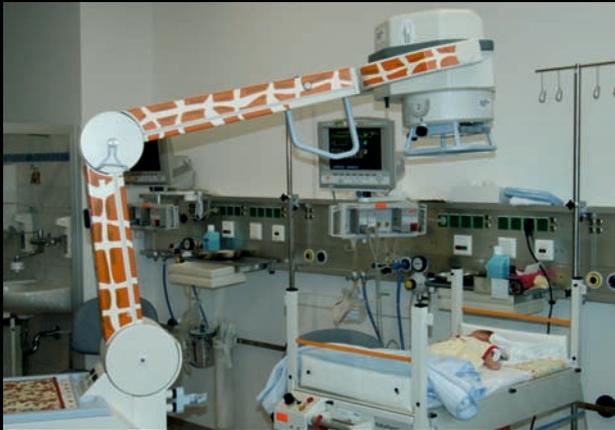


# Qualitätsbeurteilung von Röntgenthoraxaufnahmen auf den pädiatrischen Intensivstationen in Abhängigkeit von den ausführenden Berufsgruppen

**MADLEN KLINZMANN**



Inauguraldissertation zur Erlangung des Grades eines  
**Doktors der Medizin**  
des Fachbereichs Medizin der Justus-Liebig-Universität Gießen



*édition scientifique*  
**VVB LAUFERSWEILER VERLAG**

**Das Werk ist in allen seinen Teilen urheberrechtlich geschützt.**

**Die rechtliche Verantwortung für den gesamten Inhalt dieses Buches liegt ausschließlich bei den Autoren dieses Werkes.**

Jede Verwertung ist ohne schriftliche Zustimmung der Autoren oder des Verlages unzulässig. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung in und Verarbeitung durch elektronische Systeme.

1. Auflage 2016

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without the prior written permission of the Authors or the Publisher.

1<sup>st</sup> Edition 2016

© 2016 by VVB LAUFERSWEILER VERLAG, Giessen  
Printed in Germany



*édition scientifique*  
**VVB LAUFERSWEILER VERLAG**

STAUFENBERGRING 15, D-35396 GIESSEN  
Tel: 0641-5599888 Fax: 0641-5599890  
email: [redaktion@doktorverlag.de](mailto:redaktion@doktorverlag.de)

[www.doktorverlag.de](http://www.doktorverlag.de)

**Qualitätsbeurteilung  
von Röntgenthoraxaufnahmen  
auf den pädiatrischen Intensivstationen  
in Abhängigkeit von den  
ausführenden Berufsgruppen**

**INAUGURALDISSERTATION**

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin  
des Fachbereichs Medizin  
der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von

**Madlen Klinzmann**

aus Prenzlau

Gießen 2015

Aus dem medizinischen Zentrum für Radiologie  
Abteilung Kinderradiologie  
ehemaliger Direktor: Prof. Dr. med. Gerhard Alzen  
  
der Justus-Liebig-Universität Gießen

Gutachter: Prof. Dr. med. G. Alzen

Gutachter: PD Dr. biol. hom. J. G. Kupfer

Tag der Disputation:

15.01.2016

## **Meinen Eltern**



# INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG</b>	<b>1</b>
1.1	Bedeutung von Röntgenuntersuchungen auf Intensivstationen	1
1.2	Strahlenschutz im historischen Rückblick	2
1.3	Rechtliche Grundlagen / Röntgenverordnung	5
1.3.1	Röntgenräume	5
1.3.2	Berechtigte Personen	6
1.4	Fragestellung der Studie	6
<b>2</b>	<b>MATERIAL UND METHODEN</b>	<b>10</b>
2.1	Rahmenbedingungen der analysierten Einrichtung	10
2.1.1	Verwendete Röntgeneinrichtungen	10
2.1.2	Verwendete Bilderfassungssysteme	11
2.1.3	Archivierung und Befundung der Röntgenaufnahmen	12
2.1.4	Örtliche Gegebenheiten der Intensivstationen	12
2.2	Selektion der auszuwertenden Aufnahmen und Studiendesign	13
2.3	Subjektive Beurteilung der Aufnahmen	15
2.3.1	Einblendung	15
2.3.2	Zentrierung	16
2.3.3	Verdrehung	16
2.3.4	Exposition	16
2.3.5	Befundbarkeit	17
2.4	Objektive Kriterien der Bildgüte	17
2.4.1	Einblendung	17
2.4.1.1	Messung der minimalen Feldgröße	18
2.4.1.2	Abschätzung der „optimalen“ Feldgröße	19
2.4.1.3	Messung der tatsächlichen Feldgröße	19
2.4.2	Zentrierung	20
2.4.3	Qualität der nachträglichen Einblendung (Kollimation)	22
2.4.4	Verdrehung	24
2.4.5	Vermeidbare Überlagerungen	25
2.4.6	Expositionswerte	26
2.5	Statistische Methoden	28

<b>3</b>	<b>ERGEBNISSE .....</b>	<b>32</b>
3.1	Auswahl des Bildmaterials.....	32
3.1.1	Kollektiv / Zeitraum .....	32
3.1.2	Beteiligte Berufsgruppen.....	34
3.2	Ergebnis der subjektiven Beurteilung der Bildgüte .....	36
3.2.1	Einblendung .....	36
3.2.2	Zentrierung .....	38
3.2.3	Verdrehung .....	40
3.2.4	Exposition.....	41
3.2.5	Befundbarkeit .....	43
3.3	Ergebnisse der objektiven Beurteilung der Bildgüte .....	45
3.3.1	Minimale Feldgröße .....	45
3.3.1.1	Abhängigkeit der minimalen Feldgröße vom Patientenalter.....	45
3.3.1.2	Abschätzung der „optimalen“ Feldgröße .....	46
3.3.2	Verhältnis der tatsächlichen Feldgröße zur minimalen Feldgröße (Einblendung).....	47
3.3.2.1	Abhängigkeit der Einblendung von der Tageszeit .....	47
3.3.2.2	Abhängigkeit der Einblendung von der ausführenden Untersucher- gruppe.....	47
3.3.2.3	Abhängigkeit der „optimalen“ Einblendung von der Tageszeit.....	48
3.3.2.4	Abhängigkeit der „optimalen“ Einblendung von der ausführenden Untersuchergruppe .....	49
3.3.3	Zentrierung .....	49
3.3.3.1	Abhängigkeit der Zentrierung vom Patientenalter .....	51
3.3.3.2	Abhängigkeit der Zentrierung von der Tageszeit.....	51
3.3.3.3	Abhängigkeit der Zentrierung von der ausführenden Untersucher- gruppe.....	53
3.3.3.4	Gemeinsame Beurteilung der horizontalen und der vertikalen Zentrierung .....	54
3.3.4	Beurteilung der nachträglichen Einblendung (Kollimation).....	54
3.3.4.1	Abhängigkeit der Kollimation vom Patientenalter.....	54
3.3.4.2	Abhängigkeit der Kollimation von der Tageszeit .....	55
3.3.4.3	Abhängigkeit der Kollimation von der ausführenden Untersucher- gruppe.....	55

3.3.5	Verdrehung.....	57
3.3.5.1	Abhängigkeit der Länge der ventralen Rippen von der minimalen Feldbreite und vom Patientenalter.....	57
3.3.5.2	Verdrehung allgemein.....	59
3.3.5.3	Abhängigkeit der Verdrehung von der Tageszeit.....	60
3.3.5.4	Abhängigkeit der Verdrehung von der ausführenden Untersuchergruppe.....	61
3.3.6	Beurteilung vermeidbarer Überlagerungen.....	62
3.3.6.1	Abhängigkeit vermeidbarer Überlagerungen vom Patientenalter.....	62
3.3.6.2	Abhängigkeit vermeidbarer Überlagerungen von der Tageszeit.....	62
3.3.6.3	Abhängigkeit vermeidbarer Überlagerungen von der ausführenden Untersuchergruppe.....	63
3.3.7	Expositionswerte.....	64
3.3.7.1	Röhrenspannung.....	64
3.3.7.2	Ladungsmenge (mAs-Produkt).....	65
3.3.7.3	Abhängigkeit des Dosisflächenproduktes vom Patientenalter und von der minimalen und tatsächlichen Feldgröße.....	66
3.3.8	Einfluss der Erfahrung der Untersucher auf die Aufnahmequalität.....	67
3.3.9	Gemeinsame Betrachtung aller objektiven Qualitätskriterien.....	70
3.4	Vergleich der subjektiven mit der objektiven Beurteilung der Bildgüte.....	71
3.4.1	Vergleich der subjektiven Beurteilung der Einblendung mit der objektiv gemessenen Einblendung.....	71
3.4.2	Vergleich der subjektiven Beurteilung der Zentrierung mit der objektiv gemessenen Zentrierung.....	72
3.4.3	Vergleich der subjektiven Beurteilung der Verdrehung mit der objektiv gemessenen Verdrehung.....	74
<b>4</b>	<b>DISKUSSION.....</b>	<b>76</b>
4.1	Anlass der Studie.....	76
4.2	Ziele der Kinderradiologie.....	77
4.3	Ziele der Qualitätskontrolle.....	78
4.4	Vergleichbare Studien / Bekannte Vorgehensweisen.....	83
4.4.1	Subjektive Bildbeurteilung.....	83
4.4.2	Einblendung.....	84
4.4.3	Kollimation.....	86

4.4.4	Zentrierung .....	87
4.4.5	Verdrehung .....	87
4.4.6	Überlagerungen .....	88
4.4.7	Exposition.....	88
4.5	Bildauswahl und Anonymisierung der Auswertung .....	88
4.6	Diskussion der Ergebnisse .....	89
4.6.1	Patienten-/Bildauswahl.....	89
4.6.2	Subjektiv beurteilte Qualitätsmerkmale .....	90
4.6.3	Objektiv beurteilte Qualitätsmerkmale .....	92
4.6.4	Vergleich subjektiv mit objektiv beurteilter Bildgüte.....	97
4.6.5	Qualitätsbeurteilung der Aufnahmen in Abhängigkeit von der ausführenden Berufsgruppe .....	97
<b>5</b>	<b>SCHLUSSFOLGERUNG.....</b>	<b>99</b>
<b>6</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>101</b>
<b>7</b>	<b>SUMMARY .....</b>	<b>103</b>
<b>8</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS.....</b>	<b>105</b>
<b>9</b>	<b>ANHANG.....</b>	<b>115</b>
9.1	Abkürzungsverzeichnis .....	115
9.2	Abbildungsverzeichnis .....	118
9.3	Tabellenverzeichnis .....	121
9.4	Ehrenwörtliche Erklärung .....	126
9.5	Danksagung.....	127

# 1 EINLEITUNG

## 1.1 Bedeutung von Röntgenuntersuchungen auf Intensivstationen

Die Röntgenaufnahme des Thorax hat einen besonderen Stellenwert in der Intensivmedizin. Sie ist die am meisten durchgeführte radiologische Untersuchung [85]. Annähernd alle intensivpflichtigen Krankheitsverläufe haben Auswirkungen auf die kardio-pulmonale Situation des Patienten. Folglich spielt neben den Laborwerten die Beurteilung von Herz und Lunge eine zentrale Rolle [80; 83; 96; 101].

Die technischen Voraussetzungen zur Anfertigung von Röntgenuntersuchungen sind jedoch auf Intensivstationen wesentlich ungünstiger als in Röntgenabteilungen. Die Aufnahmen werden, statt in aufrechter Position und in einem speziell dafür vorgesehenem Untersuchungsraum der Röntgenabteilung, im Patientenzimmer der Intensivstation im Liegen mit einem mobilen Röntgengerät durchgeführt. Dies hat zur Folge, dass anstelle des üblichen posterior-anterioren Strahlengangs (p.-a.-Projektion), die Strahlenquelle vor dem Thorax liegt und das Bilderfassungssystem (Röntgenfilm / Speicherfolie / Flachbilddetektor) dahinter (a.-p.-Projektion). Der Film-Fokus-Abstand muss von 1,5 m bis 2 m im Stehen in der Röntgenabteilung bei Betaufnahmen auf 1 m verringert werden. Da das Herz im a.-p.-Strahlengang weiter von dem Bilderfassungssystem entfernt und die Röntgenröhre näher am Patienten ist, erscheinen die Herzsilhouette und die Mediastinalstrukturen vergrößert. Bedingt durch die horizontale Lage des Patienten tritt eine basoapikale Umverteilung der Lungendurchblutung auf. Wird der Patient darüber hinaus beatmet, führt dies zu einem veränderten Aussehen der Lungengefäßzeichnung. Ebenso kann eine maximale Inspiration, wie sie im Stehen erreicht wird, bedingt durch den im Liegen kräftiger auf das Diaphragma wirkenden intraabdominellen Druck, nicht realisiert werden [83; 101].

Durch den Wegfall einer zweiten Ebene kann zumindest bei älteren Patienten der Retrokardialraum, gegenüber der Thoraxuntersuchung in zwei Ebenen eines gehfähigen Patienten, nur unzureichend beurteilt werden [101].

Häufig ist eine exakte Einstellung des a.-p.-Strahlengangs nicht durchführbar, so dass die Wahrscheinlichkeit, den Thorax orthograd zu treffen, sinkt [101]. Da die Patienten häufig nicht absolut waagrecht liegen, kommt es zu Verkippungen, bei denen die

Strahlrichtung der Röhre schräg von unten oder oben in den Thorax einstrahlt. Zusätzlich haben bereits leichte Verdrehungen nach einer Seite erheblichen Einfluss auf die Herzform und -größe [39].

Bei Thoraxaufnahmen älterer Patienten im Liegen bietet sich zusätzlich der Einsatz eines Streustrahlenrasters an. Hierzu können ausschließlich Stehraster verwendet werden, die im Gegensatz zu den Rastern im Rasterwandstativ oder Buckytisch in der Röntgenabteilung, während der Röntgenaufnahme nicht in eine schnelle Bewegung versetzt werden können. Da das stehende Streustrahlenraster nicht fest auf den Abstand und die Strahlenachse der Röntgenröhre justiert ist, kann schon eine minimale Fehlzentrierung oder ein veränderter Abstand der Röntgenröhre zu einer übermäßigen Absorption der Nutzstrahlung im Randbereich der Aufnahme führen [83].

Fremdkörper wie Katheter, Drainagen und Monitorkabel sowie der häufig sehr schlechte Allgemeinzustand der Patienten erschweren die Röntgenbedingungen auf Intensivstationen zusätzlich [45; 101].

## **1.2 Strahlenschutz im historischen Rückblick**

Mit Entdeckung einer neuen Art von Strahlung am 8. November 1895 und der ersten Anfertigung einer Röntgenaufnahme der Hand am 22. Dezember 1895 durch Wilhelm Conrad Röntgen, gefolgt von der Erforschung radioaktiver Substanzen 1896 durch Henri Becquerel, war zunächst die Euphorie groß. Einerseits stand sofort die mögliche Nutzung in der Medizin im Zentrum des Interesses, andererseits wurden allerlei spektakuläre Experimente unternommen, die die Sensationslust und Fantasie der Bevölkerung beflügelten [59]. Die Anwendung der Strahlung war – auch zu therapeutischen Zwecken – zunächst nicht auf einen bestimmten, hierzu ausgebildeten Personenkreis beschränkt. Kenntnisse über das biologische Gefährdungspotential existierten naturgemäß noch nicht, entsprechend waren Dosismessung und Dosisgrenzwerte noch nicht eingeführt.

In der Medizin machte man sich die Röntgenstrahlung schnell als weiteres Hilfsmittel zu Nutze, um bislang verborgene anatomische Strukturen zu ergründen. Dies war die Geburtsstunde der Röntgenanatomie. Ebenso wie mit den Mitteln anderer aufkeimender experimenteller Naturwissenschaften wurde die Röntgenstrahlung großzügig genutzt, um ein tieferes Krankheitsverständnis zu erlangen. Bereits früh konnten dabei deterministische Strahlenschäden in Form von Hauterythemen oder Strahlenkatarakten

beobachtet werden. Man erkannte, dass diese somatischen Schäden ganz offensichtlich erst nach Überschreiten eines Dosiswellenwertes auftraten. Nach unserem heutigen Wissensstand war dies nicht verwunderlich, da die noch sehr primitiven Röntgenröhren frei im Untersuchungsraum aufgehängt waren. Da zunächst auch jegliche Abschirmung der Röhren fehlte, konnte sich die Strahlung ungehindert in dem gesamten Untersuchungsraum ausbreiten. Untersucher und untersuchte Person waren unabhängig von dem untersuchten Organ damit stets einer Ganzkörperbestrahlung ausgesetzt [12].

Entsprechend wurden bereits 1896 über 20 Fälle mit schweren Strahlenschäden publiziert, bei denen es sich vorwiegend um Verbrennungen der Haut handelte. Immerhin wurde die Röntgenstrahlung auch kurativ benutzt. So wurde bereits 1899 von der ersten erfolgreichen Behandlung eines Hautkarzinoms berichtet. Gleichzeitig beschrieb James Ewing besonders drastisch so schwerwiegende Strahlenschäden, dass aus seiner Sicht die Betroffenen quasi mit der Strahlung „hingerichtet“ worden waren [20].

1902 wurde schließlich die Entstehung einer strahleninduzierten Krebserkrankung als stochastischer Strahlenschaden beschrieben, was erst 1908 zu der allgemeinen Erkenntnis der krebserzeugenden Wirkung der Röntgenstrahlung führte. Deutlich später wurden von Hermann Joseph Muller 1927 [68] strahlenbedingte Erbschäden geschildert, die durch Mutation Leukämien und andere Malignome bewirken, wobei auch hier unabhängig von einem Schwellenwert die Wahrscheinlichkeit des Auftretens und nicht der Schweregrad der Erkrankung von der applizierten Dosis abhängig ist. Muller wurde 1946 für diese grundlegenden Arbeiten über die genetische Wirkung von Röntgenstrahlung mit dem Nobelpreis für Medizin/Physiologie ausgezeichnet [36; 86].

Max Levy-Dorn (1863 – 1929), langjähriger Leiter der Röntgenabteilung am Rudolf-Virchow-Krankenhaus in Berlin, stellte der Öffentlichkeit 1898 erstmals die von ihm entwickelten Strahlenschutzvorrichtungen vor, die von ihrer Grundidee her noch heute Bestand haben [61]. Unter anderem schirmte er die Röntgenröhre durch eine Bleiverkleidung ab und führte die Möglichkeit zur Einblendung des Strahlenfeldes ein, was weiterhin in Form des Blendenkastens an jeder Röntgeneinrichtung wesentlicher Bestandteil ist. Zur Reduktion der vom Patienten ausgehenden Streustrahlung während der Strahlentherapie empfahl er, den Patienten unter einer mit Blei ausgeschlagenen Kiste zu lagern. Auch wurde von ihm eine Reihe weiterer konkreter Vorschläge zum Schutz des Untersuchers gemacht. 1903 empfahl Levy-Dorn erstmals, erkrankungsabhängige maximale Strahlendosen für die Strahlentherapie einzuführen [61]. Somit kann

Levy-Dorn heute als der erste und äußerst innovative Röntgenarzt gesehen werden, der sich für die Belange des Strahlenschutzes am Patienten und Untersucher einsetzte. Dies ändert jedoch nichts an der Tatsache, dass er selbst durch Strahlenschäden Verstümmelungen an beiden Händen erleiden musste und schließlich einer Krebserkrankung erlag [12; 33; 34; 47; 90].

Mit Gründung der Deutschen Röntgengesellschaft am 2. Mai 1905 in Berlin setzten sich die deutschen Röntgenärzte zum Ziel, die Forderung des Franzosen Victor Hennecart aus Sedan auf dem ersten Deutschen Röntgenkongress 1905 zu erfüllen und eine einheitliche Nomenklatur sowie Normen für die Dosimetrie und nicht zuletzt eine gesetzliche Regelung bei der Anwendung von Röntgenstrahlen einzuführen [38]. Schon ein Jahr später wurde im Bürgerlichen Gesetzbuch (BGB) die gesetzliche Verpflichtung der Ärzte verankert, Patienten und Untersucher vor der Röntgenstrahlung zu schützen.

1909 wurden daraufhin die ersten Grundsätze zum Strahlenschutz definiert, nach denen Ärzte nur dann radiologisch tätig werden durften, wenn sie unter Aufsicht und Verantwortung eines zur Anwendung der Röntgenstrahlung befugten Arztes standen. Dieser war verpflichtet, Belehrungen seines Personals durchzuführen und geeignete Strahlenschutzvorrichtungen zur Verfügung zu stellen. Zudem musste nunmehr vor Durchführung einer Röntgenuntersuchung verbindlich nach vorausgegangenen Röntgenanwendungen gefragt und die beim Patienten applizierte Strahlendosis dokumentiert werden. Waren Gutachten zu erstellen, so hatte dies durch spezialisierte Ärzte zu erfolgen. 1913 wurden von der Deutschen Röntgengesellschaft die ersten Strahlenschutzempfehlungen in Form eines Merkblattes herausgegeben. In diesen Bemühungen der Deutschen Röntgengesellschaft muss die Geburtsstunde der heute gültigen Röntgenverordnung (RöV) gesehen werden [17]. Andere Länder nahmen bezüglich der gesetzlichen Regelung des Strahlenschutzes eine ähnliche Entwicklung, die schließlich 1928 in Stockholm zur Gründung der ersten Internationalen Strahlenschutzkommission führte. Von dieser wiederum wurde die International Commission on Radiological Protection (ICRP) eingesetzt, die aus zwölf anerkannten Strahlenfachleuten besteht und regelmäßig international anerkannte Strahlenschutzempfehlungen veröffentlicht.

## **1.3 Rechtliche Grundlagen / Röntgenverordnung**

### **1.3.1 Röntgenräume**

Laut § 20 Absatz 1 der Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlen (Röntgenverordnung, RöV) ist es gestattet, eine Röntgeneinrichtung ausschließlich in einem ringsum geschlossenen Röntgenraum zu betreiben. Der Raum mit seiner speziellen Ausstattung bedarf der Genehmigung eines Sachverständigen nach § 4a RöV. Dieser muss den Raum vor Inbetriebnahme der Röntgeneinrichtung abnehmen, wozu in der Regel zuvor Messungen der Ortsdosis in und außerhalb des Röntgenraums durchgeführt werden. Gemäß den örtlichen Gegebenheiten und den maximal auftretenden Strahlendosen werden Kontroll- und Überwachungsbereiche definiert [17]. Kontrollbereiche sind Zonen, in denen exponierte Personen keine höhere Effektivdosis als 6 mSv im Jahr erhalten dürfen. Diese müssen eindeutig gekennzeichnet sein [17]. Als Kontrollbereich ist in der Regel der gesamte Raum definiert, in dem sich die fest installierte Röntgeneinrichtung befindet. Angrenzende Räume sind entweder so gut abgeschirmt, dass während des Röntgenbetriebs praktisch keine erhöhte Strahlung messbar ist, oder sie werden dem Überwachungsbereich zugeordnet, in dem eine Ortsdosis von 1 mSv pro Jahr auftreten darf.

Eine Ausnahmesituation sieht die Röntgenverordnung vor, wenn der Allgemeinzustand der zu behandelnden Person den Transport in einen speziell eingerichteten Röntgenraum aus medizinischen Gründen unmöglich macht oder mit besonderen Risiken für den Patienten verbunden wäre (§ 20 Abs. 2 RöV). In diesem Fall kann eine Röntgenuntersuchung außerhalb eines Röntgenraums durchgeführt werden. Hierbei sind jedoch spezielle Schutzmaßnahmen zur Sicherheit Dritter nötig [17]. Auch für solche Situationen sind Kontroll- und Überwachungsbereiche festgelegt.

Bei Röntgenuntersuchungen mit einem mobilen Röntgengerät ist als Kontrollbereich der Raum im Radius von 1,5 m um die Röntgenröhre definiert, da laut dem Abstandsquadratgesetz die Dosis mit dem Abstand zum Quadrat zur Strahlenquelle reduziert wird [65; 83]. Hierbei ist es nicht notwendig, dass Dritte oder weitere Patienten den Raum während der Röntgenuntersuchung verlassen müssen, wenn sie sich außerhalb des Kontrollbereichs der mobilen Röntgeneinrichtung befinden. Eine fahrbare Schutzwand ist nur bei lateralen Aufnahmen vorgeschrieben, um insbesondere andere Patienten, die sich noch im Raum befinden, vor unnötiger Strahlung zu schützen [25].

### **1.3.2 Berechtigte Personen**

Approbierte Ärzte sowie Personen mit der Erlaubnis der Ausübung des Arztberufes, welche die Fachkunde im Strahlenschutz erworben haben, sind berechtigt eigenverantwortlich Röntgenuntersuchungen durchzuführen (§ 24 Abs. 1 RöV). Es wird darüber hinaus zwischen der allgemeinen Fachkunde, die das Gesamtgebiet einschließt, und der teilgebietsbezogenen Fachkunde unterschieden [17].

Des Weiteren sind approbierte Ärzte auch ohne Fachkunde befugt Röntgenstrahlung am Menschen anzuwenden, wenn diese unter permanenter Aufsicht einer berechtigten Person mit Fachkunde im Strahlenschutz stehen (§ 24 Abs. 1 RöV) [17].

Die technische Ausführung ist neben den in Absatz 1 erwähnten Personen nur denjenigen gestattet, welche eine Befugnis nach § 1 Absatz 1 Nummer 2 des MTA-Gesetzes besitzen: Medizinisch-technische Radiologieassistentinnen und -assistenten (MTRA) sowie Personen, welche die geforderte Fachkunde im Strahlenschutz erworben haben (§ 24 Abs. 2 RöV) [17; 18].

Medizinisch-technische Radiologieassistentinnen und -assistenten, die sich in der Ausbildung befinden, sowie Medizinphysik-Experten sind ebenfalls berechtigt Röntgenuntersuchungen durchzuführen, wenn sie unter Aufsicht von Ärzten mit der erforderlichen Fachkunde tätig sind (§ 24 Abs. 2 RöV) [17].

Die geforderte Fachkunde sowie Kenntnisse im Strahlenschutz werden im Regelfall durch eine entsprechende Ausbildung, praktische Erfahrung und eine Teilnahme an einem anerkannten Kurs erworben. Sie wird durch eine zuständige Überwachungsbehörde geprüft und muss mindestens alle fünf Jahre erneuert werden [17].

Die ärztliche Stelle der Bundesländer überprüft regelmäßig die Qualität von Röntgenaufnahmen und die Einhaltung der gesetzlichen Qualitätsstandards [14; 54; 81].

### **1.4 Fragestellung der Studie**

Ziel der vorliegenden Studie war es, die Qualität der Röntgenthoraxuntersuchungen auf den pädiatrischen Intensivstationen des UKGM Gießen zu überprüfen. Dies sollte zunächst in Anlehnung an die in der Literatur beschriebenen Techniken der Qualitätsbeurteilung erfolgen. Darüber hinaus lagen bereits eigene Erfahrungen mit der Qualitätskontrolle von Röntgenbildern aus vorausgegangenen Studien vor, die in der Abteilung Kinderradiologie des Zentrums für Radiologie angefertigt wurden. Die Qualitätsbeurteilung

stützte sich demnach auf die Frage der korrekten Einblendung, Verdrehung, Zentrierung und Belichtung (Exposition) der Thoraxaufnahmen. Die Beurteilung der Röntgenaufnahmen sollte zunächst subjektiv durch drei unabhängig voneinander begutachtende Kinderradiologen erfolgen. Bei dieser subjektiven Bewertung interessierte schließlich die Frage der diagnostischen Verwertbarkeit der Aufnahmen. Die Beurteilungen der drei Kinderradiologen zu den einzelnen Qualitätskriterien sollten miteinander verglichen werden, um eine Aussage zur interindividuellen Reproduzierbarkeit subjektiver Qualitätsbeurteilungen treffen zu können.

In einem zweiten Bewertungsschritt sollte versucht werden, objektiv messbare Qualitätsmerkmale an die Röntgenaufnahmen anzulegen. Da sich offensichtlich nur wenige Zentren mit der Qualität von Thoraxaufnahmen auf Intensivstationen beschäftigt hatten, gab es zu Beginn der vorliegenden Studie zu dieser Problematik nur sehr wenige Publikationen. Demnach existieren nur eingeschränkt klare Kriterien, wie die Qualitätsbeurteilung von Liegendaufnahmen auf Intensivstationen am sinnvollsten zu erfolgen hat. Es sollten daher zunächst objektiv messbare Qualitätskriterien für die retrospektive Studie definiert und ihre Anwendbarkeit überprüft werden. Auch bei der Ermittlung der objektiv messbaren Qualitätskriterien standen die Einblendung, die Zentrierung, die Verdrehung und die Strahlenexposition im Zentrum des Interesses. Erst bei der näheren Betrachtung der auszuwertenden Röntgenaufnahmen fiel ein weiteres messbares Qualitätskriterium auf, das bei der subjektiven Beurteilung der Bildgüte und in vorausgegangenen Studien nicht oder nur selten gewürdigt wurde: die nachträgliche digitale Kollimation der Aufnahmen. Da es durch ihre fehlerhafte Anwendung zu einem entscheidenden Konflikt mit einem in der Röntgenverordnung geforderten Qualitätskriterium kommen kann, sollte es in die Beurteilung mit einbezogen werden.

Des Weiteren sollte der Frage nachgegangen werden, ob zwischen den vergleichbaren Kriterien der subjektiven und objektiven Qualitätsbeurteilung signifikante Zusammenhänge bestehen.

Aufgrund des ungewöhnlich großen Personenkreises, der aus organisatorischen Gründen auf den Intensivstationen der Kinderklinik mit der Anfertigung von Röntgenaufnahmen betraut war, stellte sich die Frage, ob alle beteiligten Personengruppen in gleicher Weise für diese Aufgabe qualifiziert waren. Aus diesem Grunde wurden die objektiven Qualitätskriterien nach den jeweils an der Anfertigung der Röntgenaufnahmen des Thorax beteiligten Berufsgruppen aufgeschlüsselt ausgewertet. Darüber hinaus

interessierte, ob bestimmte Randbedingungen, wie beispielsweise die Tageszeit, in der die Röntgenanfertigung erfolgte, oder das Patientenalter, einen Einfluss auf die Qualität der Aufnahmen hatten. Da im Nachtdienst überwiegend ein anderer Personenkreis die Aufnahmen anfertigte als im Tagdienst, sollte untersucht werden, ob alleine die Unterscheidung in die beiden Dienstzeiten pauschal einen Qualitätsunterschied erkennen lässt.

Zu guter Letzt sollte die Frage beantwortet werden, ob sich eventuelle Qualitätseinschränkungen der Aufnahmen mehr auf die diagnostische Beurteilbarkeit der Aufnahme oder vornehmlich auf eine ungerechtfertigte Dosissteigerung auswirkt.

Alle im Rahmen der Studie ermittelten Ergebnisse sollten, soweit vergleichbare Untersuchungen anderer Studienzentren aus der Literatur bekannt waren, mit diesen verglichen werden. Es sollten mögliche Ursachen der eingeschränkten Qualität ebenso wie Lösungsvorschläge zur Verbesserung der Bildqualität erarbeitet werden.

Es wurden im Einzelnen folgende Hypothesen aufgestellt:

1. Subjektive Beurteilung der Bildgüte:

Die drei Kinderradiologen unterscheiden sich nicht wesentlich in ihrer Beurteilung die Einblendung, die Zentrierung, die Verdrehung, die Exposition sowie die Befundbarkeit der Aufnahmen betreffend.

2. Objektive Beurteilung der Bildgüte:

- Einblendung:

Die minimale Feldgröße ist abhängig vom Lebensalter der Patienten.

Die Qualität der Einblendung ist abhängig von der Tageszeit.

Die Qualität der Einblendung unterscheidet sich zwischen den ausführenden Untersucherguppen.

- Zentrierung:

Die Zentrierung ist abhängig vom Lebensalter der Patienten.

Die Zentrierung ist abhängig von der Tageszeit.

Die Zentrierung ist abhängig von der ausführenden Untersucherguppe.

- Nachträgliche Einblendung (Kollimation):

Die Kollimation ist abhängig vom Lebensalter der Patienten.

Die Kollimation ist abhängig von der Tageszeit.

Die Kollimation ist abhängig von der ausführenden Untersuchergruppe.

- Verdrehung:

Die ventrale Rippenlänge ist abhängig von der minimalen Feldbreite und vom Lebensalter der Patienten.

Die Verdrehung ist abhängig von der Tageszeit.

Die Verdrehung ist abhängig von der ausführenden Untersuchergruppe.

- Vermeidbare Überlagerungen:

Die vermeidbaren Überlagerungen sind abhängig vom Lebensalter der Patienten.

Die vermeidbaren Überlagerungen sind abhängig von der Tageszeit.

Die vermeidbaren Überlagerungen sind abhängig von der ausführenden Untersuchergruppe.

- Expositionswerte:

Das Dosisflächenprodukt ist abhängig vom Lebensalter der Patienten.

Das Dosisflächenprodukt ist abhängig von der minimalen und tatsächlichen Feldgröße.

- Erfahrung der Untersucher:

Die Erfahrung der Untersucher hat einen Einfluss auf die Aufnahmequalität.

3. Vergleich der subjektiven mit der objektiven Beurteilung der Bildgüte:

Die subjektive Einschätzung der Kinderradiologen stimmt mit der objektiv ermittelten Bildgüte überein.

## 2 MATERIAL UND METHODEN

### 2.1 Rahmenbedingungen der analysierten Einrichtung

#### 2.1.1 Verwendete Röntgeneinrichtungen

Für die Röntgenaufnahmen auf den pädiatrischen Intensivstationen des Universitätsklinikums Gießen-Marburg (UKGM), Standort Gießen, steht seit 2004 ein mobiles Aufnahmegerät Mobilett Plus E (Siemens, Erlangen, Deutschland) zur Verfügung (Abb. 1).

Nachfolgend sind die wesentlichsten technischen Daten der mobilen Röntgenanlage aufgelistet (Tab. 1).

**Tab. 1: Technische Daten des Mobilett Plus E der Firma Siemens, Erlangen.**

<b>Schaltgerät bzw. Hochspannungserzeuger</b>	<b>Mobilett Plus E</b>
<b>Hersteller</b>	<b>Siemens</b>
<b>Systemleistung Generator / Röhre</b>	<b>10 kW</b>
<b>Generatortyp</b>	<b>Konverter</b>
<b>Nennwert der kürzesten Schaltzeit</b>	<b>2 ms</b>
<b>Brennwert-Nennwerte</b>	<b>0,8</b>
<b>vorhandener Zusatzfilter</b>	<b>1,0 mm Al + 0,1 mm Cu</b>
<b>Einstellung der Betriebswerte</b>	<b>Handeinstellung</b>
<b>ohne automatische Einblendung</b>	



**Abb. 1: Mobilett Plus E von Siemens, Erlangen, Deutschland (Werksfoto).**

### 2.1.2 Verwendete Bilderfassungssysteme

Als Bilderfassungssystem wurden Speicherfolien verwendet. Dieses System nutzt eine Nadelkristalldetektor-Technologie [4]. Die Vorteile sind zum einen eine hohe Auflösung und zum anderen eine wesentlich geringere Strahlendosis, die gegenüber den konventionellen Film-Folien-Systemen und den zuvor gebräuchlichen Speicherfoliensystemen der ersten Generation, erforderlich sind [2; 3; 13; 79].

Die Auslesung der Speicherfolien erfolgte mit dem DX-S-System der Firma Agfa HealthCare, Mortsels, Belgien (Abb. 2). Durch die Transportfähigkeit der Ausleseeinheit lassen sich Arbeitsabläufe effizient gestalten, da die Auslesung selbst unter Notfallbedingungen überall möglich ist, wo ein Anschluss an die Datenleitung der Klinik zur Verfügung steht [4]. Mithilfe der Bildverarbeitungssoftware MUSICA™ (Multi-Scale-Image-Contrast-Amplification, ebenfalls von Agfa HealthCare) können je nach Patientenalter oder Körpergewicht verschiedene Algorithmen zur Bildprozessierung nach festgelegtem Schema ausgewählt werden [2; 3; 5].

Die wichtigsten technischen Daten sind nachstehend verzeichnet (Tab. 2) [4].

**Tab. 2: Technische Daten des DX-S von Agfa HealthCare.**

<b>Kassettenformate</b>	<b>35 x 43 cm</b> <b>24 x 30 cm</b>
<b>Graustufenauflösung</b>	<b>Datenakquisition: 16 Bit linear / Pixel</b> <b>Weitergabe zum Prozessor: 12 Bit / Pixel</b>



**Abb. 2: Ausleseeinheit des digitalen Speicherfoliensystems DX-S von Agfa HealthCare, Mortsels, Belgien (Werksfoto).**

### **2.1.3 Archivierung und Befundung der Röntgenaufnahmen**

Über den Anschluss der Agfa-Ausleseeinheit an die Datenleitung der Klinik war diese mit dem Radiologieinformationssystem (RIS) und dem zentralen Bild- (PACS) und Datenarchiv (KIS) der Klinik verbunden. Bei ordnungsgemäßer Administration der erstellten Aufnahmen wurden diese von der Ausleseeinheit automatisch in das Bildarchiv übertragen und standen damit auch zeitgleich an allen Workstations der Röntgenabteilung zur Befundung zur Verfügung [10; 78].

Als PACS (Picture Archiving and Communication System) stand die Software der Firma Medos AG, Langenselbold, zur Verfügung. Für die Befundung und Weiterverarbeitung (DICOM-Viewer) war die Software der Firma Infnit Healthcare, Seoul, Südkorea, installiert. Die Befundung der Röntgenaufnahmen erfolgte gemäß § 18 RöV an Befundungsmonitoren der Klasse A, deren Wiedergabequalität arbeitstäglich und zusätzlich in einem monatlichen Rhythmus gemäß Vorschrift überprüft wurde [10; 78].

Vor dem Auslesen der Röntgenkassette mit der belichteten Speicherfolie musste der Name des Patienten aus dem RIS aufgerufen oder auf der Tastatur mit der Hand eingegeben werden, um das Bild mit den Daten des Patienten ordnungsgemäß zu verknüpfen. Darüber hinaus waren gemäß Röntgenverordnung Belichtungsdaten und die ausführende Person, die in Form eines Kürzels im System hinterlegt war, in die Ausleseeinheit einzugeben. Das Datum und die Uhrzeit wurden zusätzlich automatisch vom System generiert [10; 78].

### **2.1.4 Örtliche Gegebenheiten der Intensivstationen**

Es gab im Zeitraum der Datenerhebung im Universitätsklinikum Gießen eine neonatologische Intensivstation (ITS) und eine interdisziplinäre Kinderintensivstation, welche sich aus einer allgemeinpädiatrischen und einer kardiologischen ITS zusammensetzte. Diese pädiatrischen Intensivstationen befanden sich im Untersuchungszeitraum an zwei weit auseinanderliegenden Standorten. Die neonatologische ITS befand sich mit acht Betten bis April 2011 in der Frauenklinik, die interdisziplinäre ITS, ebenfalls mit acht Betten ausgestattet, im Kinderherzzentrum der Kinderklinik. Somit befanden sich die pädiatrischen Intensivstationen in zwei verschiedenen, etwa 400 m voneinander getrennt liegenden Gebäuden. Darüber hinaus erfolgten regelmäßig Röntgenuntersuchungen auf der Neugeborenenstation, ab 2008 im neu bezogenen Gebäude der Kinderklinik und vereinzelt in den Isolierzimmern der Kinderonkologie [10; 78].

Auch heute noch werden Patienten der pädiatrischen Intensivstationen an zwei Orten versorgt, die jedoch nur etwa 50 m voneinander entfernt liegen. Die Neo-Intensiv-Station, die geburtshilfliche Abteilung und Pränataldiagnostik bilden das Gießener Perinatalzentrum Level 1. Der Neonatologie angegliedert werden ältere Säuglinge hier ebenfalls behandelt. Auf der interdisziplinären ITS werden vornehmlich kinder-kardiologische Patienten aller Altersstufen, vereinzelt auch Erwachsene und ältere Kinder mit allgemeinpädiatrischen Problemen, versorgt [10; 78].

Die angetroffenen Rahmenbedingungen bezüglich der verwendeten Röntgeneinrichtungen, Bilderfassungssysteme, Archivierungs- und Befundungseinrichtungen sowie die örtlichen Gegebenheiten auf den Intensivstationen, wie in Kapitel 2.1 beschrieben, waren nicht Gegenstand der Studie. Inwieweit jedoch diese Umstände einen Einfluss auf die Qualität der Aufnahmen hatten, bleibt der abschließenden Diskussion und Wertung vorbehalten.

## **2.2 Selektion der auszuwertenden Aufnahmen und Studiendesign**

Für die Durchführung der Studie lag ein positives Votum der Ethikkommission des Fachbereichs Medizin der Justus-Liebig-Universität Gießen vor (AZ 207/11, Sitzung vom 15.9.2011).

In der Zeit vom 1. Januar 2006 bis zum 15. Juli 2011 wurden auf den beiden pädiatrischen Intensivstationen über 7.700 Röntgenthoraxaufnahmen angefertigt. An der Durchführung dieser Aufnahmen war in dem untersuchten Zeitraum ein Kreis von über 40 Personen beteiligt. Dabei handelte es sich um Medizinisch-technische Radiologie-assistentinnen und -assistenten (MTRA) der Abteilung Kinderradiologie, die bis auf wenige Ausnahmen montags bis freitags von 8:01 bis 18:30 Uhr und samstags und sonntags von 8:01 bis 20:00 Uhr Röntgenuntersuchungen auf den beiden Stationen durchführten. Im Rahmen des Nacht- und Bereitschaftsdienstes waren seit Oktober 2005 die MTRA der Abteilung Diagnostische und Interventionelle Radiologie mit dieser Aufgabe betraut. Die Kinderärzte der beiden Stationen führten vor diesem Zeitpunkt, außerhalb der Dienstzeiten des Personals der Abteilung Kinderradiologie, die Untersuchungen selbst durch und beteiligten sich anschließend ebenfalls teils regelmäßig, teils sporadisch an der Durchführung von Röntgenuntersuchungen [10; 78].

Alle an der Ausführung beteiligten MTRA konnten zweifelsfrei anhand der digital dokumentierten Aufzeichnungen gemäß Röntgenverordnung (§ 28 RöV) identifiziert werden [17]. Obwohl alle auf den Intensivstationen beschäftigten Ärzte ebenfalls über ein persönliches Kürzel verfügten, ließen sich nicht alle Untersucher eindeutig zuordnen, da ein Großteil der Aufnahmen „anonym“ mit dem Kürzel „AI“ (Arzt Intensiv) angefertigt wurde [10; 78].

Insgesamt ließen sich somit 19 namentlich bekannte Personen bestimmen, die mehr oder weniger regelmäßig Röntgenaufnahmen auf den Intensivstationen erstellten und die den drei unterschiedlichen Berufsgruppen zuzuweisen waren. Darüber hinaus war eine größere Anzahl von Aufnahmen nicht zuzuordnen, da sich die Ärzte beim Quittieren der Aufnahmen in der Ausleseinheit nicht mit ihrem persönlichen Kürzel registriert hatten. Hierbei war denkbar, dass dieselben Ärzte zu anderen Zeitpunkten durchaus ihr Kürzel verwendeten und damit zumindest partiell eine Überschneidung mit dem Personenkreis der zuordenbaren Ärzte bestand. Aufnahmen von Ärzten oder MTRA, die sich nur vereinzelt an der Anfertigung der Aufnahmen beteiligt hatten, blieben bei der Auswertung unberücksichtigt.

