

Aus dem Institut für diagnostische und interventionelle  
Radiologie der Universität Würzburg

Direktor: Professor Dr. med. T. Bley

**Der Würzburger Schockraumalgorithmus  
beim polytraumatisierten Kind -  
eine retrospektive Analyse der Jahre 2004 bis 2009**

Inaugural – Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der

Medizinischen Fakultät

der

Julius-Maximilians-Universität Würzburg

vorgelegt von

Sabine Manger

aus Nürnberg

Würzburg, August 2013

Referent: Prof. Dr. med. W. Kenn

Korreferent: Prof. Dr. med. T. Meyer

Dekan: Prof. Dr. med. M. Frosch

Tag der mündlichen Prüfung: 28.03.2014

Die Promovendin ist Ärztin.

Für Wolfgang und meine Eltern

# Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis.....	III
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1 Ergebnisse des Jahresberichts 2010 des TraumaRegisters der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie.....	1
1.2 Unterschiedliche Bedingungen bei der Behandlung von Kindern im Vergleich zu Erwachsenen .....	2
1.3 Die radiologische Diagnostik im Schockraum .....	4
1.4 Der Würzburger Schockraumalgorithmus .....	5
1.5 Ziel der Arbeit.....	5
<b>2 Material und Methoden.....</b>	<b>6</b>
2.1 Patientenkollektiv.....	6
2.2 Datenermittlung.....	6
2.3 Computertomograph.....	7
2.4 Indikationen.....	8
2.5 Untersuchungsprogramm für ein Ganzkörper-Multi-Slice-CT bei Kindern .....	8
2.6 Strahlendosis.....	11
2.7 Scores.....	13
<b>3 Ergebnisse .....</b>	<b>15</b>
3.1 Unfallmechanismen .....	15
3.2 Verletzungslokalisation .....	16
3.3 Beatmung.....	17
3.4 Radiologische Diagnostik im Schockraum.....	18
3.5 Operationen.....	19
3.6 Verzögert diagnostizierte Verletzungen .....	21
3.7 Patienten ohne Ganzkörper-CT.....	22
3.8 Nachuntersuchungen während des Klinikaufenthaltes .....	23
3.9 Strahlendosis.....	26
3.10 Aufenthaltsdauer.....	29
3.11 Entlassungen.....	29
3.12 Letalität.....	30
3.13 Analyse der Fälle der verstorbenen Patienten .....	30
<b>4 Diskussion .....</b>	<b>34</b>
4.1 Präklinischer Bereich.....	34
4.2 Radiologische Diagnostik und Strahlendosis.....	36
4.3 Stationäre Behandlung nach der Notaufnahme .....	40
4.4 Limitation der Arbeit.....	42

5	Zusammenfassung .....	44
6	Literaturverzeichnis .....	46
	Danksagung	
	Lebenslauf	

## Abkürzungsverzeichnis

a.-p.	anterior-posterior
AIS	Abbreviate Injury Score
BWS	Brustwirbelsäule
CT	Computertomographie
CCT	cranielle Computertomographie
CMRT	cranielle Magnetresonanztomographie
CTDI	Computed Tomography Dose Index
CTDI <sub>Luft</sub>	Computed Tomography Dose Index im Medium Luft
CTDI <sub>FDA</sub>	Computed Tomography Dose Index im Medium Polymethylmethacrylate
CTDI <sub>100</sub>	Computed Tomography Dose Index auf eine Integrationslänge von 100mm
DGU	Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie
DFP	Dosisflächenprodukt
DLP	Dosislängenprodukt
DSA	Digitale-Subtraktions-Angiographie
EEG	Elektro-Enzephalogramm
EKG	Elektrokardiogramm
FAF	freie abdominelle Flüssigkeit
FAST	focused abdominal sonographie on trauma
GCS	Glasgow Coma Scale
GK	Ganzkörper
GK-CT	Ganzkörpercomputertomographie
GK-MSCT	Ganzkörper-Multi-Slice-Computertomographie
HWS	Halswirbelsäule

