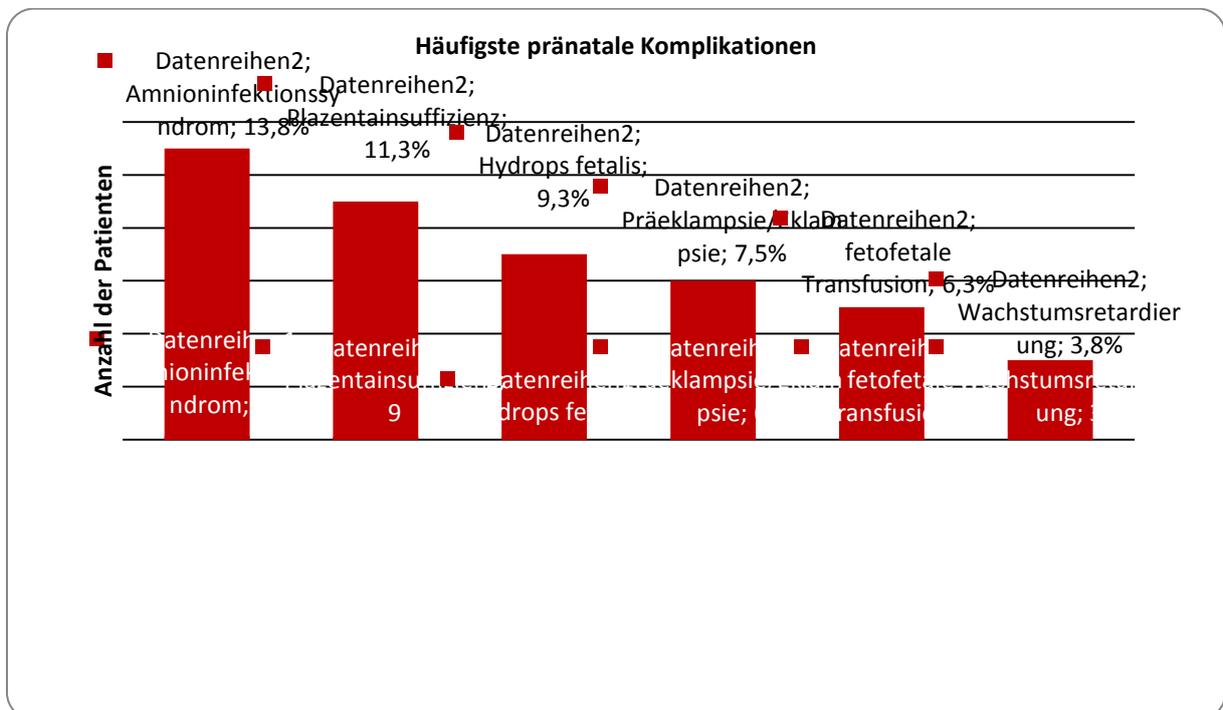


Diagramm 6: Häufigkeit pränataler Komplikationen in der Kohorte - das Amnioninfektionssyndrom stellt mit 13,8 % die häufigste Komplikation dar.

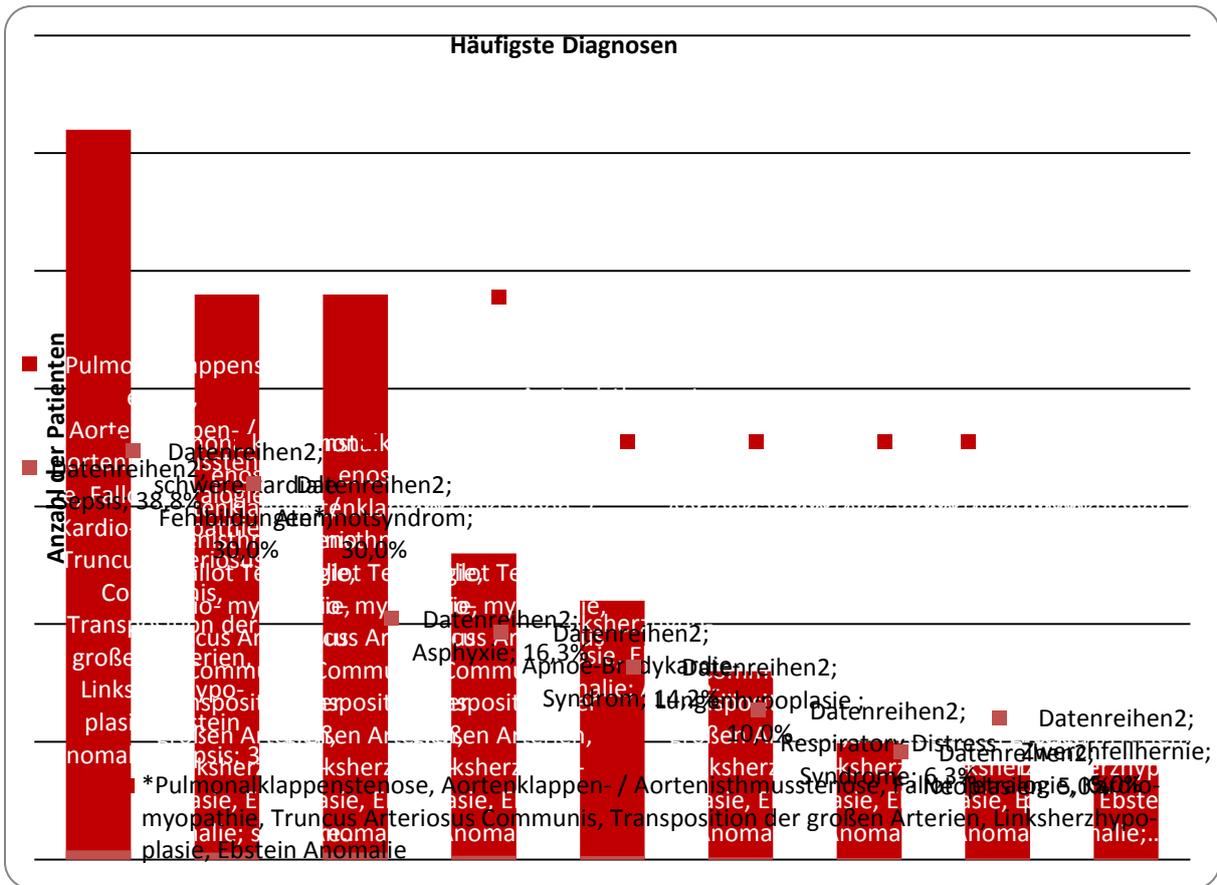


Diagramm 7: Häufigkeit neonatologischer Erkrankungen in der Kohorte – Sepsis, Atemnotsyndrom und schwere kardiale Fehlbildungen sind die häufigsten Diagnosen.

In Tabelle 1 sind die in der Kohorte aufgetretenen kardialen Fehlbildungen nach Häufigkeit aufgelistet. Insgesamt sind 52,5 % der Patienten (42 Kinder) von kardialen Fehlbildungen betroffen. Bei einigen Kindern liegen mehrere Fehlbildungen vor, sodass es in der Tabelle zu Mehrfachaufzählungen kommt. Am häufigsten (bei 21,3 % der Patienten) sind die Neugeborenen und Säuglinge von einem persistierenden Ductus Arteriosus betroffen.

Tab. 1: Häufigkeit verschiedener kardialer Fehlbildungen in der Kohorte

kardiale Fehlbildungen	Anzahl der Patienten (Mehrfachzählung)	
	[absolute Zahl]	[%]
persistierender Ductus Arteriosus	17	21,3%
persistierendes Foramen Ovale	12	15,0%
Ventrikelseptumdefekt	12	15,0%
Pulmonalklappenstenose	8	10,0%
Vorhofseptumdefekt	5	6,8%
Aortenklappen- /Aortenisthmusstenose	4	5,0%
Fallot Tetralogie	4	5,0%
Kardiomyopathie	3	3,8%
Truncus Arteriosus Communis	2	2,5%
Transposition der großen Arterien	2	2,5%
Linksherzhypoplasie	1	1,3%
Ebstein Anomalie	1	1,3%
Gesamt	42	52,5%

4.2 Reanimation

Die Länge der Herzdruckmassage wurde nur in 51,2 % der Patienten (41 Kinder) in einem Reanimationsprotokoll bzw. dem Arztbrief vermerkt. Bei 48,8 % der Patienten (39 Kinder) wurden keine Angaben über die Dauer der Reanimation verzeichnet. In Diagramm 8 werden die Zeitangaben über die Dauer der Herzdruckmassage zusammengefasst. Auf der y - Achse ist die Anzahl der Patienten dargestellt, auf der x - Achse ist die Zeit in Minuten, in 5 Minuten - Schritten zusammengefasst, aufgezeigt. Im Mittel wurde die Herzdruckmassage 11 +/- 28,5 Minuten lang durchgeführt in einer Spanne von einer Minute - 180 Minuten. Der Median beträgt 3 Minuten. 33,8 % der Patienten (27 Kinder) wurden 1 - 5 Minuten reanimiert. 38,8 % der Patienten (31 Kinder) wurden unter 11 Minuten und 48,8 % der Patienten (39 Kinder) wurden unter 21 Minuten reanimiert.

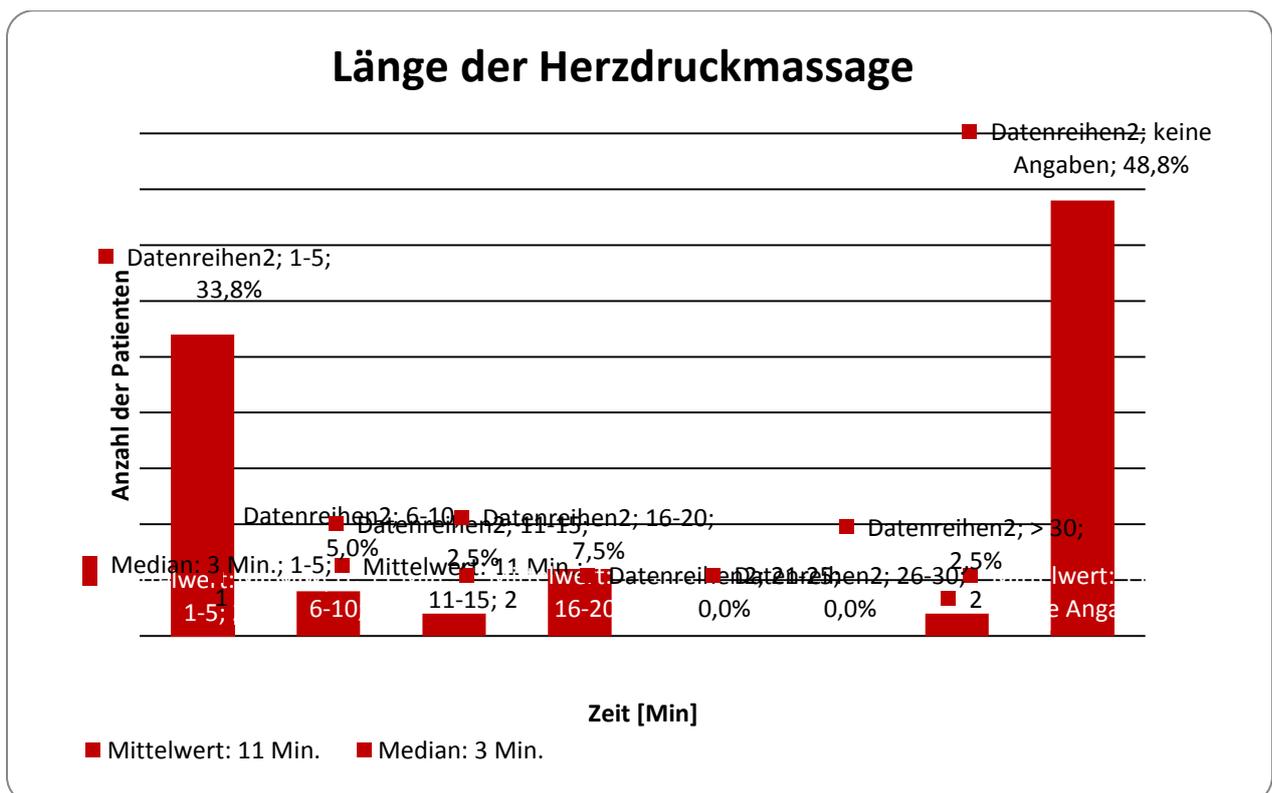


Diagramm 8: Länge der Herzdruckmassage – bei 51,2 % der Patienten ist die Länge der Herzdruckmassage bekannt. Im Durchschnitt wurde jedes Kind 11 Minuten lang reanimiert.

In keinem Fall wurde notiert welche Reanimationstechnik während der Herzdruckmassage angewendet wurde. Alle Kinder wurden von Fachärzten der Neonatologie oder von pädiatrischen Intensivmedizinern in den Kliniken nach der Einführung der 2 Daumen - Technik reanimiert. Zum Reanimationszeitpunkt waren also das nötige Personal (2 Helfer) und die nötige Expertise vorhanden um die 2 Daumen - Reanimationstechnik anzuwenden. Nach Befragen der Leiter der beteiligten Kliniken erfolgte die Thoraxkompression während der Reanimation seit 2000 mehrheitlich und seit 2005 ausschließlich mit der 2 Daumen – Technik.

63,8 % der Patienten (51 Kinder) wurden unmittelbar nach der Geburt reanimiert. Das Alter zum Reanimationszeitpunkt liegt bei den übrigen 29 Kindern zwischen einem Tag und 11 Monaten. Im Mittel beträgt das Lebensalter der 30 Kinder zum Zeitpunkt der Reanimation 2 Monate +/- 83,8 Tage. Der Median beträgt 9 Tage. In Diagramm 9 wurde das Alter der Patienten zum Reanimationszeitpunkt graphisch erfasst. 85,1 % der Patienten (68 Kinder) wurde im ersten Lebensmonat reanimiert.

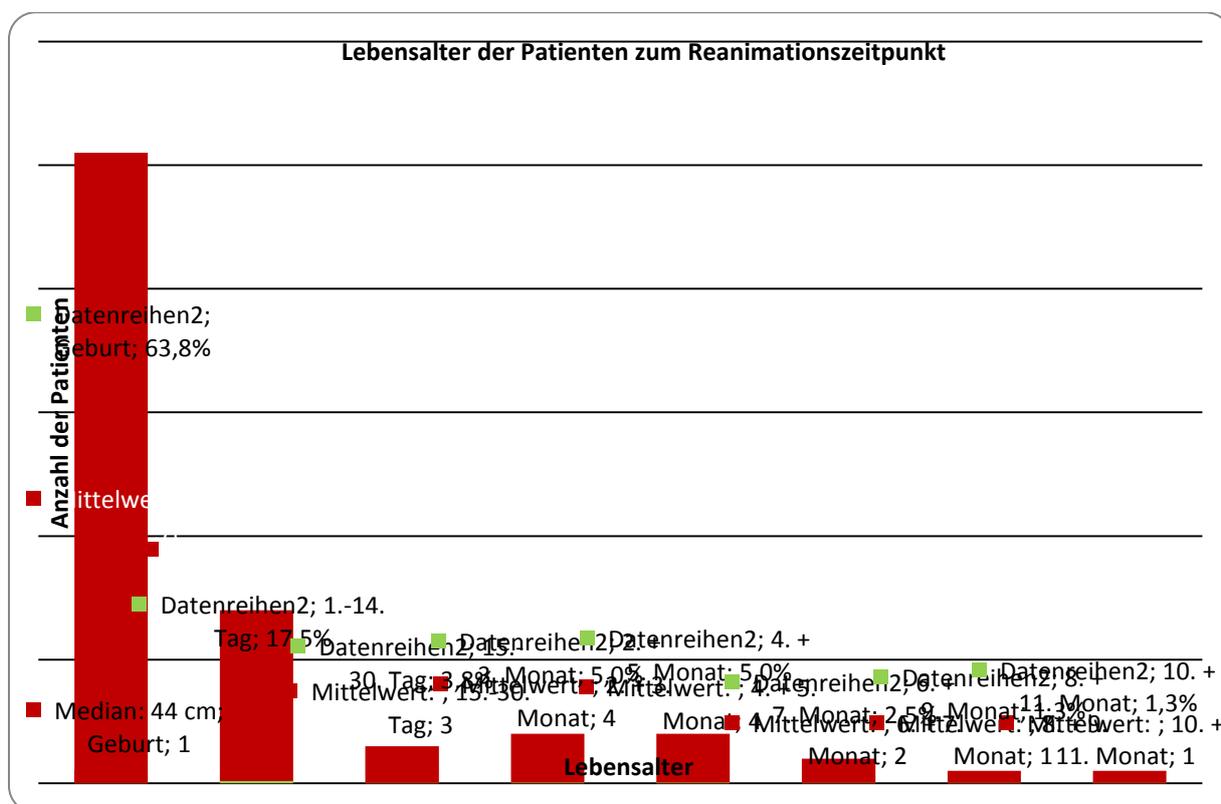


Diagramm 9: Lebensalter der Kinder zum Reanimationszeitpunkt – 85,1 % der Patienten (68 Kinder) wurde im ersten Lebensmonat reanimiert, davon wurden 76,5 % der Patienten (51 Kinder) direkt nach der Geburt reanimiert.

4.3.1 Qualität der Röntgenaufnahmen

Die Qualität jeder Röntgenaufnahme (546 Röntgenaufnahmen insgesamt) wurde von den zwei Gutachtern beurteilt und zur statistischen Auswertung einer der folgenden sechs Kategorien zugeteilt.

1 = Rippen sehr gut beurteilbar

2 = Rippen gut beurteilbar

3 = Rippen ausreichend beurteilbar

4 = Rippen mäßig beurteilbar

5 = Rippen eingeschränkt beurteilbar

6 = Rippen nicht beurteilbar

In 13 Fällen (16,3 % der Patienten) lag nur eine Röntgenaufnahme vor, in 11 Fällen (13,8 % der Patienten) lagen zwei und in 9 Fällen (11,3 % der Patienten) lagen drei Röntgenaufnahmen vor. Soweit vorhanden wurden die drei qualitativ besten Röntgenaufnahmen pro Patient ausgesucht und zur weiteren statistischen Auswertung genutzt. Diese Auswahl wurde vorgenommen, um eine bessere statistische Vergleichbarkeit unter den Fällen zu erzielen. Es konnte bei 58,8 % der Patienten (47 Kinder) eine Auswahl getroffen werden. Insgesamt wurden in die statistische Auswertung 203 Röntgenaufnahmen einbezogen. In Diagramm 11 werden die in die Statistik einbezogenen Röntgenaufnahmen (203 Röntgenaufnahmen) und die nicht in die Statistik aufgenommenen Aufnahmen (343 Röntgenaufnahmen) graphisch dargestellt. In Diagramm 12 wird die Anzahl der Röntgenaufnahmen / Patient gezeigt, die in die Statistik einbezogen wurden.

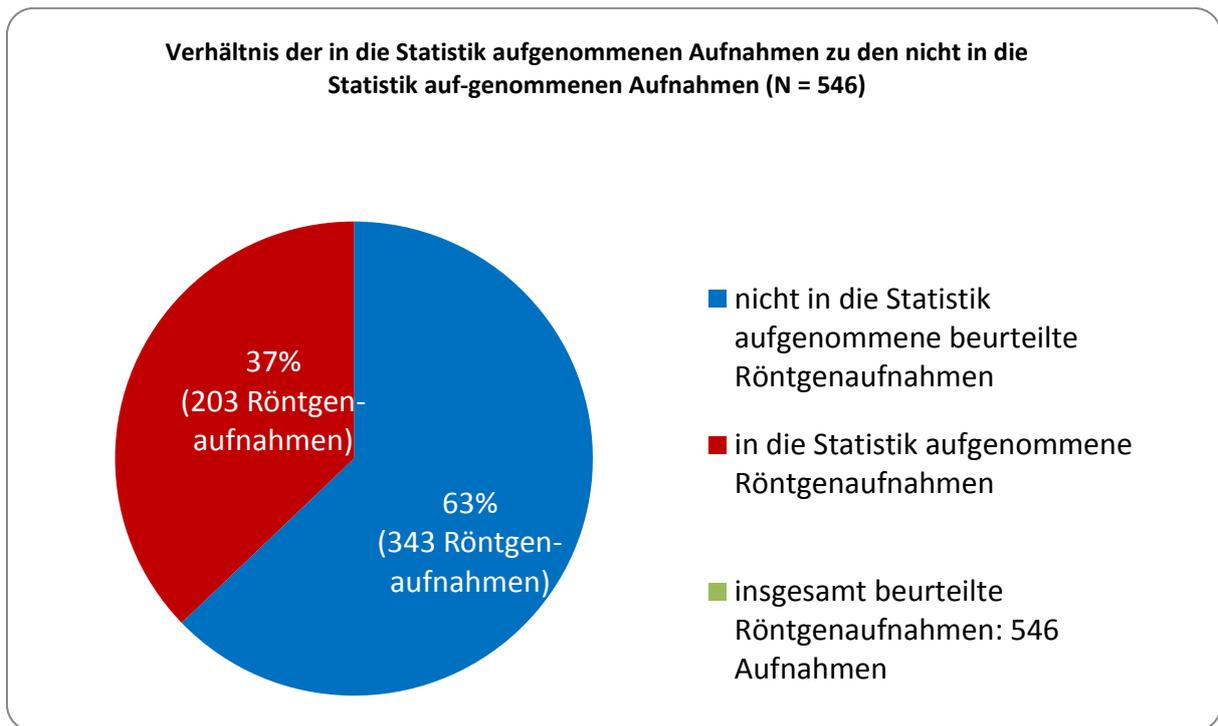


Diagramm 11: Verhältnis der in die Statistik aufgenommenen Aufnahmen zu den nicht in die Statistik aufgenommenen Aufnahmen – 37 % der beurteilten Röntgenaufnahmen wurden in die Statistik aufgenommen.