Mit dem Ziel, von jeder der an den Röntgenuntersuchungen beteiligten Personen eine repräsentative und annähernd gleich große Untersuchungszahl zu erhalten, wurden 396 Aufnahmen aus dem Gesamtpool der 7.700 angefertigten Aufnahmen selektiert. Damit sollten von jeder Berufsgruppe etwa 99 Bilder ausgewählt werden. Darüber hinaus wurde angestrebt, von jedem Untersucher einen Stichprobenumfang von etwa 15 Aufnahmen zur Auswertung der Qualität zu selektieren. Gleichzeitig sollten möglichst jeweils 33 Patienten aus dem neonatologischen, dem allgemeinpädiatrischen und dem kinder-kardiologischen Patientenpool der Intensivstationen rekrutiert werden.

Überdies sollte darauf geachtet werden, dass ebenso das Alter der Patienten in etwa normal verteilt war. Aus der allgemeinpädiatrischen Intensivstation wurden Säuglinge und Kinder bis 14 Jahre, aus der neonatologischen Intensivstation Früh- und Neugeborene aus der ersten Lebenswoche und von der kardiologischen Intensivstation Neugeborene und Patienten bis ins Erwachsenenalter selektiert.

Diese Patientenauswahl wurde von zwei Mitarbeitern der Kinderradiologie (einer Ingenieurin für biomedizinische Technik und einem Praktikanten mit eingehenden Kenntnissen in RIS, KIS und PACS der Klinik) vorgenommen, ohne bei der Auswahl auf die

jeweils vorliegende Bildgüte der Röntgenaufnahmen zu achten. Diese so vorselektierten 396 Bilder wurden kopiert und in anonymisierter Form der Autorin zur Durchführung der eigentlichen Qualitätsbetrachtung übergeben.

Da kein allgemein anerkanntes Auswerteschema zur Beurteilung von Röntgenthoraxaufnahmen unter intensivmedizinischen Bedingungen existierte, musste zunächst ein Auswertedesign kreiert werden. Im Vordergrund stand dabei das Ziel, neben den bekannten subjektiven Bildgütekriterien gut mess- und reproduzierbare Qualitätskriterien zu definieren, um vom Beurteiler unabhängige Ergebnisse zu generieren [6; 7; 11; 13; 21–23; 26; 27; 31; 49; 53; 62; 64; 73; 79; 82; 84; 89; 91; 97; 98; 102]. In einem zweiten Schritt sollten die Ergebnisse der objektiv messbaren Kriterien mit denen der bisher gebräuchlichen subjektiven Qualitätskriterien verglichen werden. Abschließend sollte eine Aussage zur klinischen Relevanz der gefundenen Qualitätsmängel getroffen werden.

### **2.3 Subjektive Beurteilung der Aufnahmen**

Die subjektive Bewertung der Bildqualität wurde unabhängig voneinander durch drei Kinderradiologen vorgenommen. Zwei Ärzte verfügten über eine dreißigjährige und ein weiterer über eine zwanzigjährige kinderradiologische Berufserfahrung. Diese beurteilten anhand vorgegebener subjektiver Kriterien die Einblendung, die Zentrierung, die Verdrehung, die Exposition und die Befundbarkeit (Tab. 3). Die Bildbetrachtung erfolgte auf einem handelsüblichen Laptop mit einer Bildschirmgröße von 15,6“ (16:9 HD LED LCD) und einer Auflösung von 1366 x 768 Pixel. Als Betrachtungssoftware stand wie zur Primärbefundung Infinitt der Firma Healthcare, Seoul, Südkorea zur Verfügung. Das jeweilige Urteil wurde in einer Excel-Tabelle (Microsoft Office Excel 2007, Redmond, USA) dokumentiert.

#### **2.3.1 Einblendung**

Bei der Einblendung waren folgende Bewertungsangaben möglich: optimal, abgeschnitten, zu weit und extrem zu weit, wobei es durchaus vorkommen konnte, dass eine Aufnahme sowohl zu weit aufgeblendet als auch bildrelevante Teile des Thorax dennoch nicht mit abgebildet (abgeschnitten) waren (Tab. 3).

**Tab. 3: Kriterien der Bildqualität, mit denen die Thoraxaufnahmen von den drei Kinderradiologen unabhängig voneinander subjektiv beurteilt wurden.**

<b>Einblendung</b>	<b>abgeschnitten</b>	<b>optimal</b>	<b>zu weit</b>	<b>extrem zu weit</b>
<b>Zentrierung</b>	<b>zu tief</b>	<b>optimal</b>	<b>zu hoch</b>	<b>zu seitlich</b>
<b>Verdrehung</b>		<b>orthograd</b>	<b>verdreht</b>	<b>stark verdreht</b>
<b>Exposition</b>		<b>gute Auflösung</b>	<b>sichtbares Rauschen</b>	
<b>Befundbarkeit</b>		<b>optimal</b>	<b>eingeschränkt</b>	<b>nicht verwertbar</b>

### 2.3.2 Zentrierung

Bei der Klassifikation der Zentrierung gab es ebenfalls vier Kategorien: optimal zentriert, zu tief zentriert, zu hoch zentriert und zu weit seitlich zentriert. Auch hier war es möglich, dass eine Röntgenaufnahme gleichzeitig als zu tief bzw. zu hoch und darüber hinaus auch als zu weit seitlich zentriert eingestuft wurde (Tab. 3).

### 2.3.3 Verdrehung

Die Verdrehung konnte als orthograd eingestellt, verdreht oder stark verdreht klassifiziert werden (Tab. 3). Eine klare Definition, was als verdreht oder stark verdreht zu beurteilen war, lag im Ermessen der Ärzte. Es sollte mit der Beurteilung „stark verdreht“ zum Ausdruck gebracht werden, dass aufgrund der Verdrehung eine Einschränkung der Beurteilbarkeit zu postulieren war.

### 2.3.4 Exposition

Im Gegensatz zu konventionellen Röntgenaufnahmen ließen sich auf digitalen Röntgenaufnahmen Über- oder Unterbelichtungen nicht durch den Schwärzungsgrad der Aufnahme erkennen. Überexponierte Aufnahmen waren durch die automatische Optimierung der Schwärzung nur an einem Verstärkungswert (LgM-Wert) ablesbar. Der LgM-Wert vergleicht die mittlere Absorptionsdosis in jedem digitalen Bild mit einem gespeicherten Referenzdosiswert für die jeweilige Untersuchungsart, um hierdurch Dosisabweichungen zu überwachen. Der jeweilige LgM-Wert der Aufnahmen war den beurteilenden Kinderradiologen nicht bekannt [54].

Untereponierte Aufnahmen wiesen bestenfalls ein verstärktes Rauschen auf, wodurch die Beurteilbarkeit einer Aufnahme durch eine verringerte Ortsauflösung beeinträchtigt sein konnte. Ob die Aufnahme eine gute Auflösung besaß oder ob ein sichtbares Rauschen zu erkennen war, hatten die drei Kinderradiologen zu beurteilen (Tab. 3).

### **2.3.5 Befundbarkeit**

Der letzte Punkt der subjektiven Auswertung verlangte eine Aussage über die generelle Befundbarkeit der vorliegenden Aufnahme. Hier war zu beurteilen, ob eine Aufnahme optimal zu befunden, eingeschränkt zu befunden oder nicht verwertbar war (Tab. 3).

## **2.4 Objektive Kriterien der Bildgüte**

Nach objektiv messbaren Kriterien wurden die Einblendung, die Zentrierung, die Verdrehung, die Kollimation und vermeidbare Überlagerungen durch Fremdmaterialien oder Körperteile ausgewertet. Da diese objektiv messbaren Bildgütekriterien nicht direkt der Literatur oder vorausgegangenen eigenen Studien entnommen werden konnten, wurden sie eigens für die vorliegende Studie, wie in den folgenden Abschnitten dargestellt, erarbeitet. Zusätzlich wurden die Expositionswerte (Röhrenspannung [kV], Ladungsmenge [mAs] und Dosisflächenprodukt (DFP) [ $\mu\text{Gy} \cdot \text{cm}^2$ ]) erfasst.

Anschließend wurden die ermittelten Werte, mit denen die Bildgütekriterien objektiviert wurden, in einem Auswertebogen zusammengefasst und mittels Excel-Tabelle digitalisiert (Tab. 4).

### **2.4.1 Einblendung**

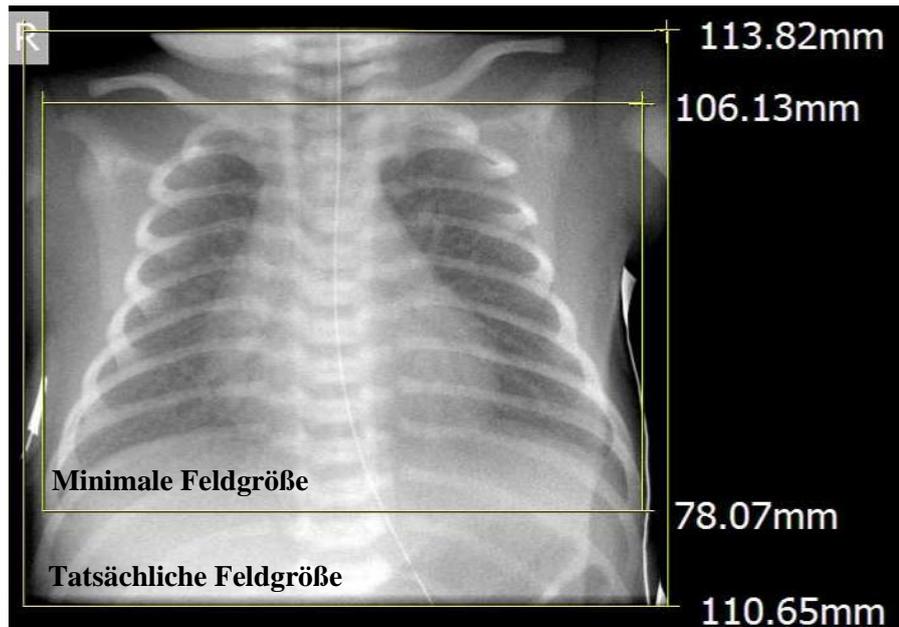
An dem vor der Röntgenröhre angebrachten Blendenkasten lässt sich die Feldgröße einstellen. Mithilfe des Lichtvisiers kann man die Lage und Größe des Strahlenfeldes und anhand eines Fadenkreuzes den Zentralstrahl auf dem zu untersuchenden Körperabschnitt des Patienten erkennen. Die Feldgröße richtet sich nach der Größe des Objekts, welches man zu röntgen beabsichtigt, und ist für alle konventionellen Röntgenuntersuchungen weitgehend standardisiert [69]. Hinter dem Patienten befindet sich das Bilderfassungssystem. Das eingestellte Strahlenfeld muss vollständig vom Bilderfassungssystem erfasst werden. Hierdurch soll vermieden werden, dass Körperabschnitte strahlenexponiert werden, ohne dass sie auf der Röntgenaufnahme dargestellt werden.

Tab. 4: Auswertungsbogen zur objektiven Beurteilung der Bildqualität.

Einblendung							Bemerkungen
Tatsächliche Feldgröße [mm]	Breite						
	Höhe						
Minimale Feldgröße [mm]	Breite						
	Höhe						
Rand [mm]	oben						
	unten						
	rechts						
	links						
Kollimation							
Ränder sichtbar		0	1	2	3	4	
Verdrehung							
Maximale ventrale Rippe [mm]	rechts						
	links						
Fremdkörper							
Körperteile							

#### 2.4.1.1 Messung der minimalen Feldgröße

Als minimale Feldgröße wurde eine Thoraxfläche definiert, die gut reproduzierbar gemessen werden konnte. Sie entsprach der knöchernen Begrenzung des Thorax und reichte in kranio-kaudaler Richtung von der maximalen kranialen Ausdehnung der ersten Rippe bis zu der kaudalsten Ausdehnung des Rippenbogens. Dabei mussten die Recessus costodiaphragmatici als weiteste kaudale Ausdehnung der Lungen stets im Strahlenfeld enthalten sein. Als minimale Thoraxbreite wurde die maximale laterale Ausdehnung des Rippenbogens ohne Berücksichtigung des Weichteilmantels gemessen. Diese Festlegung einer minimalen Feldgröße entspricht im Übrigen nicht der optimalen Einblendung nach geltenden Leitlinien (Abb. 3) [24; 28]. Da auch diese Empfehlungen keine klare Definition der optimalen Thoraxfläche enthalten, wurde anschließend der Versuch vorgenommen, eine solche anhand der eigenen Daten zu erarbeiten.



**Abb. 3:** Gegenüberstellung der minimalen Einblendung und der tatsächlichen Einblendung. Die minimale Einblendung reicht kranial bis an die äußere Begrenzung der ersten Rippe, lateral an die maximale Ausdehnung des Rippenbogens in Höhe der Recessus costo-diaphragmatici und kaudal bis in Höhe der tiefsten Lungenausdehnung. Aus den Kantentlängen der Feldgrenzen wurde der jeweilige Flächeninhalt des Feldes in Quadratmillimetern berechnet.

#### 2.4.1.2 Abschätzung der „optimalen“ Feldgröße

Da die im vorigen Abschnitt beschriebene minimale Größe des Thorax äußerlich nicht erkennbar ist, wurde versucht, die Einstellkriterien einer guten Thoraxaufnahme im Liegen in Anlehnung an Nowak [69] auf die erstellten Röntgenaufnahmen zu übertragen. Aus diesem Grund wurde exemplarisch für alle Altersstufen die maximale Thoraxbreite einschließlich des Weichteilmantels gemessen und mit der Breite der minimalen Thoraxbreite in Beziehung gesetzt.

#### 2.4.1.3 Messung der tatsächlichen Feldgröße

Die tatsächliche Einblendung wurde als maximale Ausdehnung des Strahlenfeldes in kranio-kaudaler und in lateraler Richtung gemessen. Da die tatsächliche Einblendung die minimale Einblendung in der Regel überschritt, wurde ein Quotient aus der tatsächlichen Feldgröße der Aufnahme und der minimalen Thoraxgröße bestimmt (Abb. 3).

## 2.4.2 Zentrierung

Der Zentralstrahl einer Röntgenaufnahme kann durch den Schnittpunkt der beiden Diagonalen durch die jeweils gegenüberliegenden Eckpunkte definiert werden. Bei optimaler Zentrierung eines Thoraxbildes ist der Zentralstrahl von allen vier Rändern des minimalen Feldes gleich weit entfernt. Bedingt durch eine Dezentrierung kann der Abstand des Feldrandes zu dem Rand des minimalen Feldes in allen vier Richtungen unterschiedlich sein. Dies kann bedeuten, dass Teile des Körpers zusätzlich exponiert werden und gleichzeitig zur Darstellung der Thoraxorgane notwendige Bereiche nicht dargestellt werden. Übertagt das Strahlenfeld den Kassettenrand oder wird eine nachträgliche elektronische Feldbegrenzung (Kollimation) vorgenommen, können hieraus auch nicht-rechtwinklige Begrenzungen des Feldrandes resultieren. In diesen Fällen wurden die mittleren Abstände der jeweiligen Feldränder gemessen (Abb. 4).

Je besser die Abstände der tatsächlichen Feldränder rechts und links einerseits sowie kranial und kaudal andererseits mit denen des minimalen Feldes übereinstimmen, umso besser war die Zentrierung der Aufnahme. Je asymmetrischer die Abstände vertikal und horizontal waren, desto schlechter war die Zentrierung. Beide Zentrierungsebenen wurden getrennt ausgewertet.

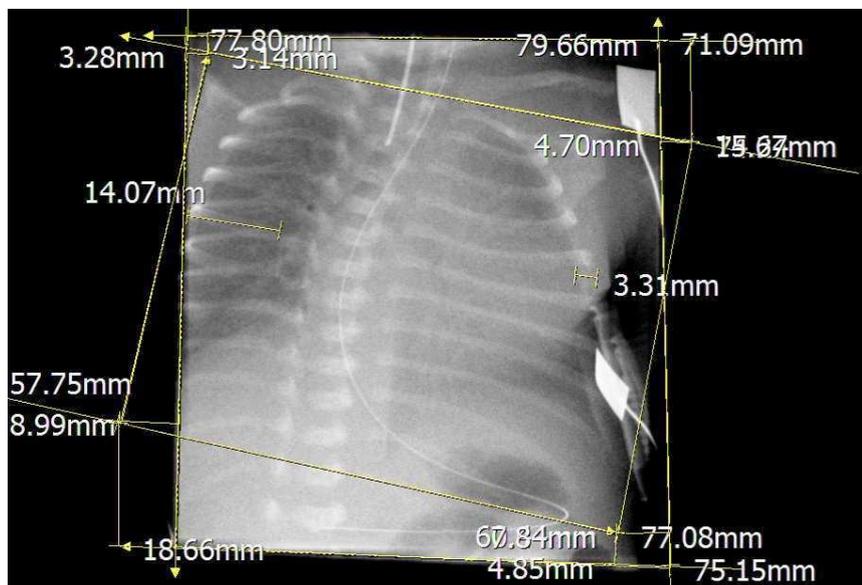


Abb. 4: Thoraxaufnahme eines Säuglings, bei dem das minimale Feld gegenüber dem tatsächlichen Feld stark rotiert ist. Zur Ermittlung der Zentrierung wurden die mittleren Abstände der Feldränder bestimmt.

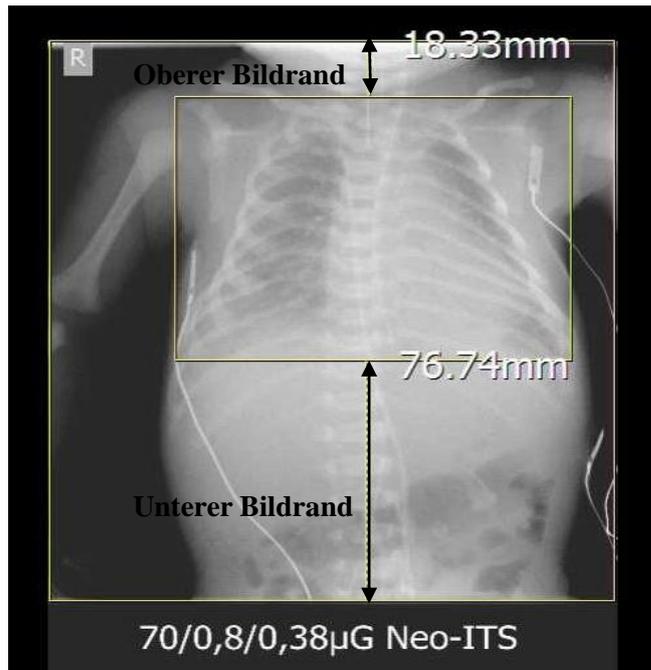


Abb. 5: Vertikale Zentrierung: Um diese zu ermitteln, wurde die Differenz aus dem oberen und unteren Bildrand, in Bezug auf die minimale Feldgröße, gebildet.

Tab. 5: Klassifikation der vertikalen Zentrierung. Angegeben ist die Differenz zwischen oberem und unterem Bildrand in Bezug auf die minimale Feldgröße.

Differenz [mm]	Klassifizierung
$\leq -10$	zu tief
$> -10$ bis $< 10$	optimal
$\geq 10$	zu hoch

Bei der vertikalen Zentrierung wurde die Differenz zwischen dem oberen und unteren Bildrand bestimmt. Eine Differenz zwischen  $-10$  mm und  $+10$  mm wurde als optimal,  $\leq -10$  mm als zu tief und  $\geq +10$  mm als zu hoch zentriert klassifiziert (Abb. 5, Tab. 5).

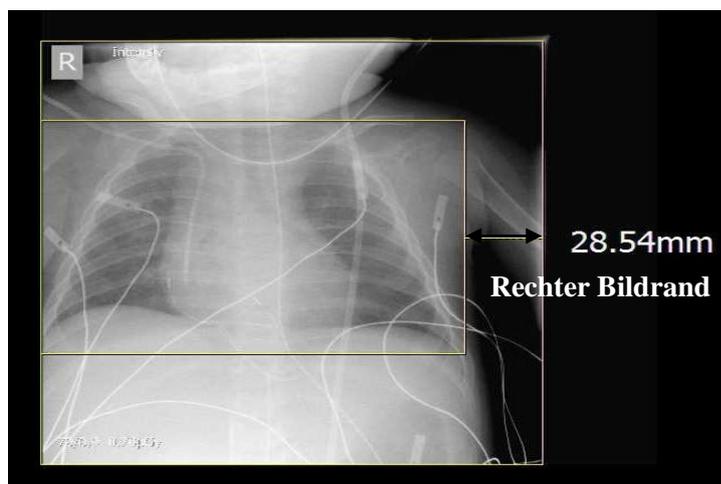


Abb. 6: Horizontale Zentrierung: Die Differenz zwischen dem rechten und dem linken Feldrand ergab die horizontale Zentrierung in Bezug auf die minimale Feldgröße.

**Tab. 6: Klassifikation der horizontalen Zentrierung. Angegeben ist die Differenz zwischen rechtem und linkem Bildrand in Bezug auf die minimale Feldgröße.**

Differenz [mm]	Klassifizierung
$\leq 5$	optimal
$> 5$	zu seitlich

Die Differenz zwischen dem rechten und linken Bildrand ergab die horizontale Zentrierung, wobei eine Abweichung  $\leq 5$  mm als optimal und eine Abweichung  $> 5$  mm als zu weit seitlich zentriert eingestuft wurde (Abb. 6, Tab. 6).

### 2.4.3 Qualität der nachträglichen Einblendung (Kollimation)

Unbelichtete Bereiche eines konventionellen Röntgenfilms bleiben nach der Filmentwicklung transparent. Beim Betrachten der Filme an einem größeren Schaukasten existieren Jalousien, die auf das belichtete Filmformat geschlossen werden können, um eine störende Blendung durch den Schaukasten zu verhindern. Da der belichtete Bereich auf einer Speicherfolie in der Regel ebenfalls kleiner als das Kassettenformat ist, bleiben die unbelichteten Anteile auf dem Betrachtungsmonitor oder auf den Hardcopies ebenfalls weiß. Elektronisch können diese unbelichteten Anteile, vergleichbar mit den Jalousien eines Betrachtungsmonitors, nachträglich abgedunkelt oder vollständig geschwärzt werden, um Blendung zu vermeiden (Kollimation).

Die von Agfa auf der Ausleseeinheit zur Verfügung gestellte Software erlaubte sowohl eine automatische Kollimation auf die Bildränder des belichteten Filmformats als auch eine manuelle Kollimation eines Feldes beliebiger Kantenlängen und Winkel. Besonders die letztere Funktionalität kann im Widerspruch zur Röntgenverordnung stehen, bei der gefordert wird, dass auf dem Bilderfassungssystem stets alle vier Feldränder sichtbar bleiben müssen (§ 28 Abs. 5 RöV) [17].

Da davon auszugehen war, dass die manuelle Kollimation auch bei den zu beurteilenden Aufnahmen angewandt wurde, war in der Studie zu prüfen, wie viele Ränder des originalen Strahlenfeldes auf den Aufnahmen trotz Kollimation noch abgrenzbar waren. Diese betragen im Idealfall vier und im ungünstigsten Fall null (Abb. 7 und 8).

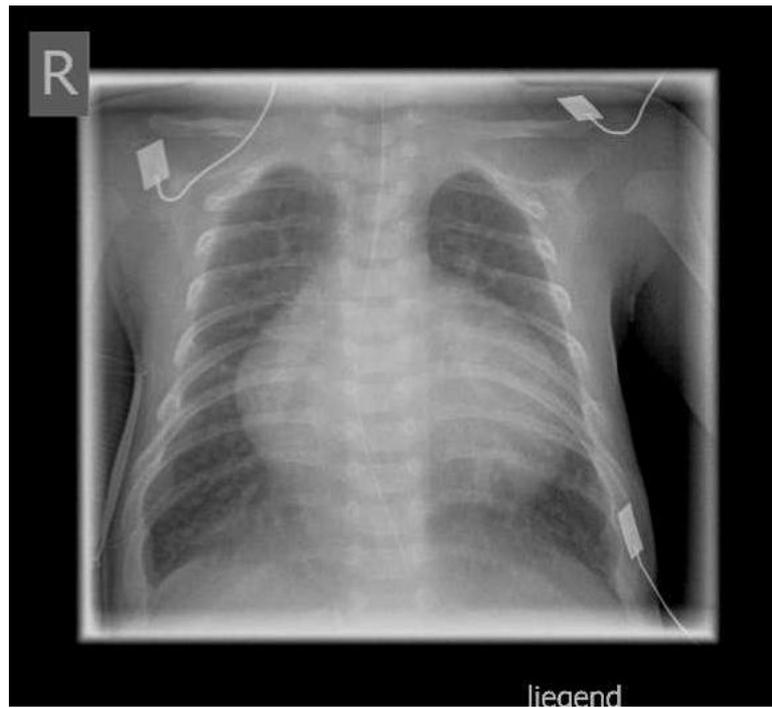


Abb. 7: Optimale Kollimation, bei der alle vier Feldränder trotz Kollimation sichtbar blieben.



Abb. 8: Es wurde zu stark kollimiert. Nur zwei Feldränder (links und unten) sind erkennbar geblieben.

### 2.4.4 Verdrehung

Als weiteres wesentliches Qualitätskriterium wurde die orthograde Einstellung der Röntgenaufnahmen angesehen. Anders als bei Thoraxaufnahmen Erwachsener im Stehen konnte bei den Betaufnahmen im Liegen nicht die symmetrische Position des Processus spinosus zwischen den medialen Claviculaenden als Indikator für eine orthograde Abbildung des Thorax verwendet werden [40]. Als radiologische Kriterien einer orthograd oder verdreht eingestellten a.-p.-Aufnahme können der Verlauf der dorsalen Rippen und die Länge der ventralen Rippen herangezogen werden. Da der Verlauf der dorsalen Rippen messtechnisch nicht ausreichend fassbar war, beschränkten wir uns auf die Messung der ventralen Rippenenden.

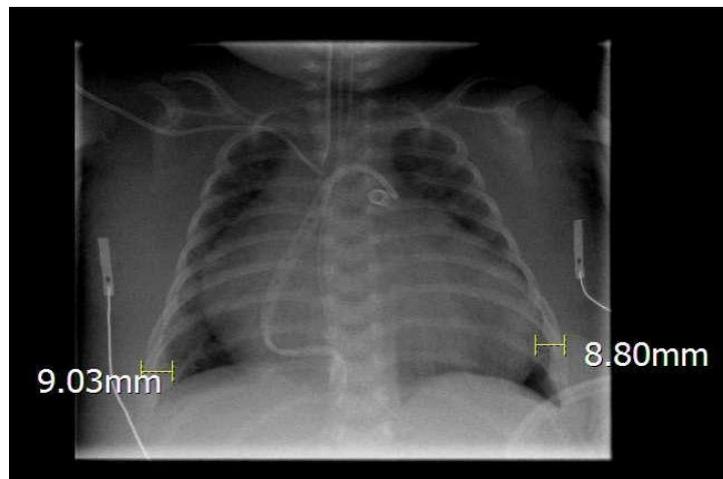


Abb. 9: Verdrehung: Die maximalen Längen der ventralen Rippen wurden markiert.

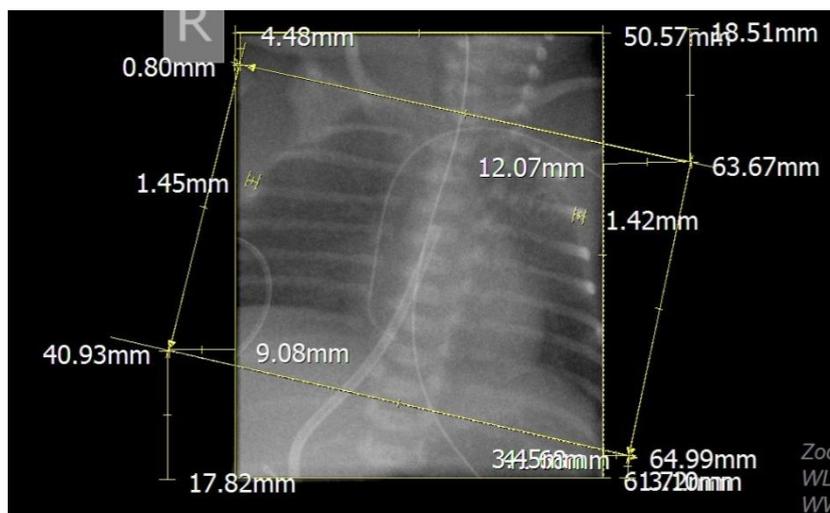


Abb. 10: Thoraxaufnahme eines Säuglings, welche nicht in die Auswertung der Verdrehung einfluss, da die ventralen Rippenenden durch die zu enge Einblendung / Kollimation nicht mehr beurteilbar waren.

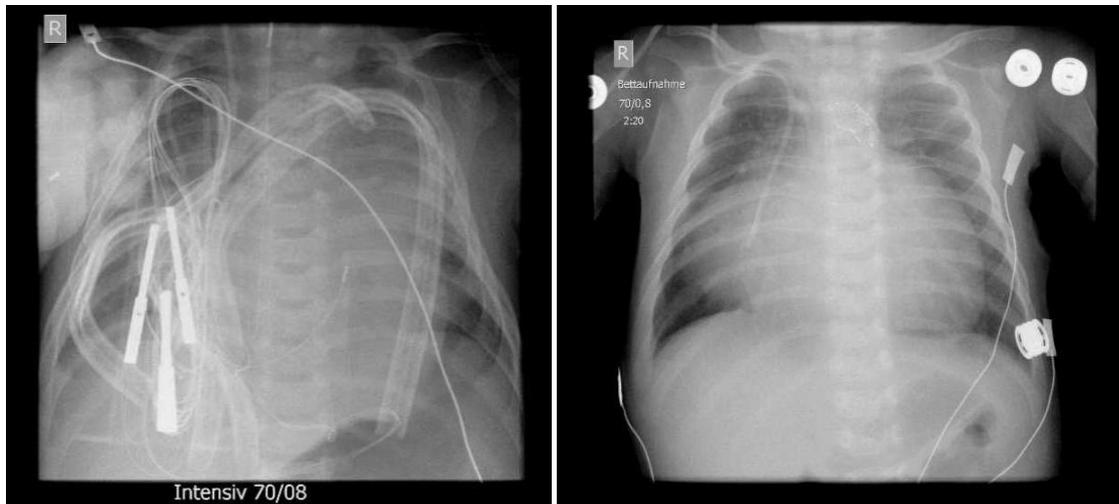
Um eine reproduzierbare Aussage über den Grad der Verdrehung treffen zu können, wurden die maximalen Längen der ventralen Rippen gemessen und die Differenz zwischen rechter und linker Rippe gleicher Höhe in Abhängigkeit von der minimalen Thoraxbreite bestimmt (Abb. 9). Eine Differenz der Rippenlängen bis zu  $\leq 5\%$  wurde als orthograd, bis  $\leq 10\%$  als verdreht und Differenzen darüber hinaus als stark verdreht klassifiziert (Tab. 7)

**Tab. 7: Klassifikation der Verdrehung anhand der Seitendifferenzen der ventralen Rippenlängen (Quotient des Betrags der Differenz zwischen max. Rippe rechts / links in Abhängigkeit von der min. Thoraxbreite).**

Quotient [%]	Klassifizierung
0 – 5	orthograd
6 – 10	verdreht
> 10	stark verdreht

War eine Aufnahme so eng eingebildet, dass bildrelevante Strukturen der seitlichen Thoraxbegrenzung (lateralen Rippenbogen) abgeschnitten waren, so konnte diese nicht für die Auswertung der Verdrehung verwendet werden (Abb. 10).

#### 2.4.5 Vermeidbare Überlagerungen



**Abb. 11: Linke Aufnahme: Die rechte Hand des Patienten ist über der Schulter und Teilen des Thorax erkennbar. Die rechte Lunge wird zusätzlich durch die passageren epikardialen Schrittmacherkabel überlagert, die üblicherweise bereits im OP unter dem Thoraxverband gelagert werden. Diese lassen sich ebenso wenig wie die Thorax- und Mediastinaldrainagen vor der Röntgenaufnahme beseitigen und wurden daher in der vorliegenden Studie nicht berücksichtigt.**

**Rechte Aufnahme: Die Knöpfe der Kleidung überlagern die Aufnahme an weniger bildrelevanten Stellen.**

Regelmäßig sind auf den Thoraxaufnahmen von Patienten auf Intensivstation Fremdmaterialien wie EKG-Kabel, Katheter, Drainagen oder Magensonden zu finden. Obwohl insbesondere EKG-Elektroden vor einer Röntgenaufnahme so positioniert werden können, dass sie möglichst nicht über das gesamte Bild verlaufen, lassen sich gelegentlich vermeidbare Überlagerungen von Fremdmaterialien auf den Aufnahmen abgrenzen. Es wurde analysiert, wie häufig die Thoraxaufnahmen vermeidbare Überlagerungen von Fremdmaterialien aufwiesen. Ebenso wurde darauf geachtet, ob Körperteile des Patienten den Thorax überlagerten, und dies entsprechend als Qualitätsmakel dokumentiert (Abb. 11).

#### 2.4.6 Expositionswerte

Auf den pädiatrischen Intensivstationen gab es für das fahrbare Röntgengerät Mobilett unter Verwendung des DX-S-Systems eine Belichtungstabelle. Auf dieser waren die geeigneten Einstellungen von Röhrenspannung und Ladungsmenge (mAs-Produkt) in Abhängigkeit vom jeweiligen Patientengewicht (bei Kindern bis sechs Monaten) bzw. vom Patientenalter aufgelistet (Tab. 8). Diese Einstellungen garantierten optimale Belichtungen.

Es war beabsichtigt, zu überprüfen, ob die vorgegebenen Röhreneinstellungen gewählt wurden oder ob hiervon abgewichen wurde. Da jedoch nur eine spärliche Dokumentation des Körpergewichts der Patienten erfolgt war, erwies sich die Überprüfung der tatsächlich eingestellten Expositionswerte im Vergleich zu den im Rahmen der SOP vorgeschriebenen optimalen Expositionswerten als nicht möglich.

**Tab. 8: Am Mobilett für jeden Untersucher angebrachte Belichtungstabelle, nach der gemäß SOP die Röntgenuntersuchungen des Thorax zu erfolgen hatten. Nach Patientengewicht bzw. -alter richten sich die einzustellende Röhrenspannung und Ladungsmenge.**

Patientengewicht / Alter	Röhrenspannung [kV]	Ladungsmenge [mAs]
500 – 800 g	60	0,90
< 1250 g		1,00
> 1250 g		1,25
> 2000 g		1,40
3.000 – 5.000 g	70	0,80
6 Monate – < 2 Jahre		0,90
2 – < 3 Jahre	73	1,00
3 – < 5 Jahre		1,25
5 – < 7 Jahre		1,40
7 – < 10 Jahre	85	1,60
10 – < 13 Jahre		1,10
≥ 13 Jahre		1,17

Anhand von bekannten Patientendaten und Perzentilen wurde graphisch eine Eichkurve ermittelt, in der das Körpergewicht und die minimale Thoraxfläche in Beziehung gesetzt wurden. Hierdurch konnte in erster Näherung eine Aussage über die korrekte Einstellung der Belichtungsparameter getroffen werden (Tab. 9, Abb. 12).

Tab. 9: Modifizierte Belichtungstabelle bezogen auf die minimale Thoraxfläche.

Patientengewicht / Alter	Thoraxfläche [cm <sup>2</sup> ]	Röhrenspannung [kV]	Ladungsmenge [mAs]
500 – 800 g	35-43	60	0,90
< 1250 g	< 55		1,00
> 1250 g	> 55		1,25
> 2000 g	> 75		1,40
3.000 – 5.000 g	98-136	70	0,80
6 Mo – < 2 Jahre / 5 – < 12 kg	136-248	73	0,90
2 – < 3 Jahre / 12 – < 15 kg	248-295		1,00
3 – < 5 Jahre / 15 – < 17 kg	295-325		1,25
5 – < 7 Jahre / 17 – < 24 kg	325-420		1,40
7 – < 10 Jahre / 24 – < 34 kg	420-540	85	1,60
10 – < 13 Jahre / 34 – < 44 kg	540-642	99	1,10
≥ 13 Jahre / ≥ 44 kg	> 642	117	0,71

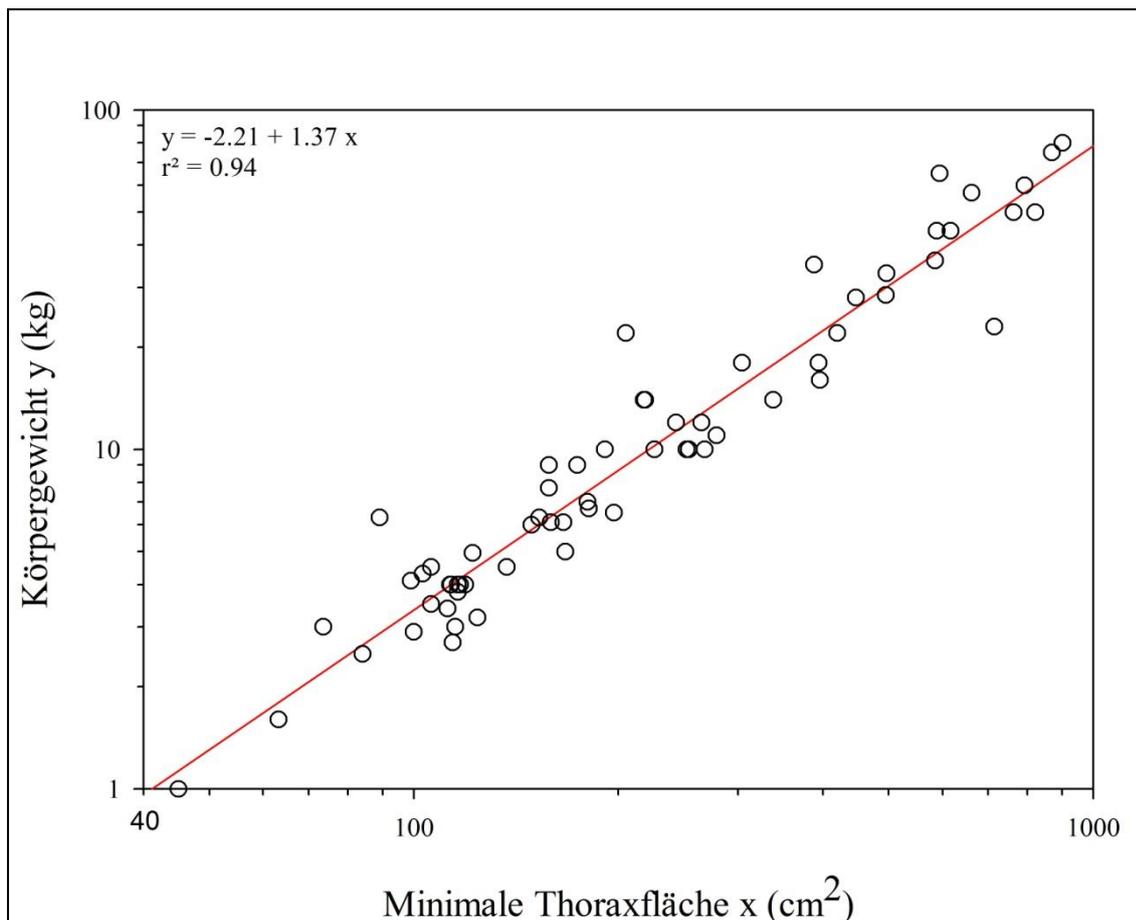


Abb. 12: Ermittlung des Körpergewichtes der Patienten anhand der gemessenen minimalen Thoraxfläche. Die Punkte entsprechen Patienten mit bekanntem Körpergewicht. Die in doppelt-logarithmischer Darstellung enthaltene Regressionslinie diente als Eichkurve.

## 2.5 Statistische Methoden

In einem ersten Schritt erfolgte eine deskriptive Statistik der erhobenen Daten. Diese betraf den Stichprobenumfang, das Minimum, das Maximum sowie die Berechnung des Medians, des arithmetischen Mittelwertes und der Standardabweichung. Die Tabellen, Diagramme und Abbildungen wurden mithilfe von Microsoft Office Word 2007 (Microsoft Corporation, Redmond, USA), Microsoft Office Excel 2007 (Microsoft Corporation, Redmond, USA), SigmaPlot 10.0.1 (Systat Software Inc., San Jose, USA, 2007) und IBM SPSS Statistics 20 (IBM, Armonk, USA, 2011) angefertigt. Die statistischen Berechnungen erfolgten mit IBM SPSS Statistics 20 (IBM, Armonk, USA, 2011) sowie R 3.2.1 (R Development Core Team, The R Foundation for Statistical Computing, Wien, Österreich, 2015).

Im Anschluss wurden zum Überprüfen von wissenschaftlichen Vermutungen Hypothesen aufgestellt (siehe Kapitel 1.4). Sie waren bei Gruppenvergleichen so formuliert, dass das Ziel das Ablehnen der Hypothese war. Als Signifikanzniveau (Fehler 1. Art, Fehlerwahrscheinlichkeit oder p-Wert) wurde die Wahrscheinlichkeit bezeichnet, irrtümlich eine richtige Hypothese abzulehnen. In dieser Studie wurde mit einem Signifikanzniveau von 5 % gearbeitet ( $\alpha = 0,05$ ) [41; 48; 77].

Die in der Arbeit verwendeten metrischen Variablen waren nicht alle normalverteilt. Es kamen daher auch nichtparametrische Verfahren zum Testen von Hypothesen zur Anwendung.

Im Ergebnisteil wurden die Tests und die p-Werte genannt. Testentscheidungen mit p-Werten zwischen 0,05 und 0,01 werden als signifikant, Werte kleiner als 0,01 als hochsignifikant bezeichnet [48].

Für verschiedene Fragestellungen und Voraussetzungen wurden nachfolgend die verwendeten Tests und die geprüften Hypothesen aufgelistet.

**Test auf Unabhängigkeit:** In einer vorliegenden Kontingenztafel mit ordinalen oder nominalen Zeilen- und Spaltenmerkmalen war die Frage von Interesse, ob die Ausprägung des einen Merkmals systematisch mit der Ausprägung des anderen Merkmals einhergeht. Bei genügend großer Zellbelegung wurde die Hypothese der Unabhängigkeit der beiden Merkmale mit einem Chi-Quadrat-Test (Chi<sup>2</sup>-Test) getestet. Angewendet wurde dieser bei der Problematik der Berufsgruppenverteilung hinsichtlich der Anzahl der ausgewählten Röntgenuntersuchungen sowie des Geschlechts der untersuchten

Patienten. Mithilfe dieses Tests konnten Aussagen zur Abhängigkeit der Verdrehung und der Zentrierung von der Tageszeit getroffen werden. Die wesentliche Frage der Abhängigkeit der objektiven Qualitätskriterien von den ausführenden Berufsgruppen konnte ebenfalls mit dem genannten Test beantwortet werden, mit Ausnahme der Einblendung, der Kollimation sowie der gemeinsamen Beurteilung der horizontalen und vertikalen Zentrierung [48; 77].

Der exakte Test nach Fisher, auch exakter  $\chi^2$ -Test genannt, ist ebenfalls ein Test auf Unabhängigkeit in einer Kontingenztafel. Der Unterschied zum  $\chi^2$ -Test besteht darin, dass er keine Voraussetzungen an den Stichprobenumfang stellt und auch bei geringen Beobachtungszahlen genaue Ergebnisse liefert. Die gemeinsame Beurteilung der horizontalen und vertikalen Zentrierung in Abhängigkeit von den Berufsgruppen sowie die Abhängigkeit vermeidbarer Überlagerungen von der Tageszeit wurden mit dieser Methode bearbeitet. Des Weiteren wurden auch die Auswertungen, welche die optimale Einblendung betrafen, mit diesem Test berechnet [41].