ISS	Injury Severity Score
ICP	Intracranieller Druck
IT	Intensivstation
KH	Krankenhaus
kV	Kilovolt
KM	Kontrastmittel
MAIS	Maximum Abbreviated Injury Score
MSCT	Multi-Slice-Computertomographie
mAs	Milliamperesekunden
mSv	Millisievert
MCU	Miktions-Cysto-Urographie
MRT	Magnetresonanztomographie
PACS	Picture Archiving and Communication System
p.-a.	posterior-anterior
RR	Blutdruck gemessen nach RivaRocci
RÖ	Röntgen
SAB	Subarachnoidalblutung
SAP	Controlling Software
SDH	Subduralhämatom
SHT	Schädel-Hirn-Trauma
SPECT	Single photon emission computed tomography
ZNA	Zentrale Notaufnahme

## 1 Einleitung

Die Definition des Polytraumas ist eine gleichzeitig entstandene Verletzung mehrerer Körperregionen oder Organsysteme, wobei wenigstens eine Verletzung oder die Kombination mehrerer lebensbedrohlich ist. [1]

Viele Autoren haben sich bereits mit der Statistik der kindlichen Polytraumata auseinandergesetzt. Die Literatur zu diesem Thema bedient sich Daten von 1975 bis 2006 und beschreibt vor allem die unfallchirurgischen Aspekte dieses Themas [2-7]. Nur Gatzka 2005, Fischer 2007 und Munk 2009 beschreiben den genauen Diagnostikablauf im Schockraum [5, 8, 9]. Hierbei wird aber vor allem die Sonographie und die Röntgenuntersuchung eingesetzt, Fischer verwendet als zusätzliche Maßnahme bei Kindern mit GCS < 15 oder anhaltenden Symptomen eine kraniale CT (CCT), bei Gatzka wird in 97,5 % der Fälle eine CT veranlasst, wobei es sich meistens um CCTs handelt. Bereits 1997 wurde von Löw et al. die Ganzkörper-Computertomographie (GK-CT) als Möglichkeit zur Diagnostik bei Polytraumapatienten propagiert [10]. Durch die stetige Verkürzung der Untersuchungszeit und der immer breiteren Verfügbarkeit eines Computertomographen wurde 2002 erstmals die GK-CT an 150 Traumapatienten durchgeführt, wie im TraumaRegister 2003 der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU) erwähnt [11]. Der Jahresbericht über die Traumaversorgung in Deutschland wird seit 1993 vom TraumaRegister der DGU herausgegeben. Darin sind die Unfallzahlen aus bis zuletzt 266 Kliniken der Minimal- bis Maximalversorgung eingegangen [12]. Seit 2004 ist die GK-MSCT und der neue Würzburger Schockraumalgorithmus Bestandteil der Maximalversorgung der Universitätsklinik Würzburg [13]. In dieses Konzept fällt auch die Diagnostik und Behandlung polytraumatisierter Kinder. In dieser Arbeit wird die Versorgung von Kindern bei der Anwendung dieses Konzepts untersucht.

### 1.1 Ergebnisse des Jahresberichts 2010 des TraumaRegisters der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie

Bis 2009 sind in das TraumaRegister der DGU 51425 Patientendaten eingegangen, 9651 davon im Jahr 2009. Das durchschnittliche Patientenalter betrug 45,5 Jahre, 72 % waren männliche Patienten. 2009 waren 5,1 % der Patienten Kinder unter 16 Jahren. Der



durchschnittliche Injury Severity Score (ISS) betrug 21,4 und 65 % der Patienten hatten einen ISS von  $\geq 16$ .

39 % der Patienten wurden primär intubiert in die Klinik eingeliefert und 65 % erhielten im Schockraum eine GK-CT. 56 % der Patienten mussten durchschnittlich 2,8mal operiert werden. Die Patienten waren 21,5 Tage stationär untergebracht und verbrachten 9,3 Tage auf der Intensivstation. Die Letalität betrug 12,7 %. Ein Verkehrsunfall war in 53,8 % die Unfallursache, in 34 % ein Sturz und in 12,2 % andere Ursachen.

Die Primärdiagnostik im Schockraum beinhaltete bei 79,8 % der Patienten eine Abdomensonographie, bei 52,8 % eine Röntgenthoraxuntersuchung, bei 49,1 % eine CCT und bei 69,2 % eine GK-CT. Bei 4,4 % der Patienten musste die Diagnostik vorzeitig abgebrochen werden.