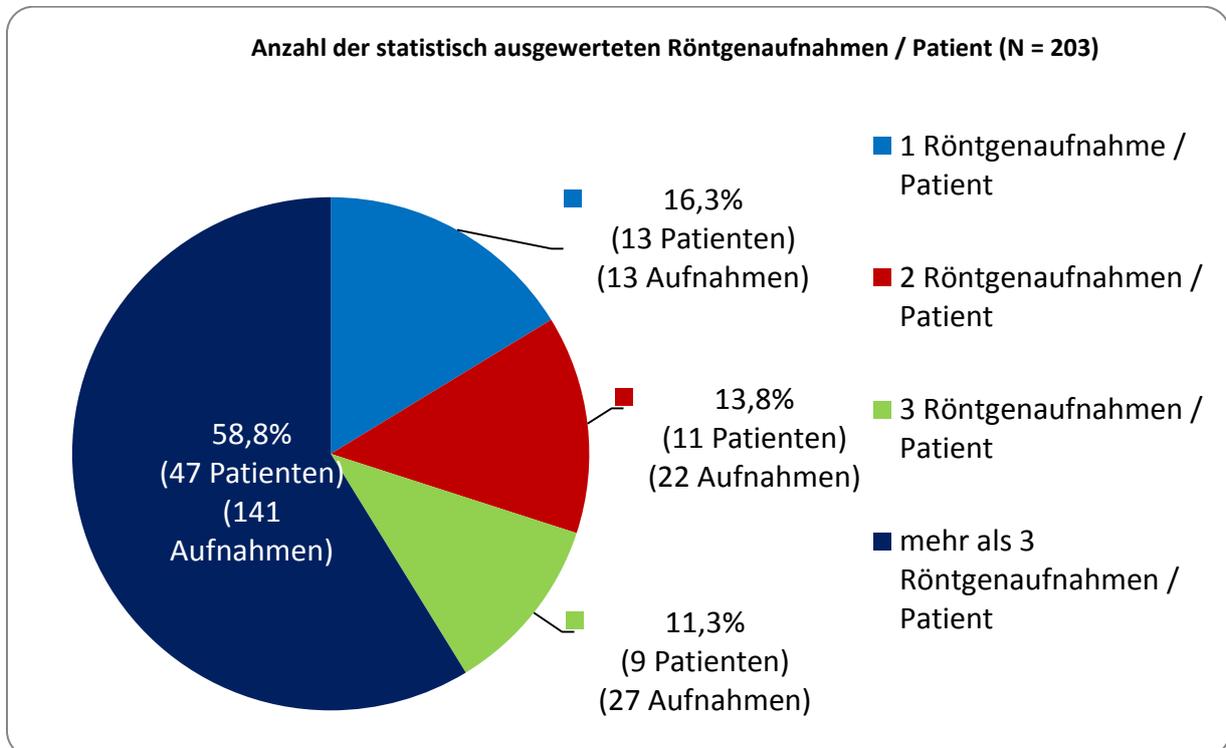


Diagramm 12: Anzahl der statistisch ausgewerteten Röntgenaufnahmen / Patient – Bei 58,8 % der Patienten (47 Patienten) lagen mehr als drei Röntgenaufnahmen vor, sodass eine Auswahl erfolgen konnte.

In Diagramm 13 ist die Beurteilbarkeit der Röntgenaufnahmen anhand der beschriebenen Einteilung dargestellt. Auf der y - Achse ist die Anzahl der Patienten in % aufgezeigt. Der größte Teil der Röntgenaufnahmen (68,8 %) ist gut beurteilbar (Gutachter 1: 80,2 %; Gutachter 2: 57,4 %). 22,8 % der Röntgenaufnahmen sind nur eingeschränkt beurteilbar (Gutachter 1: 15,8 %; Gutachter 2: 29,7 %), dies bedeutet, dass einzelne Rippenabschnitte schlecht oder gar nicht dargestellt sind.

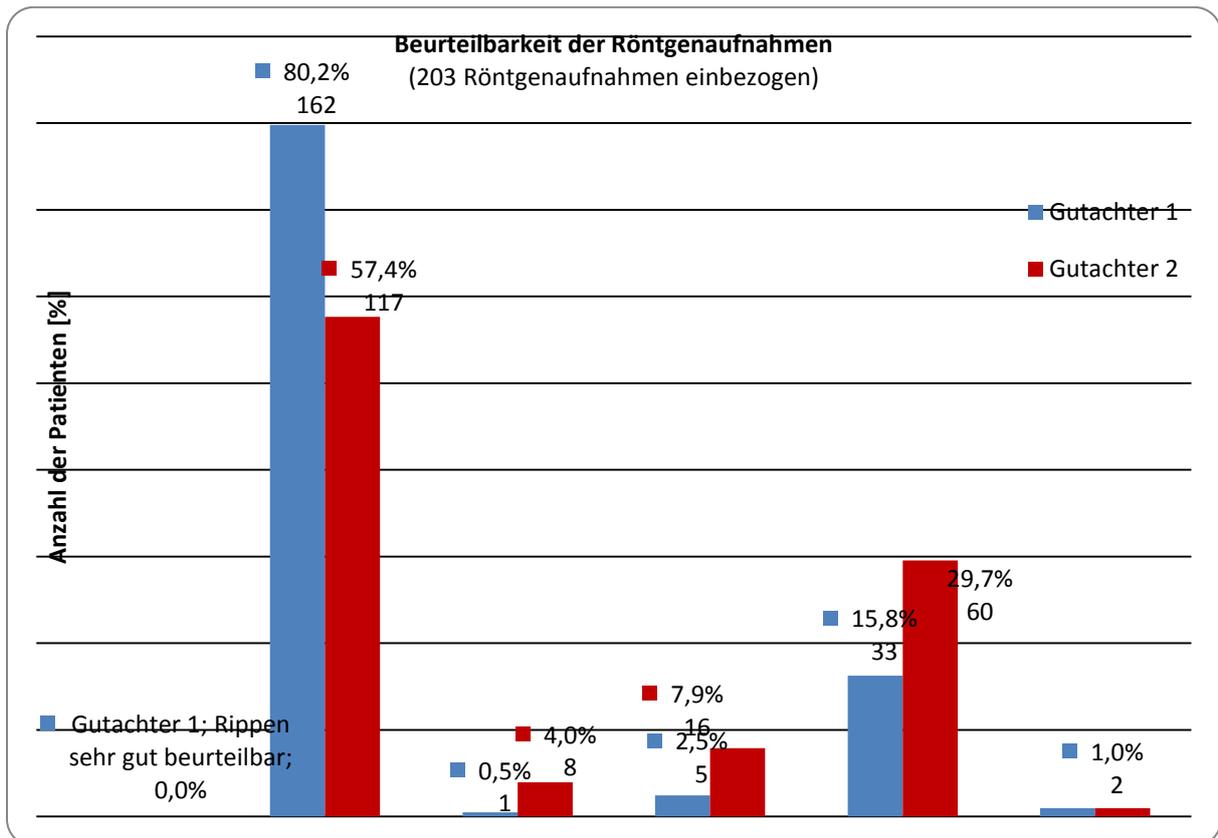


Diagramm 13: Beurteilbarkeit der in die Statistik einbezogenen Röntgenaufnahmen

Mit Hilfe von Cohens Kappa - Koeffizienten wurde der Grad an Übereinstimmung der zwei Gutachter berechnet und in den Tabellen 2 und 3 dargestellt. Kappa kann Werte zwischen +1 (bei hoher Konkordanz) und ≥ 0 (bei niedriger Konkordanz) annehmen. Kappa = 0 bedeutet keine Übereinstimmung und Kappa = 1 völlige Übereinstimmung.

Mit Kappa = 0,37 (Standardfehler = 0,053; 95 % - Konfidenzintervall liegt zwischen 0,26 und 0,48) bei 203 gültigen Fällen ist die Übereinstimmung der Ergebnisse der zwei Gutachter in Hinsicht auf die Qualität der Röntgenaufnahmen insgesamt als

leicht bis mittelgradig einzustufen. Hervorzuheben ist, dass in der Kategorie 2 (gute Beurteilbarkeit) 113 Übereinstimmungen gezählt wurden, was bedeutet das die Ergebnisse in Kategorie 2 von Gutachter 2 zu 96,6 % mit den Ergebnissen von Gutachter 1 übereinstimmen bzw. die Ergebnisse von Gutachter 1 zu 69,9 % mit den Ergebnissen von Gutachter 2 übereinstimmen. Insgesamt betrachtet, hat Gutachter 1 80,2 % der Röntgenaufnahmen (162) als gut beurteilbar eingestuft, Gutachter 2 jedoch nur 57,4 % der Röntgenaufnahmen (117). Gutachter 2 hat die restlichen 22,8 % der Röntgenaufnahmen (45) als eingeschränkt, mäßig oder ausreichend beurteilbar eingestuft, wobei die meisten als eingeschränkt (13,9 %; 27) und die wenigsten als ausreichend beurteilbar (3,5 %; 7) eingestuft wurden.

Tab. 2: **Beurteilbarkeit der Röntgenaufnahmen (Übereinstimmungen der Gutachter 1 (blau) und 2 (rot))**

Die Kreuztabelle zeigt die Ergebnisse der Gutachter 1 (blau) und 2 (rot) in Bezug auf die Beurteilbarkeit der Röntgenaufnahmen. Es sind die Ergebnisse in den Kategorien 2 - 6 (2 = Rippen gut beurteilbar; 3 = Rippen ausreichend beurteilbar; 4 = Rippen mäßig beurteilbar; 5 = Rippen eingeschränkt beurteilbar; 6 = Rippen nicht beurteilbar) von Gutachter 1 (blau) und von Gutachter 2 (rot) dargestellt (Kategorie 1 = Rippen sehr gut beurteilbar wurden keine Aufnahmen zugeteilt). Übereinstimmungen der Gutachter (grün) sind in Kategorie 2 deutlich sichtbar. Gutachter 1 teilt 96,6 % der Aufnahmen, die Gutachter 2 Kategorie 2 zuteilt, ebenfalls Kategorie 2 zu.

			<u>Gutachter 1</u>					Gesamt
			2	3	4	5	6	
<u>Gutachter 2</u>	2	Anzahl	113	0	2	2	0	117
		% innerhalb von G2	96,6 %	0,0 %	1,7 %	1,7 %	0,0 %	
		% innerhalb von G1	69,8 %	0,0 %	40,0 %	6,1 %	0,0 %	
		% der Gesamtzahl	55,7 %	0,0 %	1,0 %	1,0 %	0,0 %	57,6 %
	3	Anzahl	4	1	1	2	0	8
		% innerhalb von G2	50,0 %	12,5 %	12,5 %	25,0 %	0,0 %	
		% innerhalb von G1	2,5 %	100 %	20,0 %	6,1 %	0,0 %	
		% der Gesamtzahl	2,0 %	0,5 %	0,5 %	1,0 %	0,0 %	3,9 %
	4	Anzahl	11	0	1	4	0	16
		% innerhalb von G2	68,8 %	0,0 %	6,2 %	25,0 %	0,0 %	
		% innerhalb von G1	6,8 %	0,0 %	20,0 %	12,1 %	0,0 %	
		% der Gesamtzahl	5,4 %	0,0 %	0,5 %	2,0 %	0,0 %	7,9 %
	5	Anzahl	34	0	1	24	1	60
		% innerhalb von G2	56,7 %	0,0 %	1,7 %	40,0 %	1,7 %	
		% innerhalb von G1	21,0 %	0,0 %	20,0 %	72,7 %	50,0 %	
		% der Gesamtzahl	16,7 %	0,0 %	0,5 %	11,8 %	0,5 %	29,6 %
	6	Anzahl	0	0	0	1	1	2
		% innerhalb von G2	0,0 %	0,0 %	0,0 %	50,0 %	50,0 %	
		% innerhalb von G1	0,0 %	0,0 %	0,0 %	3,0 %	50,0 %	
		% der Gesamtzahl	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,5 %	0,5 %	1,0 %
Gesamt			162	1	5	33	2	203
% der Gesamtzahl			79,8 %	0,5 %	2,5 %	16,3 %	1,0 %	100 %

Tab. 3: Maß der Übereinstimmung der Gutachter 1 und 2 bezüglich der Beurteilbarkeit der Röntgenaufnahmen

Bei 203 ausgewerteten Röntgenaufnahmen ist das Maß an Übereinstimmung bezüglich der Qualität der Röntgenaufnahmen der Gutachter 1 und 2 mit $Kappa = 0,37$ (Standardfehler = 0,053; 95 % - Konfidenzintervall liegt zwischen 0,26 und 0,48) gering bis mittelgradig.

	Wert	Asymptotischer Standardfehler	Näherungsweise T	Näherungsweise Signifikanz
Maß der Übereinstimmung Kappa	0,366	0,053	7,500	0,000
Anzahl der gültigen Fälle	203			

4.3.2 Qualitätsunterschied von digitalen und konventionellen Röntgenaufnahmen

In 25 % der Patienten (20 Kinder) wurden Röntgenaufnahmen digital und in 75 % der Patienten (60 Kinder) konventionell aufgenommen. Es wurde der exakte Test nach Fisher durchgeführt um die Bildqualität der Röntgenaufnahmen von konventionell und digital aufgenommenen Bildern zu vergleichen. Hierzu wurde ein Mittelwert der Ergebnisse der zwei Gutachter bezüglich der Beurteilbarkeit der Röntgenaufnahmen pro Patient errechnet (2 – 6 Röntgenaufnahmen pro Patient). Die Ergebnisse sind in Tabelle 4 und 5 aufgeführt. Es wurde kein Zusammenhang zwischen den verschiedenen Aufnahmetechniken und dem von den Gutachtern bestimmten Grad der Beurteilbarkeit der Röntgenaufnahmen gefunden. Bei einem $\alpha = 0,05$ liegt der kritische Wert der Testprüfgröße bei $X(0,05; 3) = 7,82$. Da $X = 4,475 < 7,82$ ist, kann die Hypothese (H_0 : Die Merkmale Aufnahmetechnik und Beurteilbarkeit der Aufnahmen sind stochastisch unabhängig) nicht abgelehnt werden (siehe Tab. 5). Bemerkenswert ist jedoch, dass 70 % der Patienten mit digitalen Röntgenaufnahmen eine gute Beurteilbarkeit der Röntgenaufnahmen (Kategorie 2) aufweisen, im Gegensatz zu nur 45 % der Patienten mit konventionell aufgenommenen Röntgenaufnahmen. Auf der anderen Seite sind 11,7 % der Patienten mit konventionell aufgenommenen Röntgenaufnahmen eingeschränkt beurteilbar und keine der Patienten mit digitalen Röntgenaufnahmen.

Tab. 4: **Digital vs konventionell (Zusammenhang zwischen Aufnahmetechnik und Beurteilbarkeit der Röntgenaufnahmen?)**

Die Kreuztabelle zeigt die unterschiedlichen Aufnahmetechniken (konventionell und digital) und die durchschnittlichen Ergebnisse der Gutachter 1 und 2 in Bezug auf die Beurteilbarkeit der Röntgenaufnahmen. Die Ergebnisse in den Kategorien 2 – 6 (2 = Rippen gut beurteilbar; 3 = Rippen ausreichend beurteilbar; 4 = Rippen mäßig beurteilbar; 5 = Rippen eingeschränkt beurteilbar; 6 = Rippen nicht beurteilbar) sind dargestellt (Kategorie 1 = Rippen sehr gut beurteilbar wurden keine Aufnahmen zugeteilt).

	<u>Beurteilbarkeit der Röntgenaufnahmen (Mittelwert / Patient)</u>				Gesamt
	2	3	4	5	
Anzahl	27	12	14	7	60
% innerhalb von konventionell	45,0 %	20,0 %	23,3 %	11,7 %	100 %
<u>konventionell</u>					
% innerhalb von Beurteilbarkeit gesamt	65,9 %	85,7 %	77,8 %	100 %	75,0 %
% der Gesamtzahl	33,8 %	15,0 %	17,5 %	8,8 %	75,0 %
Anzahl	14	2	4	0	20
% innerhalb von digital	70,0 %	10,0 %	20,0 %	0,0 %	100 %
<u>digital</u>					
% innerhalb von Beurteilbarkeit gesamt	34,1 %	14,3 %	22,2 %	0,0 %	25,0 %
% der Gesamtzahl	17,5 %	2,5 %	5,0 %	0,0 %	25,0 %
Anzahl	41	14	18	7	80
% innerhalb von digital	51,2 %	17,5 %	22,5 %	8,8 %	100 %
Gesamt					
% innerhalb von Beurteilbarkeit gesamt	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
% der Gesamtzahl	51,2 %	17,5 %	22,5 %	8,8 %	100 %

Tab.5: Qualitätsunterschied zwischen konventionell aufgenommenen Röntgenaufnahmen und digitalen Aufnahmen (Exakter Test nach Fisher)

Das Quantil der Fisher-Verteilung bei 3 Freiheitsgraden und einem α - Niveau von 5 % beträgt 7,82. Mit $X = 4,475 < 7,82$ kann die Hypothese (H_0 : Die Merkmale Aufnahmetechnik und Beurteilbarkeit der Aufnahmen sind stochastisch unabhängig) nicht abgelehnt werden.

	Wert X	Freiheitsgrade df	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	Exakte Signifikanz (2-seitig)
Exakter Test nach Fisher	4,475	3		0,189
Anzahl der gültigen Fälle	80			

4.4 Häufigkeit von Rippenfrakturen nach Reanimation

Es wurden 546 Röntgenaufnahmen auf Hinweise nach Rippenfrakturen untersucht. Wie bereits erläutert, wurden 203 Röntgenaufnahmen zur statistischen Auswertung genutzt. Tabelle 6 zeigt den Grad der Übereinstimmung der Gutachter bezüglich eines Hinweises auf Rippenfrakturen der einzelnen Röntgenaufnahmen. Die Gutachter stimmten bei 200 Röntgenaufnahmen (98,5 % der Röntgenaufnahmen) überein, dass keine Fraktur erkennbar ist.

Tab.6: **Übereinstimmung Ergebnis der einzelnen Röntgenaufnahmen - Hinweis auf Fraktur ja/nein (Kreuztabelle der Ergebnisse von Gutachter1 (blau) und Gutachter2 (rot))**

Ergebnisse der ausgewerteten Röntgenaufnahmen (203 Aufnahmen) von Gutachter 1 (blau) und 2 (rot) bezüglich Hinweise auf Frakturen. Die Übereinstimmung (grün) ist hoch – Auf 200 Aufnahmen (98,5 % der Aufnahmen) wurden keine Hinweise auf Frakturen gesehen. Auf 2 Aufnahmen sahen beide Gutachter eine Auffälligkeit, auf einer Aufnahme nur Gutachter 1.

			<u>Gutachter 1</u>		Gesamt
			nein	ja	
<u>Gutachter</u> <u>2</u>	Nein	Anzahl	200	1	201
		% innerhalb von Ergebnis G 2	99,5 %	0,5 %	
		% innerhalb von Ergebnis G 1	100 %	33,3 %	
		% der Gesamtzahl	98,5 %	0,5 %	99,0 %
<u>Gutachter</u> <u>1</u>	Ja	Anzahl	0	2	2
		% innerhalb von Ergebnis G 2	0,0 %	100 %	
		% innerhalb von Ergebnis G 1	0,0 %	66,7 %	
		% der Gesamtzahl	0,0 %	1,0 %	1,0 %
Gesamt		Anzahl	200	3	203
		% der Gesamtzahl	98,5 %	1,5 %	100 %

Gutachter 1 sah in 3 Röntgenaufnahmen (1,5 %) von drei Patienten (Patient 14,15 und 49) Hinweise auf Frakturen. Auf 2 Röntgenaufnahmen (1,0 %) von Patienten 14 und 15 wurde eine Diskontinuität einmal der 3. Rippe rechts perivertebral (Patient 14) und einmal der rechten 4. Rippe gesehen (Patient 15), die nicht eindeutig einer Überlagerung zugeordnet werden konnten. In beiden Fällen lag jeweils nur eine Röntgenaufnahme vor. Auf Grund der nicht eindeutigen Befunde konnte weder ein Verdacht auf eine Fraktur gestellt werden, noch eine Fraktur ausgeschlossen werden. Die Patienten wurden von Gutachter 1 Kategorie 3 zugeteilt (Frakturen können nicht ausgeschlossen werden). Auf der dritten Röntgenaufnahme (0,5 %) (Patient 49) wurden von Gutachter 1 Frakturkallus der 2.,3. und 4. Rippe rechts gesehen, die einen Verdacht auf dorsale Rippenfrakturen darstellen. Auch bei dieser Patientin lag keine spätere Vergleichsaufnahme vor. Gutachter 2 sah auf 2 Röntgenaufnahmen (1,0 %) (Patient 14 und 49) einen Hinweis auf Frakturen. Die Aufnahmen stimmen mit der ersten und der dritten Aufnahme von Gutachter 1 überein. Gutachter 2 schloss ebenfalls eine Fraktur der 3. Rippe rechts auf der ersten Aufnahme (Patient 14) nicht aus. Auf der zweiten Aufnahme (Patient 49) bemerkte er dorsale Verdichtungen der 2. und 4. Rippe rechts, sodass er ebenfalls keine dorsalen Frakturen ausschließen konnte.