**Tab. 10: Übersicht über weitere verwendete Tests.**

Test	Anwendung	Hypothese
t-Test	Gruppenvergleiche (zwei Gruppen) bei normalverteilten Daten	Gleichheit der Mittelwerte in den Gruppen
F-Test	Gruppenvergleiche (mehr als zwei Gruppen) bei normalverteilten Daten	Gleichheit der Mittelwerte in den Gruppen
Mann-Whitney-Test	Gruppenvergleiche (zwei Gruppen) bei nicht normalverteilten Daten	Gleichheit der Mediane / Mittelwerte in den Gruppen
Friedman-Test	Gruppenvergleiche (mehr als zwei Gruppen) bei nicht normalverteilten Daten	Gleichheit der Mediane / Mittelwerte in den Gruppen
Kruskal-Wallis-Test	Gruppenvergleiche (mehr als zwei Gruppen) bei nicht normalverteilten Daten	Gleichheit der Mittelwerte in den Gruppen
Zusammenhangsmaß	Anwendung	Hypothese
Spearman'scher Rangkorrelationskoeffizient	Messung der monotonen Abhängigkeit von wenigstens ordinalskalierten Daten	Korrelationskoeffizient ist gleich null (bei nicht normalverteilten Daten)
Bestimmtheitsmaß als Gütemaß der linearen Regression	Bestimmung der Varianz einer abhängigen von einer unabhängigen Variablen	Bestimmtheitsmaß ist gleich null

Die Tab. 10 gibt einen Überblick über die weiteren Tests, die für die Beantwortung der Fragen in der Studie herangezogen wurden [41; 48; 77]. Der t-Test und der F-Test, welche zu den parametrischen Methoden gehören, beantworten die Fragen nach der Abhängigkeit der Einblendung von der Tageszeit und von den beteiligten Berufsgruppen.

Ebenso wurde der F-Test dazu verwendet, um Aussagen über die gemeinsame Betrachtung aller Qualitätskriterien in Abhängigkeit von den verschiedenen Berufsgruppen treffen zu können.

Der Friedman-Test sollte die Frage nach der Abhängigkeit der Zentrierung vom Alter beantworten. Dagegen konnte mithilfe des Kruskal-Wallis-Tests geklärt werden, ob es einen Zusammenhang zwischen den sichtbar gebliebenen Feldrändern nach Kollimation und den ausführenden Untersuchergruppen gibt.

Mit dem Mann-Whitney-Test wurde überprüft, ob Zusammenhänge zwischen vermeidbaren Überlagerungen und Patientenalter oder Tageszeit und sichtbar gebliebenen Feldrändern bestehen. Auch mit diesem Test wurde die Thematik der Abhängigkeit der Kollimation von der ausführenden Untersuchergruppe bearbeitet.

Bei den Korrelationskoeffizienten wurde die Hypothese getestet, ob die Koeffizienten gleich null sind. Allerdings galten erst Korrelationskoeffizienten ab 0,7 als ausreichend für einen Zusammenhang. Beispiele hierfür waren die Prüfung der Abhängigkeit der minimalen Feldgröße vom Patientenalter und von den ventralen Rippenanteilen sowie die Abhängigkeit des Dosisflächenproduktes vom Alter und von der Feldgröße. Ob es Zusammenhänge zwischen Patientenalter sowie Untersuchererfahrung und Kollimation gibt, wurde ebenfalls mit diesen Verfahren untersucht [48].

Zur Überprüfung von Regressionsanalysen wurde das Bestimmtheitsmaß  $r^2$  verwendet. Dies kam zum einen bei der Analyse der minimalen Feldgröße und zum anderen bei der Betrachtung des Zusammenhangs von Rippenlänge und Thoraxbreite zum Einsatz [55].

Als Maß der Übereinstimmung der drei Befunder untereinander (Interrater-Reliabilität) bei Auswertung der subjektiven Qualitätskriterien, wurden die Bewertungen der drei Kinderradiologen in Kontingenztabelle dargestellt und der Anteil übereinstimmender Klassifizierungen mit absoluten und relativen Häufigkeiten sowie Krippendorffs Alpha bestimmt. Ein Alpha von  $> 0,8$  wurde dabei als Grenze für einen guten Zusammenhang, ein Alpha von  $0,6$  als Grenze für einen akzeptablen Zusammenhang festgelegt [51; 52]. Die Bestimmung von Krippendorffs Alpha hatte den Vorteil, dass hierbei alle Spalten und Zeilen der Kontingenztabelle einbezogen werden konnten, während bei der Betrachtung übereinstimmender Klassifizierungen nur die diagonalen Felder Berücksichtigung fanden. Mit diesen Methoden wurde auch der Zusammenhang zwischen subjektiver und objektiver Beurteilung der Bildgüte bestimmt.

Bei der Planung der Studie wurde das Institut für Medizinische Informatik der Justus-Liebig-Universität in Gießen, Arbeitsgruppe Statistik, beratend hinzugezogen. Die statistischen Berechnungen erfolgten durch die Firma MoReData GmbH Gießen und Herrn Dr. rer. nat. Urs Kleinholdermann.

### 3 ERGEBNISSE

#### 3.1 Auswahl des Bildmaterials

##### 3.1.1 Kollektiv / Zeitraum

Das Alter der Patienten zum Zeitpunkt der Röntgenuntersuchung lag zwischen dem ersten Lebenstag und 48 Jahren (Mittelwert: 2,6 Jahre, Standardabweichung:  $\pm 5,8$  Jahre, Median: 2,0 Monate; Tab. 11 und Abb. 13). Da die Patienten häufiger über längere Zeiträume auf einer der Intensivstationen behandelt wurden, kam es vor, dass ihre Röntgenaufnahmen zufällig mehrmals zur Qualitätsbeurteilung für die Studie ausgewählt wurden. Von je einem Patienten wurden sogar sechs respektive fünf Thoraxaufnahmen zufällig ausgewählt (Tab. 12). Die zur Auswertung vorgelegten 396 Thoraxaufnahmen stammten deshalb von insgesamt nur 302 unterschiedlichen Patienten. 161 (41 %) der ausgewählten Patienten waren weiblich und 235 (59 %) waren männlich.

**Tab. 11: Altersverteilung der Patienten, deren Thoraxaufnahmen ausgewertet wurden.**

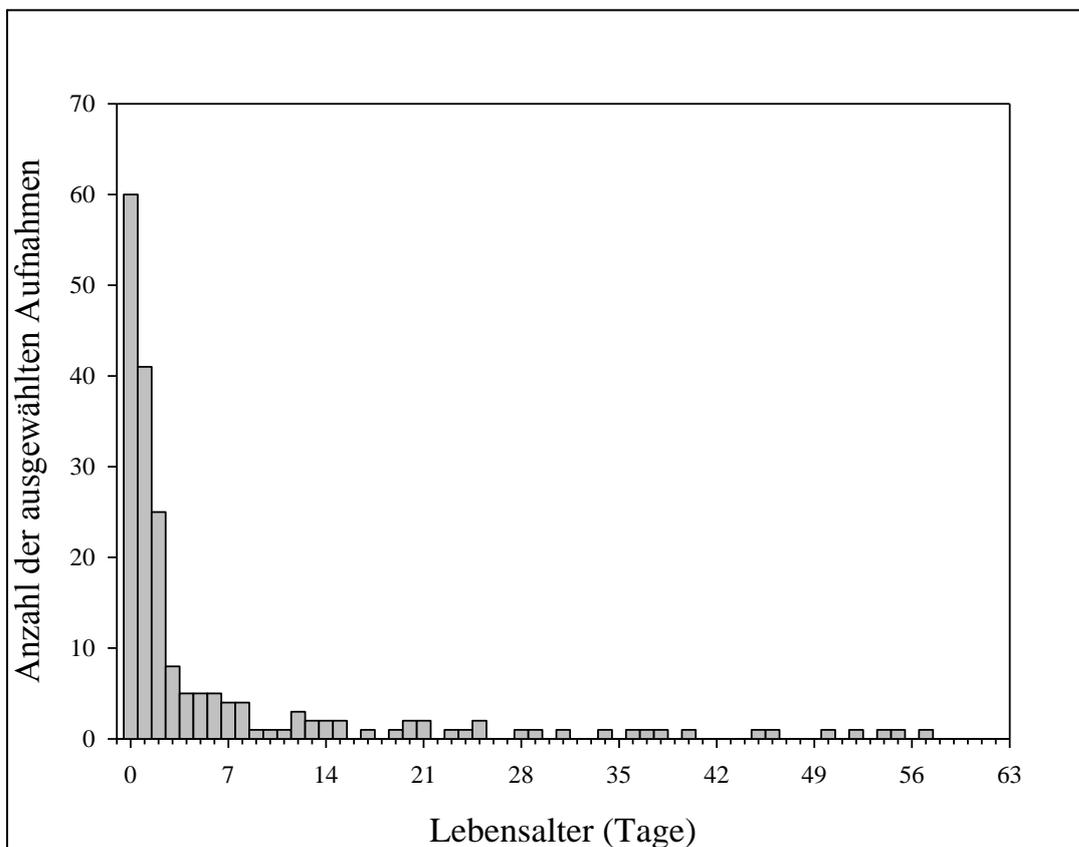
	Anzahl	[%]
Neugeborene	61	15,4
< 1 Woche	93	23,5
< 1 Monat	30	7,6
< 1/2 Jahr	75	18,9
< 1 Jahr	37	9,3
< 5 Jahre	33	8,3
< 10 Jahre	25	6,3
$\geq 10$ Jahre	42	10,6
gesamt	396	100,0

**Tab. 12: Anzahl zufällig ausgewählter Röntgenaufnahmen einzelner Patienten.**

Anzahl Bilder pro Patient	Anzahl	[%]
6	1	0,3
5	1	0,3
4	5	1,7
3	13	4,3
2	44	14,6
1	238	78,8
gesamt	302	100,0

Es wurden von je 198 Patienten Aufnahmen aus dem Tagdienst und aus dem Nachtdienst ausgewählt. Die Patienten, welche tagsüber geröntgt wurden, waren im Durchschnitt zwei Jahre (751 Tage), wohingegen die Patienten im Nachtdienst durchschnittlich ca. drei Jahre (1181 Tage) alt waren (Tab. 13).

Insgesamt ergab sich bei der Vorauswahl der Thoraxaufnahmen für die vorliegende Studie eine Vielzahl unerwarteter Probleme, da auf die Aufnahmen im Archiv nicht ordnungsgemäß zugegriffen werden konnte. Die Ursachen hierfür waren vielfältig. Auf 57 der anfänglich selektierten Aufnahmen musste verzichtet werden, da die Patientendaten nicht mit den Aufnahmen verknüpft waren und deshalb der Zugriff im Bildarchiv (PACS) nicht möglich war. Darüber hinaus mussten weitere 18 Bilder ausgeschlossen werden, weil es sich hierbei abweichend zu der im RIS dokumentierten Angabe gezielt um Aufnahmen des gesamten Körperstammes handelte. Aufgrund der Anonymisierung der Daten konnten diese zweifellos ebenfalls qualitätsrelevanten Fakten im Rahmen der vorliegenden Dissertation nicht ausgewertet werden.



**Abb. 13:** Altersverteilung der in die Studie einbezogenen Früh- und Neugeborenen sowie der Säuglinge bis zum Alter von 9 Wochen.

**Tab. 13:** Gegenüberstellung der Altersverteilung der Patienten beider Dienstzeiten. Aufgeführt sind Median, Mittelwert und Standardabweichung in Tagen.

Tageszeit	Anzahl	Median [Tage]	Mittelwert [Tage]	Standardabweichung
8:01 – 18:30 Uhr	198	25	751	± 2092
18:31 – 8:00 Uhr	198	92	1181	± 2102
gesamt	396	62	967	± 2104

### 3.1.2 Beteiligte Berufsgruppen

In die Auswertung der Röntgenuntersuchungen waren sieben MTRA der Kinderradiologie (K MTRA), sechs MTRA der Abteilung Diagnostische und Interventionelle Radiologie (D MTRA), sechs namentlich bekannte Ärzte der Intensivstationen (A) und die Gruppe der nicht zuordenbaren Ärzte (AI) einbezogen (Abb. 14). Von den MTRA der Kinderradiologie wurden aus dem Untersuchungszeitraum 106 Thoraxaufnahmen zur Qualitätsbeurteilung ausgewählt. Von den MTRA der Abteilung Diagnostische und Interventionelle Radiologie wurden 96, von den namentlich bekannten Ärzten der Kinderintensivstationen ebenfalls 96 und von den anonym angefertigten Aufnahmen 98 Thoraxaufnahmen selektiert (Tab. 14). Es konnte dabei nicht ausgeschlossen werden, dass die gleichen Ärzte sowohl namentlich dokumentierte als auch nicht namentlich dokumentierte Aufnahmen in dem Zeitraum angefertigt hatten. Insbesondere der Personenkreis der MTRA aus der Abteilung Diagnostische Radiologie war tatsächlich mindestens doppelt so groß wie der in die Auswertung einbezogene. Da diese MTRA jedoch nur äußerst sporadisch zur Anfertigung von Röntgenaufnahmen in ihrem Nachtdienst herangezogen wurden, konnten sie aufgrund des vorgegebenen Studiendesigns bei der weiteren Auswertung keine Berücksichtigung finden. Es war unrealistisch, von diesen MTRA eine repräsentative Anzahl von Röntgenaufnahmen zusammenstellen zu können.

Einige der Untersucher, vor allem die MTRA aus der Kinderradiologie, verfügten über deutlich mehr Erfahrung im Anfertigen kinderradiologischer Aufnahmen, was sich an den Gesamtzahlen der im Beobachtungszeitraum von den einzelnen Personen angefertigten Röntgenaufnahmen gut demonstrieren ließ (Tab. 14). Dennoch fiel auf, dass selbst innerhalb der kleinen Gruppe der MTRA der Abteilung Kinderradiologie die Beteiligung an der Durchführung der Thoraxaufnahmen offensichtlich stark differierte und es somit schwierig war von allen die gleiche Anzahl von Aufnahmen auszuwählen, ohne dabei gleichzeitig die übrigen Auswahlkriterien zu vernachlässigen.

Die Erfüllung des Auswahlkriteriums, die verschiedenen Berufsgruppen in gleicher Häufigkeit zu repräsentieren, gelang hingegen besser. Somit war es bei der Vorauswahl gelungen, von jeder Berufsgruppe in etwa gleich viele Patienten auszuwählen und dabei auch ungefähr ebenso viele Aufnahmen von männlichen und weiblichen Patienten zu

selektieren (Tab. 15). Es ließen sich keine signifikanten Unterschiede in der Berufsgruppenverteilung hinsichtlich der Anzahl der ausgewählten Röntgenaufnahmen und des Geschlechts der untersuchten Patienten ermitteln (Chi<sup>2</sup>-Test, p = 0,286).

**Tab. 14:** Anzahl der zur Qualitätsbeurteilung ausgewählten Thoraxaufnahmen aller Untersucher, aufgeschlüsselt nach der Dienstzeit, in der die Aufnahmen angefertigt wurden. Die Spalte rechts gibt an, wie viele Untersuchungen von den jeweiligen Personen in dem Erhebungszeitraum insgesamt angefertigt wurden. Hieraus lässt sich die Erfahrung der beteiligten Personen abschätzen (grau: K MTRA, blau: D MTRA, rot: A, grün: AI).

Untersucher	Anzahl der Aufnahmen, die in die Studie eingeflossen sind			Gesamtzahl der Aufnahmen (2006 - 2011)
	8:01 – 18:30 Uhr	18:31 – 8:00 Uhr	gesamt	
1	16	1	17	884
2	17	1	18	561
3	26	1	27	1418
4	22	1	23	1414
5	3	1	4	601
6	13	0	13	1826
7	4	0	4	111
8	0	17	17	79
9	8	6	14	76
10	0	13	13	43
11	13	15	28	128
12	0	7	7	37
13	2	15	17	90
14	19	10	29	170
15	0	7	7	18
16	6	1	7	54
17	5	9	14	59
18	11	6	17	34
19	8	14	22	117
20	25	73	98	833
gesamt	198	198	396	7 720

**Tab. 15:** Anzahl der ausgewerteten Röntgenaufnahmen bezogen auf die verschiedenen Untersuchergruppen und das Geschlecht der Patienten.

Geschlecht	Berufsgruppe				gesamt
	K MTRA	D MTRA	A	AI	
weiblich	42	39	33	47	161
[%]	26,1	24,2	20,5	29,2	40,7
männlich	64	57	63	51	235
[%]	27,2	24,3	26,8	21,7	59,3
gesamt	106	96	96	98	396
[%]	26,8	24,2	24,2	24,7	100,0

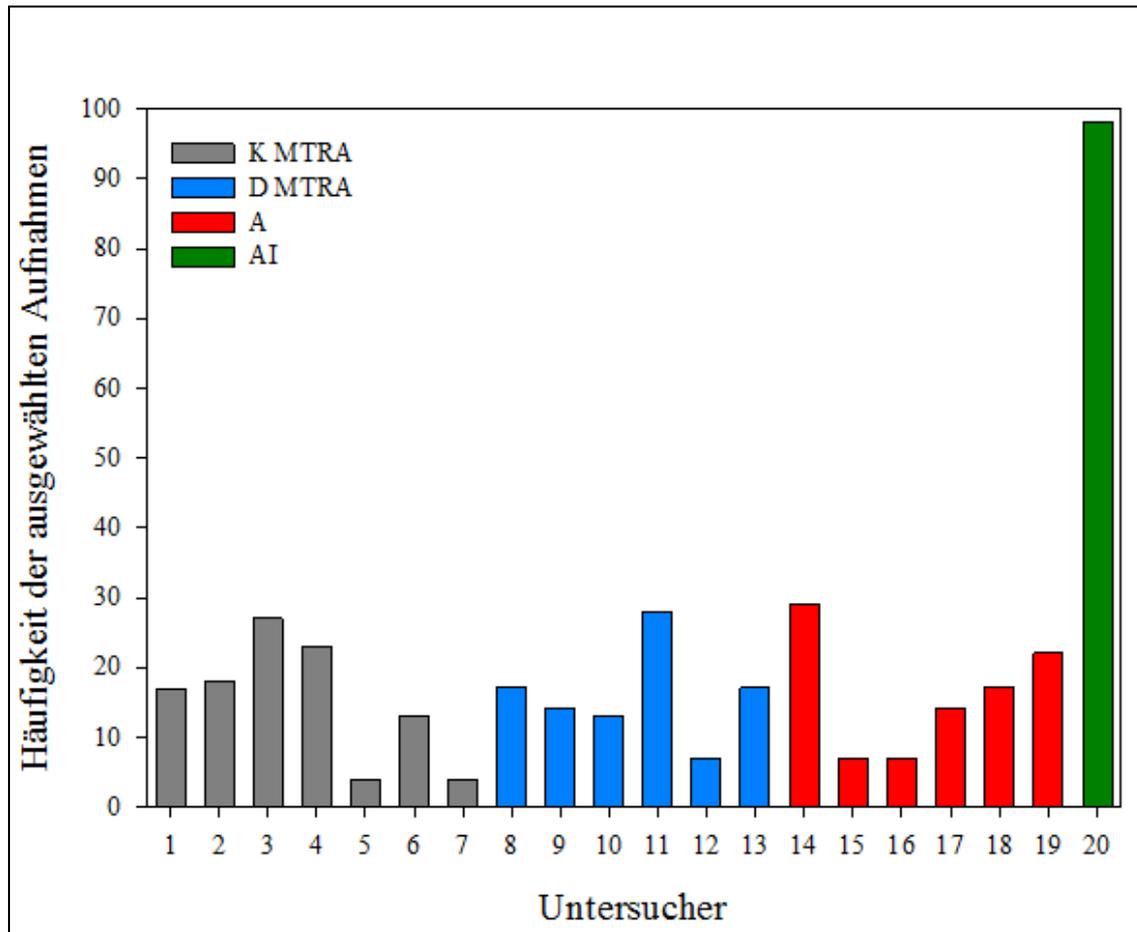


Abb. 14: Beteiligte Untersuchergruppen, aufgeschlüsselt nach der Häufigkeit der ausgewerteten Aufnahmen. Nr. 1 – 7 (grau) MTRA der Kinderradiologie (K MTRA), Nr. 8 – 13 (blau) MTRA der Abteilung Diagnostische Radiologie (D MTRA), Nr. 14 – 19 (rot) Ärzte der Intensivstationen (A), Nr. 20 (grün) nicht zuordenbare Ärzte (AI).

### 3.2 Ergebnis der subjektiven Beurteilung der Bildgüte

In Bezug auf die subjektive Beurteilung der Einblendung, Zentrierung, Verdrehung, Exposition anhand des Bildrauschens und schließlich der allgemeinen Befundbarkeit wurden die Aussagen der drei Kinderradiologen miteinander verglichen.

#### 3.2.1 Einblendung

Die voneinander unabhängige subjektive Beurteilung der Einblendung durch die drei Kinderradiologen erbrachte zum Teil sehr unterschiedliche Einschätzungen (Tab. 16).

Als Maß der Übereinstimmung der drei Beurteiler untereinander wurde Krippendorffs Alpha berechnet. Der Anteil der sich deckenden Beurteilungen aller drei Beobachter gemeinsam erbrachte ein Krippendorffs Alpha von 0,414. Dem entsprach, dass nur 45,7 % der Bewertungen aller drei Kinderradiologen gleichlautend ausfielen.

Der Vergleich der Befunder 1 und 2 ergab übereinstimmende Beurteilungen von 67,7 % (Summe der Diagonalen, Tab. 17). Das entsprach einem Krippendorffs Alpha von 0,493. Befunder 1 und 3 stimmten mit einem Krippendorffs Alpha von 0,344 in nur 59,1 % der Beurteilungen überein (Tab. 18). Befunder 2 und 3 stimmten in 64,2 % überein (Tab. 19). Dies entsprach einem Krippendorffs Alpha von 0,386, was auch hier einen schlechten Zusammenhang der subjektiven Bewertungen der Einblendung widerspiegelte.

**Tab. 16: Subjektive Beurteilung der Einblendung durch drei Kinderradiologen (n = 396).**

Befunder	abgeschnitten	optimal	zu weit	extrem zu weit
1	44	188	139	25
[%]	11,1	47,5	35,1	6,3
2	63	124	205	4
[%]	15,9	31,3	51,8	1,0
3	28	93	248	27
[%]	7,1	23,5	62,6	6,8

Die scheinbar widersprüchliche Beurteilung der Kinderradiologen (z.B. „zu weit“ aufgeblendet gegenüber „abgeschnitten“) lässt sich durch die Tatsache erklären, dass bei manchen Aufnahmen trotz der zu weiten Aufblendung der Aufnahmen diagnostisch relevante Thoraxbereiche abgeschnitten waren.

**Tab. 17: Einblendung: Vergleich der subjektiven Beurteilung durch Befunder 1 und 2 (Krippendorffs Alpha: 0,493).**

Befunder 1 \ Befunder 2	abgeschnitten	optimal	zu weit	extrem zu weit	gesamt
abgeschnitten	40	2	2	0	44
[%]	10,1	0,5	0,5	0,0	11,1
optimal	16	108	64	0	188
[%]	4,0	27,3	16,2	0,0	47,5
zu weit	7	14	117	1	139
[%]	1,8	3,5	29,5	0,3	35,1
extrem zu weit	0	0	22	3	25
[%]	0,0	0,0	5,6	0,8	6,3
gesamt	63	124	205	4	396
[%]	15,9	31,3	51,8	1,0	100,0

**Tab. 18: Einblendung: Vergleich der subjektiven Beurteilung durch Befunder 1 und 3 (Krippendorffs Alpha: 0,344).**

Befunder 1 \ Befunder 3	abgeschnitten	optimal	zu weit	extrem zu weit	gesamt
abgeschnitten [%]	24 6,1	11 2,8	9 2,3	0 0,0	44 11,1
optimal [%]	3 0,8	74 18,7	110 27,8	1 0,3	188 47,5
zu weit [%]	1 0,3	8 2,0	120 30,3	10 2,5	139 35,1
extrem zu weit [%]	0 0,0	0 0,0	9 2,3	16 4,0	25 6,3
gesamt [%]	28 7,1	93 23,5	248 62,6	27 6,8	396 100,0

**Tab. 19: Einblendung: Vergleich der subjektiven Beurteilung durch Befunder 2 und 3 (Krippendorffs Alpha: 0,386).**

Befunder 2 \ Befunder 3	abgeschnitten	optimal	zu weit	extrem zu weit	gesamt
abgeschnitten [%]	25 6,3	22 5,6	16 4,0	0 0,0	63 15,9
optimal [%]	1 0,3	60 15,2	63 15,9	0 0,0	124 31,3
zu weit [%]	2 0,5	11 2,8	167 42,2	25 6,3	205 51,8
extrem zu weit [%]	0 0,0	0 0,0	2 0,5	2 0,5	4 1,0
gesamt [%]	28 7,1	93 23,5	248 62,6	27 6,8	396 100,0

### 3.2.2 Zentrierung

Die subjektive Beurteilung der Zentrierung erbrachte gemäß Krippendorffs Alpha eine Übereinstimmung aller drei Beurteiler von 0,349 (Anteil übereinstimmender Beurteilungen: 58,1 %; Tab. 20).

**Tab. 20: Subjektive Beurteilung der Zentrierung durch drei Kinderradiologen (n = 396).**

Befunder	zu tief	optimal	zu hoch	zu seitlich
1 [%]	92 23,2	283 71,5	15 3,8	6 1,5
2 [%]	83 21,0	300 75,8	5 1,3	8 2,0
3 [%]	85 21,5	265 66,9	40 10,1	6 1,5

Die 83,4 % Übereinstimmung der Beurteilungen von Befunder 1 mit Befunder 2 zeigte mit Krippendorffs Alpha von 0,592 einen relativ hohen Wert, obwohl auch dieser bestenfalls einen akzeptablen Zusammenhang repräsentierte (Tab. 21). Deutlich schlechter waren hingegen die Übereinstimmungen mit Befunder 3 (Tab. 22 und 23).

Zwischen Befunder 1 mit Befunder 3 bestand eine 65,7%ige Übereinstimmung (Krippendorffs Alpha: 0,264; Tab. 22) und zwischen Befunder 2 gegenüber Befunder 3 ebenfalls nur eine 65,2%ige Übereinstimmung (Krippendorffs Alpha: 0,214; Tab. 23). Aufgrund dieses Ergebnisses musste vermutet werden, dass Befunder 3 etwas differente Kriterien als die beiden anderen Befunder anlegte.

**Tab. 21: Zentrierung: Vergleich der subjektiven Beurteilung durch Befunder 1 und 2 (Krippendorffs Alpha: 0,592).**

Befunder 1 \ Befunder 2	zu tief	optimal	zu hoch	zu seitlich	gesamt
zu tief	65	26	0	1	92
[%]	16,4	6,6	0,0	0,3	23,2
optimal	18	259	2	4	283
[%]	4,5	65,4	0,5	1,0	71,5
zu hoch	0	12	3	0	15
[%]	0,0	3,0	0,8	0,0	3,8
zu seitlich	0	3	0	3	6
[%]	0,0	0,8	0,0	0,8	1,5
gesamt	83	300	5	8	396
[%]	21,0	75,8	1,3	2,0	100,0

**Tab. 22: Zentrierung: Vergleich der subjektiven Beurteilung durch Befunder 1 und 3 (Krippendorffs Alpha: 0,264).**

Befunder 1 \ Befunder 3	zu tief	optimal	zu hoch	zu seitlich	gesamt
zu tief	46	38	6	2	92
[%]	11,6	9,6	1,5	0,5	23,2
optimal	38	211	32	2	283
[%]	9,6	53,3	8,1	0,5	71,5
zu hoch	1	11	2	1	15
[%]	0,3	2,8	0,5	0,3	3,8
zu seitlich	0	5	0	1	6
[%]	0,0	1,3	0,0	0,3	1,5
gesamt	85	265	40	6	396
[%]	21,5	66,9	10,1	1,5	100,0

Tab. 23: Zentrierung: Vergleich der subjektiven Beurteilung durch Befunder 2 und 3 (Krippendorffs Alpha: 0,214).

Befunder 2 \ Befunder 3	zu tief	optimal	zu hoch	zu seitlich	gesamt
zu tief [%]	38 9,6	37 9,3	8 2,0	0 0,0	83 21,0
optimal [%]	46 11,6	218 55,1	32 8,1	4 1,0	300 75,8
zu hoch [%]	1 0,3	4 1,0	0 0,0	0 0,0	5 1,3
zu seitlich [%]	0 0,0	6 1,5	0 0,0	2 0,5	8 2,0
gesamt [%]	85 21,5	265 66,9	40 10,1	6 1,5	396 100,0

### 3.2.3 Verdrehung

Tab. 24: Subjektive Beurteilung der Verdrehung durch drei Kinderradiologen (n = 395).

Befunder	orthograd	verdreht	stark verdreht
1 [%]	257 65,1	109 27,6	29 7,3
2 [%]	305 77,2	86 21,8	4 1,0
3 [%]	198 50,1	179 45,3	18 4,6

Tab. 25: Verdrehung: Vergleich der subjektiven Beurteilung durch Befunder 1 und 2 (Krippendorffs Alpha: 0,335).

Befunder 1 \ Befunder 2	orthograd	verdreht	stark verdreht	gesamt
orthograd [%]	225 57,0	32 8,1	0 0,0	257 65,1
verdreht [%]	72 18,2	36 9,1	1 0,3	109 27,6
stark verdreht [%]	8 2,0	18 4,6	3 0,8	29 7,3
gesamt [%]	305 77,2	86 21,8	4 1,0	395 100,0

Eine Aufnahme konnte aufgrund der schlechten Beurteilbarkeit der Verdrehung nicht berücksichtigt werden, weshalb nur 395 Aufnahmen in die Auswertung eingegangen sind. Die Anzahl gleicher Bewertungen aller Beurteiler lag bei 46,3 %. Krippendorffs Alpha betrug hierbei 0,341 (Tab. 24).

Die Gegenüberstellung der Beurteilungen von Befunder 1 und 2 zeigte bezüglich der Verdrehung der Aufnahmen eine Übereinstimmung von 66,9 % (Krippendorffs Alpha: 0,335; Tab. 25). Befunder 1 und 3 waren in 63,3 % (Krippendorffs Alpha: 0,426; Tab. 26) und Befunder 2 und 3 diesbezüglich in 60,3 % (Tab. 27) gleicher Meinung. Hieraus

resultierte ein Krippendorffs Alpha von 0,235, was ebenso wie die vorher berechneten Werte für Krippendorffs Alpha einer sehr geringen Übereinstimmung der subjektiven Beurteilung entsprach.

**Tab. 26: Verdrehung: Vergleich der subjektiven Beurteilung durch Befunder 1 und 3 (Krippendorffs Alpha: 0,426).**

Befunder 1 \ Befunder 3	orthograd	verdreht	stark verdreht	gesamt
orthograd	165	91	1	257
[%]	41,8	23,0	0,3	65,1
verdreht	33	72	4	109
[%]	8,4	18,2	1,0	27,6
stark verdreht	0	16	13	29
[%]	0,0	4,1	3,3	7,3
gesamt	198	179	18	395
[%]	50,1	45,3	4,6	100,0

**Tab. 27: Verdrehung: Vergleich der subjektiven Beurteilung durch Befunder 2 und 3 (Krippendorffs Alpha: 0,235).**

Befunder 2 \ Befunder 3	orthograd	verdreht	stark verdreht	gesamt
orthograd	179	122	4	305
[%]	45,3	30,9	1,0	77,2
verdreht	19	56	11	86
[%]	4,8	14,2	2,8	21,8
stark verdreht	0	1	3	4
[%]	0,0	0,3	0,8	1,0
gesamt	198	179	18	395
[%]	50,1	45,3	4,6	100,0

### 3.2.4 Exposition

Die Beurteilung der Exposition von den digital erstellten Röntgenaufnahmen ermöglichte ausschließlich eine Bewertung von möglicherweise unterexponierten Aufnahmen. Eine Überexposition konnte ohne dokumentierte Dosisindikatoren wie z.B. den LgM-Wert nicht erkannt werden. Befunder 1 war der Ansicht, dass 87,4 % der Aufnahmen eine gute Auflösung hatten und damit exakt belichtet oder überexponiert waren. 12,6 % zeigten nach seiner Einschätzung ein sichtbares Rauschen. Befunder 2 befand hingegen nur 69,7 % für gut, 30,3 % wiesen seiner Meinung nach ein Rauschen auf. Befunder 3 unterschied sich in seiner Beurteilung praktisch nicht von Befunder 2 und klassifizierte 69,2 % als gut und 30,8 % der Aufnahmen mit einem sichtbaren Rauschen (Tab. 28). Der Anteil übereinstimmender Befunde aller drei Beobachter ergab 67,2 %. Krippendorffs Alpha betrug 0,410, womit sich auch in dieser Frage eine sehr geringe

Übereinstimmung aller drei Kinderradiologen ergab. Die Aufnahmen, bei denen die drei Kinderradiologen ein Rauschen zu sehen glaubten, stammten ausschließlich von Frühgeburten mit sehr geringem Geburtsgewicht.

**Tab. 28: Subjektive Beurteilung der Exposition durch drei Kinderradiologen (n = 396).**

Befunder	gute Auflösung	sichtbares Rauschen
1	346	50
[%]	87,4	12,6
2	276	120
[%]	69,7	30,3
3	274	122
[%]	69,2	30,8

**Tab. 29: Exposition: Vergleich der subjektiven Beurteilung durch Befunder 1 und 2 (Krippendorffs Alpha: 0,342).**

Befunder 1 \ Befunder 2	gute Auflösung	Rauschen	gesamt
gute Auflösung	267	79	346
[%]	67,4	19,9	87,4
Rauschen	9	41	50
[%]	2,3	10,4	12,6
gesamt	276	120	396
[%]	69,7	30,3	100,0

**Tab. 30: Exposition: Vergleich der subjektiven Beurteilung durch Befunder 1 und 3 (Krippendorffs Alpha: 0,332).**

Befunder 1 \ Befunder 3	gute Auflösung	Rauschen	gesamt
gute Auflösung	265	81	346
[%]	66,9	20,5	87,4
Rauschen	9	41	50
[%]	2,3	10,4	12,6
gesamt	274	122	396
[%]	69,2	30,8	100,0

**Tab. 31: Exposition: Vergleich der subjektiven Beurteilung durch Befunder 2 und 3 (Krippendorffs Alpha: 0,513).**

Befunder 2 \ Befunder 3	gute Auflösung	Rauschen	gesamt
gute Auflösung	234	42	276
[%]	59,1	10,6	69,7
Rauschen	40	80	120
[%]	10,1	20,2	30,3
gesamt	274	122	396
[%]	69,2	30,8	100,0

Die Befunder 1 und 2 gingen in ihren Einschätzungen des sichtbaren Rauschens auf den Aufnahmen in 77,8 % der Fälle konform (Krippendorffs Alpha: 0,342; Tab. 29). Befunder 1 und 3 waren in 77,3 % (Krippendorffs Alpha: 0,332; Tab. 30) und Befunder 2 und 3 in 79,3 % (Krippendorffs Alpha: 0,513) ihrer Einschätzungen gleich (Tab. 31).

### 3.2.5 Befundbarkeit

Befunder 1 war der Meinung, dass 90,2 % der Thoraxaufnahmen optimal zu befunden waren, weitere 8,8 % seien eingeschränkt zu befunden und lediglich 1 % wurde von ihm als nicht verwertbar angesehen. Befunder 2 empfand 87,1 % als optimal und 12,6 % eingeschränkt zu befunden. Nur eine Aufnahme wurde als nicht verwertbar klassifiziert. Befunder 3 beurteilte 83,3 % als optimal, 16,7 % als eingeschränkt zu befunden und keine Aufnahme als nicht verwertbar (Tab. 32).

**Tab. 32: Subjektive Beurteilung der Befundbarkeit durch drei Kinderradiologen (n = 396).**

Befunder	optimal	eingeschränkt zu befunden	nicht verwertbar
1	357	35	4
[%]	90,2	8,8	1,0
2	345	50	1
[%]	87,1	12,6	0,3
3	330	66	0
[%]	83,3	16,7	0,0

Die Prozentzahl gleicher Bewertungen aller drei Kinderradiologen lag bei 71,7 %. Krippendorffs Alpha betrug hierbei 0,180. Die Gegenüberstellung der Aussagen von Befunder 1 und 2 in Bezug auf die Befundbarkeit zeigte eine Übereinstimmung von 82,4 % (Krippendorffs Alpha: 0,157; Tab. 33). Befunder 1 und Befunder 3 wiesen eine Einigkeit von 81,3 % (Krippendorffs Alpha: 0,224; Tab. 34) und Befunder 2 und 3 von 79,5 % (Krippendorffs Alpha: 0,222; Tab. 35) auf. Insgesamt konnte aus diesem Ergebnis, trotz nicht zufriedenstellender Übereinstimmung der drei Kinderradiologen abgeleitet werden, dass die bei der objektiven Qualitätsbeurteilung festgestellten erheblichen Mängel offensichtlich einen nur geringen Einfluss auf die Befundbarkeit der Aufnahmen hatten.

Tab. 33: Befundbarkeit: Vergleich der subjektiven Beurteilung durch Befunder 1 und 2 (Krippendorffs Alpha: 0,157).

Befunder 1 \ Befunder 2	optimal	eingeschränkt zu befunden	nicht verwertbar	gesamt
optimal [%]	317 80,1	40 10,1	0 0,0	357 90,2
eingeschränkt zu befunden [%]	27 6,8	8 2,0	0 0,0	35 8,8
nicht verwertbar [%]	1 0,3	2 0,5	1 0,3	4 1,0
gesamt [%]	354 87,1	50 12,6	1 0,3	396 100,0

Tab. 34: Befundbarkeit: Vergleich der subjektiven Beurteilung durch Befunder 1 und 3 (Krippendorffs Alpha: 0,224).

Befunder 1 \ Befunder 3	optimal	eingeschränkt zu befunden	nicht verwertbar	gesamt
optimal [%]	308 77,8	49 12,4	0 0,0	357 90,2
eingeschränkt zu befunden [%]	21 5,3	14 3,5	0 0,0	35 8,8
nicht verwertbar [%]	1 0,3	3 0,8	0 0,0	4 1,0
gesamt [%]	330 83,3	66 16,7	0 0,0	396 100,0

Tab. 35: Befundbarkeit: Vergleich der subjektiven Beurteilung durch Befunder 2 und 3 (Krippendorffs Alpha: 0,222).

Befunder 2 \ Befunder 3	optimal	eingeschränkt zu befunden	nicht verwertbar	gesamt
optimal [%]	279 75,0	48 12,1	0 0,0	345 87,1
eingeschränkt zu befunden [%]	32 8,1	18 4,5	0 0,0	50 12,6
nicht verwertbar [%]	1 0,3	0 0,0	0 0,0	1 0,3
gesamt [%]	330 83,3	66 16,7	0 0,0	396 100,0

### 3.3 Ergebnisse der objektiven Beurteilung der Bildgüte

#### 3.3.1 Minimale Feldgröße

##### 3.3.1.1 Abhängigkeit der minimalen Feldgröße vom Patientenalter

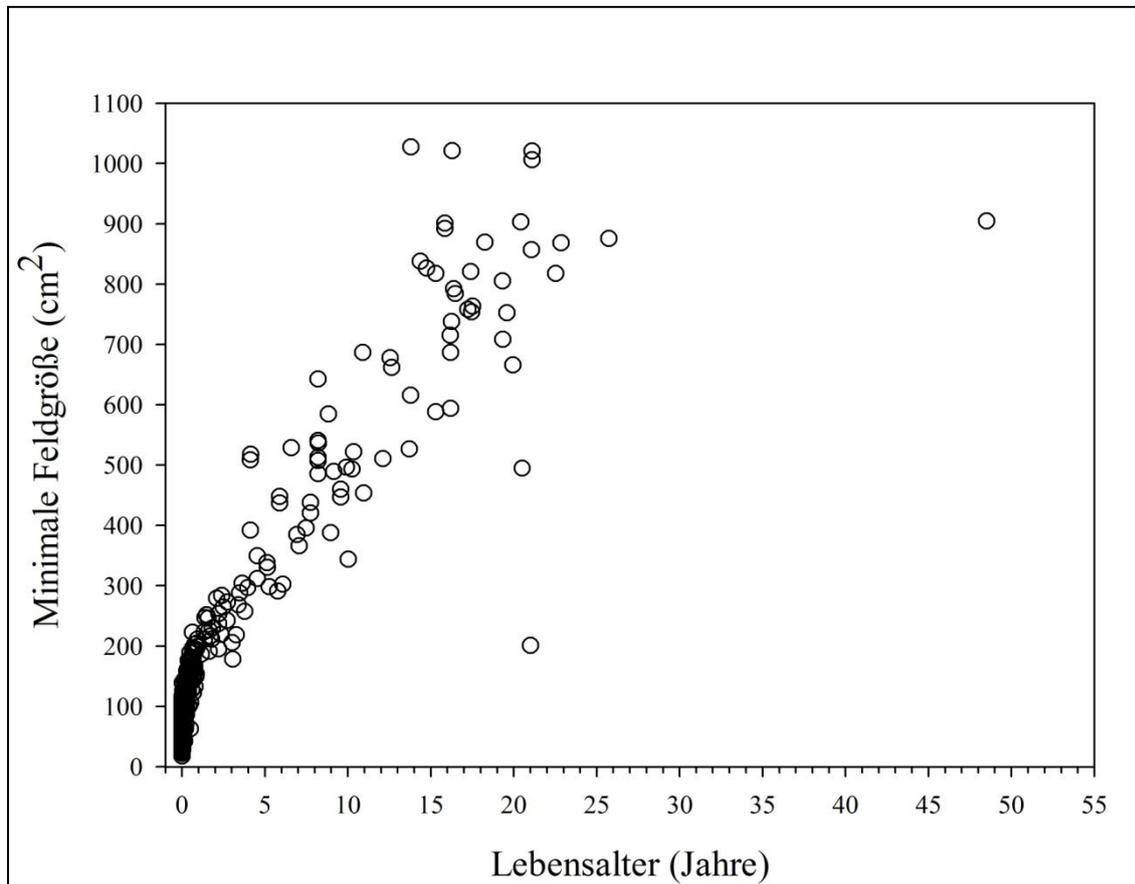


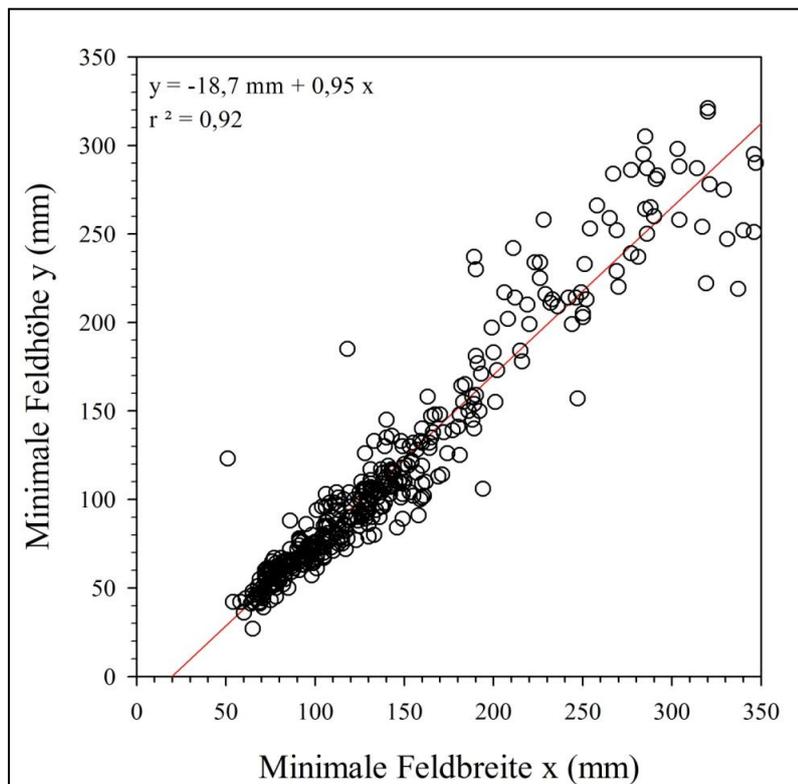
Abb. 15: Abhängigkeit der minimalen Feldgröße vom Alter der Patienten.