Das Verletzungsmuster der Patienten mit  $ISS \geq 16$  wird über die Jahre 2007 bis 2009 gemittelt, um statistische Unsicherheiten zu verringern. 62,5 % der Patienten hatten Thoraxverletzungen, 59,8 % Verletzungen des Kopfes, 35,6 % der oberen Extremität, 34,8 % der Wirbelsäule, 33,2 % der unteren Extremität, 25,2 % des Abdomens, 24 % des Beckens, 16,2 % des Gesichts und 1,2 % des Halses.

52,5 % der 9651 Patienten von 2009 konnten nach Hause entlassen werden, 29,9 % wurden in eine Rehabilitationsklinik weiterverlegt und 14,7 % in ein anderes Krankenhaus [12].

## 1.2 Unterschiedliche Bedingungen bei der Behandlung von Kindern im Vergleich zu Erwachsenen

Seit am 7. März 2004 die Notaufnahme des neu gebauten Zentrums für operative Medizin der Universitätsklinik Würzburg in Betrieb genommen wurde, werden dort Schwerstverletzte im Rahmen der Maximalversorgung betreut. Dazu gehört auch die Behandlung polytraumatisierter Kinder. Die Unterschiede in der Behandlung von Kindern und Erwachsenen beginnen bereits bei den Verletzungsarten. Besonders die mangelnde Erfahrung und das geringere Reaktionsvermögen führen zu einer besonderen Gefährdung der Kinder als Teilnehmer im Straßenverkehr [6]. Obwohl Kinder nur 5 % der Verkehrstoten ausmachen [3], ist der Unfalltod die häufigste Todesursache von Kindern älter als ein Jahr [6].

Kinder haben auf Grund ihrer anatomischen Unterschiede im Vergleich zu Erwachsenen eine andere Verteilung der Verletzungen. Neben den Verletzungen des Kopfes sind

Verletzungen der unteren Extremität bei Kindern besonders häufig [2], vor allem bei Fußgängern und Radfahrern [3]. Die dünnere Schädelkalotte im Vergleich zu den Erwachsenen und die größere Relation von Kopf zu Körper führen zu einer höheren Verletzbarkeit von Gehirn und Halswirbelsäule [2, 3, 6]. Auch die schwächere Nackenmuskulatur der Kinder trägt dazu bei [7]. Durch das dickere und härtere Periost der Extremitäten, das bei einem Trauma weniger stark betroffen ist als bei einem Erwachsenen, kommt es bei Kindern vor allem zu einfachen Frakturtypen, mit maximal zwei Knochenfragmenten [14]. Die Knochen sind zudem sehr viel flexibler und biegsamer, wodurch es zu einer geringeren Frakturrate, aber zu einer höheren Rate an Weichteil- und Organtraumata kommt. Auch der Schutz durch die Rippen ist bei Kindern noch nicht ausgeprägt, wodurch Leber, Milz und Nieren besonders gefährdet sind [6]. Bei nicht gurtgeschützten Kindern kommt es vermehrt zu Beckenfrakturen, allerdings weniger zu Bauchverletzungen [3].

Durch die geringere Größe und das kleinere Volumen können bei Kindern bereits kleine Blutverluste zu einem schweren hypovolämischen Schock führen [2]. Clarke et al. zeigten, dass bei Patienten, die den Schockraum im hämorrhagischen Schock erreichen, die Überlebenschancen um 1 % je drei Minuten Zeitverzögerung bis zur Laparotomie sinkt [15]. Bei Oberkieferfrakturen LeFort II und III kann es zu lebensbedrohlichen Massenblutungen kommen [16]. Die primäre Prognose kindlicher Polytraumata ist somit neben dem schweren Schädel-Hirn-Trauma (SHT) durch Hypovolämie bestimmt [16].

Das Letalitätsrisiko der Kinder steigt durch Schädel-, Hirn-, Thorax-, Abdominaltraumata und durch Verletzungen der Halswirbelsäule, die bei Kindern häufiger vorkommt [2]. Bei Kindern sollte die Indikation zur Intubation und maschinellen Beatmung großzügiger gestellt werden, weil gebrochene Rippen zusammen mit dem SHT für das Versterben bei Kindern mit thorakalem Trauma prädiktiv sind [2].