Für die drei beschriebenen Röntgenaufnahmen der Patienten 14, 15 und 49 wurde ein dritter unabhängiger Gutachter zu Rate gezogen (Leiter der Kinderchirurgie der Universitätskinderklinik Bonn). Auf der ersten Röntgenaufnahme (Patient 14) sah er im Gegensatz zu den Gutachtern 1 und 2 keinen Anhalt für eine Fraktur. Bei der zweiten Aufnahme (Patient 15) konnte er auf Grund der Diskontinuität der vierten Rippe rechts eine Fraktur nicht ausschließen jedoch auch keinen Verdacht stellen. Bei der dritten Aufnahme (Patient 49) bemerkte er wie Gutachter 1 und 2 die Verdichtungen der dorsalen 2. und 4. Rippen rechts und konnte Frakturen nicht ausschließen. Insgesamt hielt er keinen der Befunde für eindeutig genug um einen Verdacht auf eine Fraktur zu stellen.

In Tabelle 7 wird eine Zusammenfassung der Ergebnisse der drei Gutachter bezüglich der beschriebenen Röntgenaufnahmen gestellt.

Tab. 7: Ergebnisse der Gutachter bezüglich der Röntgenaufnahmen der Patienten 14, 15 und 49

		Gutachter 1	Gutachter 2	Gutachter 3
Patient 14	Röntgenaufnahme 1 Hinweis auf Fraktur	ja (3.Rippe rechts, Knick perivertrebal, Fraktur nicht auszuschließen)	ja (3. Rippe rechts Fraktur nicht auszuschließen)	kein Hinweis auf Fraktur
	Qualität der Röntgenaufnahme	eingeschränkt beurteilbar	eingeschränkt beurteilbar	mäßig beurteilbar
Patient 15	Röntgenaufnahme 1 Hinweis auf Fraktur	ja (4. Rippe rechts Diskontinuität, evtl. überlagert, Fraktur nicht auszuschließen)	kein Hinweis auf Fraktur	ja (Diskontinuität 4. Rippe rechts, Fraktur nicht auszuschließen)
	Qualität der Röntgenaufnahme	eingeschränkt beurteilbar	ausreichend beurteilbar	eingeschränkt beurteilbar
Patient 49	Röntgenaufnahme 1 Hinweis auf Fraktur	kein Hinweis auf Fraktur	kein Hinweis auf Fraktur	kein Hinweis auf Fraktur
	Qualität der Röntgenaufnahme	eingeschränkt beurteilbar	eingeschränkt beurteilbar	eingeschränkt beurteilbar
	Röntgenaufnahme 2 Hinweis auf Fraktur	ja (2,3,4, Rippe rechts dorsal mit fragl. Kallus, Frakturen dorsal nicht auszuschließen)	ja (2. und 4. Rippe Verdichtungen, dorsale Frakturen nicht auszuschließen)	ja (Fraktur 2. und 4. Rippe rechts dorsal nicht auszuschließen)
	Qualität der Röntgenaufnahme	mäßig beurteilbar	eingeschränkt beurteilbar	eingeschränkt beurteilbar

Jeder Patient wurde anhand der drei qualitativ besten Röntgenaufnahmen und dem Vorliegen einer Follow Up Aufnahme einer der folgenden Kategorien zugeteilt.

1 = Es liegt keine Fraktur vor. Eine Follow Up – Aufnahme ist vorhanden und bestätigt den Befund.

2 = Es gibt keinen Anhalt für eine Fraktur. Es ist keine Follow Up – Aufnahme vorhanden.

3 = Eine Fraktur kann nicht ausgeschlossen werden, (z.B. auf Grund der Bildqualität).

4 = Es besteht ein Verdacht auf eine Fraktur. Dieser Verdacht kann auf Grund fehlender Kontrollaufnahmen nicht bestätigt werden.

5 = Es liegt eine gesicherte Fraktur vor.

In Diagramm 14 werden die Ergebnisse der zwei Gutachter zusammengefasst. Auf der y- Achse ist die Anzahl der Patienten in % aufgezeigt. Es wurde bei keinem Patienten von einem Gutachter eine gesicherte Fraktur oder ein Verdacht auf Frakturen festgestellt. In 45,0 % der Patienten (36 Kinder) wurde keine Fraktur festgestellt und dieses Ergebnis wurde durch eine Follow Up Röntgenaufnahme bestätigt (Gutachter 1: 37 Kinder, 46,3%; Gutachter 2: 35 Kinder, 43,8%). In 40,7 % der Patienten (32,5 Kinder) wurde keine Fraktur festgestellt und es gab keine Follow Up Röntgenaufnahme um dieses Ergebnis zu sichern (Gutachter 1: 36 Kinder, 45,0 %; Gutachter 2: 29 Kinder, 36,6 %). In 14,4 % der Patienten (11,5 Kinder) konnte eine Fraktur auf Grund der Bildqualität nicht ausgeschlossen werden (Gutachter 1: 7 Kinder 8,8 %; Gutachter 2: 16 Kinder, 20,0 %).

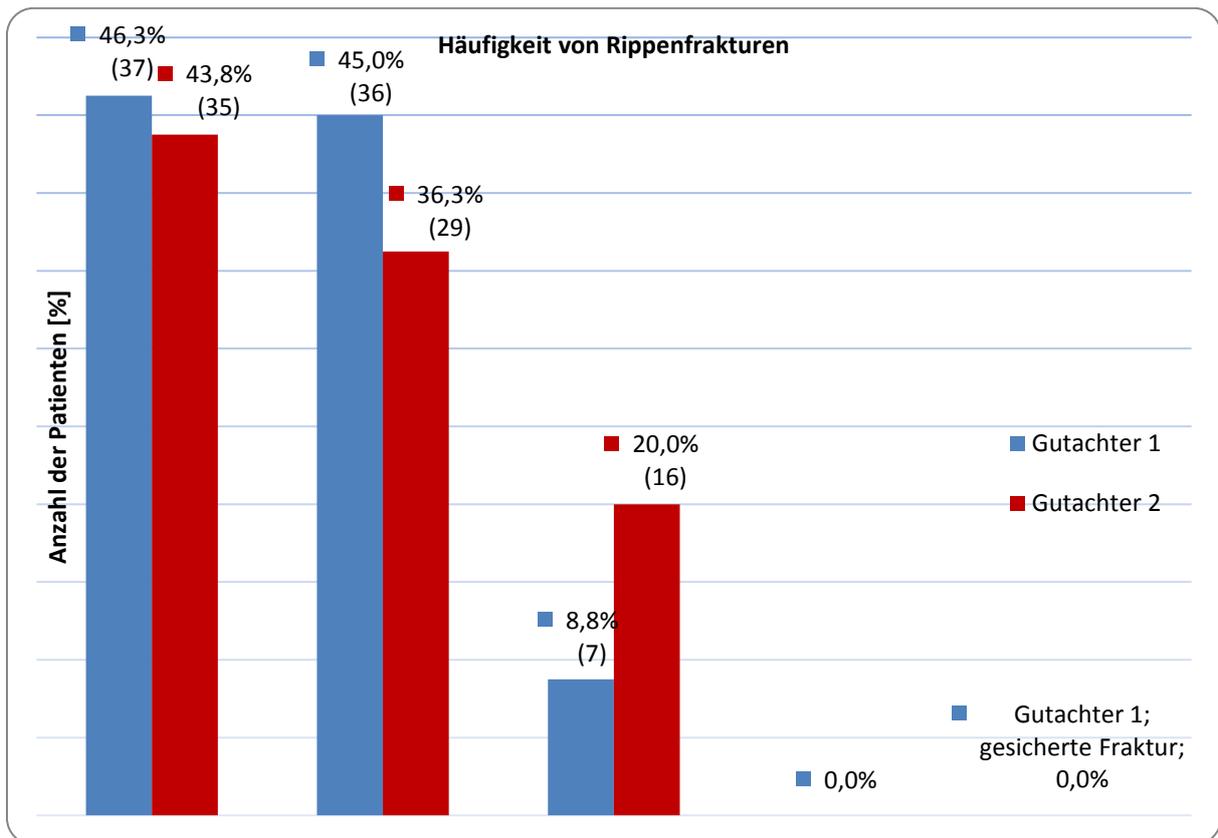


Diagramm 14: Ergebnisse der Auswertung der Röntgenaufnahmen / Patient bezüglich eines Hinweises auf Rippenfrakturen. Es wurden weder gesicherte Rippenfrakturen gefunden, noch der Verdacht auf Rippenfrakturen von einem der Gutachter gestellt.

Mit Hilfe des Kappa Koeffizienten wurde der Grad an Übereinstimmung der 2 Gutachter errechnet und in den Tabellen 8 und 9 dargestellt. Mit Kappa = 0,78 (siehe Tab. 9) bei 80 gültigen Patienten ist der Übereinstimmungsgrad der Gutachter hoch. In Kategorie 1 (keine Fraktur, Follow Up vorhanden) ist die Übereinstimmung am größten (100 % der Ergebnisse (35 von 35 Patienten) in Kategorie 1 von Gutachter 2 stimmen mit 94,6 % der Ergebnisse (35 von 37 Patienten) von Gutachter 1 überein). Insgesamt wurden 11 Patienten (13,8 %) in unterschiedliche Kategorien eingeteilt. 8 Patienten (10,0 %) wurden von Gutachter 1 Kategorie 2 (keine Fraktur, kein Follow Up vorhanden) zugeteilt und von Gutachter 2 Kategorie 3 (Fraktur nicht ausgeschlossen) zugeteilt. Ein Patient (1,3 %) wurde umgekehrt von Gutachter 1 der Kategorie 3 zugeteilt und von Gutachter 2 der Kategorie 2 zugeteilt. Zwei Patienten (2,6 %) wurden von Gutachter 1 der Kategorie 1 zugeteilt und von Gutachter 2 der Kategorie 3.

Tab. 8: **Übereinstimmung Gesamtergebnis (Kreuztabelle mit den Ergebnissen der Gutachter1 (blau) und 2 (rot))**

Darstellung der Gesamtergebnisse von Gutachter 1 (blau) und Gutachter 2 (rot). Die Patienten wurden anhand der Auswertungen der Röntgenaufnahmen in die Kategorien 1 – 5 eingeteilt (1 = Es liegt keine Fraktur vor. Eine Follow Up – Aufnahme ist vorhanden und bestätigt den Befund; 2 = Es gibt keinen Anhalt für eine Fraktur. Es ist keine Follow Up – Aufnahme vorhanden; 3 = Eine Fraktur kann nicht ausgeschlossen werden, (z.B. auf Grund der Bildqualität); 4 = Es besteht ein Verdacht auf eine Fraktur. Dieser Verdacht kann auf Grund fehlender Kontrollaufnahmen nicht bestätigt werden; 5 = Es liegt eine gesicherte Fraktur vor.). Keiner der Patienten wurde Kategorie 4 oder 5 zugeteilt. Die Übereinstimmung der Gutachter (grün) ist hoch.

		Gutachter 1			Gesamt	
		1	2	3		
<u>Gutachter 2</u>	1	Anzahl	35	0	0	35
		% innerhalb von Ergebnis Gutachter 2	100 %	0,0 %	0,0 %	
		% innerhalb von Ergebnis Gutachter 1	94,6 %	0,0 %	0,0 %	
		% der Gesamtzahl	43,8 %	0,0 %	0,0 %	43,8 %
	2	Anzahl	0	28	1	29
		% innerhalb von Ergebnis Gutachter 2	0,0 %	96,6 %	3,4 %	
		% innerhalb von Ergebnis Gutachter 1	0,0 %	77,8 %	16,7 %	
		% der Gesamtzahl	0,0 %	35,0 %	1,2 %	36,2 %
	3	Anzahl	2	8	6	16
% innerhalb von Ergebnis Gutachter 2		12,5 %	50,0 %	37,5 %		
% innerhalb von Ergebnis Gutachter 1		5,4 %	22,2 %	85,7 %		
	% der Gesamtzahl	2,5 %	10,0 %	7,5 %	20,0 %	
Gesamt		Anzahl	37	36	7	80
		% der Gesamtzahl	46,2 %	45,0 %	8,8 %	100 %

Tab.9: Übereinstimmungsgrad von Gutachter 1 und 2 bezüglich des Gesamtergebnisses

Der Übereinstimmungsgrad von Gutachter 1 und 2 bezüglich des Gesamtergebnisses ist mit $\text{Kappa} = 0,78$ (Standardfehler = 0,058; 95 % - Konfidenzintervall liegt zwischen 0,66 und 0,89) hoch.

	Wert	Asymptotischer Standardfehler	Näherungsweise T	Näherungsweise Signifikanz
Maß der Übereinstimmung Kappa	0,777	0,058	9,361	0,000
Anzahl der gültigen Fälle	80			

5. Diskussion

In dieser Studie wird die Frage behandelt, ob durch die 2 Daumen – Reanimations-technik Rippenfrakturen bei Neugeborenen und Säuglingen im (korrigierten) ersten Lebensjahr entstehen und wenn ja, wie sich diese von nicht akzidentell verursachten Rippenfrakturen unterscheiden. Verschiedene Aspekte dieser Fragestellung werden nun erläutert.

5.1 Reanimation von Neugeborenen und Säuglingen – 2 Daumen - Technik vs 2 Finger - Technik

Es existieren zwei verschiedene vom European Resuscitation Council (ERC) und der American Heart Association (AHA) empfohlene Methoden zur Reanimation von Neugeborenen und Säuglingen.

2 Finger - Technik

Die 2 Finger - Technik ist eine seit Jahrzehnten etablierte Methode zur Reanimation von Neugeborenen und Säuglingen (Knickerbocker und Kouwenhoven, 1960). Bei dieser Technik liegt das Kind auf dem Rücken auf einer festen Unterlage und der Reanimierende drückt mit zwei Fingern auf das Sternum des Kindes. Studien zeigen, dass bei dieser Technik keine posterioren Rippenfrakturen entstehen (Betz und Liebhardt, 1994; Bulloch et al., 2000; Bush et al., 1996; Dolanik, 2007; Gunther et al., 2000; Herrmann et al., 2008; Hoke und Chamberlain, 2004; Matshes und Lew, 2010; Offiah et al., 2009). Als Gründe werden genannt, dass das Kind auf einer festen Unterlage aufliegt und, dass die ausgeübten Kompressionskräfte zu gering sind um Rippen zu brechen (Betz und Liebhardt, 1994; Bulloch et al., 2000; Bush et al., 1996; Dolanik, 2007; Gunther et al., 2000; Herrmann et al., 2008; Hoke und Chamberlain, 2004; Matshes und Lew, 2010; Offiah et al., 2009). Vermutet wird, dass bei der 2 Finger – Technik Kompressionskräfte, die an den Rippen wirken, durch die feste Unterlage nicht nach dorsal sondern zu den Seiten ausgelenkt werden, sodass die von Kleinman (1997) beschriebenen Hebelkräfte (siehe Seiten 10 – 11 und 58 - 59) an den costovertebralen Gelenken, die beim Frakturmechanismus von posterioren Rippenfrakturen wirken, nicht auftreten.

2 Daumen – Technik

Die 2 Daumen - Technik wurde erstmals 2000 von dem ERC empfohlen (AHA, 2000; ERC, 2002). Hierbei umschließt der Helfer den Thorax des Kindes von vorne mit beiden Händen und drückt mit den Daumen auf das untere Drittel des Sternums (AHA, 2000; ERC, 2002). Studienergebnisse weisen darauf hin, dass durch diese Methode sowohl ein höherer systolischer Druck als auch ein besserer Koronararterienperforationsdruck erzielt wird (AHA, 2000; Braga et al., 2009; David, 1988; Dorfsman, 2000; Houry et al., 1997; Kao et al., 2009; Menegazzi et al., 1993; Meyer et al., 2010; Udassi et al., 2009; Wyckoff und Berg, 2008). Des Weiteren ist die 2 Daumen - Technik für den Durchführenden weniger ermüdend und wird in Studien von der Mehrheit der Probanden (bis zu 90%), die beide Techniken durchführten, bevorzugt (Dorfsman, 2000; Houry et al., 1997; Menegazzi et al., 1993; Whitelaw et al., 2000). Bei der 2 Daumen - Technik stellt sich die Frage, ob noch immer gewährleistet ist, dass die Kompressionskräfte an den Rippen nach lateral ausgelenkt werden. Es liegt die Vermutung nahe, dass die Rippen nicht zu den Seiten ausweichen, sondern nach dorsal, was zur Folge hat, dass die lateralen Processus der Wirbelkörper als Hebel wirken, wodurch die Rippen an ihnen brechen können. Auf diese Problematik wird auch in anderen Studien hingewiesen und bis jetzt gibt es in der Fachliteratur keine befriedigende Studienlage, die diese Frage beantwortet (Matshes und Lew, 2010 a; Matshes und Lew, 2010 b; Offiah et al., 2009; Weber et al., 2009; Worn und Jones, 2007).

5.2 Ursachen posteriorer Rippenfrakturen von Neugeborenen und Säuglingen

Rippenfrakturen und Reanimation

Bislang liegen mehrere Studien vor, die sich mit der Problematik der Herzdruckmassage als mögliche Ursache von Rippenfrakturen bei Kindern befassen (Betz und Liebhardt, 1994; Bulloch et al., 2000; Bush et al., 1996; Cadzow und Armstrong, 2000; Dolanik, 2007; Feldman und Brewer, 1984; Gunther et al. 2000; Herrmann et al., 2008; Hoke und Chamberlain, 2004; Maguire et al., 2006; Matshes und Lew, 2010 a; Merten et al., 1983; Offiah et al., 2009; Reyes et al., 2011; Ryan et al., 2003;