Die Abhängigkeit der minimalen Feldgröße vom Patientenalter unterschied sich hochsignifikant von null mit einer Spearman'schen Korrelation  $r = 0,885$  ( $n = 396$ ), mit  $p < 0,0005$  (Abb. 15).

Da die in dieser Arbeit definierte minimale Feldgröße ein Maß für die Größe des knöchernen Thorax ist, war im Säuglings- und Kleinkindalter eine enge Korrelation der von uns definierten minimalen Thoraxfläche mit dem Lebensalter erkennbar. Bei Frühgeborenen wurde in dieser Auswertung das jeweilige Gestationsalter noch nicht einmal berücksichtigt, was zu einer noch engeren Korrelation hätte führen müssen. Mit zunehmendem Alter fand sich dann erwartungsgemäß eine größere Streuung entsprechend den individuellen Größenunterschieden der Patienten, wie dies auch in den üblichen Perzentilenkurven des Wachstums zum Ausdruck kommt.

### 3.3.1.2 Abschätzung der „optimalen“ Feldgröße

Exemplarisch für alle Altersstufen wurde die Thoraxbreite einschließlich des Weichteilmantels bei elf optimal beurteilbaren Aufnahmen gemessen. Eine solche Messung war aufgrund der Einblendung bzw. Kollimation oder Verdrehung nicht bei allen Patienten sinnvoll möglich. Der Quotient aus Thoraxbreite mit Weichteilmantel und minimaler Thoraxbreite betrug zwischen 1,05 und 1,09. Dies bedeutete, dass eine Feldeinblendung auf die äußere maximale Hautgrenze des Thorax eine Feldbreite ergab, welche die minimale Thoraxbreite um unter 10 % überstieg. Darüber hinaus konnte anhand aller Thoraces festgestellt werden, dass dieser Betrag der Thoraxbreite bei ordnungsgemäßer Zentrierung in allen Fällen auch für die notwendige Thoraxlänge (entspricht der kranio-kaudalen Thoraxhöhe) ausreichend gewesen wäre (Abb. 16).



**Abb. 16: Verhältnis der minimalen Feldbreite zur minimalen Feldhöhe. Das Bestimmtheitsmaß  $r^2$  von 0,92 und die Steigung von 0,95 zeigen, dass ein quadratisches Feld ein Optimum der Feldeinblendung darstellt.**

Bei der Messung der minimalen Feldgrößen war der Betrag der Thoraxlängen bis auf wenige Ausnahmen gleich der Thoraxbreite oder geringfügig kleiner. Bei schlechter Inspiration lag die Feldlänge sogar regelmäßig deutlich unter der optimalen Feldbreite. Erhöht man deshalb unter gleichzeitigem Anstreben eines quadratischen Feldes sowohl die minimale Thoraxbreite als auch die minimale Thoraxhöhe um jeweils 10 %, so

resultiert hieraus eine Flächenzunahme des Strahlenfeldes von 21 %. Mit einem quadratischen Feld könnte so eine optimale Einblendung in allen Fällen gewährleistet werden, ohne Gefahr zu laufen, die Recessus costodiaphragmatici zu beschneiden.

### **3.3.2 Verhältnis der tatsächlichen Feldgröße zur minimalen Feldgröße (Einblendung)**

Die durchschnittliche Feldgröße aller 396 in die Studie einbezogenen Aufnahmen war jedoch um den Faktor  $1,64 \pm 0,42$  größer als die minimale Feldgröße (Tab. 36 und 37). Berücksichtigt man die in der vorliegenden Studie ermittelte „optimale Feldgröße“, die durchschnittlich um den Faktor 1,2 größer als die minimale Feldgröße sein darf, so wird diese von den tatsächlichen Feldgrößen immer noch um rund 40 % überschritten.

#### **3.3.2.1 Abhängigkeit der Einblendung von der Tageszeit**

Unabhängig von dem ausführenden Personenkreis wurde die Qualität der Einblendung in Abhängigkeit von der Tageszeit der Anfertigung betrachtet. Der t-Test auf Gleichheit der Mittelwerte zu den verschiedenen Tageszeiten zeigte einen schwach signifikanten Unterschied ( $p = 0,036$ ). Die exponierten Flächen tagsüber waren knapp signifikant größer als die abends und nachts. Dies bedeutet, dass die exponierte Thoraxfläche im Nachtdienst kleiner war und damit offensichtlich nachts enger eingebildet wurde (Tab. 36).

**Tab. 36: Abhängigkeit der Einblendung von der Tageszeit. Aufgeführt sind die Anzahl der ausgewerteten Aufnahmen zur jeweiligen Dienstzeit, der Mittelwert der überschrittenen minimalen Feldgröße und die entsprechende Standardabweichung.**

<b>Uhrzeit</b>	<b>Anzahl</b>	<b>Mittelwert</b>	<b>Std.abw.</b>
<b>8:01 – 18:30 Uhr</b>	<b>198</b>	<b>1,69</b>	<b>± 0,46</b>
<b>18:31 – 8:00 Uhr</b>	<b>198</b>	<b>1,60</b>	<b>± 0,38</b>
<b>gesamt</b>	<b>396</b>	<b>1,64</b>	<b>± 0,42</b>

#### **3.3.2.2 Abhängigkeit der Einblendung von der ausführenden Untersuchergruppe**

Obwohl im Nachtdienst die MTRA der Abteilung Diagnostische Radiologie und die Ärzte der Intensivstationen die Röntgenaufnahmen anfertigten, hingegen tagsüber die MTRA der Abteilung Kinderradiologie, ließen sich keine berufsgruppenspezifischen Unterschiede erkennen. Der F-Test auf Gleichheit der Mittelwerte ergab keine

signifikanten Gruppenunterschiede ( $p = 0,980$ , Tab. 37). Dies kann nur mit der Tatsache erklärt werden, dass von allen Berufsgruppen annähernd identisch eingblendete Thoraxaufnahmen vorlagen.

**Tab. 37: Abhängigkeit der Einblendung von der ausführenden Untersuchergruppe. Aufgeführt sind die Anzahl der ausgewerteten Aufnahmen, der Mittelwert der überschrittenen minimalen Feldgröße und die entsprechende Standardabweichung, aufgeschlüsselt nach der ausführenden Untersuchergruppe.**

Berufsgruppe	Anzahl	Mittelwert	Std.abw.
K MTRA	106	1,65	± 0,44
D MTRA	96	1,64	± 0,38
A	96	1,63	± 0,43
AI	98	1,65	± 0,45
gesamt	396	1,64	± 0,42

Obgleich durch nahezu alle Ausführenden eher zu weit aufgeblendete Aufnahmen angefertigt wurden, wurden dennoch bei 93 Aufnahmen durch die gleichzeitig bestehende Fehlzentrierung (23 % aller Aufnahmen) bildrelevante Bereiche abgeschnitten. Bei den jeweiligen Berufsgruppen variierte die Anzahl dieser Aufnahmen zwischen 16 und 27 Aufnahmen. Statistisch signifikante Unterschiede der beteiligten Berufsgruppen ließen sich jedoch nicht nachweisen ( $p = 0,249$  im  $\chi^2$ -Test).

### 3.3.2.3 Abhängigkeit der „optimalen“ Einblendung von der Tageszeit

Auch wenn im Nachtdienst (18:31 – 8:00 Uhr) mehr als die doppelte Anzahl der Aufnahmen optimal (10 % zur minimalen Feldhöhe und Feldbreite) eingblendet wurden, überwogen letztlich sowohl im Tag- als auch im Nachtdienst die zu weit aufgeblendeten Aufnahmen. Hierdurch ließ sich kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Dienstzeiten ermitteln (exakter Test nach Fisher,  $p$ -Wert = 0,1061; Tab. 38).

**Tab. 38: Abhängigkeit der optimalen Einblendung von der Tageszeit. Als optimale Einblendung wurde eine Feldgröße definiert, bei der die jeweilige Feldlänge und -breite die minimale Feldlänge bzw. -höhe nicht mehr als 10 % überschritt. Dies entsprach einer maximalen Flächenzunahme von 21 %.**

optimale Einblendung / Tageszeit	optimal	nicht optimal	gesamt
8:01 – 18:30 Uhr [%]	6 3,0	192 97,0	198 100,0
18:31 – 8:00 Uhr [%]	14 7,1	184 92,9	198 100,0
gesamt [%]	20 5,0	376 95,0	396 100,0

### 3.3.2.4 Abhängigkeit der „optimalen“ Einblendung von der ausführenden Untersuchergruppe

Die gleiche Feststellung wurde bei Betrachtung der beteiligten Berufsgruppen getroffen. Obwohl die Ärzte, die „anonym“ Röntgenaufnahmen angefertigt hatten, mit zehn Aufnahmen die höchste Zahl an optimal eingblendeten Aufnahmen anfertigten, überwogen bei allen die zu weit aufgeblendeten. Hierdurch ergab sich keine Signifikanz (exakter Test nach Fisher, p-Wert = 0,0545; Tab. 39).

**Tab. 39: Abhängigkeit der optimalen Einblendung von der ausführenden Untersuchergruppe. Als optimale Einblendung wurde eine Feldgröße definiert, bei der die jeweilige Feldlänge und -höhe die minimale Feldlänge bzw. -höhe um nicht mehr als 10 % überschritt.**

<b>Berufsgruppe optimale Einblendung</b>	<b>K MTRA</b>	<b>D MTRA</b>	<b>A</b>	<b>AI</b>	<b>gesamt</b>
<b>optimal</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>
<b>[%]</b>	<b>2,8</b>	<b>2,1</b>	<b>5,2</b>	<b>10,2</b>	<b>5,0</b>
<b>nicht optimal</b>	<b>103</b>	<b>94</b>	<b>91</b>	<b>88</b>	<b>376</b>
<b>[%]</b>	<b>97,2</b>	<b>97,9</b>	<b>94,8</b>	<b>89,8</b>	<b>95,0</b>
<b>gesamt</b>	<b>106</b>	<b>96</b>	<b>96</b>	<b>98</b>	<b>396</b>
<b>[%]</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>

### 3.3.3 Zentrierung

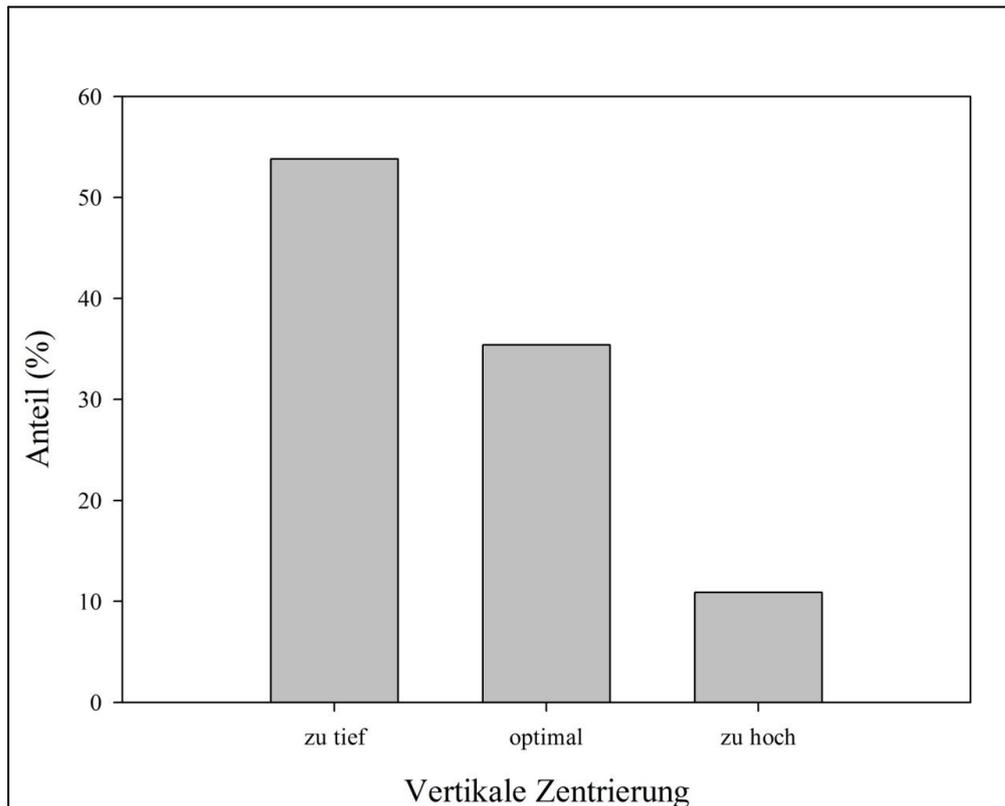
**Tab. 40: Zentrierung vertikal. Angegeben ist die Differenz zwischen oberem und unterem Bildrand in Bezug auf die minimale Feldgröße [mm].**

<b>Klassifizierung</b>	<b>Differenz</b>	<b>Anzahl</b>	<b>[%]</b>
<b>zu tief</b>	<b>≤ -10</b>	<b>213</b>	<b>53,8</b>
<b>optimal</b>	<b>&gt; -10 ; &lt; 10</b>	<b>140</b>	<b>35,4</b>
<b>zu hoch</b>	<b>≥ 10</b>	<b>43</b>	<b>10,9</b>
<b>gesamt</b>		<b>396</b>	<b>100,0</b>

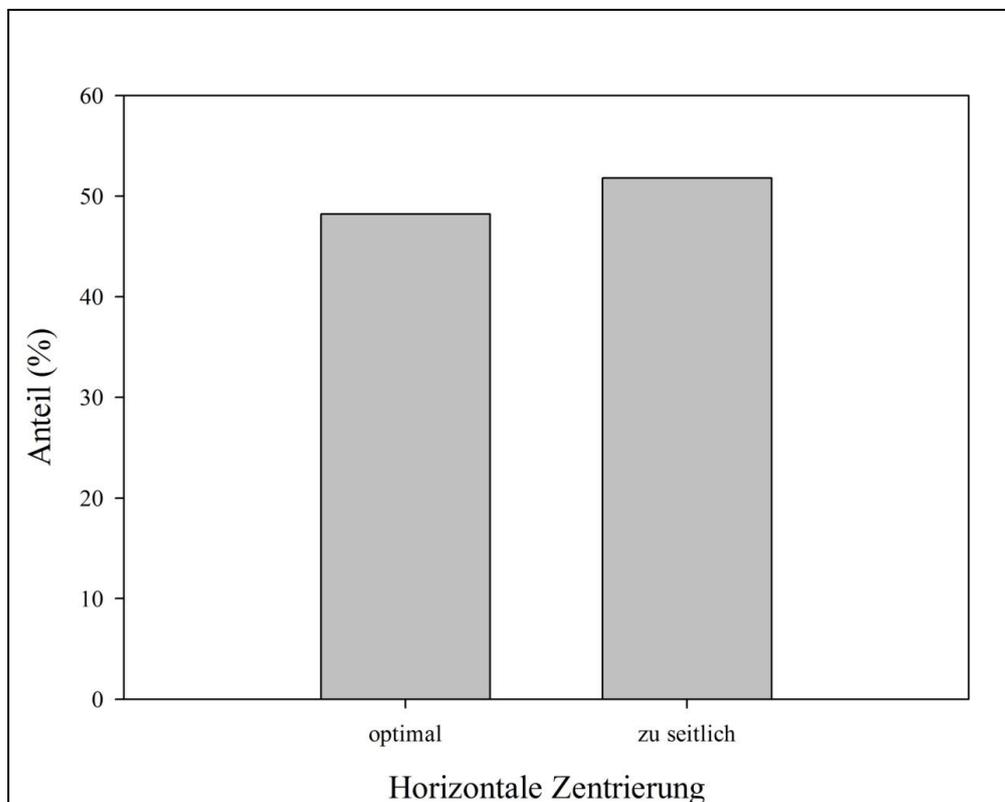
**Tab. 41: Zentrierung horizontal. Angegeben ist die Differenz zwischen rechtem und linkem Bildrand in Bezug auf die minimale Feldgröße [mm].**

<b>Klassifizierung</b>	<b>Differenz [mm]</b>	<b>Anzahl</b>	<b>[%]</b>
<b>optimal</b>	<b>≤ 5</b>	<b>191</b>	<b>48,2</b>
<b>zu seitlich</b>	<b>&gt; 5</b>	<b>205</b>	<b>51,8</b>
<b>gesamt</b>		<b>396</b>	<b>100,0</b>

Nur 35,4 % der Aufnahmen waren in kranio-kaudaler Richtung optimal zentriert. Mehr als die Hälfte der Aufnahmen (53,8 %) waren zu tief und weitere 10,9 % zu hoch zentriert (Abb. 17, Tab. 40). Gelegentlich werden bei Früh- und Neugeborenen auf der Intensivstation Thoraxaufnahmen gemeinsam mit dem Abdomen angefertigt, meist mit der Absicht, frisch platzierte Katheter auf einer Aufnahme abgrenzen zu können.



**Abb. 17:** Anzahl der optimal und fehlerhaft zentrierten Röntgenaufnahmen in vertikaler Richtung (siehe Tab. 40).



**Abb. 18:** Anzahl der optimal und fehlerhaft zentrierten Röntgenaufnahmen in horizontaler Richtung (siehe Tab. 41).

Da diese „Thoraxaufnahmen mit Abdomen“ gezielt aus der Auswertung ausgeschlossen wurden, konnten die dennoch nachweisbaren Fehlzentrierungen hiermit nicht begründet werden.

Ein ähnliches Ergebnis erbrachte die Auswertung der horizontalen Zentrierung. Hierbei waren 48,2 % optimal und 51,8 % mehr als 5 mm zu weit seitlich aus der Körperlängsachse heraus dezentriert (Abb. 18, Tab. 41). Ob eine bestimmte Seite bevorzugt wurde, blieb dabei unberücksichtigt, da dies als klinisch irrelevant angesehen wurde.

### 3.3.3.1 Abhängigkeit der Zentrierung vom Patientenalter

Mithilfe des Friedman-Tests für unabhängige Stichproben konnte nachgewiesen werden, dass die Qualität der Zentrierung hochsignifikant vom Alter der Patienten abhängig war. Die Patienten mit optimal zentrierten Aufnahmen hatten den signifikant niedrigsten Altersdurchschnitt ( $p < 0,0005$ ). Hieraus konnte geschlossen werden, dass die Beträge der Abweichungen von einer optimalen Zentrierung, aufgrund der zunehmenden Körperdimensionen älterer Patienten, entsprechend größer wurden (Tab. 42).

**Tab. 42: Abhängigkeit der vertikalen Zentrierung vom Alter in Tagen. Aufgeführt sind Median, Mittelwert und Standardabweichung der optimal und vertikal fehlzentrierten Aufnahmen.**

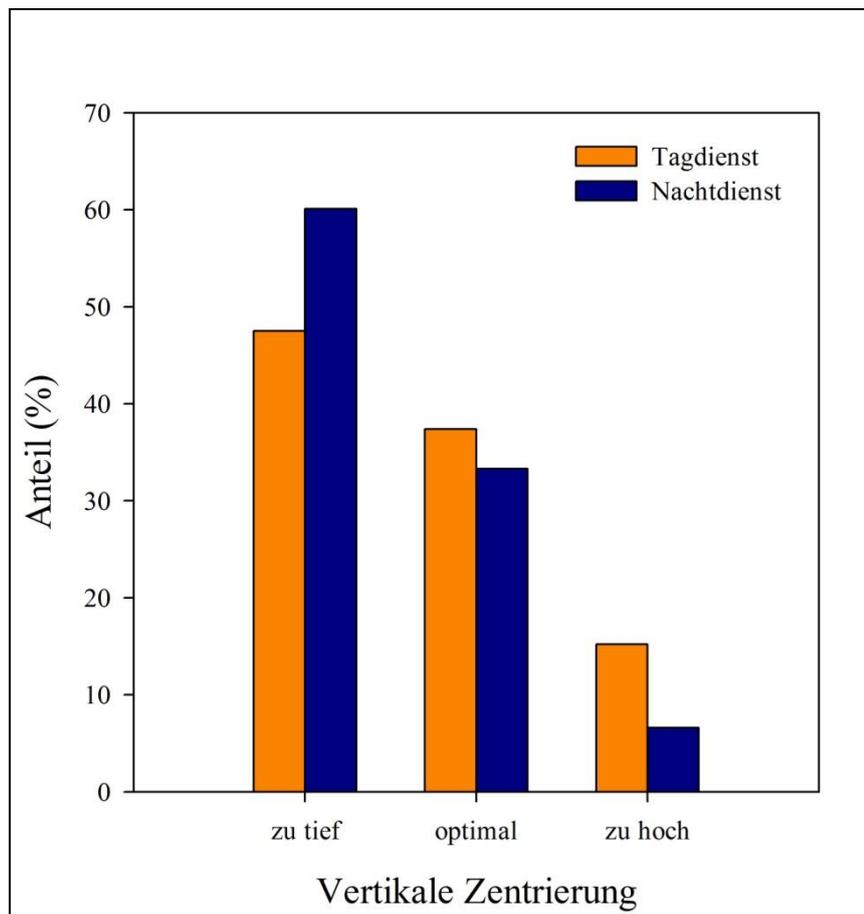
Zentrierung	Anzahl	Median [Tage]	Mittelwert [Tage]	Standardabweichung
zu tief	213	153,0	1379,14	± 2295,41
optimal	140	5,5	358,13	± 1709,02
zu hoch	43	92,0	904,70	± 1779,11
gesamt	396	61,5	966,66	± 2101,35

### 3.3.3.2 Abhängigkeit der Zentrierung von der Tageszeit

Der Chi<sup>2</sup>-Test ( $p = 0,006$ ) auf Gleichheit der Verteilungen zu den Tageszeiten zeigte eine hochsignifikante unterschiedliche Verteilung zwischen Tag- und Nachtdienst. Dabei zeigte der Vergleich einen höheren Anteil exakt zentrierter Aufnahmen im Tagdienst. Während die Aufnahmen nachts häufiger zu tief zentriert waren, waren sie tagsüber wiederholt zu hoch zentriert (Tab. 43, Abb. 19).

**Tab. 43:** Abhängigkeit der vertikalen Zentrierung von der Tageszeit. Aufgeführt ist die Anzahl der optimalen und vertikal fehlzentrierten Aufnahmen zu den jeweiligen Dienstzeiten (nach Tab. 5).

objektive Zentrierg. Tageszeit	zu tief	optimal	zu hoch	gesamt
8:01 – 18:30 Uhr [%]	94 47,5	74 37,4	30 15,2	198 100,0
18:31 – 8:00 Uhr [%]	119 60,1	66 33,3	13 6,6	198 100,0
gesamt [%]	213 53,8	140 35,4	43 10,9	396 100,0



**Abb. 19:** Abhängigkeit der vertikalen Zentrierung von der Tageszeit. Dargestellt ist die Anzahl der optimalen und vertikal fehlzentrierten Aufnahmen zu den jeweiligen Dienstzeiten (nach Tab. 5).

### 3.3.3.3 Abhängigkeit der Zentrierung von der ausführenden Untersuchergruppe

Tab. 44: Abhängigkeit der vertikalen Zentrierung von der ausführenden Untersuchergruppe (nach Tab. 5).

Berufsgruppe vertikale Zentrierung	K MTRA	D MTRA	A	AI	gesamt
zu tief	46	59	52	56	213
[%]	43,4	61,5	54,2	57,1	53,8
optimal	39	33	34	34	140
[%]	36,8	34,4	35,4	34,7	35,4
zu hoch	21	4	10	8	43
[%]	19,8	4,1	10,4	8,2	10,9
gesamt	106	96	96	98	396
[%]	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Zwischen den Berufsgruppen fanden sich signifikante Unterschiede in Bezug auf die vertikale Zentrierung (Chi<sup>2</sup>-Test mit p = 0,014). Allen Untersuchergruppen gemeinsam war, dass ihre Aufnahmen signifikant häufiger zu tief (53,8 %) als zu hoch (10,9 %) zentriert waren (Tab. 44).

Tab. 45: Abhängigkeit der horizontalen Zentrierung von der ausführenden Untersuchergruppe (nach Tab. 6).

Berufsgruppe horizont. Zentrierung	K MTRA	D MTRA	A	AI	gesamt
optimal	44	47	51	49	191
[%]	41,5	49,0	53,1	50,0	48,2
zu seitlich	62	49	45	49	205
[%]	58,5	51,0	46,9	50,0	51,8
gesamt	106	96	96	98	396
[%]	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Obwohl bei der horizontalen Zentrierung keine signifikanten Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Berufsgruppen (Chi<sup>2</sup>-Test mit p = 0,394) zu ermitteln waren, erreichten die beiden Ärztgruppen gegenüber den MTRA geringfügig bessere Zentrierungen (Tab. 45). Gegenüber allen anderen beteiligten Gruppen erzielten die MTRA der Abteilung Kinderradiologie mit nur 41,5 % optimal eingestellten Aufnahmen insbesondere gegenüber den namentlich bekannten Ärzten der Intensivstationen, die 53,1 % optimal eingestellte Aufnahmen erreichten, die niedrigsten Ergebnisse.

### 3.3.3.4 Gemeinsame Beurteilung der horizontalen und der vertikalen Zentrierung

Bei der Betrachtung der Dezentrierungen allgemein zeigt sich, dass alle an der Anferti-  
gung der Thoraxaufnahmen beteiligten Berufsgruppen nur etwa 20 % ordnungsgemäß  
zentriert hatten. Die übrigen Aufnahmen waren horizontal und/oder vertikal dezen-  
triert. Hierbei ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den beteiligten  
Berufsgruppen (exakter Test nach Fisher mit  $p = 0,8848$ ; Tab. 46).

**Tab. 46: Abhängigkeit der horizontalen und vertikalen Zentrierung von der ausführenden Unter-  
suchergruppe (nach Tab. 5 und 6).**

Berufsgruppe Zentrierung	K MTRA	D MTRA	A	AI	gesamt
optimal [%]	18 17,0	20 20,8	20 20,8	19 19,4	77 19,4
nicht optimal [%]	88 83,0	76 79,2	76 79,2	79 80,6	319 80,6
gesamt [%]	106 100,0	96 100,0	96 100,0	98 100,0	396 100,0

### 3.3.4 Beurteilung der nachträglichen Einblendung (Kollimation)

Von den 396 in die Auswertung einbezogenen Röntgenaufnahmen waren im Durch-  
schnitt zwei Feldränder (Mittelwert: 1,64) sichtbar, anhand derer die tatsächliche Feld-  
grenze erkennbar war. Im Median waren es zwei der, aufgrund der Röntgenverordnung,  
geforderten vier Ränder, die hätten sichtbar bleiben müssen, um jederzeit noch die  
Feldgrenzen des original exponierten Primärstrahlenfeldes abgrenzen zu können (Tab.  
48).

#### 3.3.4.1 Abhängigkeit der Kollimation vom Patientenalter

Es wurde untersucht, ob die nach elektronischer Kollimation sichtbar gebliebenen Feld-  
ränder vom Alter der untersuchten Patienten abhängig waren. Zu diesem Zweck wurden  
Mittelwert, Standardabweichung und Median der sichtbaren Feldränder mit dem Patien-  
tenalter in Beziehung gesetzt. Es zeigte sich eine Abhängigkeit der Kollimation vom  
Alter in Tagen mit einer Spearman'schen Korrelation  $r = 0,158$  (bei  $p = 0,002$ ). Der  
Friedman-Test für unabhängige Stichproben ergab signifikante Unterschiede ( $p =$   
 $0,015$ ). Diese fanden sich vor allem zwischen den beiden Gruppen, bei denen null ge-  
genüber drei Feldränder sichtbar blieben.

Bei Säuglingen waren nach der elektronischen Kollimation in der Regel die Feldränder des Primärstrahlenfeldes durch die elektronische Kollimation überlagert und deshalb nicht mehr abgrenzbar. Bei älteren Patienten wurden hingegen trotz Kollimation die Feldränder häufiger sichtbar gelassen (Tab. 47). Aus diesem Ergebnis konnte geschlossen werden, dass besonders bei den Säuglingen die Aufnahmen unzulässig nachbearbeitet wurden.

**Tab. 47: Abhängigkeit der sichtbaren Feldränder nach elektronischer Kollimation vom Alter in Tagen.**

Sichtbare Ränder Kollimation	Anzahl	Median [Tage]	Mittelwert [Tage]	Standardabweichung
0	105	5,0	696,15	± 1701,26
1	90	34,0	1132,38	± 2303,17
2	90	95,5	1010,70	± 2579,61
3	65	107,0	1078,28	± 1889,97
4	46	72,5	1015,98	± 1757,34
gesamt	396	61,5	966,66	± 2101,35

### 3.3.4.2 Abhängigkeit der Kollimation von der Tageszeit

Die Frage, ob im Tagdienst mit dem elektronischen Kollimationsverhalten anders umgegangen wurde als im Nachtdienst, konnte klar bejaht werden. Mithilfe des Mann-Whitney-Tests auf Gleichheit der Mediane zu den Tageszeiten ( $p = 0,003$ ) ließen sich hochsignifikante Gruppenunterschiede erkennen. Tagsüber waren signifikant mehr Feldränder sichtbar als außerhalb der regulären Dienstzeiten (Tab. 48).

**Tab. 48: Anzahl der sichtbaren Feldränder nach nachträglicher Kollimation in Abhängigkeit von der Tageszeit, in der die Aufnahmen angefertigt wurden. Aufgeführt sind Median, Mittelwert und Standardabweichung der sichtbar gebliebenen Feldränder.**

Tageszeit	Anzahl	Median	Mittelwert	Std.abw.
8:01 – 18:30 Uhr	198	2,0	1,84	± 1,36
18:31 – 8:00 Uhr	198	1,0	1,44	± 1,29
gesamt	396	2,0	1,64	± 0,42

### 3.3.4.3 Abhängigkeit der Kollimation von der ausführenden Untersuchergruppe

Da die Aufnahmen im Nachtdienst von einer anderen Untersuchergruppe ausgeführt wurden als im Tagdienst, lag nahe, auch zwischen diesen unterschiedlichen Berufsgruppen Unterschiede ermitteln zu können. Erwartungsgemäß fanden sich daher auch hochsignifikante Unterschiede in der Berufsgruppenverteilung (Kruskal-Wallis-Test,  $\text{Chi}^2 = 48,059$ ,  $\text{df} = 3$ ,  $p < 0,0005$ ; Tab. 49, Abb. 20).

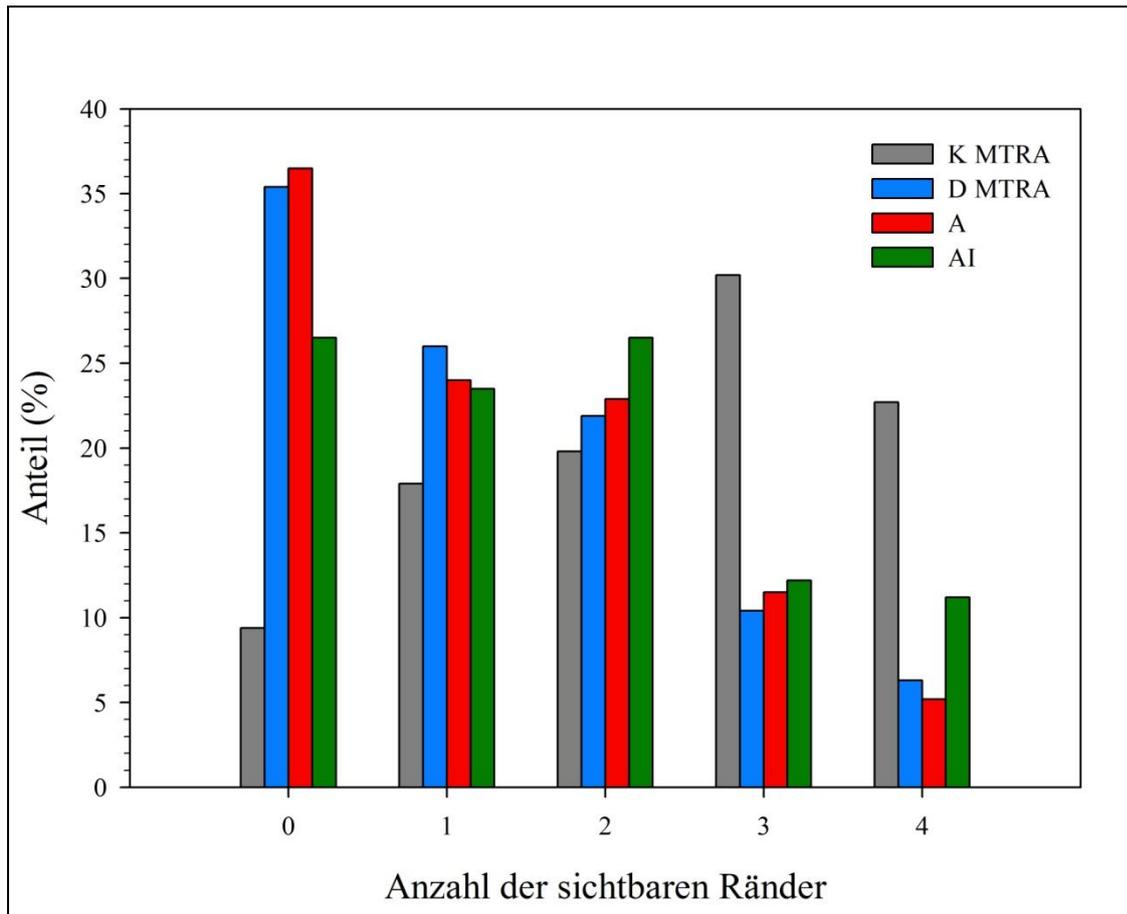


Abb. 20: Anzahl der sichtbaren Feldränder der Kollimation von der ausführenden Berufsgruppe (grau: K MTRA, blau: D MTRA, rot: A, grün: AI).

Tab. 49: Anzahl und Mittelwert der sichtbaren Feldränder nach nachträglicher Kollimation aufgeschlüsselt nach der ausführenden Untersuchergruppe.

Berufsgruppe \ sichtbare Ränder	K MTRA	D MTRA	A	AI	gesamt
0	10	34	35	26	105
0 [%]	9,4	35,4	36,5	26,5	26,5
1	19	25	23	23	90
1 [%]	17,9	26,0	24,0	23,5	22,7
2	21	21	22	26	90
2 [%]	19,8	21,9	22,9	26,5	22,7
3	32	10	11	12	65
3 [%]	30,2	10,4	11,5	12,2	16,4
4	24	6	5	11	46
4 [%]	22,7	6,3	5,2	11,2	11,6
gesamt	106	96	96	98	396
gesamt [%]	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
mittlere Anzahl der sichtbaren Feldränder	2,39	1,26	1,25	1,58	1,64

In anschließenden Mann-Whitney-Tests konnte gezeigt werden, dass sowohl die MTRA der Abteilung Diagnostische Radiologie als auch die beiden Ärztegruppen der Intensivstationen nach der Kollimation signifikant weniger Feldgrenzen sichtbar ließen als die MTRA der Abteilung Kinderradiologie (Bonferroni-korrigierte  $p < 0,001$ ; Tab. 50).

Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass gemäß Röntgenverordnung alle Ränder hätten sichtbar bleiben müssen, war das Ergebnis bei den MTRA der Kinderradiologie, die ebenfalls nur in knapp 23 % alle Feldränder erkennbar ließen, immer noch unzulänglich.

**Tab. 50: In den Mann-Whitney-Anschlussstests ermittelte p-Werte im Berufsgruppenvergleich bezüglich der sichtbar gebliebenen Feldränder.**

Berufsgruppen	A	AI	D MTRA
AI	0,47	-	-
D MTRA	1,00	0,50	-
K MTRA	< 0,0001	0,0001	< 0,0001

### 3.3.5 Verdrehung

#### 3.3.5.1 Abhängigkeit der Länge der ventralen Rippen von der minimalen Feldbreite und vom Patientenalter

Mit dem Ziel, den Grad der Thoraxverdrehung über alle Altersstufen beurteilen zu können, musste zunächst die ventrale Rippenlänge mit der Thoraxgröße in Beziehung gesetzt werden. Da eine gute Korrelation der minimalen Thoraxbreite mit dem Alter der Patienten bestand (Kapitel 3.3.1.1), erschien es naheliegend, auch den Grad der gemessenen Verdrehung hierauf zu beziehen.

Die rechnerisch ermittelte maximale ventrale Rippenlänge [Mittelwert aus Länge der rechten ventralen Rippe und Länge der linken ventralen Rippe; (rechte Rippe + linke Rippe) / 2] entspricht einer orthograden Einstellung des Thorax. Sie zeigte eine enge Korrelation mit der minimalen Feldbreite (Tab. 51, Abb. 21). Dieser Wert stand damit analog mit zunehmendem Alter der Patienten ebenfalls in einer engen positiven Korrelation (Tab. 52, Abb. 22). Die maximalen Längen der ventralen Rippen wiesen auch mit zunehmendem Alter der Patienten eine stärkere Streuung als bei den jüngeren Patienten auf (Abb. 21 und 22).

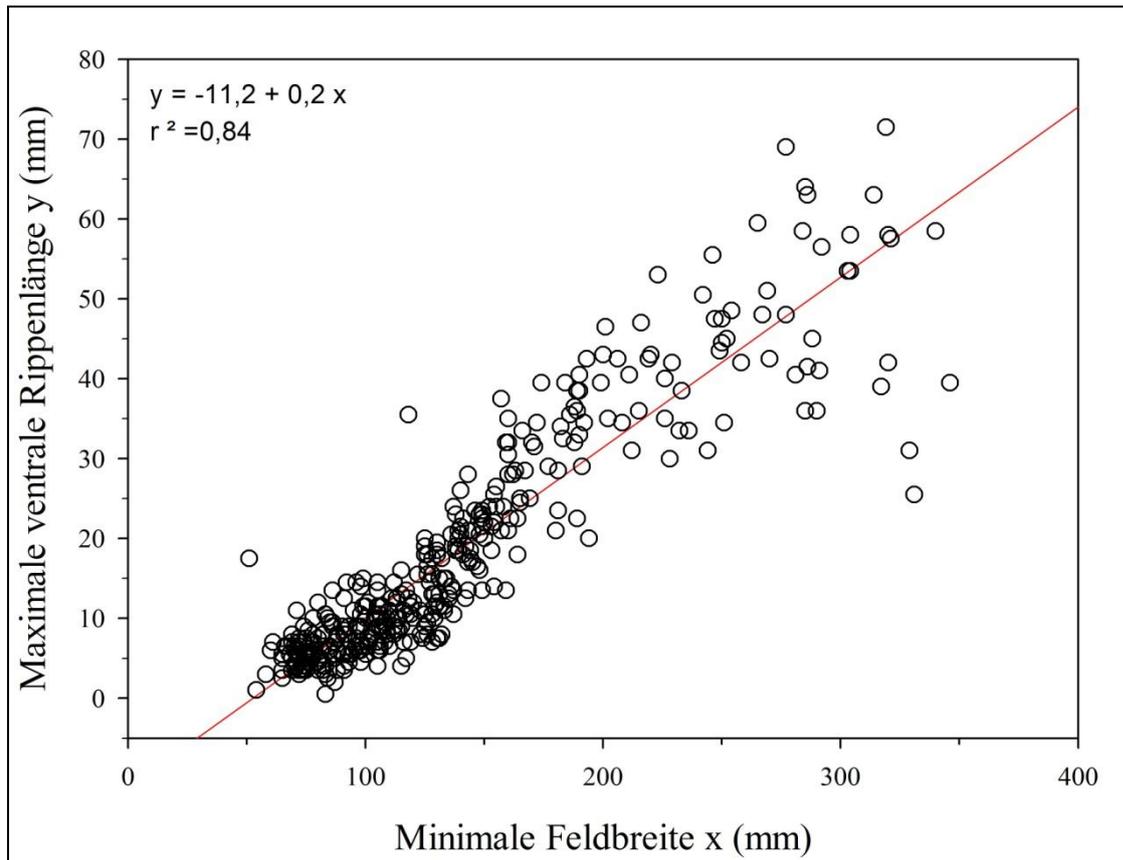


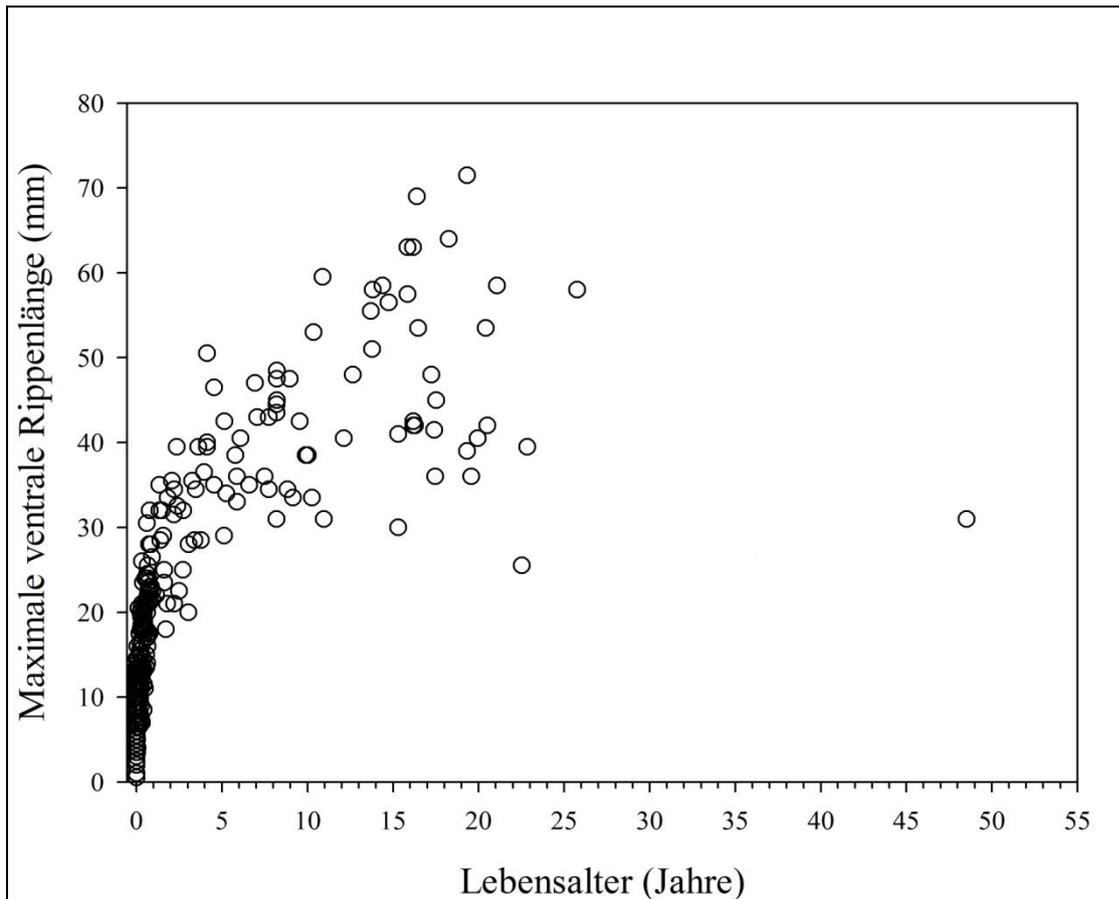
Abb. 21: Abhängigkeit der maximalen ventralen Rippenlänge [(rechts + links) / 2] von der minimalen Feldbreite. Variierende Rippenlängen durch die Verdrehung der Aufnahme wurden damit berücksichtigt. Regressionsgleichung:  $y = -11,2 + 0,2x$ . Die Regressionsgerade zeigt eine Steigung von 0,2. Das Bestimmtheitsmaß  $r^2$  von 0,84 spricht für einen guten Zusammenhang von minimaler Feldbreite und maximaler ventraler Rippenlänge.

Tab. 51: Abhängigkeit der maximalen ventralen Rippenlänge (rechts + links / 2) von der minimalen Feldbreite. Die minimale Feldbreite zeigte eine enge Korrelation mit der maximalen ventralen Rippenlänge.

Korrelation zur min. Feldbreite	Spearman'sches r	Anzahl	p-Wert
max. ventr. Ripplänge [mm]	0,909	391	< 0,001

Tab. 52: Abhängigkeit der maximalen ventralen Rippenlänge vom Alter der Patienten in Tagen. Das Patientenalter zeigte eine enge Korrelation mit der maximalen ventralen Rippenlänge.

Korr. zum Alter [Tage]	Spearman'sches r	Anzahl	p-Wert
max. ventr. Ripplänge [mm]	0,879	391	< 0,001



**Abb. 22:** Abhängigkeit der maximalen ventralen Rippenlänge vom Alter der Patienten. Dabei war in den ersten Lebenstagen eine enge Korrelation erkennbar, die mit zunehmendem Alter eine größere Streuung, gemäß dem individuell unterschiedlichen Wachstum, aufwies.

### 3.3.5.2 Verdrehung allgemein

Die maximalen ventralen Rippenlängen wurden im Seitenvergleich als Maß für die Verdrehung der Aufnahmen herangezogen. In die Auswertung der Verdrehung flossen 391 Aufnahmen ein. 5 der Aufnahmen konnten, aufgrund von Thoraxdeformitäten (Abb. 4) oder schlechter Qualität der Aufnahmen (Abb. 10), nicht beurteilt werden.

65,5 % der Thoraxaufnahmen wurden orthograd eingestellt geröntgt. 24,5 % der Aufnahmen waren nach der zuvor festgelegten Definition verdreht und 10,0 % der einbezogenen Aufnahmen wurden als stark verdreht klassifiziert (Tab. 53). Der geringste Wert der Differenz zwischen rechter und linker ventraler Rippenlänge betrug 0 %, der höchste Wert 24,8 %, der Mittelwert lag bei 4,6 % und die Standardabweichung betrug ebenfalls  $\pm 4,6$  %.

**Tab. 53: Ergebnisse der Verdrehung aller Thoraxaufnahmen ermittelt anhand der Differenz der längsten gegenüberliegenden ventralen Rippenanteile in Beziehung zur minimalen Thoraxbreite (nach Tab. 7).**

Klassifizierung	Quotient [%]	Anzahl	[%]
orthograd	0 – 5	256	65,5
verdreht	6 – 10	96	24,5
stark verdreht	> 10	39	10,0
gesamt		391	100,0

### 3.3.5.3 Abhängigkeit der Verdrehung von der Tageszeit

**Tab. 54: Abhängigkeit der Verdrehung von der jeweiligen Dienstzeit, in der die Aufnahme angefertigt wurde (nach Tab. 7).**

Verdrehung Tageszeit	orthograd	verdreht	stark verdreht	gesamt
8:01 – 18:30 Uhr [%]	122 62,6	51 26,2	22 11,3	195 100,0
18:31 – 8:00 Uhr [%]	134 68,4	45 23,0	17 8,7	196 100,0
gesamt [%]	256 65,5	96 24,6	39 10,0	391 100,0

In die Auswertung der Thoraxaufnahmen im Tagdienst waren überwiegend die Aufnahmen der MTRA der Kinderradiologie (101) und der Ärzte der Intensivstationen (74) einbezogen. Außerhalb der regulären Dienstzeit waren es Aufnahmen der Ärzte der Intensivstationen (120) und der MTRA der Abteilung Diagnostische Radiologie (73). Diese Häufigkeitsverteilung ergab sich zufällig aus der Auswahl der in die Studie einbezogenen Röntgenbilder, die der tatsächlichen Häufigkeit nur in etwa entsprach.

Der Chi<sup>2</sup>-Test auf Gleichheit der Verteilungen zu den Tageszeiten ergab keine signifikanten Gruppenunterschiede (mit p = 0,455) unter Einbeziehung der heterogenen Gruppen des ausführenden Personals. Dies ließ den Schluss zu, dass kein berufsgruppenunabhängiger Qualitätsunterschied zwischen Tag- und Nachtdienst bestand (Tab. 14 und 54).

### 3.3.5.4 Abhängigkeit der Verdrehung von der ausführenden Untersuchergruppe

Betrachtet man dazu die einzelnen Berufsgruppen, ergab sich ebenfalls kein Unterschied (Chi<sup>2</sup>-Test mit  $p = 0,596$ ; Abb. 23, Tab. 55).

Tab. 55: Abhängigkeit der Verdrehung von der ausführenden Untersuchergruppe.

Berufsgruppe objektive Verdrehung	K MTRA	D MTRA	A	AI	gesamt
orthograd [%]	63 60,0	65 67,7	64 67,4	64 67,4	256 65,5
verdreht [%]	33 31,4	22 22,9	19 20,0	22 23,1	96 24,5
stark verdreht [%]	9 8,6	9 9,4	12 12,6	9 9,5	39 10,0
gesamt [%]	105 100,0	96 100,0	95 100,0	95 100,0	391 100,0

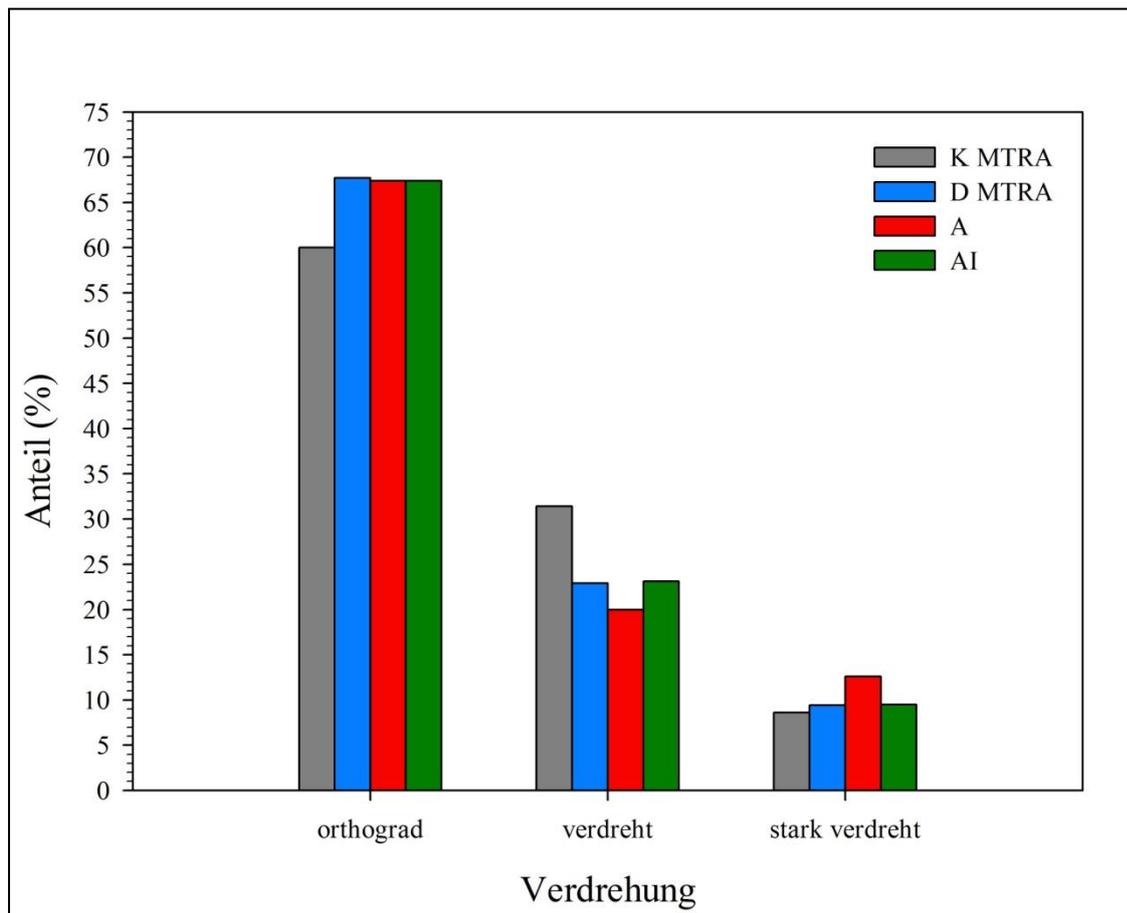


Abb. 23: Abhängigkeit der Verdrehung von der ausführenden Berufsgruppe (grau: K MTRA, blau: D MTRA, rot: A, grün: AI).

### 3.3.6 Beurteilung vermeidbarer Überlagerungen

#### 3.3.6.1 Abhängigkeit vermeidbarer Überlagerungen vom Patientenalter

17 der 396 Röntgenaufnahmen waren durch Unterarme, Hände, andere Körperteile oder entfernbare Fremdmaterialien zumindest teilweise überlagert. Auf einer Aufnahme waren sowohl die Hände eines Patienten als auch vermeidbares Fremdmaterial abgebildet. Die Kinder, bei deren Aufnahmen diese Überlagerungen festzustellen waren, waren mit einem Altersmedian von nur 8 Tagen wesentlich jünger als die Patienten, bei denen keine Fremdkörperüberlagerungen vorlagen. Diese wiesen einen Median von 67 Tagen auf. Da die Anzahl der Patienten mit Überlagerungen jedoch insgesamt erfreulich gering war, verwundert es nicht, dass dieser Unterschied nicht signifikant war. So ließ sich im Mann-Whitney-Test ( $p = 0,298$ ) für unabhängige Stichproben keine Signifikanz erkennen (Tab. 56).

**Tab. 56: Abhängigkeit vermeidbarer Überlagerungen durch Fremdkörper und Körperteile vom Alter der Patienten. Aufgelistet sind Median, Mittelwert und Standardabweichung des Patientenalters in Tagen bezüglich vermeidbarer Überlagerungen.**

vermeidbare Überlagerungen	Anzahl	Median [Tage]	Mittelwert [Tage]	Standardabweichung
nein	379	67,0	988,94	± 2122,17
ja	17	8,0	469,76	± 1529,75
gesamt	396	61,5	966,66	± 2101,35

#### 3.3.6.2 Abhängigkeit vermeidbarer Überlagerungen von der Tageszeit

Die Anwesenheit vermeidbarer Überlagerungen auf den Aufnahmen scheint von der Uhrzeit, zu der die Aufnahmen angefertigt wurden, unabhängig zu sein (Tab. 57). Mit Hilfe des exakten Tests nach Fisher ( $p = 0,621$ ) auf Gleichheit der Verteilungen zu den Tageszeiten konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen Tag- und Nachtdienst bestätigt werden.

**Tab. 57: Abhängigkeit vermeidbarer Überlagerungen durch Fremdkörper und Körperteile von der Tageszeit, zu der die Aufnahme angefertigt wurde.**

Überlagerungen Tageszeit	nein	ja	gesamt
8:01 – 18:30 Uhr [%]	191 96,5	7 3,5	198 100,0
18:31 – 8:00 Uhr [%]	188 94,9	10 5,1	198 100,0
gesamt [%]	379 95,7	17 4,3	396 100,0

### 3.3.6.3 Abhängigkeit vermeidbarer Überlagerungen von der ausführenden Untersuchergruppe

Im Chi<sup>2</sup>-Test ( $p = 0,006$ ) gab es einen hochsignifikanten Unterschied zwischen den verschiedenen Berufsgruppen. Die MTRA der Abteilung Diagnostische Radiologie hatten mit 8,3 % Aufnahmen einen höheren Fremdkörperanteil als alle anderen Berufsgruppen (Tab. 58).

**Tab. 58:** Anzahl vermeidbarer Überlagerungen durch Fremdkörper in Abhängigkeit von der ausführenden Berufsgruppe.

Berufsgruppe Fremdkörper	K MTRA	D MTRA	A	AI	gesamt
nein	104	88	95	97	384
[%]	98,1	91,7	99,0	99,0	97,0
ja	2	8	1	1	12
[%]	1,9	8,3	1,0	1,0	3,0
gesamt	106	96	96	98	396
[%]	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

In insgesamt nur sechs Fällen kam eine Überlagerung des Thorax durch ein nicht entferntes Körperteil vor. Hierdurch konnte im Chi<sup>2</sup>-Test (mit  $p = 0,091$ ) kein Unterschied zwischen den Berufsgruppen gefunden werden (Tab. 59).

**Tab. 59:** Anzahl vermeidbarer Überlagerungen durch Körperteile in Abhängigkeit von der ausführenden Berufsgruppe.

Berufsgruppe Körperteile	K MTRA	D MTRA	A	AI	gesamt
nein	106	93	93	98	390
[%]	100,0	96,9	96,9	100,0	98,5
ja	0	3	3	0	6
[%]	0,0	3,1	3,1	0,0	1,5
gesamt	106	96	96	98	396
[%]	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Wenn man jedoch die Anzahl vermeidbarer Überlagerungen durch Körperteile und Fremdkörper gemeinsam betrachtet, wird ein Gruppenunterschied noch deutlicher. Die MTRA der Abteilung Diagnostische und Interventionelle Radiologie ließen in elf Fällen vermeidbare Überlagerungen zu. Die MTRA der Abteilung Kinderradiologie ließen hingegen nur in zwei und die Ärzte der pädiatrischen Intensivstationen bei 4 bzw. einem Patienten vermeidbare Überlagerungen bestehen (Tab. 58 und 59).

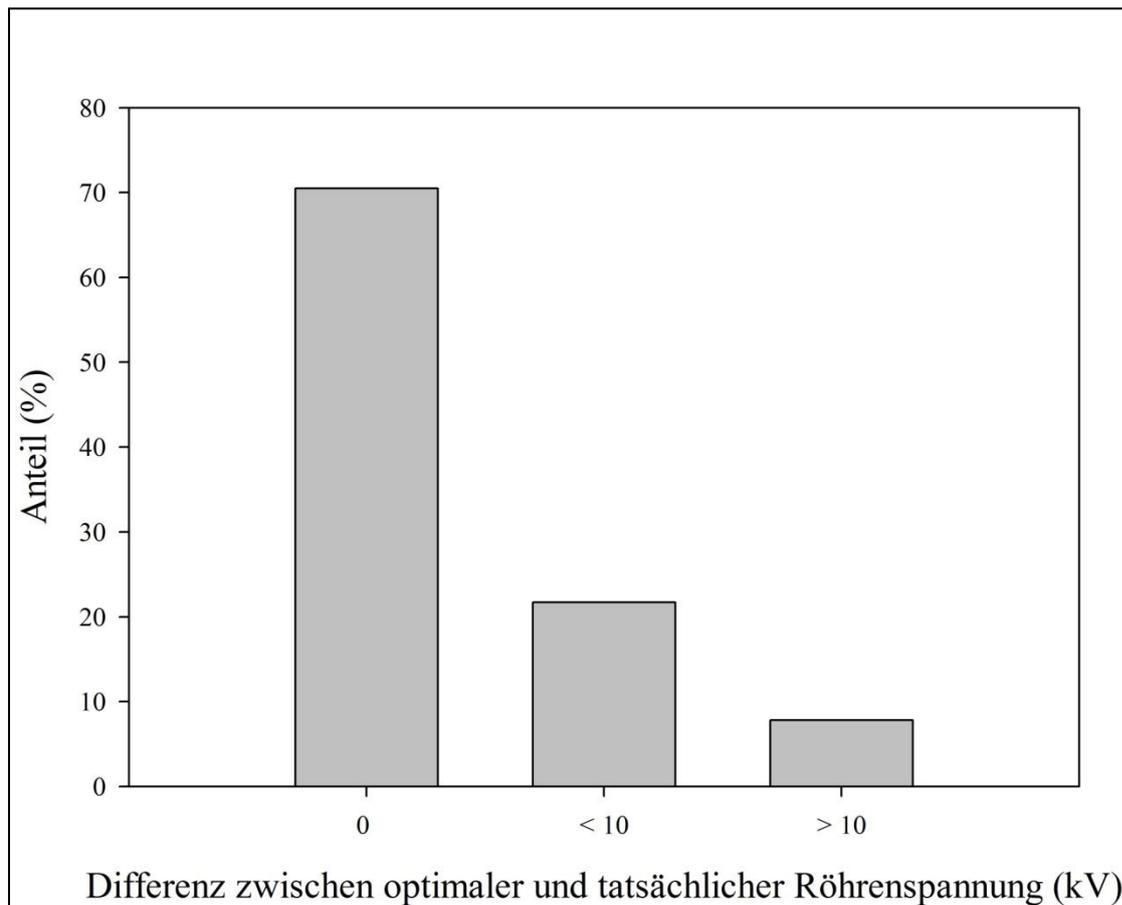
### 3.3.7 Expositionswerte

#### 3.3.7.1 Röhrenspannung

In 70,5 % der Röntgenaufnahmen wurde von allen Untersuchern die in der Belichtungstabelle angegebene Röhrenspannung gewählt. In den übrigen Fällen wurde hiervon aus unbekanntem Gründen abgewichen (Tab. 60, Abb. 24). Der niedrigste kV-Wert lag 30 kV unter und der höchste 57 kV über dem vorgegebenen Wert. Der Mittelwert der Beträge der Abweichungen betrug 3,59 kV mit einer Standardabweichung (Beträge) von  $\pm 7,49$  kV.

**Tab. 60: Differenz der Beträge zwischen optimaler kV-Einstellung (nach Tab. 9) und tatsächlicher Einstellung.**

Differenz [kV]	Anzahl	[%]
0	279	70,5
$\leq 10$	86	21,7
$> 10$	31	7,8
gesamt	396	100,0



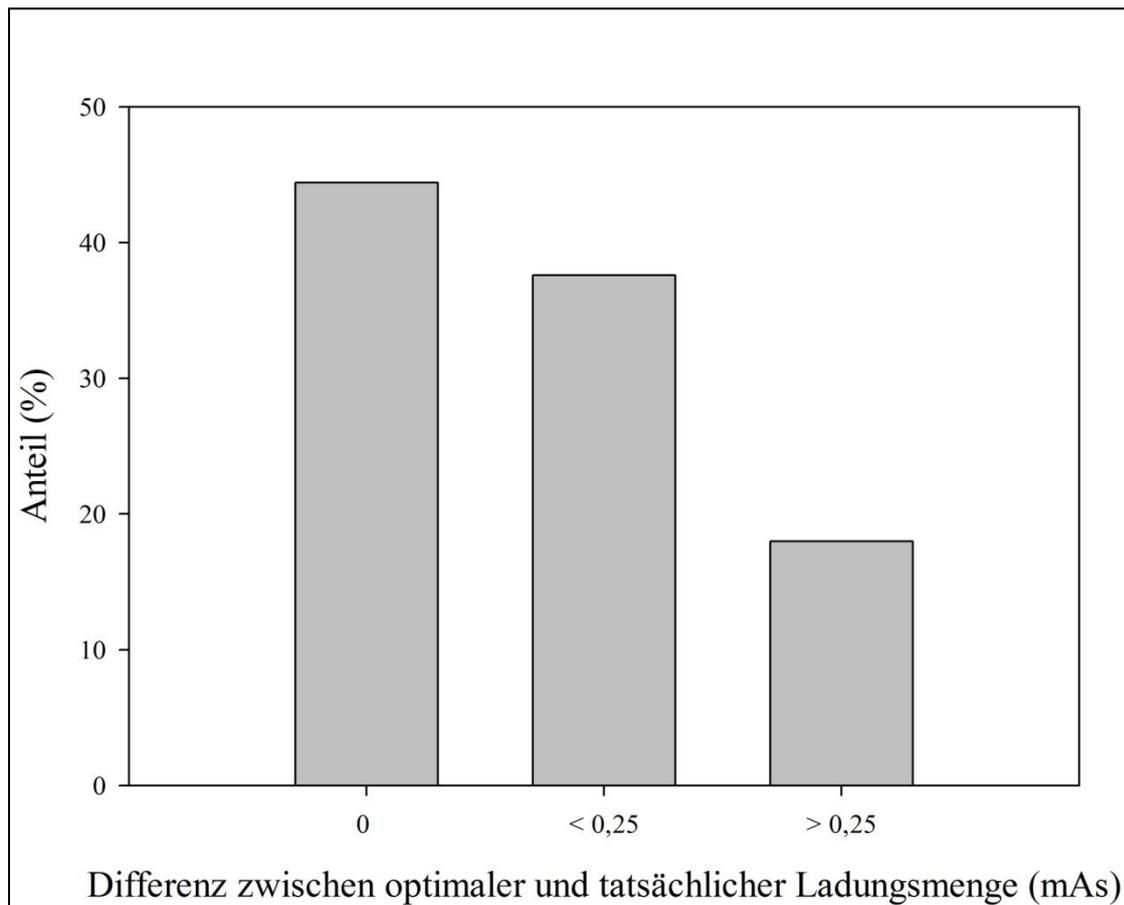
**Abb. 24: Differenz der Beträge zwischen der idealen Röhrenspannung gemäß der Belichtungstabelle und der tatsächlich eingestellten Röhrenspannung [kV].**

### 3.3.7.2 Ladungsmenge (mAs-Produkt)

In weniger als der Hälfte der Aufnahmen (44,4 %) wurde die Ladungsmenge entsprechend der Belichtungstabelle gewählt (Tab. 61, Abb. 25). Die Differenz der tatsächlich eingestellten Ladungsmenge (mAs-Wert) von der optimalen Ladungsmenge wurde maximal um 4,9 mAs unterschritten oder maximal um 0,9 mAs überschritten. Der Mittelwert der Beträge der Differenzen lag bei 0,23 mAs und die Standardabweichung (Beträge) betrug  $\pm 0,46$  mAs. Somit wurde die Ladungsmenge gegenüber der Belichtungstabelle eher unter- als überschritten.

**Tab. 61:** Differenz der Beträge zwischen vorgegebener (optimaler) mAs-Einstellung (nach Tab. 9) und tatsächlicher Einstellung.

Differenz [mAs]	Anzahl	[%]
0	176	44,4
$\leq 0,25$	149	37,6
$> 0,25$	71	18,0
gesamt	396	100,0



**Abb. 25:** Differenz der Beträge der von den Untersuchern gewählten Ladungsmenge (Milliampere · Sekunde (mAs-Produkt)) von der vorgegebenen Belichtungstabelle.

In 151 Fällen (38,1 %) fanden sich die bestmöglichen Einstellungen von Ladungsmenge und Röhrenspannung, da sowohl die Röhrenspannung als auch die Ladungsmenge exakt der Belichtungstabelle entsprach.

### 3.3.7.3 Abhängigkeit des Dosisflächenproduktes vom Patientenalter und von der minimalen und tatsächlichen Feldgröße

Das Dosisflächenprodukt (DFP) als Produkt von Luftkerma [ $\mu\text{Gy}$ ] und Feldgröße [ $\text{cm}^2$ ] ist ein allgemein gebräuchliches Maß für die Strahlenexposition des Patienten bei einer Röntgenuntersuchung [14; 63]. Nimmt die Größe des zu untersuchenden Patienten zu, so besteht in der Regel die Notwendigkeit, bei einer Röntgenaufnahme der gleichen anatomischen Region die Feldgröße sowie aufgrund des größeren Durchstrahlungsdurchmessers die Strahlenenergie und den Röntgenstrom zu erhöhen. Hieraus resultiert ein höherer Wert des DFP.

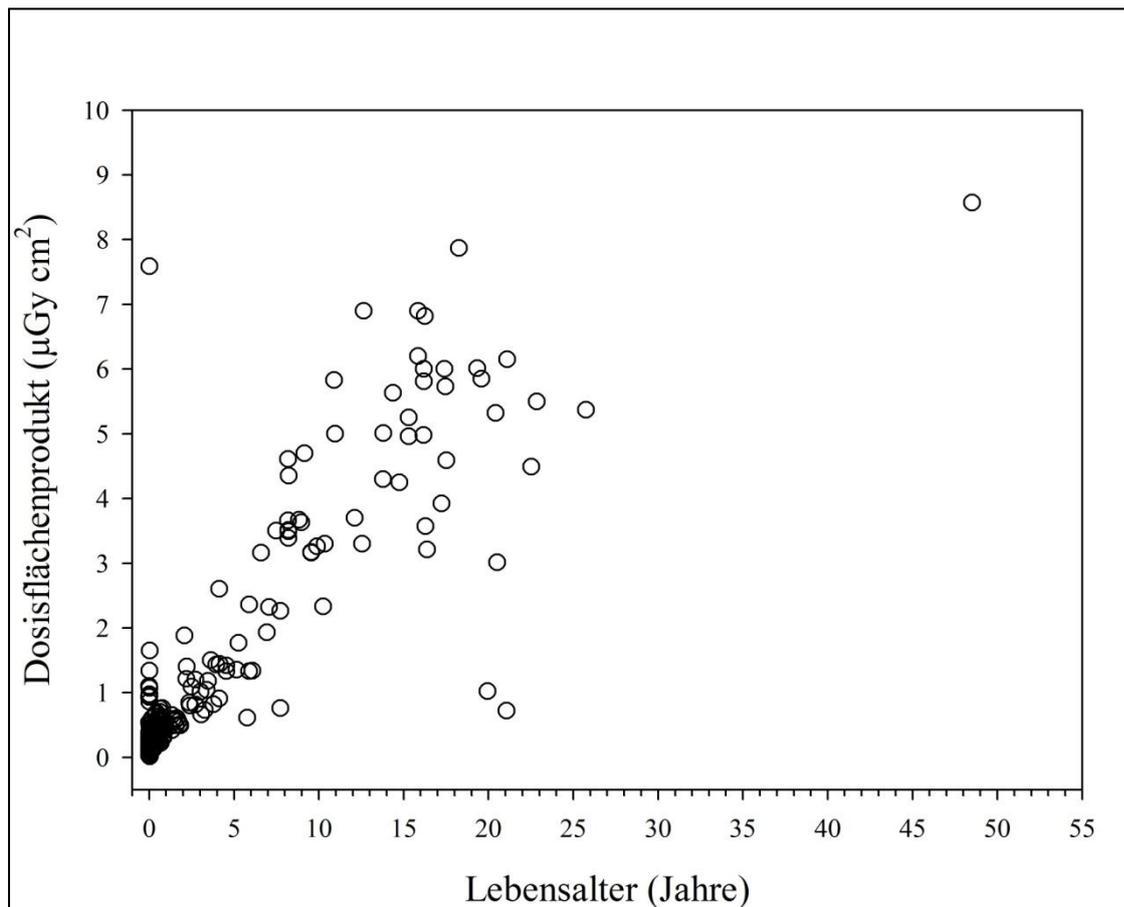


Abb. 26: Abhängigkeit des DFP [ $\mu\text{Gy} \cdot \text{cm}^2$ ] vom Alter der Patienten.

Da also mit zunehmendem Alter eines pädiatrischen Patienten auch mit einer Zunahme des zu durchstrahlenden Körpervolumens zu rechnen ist, war gemäß den errechneten Spearman'schen Korrelationskoeffizienten eine positive Korrelation zwischen dem Alter der Patienten, der minimalen und der tatsächlichen Feldgröße und dem gemessenen Dosisflächenprodukt festzustellen (Tab. 62, Abb. 26). Je präziser die eingestellte Feldgröße der jeweiligen Thoraxgröße entsprach und je exakter die applizierte Dosis dem zu durchstrahlenden Thoraxdurchmesser entsprach, desto weniger war mit einer Streuung des Dosisflächenproduktes zu rechnen bzw. desto besser sollte der Zusammenhang zwischen DFP und Lebensalter sowie Feldgröße sein. Auffällig war die recht ausgeprägte Streuung der DFP bei sehr kleinen Patienten, aufgrund dessen sowohl auf überdimensionierte Feldgrößen als auch auf unter- und überexponierte Aufnahmen geschlossen werden konnte.

**Tab. 62: Abhängigkeit des DFP vom Alter und von der Feldgröße (n = 368). Das DFP zeigt eine enge Korrelation vom Patientenalter, von der minimalen und von der tatsächlichen Feldgröße.**

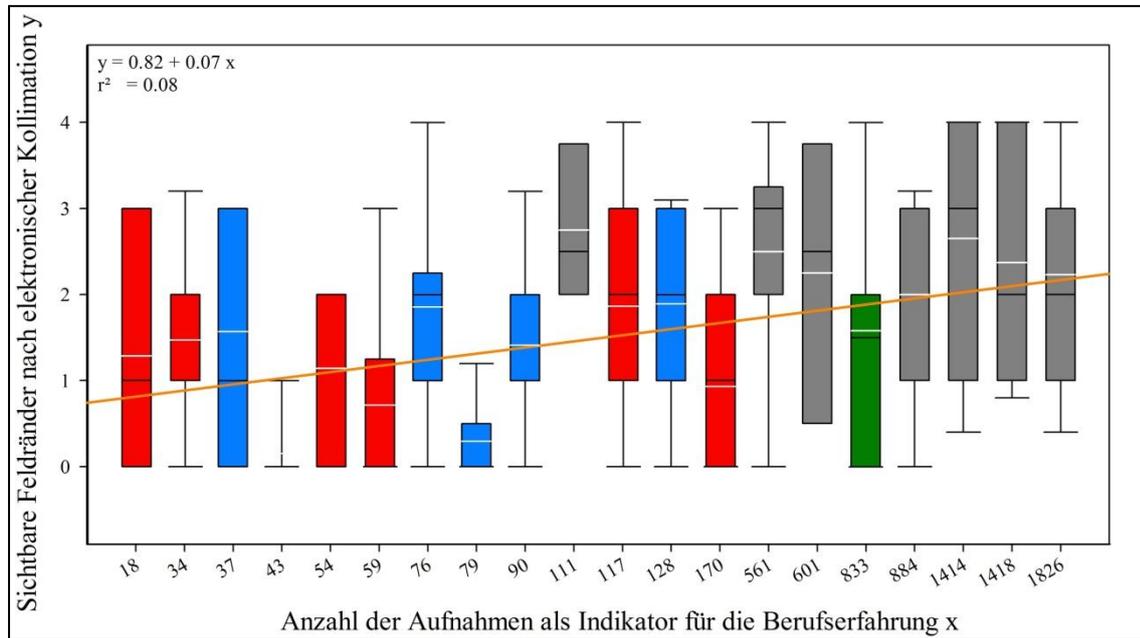
Korr. zu DFP	Spearman'sches r	Anzahl	p-Wert
Alter [Tage]	0,790	368	< 0,0005
minimale Feldgröße [cm <sup>2</sup> ]	0,864	368	< 0,0005
tatsächliche Feldgröße [cm <sup>2</sup> ]	0,864	368	< 0,0005

### 3.3.8 Einfluss der Erfahrung der Untersucher auf die Aufnahmequalität

Wie aus Tabelle 14 ersichtlich ist, waren die in die Auswertung einbezogenen Untersucher mit sehr unterschiedlicher Häufigkeit an der Anfertigung der Aufnahmen beteiligt. Einer der Ärzte fertigte in dem Auswertzeitraum von 6 Jahren lediglich 18 dokumentierte Aufnahmen an, ein MTRA der Abteilung Kinderradiologie hingegen im gleichen Zeitraum 1.826 Aufnahmen. Die objektiv messbaren Qualitätskriterien der Thoraxaufnahmen wurden mit den einzelnen Untersuchern in Abhängigkeit von deren unterschiedlich häufiger Beteiligung bei der Anfertigung korreliert.

Einzig bei der Anzahl der auf den Aufnahmen sichtbar gelassenen Felldränder, die somit nicht durch die nachträgliche Kollimation verdeckt wurden, bestand eine signifikante Abhängigkeit von der Erfahrung des Untersuchers. Je häufiger die Untersucher Aufnahmen auf den Intensivstationen anfertigten, umso mehr Felldränder ließen sie – wie gefordert – sichtbar (Spearman'sches  $r = 0,672$ ,  $p$ -Wert = 0,02).

Dieses Ergebnis ließ vermuten, dass Untersucher mit geringer Erfahrung dazu neigten, die Aufnahmen weiter aufzublenden, um dann wieder mittels elektronischer Kollimation auf den gewünschten Bildausschnitt einzublenden (Abb. 27 und 28).



**Abb. 27:** Anzahl der sichtbar gebliebenen Feldränder nach nachträglicher Kollimation in Abhängigkeit von der Erfahrung der Untersucher (grau: K MTRA, blau: D MTRA, rot: A, grün: AI) sortiert nach der Berufserfahrung. Als Maß für die Berufserfahrung wurde die Anzahl der Aufnahmen des jeweiligen Untersuchers im Erhebungszeitraum zugrunde gelegt. Unterer Fehlerbalken (schwarz): 10%-Perzentile. Untere Box-Kante (schwarz): 25%-Perzentile. Schwarze Linie in der Box: 50%-Perzentile = Median. Weiße Linie in der Box: Mittelwert. Obere Box-Kante (schwarz): 75%-Perzentile. Oberer Fehlerbalken (schwarz): 90%-Perzentile. Die 5%- und 95%-Perzentilen sind nicht dargestellt. Man erkennt, dass mit zunehmender Berufserfahrung mehr Feldränder sichtbar blieben (orange-farbene Trendlinie).

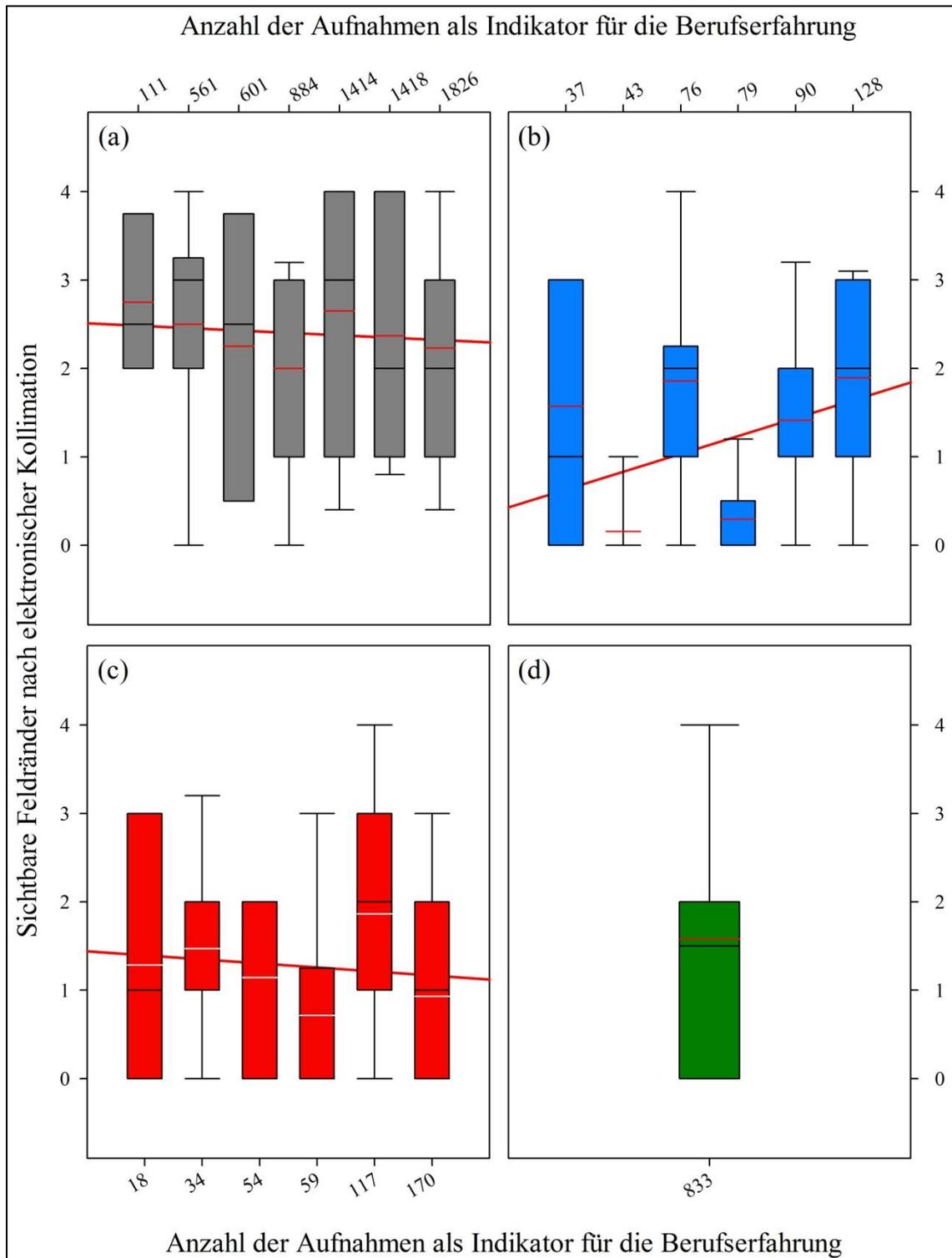


Abb. 28: Anzahl der sichtbar gebliebenen Feldränder nach nachträglicher Kollimation in Abhängigkeit von der Erfahrung der Untersucher sortiert nach Berufsgruppen [(a) grau: K MTRA, (b) blau: D MTRA, (c) rot: A, (d) grün: AI)]. Als Maß für die Berufserfahrung wurde die Anzahl der Aufnahmen des jeweiligen Untersuchers im Erhebungszeitraum zugrunde gelegt. Unterer Fehlerbalken (schwarz): 10%-Perzentile. Untere Box-Kante (schwarz): 25%-Perzentile. Schwarze Linie in der Box: 50%-Perzentile = Median. Rote bzw. weiße Linie in der Box: Mittelwert. Obere Box-Kante (schwarz): 75%-Perzentile. Oberer Fehlerbalken (schwarz): 90%-Perzentile. Die 5%- und 95%-Perzentilen sind nicht dargestellt.

### 3.3.9 Gemeinsame Betrachtung aller objektiven Qualitätskriterien

Zusammengefasst waren die Röntgenaufnahmen des Thorax in der vorliegenden Studie durch acht unterschiedliche, gut objektivierbare Qualitätsmerkmale charakterisierbar. Diese waren im Einzelnen:

- optimale Einblendung
- optimale vertikale Zentrierung
- optimale horizontale Zentrierung
- Sichtbarkeit der Feldränder
- orthograde Abbildung (keine Verdrehung)
- kein Abschneiden der Aufnahme
- keine Überlagerung durch Körperteile
- keine vermeidbare Fremdkörperüberlagerung

Die gemeinsame Berücksichtigung aller Qualitätskriterien ergab, dass kein einziges zufällig in die Studie aufgenommenes Bild allen Qualitätsanforderungen entsprach. Es fanden sich keine signifikanten Unterschiede im F-Test ( $p = 0,317$ ) bezüglich des ausführenden Personenkreises. Die klinische Bedeutung dieses Ergebnisses, insbesondere möglicher negativer Einflüsse auf Strahlenschutzbelange bedurfte einer weitergehenden Betrachtung im Vergleich mit der subjektiven Beurteilung der Bilder (Tab. 63).

**Tab. 63: Einbeziehung aller Qualitätskriterien in Abhängigkeit von den ausführenden Untersucherguppen.**

Berufsgruppe Qualitätskrit.	K MTRA	D MTRA	A	AI	gesamt
2	0	3	0	0	3
[%]	0,0	3,1	0,0	0,0	0,8
3	11	11	12	9	43
[%]	10,5	11,5	12,6	9,5	11,0
4	39	31	31	29	130
[%]	37,1	32,3	32,6	30,5	33,2
5	34	39	37	38	148
[%]	32,4	40,6	39,0	40,0	37,9
6	20	12	13	16	61
[%]	19,0	12,5	13,7	16,8	15,6
7	1	0	2	3	6
[%]	1,0	0,0	2,1	3,2	1,5
8	0	0	0	0	0
[%]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
gesamt	105	96	95	95	391
[%]	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

### 3.4 Vergleich der subjektiven mit der objektiven Beurteilung der Bildgüte

#### 3.4.1 Vergleich der subjektiven Beurteilung der Einblendung mit der objektiv gemessenen Einblendung

Die drei Kinderradiologen, denen die Röntgenaufnahmen getrennt vorgelegt wurden, beurteilten in 93 (Befunder 3), in 124 (Befunder 2) und in 188 (Befunder 1) der 396 Fälle eine ordnungsgemäße und in den übrigen Fällen eine zu großzügige Einblendung. Dieses Ergebnis offenbarte, dass die drei Kinderradiologen offensichtlich unterschiedlich strenge subjektive Kriterien der Einblendung anwendeten. Insbesondere unterschied sich Befunder 3 von Befunder 1, der die doppelte Zahl der Aufnahmen als ordnungsgemäß eingebildet beurteilt hatte (Tab. 64, 65 und 66).

Der Vergleich der objektiv ermittelten Feldgröße im Verhältnis zur optimalen Einblendung (Quotient aus der tatsächlichen Feldgröße der Aufnahme und der minimalen Thoraxgröße plus 10 %) wurde mit der subjektiv beurteilten Einblendung jedes einzelnen Kinderradiologen in Beziehung gesetzt.

Die subjektive Beurteilung von Befunder 1 mit der objektiv berechneten Einblendung erbrachte ein Krippendorffs Alpha von -0,159 (Anteil übereinstimmender Klassifizierungen: 55,1 %; Tab. 64). Für Befunder 2 betrug der Wert -0,085 (67,7 %; Tab. 65) und für den dritten Befunder 0,144 (79,1 %; Tab. 66).

**Tab. 64: Vergleich der subjektiven Beurteilung der Einblendung durch Befunder 1 mit der objektiv gemessenen „optimalen“ Einblendung (Krippendorffs Alpha: -0,159).**

Befunder 1 objektive Einblendung	nicht optimal	optimal	gesamt
nicht optimal [%]	203 51,3	173 43,7	376 95,0
optimal [%]	5 1,2	15 3,8	20 5,0
gesamt [%]	208 52,5	188 47,5	396 100,0

**Tab. 65: Vergleich der subjektiven Beurteilung der Einblendung durch Befunder 2 mit der objektiv gemessenen „optimalen“ Einblendung (Krippendorffs Alpha: -0,085).**

objektive Einblendung \ Befunder 2	nicht optimal	optimal	gesamt
nicht optimal [%]	260 65,7	116 29,3	376 95,0
optimal [%]	12 3,0	8 2,0	20 5,0
gesamt [%]	272 68,7	124 31,3	396 100,0

**Tab. 66: Vergleich der subjektiven Beurteilung der Einblendung durch Befunder 3 mit der objektiv gemessenen „optimalen“ Einblendung (Krippendorffs Alpha: 0,144).**

objektive Einblendung \ Befunder 3	nicht optimal	optimal	gesamt
nicht optimal [%]	298 75,3	78 19,7	376 95,0
optimal [%]	5 1,2	15 3,8	20 5,0
gesamt [%]	303 76,5	93 23,5	396 100,0

### 3.4.2 Vergleich der subjektiven Beurteilung der Zentrierung mit der objektiv gemessenen Zentrierung

Die für jeden einzelnen der drei Kinderradiologen getrennt ermittelte Beurteilung der vertikalen Zentrierung verglichen mit der objektiven ergab in nur 50 bis 60 % der Fälle eine Übereinstimmung.