Spevak et al., 1994; Weber et al., 2009; Worn und Jones, 2007). Die Studien weisen unterschiedliche Studiendesigns auf und sind in Kohortengröße, Altersdurchschnitt und Untersuchungsmethoden sehr inhomogen. Im Gegensatz zu Erwachsenen treten Rippenfrakturen nach Reanimation von Säuglingen sehr selten auf (Feldman und Brewer, 1984; Hoke und Chamberlain, 2004; Reyes et al., 2011; Spevak et al., 1994; Weber et al., 2009). Feldman und Brewer (1984) analysierten Röntgenaufnahmen von 113 Patienten im Alter von 1 – 62 Monaten aus drei verschiedenen Gruppen in den Jahren 1977-1981. Bei 50 Patienten wurde vorher eine Herzdruckmassage in der Klinik oder während des Notfalleinsatzes durchgeführt, sowohl von Laien als auch von medizinischem Fachpersonal. Bei 41 Patienten bestand der Verdacht auf Misshandlung und die dritte Gruppe (22 Patienten) umfasste alle zufällig entdeckten Rippenfrakturen in den Jahren 1977 – 1981 in dem Children's Orthopedic Hospital and Medical Center und der Universität von Washington (Feldman und Brewer, 1984). Es wurden bei den 50 Patienten nach Reanimation keine Rippenfrakturen gefunden (Feldman und Brewer, 1984). Die Röntgenaufnahmen wurden von einem Gutachter ausgewertet und es lagen bei 18 der 50 Patienten (36 %) Folgeaufnahmen nach 10 - 14 Tagen vor (Feldman und Brewer, 1984). Spevak et al. (1994) werteten retrospektiv Sektionsprotokolle und post mortem angefertigte Röntgenaufnahmen von 91 Säuglingen im ersten Lebensjahr aus (Spevak et al., 1994). Alle Patienten wurden reanimiert (durchschnittliche Reanimationszeit: 47,3 Minuten) und in keinem Fall bestand ein Verdacht auf Kindesmisshandlung (Spevak et al., 1994). Es wurden bei keinem Patienten Rippenfrakturen gefunden, woraus geschlossen wurde, dass wenn eine Rippenfraktur bei einem gesunden Säugling gefunden wird, Misshandlung in Betracht zu ziehen ist (Spevak et al., 1994). Bush et al. (1996) werteten retrospektiv Sektionsprotokolle von 211 Kindern unter 12 Jahren aus. Alle Patienten wurden reanimiert und starben durch eine nicht traumatische Todesursache (Bush et al., 1996). In einem 3 Monate alten Säugling, der durch Sudden Unexpected Death in Infancy (SUDI) starb, wurden bilaterale Rippenfrakturen des achten und neunten Rippenpaares gefunden (Bush et al., 1996). Bei diesem Kind wurde die Herzdruckmassage sowohl von Laien (Babysitter und Eltern) als auch von medizinischem Fachpersonal insgesamt 75 Minuten lang durchgeführt (Bush et al., 1996). Bush et al. (1996) schlossen aus ihren Studienergebnissen, dass die Herzdruckmassage eine

sehr seltene Ursache von Rippenfrakturen ist und dass Kindesmisshandlung bei einem Auftreten ausgeschlossen werden muss. Gunter et al. (2000) kommen in ihrer Fallstudie zu der gleichen Schlussfolgerung. Betz und Liebhardt (1994) werteten 233 Sektionsprotokolle von Säuglingen und Kindern im Alter von 5 Tagen bis 7 Jahren in den Jahren 1990 - 1992 aus. Von 190 Patienten, die an einer nicht traumatischen Todesursache verstarben wurden 94 reanimiert (einschließlich Herzdruckmassage) (Betz und Liebhardt, 1994). Bei zwei Patienten (2 Monate; 5 Jahre) wurden laterale Rippenfrakturen als Folge der Herzdruckmassage gefunden (Betz und Liebhardt, 1994). Die Herzdruckmassage wurde in beiden Fällen von einem Arzt durchgeführt (Betz und Liebhardt, 1994). Ein interessanter Nebenbefund ist, dass in Betz und Liebhardts Studie (1994) die mit einer Herzdruckmassage assoziierten Verletzungen hauptsächlich von einer Reanimation durch medizinisches Fachpersonal und nicht durch Laien stammen. Maguire et al. (2006) führten eine Übersichtsstudie der Literatur von 1950 - 2005 betreffend Rippenfrakturen nach Reanimation von Kindern durch und schlossen von 427 gefundenen Studien 6 Studien ein. Alle sechs Studien zusammengefasst, ergeben Daten von insgesamt 923 Kindern im Alter von 0 - 14 Jahren, die reanimiert wurden (Maguire et al., 2006). Es wurden bei drei Patienten Rippenfrakturen gefunden (Maguire et al., 2006). Bei zwei Kindern lagen die Rippenfrakturen auf Höhe der mittleren Klavikularlinie, bei einem Kind lag eine bilaterale Fraktur am sternocostalen Gelenk vor (Maguire et al., 2006). Es wurden in keinem Fall posteriore Rippenfrakturen gefunden (Maguire et al., 2006). Dolanik (2007) führte vor 2005 bei 70 verstorbenen und zuvor reanimierten Säuglingen im Alter von 2 Wochen – 8 Monaten Autopsien durch und suchte nach Rippenfrakturen. Bei 8 Patienten (11 %) wurden Rippenfrakturen gefunden (Dolanik, 2007). Alle Frakturen befanden sich zwischen dem 2. und 6. Rippenpaar und waren antero - lateral lokalisiert (Dolanik, 2007). Alle Reanimationen wurden außerhalb des Krankenhauses von Laien begonnen und in 6 der 8 Kinder wurde als Todesursache „Cosleeping“ angegeben (Dolanik, 2007). Auf Grund dieser Tatsachen ist nicht auszuschließen, dass die Rippenfrakturen schon vor der Reanimation entstanden sind. Andererseits ist anzumerken, dass Dolanik (2007), indem er die parietale Pleura der Rippen löste, eine sehr sensitive Methode nutzte um Rippenfrakturen zu detektieren und, dass feine Haarrisse in anderen Studien eventuell übersehen wurden. Dolanik (2007) führt noch

an, dass die Art und Lokalisationen der gefundenen Rippenfrakturen mit der Art und Lokalisation von reanimationsbedingten Rippenfrakturen in Erwachsenen übereinstimmt. Die Untersuchungszeiträume der beschriebenen Studien (1977 – 2005) liegen mehrheitlich vor der Einführung der 2 Daumen - Reanimationstechnik (2000) und so wird in keiner dieser Studien zwischen den beiden Reanimationstechniken differenziert (Betz und Liebhardt, 1994; Bush et al., 1996; Dolanik, 2007; Feldman und Brewer, 1984; Gunther et al. 2000; Hoke und Chamberlain, 2004; Maguire et al., 2006; Matshes und Lew, 2010 a; Spevak et al., 1994). In fünf Studien nach 2000 wird darauf hingewiesen, dass mit der Einführung der neuen Reanimationstechnik eine neue Fragestellung nach reanimationsassoziierten Rippenfrakturen entsteht und dass dies untersucht werden sollte (Matshes und Lew, 2010 a; Matshes und Lew, 2010 b; Offiah et al., 2009; Weber et al., 2009; Worn und Jones, 2007).

Die drei aktuellsten Untersuchungen von Weber et al. (2009), von Matshes und Lew (2010 b) und von Reyes et al. (2011) werden im Folgenden vorgestellt. Weber et al. (2009) untersuchten in den Jahren 1996 - 2005 retrospektiv Sektionsprotokolle von 452 Säuglinge mit der Diagnose „SUDI“ und ohne Hinweis auf Misshandlung. Es wurden bei 24 von 452 Säuglingen (5 %) Rippenfrakturen gefunden (Weber et al., 2009). 9 Säuglinge (2 %) wiesen akute Rippenfrakturen als alleinige Verletzung auf, woraus geschlossen wurde, dass in diesen Fällen Rippenfrakturen durch CPR verursacht wurden (Weber et al., 2009). Weber et al. (2009) differenzieren nicht zwischen den seit 2000 empfohlenen verschiedenen zwei Reanimationstechniken. Es wird auch nicht notiert, ob die 9 Säuglinge nach dem Jahr 2000 (Einführung der 2 Daumen - Reanimationstechnik) reanimiert wurden, was zur Klärung der Fragestellung dieser Studie beitragen würde. Die Rippenfrakturen der 9 Säuglinge sind ausschließlich antero - lateral lokalisiert und hauptsächlich an dem vierten und fünften Rippenpaar gelegen (Weber et al., 2009). Unter der Annahme, dass der von Kleinman beschriebene Bruchmechanismus durch die 2 Daumen - Technik forciert wird, sind allerdings eher posteriore Lokalisationen der Frakturen zu erwarten. Matshes und Lew (2010 b) beschreiben 5 verstorbene Säuglinge im Alter von 1,5 - 4 Monaten, bei denen während der Autopsie antero - laterale Rippenfrakturen gefunden wurden. Alle Säuglinge wurden vor ihrem Tod mit beiden Reanimationstechniken von Laien und medizinischem Fachpersonal reanimiert (Matshes und Lew, 2010 b). Alle Patienten

wurden außerhalb eines Krankenhauses reanimiert und in 3 der 5 Kinder ist die Todesursache sogenanntes „cosleeping“ (Matshes und Lew, 2010 b). Durch diese Todesursache liegt die Vermutung nahe, dass ein Teil der Rippenfrakturen schon vor der Reanimation entstanden sind. Reyes et al. (2011) untersuchten retrospektiv die Fälle von 571 nach der Reanimation verstorbenen Neugeborenen und Säuglingen bis zum 6. Lebensmonat in den Jahren 1997 – 2008. Es wurden wie bei Weber et al. (2009) Sektionsprotokolle ausgewertet und es wurden 19 Säuglinge mit Rippenfrakturen (3,3 %) gefunden (Reyes et al., 2011). Die Lokalisation der Frakturen betraf wiederum ausschließlich antero - laterale Rippensegmente, besonders das vierte und fünfte Rippenpaar (Reyes et al., 2011). Reyes et al. (2011) unterscheiden zwischen den zwei Reanimationstechniken und stellen einen Zusammenhang zwischen dem Anwenden der 2 Daumen - Reanimationstechnik und dem vermehrten Auftreten von anterioren und lateralen Rippenfrakturen fest (Reyes et al., 2011). Dieser Zusammenhang wird daraus geschlossen, dass nach der Einführung der 2 Daumen - Technik (hier ab 2005) ein signifikanter Anstieg von anterioren und lateralen Rippenfrakturen in Neugeborenen und Säuglingen beobachtet wurde (von 1,3 % auf 7,9 %) (Reyes et al., 2011). Es wird vermutet, dass durch die 2 Daumen - Reanimationstechnik eine größere Kompressionstiefe erreicht wird, was die Elastizität des Skeletts übersteigt (Martin et al., 2012; Menegazzi, 2011; Reyes et al., 2011; Reyes et al., 2012). Es wurde kein Zusammenhang zwischen der Reanimationszeit und der Anzahl der Rippenfrakturen festgestellt (Reyes et al., 2011). Leider wurde in Reyes et al. Studie lediglich angenommen, dass die neu eingeführte Reanimationstechnik angewendet wurde (Reyes et al., 2011). Des Weiteren wurden auch Fälle mit einbezogen, in denen Kinder außerhalb des Krankenhauses von verschiedenen Personen reanimiert wurden, was wiederum die Frage nach der angewendeten Reanimationstechnik und eventuell vorhandenen weiteren Rippenfrakturen verursachenden Faktoren, wie z. B. Misshandlung aufwirft (Martin et al., 2012; Reyes et al., 2011). Letztendlich wurden weder in einer dieser drei Studien noch in den zuvor vorgestellten Studien posteriore Rippenfrakturen nach Reanimation von Neugeborenen, Säuglingen und Kindern gefunden (Betz und Liebhardt, 1994; Bulloch et al., 2000; Bush et al., 1996; Cadzow und Armstrong, 2000; Dolanik, 2007; Feldman und Brewer, 1984; Gunther et al. 2000; Herrmann et al., 2008; Hoke und Chamberlain,

2004; Maguire et al., 2006; Matshes und Lew, 2010 a; Merten et al., 1983; Offiah et al., 2009; Reyes et al., 2011; Ryan et al., 2003; Spevak et al., 1994; Weber et al., 2009; Worn und Jones, 2007). Dies spricht für die Nullhypothese, dass posteriore Rippenfrakturen nicht durch die 2 Daumen - Reanimationstechnik verursacht werden, obwohl der theoretische Bruchmechanismus dies vermuten lässt (Kleinman, 2005; Offiah et al., 2009). Außer Reyes et al. (2011) differenzieren keine Autoren zwischen den beiden Reanimationstechniken für Neugeborene und Säuglinge. So bleibt die aktuell behandelte Fragestellung von der Fachliteratur bis jetzt nicht zufriedenstellend beantwortet (Maguire et al., 2006; Martin et al., 2012; Matshes und Lew, 2010 a; Matshes und Lew, 2010 b; Menegazzi, 2011; Offiah et al., 2009; Reyes et al., 2011; Reyes et al., 2012; Weber et al., 2009; Worn und Jones, 2007).

Posteriore Rippenfrakturen nach Herzdruckmassage?

Es werden in keiner der genannten Studien durch eine Herzdruckmassage verursachte posteriore Rippenfrakturen beschrieben (Betz und Liebhardt, 1994; Bulloch et al., 2000; Bush et al., 1996; Cadzow und Armstrong, 2000; Dolanik, 2007; Feldman und Brewer, 1984; Gunther et al. 2000; Herrmann et al., 2008; Hoke und Chamberlain, 2004; Maguire et al., 2006; Matshes und Lew, 2010 a; Merten et al., 1983; Offiah et al., 2009; Reyes et al., 2011; Ryan et al., 2003; Spevak et al., 1994; Weber et al., 2009; Worn und Jones, 2007). Lediglich eine Studie wurde gefunden in der posteriore Rippenfrakturen nach Reanimation beschrieben wurden (Thomas, 1977). Thomas (1977) analysierte mehr als 10.000 a. - p. Röntgen - Thorax - Aufnahmen von Säuglingen und Kindern. Es wurden bei 25 Patienten Rippenfrakturen gefunden (Thomas, 1977). Bei 3 der 25 Kinder waren Rippenfrakturen posterior lokalisiert und es wurde keine Misshandlung oder Geburtstrauma dokumentiert (Thomas, 1977). Thomas (1977) sieht eine durchgeführte Herzdruckmassage oder Physiotherapie als mögliche Ursache für die Rippenfrakturen der Patienten. Leider wird in Thomas (1977) Studie nicht erwähnt, welche Kinder reanimiert wurden oder wer Physiotherapie erhielt. Als weitere Einschränkung dieser Ergebnisse ist an zu merken, dass alle drei Patienten Frühgeborene waren (vor der 29. SSW) und Zeichen von schweren Knochenstoffwechselstörungen zeigten (Thomas, 1977). So sind

diese Studienergebnisse in der Hinsicht auf die Frage nach posterioren Rippenfrakturen nach Reanimation von gesunden Säuglingen nicht verwendbar.

Bei Betrachtung der 2 Finger - Reanimationstechnik, sind Erklärungsansätze bekannt, die das Ausbleiben von posterioren Rippenfrakturen erläutern (Chapman, 2004; Kleinman und Schlesinger, 1997; Kleinman, 2005; Worn und Jones, 2007). Bei der 2 Finger – Technik wird ausschließlich Druck von vorne auf den Thorax ausgeübt während der Säugling auf einer festen Unterlage liegt (AHA, 2000; Chapman, 2004, ERC, 2002). Das Sternum wird durch anteriore Kompression in Richtung der Wirbelsäule gedrückt (AHA, 2000; ERC, 2002). Im Verhältnis zu dem sternocostalen Gelenk und den Rippen wird das Sternum nach posterior gedrückt, während die Wirbelsäule und die Rippen unbeweglich bleiben. Es entsteht eine Spannung an den lateralen Rippenbögen und den sternocostalen Gelenken, was sporadisch zu lateralen und anterioren Rippenfrakturen führen kann. Der Mechanismus zur Entstehung posteriorer Rippenfrakturen, bei dem die Rippenköpfe oder -hälse über die transversalen Processus gehebelt werden und brechen bleibt aus (Chapman, 2004; Kleinman und Schlesinger, 1997; Kleinman, 2005). Auch beim Aufliegen auf einer weichen Unterlage, wie z.B. einer Matratze, ist es unwahrscheinlich, dass der Hebelmechanismus einsetzt, da sowohl Wirbelsäule als auch Rippen gleichzeitig nach posterior gedrückt werden (Chapman, 2004; Kleinman und Schlesinger, 1997; Kleinman, 2005; Worn und Jones, 2007). Ein weiteres Argument ist, dass die meist gleichmäßigen und kontrollierten Kräfte, die während der Reanimation ausgeübt werden, nicht groß genug sind um posteriore Rippenfrakturen zu verursachen (Worn und Jones, 2007).

Bei Betrachtung der 2 Daumen - Reanimationstechnik gibt es einige Faktoren, die die Entstehung von posterioren Rippenfrakturen vermuten lassen. Zum einen passt Kleinmans Modell (1997) zur Entstehung von posterioren Rippenfrakturen durch antero - posteriore Kompression zu der Art der Kompression, die während der 2 Daumen - Technik ausgeübt wird. Zum anderen ähnelt der Handgriff dieser Technik sehr dem Umfassen des kindlichen Brustkorbes beim Schütteln eines Kindes, während dessen nachweislich posteriore Rippenfrakturen entstehen (Caffey, 1972; Carty und Pierce, 2002; Guthkelch, 1971; Harding et al., 2004; Herrmann et al., 2008; Kleinman, 2005; Nimkin und Kleinman, 1997; Sorantin, 2002). Des Weiteren wird bei

der 2 Daumen - Reanimationstechnik leichter eine größere Kompressionstiefe erreicht als bei der 2 Finger - Technik, was das Risiko steigert, tiefer als die Hälfte des Brustkorbdurchmessers zu drücken (Braga et al., 2009; David, 1988; Houri et al., 1997; Kao et al., 2009, Martin et al., 2012; Menegazzi et al., 1993; Menegazzi, 2012; Meyer et al., 2010; Reyes et al., 2011; Reyes et al., 2012; Udassi et al., 2009; Wyckoff und Berg, 2008). Es wird in mehreren Studien vorgeschlagen, aus Sicherheitsgründen das Maß für die Kompressionstiefe von einem Drittel bis die Hälfte des Brustkorbdurchmessers auf ein Drittel des Durchmessers zu erniedrigen (Braga et al., 2009; Kao et al., 2009, Meyer et al., 2010; Udassi et al., 2009; Wyckoff und Berg, 2008). Clouse und Lantz (2008) berichten auf dem 60. Jahrestreffen der American Academy of Forensic Sciences von vier verstorbenen Neugeborenen und Säuglingen im Alter von 1 Tag - 3 Monaten, die vor ihrem Tod mit der 2 Daumen - Technik reanimiert wurden. In der Autopsie wurden bei allen Kindern posteriore Rippenfrakturen gefunden (Clouse und Lantz, 2008). Misshandlung und andere traumatische Todesursachen wurden ausgeschlossen (Clouse und Lantz, 2008). Zu diesen Daten liegt nur ein Abstract vor, da nie eine Veröffentlichung durch die Autoren erfolgte. Fragen zu dem Zustand der Neugeborenen und Säuglinge (z.B. den Knochenstoffwechsel beeinflussende Erkrankungen) und wie andere Ursachen für Rippenfrakturen (z.B. Misshandlung, Geburtstrauma) ausgeschlossen wurden bleiben unbeantwortet. Es ist fraglich, ob diese Daten als fundierte Quelle dienen können.

Ziel dieser Studie ist es zu klären, ob posteriore Rippenfrakturen durch die 2 Daumen - Reanimationstechnik des Neugeborenen und Säuglings entstehen. Hierzu wurden retrospektiv Patienten im (korrigierten) ersten Lebensjahr aus den Jahren 2001 - 2010 gesucht, also nach der Empfehlung zur 2 Daumen - Reanimationstechnik. Alle in die Studie eingegangenen Kinder wurden von pädiatrischen Intensivmedizinern oder Neonatologen ausschließlich in Kliniken reanimiert.

Es wurde in keinem Fall dokumentiert, welche Reanimationstechnik angewendet wurde, jedoch wird in allen teilnehmenden Kliniken seit 2000 die 2 Daumen - Technik als bevorzugte und seit 2005 als ausschließliche Reanimationstechnik des Neugeborenen und Säuglings gelehrt und angewendet.

Als Problematik ist zu diskutieren, dass die Dauer der Reanimation der Patienten oft ungenau oder gar nicht dokumentiert wurde. In 48,8 % der Patienten (39 Kinder) ist die Länge der Reanimation unklar oder es wurde eine unpräzise Zeitangabe, wie z.B. „kurz“, notiert. In einigen Studien, in denen die beschriebenen Reanimationstechniken miteinander verglichen wurden, wurde ein Reanimationszeitraum von 10 Minuten als Norm gewählt (Dorfsman, 2000; Whitelaw et al., 2000). In dieser Studie beträgt die durchschnittliche Reanimationszeit 11 Minuten. 33,8 % der Patienten (27 Kinder) wurden 1 - 5 Minuten reanimiert. 38,8 % der Patienten (31 Kinder) wurden unter 11 Minuten und 48,8 % der Patienten (39 Kinder) wurden unter 21 Minuten reanimiert. Es stellt sich die Frage, ob die Dauer der Reanimation und die Wahrscheinlichkeit für reanimationsbedingte Verletzungen miteinander korrelieren. In der bereits beschriebenen Studie von Reyes et al. (2011), in der Rippenfrakturen nach Herzdruckmassage untersucht wurden, wird kein Zusammenhang zwischen der Reanimationszeit und der Häufigkeit von Rippenfrakturen festgestellt.

In dieser Studie wurden 546 Röntgenaufnahmen von 80 Neugeborenen und Säuglingen ausgewertet. Es wurden keine Rippenfrakturen gefunden. Anzunehmen ist, dass trotz der größeren Kompressionstiefe der 2 Daumen - Reanimationstechnik zu wenig Kraft aufgewandt wird, um Rippenfrakturen zu verursachen. Des Weiteren wird durch die Handflächen und Finger des Reanimierenden versucht, eine feste Unterlage zu schaffen, was ein Ausweichen der Rippen nach dorsal verhindern soll. Diese Gründe sind Erklärungen für das Ausbleiben von posterioren Rippenfrakturen nach der 2 Daumen - Reanimationstechnik. Nach Reyes et al. (2011) treten anteriore und laterale Rippenfrakturen bei der 2 Daumen - Reanimationstechnik gehäuft auf. In dieser Studie wurden keine anterioren oder lateralen Rippenfrakturen gefunden. Es ist zu bedenken, dass Reyes et al. (2011) mit Sektion und histologischer Untersuchung der Rippen eine sensitivere Diagnostikmethode gewählt haben. Feine Haarrisse, die durch die histologische Untersuchung der Rippen detektiert wurden, könnten in a. - p. Röntgen - Thorax - Aufnahmen übersehen werden. Die Röntgendiagnostik ist eine der wenigen Möglichkeiten Rippenfrakturen bei lebenden Kindern zu diagnostizieren. Feine Haarrisse, die klinisch okkult sind und diagnostisch zu keiner Zeit in Erscheinung treten, spielen im klinischen Alltag und der Frage nach der Ursache von Rippenfrakturen des Neugeborenen und Säuglings eine untergeordnete Rolle.

Posteriore Rippenfrakturen als Indikator für nicht akzidentelle Traumata

Diese Studie wurde im Rahmen des Arbeitskreises kooperative Studien der Arbeitsgemeinschaft Kinderschutz in der Medizin durchgeführt. Die Fragestellung, ob während der Reanimation des Neugeborenen und Säuglings (speziell der 2 Daumen - Technik) Rippenfrakturen auftreten, führt zu einer weiteren im Kinderschutz bedeutsamen Problematik. Unterscheiden sich durch Reanimation verursachte Rippenfrakturen von nicht akzidentell verursachten Rippenfrakturen, obwohl der gleiche Frakturmechanismus vermutet wird? Diese Problematik wird nun erläutert.

Schon 1946 beschrieb John Caffey multiple Frakturen im Zusammenhang mit subduralen Hämatomen, ohne eine konkrete Theorie bezüglich der Ursache dieses Phänomens zu benennen (Caffey, 1946). 1971 beschrieb der Neurochirurg Norman Guthkelch zwei Säuglinge bei denen subdurale Hämatome ohne äußere Verletzungen vorlagen (Guthkelch, 1971). Er erklärte die Ursache dieses Befundes durch einen Peitschenschlag ähnlichen Mechanismus, der während des Schüttelns eines Säuglings auftritt (Guthkelch, 1971). Ein Jahr später berichtete John Caffey über 27 Kinder mit subduralen Hämatomen und metaphysären Frakturen (Caffey, 1972). Er führte nun ebenfalls die Verletzungen auf das Schütteln der Kinder zurück (Caffey, 1972). Diese Berichte führten zu der Entdeckung des „Shaken Baby Syndrome“ (SBS) (Caffey, 1972; Fűrnis, 2005; Guthkelch, 1972; Herrmann et al., 2008; Lonergan et al., 2003).

Das SBS beschreibt eine Traumakonstellation, die spezifisch bei Kindern im ersten Lebensjahr auftritt und dessen Ursache heftiges, peitschenschlagartiges Schütteln des Kindes ist (Caffey, 1972; Guthkelch, 1971; Herrmann et al., 2008; Nimkin und Kleinman, 1997). Hierbei wird das Kind mit beiden Händen von vorne umgriffen und mit großer Kraft schnell hin- und hergeworfen (Caffey, 1972; Guthkelch, 1971; Herrmann et al., 2008; Nimkin und Kleinman, 1997). Dabei kommt es zu Rotationsbewegungen des Kopfes, was durch Abriss von Brückenvenen zu subduralen Blutungen führt (Caffey, 1972; Guthkelch, 1971; Herrmann et al., 2008; Nimkin und Kleinman, 1997). Zu dem Syndrom zählen unter anderem subdurale Hämatome, retinale Blutungen, neurologische Beeinträchtigung ohne weitere große Verletzungen, eine lückenhafte oder unplausible Anamnese, Griffmarken am Thorax oder an den

Armen und posteriore Rippenfrakturen (Caffey, 1972; Carty und Pierce, 2002; Guthkelch, 1971; Harding et al., 2004; Herrmann et al., 2008; Kleinman und Schlesinger, 1997; Kleinman, 2005; Nimkin und Kleinman, 1997; Sorantin, 2002).

Der Altersgipfel für nicht akzidentell verursachte Skelettverletzungen liegt im ersten Lebensjahr (Agran et al., 2003; Belfer et al., 2001; Carty und Pierce, 2002; Chapman, 2004; Day et al., 2006; Hobbs, 1989; Kellogg, 2007; Kocher und Kasser, 2000; Leventhal et al., 1993; Leventhal et al., 2008; Merten et al., 1983; Merten und Carpenter, 1990; Nakayama et al., 1989; Nimkin und Kleinman, 1997; Pandya et al., 2009; Scherl, 2006; Worlock et al., 1986). Agran et al. (2003) untersuchten die Verletzungsrates von Kindern unter vier Jahren und zeigten, dass eine der häufigsten Ursachen für Verletzungen im Alter von 0 - 5 Monaten nicht akzidentelle Traumata sind. Leventhal et al. (2008) kommen zu dem Ergebnis, dass 25 % der Frakturen, mit denen Kinder im ersten Lebensjahr hospitalisiert werden, nicht akzidentell verursacht sind.

Rippenfrakturen sind hochspezifische Indikatoren für Kindesmisshandlung (Barsness et al., 2003; Bulloch et al., 2000; Carty und Pierce, 2002; Chaan und Christine, 1998; Chapman, 2004; Day et al., 2006; Garcia et al., 1990; Herrmann, 2003; Herrmann et al., 2008; Hobbs, 1989; Kemp et al., 2006; Kleinman et al., 1988; Kleinman et al., 1992; Kleinman et al., 1996 a; Kleinman und Schlesinger, 1997; Kleinman, 2005; Kocher und Kasser, 2000; Leventhal et al., 1993; Leventhal et al., 2008; Merten et al., 1983; Mulpuri et al., 2010; Nimkin und Kleinman, 1997; Pandya et al., 2009; Stöver, 2007; Worlock et al., 1986). Kleinman et al. (1996 a) führten post mortem eine radiologische und histopathologische Studie an 31 misshandelten Kindern durch und fanden in 51 % der Fälle Rippenfrakturen. Rippenfrakturen machen zwischen 5 % - 27 % aller nicht akzidentell verursachten Skelettverletzungen aus (Bulloch et al., 2000). Barsness et al. (2003) ermittelten den positiven prädiktiven Wert von Rippenfrakturen als Indikator für nicht akzidentelle Traumata bei Kindern. Bei Kindern unter 3 Jahren mit Rippenfrakturen sind diese zu 95 % nicht akzidentell verursacht, nach Ausschluss möglicher Differentialdiagnosen sogar zu 100 % (Barsness et al., 2003). In 29 % der Fälle sind Rippenfrakturen die alleinige Skelettverletzung (Barsness et al., 2003). Garcia et al. (1990) kommen in ihrer Studie zu dem Ergebnis,

dass 63 % der Kinder unter 3 Jahren mit Rippenfrakturen Opfer von Kindesmisshandlung sind. 14 von 33 untersuchten Kindern mit Rippenfrakturen (42 %) verstarben, was vermuten lässt, dass Rippenfrakturen signifikante Indikatoren für weitere besonders schwere Verletzungen sind (Garcia et al., 1990). Isolierte Rippenfrakturen sind zwar keine schweren Verletzungen, doch beweisen sie einen stattgefundenen beachtlichen Energietransfer, der weitere Traumata zur Folge haben könnte (Cadzow und Armstrong, 2000). Zusätzlich ist zu beachten, dass sie auch ohne Anzeichen anderer äußerer Verletzungen auftreten können, und in diesen Fällen den einzigen klinischen Hinweis für eine Misshandlung darstellen (Cadzow und Armstrong, 2000; Merten et al., 1983).

Posteriore Rippenfrakturen sind besonders spezifisch und kommen bei nicht akzidentellen Traumata signifikant öfter vor, als bei akzidentellen Traumata (Barsness et al., 2003; Bulloch et al., 2000; Carty und Pierce, 2002; Chaan und Christine, 1998; Hobbs, 1989; Kocher und Kasser, 2000; Kleinman et al., 1988; Kleinman et al., 1992; Kleinman und Schlesinger, 1997; Merten et al., 1983; Merten und Carpenter, 1990; Nimkin und Kleinman, 1997; Scherl, 2006; Stöver, 2007). 45 % der Rippenfrakturen, die von einem nicht akzidentell verursachten Trauma (NAT) stammen, sind posteriore Rippenfrakturen, 35 % sind laterale und 20 % sind anteriore Rippenfrakturen (Barsness et al., 2003). Bei akzidentellen Verletzungen (NON – NAT) sind 90 % der auftretenden Rippenfrakturen lateral lokalisiert (Barsness et al., 2003). Kleinman et al. (1988) untersuchten ebenfalls die Lokalisation von nicht akzidentell verursachten Rippenfrakturen und kamen zu dem Ergebnis, dass 88 % der Rippenfrakturen (91 von 103) posterior und 12 % lateral gelegen sind.

Kleinman befasste sich intensiv mit der Entstehung von Rippenfrakturen und beschreibt einen Mechanismus, der erklärt, wie antero - posteriore Kompression auf den Thorax zu posterioren Rippenfrakturen führt (Kleinman et al., 1988; Kleinman et al., 1992; Kleinman und Schlesinger, 1997). Voraussetzung ist das Fehlen einer stabilen Unterlage, sodass die Rippen durch die von anterior ausgeübte Kompression nach hinten ausweichen (Kleinman et al., 1988; Kleinman und Schlesinger, 1997). Die Wirbelsäule bleibt an ihrem Platz, was zu Folge hat, dass Hebelkräfte an den costovertebralen Gelenken entstehen (Kleinman et al., 1988; Kleinman et al., 1992;

Kleinman und Schlesinger, 1997). Ist der Bandapparat der costovertebralen Gelenke widerstandsfähiger als die Rippen, wirken die Processus transversi der Brustwirbelkörper als Hebel an denen die Rippenköpfe oder -hälse brechen, (siehe Abb.4, S. 10 - 11), (Kleinman et al., 1988; Kleinman et al., 1992; Kleinman und Schlesinger, 1997). Der beschriebene Mechanismus erklärt das Auftreten von posterioren Rippenfrakturen während Akzelerations – Dekzelerationstraumen, wie dem Schütteln eines Kindes (Kleinman et al., 1988; Kleinman et al., 1992; Kleinman und Schlesinger, 1997; Kleinman, 2005). Ein weiterer denkbarer Mechanismus, der eine Erklärung für laterale Rippenfrakturen ist, geht ebenfalls von einer Kompression auf den Thorax aus, jedoch wird hier eine feste Auflagefläche vorausgesetzt. Die Rippen weichen nach lateral aus und die Kompressionskräfte belasten die lateralen Arcus (Kleinman et al., 1988; Kleinman et al., 1992; Kleinman und Schlesinger, 1997; Kleinman, 2005). Es kommt zu Frakturen, wenn die Rippenbögen dem Druck nicht mehr standhalten können (Kleinman et al., 1988; Kleinman et al., 1992; Kleinman und Schlesinger, 1997; Kleinman, 2005).

Wie auf den Seiten 46 und 47 beschrieben, wird der Thorax des Kindes bei der 2 Daumen - Reanimationstechnik, ähnlich dem Griff während des Schüttelns eines Kindes, von vorne umfasst. Die Frage, ob posteriore Rippenfrakturen durch Reanimation von Neugeborenen und Säuglingen verursacht werden, hat eine große Relevanz in der juristischen Nachverfolgung nicht akzidenteller Traumata. Ohne Klärung führt dies im Fall des Auftretens einer Rippenfraktur nach ungeklärtem Kreislaufstillstand mit anschließendem Reanimationsversuch zu einem diagnostischen Dilemma. Es sind in der Literatur Fälle beschrieben, in denen die Verteidigung der wegen Misshandlung angeklagten Personen auf „verzweifelten“ Reanimationsversuchen beruht (Gunther et al., 2000; Kleinman et al., 1989). Auf der anderen Seite wurden Personen wegen Misshandlung verurteilt, auf Grund einer ungewöhnlichen Traumakonstellation des Kindes, zum Teil durch Reanimation verursacht (Plunkett, 2006). Diese Fallberichte bestätigen nur die Wichtigkeit der Klärung der behandelten Problematik.

In dieser Studie wurden bei keinem Patienten Rippenfrakturen auf den ausgewerteten Röntgenaufnahmen nachgewiesen. Diese Ergebnisse zeigen, dass bei der 2 Daumen - Technik posteriore Rippenfrakturen, wenn nur sporadisch auftreten. Dem

Versuch das Argument, dass aufgetretene Rippenfrakturen von übereifrigen Reanimationsversuchen verursacht wurden, zur Verteidigung zu nutzen, ist weiterhin sehr kritisch zu begegnen. Betz und Liebhardt (1994) untersuchten durch Herzdruckmassage verursachte Reanimationsverletzungen (durchgeführt von Laien und medizinischem Fachpersonal) und zeigten, dass mehr Verletzungen durch Fachpersonal verursacht wurden als durch Laienreanimation. Es wird vermutet, dass Laien aus Angst Verletzungen zu verursachen „vorsichtiger“ helfen als Fachpersonal (Betz und Liebhardt, 1994). Dies entkräftet das Argument, helfende Personen hätten aus Ungeschick während der Reanimation unbeabsichtigt Rippenfrakturen verursacht. Bei auftretenden Rippenfrakturen im ersten Lebensjahr muss eine nicht akzidentelle Ursache sorgfältig abgeklärt werden.

Geburtstraumata

Besonders bei großen Neugeborenen kann es während der spontanen vaginalen Geburt durch die Enge im Geburtskanal zu Skelettverletzungen des Neugeborenen kommen. Vorrangig entstehen Clavicula -, Humerus -, oder Femurfrakturen (Bhat et al., 1994; Cumming, 1979; Rubin, 1964). In zwei großen Studien wurden insgesamt 50.381 Neugeborene (34.946 Patienten und 15.435 Patienten) untersucht und in keinem Fall konnte eine während der Geburt entstandene Rippenfraktur nachgewiesen werden (Bhat et al., 1994; Rubin, 1964). Es wurden in der Fachliteratur 13 Neugeborene mit posterioren Rippenfrakturen beschrieben, die als Geburtstrauma einzustufen sind (Barry und Hocking, 1993; Bulloch et al., 2000; Durani und De Piero, 2006; Hartmann, 1997; Thomas, 1977; van Rijn et al., 2009; Rizzolo und Coleman, 1989). Rizzolo und Coleman (1989) beschreiben ein Neugeborenes (Geburtsgewicht: 3300 g; Vakuumextraktion) mit multiplen posterioren Rippenfrakturen. In diesem Fall lässt sich nicht eindeutig klären, ob Misshandlung stattfand oder die Frakturen während der Geburt entstanden sind (Rizzolo und Coleman, 1989). Rizzolo und Coleman (1989) schlossen aus dem Fehlen von weiteren Misshandlungen im Verlauf, dass die Rippenfrakturen geburtsassoziiert seien. Die 12 übrigen Neugeborenen mit einer geburtsassoziierten posterioren Rippenfraktur waren große Neugeborene mit einem Geburtsgewicht von >3800g, einer komplizierten vaginalen Geburt oder beidem (Barry und Hocking, 1993; Durani und De Piero, 2006; Hartmann, 1997; Lonergan et

al., 2003; van Rijn et al., 2009; Thomas, 1977). Des Weiteren sind die beschriebenen posterioren Rippenfrakturen auf Höhe der mittleren Skapularlinie lokalisiert, in 51 % mit einer Schulterdystokie (7 Kinder) und in 23 % mit einer ipsilateralen Klavikulafraktur (3 Kinder) assoziiert (Barry und Hocking, 1993; Bulloch et al., 2000; Durani und De Piero, 2006; Hartmann, 1997; Thomas, 1977; Rizzolo und Coleman, 1989; van Rijn et al., 2009).

In dieser Studie wurden 14,1 % der Patienten (12 Kinder) spontan geboren. Das Geburtsgewicht dieser Neugeborenen beträgt im Durchschnitt 2154 g (Spanne: 580 g - 4330 g). Bei 13,8 % der Patienten (11 Kinder) beträgt das Geburtsgewicht mehr als 3500 g. In 85,9 % der Patienten (73 Kinder) wurde eine Sectio caeracea durchgeführt. In der Literatur wurde kein Fall beschrieben, bei dem Rippenfrakturen während einer Sectio caeracea auftraten. So sind posteriore Rippenfrakturen als Geburtstrauma möglich, jedoch sehr selten und bei einer Sectio caeracea nicht beschrieben. Es wurde bei keiner der spontanen Geburten ein komplizierter Geburtsvorgang dokumentiert. Als theoretisch mögliche, aber unwahrscheinliche Ursache von Rippenfrakturen wird man Geburtstraumata auf Grund des retrospektiven Designs dieser Studie jedoch nicht völlig ausschließen können.

Frühgeborene

Frühgeborene sind durch eine Geburt vor der vollendeten 37. SSW definiert, das heißt die Geburt erfolgt bevor die optimale Reifung des Neugeborenen erreicht ist (Lentze et al., 2007). Daraus ergeben sich bestimmte Komplikation, unter anderem ein gestörter Knochenstoffwechsel (Greer, 1994; Johnson, 1991; Lentze et al., 2007). In der Literatur wird die Wahrscheinlichkeit für das Vorkommen der frühgeburtlichen Osteopenie in VLBW (Frühgeborene mit einem Geburtsgewicht < 1500g) mit 10 % - 30 % angegeben (Amir et al., 1988; Dabezies und Warren, 1997; Demarini et al., 1997; Greer und McCormick, 1986; Helfer et al., 1984; Jakubowska - Pietkiwicz et al., 2009; Johnson, 1991; Koo et al., 1989; Miller, 2003). Die Häufigkeit von VLBW assoziierten Rippenfrakturen beträgt 1,2 % - 1,8 % (insgesamt 32 VLBW mit Rippenfrakturen von 1960 VLBW) (Amir et al., 1988, Lucas-Herald et al., 2012). Smurthwaite et al. (2009) untersuchten das Vorkommen von Rippenfrakturen in ELBW (Frühgeborene mit einem Geburtsgewicht <1000g) mit dem Ergebnis, dass 5

von 72 (7 %) ELBW anteriore oder laterale Rippenfrakturen aufweisen. Es wurden keine posterioren Rippenfrakturen detektiert (Smurthwaite et al., 2009). Lucas-Herald et al. (2012) untersuchten 1446 ehemalige Frühgeborene im Alter von 5 Wochen bis 4 Monate und fanden 26 Säuglinge mit insgesamt 62 Rippenfrakturen (Häufigkeit von Rippenfrakturen in Frühgeborenen: 1,8 %). 27 Rippenfrakturen waren posterior lokalisiert, bei 19 der 26 Säuglinge mit Rippenfrakturen wurde eine Osteopenie oder eine metabolische Knochenerkrankung diagnostiziert (Lucas-Herald et al., 2012). Bei weiteren drei Säuglingen bestand der Verdacht auf nicht akzidentelle Verletzungen (Lucas-Herald et al., 2012). Leider wird nicht differenziert bei welchen Säuglingen die posterioren Rippenfrakturen auftraten (Lucas-Herald et al., 2012).

Im letzten Schwangerschaftsdrittel findet eine exponentielle Produktion und Mineralisation von Knochensubstanz statt (Demarini et al., 1997; Greer und McCormick, 1986; Greer, 1994; Johnson, 1991). Der hohe Kalzium- und Phosphatbedarf im letzten Schwangerschaftsdrittel wird durch einen aktiven transplazentaren Transport dieser Mineralien gedeckt. Findet die Geburt vor der vollendeten 37. SSW statt, ist die effektive Versorgung mit Mineralien nicht mehr gegeben. Zusätzlich werden durch die eventuell nötigen medizinischen Maßnahmen, wie z.B. die Gabe von Schleifendiuretika, Kalzium entzogen (Dabezies und Warren, 1997; Demarini et al., 1997; Geggel et al., 1978; Greer und McCormick, 1986; Greer, 1994; Johnson, 1991; Miller, 2003). Die Diagnostik der frühgeburtlichen Osteopenie ist schwierig, da sie im Anfangsstadium klinisch und labordiagnostisch unauffällig sein kann (Johnson, 1991). Koo et al. (1989) versuchten die radiologische Diagnostik zu standardisieren, indem sie Methoden zur Gradeinteilung von rachitischen Veränderungen in Röntgenbefunden entwickelten. Am häufigsten wurden radiologische Veränderungen bei Frühgeborenen im Alter von 10 Lebenswochen gefunden (Koo et al., 1989). Dies passt zu der beschriebenen Erklärung für die frühgeburtliche Osteopenie. Bei Geburt ist der Mineralhaushalt im Normbereich, jedoch verändert er sich im Laufe der Zeit durch das Missverhältnis von Bedarf und Substitution.

In dieser Studie sind die Mehrzahl der Patienten (61,3 %, 49 Kinder) Frühgeborene, 10,0 % der Patienten (8 Kinder) sind VLBW und 28,8 % der Patienten (23 Kinder) sind ELBW. 15 % der Patienten (12 Kinder) sind hypotrophe Neugeborene, wovon 7

Kinder hypotrophe Frühgeborene sind mit einem Geburtsgewicht unter 1500 g (VLBW). 8,8 % der Patienten (7 Kinder) sind hypertrophe Neugeborene. 5 der 7 Neugeborenen sind hypertrophe Frühgeborene. 50,1 % der Patienten (41 Kinder) wurden vor dem Abschluss der Lungenreifung (34. SSW) geboren. Dies ist unter anderem eine Erklärung für das gehäufte Auftreten des Atemnotsyndroms (30,0 % der Kinder) und anderen frühgeburtlichen Komplikationen. Anhand der Krankenakten wurden keine Hinweise auf das Vorliegen einer frühgeburtlichen Osteopenie gefunden. Die gesichteten Röntgenaufnahmen zeigten ebenfalls keine Zeichen verminderter Knochensubstanz. 88,6 % der Frühgeborenen (43 von 49 Patienten) wurden in der ersten Lebenswoche reanimiert, sodass nicht davon auszugehen ist, dass sie zu diesem Zeitpunkt eine verminderte Knochenmineralisation aufzeigten. Da bei keinem Patienten Rippenfrakturen selbst nach Reanimation festgestellt wurden, ist das Vorliegen einer Osteopenie zu dem untersuchten Zeitpunkt unwahrscheinlich.

Erkrankungen im Kindesalter mit Auswirkungen auf den Knochenstoffwechsel

Es sind einige Krankheiten beschrieben, die den Knochenstoffwechsel im Neugeborenen- und Säuglingsalter beeinflussen. Die wichtigsten Erkrankungen, die mit einer Verminderung oder Schwächung der Knochensubstanz und so mit einem erhöhten Frakturrisiko assoziiert sind oder in der bildgebenden Diagnostik als Frakturen imponieren können werden im Folgenden erläutert.