Darüber hinaus ergaben sich zwischen den einzelnen Beurteilungen deutlich unterschiedliche Ergebnisse. So erreichte Befunder 1 einen Anteil korrekter Übereinstimmungen (Summe der Diagonalen) von 57,6 % (Krippendorffs Alpha: 0,234; Tab. 67), Befunder 2 hingegen 52,5 % (Krippendorffs Alpha: 0,117; Tab. 68) und Befunder 3 wiederum nur 50,2 % (Krippendorffs Alpha: 0,141; Tab. 69). Auf die zusätzliche Gegenüberstellung der subjektiven Beurteilung der horizontalen Zentrierung und der objektiven Auswertung wurde verzichtet.

Tab. 67: Vergleich der subjektiven Beurteilung der vertikalen Zentrierung durch Befunder 1 mit der objektiv gemessenen vertikalen Zentrierung (Krippendorffs Alpha: 0,234).

objektive Zentrierung \ Befunder 1	zu tief	optimal	zu hoch	gesamt
zu tief [%]	86 21,7	127 32,1	0 0,0	213 53,8
optimal [%]	5 1,2	131 33,1	4 1,0	140 35,3
zu hoch [%]	1 0,3	31 7,8	11 2,8	43 10,9
gesamt [%]	92 23,2	289 73,0	15 3,8	396 100,0

Tab. 68: Vergleich der subjektiven Beurteilung der vertikalen Zentrierung durch Befunder 2 mit der objektiv gemessenen vertikalen Zentrierung (Krippendorffs Alpha: 0,117).

objektive Zentrierung \ Befunder 2	zu tief	optimal	zu hoch	gesamt
zu tief [%]	73 18,4	140 35,4	0 0,0	213 53,8
optimal [%]	8 2,0	131 33,1	1 0,3	140 35,4
zu hoch [%]	2 0,5	37 9,3	4 1,0	43 10,8
gesamt [%]	83 20,9	308 77,8	5 1,3	396 100,0

Tab. 69: Vergleich der subjektiven Beurteilung der vertikalen Zentrierung durch Befunder 3 mit der objektiv gemessenen vertikalen Zentrierung (Krippendorffs Alpha: 0,141).

objektive Zentrierung \ Befunder 3	zu tief	optimal	zu hoch	gesamt
zu tief [%]	70 17,7	118 29,8	25 6,3	213 53,8
optimal [%]	12 3,0	121 30,5	7 1,8	140 35,3
zu hoch [%]	3 0,8	32 8,1	8 2,0	43 10,9
gesamt [%]	85 21,5	271 68,4	40 10,1	396 100,0

### 3.4.3 Vergleich der subjektiven Beurteilung der Verdrehung mit der objektiv gemessenen Verdrehung

Auch bei der subjektiven Beurteilung der Verdrehung zeigte sich bei allen drei Kinder-radiologen eine nur etwa 60%ige Übereinstimmung mit der durch Messung der ventralen Rippen ermittelten Verdrehung. Die objektiv ermittelte Verdrehung wurde jeweils mit der subjektiven Klassifizierung der einzelnen Befunder in Beziehung gesetzt.

Bei Befunder 1 ergaben sich ein Krippendorffs Alpha von 0,292 und ein Anteil übereinstimmender Klassifizierungen von 64,7 % (Tab. 70). Der Anteil der Übereinstimmungen mit der gemessenen Verdrehung bei Befunder 2 betrug 61,9 % (Krippendorffs Alpha: 0,121; Tab. 71) und bei Befunder 3 53,0 % (Krippendorffs Alpha: 0,126; Tab. 72).

**Tab. 70: Vergleich der subjektiven Beurteilung der Verdrehung durch Befunder 1 mit der objektiv gemessenen Verdrehung (Krippendorffs Alpha: 0,292).**

<b>objektive Verdrehung \ Befunder 1</b>	<b>orthograd</b>	<b>verdreht</b>	<b>stark verdreht</b>	<b>gesamt</b>
<b>orthograd</b> [%]	198 50,6	56 14,3	2 0,5	256 65,5
<b>verdreht</b> [%]	52 13,3	36 9,2	8 2,0	96 24,5
<b>stark verdreht</b> [%]	5 1,3	15 3,8	19 4,9	39 10,0
<b>gesamt</b> [%]	255 65,2	107 27,4	29 7,4	391 100,0

**Tab. 71: Vergleich der subjektiven Beurteilung der Verdrehung durch Befunder 2 mit der objektiv gemessenen Verdrehung (Krippendorffs Alpha: 0,121).**

<b>objektive Verdrehung \ Befunder 2</b>	<b>orthograd</b>	<b>verdreht</b>	<b>stark verdreht</b>	<b>gesamt</b>
<b>orthograd</b> [%]	216 55,2	40 10,2	0 0,0	256 65,5
<b>verdreht</b> [%]	72 18,4	23 5,9	1 0,3	96 24,6
<b>stark verdreht</b> [%]	15 3,8	22 5,4	2 0,8	39 10,0
<b>gesamt</b> [%]	303 77,5	85 21,5	3 1,0	391 100,0

**Tab. 72: Vergleich der subjektiven Beurteilung der Verdrehung durch Befunder 3 mit der objektiv gemessenen Verdrehung (Krippendorffs Alpha: 0,126).**

<b>objektive Verdrehung</b> \ <b>Befunder 3</b>	<b>orthograd</b>	<b>verdreht</b>	<b>stark verdreht</b>	<b>gesamt</b>
<b>orthograd</b> [%]	<b>148</b> <b>37,9</b>	<b>108</b> <b>27,6</b>	<b>0</b> <b>0,0</b>	<b>256</b> <b>65,5</b>
<b>verdreht</b> [%]	<b>42</b> <b>10,7</b>	<b>48</b> <b>12,3</b>	<b>6</b> <b>1,5</b>	<b>96</b> <b>24,5</b>
<b>stark verdreht</b> [%]	<b>6</b> <b>1,5</b>	<b>22</b> <b>5,6</b>	<b>11</b> <b>2,8</b>	<b>39</b> <b>9,9</b>
<b>gesamt</b> [%]	<b>196</b> <b>50,1</b>	<b>178</b> <b>45,5</b>	<b>17</b> <b>4,3</b>	<b>391</b> <b>100,0</b>

## 4 DISKUSSION

### 4.1 Anlass der Studie

Der Abteilungsleiter der Abteilung Kinderradiologie des Zentrums für Radiologie war gemäß Röntgenverordnung Abschnitt 3, Unterabschnitt 1, bis Februar 2012 Strahlenschutzbeauftragter für die Röntgenuntersuchungen in seiner Abteilung sowie auch für die auf den Intensivstationen der Kinderklinik durchgeführten Röntgenuntersuchungen [17]. Ausgeklammert von seinem Verantwortungsbereich war lediglich der Herzkatheterarbeitsplatz der Abteilung Kinderkardiologie, für den eigens ein strahlenschutzbevollmächtigter Arzt ernannt war [10; 78].

Die Pflichten des Strahlenschutzbeauftragten sind in der Röntgenverordnung gemäß § 15 RöV geregelt. Neben der ordnungsgemäßen Durchführung von Röntgenuntersuchungen während der regulären Dienstzeiten durch medizinisch-technisches Personal der Abteilung Kinderradiologie, dem Einhalten der Aufzeichnungspflicht nach § 28 RöV und der ordnungsgemäßen Befunderstellung der Aufnahmen wurden außerhalb der regulären Dienstzeiten gelegentlich Röntgenuntersuchungen von dem ärztlichen Personal der Intensivstationen durchgeführt. Zu diesem Zwecke erfolgten bei dem dort häufig wechselnden ärztlichen Personal regelmäßige Unterweisungen nach § 36 RöV. Der Strahlenschutzbeauftragte wurde in den zurückliegenden acht Jahren vor Durchführung der aktuell vorliegenden Studie in regelmäßigen Abständen von dem Strahlenschutzverantwortlichen aufgefordert, die Einhaltung der Strahlenschutzbestimmungen in seinem Zuständigkeitsbereich gewissenhaft zu überwachen, Missstände zu verhindern und notfalls Verstöße umgehend zu melden. Da sich aus der bestehenden Personalstruktur zwangsläufig Verstöße gegen die Röntgenverordnung ergaben, wurden diese dem Strahlenschutzverantwortlichen mehrfach gemeldet und Vorschläge zur Verbesserung der Rahmenbedingungen gemacht. Darüber hinaus erfolgten regelmäßige Qualitätskontrollen durch die Ärztliche Stelle Hessen [10; 17; 54; 78].

Mit Privatisierung der Universitätsklinik Gießen und der Verlegung der Frühgeborenenstation in das von der Kinderklinik entfernt liegende Gebäude der Frauenklinik ergab sich eine neue Situation, bei der die Anfertigung von Röntgenuntersuchungen seitens nicht berechtigter Personen weiter erheblich an Umfang zunahm. Darüber hinaus wechselte der Strahlenschutzverantwortliche ad personam und erließ die Anordnung, dass die MTRA der Diagnostischen und Interventionellen Radiologie zusätzlich zu ihren

bisherigen Tätigkeiten im Nachtdienst auch zur Anfertigung der Röntgenuntersuchungen auf den Kinderintensivstationen zuständig seien, ohne hierzu ausreichend angeleitet und über die besondere Problematik der einzuhaltenden Asepsis unterrichtet zu werden [10; 78].

Somit waren Röntgenuntersuchungen außerhalb der Abteilung Kinderradiologie auf der allgemeinen Intensivstation, im neu errichteten Gebäude des Kinderherzzentrums, auf der Neugeborenenstation, auf der Neugeborenenintensivstation, in der etwa 400 m entfernt liegenden Frauenklinik und in Einzelfällen auch in den Isolierzimmern der Kinderonkologie durchzuführen [10; 78].

Aus der Anordnung der Geschäftsführung ergab sich ein äußerst großer Personenkreis, der sich an der Durchführung der Aufnahmen beteiligte. Hieraus resultierte zwangsläufig, dass besonders außerhalb der regulären Dienstzeiten einzelne MTRA der Diagnostischen Radiologie nur äußerst sporadisch in die Situation kamen, Kinder auf den Kinderintensivstationen zu röntgen. Darüber hinaus bestand weiterhin das Problem, dass Ärzte der Kinderintensivstationen Röntgenaufnahmen anfertigten, obwohl sie aufgrund fehlender Fachkunde nach § 30 RöV nicht zu dem zur Anfertigung von Röntgenuntersuchungen berechtigten Personenkreis gehörten. Der Leiter der Abteilung Kinderradiologie war hingegen lediglich den MTRA seiner eigenen Abteilung gegenüber Dienstvorgesetzter und damit autorisiert, Anordnungen und Disziplinarmaßnahmen, die er in seiner Funktion als Strahlenschutzbeauftragter traf, auch durchzusetzen [10; 17; 78].

## **4.2 Ziele der Kinderradiologie**

Unabhängig von den gesetzlichen Grundlagen und den hierarchischen Strukturen der Klinik ist der Schutz der Kinder vor ionisierender Strahlung ein wesentliches Ziel der Kinderradiologie [8; 21; 23; 31; 50; 72; 73]. Jede mit ionisierender Strahlung verbundene medizinische Maßnahme stellt eine Körperverletzung dar, die nur durch das anzustrebende Ziel, eine Diagnose zu stellen, die damit eine adäquate Therapie ermöglicht, gerechtfertigt ist. Grundlage hierzu ist gemäß § 2a RöV die rechtfertigende Indikationsstellung [17; 96]. Hierbei muss der Nutzen einer Untersuchung das mit ihr verbundene Risiko deutlich übersteigen (§ 2c (2)) [17]. Obwohl das Risiko einer einzelnen Röntgenuntersuchung nicht klar definiert werden kann, besteht dennoch Konsens dahingehend,

dass jede noch so geringe Strahlenexposition als potentiell gefährdend und damit unter möglichst optimalen Bedingungen zu erfolgen hat. Die Untersuchung selbst hat deshalb nach dem ALARA-Prinzip zu erfolgen [8; 19; 21; 22; 46; 64; 72; 74; 93; 94; 97; 100].

Bei allen klinischen Fragestellungen, die eine bildgebende Diagnostik erfordern, ist daher stets die für das Kind schonendste und am wenigsten belastende Untersuchung zu wählen. Eine der Hauptaufgaben des Kinderradiologen ist deshalb darin zu sehen, vor Durchführung der Röntgenleistung die für das Kind bestmögliche Methode zu wählen. Routinemaßnahmen haben unter strenger Qualitätskontrolle zu erfolgen, die sich an den jeweils geltenden Empfehlungen und Qualitätsstandards orientiert [16; 28; 30; 95].

### **4.3 Ziele der Qualitätskontrolle**

Die vom Gesetzgeber vorgegebenen Richtlinien sowie die der durchgeführten Studie zugrundeliegenden Überlegungen der Qualitätskontrolle von Röntgenuntersuchungen des Thorax bei intensivmedizinisch betreuten Kindern unterliegen damit zwei grundlegenden Anforderungen.

Zum einen ist die Qualität der Aufnahme unter dem Gesichtspunkt der bestmöglichen Befundbarkeit zu erstellen. Dies bedeutet, dass die der rechtfertigenden Indikation zugrundeliegende klinische Fragestellung dann eine Qualität aufweist, mit der diese möglichst zweifelfrei beantwortet werden kann.

Die zweite Anforderung an die Qualität der Aufnahme bezieht sich auf das mit ihr verbundene Gesundheitsrisiko. Als ein solches wird bei jeder Röntgenuntersuchung, so auch bei einer Röntgenaufnahme des Thorax, die mit ihr verbundene Exposition mit ionisierender Strahlung angesehen [31; 64]. Andere Röntgenuntersuchungen können durchaus auch mit weiteren Risiken, wie z.B. einem Gefäßtrauma oder dem Risiko einer möglicherweise notwendigen Sedierung oder Narkose verbunden sein. Hinsichtlich der unvermeidbaren Strahlendosis ist eine Reihe von Faktoren zu berücksichtigen, die das jeweilige Risiko einer Aufnahme ganz entscheidend beeinflussen können. Hierzu zählen die Qualität der verwendeten Strahlung, definiert durch die Röhrenspannung (kV) und die benutzte Gesamtfilterung, mit welcher eine Aufhärtung der Strahlung erfolgen kann, die Ladungsmenge (mAs-Produkt), die Strahlengeometrie (Fokus-Objekt-Abstand und Objekt-Film-Abstand) sowie der mögliche Einsatz eines Streustrahlenrasters.

Zahlreiche Publikationen widmen sich solchen technischen Voraussetzungen von Röntgenuntersuchungen in der Absicht, die bereits zuvor erwähnten Ziele, eine Verbesserung der Bildqualität und eine Reduktion der Dosis, zu erreichen [15; 22; 31; 49; 57; 58; 64; 80].

Neben den gesetzlichen Grundlagen, die zur Sicherung der Qualitätsstandards bei der Durchführung von Röntgenaufnahmen allgemein in Deutschland gelten, existieren Leitlinien und Empfehlungen von wissenschaftlichen radiologischen Gesellschaften Europas und Nordamerikas [16; 28; 30; 95]. Die European Guidelines on Quality Criteria for Diagnostic Radiographic Images in Paediatrics der Europäischen Kommission geben dabei eine gute Übersicht, auf welche qualitätsbeeinflussenden Faktoren bei der Erstellung von Röntgenaufnahmen im Kindesalter zu achten ist. Die hierin aufgeführten Faktoren lassen sich im Wesentlichen in drei Einflussgrößen unterteilen:

1. gerätetechnische Voraussetzungen,
2. medizinisch-technische Einflüsse, bedingt durch die Anfertigung der Röntgenaufnahme, und
3. Einflüsse, die durch ärztliche Entscheidungen und Handlungen bedingt sind [28].

Bei Planung der vorliegenden Studie wurde bezüglich der gerätetechnischen Voraussetzungen davon ausgegangen, dass auf den Intensivstationen und in der Kinderradiologie optimale Bedingungen zur Anfertigung und Befundung der Thoraxaufnahmen gegeben waren. Wesentliche technische Komponenten, die dem modernsten Stand der Technik entsprachen waren das moderne Nadelkristall-Speicherfoliensystem (Agfa DX-S), die fahrbare Röntgeneinrichtung (Mobilett Plus E, Firma Siemens), die eine extrem kurze Schaltzeit von 2 ms ermöglichte, und die Befundung der Aufnahmen an hochauflösenden Befundungsmonitoren. Darüber hinaus war eine regelmäßige Überwachung des Geräteparks einschließlich der vorgeschriebenen Durchführung und Dokumentation der Konstanzprüfungen entsprechend § 16 (3) RöV von Seiten einer medizinisch-technischen Ingenieurin sowie durch übergeordnete regelmäßige Kontrollen der Ärztlichen Stelle Hessen (TÜV Süd) gegeben (§ 17a RöV), wodurch eine lückenlose Qualitätskontrolle der Geräte gewährleistet schien. Auch die wissenschaftliche Überprüfung und Gegenüberstellung mit verschiedenen Speicherfoliensystemen anderer kinderradiologischer Abteilungen in Marburg, Frankfurt und Heidelberg bezüglich ihres Dosisleistungsbedarfs und ihrer Bildauflösung erbrachte für das von uns verwendete System günstige Voraussetzungen [66; 88].

Qualitätskriterien, die bei Anfertigung der Aufnahmen durch das medizinisch-technische Personal beeinflusst werden, betreffen zunächst die in der Arbeitsanweisung (SOP) als optimal festgelegte Einstellung des Röntgengerätes [9]. Weitere Kriterien sind die ordnungsgemäße Lagerung und gegebenenfalls Ruhigstellung (Immobilisierung) des Patienten, die Einblendung des Strahlenfeldes auf die diagnostisch relevanten anatomischen Bereiche, die Verwendung von Strahlenschutzmaßnahmen wie Gonadenschutz oder anderen Strahlenschutzvorrichtungen, die ordnungsgemäße Bildbeschriftung und Administration des Bildes sowie – in der Summe aller Faktoren – eine möglichst geringe Anzahl an Wiederholungsaufnahmen aufgrund von technischen Unzulänglichkeiten.

Insbesondere zu Zeiten der Nassentwicklung und der konventionellen Film-Folien-Technik resultierte alleine durch Filmverarbeitungsfehler ein hoher Anteil an Wiederholungsaufnahmen. Lewentat und Bohndorf [62] untersuchten in einer prospektiven Studie an einer großen deutschen Klinik über die Dauer von neun Monaten den Filmabfall und analysierten die Gründe, weshalb Röntgenaufnahmen wiederholt werden mussten. Da alle Mitarbeiter Kenntnis über die Studie hatten, nahmen der Filmabfall um 2,98 % auf bis zu 8,2 % und der Anteil an Fehltaufnahmen im Erhebungszeitraum um 2,05 % auf etwa 5 % ab (Hawthorne-Effekt). Bei Thoraxaufnahmen von Erwachsenen betrug der Anteil an Fehltaufnahmen 2,3 %. In der Studie von Whaley et al. [98] wurden 11.000 Thoraxaufnahmen aus einem Untersuchungszeitraum von 14 Monaten von zehn MTRA und fünf Radiologen retrospektiv dahingehend beurteilt, ob sie technisch ausreichend waren oder hätten wiederholt werden müssen. Es handelte sich hierbei im Gegensatz zu der zuvor zitierten Arbeit ausschließlich um mit Flachbilddetektoren digital erstellte Aufnahmen. Selbst bei Verwendung dieser modernen Technologie wird aus den USA von Wiederholungsraten von 3 % bis 10 % berichtet [29; 44; 92]. Als Ursachen für die Unbrauchbarkeit der Aufnahmen werden zu starke Einblendung, Bewegungsunschärfe und eine zu geringe Expositions-dosis angeführt. Die Rate der als unbrauchbar eingestuften Bilder variierte unter den einzelnen Beurteilern und besonders stark zwischen den MTRA und den Radiologen, wobei die Ärzte eine geringere Zahl an Aufnahmen als wiederholungsbedürftig bewerteten. Bereits Lewentat und Bohndorf [62] machten auf die oft sehr unterschiedliche „Toleranzschwelle“ der Beurteiler aufmerksam, wenn es um die Entscheidung ging, ob eine Aufnahme wiederholt werden muss oder nicht.

In gewisser Weise sensibilisierend für die Thematik der vorliegenden Studie war die Arbeit von Ecklund und Share aus Boston [26]. Sie stellte die Anzahl der Wiederholungsaufnahmen einer spezialisierten Kinderradiologie denen einer „Satellitenabteilung“ gegenüber. Aufgrund mangelnder Kapazität wurden dort bei ambulanten pädiatrischen Patienten Röntgenaufnahmen von kinderradiologisch unerfahrenem Personal angefertigt und mittels Teleradiologie von Kinderradiologen befundet. Die Rate an Wiederholungsaufnahmen in der kinderradiologisch spezialisierten Abteilung betrug bei einer jährlichen Frequenz von 110.000 Untersuchungen zwischen 3 % und 5 %. In der Satellitenabteilung hingegen lag in den ersten drei Monaten die Rate an unbrauchbaren Aufnahmen bei 31 %.

Die allein durch die beteiligten Ärzte zu verantwortenden Qualitätskriterien betreffen zunächst die ordnungsgemäße Indikationsstellung der Aufnahme [35]. Unter anderen sehen Cook et al. [23] und Perlmutter et al. [73] hierin den ersten wichtigen Schritt in der Optimierung des Röntgenprozesses [14; 74; 76; 82]. Dies betrifft nicht nur die Frage, ob die Aufnahme gerechtfertigt ist, sondern darüber hinaus, ob die klinische Indikation in geeigneter Weise dokumentiert und dem mit der Befundung betrauten Radiologen mitgeteilt wird.

Eine exakte wissenschaftliche Beurteilung, ob eine Röntgenuntersuchung gerechtfertigt ist, sollte anhand anerkannter Leitlinien erfolgen. In Ermangelung einer solchen Leitlinie für die Patienten der Neonatologie und pädiatrischen Intensivmedizin bedurfte es einer klinikinternen Übereinkunft. Für die Universitätskinderklinik Gießen wurden deshalb die Standardindikationen zur Durchführung von Thoraxaufnahmen auf den Intensivstationen in einer Arbeitsanweisung (SOP) definiert [9].

Eine approximative Beurteilung der rechtfertigenden Indikation kann anhand der Anzahl der durchgeführten Aufnahmen bei einer bestimmten klinischen Problematik abgeschätzt werden. Für eine pädiatrische Intensivstation kann z.B. die Anzahl der Thoraxaufnahmen, die während der Intensivtherapie angefertigt werden, in Abhängigkeit vom Gestationsalter oder vom Geburtsgewicht ausgewertet werden. Die Studie von Frayre et al. [31], die sich umfassend mit den Möglichkeiten der Dosisreduktion von Thoraxaufnahmen bei Neonaten befasst, sieht eine wesentliche Maßnahme der Dosisreduktion in einer strengen Indikationsstellung. Bei den zwölf von ihm eingehend analysierten Frühgeborenen wurden insgesamt 208 Thoraxaufnahmen im Laufe der Behandlung angefertigt. Eines der Kinder erhielt dabei 42 Aufnahmen. Die Wertung solcher

Untersuchungen muss dann im Vergleich mit anderen Zentren erfolgen, die möglicherweise die Betreuung extrem Frühgeborener mit weniger Röntgenaufnahmen und damit einem geringeren Langzeitrisiko der Kinder erfolgreich durchführen [75].

In Anlehnung an die Leitlinien des American College of Radiology (ACR) für Erwachsene untersuchte die Arbeitsgruppe um Valk [96] in einer prospektiven Studie, ob alle 174 Thoraxaufnahmen von 74 intensivpflichtigen Kindern gerechtfertigt waren. 67 % der durchgeführten Aufnahmen entsprachen den Leitlinien. Dabei wurde in 54 % der Fälle eine Fehllage des Tubus, des ZVK oder der Magensonde festgestellt. In 63 % lag gegenüber der Voraufnahme eine Änderung des kardiopulmonalen Status vor. In 74 % der Fälle, in denen keine Aufnahme angefertigt wurde, hätte bei einem erwachsenen Patienten ebenfalls eine Aufnahme erfolgen müssen. Die Studie zeigt eindrucksvoll, dass intensivmedizinische Maßstäbe der Erwachsenenmedizin nur bedingt auf die Pädiatrie übertragbar sind [1; 37; 39; 42; 60; 70; 75; 87].

Der letzte und alles entscheidende Punkt in der Prozesskette einer qualitativ guten Röntgenuntersuchung betrifft die Bildinterpretation und ihren Beitrag zu einer klinisch relevanten und therapieentscheidenden Diagnose. Intraobserver- und Interobserver-Studien wurden vorwiegend für einzelne Erkrankungen vorgelegt [43]. Studien, die gezielt dieser Frage bei Thoraxaufnahmen intensivpflichtiger Kinder nachgehen, fehlen. Der Anteil an „neuen oder unerwarteten Röntgenbefunden“ wird bei Routineuntersuchungen intensivpflichtiger Erwachsener mit 5,8 % angegeben [35; 83; 99]. Der Anteil an Diagnosen, aus denen eine Therapieänderung resultiert, beträgt dabei lediglich 2,2 %.

Bei der Planung der vorliegenden retrospektiven Studie mussten zwangsläufig Abstriche bezüglich einer umfassenden Qualitätsbeurteilung gemacht werden. Einerseits konnten die technischen Voraussetzungen als optimal angesehen werden, was jedoch aufgrund der vorliegenden Ergebnisse zumindest partiell relativiert werden musste. Zum anderen waren die medizinisch bedingten Qualitätskriterien retrospektiv nicht objektivierbar. Es musste deshalb eine Beschränkung auf die Bewertung jener Qualitätskriterien erfolgen, die durch die Anfertigung der Röntgenaufnahmen bedingt waren. Darüber hinaus stand die Aufnahmequalität in Abhängigkeit von den unterschiedlichen an der Anfertigung der Aufnahmen beteiligten Berufsgruppen im Vordergrund des Interesses.

## 4.4 Vergleichbare Studien / Bekannte Vorgehensweisen

Bei der Planung des Studiendesigns orientierten wir uns zunächst an vergleichbaren Studien anderer Arbeitsgruppen sowie an eigenen in der Vergangenheit erfolgreich durchgeführten Untersuchungen zur Beurteilung der Qualität von Röntgenthoraxaufnahmen in der Kinderradiologie. Die Heidelberger Arbeitsgruppe richtete sich bei ihren Studien von 2001 und 2006 nach den Vorgaben der European Guidelines on Quality Criteria for Diagnostic Radiographic Images in Paediatrics der Europäischen Kommission und beurteilte die Belichtung, die Zentrierung, die Einblendung sowie die Bildschärfe im Wesentlichen nach subjektiven Gesichtspunkten [7; 27; 28]. Ein vergleichbares Vorgehen bei der Bildbeurteilung wählten Krug et al. [53] zur Bewertung konventioneller Röntgenaufnahmen.

In unserer Studie versuchten wir neben subjektiven Kriterien der Bildgüte möglichst objektiv messbare Parameter für Einblendung, Zentrierung, Verdrehung, Kollimation, Überlagerung von Fremdkörpern und die applizierte Expositionsdosis zu erfassen. Da für das jeweilige Alter und das Körpergewicht unserer Patienten Dosistabellen erstellt waren, die an den beiden fahrbaren Röntgeneräten gut sichtbar angebracht waren, dokumentierten wir die jeweiligen Abweichungen von diesen zuvor als optimal festgestellten Werten der Ladungsmenge und der Röhrenspannung. Die Bildschärfe, wie sie bei Engelmann et al. [27] und Alt et al. [7] beurteilt wurden, wurde von uns aufgrund der digitalen Aufnahmen mit den kurzen Schaltzeiten nicht untersucht, da keine Bildunschärfe auftreten konnte. Stattdessen wurde die Beurteilung des Bildrauschens eingeführt. Diese ließ sich ohne größeren messtechnischen Aufwand nur subjektiv bewerten und bestenfalls mit den Expositionsdosen der Aufnahmen in Beziehung setzen.

### 4.4.1 Subjektive Bildbeurteilung

Bei der subjektiven Bildbeurteilung der Einblendung, Zentrierung, Verdrehung, Exposition und der Befundbarkeit wurden die aus der Literatur bekannten Kriterien stark vereinfacht und zu feine Abstufungen der Beurteilung vermieden [7; 27; 53; 89]. Es sollte hiermit eine höhere Trennschärfe erreicht werden.

Die vorliegende Untersuchung unterscheidet sich bei der subjektiven Beurteilung durch die drei Kinderradiologen grundlegend von anderen Studien dahingehend, dass die Beurteilungen nicht im Konsens, sondern unabhängig voneinander und verblindet

erfolgten. Ein bedeutender Punkt dieser vergleichenden Beurteilung war darüber hinaus, dass sie nicht gemeinsam in einer Abteilung tätig waren und so im Laufe ihrer Arbeit unterschiedliche Toleranzschwellen ihrer Qualitätsanforderungen entwickeln konnten.

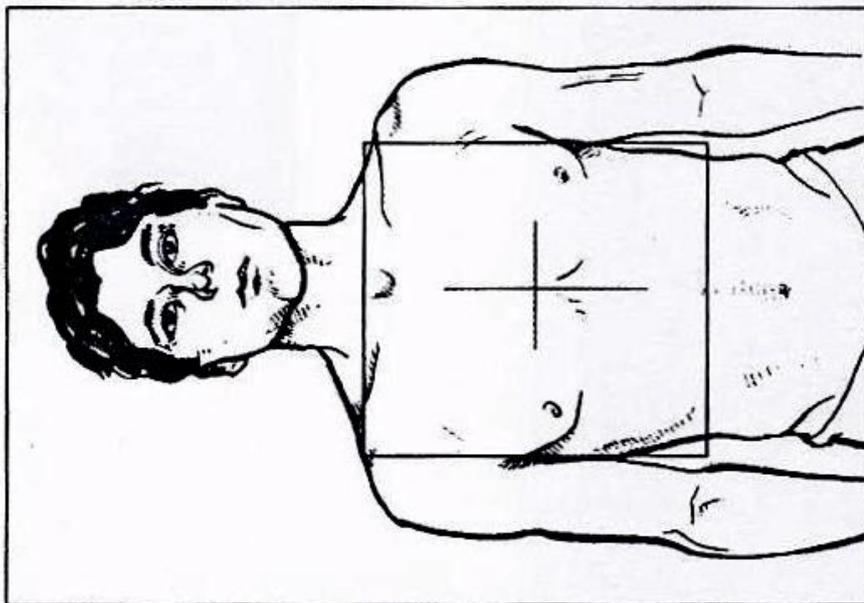
#### **4.4.2 Einblendung**

Bei der objektiven Beurteilung der Einblendung konnten wir den Angaben der European Guidelines [28] und den Studien von Alt et al. [7] und Oppelt et al. [72] nur bedingt folgen. Die Angaben zur kranio-kaudalen Ausdehnung einer optimal eingblendeten Thoraxaufnahme stimmen mit unserer Bewertung weitgehend überein. Die seitliche Begrenzung des Strahlenfeldes wurde von Alt et al. und Oppelt et al. mit einem Zentimeter über die maximale seitliche Thoraxbegrenzung hinausgehend als optimal angegeben. Dies mag für die praktische Handhabung einer Thoraxaufnahme zutreffend sein, ist jedoch messtechnisch nicht ausreichend exakt fassbar. Darüber hinaus ist dieses Kriterium zur Beurteilung einer optimalen Einblendung über die gesamte Altersspanne unserer Patienten von extremen Frühgeborenen bis hin zu den Thoraxdimensionen von Erwachsenen unzureichend. In den European Guidelines [28] findet man überraschenderweise keine Angaben über die optimale seitliche Einblendung einer Thoraxaufnahme. Ebenso wurde von Engelmann et al. [27] und Krug et al. [53] die optimale Thoraxeinblendung nur subjektiv in fünf verschiedenen Klassen beurteilt.

Die von uns definierte „minimale“ Thoraxausdehnung reichte kranial vom Außenrand der ersten Rippe bis zu der weitesten Kaudalausdehnung der Recessus costodiaphragmatici der Lungen. Als minimale seitliche Thoraxausdehnung definierten wir den Außenrand des am weitesten nach lateral reichenden Rippenbogens. Alle vier Messpunkte erwiesen sich auf allen Röntgenaufnahmen als zweifelsfrei auffindbar, es sei denn, auf der Aufnahme waren durch zu starke Einblendung bildrelevante Thoraxstrukturen fehlerhaft nicht mit abgebildet worden. Die minimale Thoraxfläche ergab sich aus der jeweils senkrecht zueinander stehenden Verbindung der Begrenzungspunkte (siehe Abb. 3). Die minimale Thoraxausdehnung gewährleistete so in jedem Fall, dass keine bildrelevanten Bereiche auf den Aufnahmen fehlten. Die „optimale“ Begrenzung einer Röntgenaufnahme des Thorax muss zwangsläufig geringfügig weiter aufgeblendet sein, da die von uns definierten radiologischen Begrenzungspunkte der minimalen Feldgröße des Thorax von außen nicht sichtbar sind. Bereits in der Studie von Ruppert [79] wurden mit diesem Vorgehen bei 140 Routinethoraxaufnahmen in aufrechter Position an

Kindern aller Altersstufen gute Erfahrungen gemacht, wobei er der minimalen Feldgröße vergleichbar mit Alt et al. [7] und Lowe et al. [64] jeweils 1,5 cm „Sicherheitsabstand“ hinzurechnete, um die optimale Feldgröße zu erhalten.

Bei Vertiefung dieses Themas stößt man auf das grundsätzliche Problem, dass die Festlegung der Röntgenaufnahme mithilfe des Lichtvisiers nach völlig anderen Gesichtspunkten erfolgt, als anschließend die optimale Einblendung anhand des Röntgenbildes beurteilt wird. Im Kompendium der Röntgeneinstelltechnik und Röntgenanatomie von Nowak [69], welches als Orientierungshilfe für MTRA herangezogen werden kann, wird dieser Umstand nur marginal berührt. Als wesentlichste Orientierung bei Anfertigung einer Thoraxaufnahme im Liegen soll der Zentralstrahl auf der Körperlängsachse in Höhe der Axilla liegen. Die kraniale Feldgrenze wird in Höhe beider lateralen Claviculaenden gelegt. Der kaudale Feldrand ergibt sich dabei zwangsläufig, da er den gleichen Abstand zum Zentralstrahl nach kaudal aufweist. Die beiden lateralen Feldgrenzen werden gemäß Schemazeichnung (Abb. 29) durch die Hautgrenze der maximalen lateralen Thoraxausdehnung definiert [69].



**Abb. 29:** Feldgrenzen einer optimal eingestellten Thoraxaufnahme im Liegen. Die Zeichnung berücksichtigt die Körperproportionen eines Erwachsenen (aus Nowak, 2011, ixray GmbH).

Das hierzu korrespondierende Röntgenbild sucht man in seiner Monographie vergeblich. Am exaktesten entspricht diese Einblendung bei einem Erwachsenen der Abbildung einer normalen Thoraxaufnahme in Möller [67]. Die von Nowak für Kinder

aufgeführten Beispiele sind nur bedingt brauchbar und, da sie mit über den Kopf angehobenen Armen angefertigt wurden, für die Belange intensivpflichtiger Kinder nicht repräsentativ.

Die im Rahmen der Studie hieraufhin entwickelte „optimale Einblendung“ verbindet in idealer Weise äußerlich sichtbare anatomische Landmarken mit den Kriterien der minimalen Feldgröße. Obwohl die optimale Einblendung nur exemplarisch untersucht wurde, erwies sich die Vorgehensweise als äußerst robust. Es kann erwartet werden, dass die Breite der Thoraxaufnahme beidseits problemlos auf die Hautgrenze der seitlichen Thoraxwand eingeblendet werden kann. Die mögliche Einschränkung durch seitlich den Thorax überragende Mammae ist bei Kindern weitgehend zu vernachlässigen. Die kraniale Feldgrenze lässt sich ebenso leicht durch Tasten der Claviculae festlegen. Die kaudale Feldgrenze, die sich durch das von uns definierte quadratische Feld ergibt, kann die minimale Feldhöhe bei Thoraxaufnahmen im Liegen bei schlechter Inspiration erheblich überschreiten. Da jedoch selbst bei optimaler Inspirationslage die kaudalen Recessus costodiaphragmatici abgebildet sein müssen, sollte diese möglicherweise unnötig ausgedehnte Feldhöhe in Kauf genommen werden.

#### **4.4.3 Kollimation**

Unabhängig von der Feldeinblendung fiel bei dem digital erstellten und nachbearbeiteten Bildmaterial auf, dass nahezu alle Bilder eine zusätzliche elektronische Einblendung aufwiesen. Diese diente eigentlich der Vermeidung heller Bildränder und war vergleichbar mit der mechanischen Einblendung an einem Lichtkasten. Da die Röntgenverordnung vorsieht, dass das „Basisbild“ der Röntgenaufnahme nachvollziehbar erhalten bleibt, besteht die Forderung, dass alle Feldränder nach elektronischer Kollimation sichtbar bleiben müssen (§ 28 (5) 2. und 3. RöV) [16; 17; 76]. Überraschenderweise zeigte sich bei Auswertung der Aufnahmen, dass das Originalformat der Röntgenaufnahme durch die nachträgliche Kollimation verloren gegangen war und so bei Überschreiben des ursprünglichen Feldrandes nicht mehr die, über die Thoraxorgane hinausgehenden, tatsächlich exponierten Körperabschnitte erkennbar waren. Ergänzend zu den Qualitätskriterien konventioneller Röntgenfilme ergab sich hieraus eine neuerliche Fehlerquelle bei der Verarbeitung und insbesondere der Speicherung des digitalen Films, worauf von uns gesondert geachtet werden musste. Auf dieses spezielle Problem der digitalen Radiographie wurde nach unserem Kenntnisstand insbesondere von

Pötter-Lang et al. [74], Cook et al. [23], Perlmutter et al. [73], Oppelt et al. [72] und Uffmann et al. [93; 94] hingewiesen. Bereits von diesen Autoren wurde die Gefahr erkannt, dass durch die nachträgliche Kollimation das tatsächliche Ausmaß des Strahlenfeldes gezielt verschleiert werden kann.

#### **4.4.4 Zentrierung**

Wie sich aus der Definition der Einblendung bei Nowak [69] ergibt, besteht ein enger Zusammenhang zwischen Zentrierung und der Lage des Strahlenfeldes. Diesem Umstand wurde von Ruppert [79] durch Festlegung der optimalen Zentrierung auf BWK 7 am besten entsprochen. Die objektive Beurteilung der Zentrierung wurde allerdings in der aktuellen Studie abweichend ermittelt. Durch Messung der Differenzen zwischen dem Abstand der minimalen Feldgrenzen zu den tatsächlichen Feldgrenzen konnten Dezentrierungen sowohl in kranio-kaudaler als auch in lateraler Richtung leicht quantifiziert werden. Die uns bekannten Studien zur Qualitätsbeurteilung von Röntgenaufnahmen der Thoraxorgane haben hingegen alle nur subjektive Beurteilungskriterien angewandt [7; 14; 27; 73; 76; 81; 82; 85; 89; 91; 97; 98; 102].

Die Beurteilung der Zentrierung in Abhängigkeit vom Alter repräsentiert ausschließlich die zunehmenden Körperdimensionen mit zunehmendem Alter. Eine Normierung der Ergebnisse war hier nicht erfolgt.

#### **4.4.5 Verdrehung**

Die Verdrehung messtechnisch zu erfassen erschien uns durch die Seitendifferenz der ventralen Rippenlänge am zuverlässigsten realisierbar. Ziel hierbei war es, die am weitesten nach ventral reichende und die ihr entsprechende kontralaterale Rippe zu erfassen. Anschließend erfolgte die Messung des ventralen Rippenanteils zur äußeren Begrenzung des Rippenbogens. Eine diesem Vorgehen entsprechende Objektivierung der Verdrehung war uns aus der Literatur bisher nicht bekannt. In der uns geläufigen Literatur werden ebenfalls ausschließlich subjektive Einschätzungen der Verdrehung angewandt. Bei dieser wird insbesondere der Verlauf der dorsalen Rippen als Kriterium einer nicht orthograden Einstellung herangezogen. Als Nachteil der von uns gewählten Technik erwiesen sich die altersabhängig differenten Rippenlängen, die eine normierte Aussage der Verdrehung erschwerten. Geringe Differenzen der ventralen Rippenlängen konnten so bei einem extremen Frühgeborenen bereits eine starke Verdrehung,

hingegen bei einem erwachsenen Patienten eine nur geringe Verdrehung bedeuten. Die ventrale Rippenlänge wurde deshalb mit der minimalen Thoraxbreite in Beziehung gesetzt. Hierdurch war es möglich, die prozentuale Abweichung der ventralen Rippenlänge bezogen auf die Thoraxgröße zu ermitteln.

#### **4.4.6 Überlagerungen**

Da Intensivpatienten neben Beatmungstuben, Venenkathetern und Magensonden, deren Lage auf einer Röntgenaufnahme abgrenzbar sein sollten, auch äußere Fremdkörper wie beispielsweise EKG-Elektroden aufwiesen, können diese bei Überlagerung des Bildes die Beurteilung erheblich stören. Gegenstand der Studie war es deshalb auch solche Fremdkörper zu detektieren, die man vor Anfertigung der Röntgenaufnahme besser entfernt hätte. Hierzu zählten auch Körperteile, insbesondere Hände und Unterarme, die gelegentlich über der Brust belassen werden.

#### **4.4.7 Exposition**

Die objektive Beurteilung der Exposition war kritisch zu bewerten, da kein Dosiswert im Radiologieinformationssystem automatisch dokumentiert wurde. Sowohl das Dosisflächenprodukt als auch Röhrenspannung und Ladungsmenge mussten manuell dokumentiert werden, was sowohl eine lückenhafte Protokollierung als auch das versehentliche Übertragen falscher Werte zur Folge hatte oder haben konnte. Da bei einem digitalen Speicherfoliensystem auch die Filmschwärzung als Maß der Dosis nicht funktioniert, konnten nur extrem unterexponierte Aufnahmen am Bildrauschen erkannt werden [31; 74; 80; 85; 93]. Dies wurde bei der subjektiven Bildbeurteilung berücksichtigt.

### **4.5 Bildauswahl und Anonymisierung der Auswertung**

Bevor die Beurteilung der Bildqualität stattfinden konnte, musste eine repräsentative Bildauswahl erfolgen, die dann erst in anonymisierter Form analysiert werden konnte. Um über den gesamten Auswertzeitraum eine weitgehend gleich große Anzahl von Röntgenbildern der drei beteiligten Berufsgruppen und darüber hinaus der einbezogenen MTRA und Ärzte zu erhalten, wurde ein erheblicher Aufwand betrieben. Als weiteres Auswahlkriterium sollten die Aufnahmen aller Altersstufen auf alle Berufsgruppen gleich verteilt sein. Zwei IT-Mitarbeiter wählten die Bilder aus und erstellten CDs mit den anonymisierten Bilddaten. Alternativ hierzu hätte eine konsekutive Bildfolge eines

kleineren Untersuchungszeitraums herangezogen werden können. Hierbei wäre jedoch bei der eher sporadischen Beteiligung der MTRA der Diagnostischen und Interventionellen Radiologie eine mit den anderen Gruppen vergleichbare Aufnahmezahl nicht sicher repräsentativ gewesen, weshalb wir uns zu dem erstgenannten arbeitsintensiveren Vorgehen entschlossen.