Unter Osteoporose ist eine Systemerkrankung des Skeletts mit einer verminderten Knochenmasse und einer pathologischen Knochenmikroarchitektur zu verstehen (Lentze et al., 2007). Hieraus resultieren eine verminderte Knochenstabilität und eine erhöhte Knochenbrüchigkeit. Laut der WHO - Klassifikation für Osteoporose ist die Osteopenie der niedrigste Grad der Osteoporose (DGRh, 2011). Osteomalazie ist durch die gestörte Mineralisation von Spongiosa und Kompakta des Knochens charakterisiert (Lentze et al., 2007). Osteomyelitis bezeichnet eine Infektion des Knochens hervorgerufen durch Bakterien, Pilze oder andere Mikroorganismen (Lentze et al., 2007). Sowohl eine gestörte Knochenmineralisation als auch eine Infektion des Knochens können eine Knocheninstabilität zu Folge haben und Frakturen begünstigen.

Osteogenesis Imperfecta (OI) ist eine genetische Erkrankung, die sich auf Grund eines systemischen Defektes des Bindegewebes vor allem durch vermehrte Knochenbrüchigkeit und Knochendeformation auszeichnet (Ablin et al., 1990; DOIG, 2011; Lentze et al., 2007). Weitere Symptome können bläuliche Skleren, eine Dentinogenesis imperfecta, ein Hörverlust im Erwachsenenalter, hyperelastische Gelenke, muskuläre Hypotonie, eine zunehmende Skoliose und Kleinwuchs sein (Ablin et al., 1990; DOIG, 2011; Lentze et al., 2007; Paterson, 1990; Steiner et al., 1996; Taitz, 1987). Die Inzidenz beträgt in westlichen Ländern 1: 20.000 (Paterson, 1990; Taitz, 1987). Durch die vermehrte Frakturanfälligkeit sind radiologisch meist Frakturen verschiedener Heilungsstufen sichtbar, was besonders bei milden Varianten und dem Fehlen weiterer Symptome, wie z.B. bläuliche Skleren, Familienanamnese etc., den Verdacht auf Kindesmisshandlung aufkommen lässt (Ablin et al., 1990; Gahagan und Rimsza, 1991; Kocher und Kasser, 2000; Paterson, 1990; Smith, 1995; Steiner et al., 1996; Taitz, 1987). Wenn die Diagnose klinisch unklar ist, muss eine weitere Diagnostik in Form von Kollagensynthese - und Kollagenstrukturanalysen aus dermalen Fibroblastenkulturen und molekulargenetischer Untersuchung erfolgen (Gahagan und Rimsza, 1991; Lentze et al., 2007; Smith, 1995; Steiner et al., 1996). Nur ein bewiesener Fall von OI sollte als Erklärung für multiple Frakturen unterschiedlichen Alters ohne weitere Symptome anerkannt werden. In der untersuchten Kohorte gab es keinen Fall von OI.

Rachitis bezeichnet eine gestörte Mineralisation und Desorganisation des wachsenden Knochens (der Wachstumsfuge). Meist beruht Rachitis auf einer verminderten Kalzium - und Phosphateinlagerung in den Knochen, was klinisch unter anderem durch Knochendeformierung und pathologische Frakturen, besonders an den Rippen, imponieren kann (Lentze et al., 2007). Eine in westlichen Ländern häufige Form ist die durch einen Vitamin D Mangel verursachte kalzipenische Rachitis (Lentze et al., 2007). Die Erkrankung tritt gehäuft zwischen dem zweiten Lebensmonat und dem zweiten Lebensjahr auf. Die Diagnostik erfolgt durch bildgebende Verfahren (Röntgen) und Labordiagnostik (unter anderem Vitamin D, Calcium und Phosphat im Serum) (Keller und Barnes, 2008; Lentze et al., 2007; Paterson, 2009). In dieser Studie wurde in keinem Fall ein in der Krankenakte festgehaltener Verdacht auf Rachitis gefunden. Die typischen Laborwerte wurden nicht ausgewertet. Die radiologischen Ske-

lettveränderungen, wie z.B. Osteoporose, der rachitische Rosenkranz, die Harrisonfurche oder der Pectus Carinatum waren in keiner Röntgen - Thorax - Aufnahme festzustellen.

Weitere seltenere Erkrankungen, die differentialdiagnostisch erwähnt werden müssen sind Skorbut, Hypervitaminose A, neonatale primäre Hyperparathyreodismus, Kupfermangel, Menkes - Syndrom, Morbus Gaucher, infantile kortikale Hyperostose, akute myeloische Leukämie, myelodysplastischen Syndrome, Skeletttuberkulose und Bleiintoxikation (Lentze et al., 2007). In dieser Studie wurden anamnestisch und radiologisch keine Zeichen der aufgelisteten Erkrankung gefunden.

Temporary Brittle Bone Disease ist eine erstmals 1990 von Paterson beschriebene und später von Miller und Hangartner (1999) aufgegriffene in der Literatur umstrittene Erkrankung, die sich durch multiple pathologische Frakturen meist ohne weitere organische Symptome bei Neugeborenen und Säuglingen besonders in den ersten sechs Lebensmonaten auszeichnet (Miller und Hangartner, 1999; Miller, 2003; Miller, 2009; Paterson, 2009). Die pathologischen Frakturen sollen auf einer transienten Osteopenie beruhen, die durch fetale Bewegungsarmut verursacht sei (Miller und Hangartner, 1999; Miller, 2003; Miller, 2009; Paterson, 2009). Sowohl labordiagnostisch als auch radiologisch ist bei diesem Krankheitsbild kein Hinweis auf eine abnorme Knochensubstanz feststellbar (Miller und Hangartner, 1999; Miller, 2003; Miller, 2009; Paterson, 2009). Es wird davon ausgegangen, dass erst ein Verlust von 30 % - 40 % der Knochendichte radiologisch durch eine abnorme Knochensubstanz darstellbar ist, wodurch eine pathologische Knochensubstanz ohne radiologisch sichtbare Zeichen bestehen kann (Miller und Hangartner, 1999; Miller, 2003; Miller, 2009). An dieser Theorie ist kritisch an zu merken, dass weder klinische noch experimentelle Studienergebnisse existieren, die die Hypothese unterstützen oder gar beweisen (Ablin und Sane, 1997; Chapman und Hall, 1997; Mendelson, 2005).

Weitere Ursachen für Rippenfrakturen sind schwere akzidentelle Traumata, wie Verkehrsunfälle oder Stürze aus großer Höhe und Drogen oder Medikamenten assoziierte Frakturanfälligkeit (Matshes und Lew, 2010). Auch Skelettvarianten, kortikale Abweichungen, periostale Deformation und durchgeführte Operationen mit Sterno-

tomie, die radiologisch als Frakturen imponieren können, müssen bedacht und ausgeschlossen werden.

Atemphysiotherapie

In der Literatur wurden einige Kinder mit posterioren und lateralen Rippenfrakturen nach Atemphysiotherapie beschrieben (Chamuleau et al., 2002; Chanelière et al., 2006). Alle Kinder weisen multiple Rippenfrakturen zwischen dem zweiten und achten Rippenpaar auf. Die Altersspanne liegt zwischen 2 und 7 Monaten und ein Verdacht auf Kindesmisshandlung wird zu keinem Zeitpunkt dokumentiert (Chamuleau et al., 2002; Chanelière et al., 2006). Chamuleau et al. (2002) ermittelten eine Prävalenz für Rippenfrakturen nach Atemphysiotherapie von hospitalisierten Kindern mit Pneumonie oder Bronchiolitis von 1 / 1000 Fällen. Es scheint ein seltenes aber mögliches Ereignis zu sein, dass Rippenfrakturen während der Atemphysiotherapie durch bestimmte Techniken, die transkutane tracheale Kompression über dem Manubrium sterni beinhaltet, verursacht werden (Chamuleau et al., 2002). In der Kohorte dieser Studie wurde kein Patient vor dem Reanimationsereignis einer Atemphysiotherapie unterzogen, sodass die Atemphysiotherapie als Differentialdiagnose in diesem Kontext keine Bedeutung hat.

5.3 Diagnostik posteriorer Rippenfrakturen

Die Diagnostik von Rippenfrakturen ist schwierig, da Rippenfrakturen bei Kindern meist okkult sind (Belfer et al., 2001; Cadzow und Armstrong, 2000; Carty und Pierce, 2002; Hobbs, 1989; Merten et al., 1983). Merten et al. (1983) zeigten, dass in einer Kohorte von über 500 Kindern Rippenfrakturen in 80 % der Fälle ohne äußere Anzeichen, wie Hämatome oder ähnliches auftraten. So werden Rippenfrakturen häufig zufällig diagnostiziert (Belfer et al., 2001; Merten et al., 1983; Offiah et al., 2009). Eine Erklärung für das Fehlen der Klinik ist das dickere Periost des Kindes, welches bei der Fraktur unverletzt bleibt (Sorantin, 2002). Carty und Pierce (2002) untersuchten in ihrer retrospektiven Studie aus Großbritannien den Erfolg der Diagnostik von nicht akzidentellen Verletzungen und kamen zu dem Ergebnis, dass 11 % der misshandelten Fälle (51 von 467 Kindern) nicht als solche erkannt und

nach Hause entlassen wurden. Von diesen 51 Kindern starben 12 % im weiteren Verlauf und 20 % überlebten mit Behinderung (Carty und Pierce, 2002). Diese Ergebnisse unterstreichen die Dringlichkeit einer adäquaten Diagnostik von nicht akzidentellen Traumata. Dazu gehört auch ein Umgang mit der Problematik der Differenzierung einer nicht akzidentell verursachten Rippenfraktur und einer durch Reanimation verursachten Rippenfraktur.

Röntgenskelettscreening

Mittel der Wahl zum Detektieren von Rippenfrakturen ist nach den deutschen Leitlinien eine a. - p. Rö – Th - Aufnahme (AWMF, 2011; Herrmann, 2002; Herrmann et al., 2008). Die Sensitivität beträgt jedoch nur 47 % - 59 % (Cattaneo et al., 2006; Klotzbach et al., 2003). Cattaneo et. al. (2006) untersuchten in ihrer Studie vier Ferkel, die von ihren Müttern erdrückt wurden, per Röntgenskelettscreening, CT und Autopsie. Zur Kontrolle wurden histologische Untersuchungen der einzelnen Knochen durchgeführt und die gefundene Anzahl der Frakturen wurde in Relation zu den drei verschiedenen Diagnostikmethoden gesetzt (Cattaneo et al., 2006). Mit der CT wurden 34 % der Rippenfrakturen detektiert womit sie die niedrigste Sensitivität im Vergleich zu Röntgenskelettscreening (47 %) und klassischer Autopsie, durch die 65 % der später histologisch sichergestellten Rippenfrakturen detektiert wurden, aufwies (Cattaneo et al., 2006). Klotzbach et.al. (2003) untersuchten post mortem drei misshandelte Säuglinge. 16 von 27 Rippenfrakturen (59 %) wurden durch das Röntgenskelettscreening diagnostiziert. In Großbritannien und den Vereinigten Staaten von Amerika werden bei Kindern unter 2 Jahren mit Verdacht auf Misshandlung vier Aufnahmeebenen des Thorax empfohlen. Es werden zusätzlich zu der a. - p. Aufnahme eine laterale Röntgenaufnahme und in Großbritannien routinemäßig, in den USA bei positivem Befund beidseitige Aufnahmen in einer schrägen 45 ° - Ebene (von links und rechts) zum Detektieren von Rippenfrakturen durchgeführt (AAP, 2009; Hansen et al., 2008; Kemp et al., 2006). Mit den lateralen und schrägen Ebenen werden Frakturen sichtbar, deren Frakturspalt parallel zu den Röntgenstrahlen der a. - p. Aufnahme stehen oder durch den Wirbelfortsatz verdeckt sind und so mit einer Ebene nicht oder nur schlecht darstellbar sind. Die Sensitivität für die Entdeckung einer Rippenfraktur steigt laut Ingram et al. (2000) mit den zusätzlichen Aufnahmeebenen um

17 %, die Spezifität um 7 %. In Deutschland, wo Strahlenschutz einen hohen Stellenwert hat, gehören laterale und schräge Röntgenaufnahmen nur bei begründetem Verdacht auf Misshandlung zu den Standards (AWMF, 2011; Herrmann, 2002; Herrmann et al., 2008). Babygramme sind auf Grund von Verzerrungsartefakten und Unschärfe obsolet (AAP, 2009; AWMF, 2011; Herrmann, 2002; Herrmann et al., 2008; Merten und Carpenter, 1990). In dieser Studie lagen auf Grund des Studiendesigns (kein Verdacht auf Misshandlung) nur a. - p. Rö - Th - Aufnahmen vor. Bei der beschriebenen Sensitivität der Diagnostikmethode ist ohne eine vorhandene wiederholte Aufnahme die maximale Fehleinschätzung von 53 % nicht auszuschließen und wird diskutiert werden.

Wiederholung der Röntgenaufnahmen

Eine Wiederholung der Röntgenaufnahmen nach 10 - 14 Tagen wird bei Verdacht auf eine Fraktur auf Grund der Anamnese (z.B. bei V.a. Kindesmisshandlung) und bei nicht eindeutigen Erstaufnahmen durchgeführt. Der Frakturspalt besonders von Rippenfrakturen ist oft sehr fein oder überlagert und so nur schwer erkennbar. Auf Grund der sekundären Frakturheilung entsteht nach 10 - 14 Tagen ein Frakturkallus, der gut durch Röntgenaufnahmen darstellbar ist (siehe Abb. 5, S. 12) (Delling, 2008; Drubach et al., 2010; Hobbs, 1989; Kleinman et al., 1996 b; Kleinman, 2005; Lonergan et al., 2003; Nimkin und Kleinman, 1997; Zimmerman et al., 2005). In einer Studie von Kleinman et al. (1996 b) wurden durch wiederholte Aufnahmen die Zahl der detektierten Frakturen von 70 auf 89 (27 %) erhöht. Bei 8 der 19 zusätzlich detektierten Frakturen (42 %) handelte es sich um Rippenfrakturen (Kleinman et al., 1996 b). Harlan et al. (2009) zeigen, dass die Zahl der initial detektierten Rippenfrakturen durch wiederholte Aufnahmen von 111 auf 151, also um 36 % gesteigert wird. Zimmerman et al. (2005) beschreiben die Ergebnisse der wiederholten Aufnahmen von 48 Kindern, die unter dem Verdacht von Misshandlung standen. Bei 11 Kindern wurden insgesamt 27 neue Frakturen, hauptsächlich Rippenfrakturen (66 %), gefunden. Anilkumar et al. (2006) beschreiben in ihrer Studie zum Nutzen von wiederholten Röntgenaufnahmen zwei Kinder, bei denen erst in den Folgeaufnahmen Rippenfrakturen detektiert wurden. Eine Wiederholung der Röntgenaufnahme nach 10 - 14 Tagen ist sehr sinnvoll und erhöht die Sensitivität des Detektieren von Frakturen um

23 % - 36 % (Anilkumar et al., 2006; Harlan et al., 2009; Kleinman et al., 1996 b; Zimmerman et al., 2005). O' Connor und Cohen (1998) trugen radiologische Merkmale zusammen, die zur Altersbestimmung von Frakturen genutzt werden können. Nach 10 - 14 Tagen ist im Mittel eine periostale Reaktion und frühestens ein Frakturkallus sichtbar (O' Connor und Cohen, 1998). Es sollte allerdings berücksichtigt werden, dass Frakturen bei Neugeborenen und Säuglingen schneller heilen, als bei älteren Kindern oder Erwachsenen (Nimkin und Kleinman, 1997). In dieser Studie liegen bei fast der Hälfte der Patienten (39 von 80 Fällen) Folgeaufnahmen nach 10 - 14 Tagen vor. Dies erhöht die Diagnosesicherheit von Rippenfrakturen in diesen Fällen erheblich.

Digitale Röntgenverarbeitung

Die Vorteile digitaler Röntgendiagnostik sind seit einigen Jahren bekannt. Neben ergonomischen und ökonomischen Vorteilen weisen einige Studien darauf hin, dass die optimale Nachbearbeitung der Bilder die Darstellung und Differenzierung der Strukturen verbessert (Frija et al., 1998). Auf der anderen Seite zeigen Offiah et al. (2006), dass die Nachbearbeitung in keiner Weise die Qualität der Diagnostik von Rippenfrakturen beeinflusst. Auch in anderen Studien wird gezeigt, dass die Qualität digitaler und konventioneller Röntgenaufnahmen vergleichbar ist (Garmer et al., 2000; Kleinman et al., 2002; Ludwig et al., 2003; AAP, 2009). Youmans et al. (1998) schließen aus ihren Studienergebnissen sogar, dass die digitale Röntgendiagnostik in Bezug auf Rippenfrakturen der konventionellen unterlegen ist.

In dieser Studie liegen bei 25 % der Patienten (20 Kinder) digitale Röntgenaufnahmen vor. Auch hier konnten keine signifikanten Unterschiede in der Beurteilbarkeit der Röntgenaufnahmen nachgewiesen werden (siehe S. 36 - 38). 70 % der Patienten mit digitalen Röntgenaufnahmen weisen jedoch eine gute Beurteilbarkeit der Röntgenaufnahmen auf, im Gegensatz zu nur 45 % der Patienten mit konventionell aufgenommenen Röntgenaufnahmen. Bei 11,7 % der Patienten mit konventionell aufgenommenen Röntgenaufnahmen sind die Aufnahmen eingeschränkt beurteilbar im Gegensatz zu keinem Patienten mit digitalen Röntgenaufnahmen. Unter Berücksichtigung dieser Ergebnisse kann spekuliert werden, dass bei einer höheren Fallzahl ein signifikanter Unterschied zu Gunsten der digitalen Aufnahmetechnik erkennbar wäre.

Computertomographie

Die Computertomographie ist sensitives Verfahren um Rippenfrakturen zu diagnostizieren (Wootton – Gorges, 2008). Eine Studie, in der 12 CT-Aufnahmen mit a. - p. Röntgenaufnahmen verglichen wurden, zeigt, dass die CT in Bezug auf die Sensitivität des Detektieren von posterioren Rippenfrakturen dem Röntgen überlegen ist (Wootton – Gorges, 2008). Bei akuten und spät subakuten Rippenfrakturen (der Zeitpunkt der stärksten Kallusbildung) konnte jedoch kein signifikanter Unterschied bezüglich der Sensitivität nachgewiesen werden. Die Studienergebnisse von Cattaneo et al. (2006) zeigen sogar eine Überlegenheit des konventionellen Röntgenscreenings bezüglich des Detektieren von akuten Rippenfrakturen. So ist die Computertomographie auf Grund der hohen Strahlenbelastung nur in Einzelfällen als weiterführende Diagnostik anwendbar, z.B. bei starkem Verdacht auf Misshandlung und negativer Röntgenaufnahme. Die Strahlenbelastung eines CT-Thorax ist etwa 80 mal höher als bei einer a. - p. Röntgen - Thorax - Aufnahme (CT – Thorax: 5,8 - 8 mSv, Röntgen -Thorax - Aufnahme: 0,02 - 0,1 mSv) (Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 2006; Shrimpton et al., 2005).

Magnetresonanztomographie

Die Magnetresonanztomographie (MRT) zeichnet sich durch eine nicht vorhandene Strahlenbelastung aus. Sie ist jedoch dem Röntgen bezüglich der Diagnostik von Rippenfrakturen unterlegen (Perez-Rossello et al., 2010). In einer Studie von Perez - Rosello et. al. (2010) wurde die Sensitivität der MRT untersucht mit dem Ergebnis, dass in 7 von 21 Fällen Rippenfrakturen durch den alleinigen Einsatz der MRT falsch negativ diagnostiziert worden wären. So hat die MRT in der Diagnostik von Rippenfrakturen keine Bedeutung.

Skelettszintigraphie

Die Skelettszintigraphie ist eine weitere radiologische Methode um Rippenfrakturen zu detektieren. Die Skelettszintigrafie bietet Vorteile für die Erkennung von okkulten, subtilen oder nicht dislozierten Rippenfrakturen, die unter Umständen erst nach der wiederholten Röntgenaufnahme (nach 10 - 14 Tagen) erkennbar sind, und wird deshalb als zusätzliche Standardmaßnahme zur Diagnostik von Misshandlung diskutiert

(Conway et al., 1993; Frye et al., 1984; Herrmann et al., 2008; Mandelstam et al., 2003; Offiah et al., 2009; Sty und Starshak, 1983). Sie ist auf Grund der hohen Strahlenbelastung, der verminderten Sensitivität bezüglich Schädel und Wirbelkörperfrakturen und der fehlenden Möglichkeit des Datierens der Frakturen nicht als alleinige Diagnostik geeignet (Frye et al., 1984; Herrmann, 2002; Kemp et al., 2008; Merten und Carpenter, 1990). Conway et al. (1993) merken an, dass die Szintigraphie zwar eine sehr sensitive Methode ist, jedoch eine niedrige Spezifität hat, sodass schon leichte Verletzungen des Gewebes als mögliche Frakturen imponieren. Die Skelettszintigraphie kann bei selektierten Fragestellungen, (z.B. ob Misshandlung vorliegt), angebracht sein, wenn das Röntgenskelettscreening nicht eindeutig ist und eine Akutsituation vorliegt (AAP, 2009; Conway et al., 1993; Mandelstam et al., 2003; Sty und Starshak, 1983). Wenn das Kind jedoch sicher untergebracht werden kann, ist eine wiederholte Röntgenaufnahme nach 10 - 14 Tagen vorzuziehen (AAP, 2009). Die Skelettszintigraphie ist bei Kleinkindern meist nur in Sedierung durchführbar, was ein weiterer Grund für eine enge Indikationsbreite ist (AAP, 2009).

Positronenemissionstomographie

Positronenemissionstomographie (PET) ist eine nuklearmedizinische Diagnostikmethode, bei der Stoffwechselforgänge per radioaktiven Markern im Körper dargestellt werden können. ^{18}F -Natrium Fluorid ist ein Positronen emittierender Knochenmarker, der sich in Zonen mit erhöhter Osteoblastenaktivität anhäuft (Drubach et al., 2010). Drubach et al. (2010) werteten retrospektiv 22 Patienten mit Verdacht auf Misshandlung aus den Jahren 2007 – 2009 aus, bei denen ein Skeletal survey und eine ^{18}F -NaF PET durchgeführt wurden. Bei 14 Patienten (64 %) wurden Follow Up Aufnahmen vorgenommen (Drubach et al., 2010). Es wurden 200 Frakturen mittels PET und 156 Frakturen mittels Skeletal survey detektiert (Drubach et al., 2010). Die Sensitivität der PET bezüglich des Detektierens von posterioren Rippenfrakturen beträgt 93 % und ist somit verglichen zum Skeletal survey um 27 % sensitiver (Drubach et al., 2010). Die PET ist eine sehr sensitive Diagnostikmethode bezüglich posteriorer Rippenfrakturen und in der Fragestellung nach Kindesmisshandlung eine interessante Alternative zu den anderen beschriebenen Methoden (Drubach et al., 2010). Zu bedenken sind die eingeschränkte Verfügbarkeit dieser Methode, die Kosten, die

Strahlenbelastung und die Vorbereitung des Kindes (Sedierung) (Drubach et al., 2010). Es sollten weitere Untersuchungen vorgenommen werden, um den Stellenwert dieser Diagnostikmethode im Screening – Verfahren von Misshandlung zu klären.

5.4 Limitationen der Studie

Diese Studie hat mehrere Limitationen, die vor allem in dem retrospektiven Studiendesign, der eingeschränkten Sensitivität der radiologischen Diagnostik und der geringen Kohortenstärke bestehen und aufgezeigt werden müssen.

Durch die retrospektive Sichtung der Krankenakten können einige Informationen nicht auffindig gemacht werden. Die Reanimationsdauer ist nur in 51,8 % der Patienten (44 Kinder) angegeben und in 34,1 % der Patienten (29 Kinder) beträgt sie unter 5 Minuten. Die Dauer der Reanimation könnte, wie im Verlauf diskutiert, ein Faktor für das Auftreten von reanimationsbedingten Verletzungen sein. Allerdings weisen Studienergebnisse von Reyes et al. keinen Zusammenhang zwischen Reanimationszeit und Auftreten von Frakturen nach (Reyes et al., 2011).

Auf Grund des Studiendesigns sind die Röntgenaufnahmen zum Detektieren von Rippenfrakturen nicht optimal, da nach der Reanimation primär Aufnahmen entstanden, die sich nach einer anderen Fragestellung als der Frage nach Rippenfrakturen richteten, wie zum Beispiel die richtige Lage eines zentralen Venenkatheters. Dies ist eine Einschränkung, die die Sensitivität der Röntgenaufnahmen verschlechtern könnte.

Die Sensitivität der Röntgendiagnostik bezüglich akuter Rippenfrakturen liegt zwischen 47 % - 59 % (Cattaneo et al., 2006; Klotzbach et al., 2003). Die Sensitivität wird durch eine vorhandene Wiederholungsaufnahme um 23 % - 36 % erhöht (Harlan et al., 2009; Kleinman et al., 1996; Zimmerman et al., 2005). In dieser Studie liegen nur in etwa der Hälfte der Fälle (39 Patienten) wiederholte Röntgenaufnahmen vor. Diese Tatsache schränkt die Sensitivität der Röntgendiagnostik ein und es muss damit gerechnet werden, dass eventuell die Hälfte der theoretisch detektierten Rippenfrakturen bei Patienten ohne wiederholte Aufnahme übersehen wurden (maximale Fehleinschätzung: 53 %).

546 Röntgenaufnahmen wurden von zwei unabhängigen Gutachtern hinsichtlich Zeichen von Rippenfrakturen ausgewertet. Die Übereinstimmung der Gutachter wurde mit dem Kappa Koeffizienten bestimmt und war hoch ($\kappa = 0,78$) (Altman, 1999). Auf drei Röntgenaufnahmen von drei verschiedenen Patienten (Patienten 14, 15 und 49) wurden auffällige Befunde detektiert, die jedoch nicht eindeutig genug waren um einen Verdacht auf Rippenfrakturen zu stellen. Bei keinem der drei Patienten lag eine Wiederholungsaufnahme vor. Diese drei Aufnahmen wurden einem dritten unabhängigen Gutachter gezeigt. Er konnte in zwei Fällen Frakturen nicht ausschließen (Patient 15 und 49). Insgesamt konnte von drei unabhängigen Gutachtern in keinem Fall eine Fraktur oder ein Verdacht auf Frakturen festgestellt werden. Da die Rate an posterioren Rippenfrakturen 0 % beträgt ist es nicht möglich die maximale Fehleinschätzung von 53 % statistisch einzurechnen.

Kohortenstärke und Power

Es wurden 80 Patienten in diese Studie eingeschlossen. Die höchste Rate von reanimationsassoziierten Rippenfrakturen in der Literatur beträgt 0,02 (Weber et al., 2009). Die maximale Fehleinschätzung der gewählten Untersuchungsmethode beträgt 0,05 (Cattaneo et al., 2006; Klotzbach et al., 2003). Um einen signifikanten Unterschied zur Nullhypothese zu finden, müsste bei der untersuchten Fallzahl und einer Power von 0,8 die Rate der reanimationsbedingten Rippenfrakturen mindestens 0,139 betragen.

In dieser Studie wurden die Röntgenaufnahmen von 80 Neugeborenen und Säuglingen untersucht und es wurden keine posterioren Rippenfrakturen detektiert. Die Ergebnisse dieser Studie (Rate an 2 Daumen - Reanimationstechnik assoziierten Rippenfrakturen: 0 %) liegen im Bereich der Literaturangaben (Rate an 2 Finger - Reanimationstechnik assoziierten Rippenfrakturen: 0 % - 2 %). Es stellt sich nicht die Frage, ob der gefundene Unterschied signifikant ist, da kein Unterschied gefunden wurde. Auch mit dem Bewusstsein, dass bei dieser Kohortenstärke erst ab einer Frakturrate von 13,9 % ein signifikanter Unterschied erkennbar ist, ist dieses Studienergebnis eindeutig und es ist nicht möglich die Nullhypothese (Reanimation von Neugeborenen und Säuglingen verursacht keine posterioren Rippenfrakturen) zu verwerfen.

6. Zusammenfassung

Sowohl in der Diagnostik des SBS als auch in der juristischen Nachverfolgung von nicht akzidentellen Traumata haben posteriore Rippenfrakturen eine außerordentliche Wertigkeit. Der Ausschluss des Auftretens posteriorer Rippenfrakturen nach CPR erhöht die Diagnosesicherheit eines SBS bzw. eines nicht akzidentellen Traumas erheblich.

Es existieren seit 2000 zwei unterschiedliche vom ERC empfohlene Reanimationstechniken, die traditionelle 2 Finger - Technik und die bevorzugte 2 Daumen – Technik. Es gibt mehrere Studienergebnisse, die darauf schließen lassen, dass durch die 2 Finger - Technik nur in Einzelfällen Rippenfrakturen verursacht werden. Nach der Einführung der 2 Daumen - Reanimationstechnik ist zu klären, ob durch die Anwendung dieser Technik immer noch gewährleistet werden kann, dass keine reanimationsassoziierten posterioren Rippenfrakturen auftreten.

In dieser Studie wurden insgesamt 546 Röntgenaufnahmen von 80 Neugeborenen und Säuglingen aus drei Kliniken aus den Jahren 2001 - 2010 von zwei unabhängigen Gutachtern retrospektiv auf Hinweise nach Rippenfrakturen nach stattgehabter Reanimation untersucht. Das Alter der Patienten lag zwischen 0 Tagen - 11 Monaten. Ein Drittel der Patienten ist weiblich (27 Kinder; 33,8%), zwei Drittel sind männlich (53 Kinder; 66,2%). 38,8 % der Patienten (31 Kinder) sind reife Neugeborene, 61,2 % der Patienten (49 Kinder) sind Frühgeborene. 63,8 % der Patienten (51 Kinder) wurden direkt nach der Geburt reanimiert. Alle Patienten wurden in den Kliniken von Neonatologen und pädiatrischen Intensivmedizinern reanimiert. Die Reanimationszeit beträgt im Mittel 11 Minuten. Pro Patient sind durchschnittlich 7 a.- p. Rö - Th - Aufnahmen vorhanden. Wiederholte Aufnahmen sind bei 48,8 % der Patienten (39 Kinder) vorhanden.

Jede Röntgenaufnahme wurde von beiden Gutachtern unabhängig voneinander auf das Vorhandensein von Hinweisen auf Rippenfrakturen geprüft und nach der Bildqualität beurteilt. 203 Röntgenaufnahmen wurden in die statistische Auswertung aufgenommen. 69,3 % der Röntgenaufnahmen (140 von 203) wurden für gut beurteilbar befunden. 22,8 % der Röntgenaufnahmen (43 von 203) wurden als eingeschränkt

beurteilbar eingestuft. In 86,3 % der Fälle (69 von 80 Patienten) wurden eindeutig keine Hinweise auf Rippenfrakturen festgestellt. Bei 52,2 % der Patienten (36 von 69 Kindern) liegt eine Wiederholungsaufnahme zur Bestätigung des Befundes vor. Bei 14,4 % der Patienten (11,5 Kinder) konnten Rippenfrakturen auf Grund der Bildqualität nicht ausgeschlossen werden. Der Übereinstimmungsgrad der Gutachter ist insgesamt hoch (Kappa = 0,78).

Unter Berücksichtigung der eingeschränkten Sensitivität der Röntgendiagnostik und dem Fehlen von Wiederholungsaufnahmen bei der Hälfte der Patienten (41 von 80), lässt sich eine maximale Fehleinschätzung von 53 % ermitteln. Da keine gesicherten Frakturen oder Verdachtsfälle gefunden wurden, ist es nicht möglich die Fehleinschätzung statistisch einzurechnen. Die in der Literatur beschriebene Rate von 2 Finger - Technik assoziierten Rippenfrakturen liegt zwischen 0 % - 2 % (Feldman und Brewer, 1984; Reyes et al., 2011; Spevak et al., 1994; Weber et al., 2009). Die Studienergebnisse zeigen keinen signifikanten Unterschied zu den Literaturdaten (Rate an 2 Daumen - Technik assoziierten Rippenfrakturen: 0 %). Posteriore Rippenfrakturen werden wenn, nur sporadisch durch die 2 Daumen - Reanimationstechnik verursacht.

Posteriore Rippenfrakturen sind hochspezifisch für nicht akzidentelle Traumata und bei ihrem Auftreten muss Kindesmisshandlung ausgeschlossen werden (Barsness et al., 2003; Bulloch et al., 2000; Day et al., 2006; Herrmann et al., 2008; Kleinman et al., 1997; Kleinman, 2005; Mulpuri, 2010; Offiah et al., 2009). Im Fall von ungeklärten Rippenfrakturen nach Reanimation ist ein panischer Reanimationsversuch von Laien als Erklärung äußerst kritisch zu werten. Reanimationsassoziierte Rippenfrakturen sind nur als Ausschlussdiagnose zuzulassen.

7. Literaturverzeichnis

- Ablin DS, Greenspan A, Reinhart M, Grix A. Differentiation of Child Abuse from Osteogenesis Imperfecta. *AJR* 1990; 154: 1035-1046
- Ablin DS, Sane SM. Non-accidental injury: Confusion with temporary brittle bone disease and mild osteogenesis imperfecta. *Pediatr Radiol* 1997; 27: 111-113
- Agran PF, Anderson C, Winn D, Trent R, Walton-Haynes L, Thayer S. Rates of Pediatric Injuries by 3-Month Intervals for Children 0 to 3 Years of Age. *Pediatrics* 2003; 111: 683-692
- Altman DG. *Practical Statistics for Medical Research*. London: Chapman & Hall/CRC, 1999: 404-408, 523-524
- American Academy of Pediatrics (AAP). Section on Radiology. Diagnostic Imaging of Child Abuse. *Pediatrics* 2009; 123: 1430-1435
- American Heart Association in collaboration with the International Liaison Committee on Resuscitation (AHA). Guidelines 2000 for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. Part 11: neonatal resuscitation. *Circulation* 2000; 102: 343-357
- Amir J, Katz K, Grunebaum M, Yosipovich Z, Wielunsky E, Reisner SH. Fractures in premature infants. *J Pediatr Orthop* 1988; 8: 41-44
- Anilkumar A, Fender LJ, Broderick NJ, Somers JM, Halliday KE. The role of the follow-up chest radiograph in suspected non-accidental injury. *Pediatr Radiol* 2006; 36: 216–218
- Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften e.V. (AWMF), 2011. AWMF-Leitlinien. Pädiatrische Radiologie. Verdacht auf Misshandlung – Bildgebende Diagnostik. http://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/064014I_S1_Verdacht_auf_Misshandlung_Bildgebende_Diagnost..._01.pdf (01.06.2012)
- Barry PW, Hocking MD. Infant rib fracture-birth trauma or non-accidental injury. *Archives of Disease in Childhood* 1993; 68: 250
- Barsness KA, Cha E-S, Bensard DD, Calkins CM, Partrick DA, Karrer FM, Strain JD. The Positive Predictive Value of Rib Fractures as an Indicator of Nonaccidental Trauma in Children. *J Trauma* 2003; 54: 1107–1110

- Belfer RA, Klein BL, Orr L. Use of the Skeletal Survey in the Evaluation of Child Maltreatment. *American Journal of Emergency Medicine* 2001; 19: 122-124
- Betz P, Liebhardt E. Rib fractures in children- resuscitation or child abuse? *Int J Leg Med* 1994; 106: 215-218
- Bhat BV, Kumar A, Oumachigui A. Bone injuries during delivery. *Indian J Pediatr* 1994; 61: 401-405
- Bilo RAC, Robben SGF, van Rijn RR. *Forensic Aspects of Pediatric Fractures: Differentiating Accidental Trauma from Child Abuse*. Berlin – Heidelberg: Springer Verlag, 2010: 49-65,171-193,200
- Bliss D, Silen M. Pediatric thoracic trauma. *Crit Care Med* 2002; 30: 409-415
- Braga MS, Dominguez TE, Pollock AN, Niles D, Meyer A, Myklebust H, Nysaether J, Nadkarni V. Estimation of Optimal CPR Chest Compression Depth in Children by Using Computer Tomography. *Pediatrics* 2009; 124: 69-74
- Bulloch B, Schubert CJ, Brophy PD, Johnson N, Reed MH, Shapiro RA. Cause and Clinical Characteristics of Rib Fractures in Infants. *Pediatrics* 2000; 105: 48-54
- Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Orientierungshilfe für radiologische und nuklearmedizinische Untersuchungen. Empfehlung der Strahlenschutz-kommission. Berlin: H. Hoffmann GmbH – Fachverlag, 2006
- Bush CM, Jones JS, Cohle SD, Johnson H. Pediatric Injuries From Cardiopulmonary Resuscitation. *Ann Emerg Med* 1996; 28: 40-44
- Cadzow SP, Armstrong KL. Rib fractures in infants: red alert! The clinical features, investigations and child protection outcomes. *J Paediatr Child Health* 2000; 36: 322-326
- Caffey J. Multiple fractures in long bones of infants suffering from chronic subdural hematoma. *Radiology* 1946; 194: 163-173
- Caffey J. On the theory and practice of shaking infants. Its potential residual effects of permanent brain damage and mental retardation. *Am J Dis Child* 1972; 124: 161-169
- Carty H, Pierce A. Non-accidental injury: a retrospective analysis of a large cohort. *Eur Radiol* 2002; 12: 2919–2925

- Cattaneo C, Marinelli E, Di Giancamillo A, Di Giancamillo M, Travetti O, Viganò L, Poppa P, Porta D, Gentilomo A, Grandi M. Sensitivity of autopsy and radiological examination in detecting bone fractures in an animal model: Implications for the assessment of fatal child physical abuse. *Forensic Science International* 2006; 164: 131–137
- Chaan SN, Christine MH. Costochondral junction fractures and intra-abdominal trauma in non-accidental injury (child abuse). *Pediatr Radiol* 1998; 28: 671-676
- Chalumeau M, Foix-l'Helias L, Scheinmann P, Zuani P, Gendrel D, Ducou-le-Pointe H. Rib fractures after chest physiotherapy for bronchiolitis or pneumonia in infants. *Pediatr Radiol* 2002; 32: 644–647
- Chanelière C, Moreux N, Pracros JP, Bellon G, Reix P. Rib fractures after chest physiotherapy: a report of 2 cases. *Archives de pédiatrie* 2006; 13: 1410–1412
- Chapman S, Hall CM. Non-accidental injury or brittle bones. *Pediatr Radiol* 1997; 27: 106-110
- Chapman S. Non-accidental injury. *Imaging* 2004; 16: 161–173
- Clouse JR, Lantz PE. Posterior rib fractures in infants associated with cardiopulmonary resuscitation. In: American Academy of Forensic Science, HRSG. Proceedings of the 60th annual meeting. Washington, 2008: 254-255
- Conway JJ, Collins M, Tanz RR, Radkowski MA, Anandappa E, Hernandez R, Freeman EL. The role of bone scintigraphy in detecting child abuse. *Semin Nucl Med* 1993; 23: 321-333
- Cumming WA. Neonatal skeletal fractures. Birth trauma or child abuse? *J Can Assoc Radiol* 1979; 30: 30-33
- Dabezies EJ, Warren PD. Fractures in very low birth weight infants with rickets. *Clin Orthop Relat Res* 1997; 335: 233-239
- David R. Closed chest cardiac massage in the newborn infant. *Pediatrics*. 1988; 81: 552-554
- Day F, Clegg S, McPhillips M, Mok J. A retrospective case series of skeletal surveys in children with suspected non-accidental injury. *J Clin Forensic Med* 2006; 13: 55–59

- Delling G. Pathohistologische Befunde am Skelettsystem nach Traumatisierung. Erfahrungsbericht anhand von 16 Fällen eigener Beobachtung. Rechtsmedizin 2008; 18: 42–47
- Demarini S, Mimouni FB, Tsang RC. Disorders of calcium, phosphorus, and magnesium metabolism. In: Fanaroff AA, Martin RJ, HRSG. Neonatal-Perinatal Medicine: Diseases of the Fetus and Infant, 6.Auflage. St. Louis: Mosby, 1997: 1463-1471
- Deutsche Gesellschaft für Osteogenesis imperfecta (Glasknochen) Betroffene e. V., 2011: Medizinischer Überblick. http://www.oi-gesellschaft.de/oi_info/medizin_karbowski.php (01.06.2012)
- Deutsche Gesellschaft für Rheumatologie e.V. (DGRh), 2011: Diagnostische Kriterien Osteoporose. http://dgrh.de/qualitaetsmanual3_35.html (01.06.2012)
- Dolinak D. Rib Fractures in Infants Due to Cardiopulmonary Resuscitation Efforts. Am J Forensic Med Pathol 2007; 28: 107–110
- Dorfsman ML. Two-thumbs vs Two-finger Chest Compression in an Infant Model of Prolonged Cardiopulmonary Resuscitation. Academic Emergency Medicine 2000; 7: 1077–1082
- Drubach LA, Johnston PR, Newton AW, Perez-Rossello JM, Grant FD, Kleinman PK. Skeletal Trauma in Child Abuse: Detection with 18 F-NaF PET. Radiology 2010; 255: 173–181
- Durani Y, DePiero AD. Images in emergency medicine. Fracture of left clavicle and left posterior rib due to birth trauma. Ann Emerg Med 2006; 47: 210–215
- European Resuscitation Council. Leitlinien des European Resuscitation Council 2000 für lebensrettende Sofortmaßnahmen bei Kindern, Stellungnahme der Paediatric Life Support Working Group nach Verabschiedung durch das Executive Committee des European Resuscitation Council. Notfall und Rettungsmedizin 2002; 5: 26-31
- Feldman KW, Brewer DK. Child abuse, cardiopulmonary resuscitation and rib fractures. Pediatrics 1984; 73: 339-342
- Frija J, de Kerviler E, de Gery S, Zagdanski AM. Computed radiography. Biomed Pharmacother 1998; 52: 59-63