## **4.6 Diskussion der Ergebnisse**

### **4.6.1 Patienten-/Bildauswahl**

Wie die Analyse der ausgewählten 396 Thoraxaufnahmen zeigte, waren hierin alle Altersstufen von Früh- und Neugeborenen bis zum Erwachsenenalter vertreten. Die meisten Patienten waren jünger als sechs Monate und der älteste Patient war 48 Jahre alt, was dem Altersspektrum der Patienten entsprach, die auf den Intensivstationen der Kinderklinik behandelt werden. Das Verhältnis der beiden Geschlechter war mit 41 % weiblich und 59 % männlich ebenfalls einigermaßen ausgeglichen.

Für jede der an der Erstellung der Röntgenaufnahmen beteiligten vier Personengruppen gelang es, anteilmäßig etwa 25 % der Aufnahmen auszuwählen. Da jede der vier Gruppen nochmals aus etwa sechs Mitarbeitern bestand, gelang es nicht statistisch ausreichend repräsentative Fallzahlen zusammenzustellen. Aus diesem Grund wurde auf die Beurteilung der Bildqualität einzelner Mitarbeiter verzichtet. Bei der ursprünglichen Planung der Studie wurde der Umfang des Personenkreises unterschätzt, der an der Anfertigung von Röntgenaufnahmen auf den Intensivstationen der Kinderklinik in dem Auswertzeitraum beteiligt war.

Bei der Gruppe der Ärzte, die anonym Aufnahmen erstellt hatten, war auf den Studienzeitraum von fünfeinhalb Jahren bezogen von einem äußerst heterogenen Kollektiv auszugehen. Dies einerseits, weil die meisten Ärzte nur für die Dauer eines Jahres auf einer der Intensivstationen tätig waren, und andererseits, weil die neu auf die Station rotierten Ärzte bekanntermaßen Röntgenuntersuchungen durchführten, obwohl sie nicht eingearbeitet waren, und damit auch kein Namens Kürzel im System für sie hinterlegt war. Darüber hinaus konnte auch nicht ausgeschlossen werden, dass sich Ärzte sowohl namentlich als auch anonym an der Anfertigung der Aufnahmen beteiligt hatten [10; 78].

Die nicht ordnungsgemäß administrierten Aufnahmen, auf die nicht mehr zugegriffen werden konnte, waren ausnahmslos von Ärzten der Intensivstationen, vorwiegend an

Wochenenden, angefertigt worden. Die unter der Woche tagsüber oder nachts nicht ordnungsgemäß archivierten Aufnahmen fielen den MTRA der Abteilung Kinderradiologie meist auf, woraufhin eine nachträgliche Administration erfolgte und so die Aufnahme doch noch der kinderradiologischen Befundung zugeführt werden konnte. Es wäre zu erwarten gewesen, dass diese Aufnahmen, die bereits solch grundlegende formale Mängel aufweisen, auch in der technischen Ausführung nicht den vom Gesetzgeber geforderten Qualitätsstandards entsprechen [10; 78].

Weitere Missstände waren die bereits genannte fehlerhafte Bezeichnung der Körperstammaufnahmen als Thoraxaufnahmen, die nicht vorhandene Verknüpfung von Patientendaten mit den entsprechenden Aufnahmen sowie die fehlende Dokumentation des Patientengewichts und des Dosisflächenproduktes. Eine Reihe von Studien wies ebenfalls auf derartige Mängel hin [22; 23; 62; 81; 98].

#### **4.6.2 Subjektiv beurteilte Qualitätsmerkmale**

Studien der Qualitätsbeurteilung von Röntgenaufnahmen gründen üblicherweise auf einer subjektiven Beurteilung von zuvor definierten Qualitätsmerkmalen. Die Grundlage sind dabei die jeweiligen Rechtsvorschriften und die Empfehlungen der Fachgesellschaften.

Die von uns gewählten subjektiven Beurteilungskriterien erstreckten sich auf die in der Literatur gebräuchlichen Merkmale wie Einblendung, Zentrierung, Verdrehung, Bildrauschen und die generelle Frage der Befundbarkeit [6; 7; 13; 21–23; 26; 27; 31; 49; 53; 62; 64; 73; 79; 82; 84; 89; 91; 97; 98; 102]. Es wurde dabei zum Teil für die einzelnen Qualitätskriterien eine unterschiedliche Anzahl an Möglichkeiten der Abstufung definiert. Die Ergebnisse der subjektiven Beurteilung zeigten sehr unterschiedlich hohe Übereinstimmungen zwischen den Beurteilern. Mithilfe von Krippendorffs Alpha konnte jedoch gezeigt werden, dass zwischen den drei Befundern insgesamt eine schlechte Übereinstimmung bestand. So beurteilten die drei Kinderradiologen das Qualitätskriterium „Einblendung“ voneinander abweichend zwischen 23,5 % bis 47,5 % als optimal. Ähnlich geringe Übereinstimmungen zeigten die Kriterien „abgeschnitten“, „zu weit“ und „extrem zu weit“ aufgeblendet, worauf sich als Übereinstimmungsmaß ein Krippendorffs Alpha von 0,414 ergab.

Auch das Kriterium „Zentrierung“ erbrachte mit einem Krippendorffs Alpha von 0,349 eine ebenfalls schlechte Übereinstimmung aller Beurteiler. Das Kriterium „Verdrehung“ wurde mit einem Krippendorffs Alpha von 0,341 ähnlich unscharf bewertet wie das Kriterium „Zentrierung“.

Eine geringfügig bessere Übereinstimmung (Krippendorffs Alpha: 0,410) ließ sich bei der Exposition, bei der lediglich die Frage des Bildrauschens zu bewerten war, erzielen. Auch hier variierte das Kriterium „gute Auflösung“ zwischen 69,2 % und 87,4 % unter den Befundern. Der geringere Anteil der Bilder ließ nach Auffassung der Kinderradiologen ein Bildrauschen erkennen. Hätte es das Kriterium „Überexposition“ wie bei konventionellen Röntgenaufnahmen gegeben, wären sehr wahrscheinlich ebenfalls schlechtere Übereinstimmungen zu beobachten gewesen. Bereits Uffmann et al. [93] weisen auf die extrem subjektive individuelle Wahrnehmung des Bildrauschens hin.

Bei der generellen Befundbarkeit fand sich mit einem Krippendorffs Alpha von 0,180 der geringste Zusammenhang. Die Aussage, dass das Röntgenbild nicht verwertbar sei, wurde nur von einem Beurteiler in einem Fall getroffen. Die beiden anderen Beurteiler fanden bestenfalls eine eingeschränkte Beurteilbarkeit in 8,8 % bis 16,7 %. Hier unterscheidet sich die vorliegende Studie von den Ergebnissen in der Literatur, in welchen die Qualität anhand der Anzahl der Wiederholungsaufnahmen gemessen wurde [26; 32; 62; 98]. Dies hat möglicherweise zweierlei Gründe. Zum einen ist der Anteil an Wiederholungsaufnahmen bei den MTRA der Abteilung Kinderradiologie verschwindend gering und liegt aus der langjährigen Erfahrung sicher unter 1 %. Andererseits kann nicht ausgeschlossen werden, dass sich bei der hohen Anzahl nicht ordnungsgemäß administrierter Aufnahmen besonders solche befanden, die verworfen wurden. Abweichend von den gesetzlichen Bestimmungen gab es Hinweise, dass Fehltaufnahmen nicht dokumentiert wurden. So fand sich bei der Selektion der auszuwertenden Aufnahmen im DICOM Header (Dateikopf) mehrfach die Aufnahme Nummer „2“, obwohl die Aufnahme Nummer „1“ im Archiv nicht existent war [10; 78].

Anhand unserer Ergebnisse müssen Zweifel an der Zuverlässigkeit der subjektiv bewerteten Qualität von Thoraxaufnahmen geäußert werden. Kriterien wie „zu weit eingebildet“ oder „extrem zu weit eingebildet“ werden offensichtlich sehr unterschiedlich streng bewertet. Ähnlich verhält es sich wohl mit den Kriterien „verdreht“ oder „stark verdreht“. Die subjektive Beurteilung ist tendenziell verwertbar, stellt aber zur exakten Quantifizierung eines Qualitätsmerkmals ein zu ungenaues Maß dar. Hiervon muss

ausgegangen werden, obwohl klare Qualitätskriterien vorgegeben waren. Aufgrund unserer Ergebnisse musste die eingangs getroffene Hypothese, dass sich die drei Kinder-radiologen in ihrer subjektiven Einschätzung nicht wesentlich unterscheiden, verworfen werden.

Auch andere Studien verwenden z.B. Begriffe wie „geringfügig zu weit aufgeblendet“, „mäßig weit aufgeblendet“ und „deutlich zu weit aufgeblendet“ [27]. Wie die Beurteiler mit dieser Abstufung umgingen, wird jedoch nicht deutlich, wenn wie bei den meisten Untersuchungen im Konsens beurteilt wurde.

Trotz der in unterschiedlichem Maß festgestellten Qualitätsmängel der Aufnahmen war die diagnostische Verwertbarkeit hierdurch offensichtlich nicht oder nur unwesentlich beeinträchtigt. Dies ist hinsichtlich des primären Ziels, eine radiologische Aussage treffen zu können, ein hervorragendes Ergebnis und wurde im Vergleich mit der Literatur nur von Cook et al. in gleicher Weise beobachtet. Andere Autoren mussten hingegen einen wesentlich höheren Anteil an nicht beurteilbaren Aufnahmen registrieren [7; 26; 27; 31; 53; 89]. Aus der Erfahrung mit unter- oder überexponierten konventionellen Röntgenaufnahmen, Filmfehlern, unbeabsichtigten Belichtungen und dem, was zusätzlich an technischen Unzulänglichkeiten vorhanden war, stellt die digitale Radiographie heute offensichtlich eine wesentlich weniger störanfällige Technologie dar.

Abweichungen bei der subjektiven Auswertung zwischen der Summe der Diagonalen sowie Krippendorffs Alpha lassen sich dadurch erklären, dass im letzteren Fall alle in der Kontingenztafel aufgeführten Beziehungen in die Berechnungen einbezogen wurden.

### **4.6.3 Objektiv beurteilte Qualitätsmerkmale**

Die von uns eingeführte Messmethode der „minimalen“ Thoraxfläche korrelierte signifikant mit dem Alter der Patienten. Trotz zunehmender Streuung der Thoraxfläche mit zunehmendem Alter der Patienten erwies sich diese als verlässliches Maß für die kleinstmögliche Feldgröße, mit der sowohl die „optimale“ als auch die „tatsächliche“ Feldgröße in Beziehung gesetzt werden konnte. Die von den anatomischen Gegebenheiten und dem Wachstum der Patienten abhängigen Hypothesen konnten bestätigt werden. Diese betrafen die Abhängigkeit der minimalen Feldhöhe von der minimalen Feldbreite sowie die Abhängigkeiten der minimalen Feldgröße, die ventrale Rippenlänge (Verdrehung), die Zentrierung und das Dosisflächenprodukt vom Patientenalter.

Unter Zugrundelegung der Studienergebnisse von Ruppert [79] beträgt die optimale Feldgröße einer Thoraxaufnahme 120 % der minimalen Thoraxfläche. In der aktuell vorliegenden Untersuchung betrug die tatsächliche Feldgröße aller 396 Aufnahmen durchschnittlich allerdings 164 % der minimalen Thoraxfläche, ohne dass ein signifikanter Unterschied zwischen den beteiligten Berufsgruppen festgestellt werden konnte.

Es liegt uns nur ein direkt vergleichbarer Beitrag über die Feldgrößen von Thoraxaufnahmen im Liegen vor. Diese Studie von Lowe et al. [64] untersucht unter anderem an 144 Thoraxaufnahmen von Neugeborenen aus fünf verschiedenen Kinderkliniken in Großbritannien die Qualität der Einblendung und legt dabei die Empfehlungen der Europäischen Kommission zugrunde [28; 64]. Als zusätzlicher Toleranzbereich wurde ein darüber hinausgehender Streifen von 1 cm an allen Feldrändern zugestanden (entsprechend 100 %). Nur drei Aufnahmen der von ihm ausgewerteten Aufnahmen entsprachen dieser zu fordernden Einblendung. 34 (24 %) Aufnahmen waren 25 % zu weit, 69 (48 %) 26 % bis 50 %, 34 (24 %) 51 % bis 75 % und drei (2 %) Aufnahmen mehr als 75 % zu weit aufgeblendet. Das Maximum wurde mit 182 % der notwendigen Feldgröße ermittelt.

Es bedarf weiterer Erhebungen, um beurteilen zu können, ob diese im Vergleich zu Thoraxaufnahmen in aufrechter Position weiter aufgeblendeten Aufnahmen auch in anderen Kliniken üblich sind. Darüber hinaus sollte anhand prospektiver Studien ermittelt werden, ob es gelingt leitliniengerecht einzublenden und damit die Feldgröße zu reduzieren, ohne bildrelevante Organbereiche abzuschneiden, wenn dieser Aspekt im Fokus des Interesses steht.

Als ein zentrales Thema der Studie erwies sich überraschenderweise die nachträgliche elektronische Einblendung der Aufnahmen. Anhand der Aufhellungslinie am Feldrand der Aufnahmen konnte – wenn vorhanden – zweifelsfrei erkannt werden, ob es sich um die originale Feldgrenze der Röntgenaufnahme handelte. Fehlte diese, so handelte es sich um den Rand der nachträglichen Kollimation.

Da von allen 396 Aufnahmen im Durchschnitt nur zwei Feldränder sichtbar waren, musste davon ausgegangen werden, dass bei den zur Auswertung vorliegenden Röntgenaufnahmen weder die originale Einblendung noch die Zentrierung wirklich beurteilbar waren. Weil nach Übertragung der Aufnahmen in das Bildarchiv keine Möglichkeit bestand, die Kollimation rückgängig zu machen, ließ sich das tatsächliche

Strahlenfeld auch nicht mehr reproduzieren. Gerade bei den Früh- und Neugeborenen war es durch die elektronische Kollimation möglich, beliebig weit aufgeblendete oder auch fehlzentrierte Aufnahmen so einzublenden, dass dies anschließend nur schwer oder überhaupt nicht mehr auf der Aufnahme erkennbar war. Somit wurde die Hypothese bestätigt, dass die sichtbar gebliebenen Felldränder abhängig vom Patientenalter waren. Ebenso konnte gezeigt werden, dass im Tagdienst signifikant mehr Felldränder sichtbar blieben als im Nachtdienst.

Mit diesem Umstand erlangte die Frage, ob sich alle Berufsgruppen, die sich an der Anfertigung der Röntgenaufnahmen beteiligt hatten, bezüglich der Verwendung der nachträglichen Kollimation gleich verhalten hatten, besondere Bedeutung als untrügliches Qualitätsmerkmal.

Obwohl auch die MTRA der Abteilung Kinderradiologie in nur knapp 23 % alle vier Felldränder und in 30 % zumindest drei Felldränder sichtbar ließen, unterschieden sie sich signifikant von den übrigen Berufsgruppen, bei denen alle vier Ränder nur bei 6 – 11 % sichtbar waren. Aufgrund dieses Ergebnisses musste davon ausgegangen werden, dass insbesondere bei den sehr kleinen Kindern die Einstellung der Strahlenfelder grundsätzlich eher sehr großzügig gewählt wurde, um sie dann nachträglich mit der Kollimation auf weitgehend leitliniengerechte Dimensionen wieder einzublenden. Der eigentliche Zweck der elektronischen Kollimation, Überstrahlungsråder zu bedecken, um die Befundung zu verbessern, trat dabei in den Hintergrund. Die Strahlenexposition der einzelnen Patienten lag damit in unbekanntem Maß höher als bei optimaler Feldeinstellung und ohne die nachträgliche Kollimation.

Alle Auswerteschritte, die sich in der vorliegenden Arbeit auf das Strahlenfeld und die Zentrierung der Bilder bezogen, wie sie im Bildarchiv abgespeichert waren, wurden zwar berechnet, sie hatten jedoch aufgrund der Art und Weise, wie die nachträgliche Kollimation angewandt wurde, keine Bedeutung. Obwohl sich zwischen Tag- und Nachtdienst signifikante Unterschiede bezüglich der Einblendung und Zentrierung fanden und sich die Hypothesen bestätigen ließen, sind auch diese Unterschiede irrelevant. Es wundert somit nicht, wenn bedingt durch die digitale Nachbearbeitung zwischen den verschiedenen Berufsgruppen kaum signifikante Unterschiede gefunden wurden.

Die Auswertung der Verdrehung erbrachte weder hinsichtlich der Tageszeit noch bezüglich der ausführenden Berufsgruppe signifikante Unterschiede. Obwohl knapp ein Viertel der Aufnahmen verdreht und 10 % sogar stark verdreht waren, schien dies die Beurteilbarkeit nicht wesentlich zu beeinträchtigen, wie die Einschätzungen der drei Kinderradiologen erbrachten. Interessant war, dass der exakten Positionierung auch in der Literatur nur relativ wenig Beachtung geschenkt wurde [23; 85].

Bedeutsam erscheint die Frage, wodurch nicht exakt positionierte Thoraxaufnahmen resultieren. Bei erwachsenen intensivpflichtigen Patienten ist dies, aufgrund des meist überhöhten Körpergewichts bei gleichzeitiger Immobilität, gut nachvollziehbar. Bei Kindern und Säuglingen werden hingegen aus hygienischen Gründen von MTRA nur ungerne Lagekorrekturen und Umlagerungen vorgenommen. Manipulationen, wie sie allein beim Positionieren einer Kassette unter dem Patienten notwendig sind, dürfen nicht ohne Kenntnis oder Beteiligung der zuständigen Pflegekraft erfolgen.

Wird eine harte und kalte Röntgenkassette unter einem Frühgeborenen platziert, löst dies bei nicht relaxierten Kindern in der Regel heftige Bewegungsautomatismen aus, die bei unmittelbar folgender Aufnahme oft zwangsläufig zur Fehlpositionierung führen. Mithilfe einer Röntgenschublade im Brutkasten kann dieses Problem weitgehend vermieden werden. Dies führt jedoch, aufgrund der ungünstigeren Strahlengeometrie und auch wegen der meist verwendeten Gelkissen, zu einer erheblichen Dosissteigerung, wenn nicht gar zu einer Einschränkung der Bildqualität. Bis zur Einführung der Speicherfolientechnik wurde das Problem durch Verwendung flexibler Kassetten weitgehend gelöst. Die Einführung der sehr teuren Speicherfolien, die mechanisch leicht beschädigt werden können, erlaubt nicht, diese häufigen Manipulationen der Folie weiter fortzusetzen [10; 78].

Zahlreiche Arbeiten beschäftigen sich mit der Expositions-dosis von Thoraxaufnahmen [32; 73; 102]. Hierunter sind solche hervorzuheben, die sich mit der Dosis bei Intensivthoraces von Neugeborenen und Säuglingen beschäftigen [11; 31; 64; 71]. Allen ist gemein, dass es sich um prospektive Studien handelt, bei denen meist die Oberflächendosis mithilfe von geeigneten Dosimetern gemessen wurde. Bei der von uns durchgeführten retrospektiven Studie waren keine exakten Aussagen über die Expositions-dosis einer einzelnen Aufnahme möglich. Wohl aber konnte anhand der vorgegebenen Dosistabelle die jeweilige Dosis, bezogen auf Körpergewicht oder Lebensalter, angegeben werden. Entsprechende Werte wurden in vorausgegangenen Studien bei Aufnahmen im Stand

mithilfe von Dosimetern an der Strahleneintrittsseite des Thorax ermittelt [13; 79]. Aus diesen Untersuchungen war bereits bekannt, dass aus den Einstellwerten der Röntgenröhre für extreme Frühgeborene ( $< 800$  g) zu geringe Dosen resultierten, wenn neben der Röhrenfilterung mit 1 mm Aluminium zusätzlich 0,1 mm Kupfer verwendet wurde.

Bei jeder Röntgenaufnahme, die auf den Intensivstationen angefertigt wurde, hätten die Röhrenspannung, das mAs-Produkt und das Dosisflächenprodukt protokolliert werden sollen. Die Abweichungen von der vorgegebenen Dosistabelle wurden ausgewertet, was ergab, dass sowohl die Röhrenspannung in 30 % als auch das mAs-Produkt in 55 % der Fälle modifiziert wurde. Interessanterweise zeigte sich dabei, dass häufiger versucht wurde die Werte gegenüber der Vorgabe nach unten statt nach oben zu korrigieren. Dieses Ergebnis ließ vermuten, dass alle an der Anfertigung der Aufnahmen beteiligten Personen bemüht waren die Expositions-dosis eigenständig zu reduzieren. Bei der erfahrungsgemäß großen Toleranz der Expositions-dosen konnte die fehlerhaft zu niedrige Dosis, im Gegensatz zu den früher verwendeten konventionellen Film-Folien-Systemen, bestenfalls zu einem stärkeren Rauschen der Aufnahme führen.

Abgesehen von den willkürlichen Abweichungen, die bei der Einstellung der Röhre vorgenommen wurden, lässt sich durch die Verwendung des Kupferfilters bei sehr kleinen Frühgeborenen das bei der subjektiven Beurteilung gefundene Bildrauschen einzelner Aufnahmen erklären.

Indes erwies sich die Dokumentation des Dosisflächenproduktes als lückenhaft, so dass nur bei 368 der 396 Aufnahmen ein Wert dokumentiert war. Obwohl eine sehr enge Korrelation zwischen DFP und der Thoraxgröße zu erwarten war, zeigte sich gerade bei den sehr kleinen Kindern eine unerwartet starke Streuung der DFP-Werte. Hieraus konnte zweifelsfrei belegt werden, dass bei einigen der Kinder entweder das Strahlenfeld zu weit aufgeblendet und/oder die eingestellte Röntgendosis das notwendige Maß deutlich überstiegen hatte. Bei älteren Patienten ließ sich mit der Höhe des DFP diese Aussage nicht ohne Weiteres treffen, da hier die unterschiedlichen Körperdimensionen der Patienten einen zu starken Einfluss auf diesen Wert hatten. Die Korrelation der minimalen und die der tatsächlichen Feldgröße mit dem DFP waren gleich. Dies besagt lediglich, dass die Streuung der eingestellten Feldgrößen das physiologische Maß der tatsächlichen Thoraxgrößen nicht überstieg. Werden zu den Expositions-dosen bei Thoraxaufnahmen im Liegen exaktere Aussagen gewünscht, sind Dosismessungen – vorzugsweise mittels Thermolumineszenzdosimetrie (TLD) – unumgänglich.

#### **4.6.4 Vergleich subjektiv mit objektiv beurteilter Bildgüte**

Aufgrund der nachträglichen Kollimation der meisten Aufnahmen erwies sich die ursprünglich vorgesehene Gegenüberstellung der gemessenen Bildgütekriterien wie Einblendung und Zentrierung mit der subjektiven Beurteilung als nicht mehr sinnvoll. Unabhängig davon zeigte der Vergleich der subjektiven mit den objektiven Qualitätsmerkmalen außerordentlich schlechte Übereinstimmungen gemessen an Krippendorffs Alpha (siehe Kapitel 3.4). Somit musste auch diese eingangs formulierte Hypothese, dass die subjektive Einschätzung der Kinderradiologen mit der objektiv ermittelten Bildgüte übereinstimmt, verworfen werden. Mit diesem Ergebnis sahen wir unsere Bemühungen bestätigt, die Qualität für Thoraxaufnahmen durch objektiv messbare Kriterien zu beurteilen.

#### **4.6.5 Qualitätsbeurteilung der Aufnahmen in Abhängigkeit von der ausführenden Berufsgruppe**

Während sich bei der Einblendung und der Verdrehung keine berufsgruppenspezifischen Unterschiede fanden, zeigten sie sich bei der Auswertung der vertikalen Zentrierung zwischen den verschiedenen Berufsgruppen. Ebenso fand sich auf den Aufnahmen der MTRA der Abteilung Diagnostische Radiologie ein höherer Fremdkörperanteil als bei allen anderen Berufsgruppen.

Der gravierendste Unterschied zeigte sich bei der Frage der sekundären Einblendung / Kollimation. Im Vergleich zu den MTRA der Abteilung Kinderradiologie ließen sowohl die MTRA der Abteilung Diagnostische Radiologie als auch die beiden Ärztegruppen der Intensivstationen nach der Kollimation signifikant weniger Feldgrenzen sichtbar. Bei den MTRA der Kinderradiologie waren in 23 % alle und in 30 % wenigstens drei Feldränder erkennbar. Da diese Berufsgruppe die größte Routine im Umgang mit Kindern auf der ITS hatte (Tab. 14), war es nicht verwunderlich, dass sich dieses Ergebnis auch bei der Betrachtung der Erfahrung der Untersucher auf die Aufnahmequalität widerspiegelte.

Viele Studien bestätigen unser Ergebnis, dass pädiatrische Patienten durch speziell ausgebildete Fachkräfte besser versorgt werden und Röntgenaufnahmen möglichst nur von geschultem und erfahrenem Personal angefertigt werden sollten [7; 23; 26; 27; 31; 53; 56; 62; 85; 89]. Beispielsweise erachten Alt et al. [7] das Risiko, eine mangelhafte Aufnahme zu erstellen in Abteilungen ohne kinderradiologische Kompetenz als ungefähr

dreimal höher, als in Zentren mit kinderradiologischer Kompetenz. Weiterhin vertreten sie den Standpunkt, dass die schwerwiegenden Qualitätsunterschiede den unterschiedlichen Ausbildungsstand aufzeigen. Auch die anderen beiden Gruppen aus Heidelberg [27; 89] teilen die Ansicht, dass eine unzureichende Ausbildung ursächlich für Fehler im kinderradiologischen Röntgen sei. Daher sind eine adäquate Ausbildung und Fortbildungsmaßnahmen des Personals unerlässlich [7; 26; 27; 56; 62; 73; 74; 93].

## 5 SCHLUSSFOLGERUNG

Die Auseinandersetzung mit der Qualität von Röntgenuntersuchungen stellt eine elementare Aufgabe jeder Röntgeneinrichtung dar [62]. In dem klinischen Routinebetrieb einer Röntgenabteilung können sich vielfältige Fehlermöglichkeiten einschleichen. Diese können technische Störungen der verwendeten Anlagen ebenso betreffen wie Fehlverhalten des Personals.

Instrumente, gegen solche Fehler vorzugehen, sind vom Gesetzgeber im Wesentlichen durch die Röntgenverordnung mit §§ 16, 17 und 18 vorgegeben [17]. Die regelmäßig durchzuführenden Konstanzprüfungen tragen dazu bei, Abweichungen von den bei der Abnahme einer Röntgeneinrichtung als optimal festgesetzten Bedingungen sofort zu erkennen und daraufhin umgehend Maßnahmen zur Wiederherstellung des Optimums zu ergreifen. Dass dies auch so geschieht, liegt im Verantwortungsbereich des Strahlenschutzbeauftragten, der seinem Strahlenschutzverantwortlichen gegenüber Rechenschaft schuldet, sofern es sich dabei nicht um die gleiche Person handelt. Als übergeordnete Instanz überwacht die Ärztliche Stelle die Einhaltung der geltenden Strahlenschutzbestimmungen und meldet notfalls Verstöße an das als atomrechtliche Aufsichtsbehörde fungierende Regierungspräsidium.

Die unabhängig von diesen gesetzlichen Rahmenbedingungen aus wissenschaftlichem Interesse heraus durchgeführte Studie belegt unseres Erachtens die Notwendigkeit solcher Bemühungen. Überraschend erwies sich die subjektive Einschätzung der Bildqualität nahezu aller Aufnahmen als so gut, dass wesentliche Einschränkungen der diagnostischen Brauchbarkeit ausgeschlossen werden konnten. Dies war festzustellen, obwohl MTRA der Diagnostischen Radiologie vermutlich erstmals in ihrem Berufsleben die Aufgabe hatten, kritisch kranke und beatmete früh- und neugeborene Kinder in einem Brutkasten zu röntgen [10; 78].

Nicht viel anders verhielt es sich mit dem ärztlichen Personal der Intensivstationen. Diese hätten, um autark und eigenverantwortlich Röntgenuntersuchungen bei den Kindern anzufertigen, eine entsprechende, gesetzlich vorgeschriebene Weiterbildung gemäß § 18a RöV erhalten müssen [17]. Über diese Fachkunde verfügten im Erhebungszeitraum die langjährigen Fach- und Oberärzte, die besonders in Notfallsituationen außerhalb der regulären Dienstzeit ebenso wenig vor Ort waren wie die Ärzte der Abteilung Kinderradiologie. Hierdurch wurde im Regelfall sowohl die Anordnung der

Röntgenuntersuchung als auch die Anfertigung von nicht hierzu legitimierten Personen vorgenommen. Die offizielle Interpretation der Thoraxaufnahmen erfolgte innerhalb der regulären Dienstzeit von Seiten der Kinderradiologen. Bis zu diesem Zeitpunkt übernahm der, auf der Intensivstation, diensthabende Pädiater die Verantwortung für die Interpretation der von ihm angefertigten Aufnahmen [10; 78].

Zur notwendigen Strahlendosis bei der Anfertigung der Thoraxaufnahmen zeigte sich hingegen ein anderes Bild. Alle drei in der vorliegenden Studie analysierten Berufsgruppen beachteten nicht in gebotener Weise die Erkennbarkeit der Feldgrenzen. Sie wendeten die nachträgliche, digitale Kollimation in der Weise an, dass sie damit ungerechtfertigt weit aufgeblendete Aufnahmen wieder auf ein, ihrer Einschätzung nach, tolerables Maß reduzierten. Hierdurch wurde die tatsächliche Einblendung verschleiert. Obwohl alle Mitarbeiter dieses Verhalten erkennen ließen, war es bei den MTRA der Abteilung Kinderradiologie signifikant weniger stark ausgeprägt als bei den beiden anderen Berufsgruppen.

Die nachträgliche Kollimation der Aufnahmen kann auf der Ausleseeinheit noch rückgängig gemacht werden. Alternativ zu der hundertprozentigen Überlagerung des Bildausschnitts durch die Kollimation ermöglicht die Software eine z.B. achtzigprozentige Überdeckung. Hierdurch bleibt unter der Kollimation das ursprüngliche Feld noch erkennbar. Mit Übertragung des Bildes auf den Bildspeicher wird die zuletzt eingestellte Version der Kollimation übernommen. Obwohl das Ergebnis der vorliegenden Studie mit dem für Gießen zuständigen Mitarbeiter der Firma Agfa besprochen wurde, konnte das auf der Softwareebene zu behebende Problem bis zum heutigen Tag nicht abgestellt werden. Auch die Ärztliche Stelle, die den hiermit verbundenen Verstoß gegen die Röntgenverordnung seit Jahren kannte, ging nicht dagegen vor. Es muss davon ausgegangen werden, dass zumindest alle Röntgenabteilungen, die ebenfalls mit diesem System von Agfa arbeiten, Gefahr laufen, ihre Bilder mangelhaft zu archivieren [10; 78].

Dem Problem der nachträglichen Einblendung sollte durch geeignete Schulung entgegen gewirkt werden. Unabhängig davon sind eine adäquate Ausbildung und Fortbildungsmaßnahmen des Personals im Umgang mit pädiatrischen Patienten geboten, und verbindliche Untersuchungsverfahren wie Standardarbeitsanweisungen (SOP) und Leitlinien unverzichtbar.

## 6 ZUSAMMENFASSUNG

Auf den Intensivstationen des Zentrums für Kinderheilkunde und Jugendmedizin des UKGM Gießen und Marburg, Standort Gießen, werden Röntgenaufnahmen von einem großen Personenkreis angefertigt. Im Tagdienst sind dies vorwiegend die MTRA der Abteilung Kinderradiologie, nachts die MTRA der Abteilung Diagnostische und Interventionelle Radiologie sowie zu allen Zeiten die Ärzte der Intensivstationen. Hieraus ergeben sich bezüglich der einzuhaltenden gesetzlichen Vorgaben durch die Röntgenverordnung Schwierigkeiten der Qualitätssicherung. Wegen der klinischen Bedeutung von Röntgenthoraxaufnahmen auf Intensivstationen erfolgte eine retrospektive Auswertung repräsentativer Aufnahmen zur Qualitätsbeurteilung.

Aus dem Zeitraum von 2006 bis 2011 wurden 396 digitale Thoraxaufnahmen von insgesamt 19 in die Auswertung einbezogenen Mitarbeitern zufällig ausgewählt, sodass von jedem Mitarbeiter und jeder Berufsgruppe annähernd die gleiche Anzahl von Aufnahmen ausgewertet werden konnte. Weitere Aufnahmen waren von namentlich nicht zuzuordnenden Pädiatern der Intensivstationen angefertigt worden.

Nach vollständiger Anonymisierung wurden die Aufnahmen von drei Kinderradiologen nach zuvor festgelegten subjektiven Kriterien unabhängig voneinander bewertet. Darüber hinaus wurden Einblendung, Verdrehung, Zentrierung, beseitigbare Fremdkörper, gewählte Expositionswerte (mAs, kV) und die nachträgliche Kollimation, nach objektiv messbaren Kriterien, beurteilt.

Bei der subjektiven Qualitätsbeurteilung durch die Kinderradiologen stimmten diese wenig in ihrer Einschätzung überein. Aufgrund dieser Uneinigkeit war eine präzise Aussage über unterschiedliche Aufnahmequalitäten zwischen den beteiligten Berufsgruppen nicht möglich.

Auch die objektiv messbaren Qualitätsunterschiede zwischen den drei bei der Anfertigung der Aufnahmen beteiligten Berufsgruppen waren marginal. Dies war im Wesentlichen durch die nachträgliche Kollimation der Aufnahmen bedingt. Hierdurch war die retrospektive Beurteilung von tatsächlicher Feldgröße und Zentrierung nicht mehr möglich. Im Vergleich der drei mit in die Auswertung einbezogenen Berufsgruppen waren bei den Aufnahmen der MTRA der Abteilung Kinderradiologie entsprechend den Vorschriften der Röntgenverordnung, signifikant mehr Feldgrenzen sichtbar geblieben. Den

Aufnahmen aller Berufsgruppen war trotz nachträglicher Kollimation gemein, dass sie mit 164 % der minimal notwendigen Expositionsfläche im Durchschnitt zu weit aufblendet waren.

Mithilfe der vorliegenden Studie konnte aufgezeigt werden, dass mittels nachträglicher digitaler Kollimation die Röntgenaufnahmen der Kinder beliebig manipuliert werden können, ohne dass die unnötige Exposition dosisrelevanter Organe nachvollzogen werden kann. Trotz der im Erhebungszeitraum erfolgten regelmäßigen Qualitätskontrollen seitens der Ärztlichen Stelle Hessen wurde dieser Mangel nicht aufgedeckt und unterbunden.

Die notfallmäßige Anfertigung von Röntgenaufnahmen seitens der Intensivärzte wird als unverzichtbar angesehen. Umso notwendiger ist es, die vom Gesetzgeber geforderte Weiterbildung durchzuführen, damit die radiologischen Qualitätsstandards zum Schutz der Kinder Beachtung finden. Zur effektiven Überprüfung der Einhaltung dieser Qualitätsstandards ist eine Kontrollinstanz mit ausreichenden Befugnissen unerlässlich.

## 7 SUMMARY

On the pediatric intensive care units (ICU) of the University Hospital Giessen radiographs are produced by pediatric radiology technicians during the day, during the night by radiographers of the general radiology department and by physicians working on ICU at all times. Because of the clinical significance of x-rays on ICU on the one hand and the legal guidelines set out by the “Roentgenverordnung” on the other hand the quality of radiographs on ICU was analyzed.

Between 2006 and 2011, 396 representative digital chest radiographs produced by a total of 19 examiners were selected for evaluation, so that of each individual and each profession the equal amount of radiographs were analyzed. Additionally radiographs produced by unidentified pediatricians working on ICU were also included in the study.

After complete de-personalization all radiographs were evaluated independently by three pediatric radiologists according to previously defined subjective criteria. Additionally exposure dose, collimation, rotation, central focusing, removable foreign bodies and post processing use of electronic shutters were analyzed according to objective criteria.

There was only little agreement between pediatric radiologists in the subjective evaluation. Therefore a detailed conclusion about the different x-ray quality particularly with regard to the different professions could not be drawn.

The difference in quality between the three professions was marginal due to retrospective digital collimation. This led to an inability to evaluate central focusing and the actual field margins. The amount of chest margins on the stored films varied significantly after post-processing use of electronic shutters. The radiographs of the pediatric radiology technicians revealed more chest margins as required by the “Roentgenverordnung” than the other two professions.

The study revealed the fact that by using post-processing shutters x-rays of children can be arbitrarily manipulated so that unnecessary radiation exposure of dose relevant organs cannot be traced later on. Despite regular quality controls of the “Aerztliche Stelle Hessen”, the responsible authority, this violation was not disclosed and abandoned.

Radiographs performed by ICU physicians in an emergency situation when radiographers are not immediately available are considered indispensable. Therefore further education and application of radiological quality standards are essential.

## 8 LITERATURVERZEICHNIS

1. Abrams HL: The overutilization of X-rays. *The New England journal of medicine*. 1979. (301) 12: 668.
2. Agfa HealthCare NV - Broschüre DX-S - Die technologische Revolution in der digitalen Radiographie. 2006.  
[http://www.bendergruppe.de/fileadmin/user\\_upload/roentgen-bender.de/de/produktdatenbank/Dokumente/agfa/DB-DX-S.pdf](http://www.bendergruppe.de/fileadmin/user_upload/roentgen-bender.de/de/produktdatenbank/Dokumente/agfa/DB-DX-S.pdf).  
Zugegriffen: 17. September 2014.
3. Agfa HealthCare NV - Broschüre Dosiseinsparung von bis zu 50 % in der Kinderradiologie des Universitätsklinikums Gießen. 2008.  
<http://www.healthtechwire.de/agfa-healthcare/dosiseinsparung-von-bis-zu-50-in-der-kinderradiologie-des-universitaetsklinikums-giessen-1206/>.  
Zugegriffen: 17. September 2014.
4. Agfa HealthCare NV - Broschüre DX-S für die digitale Radiografie. 2009.  
<http://www.agfahealthcare.com/global/en/he/library/libraryopen?ID=31620927>.  
Zugegriffen: 30. September 2014.
5. Agfa HealthCare NV - Broschüre NX für die digitale Radiografie. 2009.  
<http://www.agfahealthcare.com/global/en/he/library/libraryopen?ID=39054272>.  
Zugegriffen: 30. September 2014.
6. Almén A, Lööf M, Mattsson S: Examination Technique, Image Quality, and Patient Dose in Paediatric Radiology. *Acta Radiologica*. 1996. (37) 3: 337–342.
7. Alt CD, Engelmann D, Schenk JP, Troeger J: Qualitätskontrolle von Röntgenthoraxaufnahmen bei Kindern in diagnostischen Zentren mit und ohne kinderradiologische Kompetenz. *RöFo - Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der bildgebenden Verfahren*. 2006 (178) 2: 191–199.
8. Alzen G, Benz-Bohm G: Radiation Protection in Pediatric Radiology. *Deutsches Ärzteblatt International*. 2011. (108) 24: 407–414.

9. Alzen G: Leitfaden Abteilung Kinderradiologie, Universitätsklinikum Gießen und Marburg GmbH, Standort Gießen. 2009.  
[http://www.ukgm.de/ugm\\_2/deu/ugi\\_krd/PDF/Leitfaden\\_2009-04-27%281%29.pdf](http://www.ukgm.de/ugm_2/deu/ugi_krd/PDF/Leitfaden_2009-04-27%281%29.pdf).  
Zugegriffen: 04. Oktober 2014.
10. Alzen G: Zur Historie der Abteilung Kinderradiologie. Persönliches Gespräch.  
10.02.2012, Gießen.
11. Arroe M: The Risk of X-Ray Examinations of the Lungs in Neonates. *Acta Radiologica*. 1991. (80) 5: 489–493.
12. Bautz W, Busch U: 100 Jahre Deutsche Röntgengesellschaft. 1905-2005. 2005.  
Georg Thieme Verlag, Stuttgart.
13. Beiderwellen K: Dosisoptimierung eines Nadelstruktur - Speicherfoliensystems durch Einsatz zusätzlicher Kupferfilterung bei Thoraxaufnahmen im Kindesalter. Inauguraldissertation. Justus-Liebig-Universität, Gießen. 2010.
14. Brix G, Veit R, Häusler U: Radiation hygiene in medical X-ray imaging. Part 2: Assessment of radiation exposure and radiation protection measures. *Der Radiologe*. 2010. (50) 10: 913–927.
15. Brosi P, Stuessi A, Verdun FR, Vock P, Wolf R: Copper filtration in pediatric digital X-ray imaging: its impact on image quality and dose. *Radiological Physics and Technology*. 2011. (4) 2: 148–155.
16. Bundesärztekammer: Leitlinie zur Qualitätssicherung in der Röntgendiagnostik. 2007.
17. Bundesministerium der Justiz in Zusammenarbeit mit der juris GmbH: Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlen (Röntgenverordnung - RöV). 2011.
18. Bundesministeriums der Justiz in Zusammenarbeit mit der juris GmbH: Gesetz über technische Assistenten in der Medizin. 2011.
19. Busch HP: Management of Dose and Quality in Digital Radiography. *RöFo - Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der bildgebenden Verfahren*. 2003. (175) 1: 17–19.

20. Caufield C: Das strahlende Zeitalter. Von der Entdeckung der Röntgenstrahlen bis Tschernobyl. 1994. C.H. Beck Verlag, München.
21. Cohen MD, Cooper ML, Piersall K, Apgar BK: Quality assurance: using the exposure index and the deviation index to monitor radiation exposure for portable chest radiographs in neonates. *Pediatric Radiology*. 2011. (41) 5: 592–601.
22. Cohen MD, Markowitz R, Hill J, Huda W, Babyn P, Apgar B: Quality assurance: a comparison study of radiographic exposure for neonatal chest radiographs at 4 academic hospitals. *Pediatric Radiology*. 2012. (42) 6: 668–673.
23. Cook JV, Kyriou JC, Pettet A, Fitzgerald MC, Shah K, Pablot SM: Key factors in the optimization of paediatric X-ray practice. *The British Journal of Radiology*. 2001. (74) 887: 1032–1040.
24. Cook JV, Shah K, Pablot SM, Kyriou JC, Pettett A, Fitzgerald MC: Guidelines on best practice in the X-ray imaging of children. 1998. St George's Hospital & St Helier Hospital, London.
25. Duetting T, Foerste B, Knoch T, Darge K, Troeger J: Radiation exposure during chest X-ray examinations in a premature intensive care unit: phantom studies. *Pediatric Radiology*. 1999. (29) 3: 158–162.
26. Ecklund K, Share JC: Extension of academic pediatric radiology to the community setting: experience in two sites. *Pediatric Radiology*. 2000. (30) 1: 3–6.
27. Engelmann D, Dütting T, Wunsch R, Tröger J: Qualität der ambulanten Röntgenthoraxuntersuchung des Kindes - eine Pilotstudie. *Der Radiologe*. 2001. (41) 5: 442–446.
28. European Commission: European guidelines on quality criteria for diagnostic radiographic images. 1996.
29. Foos DH, Sehnert WJ, Reiner B, Siegel EL, Segal A, Waldman DL: Digital Radiography Reject Analysis: Data Collection Methodology, Results, and Recommendations from an In-depth Investigation at Two Hospitals. *Journal of Digital Imaging*. 2009. (22) 1: 89–98.
30. Fotter R, Sinzig M, Jost G, Unterweger O, Weissensteiner S: Qualitätskriterien für Röntgenaufnahmen bei Kindern. 2010.

31. Frayre AS, Torres P, Gaona E, Rivera T, Franco J, Molina N: Radiation dose reduction in a neonatal intensive care unit in computed radiography. *Applied Radiation and Isotopes*. 2012. (71) 12: 57–60.
32. Freitas MB, Yoshimura EM: Dose measurements in chest diagnostic X rays: adult and paediatric patients. *Radiation Protection Dosimetry*. 2004. (111) 1: 73–76.
33. Goerke H: Die Gründung einer selbständigen Röntgenabteilung im Rudolf-Virchow-Krankenhaus und ihr Schöpfer Max Levy-Dorn. *Forschung, Praxis, Fortbildung*. 1966. (17) 20: 778–782.
34. Goerke H: Fünfundsiebzig Jahre Deutsche Röntgengesellschaft. 1980. Georg Thieme Verlag, Stuttgart.
35. Graat ME, Choi G, Wolthuis EK, Korevaar JC, Spronk PE, Stoker J, Vroom MB, Schultz MJ: The clinical value of daily routine chest radiographs in a mixed medical-surgical intensive care unit is low. *Critical care*. 2006. (10 )1: 1–7.
36. Grimm C: Netzwerke der Forschung. Die historische Eugenikbewegung und die moderne Humangenomik im Vergleich. 2012. Logos Verlag, Berlin.
37. Hauser GJ, Pollack MM, Sivit CJ, Taylor GA, Bulas DI, Guion CJ: Routine chest radiographs in pediatric intensive care: a prospective study. *Pediatrics*. 1989. (83) 4: 465–470.
38. Heuck FHW, Macherauch E: Forschung mit Röntgenstrahlen. Bilanz eines Jahrhunderts. 1895-1995. 1995. Springer Verlag, Berlin.
39. Hobbs DL: Chest Radiography for Radiologic Technologists. *Radiologic Technology*. 2007. (78) 6: 494–516.
40. Hofer M, Abanador N: The Chest X-ray. A Systematic Teaching Atlas. 2006. Georg Thieme Verlag, Stuttgart.
41. Hornik K, Hatzinger R, Nagel H: R. Einführung durch angewandte Statistik. 2011. Pearson Studium Verlag, München.
42. Horst HM, Fagan B, Beute GH: Chest radiographs in surgical intensive care patients: a valuable "routine". *Henry Ford Hospital medical journal*. 1986. (34) 2: 84–86.

43. Johnson J, Kline JA: Intraobserver and interobserver agreement of the interpretation of pediatric chest radiographs. *Emergency radiology*. 2010. (17) 4: 285–290.
44. Jones AK, Polman R, Willis CE, Shepard SJ: One year's results from a server-based system for performing reject analysis and exposure analysis in computed radiography. *Journal of Digital Imaging*. 2011. (24) 2: 243–255.
45. Jorch G, Hübler A: Neonatologie. Die Medizin des Früh- und Reifgeborenen. 2010. Georg Thieme Verlag, Stuttgart.
46. Jungmann F, Pinto dos Santos D, Hempel J, Düber C, Mildenerger P: Erfassung und Monitoring der radiologischen Strahlenexposition. *Der Radiologe*. 2013. (53) 6: 535–538.
47. Kahle E: Levy-Dorn, Max. In *Neue Deutsche Biographie*. Historische Kommission bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften. 1985. Duncker & Humblot Verlag, Berlin.
48. Kähler WM: *Statistische Datenanalyse. Verfahren verstehen und mit SPSS gekonnt einsetzen*. 2008. Vieweg Verlag, Wiesbaden.
49. Karimian A, Yazdani S, Askari MA: Reducing the absorbed dose in analogue radiography of infant chest images by improving the image quality, using image processing techniques. *Radiation Protection Dosimetry*. 2011. (147) 1-2: 176–179.
50. Kiljunen T, Järvinen H, Savolainen S: Diagnostic reference levels for thorax X-ray examinations of paediatric patients. *The British Journal of Radiology*. 2007. (80) 954: 452–459.
51. Krippendorff K: Reliability in Content Analysis. Some Common Misconceptions and Recommendations. *Human Communication Research*. 2004. (30) 3: 411–433.
52. Krippendorff K: *Content analysis. An introduction to its methodology*. 2013. SAGE Verlag, Los Angeles.

53. Krug B, Böttge M, Coburger S, Reineke T, Zähringer M, v Smekal U, Winnekendonk G, Harnischmacher U, Lungen M, Lauterbach KW, Lehmacher W, Lackner K: Qualitätskontrolle der ambulanten bildgebenden Diagnostik in Nordrhein-Westfalen, Teil I. *RöFo - Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der bildgebenden Verfahren*. 2003. (175) 1: 46–57.
54. Lämmler C: Qualitätssicherung in der Röntgen-Diagnostik. 2006.  
[https://homepages.thm.de/~hg11956/Lehrveranstaltungen/AMP03/Anleitung\\_AMP05\\_2006.pdf](https://homepages.thm.de/~hg11956/Lehrveranstaltungen/AMP03/Anleitung_AMP05_2006.pdf).  
Zugegriffen: 30. November 2014.
55. Lange S, Bender R: Lineare Regression und Korrelation. *Deutsche Medizinische Wochenschrift*. 2007. (132) Suppl 1: 9–11.
56. Langen HJ, Kohlhauser-Vollmuth C, Muras S, Stenzel M, Beer M: Trainingsprogramm für MTRA zur Anfertigung von Thoraxübersichtsaufnahmen in Inspiration bei unkooperativen Kindern. *RöFo - Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der bildgebenden Verfahren*. 2009. (181) 3: 237–241.
57. Lanhede B, Båth M, Kheddache S, Sund P, Björnelid L, Widell M, Almén A, Brsjakov J, Mattsson S, Tingberg A, Herrmann C, Panzer W, Zankl M, Månsson LG: The influence of different technique factors on image quality of chest radiographs as evaluated by modified CEC image quality criteria. *The British Journal of Radiology*. 2002. (75) 889: 38–49.
58. Lehmkuhl L, Mulzer J, Teichgräber U, Gillessen C, Ehrenstein T, Ricke J: Evaluation der Abbildungsqualität unterschiedlicher Befundungsmodalitäten in der digitalen Radiologie. *RöFo - Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der bildgebenden Verfahren*. 2004. (176) 7: 1031–1038.
59. Lemmerich J: 100 Jahre Röntgenstrahlen. Ausstellung aus Anlass der Entdeckung der Röntgenstrahlen in Würzburg am 8. November 1895: Ausstellung in Würzburg vom 13. Februar - 19. November 1995, Ausstellungskatalog. 1995. Max Schimmel Verlag GmbH + Co KG, Würzburg.
60. Levy FH, Bratton SL, Jardine DS: Routine chest radiographs following repositioning of endotracheal tubes are necessary to assess correct position in pediatric patients. *Chest*. 1994. (106) 5: 1508–1510.

61. Levy-Dorn M: Schutzmaßregeln gegen Röntgenstrahlen und ihre Dosierung. Deutsche Medizinische Wochenschrift. 1903. (28) Vol. 29, Nr. 49: 921–924.
62. Lewentat G, Bohndorf K: Analyse verworfenen Filmmaterials als Element der Qualitätssicherung in der Diagnostischen Radiologie. RöFo - Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der bildgebenden Verfahren. 1997. (166) 5: 376–381.
63. Löster W: Die Messung des Dosisflächenproduktes in der diagnostischen Radiologie als Methode zur Ermittlung der Strahlenexposition. Ergebnisse, Erfahrungen, Verbesserungsvorschläge und Empfehlungen zum Strahlenschutz: Bericht über ein Expertentreffen: Herrn Prof. Dr. Ing. Felix Wachsmann zum 90. Geburtstag. 1995. Hoffmann Verlag, Berlin.
64. Lowe A, Finch A, Boniface D, Chaudhuri R, Shekhdar J: Diagnostic image quality of mobile neonatal chest X-rays and the radiation exposure incurred. The British Journal of Radiology. 1999. (72) 853: 55–61.
65. Luska G: Röntgenthorax auf Intensivstationen. 2004. Springer Verlag, Berlin.
66. Mett R, Tam Bui TT, Ruppert S, Alzen G, Klingmüller V, Schmidt H, Tröger J, Fiebich M: Technischer Vergleich von Speicherfoliensystemen für den Einsatz in der Pädiatrie. RöFo - Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der bildgebenden Verfahren. 2009. (181) 1.
67. Möller TB: Röntgennormalbefunde. 2003. Georg Thieme Verlag, Stuttgart.
68. Muller HJ: Artificial transmutation of the gene. Science. 1927. (47)Vol. 66, Nr. 1699: 84–87.
69. Nowak HP: Kompendium Röntgen Einstelltechnik. Orthopädie, Traumatologie, Pädiatrie. 2011. ixray GmbH, Rothenthurm.
70. Oba Y, Zaza T: Abandoning Daily Routine Chest Radiography in the Intensive Care Unit. Radiology. 2010. (255) 2: 386–395.
71. Ono K, Alkahane K, Aota T, Hada M, Takano Y, Kai M, Kusama T: Neonatal doses from x ray examinations by birth weight in a neonatal intensive care unit. Radiation Protection Dosimetry. 2003. (103) 2: 155–162.

72. Oppelt B, Zebedin D: Protokolle bei Kindern am Beispiel kindlicher Thoraxuntersuchungen. *Radiopraxis*. 2009. (2) 03: 149–164.
73. Perlmutter N, Arthur RJ, Beluffi G, Cook V, Horwitz EA, Kramer P, Montagne JP, Thomas PS, Schneider K: The quality criteria for diagnostic radiographic images in paediatrics. *Radiation Protection Dosimetry*. 1998. (80) 1-3: 45–48.
74. Pötter-Lang S, Dünkelmeyer M, Uffmann M: Dosisreduktion und adäquate Bildqualität in der digitalen Radiographie: ein Widerspruch? *Der Radiologe*. 2012. (52) 10: 898–904.
75. Quandt D, Knirsch W, Niese O, Schraner T, Dave H, Kretschmar O: Impact of Chest X-Ray Before Discharge in Asymptomatic Children After Cardiac Surgery-Prospective Evaluation. *Pediatric Cardiology*. 2013. (34) 1: 155–158.
76. Rimpler A, Veit R, Nosske D, Brix G: Strahlenhygiene in der medizinischen Röntgenbildgebung, Teil 1. Physikalisch-technische Grundlagen. *Der Radiologe*. 2010. (50) 9: 809–820.
77. Rinne H: Taschenbuch der Statistik. 2008. Harri Deutsch Verlag, Frankfurt am Main.
78. Rudolph C: Zur Historie der Abteilung Kinderradiologie. Persönliches Gespräch. 12.12.2011, Gießen.
79. Ruppert S: Dosisreduktion durch Modifikation der Belichtungsparameter bei digitalen Thoraxaufnahmen im Kindesalter. Inauguraldissertation. Justus-Liebig-Universität, Gießen. 2011.
80. Šalát D, Nikodemová D: Patient doses and image quality in digital chest radiology. *Radiation Protection Dosimetry*. 2008. (129) 1-3: 147–149.
81. Schäfer S, Alexandre-Lafont E, Schmidt T, Gizewski E, Fiebich M, Krombach G: Dose Management for X-Ray and CT: Systematic Comparison of Exposition Values from Two Institutes to Diagnostic Reference Levels and Use of Results for Optimisation of Exposition. *RöFo - Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der bildgebenden Verfahren*. 2014. (186) 8: 785–794.

82. Schneider K: Evolution of quality assurance in pediatric radiology. *Radiation Protection Dosimetry*. 1995. (57) 1-4: 119–123.
83. Schülke C, Roos N, Buerke B, Heindel W: Thoraxradiologie auf der Intensivstation. *Medizinische Klinik - Intensivmedizin und Notfallmedizin*. 2011. (106) 2: 96–102.
84. Seidenbusch M, Regulla D, Schneider K: Zur Strahlenexposition von Kindern in der pädiatrischen Radiologie. Teil 3: Konversionsfaktoren zur Rekonstruktion von Organ Dosen bei Thoraxaufnahmen. *RöFo - Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der bildgebenden Verfahren*. 2008. (180) 12: 1061–1081.
85. Stenzel M: Optimierung der Bildqualität beim Röntgen des kindlichen Thorax. *Kind & Radiologie*. 2010. (7) 25: 18–21.
86. Strahlungsschäden: Weh dir, Enkel. *DER SPIEGEL*. 1960. (13) 22: 70–73.
87. Strain DS, Kinasewitz GT, Vereen LE, George RB: Value of routine daily chest x-rays in the medical intensive care unit. *Critical care medicine*. 1985. (13) 7: 534–536.
88. Tam Bui TT: Untersuchung der Oberflächendosis bei Röntgenthoraxaufnahmen von Kindern mit Speicherfolienradiographie. Inauguraldissertation. Ruprecht-Karls-Universität, Heidelberg. 2011.
89. Tasch C, Dütting T, Zieger B, Tröger J: The quality of the care of children and adolescents within the realm of conventional x-ray diagnosis-a pilot study. *RöFo - Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der bildgebenden Verfahren*. 1999. (171) 2: 121–125.
90. Tetzlaff W: 2000 Kurzbiographien bedeutender deutscher Juden des 20. Jahrhunderts. 1982. Askania Verlag, Lindhorst.
91. Tonkopi E, Daniels C, Gale MJ, Schofield SC, Sorhaindo VA, v Larkin JL: Local Diagnostic Reference Levels for Typical Radiographic Procedures. *Canadian Association of Radiologists Journal*. 2012. (63) 4: 237–241.
92. Tzeng WS, Kuo KM, Liu CF, Yao HC, Chen CY, Lin HW: Managing repeat digital radiography images-a systematic approach and improvement. *Journal of medical systems*. 2012. (36) 4: 2697–2704.

93. Uffmann M, Schaefer-Prokop C, Neitzel U: Abwägen von Dosisbedarf und Bildqualität in der digitalen Radiographie. *Der Radiologe*. 2008. (48) 3: 249–257.
94. Uffmann M, Schaefer-Prokop C: Digital radiography: The balance between image quality and required radiation dose. *European Journal of Radiology*. 2009. (72) 2: 202–208.
95. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: UNSCEAR: Sources, effects and risks of ionizing radiation. Report to the General Assembly with Scientific Annexes. 2013.
96. Valk JW, Plötz FB, Schuerman FABA, v Vught H, Kramer PPG, Beck EJA: The value of routine chest radiographs in a paediatric intensive care unit: a prospective study. *Pediatric Radiology*. 2001. (31) 5: 343–347.
97. Verschakelen J, Bellon E, Deprez T: Digital Chest Radiography: Quality Assurance. *Journal of Thoracic Imaging*. 2003. (18) 3: 169–177.
98. Whaley JS, Pressman BD, Wilson, JR, Bravo L, Sehnert WJ, Foos DH: Investigation of the Variability in the Assessment of Digital Chest X-ray Image Quality. *Journal of Digital Imaging*. 2013. (26) 2: 217–226.
99. Williams GJ, Macaskill P, Kerr M, Fitzgerald DA, Isaacs D, Codarini M, McCaskill M, Prelog K, Craig JC: Variability and accuracy in interpretation of consolidation on chest radiography for diagnosing pneumonia in children under 5 years of age. *Pediatric Pulmonology*. 2013. (48) 12: 1195–1200.
100. Willis CE, Slovis TL: The ALARA concept in pediatric CR and DR: dose reduction in pediatric radiographic exams-a white paper conference. *AJR. American journal of roentgenology*. 2005. (184) 2: 373–374.
101. Zippler A: Röntgen-Thorax-Aufnahmen zur radiologischen Quantifizierung des Lungenödems bei Patienten mit Akutem Atemnotsyndrom des Erwachsenen (ARDS). Inauguraldissertation. Charité der Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin. 1999.
102. Zoetelief J, v Soldt RTM, Suliman II, Jansen JTM, Bosmans H: Quality control of equipment used in digital and interventional radiology. *Radiation Protection Dosimetry*. 2005. (117) 1-3: 277–282.

## 9 ANHANG

### 9.1 Abkürzungsverzeichnis

A	Arzt der Intensivstation
Abb.	Abbildung
Abs.	Absatz
AI	Arzt der Intensivstation „anonym“
Al	Aluminium
ALARA	As Low As Reasonably Achievable
a.-p.	anterior-posterior
AZ	Aktenzeichen
BGB	Bürgerliches Gesetzbuch
Bit	Binary Digit (Maßeinheit für die Datenmenge digital repräsentierter Daten)
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CD	Compact Disc
cm	Zentimeter
cm <sup>2</sup>	Quadratcentimeter
Cu	Kupfer
df	degrees of freedom (Freiheitsgrade)
DFP	Dosisflächenprodukt
D MTRA	Medizinisch-Technischer Radiologieassistent der Abteilung Diagnostische und Interventionelle Radiologie
EKG	Elektrokardiographie
et al.	et alii (und andere)

g	Gramm
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
HD	High Definition
Inc.	Incorporated (Bezeichnung hinter dem Namen eines US-amerikanischen Unternehmens der Form Corporation)
IT	Informationstechnologie
ITS	Intensivstation
kg	Kilogramm
KIS	Krankenhausinformationssystem
K MTRA	Medizinisch-Technischer Radiologieassistent der Abteilung Kinderradiologie
Korr.	Korrelation
kV	Kilovolt
kW	Kilowatt
LED	Light-Emitting Diode (Leuchtdiode)
LCD	Liquid Crystal Display (Flüssigkristallbildschirm)
LgM	Log median value, Agfa-Dosisindikator
li	links
m	Meter
mAs	Milliamperesekunde
max.	maximal
min.	minimal
mm	Millimeter
ms	Millisekunde
mSv	Millisievert

---

MTA / MTRA	Medizinisch-Technischer (Radiologie-)Assistent
n	Grundgesamtheit
p	Signifikanzwert
p.-a.	posterior-anterior
PACS	Picture Archiving and Communication System
Pixel	Bildpunkt
r	Korrelationskoeffizient
r <sup>2</sup>	Bestimmtheitsmaß
re	rechts
RIS	Radiologieinformationssystem
RöV	Röntgenverordnung
SOP	Standard Operating Procedure (Standardarbeitsanweisung)
TLD	Thermolumineszenzdosimetrie
Tab.	Tabelle
TÜV	Technischer Überwachungsverein
UKGM	Universitätsklinikum Gießen-Marburg
ventr.	ventral
z.B.	zum Beispiel
μGy	Mikrogray

## 9.2 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Mobilett Plus E von Siemens, Erlangen, Deutschland (Werksfoto).....	10
Abb. 2:	Ausleseinheit des digitalen Speicherfoliensystems DX-S von Agfa HealthCare, Mortsel, Belgien (Werksfoto).....	11
Abb. 3:	Gegenüberstellung der minimalen Einblendung und der tatsächlichen Einblendung. Die minimale Einblendung reicht kranial bis an die äußere Begrenzung der ersten Rippe, lateral an die maximale Ausdehnung des Rippenbogens in Höhe der Recessus costo-diaphragmatici und kaudal bis in Höhe der tiefsten Lungenausdehnung. Aus den Kantenlängen der Feldgrenzen wurde der jeweilige Flächeninhalt des Feldes in Quadratmillimetern berechnet. ....	19
Abb. 4:	Thoraxaufnahme eines Säuglings, bei dem das minimale Feld gegenüber dem tatsächlichen Feld stark rotiert ist. Zur Ermittlung der Zentrierung wurden die mittleren Abstände der Feldränder bestimmt. ....	20
Abb. 5:	Vertikale Zentrierung: Um diese zu ermitteln, wurde die Differenz aus dem oberen und unteren Bildrand, in Bezug auf die minimale Feldgröße, gebildet.....	21
Abb. 6:	Horizontale Zentrierung: Die Differenz zwischen dem rechten und dem linken Feldrand ergab die horizontale Zentrierung in Bezug auf die minimale Feldgröße. ....	21
Abb. 7:	Optimale Kollimation, bei der alle vier Feldränder trotz Kollimation sichtbar blieben. ....	23
Abb. 8:	Es wurde zu stark kollimiert. Nur zwei Feldränder (links und unten) sind erkennbar geblieben. ....	23
Abb. 9:	Verdrehung: Die maximalen Längen der ventralen Rippen wurden markiert. ....	24
Abb. 10:	Thoraxaufnahme eines Säuglings, welche nicht in die Auswertung der Verdrehung einfluss, da die ventralen Rippenenden durch die zu enge Einblendung / Kollimation nicht mehr beurteilbar war. ....	24
Abb. 11:	Linke Aufnahme: Die rechte Hand des Patienten ist über der Schulter und Teilen des Thorax erkennbar. Die rechte Lunge wird zusätzlich durch die passageren epikardialen Schrittmacherkabel überlagert, die üblicherweise bereits im OP unter dem Thoraxverband gelagert werden. Diese lassen sich ebenso wenig wie die Thorax- und Mediastinaldrainagen vor der Röntgenaufnahme beseitigen und wurden daher in der vorliegenden Studie nicht berücksichtigt Rechte Aufnahme: Die Knöpfe der Kleidung überlagern die Aufnahme an weniger bildrelevanten Stellen. ....	25

Abb. 12:	Ermittlung des Körpergewichtes der Patienten anhand der gemessenen minimalen Thoraxfläche. Die Punkte entsprechen Patienten mit bekanntem Körpergewicht. Die in doppelt-logarithmischer Darstellung enthaltene Regressionslinie dient als Eichkurve.....	27
Abb. 13:	Altersverteilung der in die Studie einbezogenen Früh-und Neugeborenen sowie der Säuglinge bis zum Alter von 10 Wochen. ....	33
Abb. 14:	Beteiligte Untersuchergruppen, aufgeschlüsselt nach der Häufigkeit der ausgewerteten Aufnahmen. Nr. 1 - 7 (grau) MTRA der Kinderradiologie (K MTRA), Nr. 8 - 13 (blau) MTRA der Abteilung Diagnostische Radiologie (D MTRA), Nr. 14 - 19 (rot) Ärzte der Intensivstationen (A), Nr. 20 (grün) nicht zuordenbare Ärzte (AI). ....	36
Abb. 15:	Abhängigkeit der minimalen Feldgröße vom Alter der Patienten. ....	45
Abb. 16:	Verhältnis der minimalen Feldbreite zur minimalen Feldhöhe. Das Bestimmtheitsmaß $r^2$ von 0,92 und die Steigung von 0,95 zeigen, dass ein quadratisches Feld ein Optimum der Feldeinblendung darstellt. ....	46
Abb. 17:	Anzahl der optimal und fehlerhaft zentrierten Röntgenaufnahmen in vertikaler Richtung (siehe Tab. 40). ....	50
Abb. 18:	Anzahl der optimal und fehlerhaft zentrierten Röntgenaufnahmen in horizontaler Richtung (siehe Tab. 41). ....	50
Abb. 19:	Abhängigkeit der vertikalen Zentrierung von der Tageszeit. Dargestellt ist die Anzahl der optimal und vertikal fehlzentrierten Aufnahmen zu den jeweiligen Dienstzeiten (nach Tab. 5). ....	52
Abb. 20:	Anzahl der sichtbaren Feldränder der Kollimation von der ausführenden Berufsgruppe (grau: K MTRA, blau: D MTRA, rot: A, grün: AI). ....	56
Abb. 21:	Abhängigkeit der maximalen ventralen Rippenlänge [(rechts + links) / 2] von der minimalen Feldbreite. Variierende Rippenlängen durch die Verdrehung der Aufnahme wurden damit berücksichtigt. Regressionsgleichung: $y = -11,2 + 0,2x$ . Die Regressionsgerade zeigt eine Steigung von 0,2. Das Bestimmtheitsmaß $r^2$ von 0,84 spricht für einen guten Zusammenhang von minimaler Feldbreite und maximaler ventraler Rippenlänge. ....	58
Abb. 22:	Abhängigkeit der maximalen ventralen Rippenlänge vom Alter der Patienten. Dabei war in den ersten Lebensstagen eine enge Korrelation erkennbar, die mit zunehmendem Alter eine größere Streuung, gemäß dem individuell unterschiedlichen Wachstum, aufwies. ....	59
Abb. 23:	Abhängigkeit der Verdrehung von der ausführenden Berufsgruppe (grau: K MTRA, blau: D MTRA, rot: A, grün: AI). ....	61
Abb. 24:	Differenz der Beträge zwischen der idealen Röhrenspannung gemäß der Belichtungstabelle und der tatsächlich eingestellten Röhrenspannung [kV]. ....	64

- Abb. 25: Differenz der Beträge der von den Untersuchern gewählten Ladungsmenge (Milliampere • Sekunde (mAs-Produkt)) von der vorgegebenen Belichtungstabelle.....65
- Abb. 26: Abhängigkeit des DFP [ $\mu\text{Gy} \cdot \text{cm}^2$ ] vom Alter der Patienten. ....66
- Abb. 27: Anzahl der sichtbar gebliebenen Feldränder nach nachträglicher Kollimation in Abhängigkeit von der Erfahrung der Untersucher (grau: K MTRA, blau: D MTRA, rot: A, grün: AI) sortiert nach der Berufserfahrung. Als Maß für die Berufserfahrung wurde die Anzahl des jeweiligen Untersuchers im Erhebungszeitraum zugrunde gelegt. Unterer Fehlerbalken (schwarz): 10%-Perzentile. Untere Box-Kante (schwarz): 25%-Perzentile. Schwarze Linie in der Box: 50%-Perzentile = Median. Weiße Linie in der Box: Mittelwert. Obere Box-Kante (schwarz): 75%-Perzentile. Oberer Fehlerbalken (schwarz): 90%-Perzentile. Die 5%- und 95%-Perzentilen sind nicht dargestellt. Man erkennt, dass mit zunehmender Berufserfahrung mehr Feldränder sichtbar blieben (orange Trendlinie). ....68
- Abb. 28: Anzahl der sichtbar gebliebenen Feldränder nach nachträglicher Kollimation in Abhängigkeit von der Erfahrung der Untersucher sortiert nach Berufsgruppen (grau: K MTRA, blau: D MTRA, rot: A, grün: AI). Als Maß für die Berufserfahrung wurde die Anzahl des jeweiligen Untersuchers im Erhebungszeitraum zugrunde gelegt. Unterer Fehler (schwarz): 10%-Perzentile. Untere Box-Kante (schwarz): 25%-Perzentile. Schwarze Linie in der Box: 50%-Perzentile = Median. Rote bzw. weiße Linie in der Box: Mittelwert. Obere Box-Kante (schwarz): 75%-Perzentile. Oberer Fehlerbalken (schwarz): 90%-Perzentile. Die 5%- und 95%-Perzentilen sind nicht dargestellt. ....69
- Abb. 29: Feldgrenzen einer optimal eingestellten Thoraxaufnahme im Liegen. Die Zeichnung berücksichtigt die Körperproportionen eines Erwachsenen (aus Nowak, 2011, ixray GmbH). ....85

### 9.3 Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Technische Daten des Mobilett Plus E der Firma Siemens, Erlangen.....	10
Tab. 2:	Technische Daten des DX-S von Agfa HealthCare.....	11
Tab. 3:	Kriterien der Bildqualität, mit denen die Thoraxaufnahmen von den drei Kinderradiologen unabhängig voneinander subjektiv beurteilt wurden. ....	16
Tab. 4:	Auswertungsbogen zur objektiven Beurteilung der Bildqualität.....	18
Tab. 5:	Klassifikation der vertikalen Zentrierung. Angegeben ist die Differenz zwischen oberem und unterem Bildrand in Bezug auf die minimale Feldgröße. ....	21
Tab. 6:	Klassifikation der horizontalen Zentrierung. Angegeben ist die Differenz zwischen rechtem und linkem Bildrand in Bezug auf die minimale Feldgröße. ....	22
Tab. 7:	Klassifikation der Verdrehung anhand der Seitendifferenzen der ventralen Rippenlängen (Quotient des Betrags der Differenz zwischen max. Rippe rechts / links in Abhängigkeit von der min. Thoraxbreite).....	25
Tab. 8:	Am Mobilett für jeden Untersucher angebrachte Belichtungstabelle, nach der gemäß SOP die Röntgenuntersuchungen des Thorax zu erfolgen hatten. Nach Patientengewicht bzw. -alter richten sich die einzustellende Röhrenspannung und Ladungsmenge. ....	26
Tab. 9:	Modifizierte Belichtungstabelle bezogen auf die minimale Thoraxfläche. ...	27
Tab. 10:	Übersicht über weitere verwendete Tests. ....	29
Tab. 11:	Altersverteilung der Patienten, deren Thoraxaufnahmen ausgewertet wurden.....	32
Tab. 12:	Anzahl zufällig ausgewählter Röntgenaufnahmen einzelner Patienten.....	32
Tab. 13:	Gegenüberstellung der Altersverteilung der Patienten beider Dienstzeiten. Aufgeführt sind Median, Mittelwert und Standardabweichung in Tagen. ...	33
Tab. 14:	Anzahl der zur Qualitätsbeurteilung ausgewählten Thoraxaufnahmen aller Untersucher, aufgeschlüsselt nach der Dienstzeit in der die Aufnahmen angefertigt wurden. Die Spalte rechts gibt an, wie viele Untersuchungen von den jeweiligen Personen in dem Erhebungszeitraum insgesamt angefertigt wurden. Hieraus lässt sich die Erfahrung der beteiligten Personen abschätzen (grau: K MTRA, blau: D MTRA, rot: A, grün: AI).....	35
Tab. 15:	Anzahl der ausgewerteten Röntgenaufnahmen bezogen auf die verschiedenen Untersuchergruppen und das Geschlecht der Patienten. ....	35
Tab. 16:	Subjektive Beurteilung der Einblendung durch drei Kinderradiologen (n = 396).....	37

Tab. 17:	Einblendung: Vergleich der subjektiven Beurteilung durch Befunder 1 und 2 (Krippendorffs Alpha: 0,493). .....	37
Tab. 18:	Einblendung: Vergleich der subjektiven Beurteilung durch Befunder 1 und 3 (Krippendorffs Alpha: 0,344). .....	38
Tab. 19:	Einblendung: Vergleich der subjektiven Beurteilung durch Befunder 2 und 3 (Krippendorffs Alpha: 0,386). .....	38
Tab. 20:	Subjektive Beurteilung der Zentrierung durch drei Kinderradiologen (n = 396).....	38
Tab. 21:	Zentrierung: Vergleich der subjektiven Beurteilung durch Befunder 1 und 2 (Krippendorffs Alpha: 0,592). .....	39
Tab. 22:	Zentrierung: Vergleich der subjektiven Beurteilung durch Befunder 1 und 3 (Krippendorffs Alpha: 0,264). .....	39
Tab. 23:	Zentrierung: Vergleich der subjektiven Beurteilung durch Befunder 2 und 3 (Krippendorffs Alpha: 0,214). .....	40
Tab. 24:	Subjektive Beurteilung der Verdrehung durch drei Kinderradiologen (n = 395).....	40
Tab. 25:	Verdrehung: Vergleich der subjektiven Beurteilung durch Befunder 1 und 2 (Krippendorffs Alpha: 0,335). .....	40
Tab. 26:	Verdrehung: Vergleich der subjektiven Beurteilung durch Befunder 1 und 3 (Krippendorffs Alpha: 0,426). .....	41
Tab. 27:	Verdrehung: Vergleich der subjektiven Beurteilung durch Befunder 2 und 3 (Krippendorffs Alpha: 0,235). .....	41
Tab. 28:	Subjektive Beurteilung der Exposition durch drei Kinderradiologen (n = 396).....	42
Tab. 29:	Exposition: Vergleich der subjektiven Beurteilung durch Befunder 1 und 2 (Krippendorffs Alpha: 0,342). .....	42
Tab. 30:	Exposition: Vergleich der subjektiven Beurteilung durch Befunder 1 und 3 (Krippendorffs Alpha: 0,332). .....	42
Tab. 31:	Exposition: Vergleich der subjektiven Beurteilung durch Befunder 2 und 3 (Krippendorffs Alpha: 0,513). .....	42
Tab. 32:	Subjektive Beurteilung der Befundbarkeit durch drei Kinderradiologen (n = 396).....	43
Tab. 33:	Befundbarkeit: Vergleich der subjektiven Beurteilung durch Befunder 1 und 2 (Krippendorffs Alpha: 0,157). .....	44
Tab. 34:	Befundbarkeit: Vergleich der subjektiven Beurteilung durch Befunder 1 und 3 (Krippendorffs Alpha: 0,224). .....	44

Tab. 35:	Befundbarkeit: Vergleich der subjektiven Beurteilung durch Befunder 2 und 3 (Krippendorffs Alpha: 0,222). .....	44
Tab. 36:	Abhängigkeit der Einblendung von der Tageszeit. Aufgeführt sind die Anzahl der ausgewerteten Aufnahmen zur jeweiligen Dienstzeit, der Mittelwert der überschrittenen minimalen Feldgröße und die entsprechende Standardabweichung. ....	47
Tab. 37:	Abhängigkeit der Einblendung von der ausführenden Untersuchergruppe. Aufgeführt sind die Anzahl der ausgewerteten Aufnahmen, der Mittelwert der überschrittenen minimalen Feldgröße und die entsprechende Standardabweichung, aufgeschlüsselt nach der ausführenden Untersuchergruppe. ....	48
Tab. 38:	Abhängigkeit der optimalen Einblendung von der Tageszeit. Als optimale Einblendung wurde eine Feldgröße definiert, bei der die jeweilige Feldlänge und -breite die minimale Feldlänge bzw. -höhe nicht mehr als 10 % überschritt. Dies entsprach einer maximalen Flächenzunahme von 21 %....	48
Tab. 39:	Abhängigkeit der optimalen Einblendung von der ausführenden Untersuchergruppe. Als optimale Einblendung wurde eine Feldgröße definiert, bei der die jeweilige Feldlänge und -höhe die minimale Feldlänge bzw. -höhe nicht mehr als 10 % überschritt. ....	49
Tab. 40:	Zentrierung vertikal. Angegeben ist die Differenz zwischen oberem und unterem Bildrand in Bezug auf die minimale Feldgröße [mm]. ....	49
Tab. 41:	Zentrierung horizontal. Angegeben ist die Differenz zwischen rechtem und linkem Bildrand in Bezug auf die minimale Feldgröße [mm]. ....	49
Tab. 42:	Abhängigkeit der vertikalen Zentrierung vom Alter in Tagen. Aufgeführt sind Median, Mittelwert und Standardabweichung der optimal und vertikal fehlzentrierten Aufnahmen. ....	51
Tab. 43:	Abhängigkeit der vertikalen Zentrierung von der Tageszeit. Aufgeführt ist die Anzahl der optimalen und vertikal fehlzentrierten Aufnahmen zu den jeweiligen Dienstzeiten (nach Tab. 5).....	52
Tab. 44:	Abhängigkeit der vertikalen Zentrierung von der ausführenden Untersuchergruppe (nach Tab. 5).....	53
Tab. 45:	Abhängigkeit der horizontalen Zentrierung von der ausführenden Untersuchergruppe (nach Tab. 6).....	53
Tab. 46:	Abhängigkeit der horizontalen und vertikalen Zentrierung von der ausführenden Untersuchergruppe (nach Tab. 5 und 6).....	54
Tab. 47:	Abhängigkeit der sichtbaren Feldränder nach elektronischer Kollimation vom Alter in Tagen. ....	54
Tab. 48:	Anzahl der sichtbaren Feldränder nach nachträglicher Kollimation in Abhängigkeit von der Tageszeit, in der die Aufnahmen angefertigt wurden.	

	Aufgeführt sind Median, Mittelwert und Standardabweichung der sichtbar gebliebenen Feldränder. ....	55
Tab. 49:	Anzahl und Mittelwert der sichtbaren Feldränder nach nachträglicher Kollimation aufgeschlüsselt nach der ausführenden Untersuchergruppe. ....	56
Tab. 50:	In den Mann-Whitney-Anschluss-tests ermittelte p-Werte im Berufsgruppenvergleich bezüglich der sichtbar gebliebenen Feldränder. ....	57
Tab. 51:	Abhängigkeit der maximalen ventralen Rippenlänge (rechts + links / 2) von der minimalen Feldbreite. Die minimale Feldbreite zeigte eine enge Korrelation mit der maximalen ventralen Rippenlänge. ....	58
Tab. 52:	Abhängigkeit der max. ventralen Rippenlänge vom Alter der Patienten in Tagen. Das Patientenalter zeigte eine enge Korrelation mit der maximalen ventralen Rippenlänge. ....	58
Tab. 53:	Ergebnisse der Verdrehung aller Thoraxaufnahmen ermittelt anhand der Differenz der längsten gegenüberliegenden ventralen Rippenanteile in Beziehung zur minimalen Thoraxbreite (nach Tab. 7). ....	60
Tab. 54:	Abhängigkeit der Verdrehung von der jeweiligen Dienstzeit, in der die Aufnahme angefertigt wurde (nach Tab. 7). ....	60
Tab. 55:	Abhängigkeit der Verdrehung von der ausführenden Untersuchergruppe. ...	61
Tab. 56:	Abhängigkeit vermeidbarer Überlagerungen durch Fremdkörper und Körperteile vom Alter der Patienten. Aufgelistet sind Median, Mittelwert und Standardabweichung des Patientenalters in Tagen bezüglich vermeidbarer Überlagerungen. ....	62
Tab. 57:	Abhängigkeit vermeidbarer Überlagerungen durch Fremdkörper und Körperteile von der Tageszeit, zu der die Aufnahme angefertigt wurde. ....	62
Tab. 58:	Anzahl vermeidbarer Überlagerungen durch Fremdkörper in Abhängigkeit von der ausführenden Berufsgruppe. ....	63
Tab. 59:	Anzahl vermeidbarer Überlagerungen durch Körperteile in Abhängigkeit von der ausführenden Berufsgruppe. ....	63
Tab. 60:	Differenz der Beträge zwischen optimaler kV-Einstellung (nach Tab. 9) und tatsächlicher Einstellung. ....	64
Tab. 61:	Differenz der Beträge zwischen vorgegebener (optimaler) mAs-Einstellung (nach Tab. 9) und tatsächlicher Einstellung. ....	65
Tab. 62:	Abhängigkeit des DFP vom Alter und von der Feldgröße (n = 368). Das DFP zeigt eine enge Korrelation vom Patientenalter, von der minimalen und von der tatsächlichen Feldgröße. ....	67
Tab. 63:	Einbeziehung aller Qualitätskriterien in Abhängigkeit der ausführenden Untersuchergruppen. ....	70

---

Tab. 64:	Vergleich der subjektiven Beurteilung der Einblendung durch Befunder 1 mit der objektiv gemessenen „optimalen“ Einblendung (Krippendorffs Alpha: -0,159). .....	71
Tab. 65:	Vergleich der subjektiven Beurteilung der Einblendung durch Befunder 2 mit der objektiv gemessenen „optimalen“ Einblendung (Krippendorffs Alpha: -0,085). .....	72
Tab. 66:	Vergleich der subjektiven Beurteilung der Einblendung durch Befunder 3 mit der objektiv gemessenen „optimalen“ Einblendung (Krippendorffs Alpha: 0,144). .....	72
Tab. 67:	Vergleich der subjektiven Beurteilung der vertikalen Zentrierung durch Befunder 1 mit der objektiv gemessenen vertikalen Zentrierung (Krippendorffs Alpha: 0,234). .....	73
Tab. 68:	Vergleich der subjektiven Beurteilung der vertikalen Zentrierung durch Befunder 2 mit der objektiv gemessenen vertikalen Zentrierung (Krippendorffs Alpha: 0,117). .....	73
Tab. 69:	Vergleich der subjektiven Beurteilung der vertikalen Zentrierung durch Befunder 3 mit der objektiv gemessenen vertikalen Zentrierung (Krippendorffs Alpha: 0,141). .....	73
Tab. 70:	Vergleich der subjektiven Beurteilung der Verdrehung durch Befunder 1 mit der objektiv gemessenen Verdrehung (Krippendorffs Alpha: 0,292). .....	74
Tab. 71:	Vergleich der subjektiven Beurteilung der Verdrehung durch Befunder 2 mit der objektiv gemessenen Verdrehung (Krippendorffs Alpha: 0,121). .....	74
Tab. 72:	Vergleich der subjektiven Beurteilung der Verdrehung durch Befunder 3 mit der objektiv gemessenen Verdrehung (Krippendorffs Alpha: 0,126). .....	75

## 9.4 Ehrenwörtliche Erklärung

„Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne unzulässige Hilfe oder Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nichtveröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten sowie ethische, datenschutzrechtliche und tierschutzrechtliche Grundsätze befolgt. Ich versichere, dass Dritte von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen, oder habe diese nachstehend spezifiziert. Die vorgelegte Arbeit wurde weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde zum Zweck einer Promotion oder eines anderen Prüfungsverfahrens vorgelegt. Alles aus anderen Quellen und von anderen Personen übernommene Material, das in der Arbeit verwendet wurde oder auf das direkt Bezug genommen wird, wurde als solches kenntlich gemacht. Insbesondere wurden alle Personen genannt, die direkt und indirekt an der Entstehung der vorliegenden Arbeit beteiligt waren. Mit der Überprüfung meiner Arbeit durch eine Plagiatserkennungssoftware bzw. ein internetbasiertes Softwareprogramm erkläre ich mich einverstanden.“

Gießen, 25. August 2015

Madlen Klinzmann

## 9.5 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben.

Erster Dank gilt meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. Gerhard Alzen für die Überlassung des Themas sowie die freundliche und intensive Unterstützung bei der Erstellung der Dissertationsschrift. Für die gute Betreuung in jeder Phase dieser Arbeit und die Hilfe in allen Lebenslagen sei ihm und Frau Dr. Monika Lüdemann herzlich gedankt.

Des Weiteren möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Volker Klingmüller und Frau Dr. Mira Läßig für die Mitwirkung beim Zustandekommen der Studie bedanken.

Frau Dipl.-Ing. Claudia Rudolph, Medizintechnikerin der Abteilung Kinderradiologie der Justus-Liebig-Universität, und ihren Mitarbeitern danke ich für die Hilfe bei der Datenerhebung.

Für die statistische Planung der Studie möchte ich mich bei Herrn Dr. Jörn Pons-Kühnemann der Arbeitsgruppe Statistik am Institut für Medizinische Informatik der Justus-Liebig-Universität Gießen bedanken.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Dipl.-Math. Jörg Reitze der Firma MoReData GmbH in Gießen und Herrn Dr. Urs Kleinholdermann für die statistischen Berechnungen.

Herrn Dr. Michael Seidenbusch, Kursdozent in der Arbeitsgruppe Fortbildung, Institut für Strahlenschutz, Helmholtz-Zentrum München, sei herzlich für die Hilfe bei der Erstellung der Abbildungen sowie für die wertvollen Anregungen gedankt.

Zu guter Letzt danke ich meiner Familie und meinen Freunden, die an mich geglaubt und mich immer unterstützt haben.



*édition scientifique*  
**VVB LAUFERSWEILER VERLAG**

**VVB LAUFERSWEILER VERLAG**  
STAUFENBERGRING 15  
D-35396 GIESSEN

Tel: 0641-5599888 Fax: -5599890  
redaktion@doktorverlag.de  
www.doktorverlag.de

ISBN: 978-3-8359-6407-5



9 783835 196407 5