- Frye TR, Shores RM, Slovis TL, Young LW, Helfer RE. Radiological case of the month. Child abuse. *Am J Dis Child* 1984; 138: 323-324
- Fürniss T. Geschichtlicher Abriss zur Kindesmisshandlung und Kinderschutzarbeit von C.Henry Kempe bis heute. In: Deegener G, Körner W, HRSG. Kindesmisshandlung und Vernachlässigung. Gottingen - Bern - Toronto: Hogrefe Verlag, 2005: 19–33
- Gahagan S, Rimsza ME. Child Abuse or Osteogenesis Imperfecta: How Can We Tell? *Pediatrics* 1991; 88: 987-992
- Garcia VF, Gotschall CS, Eichelberger MR, Bowman LM. Rib fractures in children: a marker of severe trauma. *J Trauma* 1990; 30: 695-700
- Garmer M, Hennigs SP, Jäger HJ, Schrick F, van de Loo T, Jacobs A, Hanusch A, Christmann A, Mathias K. Digital Radiography Versus Conventional Radiography in Chest Imaging: Diagnostic Performance of a Large-Area Silicon Flat-Panel Detector in a Clinical CT-Controlled Study. *AJR* 2000; 174: 75–80
- Geggel RL, Pereira GR, Spackman TJ. Brief clinical and laboratory observations. Fractured ribs: Unusual presentation of rickets in premature infants. *The Journal of Pediatrics* 1978; 93: 680-682
- Greer FR, McCormick A. Bone growth with low bone mineral content in very low birth weight premature infants. *Pediatr Res* 1986; 20: 925-928
- Greer FR. Osteopenia of Prematurity. *Annu Rev Nutr* 1994; 14: 169-185
- Gunther WM, Symes SA, Berryman HE. Characteristics of Child Abuse by Anteroposterior Manual Compression Versus Cardiopulmonary Resuscitation: Case Reports. *The American Journal of Forensic Medicine and Pathology* 2000; 21: 5-10
- Guthkelch AN. Infantile subdural heamatoma and its relationship to whiplash injuries. *BMJ* 1971; 2: 430-431
- Hansen KK, Prince JS, Nixon GW. Oblique chest views as a routine part of skeletal surveys performed for possible physical abuse—Is this practice worthwhile? *Child Abuse Negl* 2008; 32: 155–159
- Harding B, Risdon RA, Krous HF. Shaken baby syndrome. *BMJ* 2004; 328: 720–721

- Harlan SR, Nixon GW, Campbell KA, Hansen K, Prince JS. Follow-up skeletal surveys for nonaccidental trauma: Can a more limited survey be performed? *Pediatr Radiol* 2009; 39: 962–968
- Hartmann RW. Radiological Case of the Month. Rib fractures produced by birth trauma. *Arch Pediatr Adolesc Med* 1997; 151: 947–948
- Helfer RE, Scheurer SL, Alexander R, Reed J, Slovis TL. Trauma to the bones of small infants from passive exercise: a factor in the etiology of child abuse. *J Pediatr* 1984; 104: 47-50
- Herrmann B. Körperliche Misshandlung von Kindern. Somatische Befunde und klinische Diagnostik. *Monatsschr Kinderheilkd* 2002; 150: 1324–1338
- Herrmann B, Dettmeyer R, Banaschak S, Theyen U. Kindesmisshandlung, Medizinische Diagnostik, Intervention und rechtliche Grundlagen, 2. Auflage. Berlin – Heidelberg: Springer – Verlag, 2008: Kapitel 2.3.2, 5.7.2
- Hobbs CJ. Fractures. *BMJ* 1989; 298: 1015-1018
- Hoke RS, Chamberlain D. Skeletal chest injuries secondary to cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation* 2004; 63: 327–338
- Houri PK, Frank LR, Menegazzi JJ, Taylor R. A randomized, controlled trial of two-thumb vs two-finger chest compression in a swine infant model of cardiac arrest [see comment]. *Prehosp Emerg Care* 1997; 1: 65-67
- Ingram JD, Connell J, Hay TC, Strain JD, Mackenzie T. Oblique radiographs of the chest in nonaccidental trauma. *Emergency Radiology* 2000; 7: 42-46
- Jakubowska- Pietkiwicz E, Szczepaniak- Kubat A, Chlebna-Sokol D. Metabolic bone disease in preterm infants: two cases report. *Archives of Perinatal Medicine* 2009; 15: 230-232
- Jaudes PK. Comparison of Radiography and Radionuclide Bone Scanning in the Detection of Child Abuse. *Pediatrics* 1984; 73: 166-168
- Jenny C and for the Committee on Child Abuse and Neglect. Evaluating Infants and Young Children With Multiple Fractures. *Pediatrics* 2006; 118: 1299-1303
- Johnson CB. Neonatal rickets: metabolic bone disease of prematurity. *Neonatal Netw* 1991; 9: 13-17

- Kao PC, Chiang WC, Yang CW, Chen SJ, Liu YP, Lee CC, Hsidh MJ, Ko PCI, Chen SC, Ma MHM. What Is the Correct Depth of Chest Compression for Infants and Children? A Radiological Study. *Pediatrics* 2009; 124: 49-55
- Keller KA, Barnes PD. Rickets vs abuse: A national and international epidemic. *Pediatr Radiol* 2008; 38: 1210–1216
- Kellogg ND and the Committee on Child Abuse and Neglect. Evaluation of Suspected Child Physical Abuse. *Pediatrics* 2007; 119: 1232-1241
- Kemp AM, Butler A, Morris S, Mann M, Kemp KW, Rolfe K, Sibert JR, Maguire S. Which radiological investigations should be performed to identify fractures in suspected child abuse? *Clin Radiol* 2006; 61: 723-736
- Kemp AM, Dunstan F, Harrison S, Morris S, Mann M, Rolfe K, Datta S, Thomas DP, Sibert JR, Maguire S. Patterns of skeletal fractures in child abuse: systematic Review. *BMJ* 2008; 337: 1518-1525
- Kempe CH, Silverman FN, Steele BF, Drogemueller W, Silver HK. The battered – child syndrome. *JAMA* 1962; 181: 17-24
- Kleinman PK, Marks SC, Adams VI, Blackbourne BD. Factors Affecting Visualization of Posterior Rib Fractures in Abused Infants. *AJR* 1988; 150: 635-638
- Kleinman PK, Blackbourne BD, Marks SC, Karellas A, Belanger PL. Radiologic Contributions to the Investigation and Prosecution of Cases of Fatal Infant Abuse. *N Engl J Med* 1989; 320: 507-511
- Kleinman PK. Diagnostic imaging of infant abuse. *Am J Roentgenol* 1990; 155:703-712
- Kleinman PK, Marks SC, Spevak MR, Richmond JM. Fractures of the rib head in a abused infants. *Radiology* 1992; 185: 119-123
- Kleinman PK, Marks SC, Nimkin K, Rayder SM, Kessler SC. Rib fractures in 31 a abused infants: Postmortem radiologic-histopathologic study. *Radiology* 1996 a; 200: 807-810
- Kleinman PK, Nimkin K, Spevak MR, Rayder SM, Madansky DL, Shelton YA, Patterson MM. Follow-Up Skeletal Surveys in Suspected Child Abuse. *AJR* 1996 b; 167: 893-896

- Kleinman PK, Schlesinger AE. Mechanical factors associated with posterior rib fractures: laboratory and case studies. *Pediatr Radiol* 1997; 27: 87–91
- Kleinman PK, O'Connor B, Nimkin K, Rayder SM, Spevak MR, Belanger PL, Getty DJ, Karellas A. Detection of rib fractures in an abused infant using digital radiography: a laboratory study. *Pediatr Radiol* 2002; 32: 896–901
- Kleinman PK. *The Spectrum of Non-accidental Injury and Its Imitators in Children*. Department of Radiology, Children's Hospital, Boston, MA, USA. IDKD 2005: 169-174
- Klotzbach H, Dellling G, Richter E, Sperhake JP, Püschel K. Post-mortem diagnosis and age estimation of infants' fractures. *Int J Legal Med* 2003; 117: 82–89
- Kocher MS, Kasser JR. Orthopaedic aspects of child abuse. *J Am Acad Orthop Surg* 2000; 8: 10-20
- Koo WW, Sherman R, Succop P, Krug-Wispe S, Tsang RC, Steichen JJ, Crawford AH, Oestreich AE. Fractures and rickets in very low birth weight infants: conservative management and outcome. *J Pediatr Orthop* 1989; 9: 326-330
- Kouwenhoven WB, Jude JR, Knickerbocker GG. Closed-chest cardiac massage. *JAMA* 1960; 173: 1064–1067
- Lentze MJ, Schaub J, Schulte FJ, Spranger J. *Pädiatrie, Grundlagen und Praxis*, 3.Auflage. Heidelberg: Springer Medizin Verlag, 2007: 176, 229-230, 327-329, 550-554, 559, 783-787, 928, 1295-1302, 1645-1647
- Leventhal JM, Thomas SA, Rosenfield NS, Markowitz RI. Fractures in young children. Distinguishing child abuse from unintentional injuries. *Am J Dis Child* 1993; 147: 87-92
- Leventhal JM, Martin KD, Asnes AG. Incidence of Fractures Attributable to Abuse in Young Hospitalized Children: Results From Analysis of a United States Database. *Pediatrics* 2008; 122: 599-604
- Lonergan GF, Baker AM, Moray MK, Boos SC. From the Archives of the AFIP. Child abuse: Radiologic- Pathologic Correlation. *RadioGraphics* 2003; 23: 811–845
- Ludwig K, Schülke C, Diederich S, Wormanns D, Lenzen H, Bernhardt TM, Brinckmann P, Heindel W. Detection of Subtle Undisplaced Rib Fractures in a Porcine Model: Radiation Dose Requirement - Digital Flat-Panel versus Screen-Film and Storage-Phosphor Systems. *Radiology* 2003; 227: 163–168

- Lucas-Herald A, Butler S, Mactier H, McDevitt H, Young D, Ahmed SF. Prevalence and Characteristics of Rib Fractures in Ex-preterm Infants. *Pediatric* 2012; 130: 1116-1119
- Maguire S, Mann M, John N, Ellaway B, Sibert JR, Kemp AM. Does cardiopulmonary resuscitation cause rib fractures in children? A systematic review. *Child Abuse & Neglect* 2006; 30: 739–751
- Mandelstam SA, Cook D, Fitzgerald M, Ditchfield MR. Complementary use of radiological skeletal survey and bone scintigraphy in detection of bony injuries in suspected child abuse. *Arch Dis Child* 2003; 88: 387–390
- Martin PS, Jones MD, Maguire SA. Letter to the editor: Increased incidence of CPR-related rib fractures in infants – is it related to changes in CPR technique? *Resuscitation* 2012; 83: 109
- Matshes EW, Lew EO. Do Resuscitation-Related Injuries Kill Infants and Children? *American Journal of Forensic Medicine & Pathology* 2010 a; 31: 178-185
- Matshes EW, Lew EO. Two-Handed Cardiopulmonary Resuscitation Can Cause Rib Fractures in Infants. *Am J Forensic Med Pathol* 2010 b; 31: 303-307
- Mendelson KL. Critical review of 'temporary brittle bone disease'. *Pediatr Radiol* 2005; 35: 1036–1040
- Menegazzi JJ, Auble TE, Nicklas KA, Hosack GM, Rack L, Goode JS. Two-thumb versus two-finger chest compression during CRP in a swine infant model of cardiac arrest. *Ann Emerg Med* 1993; 22: 240-243
- Menegazzi JJ. Infant chest compression depth needs further evaluation Letter to the Editor. *Resuscitation* 2011; 82: 1362
- Merten DF, Radkowski MA, Leonidas JC. The abused child: a radiological reappraisal. *Radiology* 1983; 146: 377-381
- Merten DF, Carpenter BLM. Radiologic Imaging of Inflicted Injury in the Child Abuse Syndrome. *Pediatr Clin North Am* 1990; 37: 815-837
- Meyer A, Nadkarni V, Pollock A, Babbs C, Nishisaki A, Braga M, Berg RA, Ades A. Evaluation of the Neonatal Resuscitation Program's recommended chest compression depth using computerized tomography imaging. *Resuscitation* 2010; 81: 544–548

- Miller M. The death of temporary brittle bone disease is premature. *Acta Pædiatrica* 2009; 98: 1871–1873
- Miller ME, Hangartner TN. Temporary Brittle Bone Disease: Association with Decreased Fetal Movement and Osteopenia. *Calcif Tissue Int* 1999; 64: 137–143
- Miller ME. The Bone Disease of Preterm Birth: A Biomechanical Perspective. *Pediatr Res* 2003; 53: 10–15
- Mulpuri K, Slobogean BL, Tredwell SJ. The Epidemiology of Nonaccidental Trauma in Children. *Clin Orthop Relat Res* 2010; 469: 759-767
- Nakayama DK, Ramenofsky ML, Rowe MI. Chest Injuries in Childhood. *Ann Sur* 1989; 210: 770-775
- Nemec SF, Rimoin DL, Lachman RS. Radiological aspects of prenatal-onset cortical hyperostosis [Caffey Dysplasia]. *Eur J Radiol* 2011; 81: 565-572
- Nimkin K, Kleinman PK. Imaging of child abuse. *Pediatr Clin North Am* 1997; 44: 615-635
- O'Connor JF, Cohen J. Dating fractures. In: Kleinman PK, HRSG. *Diagnostic imaging of child abuse*, 2. Auflage. St. Louis: Mosby, 1998: 168–177
- Offiah AC, Moon L, Hall CM, Todd-Pokropek A. Diagnostic accuracy of fracture detection in suspected non-accidental injury: the effect of edge enhancement and digital display on observer performance. *Clinical Radiology* 2006; 61: 163–173
- Offiah AC, van Rijn RR, Perez-Rossello JM, Kleinman PK. Skeletal imaging of child abuse (non-accidental injury). *Pediatr Radiol* 2009; 39: 461–470
- Pandya NK, Baldwin K, Wolfgruber H, Christian CW, Drummond DS, Hosalkar HS. Child Abuse and Orthopaedic Injury Patterns: Analysis at a Level I Pediatric Trauma Center. *J Pediatr Orthop* 2009; 29: 618–625
- Paterson CR. Osteogenesis imperfecta and other bone disorders in the differential diagnosis of unexplained fractures. *Journal of the Royal Society of Medicine* 1990; 83: 72-74
- Paterson CR. Temporary brittle bone disease: fractures in medical care. *Acta Pædiatrica* 2009; 98: 1935–1938

- Paterson CR. Vitamin D deficiency rickets and allegations of non-accidental injury. *Acta Pædiatrica* 2009; 98: 2008–2012
- Perez-Rossello JM, Connolly SA, Newton AW, Zou KH, Kleinman PK. Whole-Body MRI in Suspected Infant Abuse. *AJR* 2010; 195: 744–750
- Plunkett J. Resuscitation Injuries Complicating the Interpretation of Premortem Trauma and Natural Disease in Children. *J Forensic Sci* 2006; 51: 127-130
- Reyes JA, Somers GR, Taylor GP, Chiasson DA. Increased incidence of CPR-related rib fractures in infants – is it related to changes in CPR technique? *Resuscitation* 2011; 82: 545–548
- Reyes JA, Somers GR, Taylor GP, Chiasson DA. Response to Letter: Increased incidence of CPR-related rib fractures in infants – Is it related to changes in CPR technique? *Resuscitation* 2011; 83: 111
- Rizzolo PJ, Coleman PR. Neonatal rib fracture: Birth trauma or child abuse? *J Fam Pract* 1989; 29: 561-563
- Rubin A. Birth Injuries: Incidence, Mechanism, End Results. *Obstetrics and Gynecology* 1964; 23: 218-221
- van Rijn RR, Bilo RA, Robben SG. Birth-related mid-posterior rib fractures in neonates: a report of three cases (and a possible fourth case) and a review of the literature. *Pediatr Radiol* 2009; 39: 30-34
- Ryan MP, Young SJ, Wells DL. Do resuscitation attempts in children who die, cause injury? *Emerg Med J* 2003; 20: 10–12
- Scherl SA. Orthopaedic injuries in child abuse . *Current Paediatrics* 2006; 16: 199–204
- Schleicher RL, Carroll MD, Ford ES, Lacher DA. Serum vitamin C and the prevalence of vitamin C deficiency in the United States: 2003 – 2004 National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES). *Am J Clin Nutr* 2009; 90: 1252–1263
- Shrimpton PC, Miller HC, Lewis MA, Dunn M. Doses from Computed Tomography (CT) examinations in the UK. *National Radiological Protection Board* 2005; W67
- Skellern CY, Wood DO, Murphy A, Crawford M. Nonaccidental fractures in infants: risk of further abuse. *J Paediatr Child Health*. 2000; 36: 590–592

- Smith, R. Osteogenesis imperfecta, non-accidental injury and temporary brittle bone disease. *Archives of Disease in Childhood* 1995; 72: 169-176
- Smurthwaite D, Wright NB, Russell S, Emmerson AJ, Mughal MZ. How common are rib fractures in extremely low birth weight preterm infants? *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 2009; 94: 138-139
- Sorantin E. Die nicht unfallbedingte Verletzung (battered child). *Radiologe* 2002; 42: 210–216
- Spevak MR, Kleinman PK, Belanger PL, Primack C, Richmond JM. Cardiopulmonary Resuscitation and Rib Fractures in Infants: A Postmortem Radiologic-Pathologic Study. *JAMA* 1994; 272: 617-618
- Steiner RD, Pepin QM, Byers PH. Studies of collagen synthesis and structure in the differentiation of child abuse from osteogenesis imperfecta. *J Pediatr* 1996; 128: 542-547
- Stöver B. Bildgebende Diagnostik der Kindesmisshandlung. *Radiologe* 2007; 47: 1037–1049
- Strouse PJ, Owings CL. Fractures of the first rib in child abuse. *Radiology* 1995; 197: 763-765
- Sty JR, Starshak RJ. The role of bone scintigraphy in the evaluation of the suspected abused child. *Radiology* 1983; 146: 369-375
- Taitz LS. Child abuse and osteogenesis imperfect. *British Medical Journal* 1987; 295: 1082-1083
- Thomas PS. Rib fractures in infancy. *Ann Radiol* 1977; 20: 115-122
- Udassi JP, Udassi S, Theriaque DW, Shuster JJ, Zaritsky AL, Haque IU. Effect of alternative chest compression techniques in infant and child on rescuer performance. *Pediatr Crit Care Med* 2009; 10: 328-333
- Voigt M, Fusch C, Olbertz D, Hartmann K, Rochow N, Renken C, Schneider KTM. Analyse des Neugeborenenkollektivs der Bundesrepublik Deutschland. 12. Mitteilung: Vorstellung engmaschiger Perzentilwerte (-kurven) für die Körpermaße Neugeborener. *Geburtsh Frauenheilk* 2006; 66: 956–970
- Weber MA, Risdon RA, Offiah AC, Malone M, Sebire NJ. Rib fractures identified at post-mortem examination in sudden unexpected deaths in infancy (SUDI). *Forensic Sci Int* 2009; 189: 75-81

- Whitelaw CC, Slywka B, Goldsmith LJ. Comparison of a two-finger versus two-thumb method for chest compressions by healthcare providers in an infant mechanical Model. *Resuscitation* 2000; 43: 213–216
- Wootton-Gorges SL, Stein-Wexler R, Walton JW, Rosas AJ, Coulter KP, Rogers KK. Comparison of computed tomography and chest radiography in the detection of rib fractures in abused infants. *Child Abuse & Neglect* 2008; 32: 659–663
- Worlock P, Stower M, Barbor P. Patterns of fractures in accidental and non-accidental injury in children: a comparative study. *British Medical Journal* 1986; 293: 100-102
- Worn MJ, Jones MD. Rib fractures in infancy: establishing the mechanisms of cause from the injuries - a literature review. *Med Sci Law* 2007; 47: 200-212
- Wyckoff MH, Berg RA. Optimizing chest compressions during delivery-room resuscitation. *Seminars in Fetal & Neonatal Medicine* 2008; 13: 410-415
- Youmans DC, Don S, Hildebolt C, Shackelford GD, Luker GD, McAlister WH. Skeletal Surveys for Child Abuse: Comparison of Interpretation Using Digitized Images and Screen-Film Radiographs. *AJR* 1998; 171: 1415-1419
- Zimmerman S, Makoroff K, Care M, Thomas A, Shapiro R. Utility of follow-up skeletal surveys in suspected child physical abuse evaluations. *Child Abuse Negl* 2005; 29: 1075-1083

8. Danksagung

Mein Dank für die Vergabe des Themas und Betreuung meiner Dissertation geht an meinen Doktorvater Prof. Dr. Ganschow.

Für die überaus hilfreiche Unterstützung bei der Erstellung meiner Dissertation und die vielen wertvollen Anregungen und Ratschläge danke ich vor allem meinem Ansprechpartner Dr. Ingo Franke.

Des Weiteren gilt mein großer Dank Dr. Born, der mir mit seiner Erfahrung und Expertise tatkräftig zur Seite stand.

Bedanken möchte ich mich auch bei Dr. Holger Schiffmann und Dr. Markus Vogel durch deren administrative Unterstützung und Bemühungen die Kooperation mit der Universitätskinderklinik Düsseldorf und der Kinderklinik Nürnberg möglich wurde.

Mein Dank richtet sich ebenfalls an Tobias Höller für die statistische Beratung während der Datenauswertung.

Ich danke Falk Wessel, der mich in meiner Arbeit bestärkt und motiviert hat und mir in jeder Lebenslage beisteht.

Und nicht zuletzt danke ich meinen Eltern, die in jeder Hinsicht die Grundsteine für meinen Weg gelegt haben.