Auch die weitere Behandlung muss speziell an die Besonderheiten von Kindern angepasst werden. Eine lebensrettende Sofortoperation sollte bei penetrierenden Verletzungen und zur Blutstillung erfolgen [16]. Zur Verhinderung einer sekundären Hirnschädigung durch ein Epiduralhämatom bleiben 70 bis 120 Minuten zur Entlastung, beim subduralen Hämatom zwei bis vier Stunden [16]. Auch eine primäre Frakturstabilisierung kann indiziert sein bei instabilen Beckenfrakturen mit einer Blutung, Femur- oder Tibiaschaftfrakturen, komplexen Gelenkfrakturen, Gefäßverletzungen,

Kompartmentsyndrom, offenen Frakturen, schwerem Weichteilschaden und grob dislozierten Frakturen [16]. Bei Kindern sind die Unterschiede zu Erwachsenen in der Pathophysiologie umso größer, je jünger das Kind ist und trotz der besseren Heilungsfähigkeit des kindlichen Gewebes [17] sind die ersten 24 Stunden auch bei Kindern die wichtigsten in der Traumaversorgung [16].

Der weitere Verlauf des Krankenhausaufenthaltes von polytraumatisierten Kindern ist im Vergleich zu Erwachsenen durch eine signifikant niedrigere Beatmungs-, Intensiv- und Gesamtaufenthaltszeit gekennzeichnet [2].

### 1.3 Die radiologische Diagnostik im Schockraum

Der Würzburger Schockraumalgorithmus gibt vor, bei jedem eingelieferten Patienten bei Verdacht auf ein Polytrauma nach dem Triage-Schema eine GK-MSCT durchzuführen. Wurmb et al. konnten zeigen, dass dadurch die Diagnostikzeit um zwei Drittel reduziert und die Schockraumzeit halbiert wurde [18]. Allerdings wird die Strahlenexposition drei bis fünffach erhöht im Vergleich zur konventionellen radiologischen Schockraumbasisdiagnostik, bestehend aus FAST, konventionellem Röntgen und CT [18]. Im Vergleich zu einem normalen Spiral-CT ist sie nochmals um den Faktor 1,8 erhöht [19]. Die CT-Diagnostik macht bei nur 3 bis 5 % der radiologischen Diagnostik 35 bis 45 % der Röntgendosis der Patienten aus [20]. Das spielt besonders bei der Behandlung von Kindern eine Rolle. Kinder sind anfälliger für ionisierende Strahlung, da sie ein geringeres Volumen haben, die Haut dünner ist und sie nach der Strahleneinwirkung länger leben, wodurch die Wahrscheinlichkeit erhöht wird, strahleninduzierte Krankheiten zu erleiden. Kinder haben zudem einen höheren Wassergehalt im Gewebe, weshalb eine höhere Radiodosis benötigt wird, um gleichdickes Gewebe zu durchdringen [21]. Auch die Verteilung des blutbildenden Knochenmarks ist different zum Erwachsenen, dadurch ist das Skelett strahlenempfindlicher [21]. Dem gegenüber steht die Untersuchung von Pehle et al., die zeigt, dass bei einem prioritätengerechten, abgestuften Konzept mit selektiver CT-Diagnostik zur Strahlendosisreduktion bei eingeschränkter Verfügbarkeit, höherem Kostenaufwand oder der Unmöglichkeit bei hämodynamisch instabilen Patienten die Rate an nicht diagnostizierten Verletzungen erhöht wird [22]. Biberthaler et al. empfehlen für Kinder mit einem SHT ab einem GCS < 13 Punkten eine Schnittbildgebung [5, 23]. In lebensbedrohlichen Situationen ist diese Strahlenexposition für Erwachsene laut Prokop et al. zu vernachlässigen im Vergleich zur möglichen Zeiteinsparung der Diagnostik [19].

#### 1.4 Der Würzburger Schockraumalgorithmus

Der Ablauf der Polytraumaversorgung in Würzburg ist in drei Phasen untergliedert [13]:

- I. Reanimationsphase
- II. CT-Phase
- III. Versorgungsphase

Die personellen Voraussetzungen sind dadurch gegeben, dass ein erfahrenes Team bestehend aus Visceral-, Unfall-, Herz-Thorax-, Neuro-, MKG-, Gefäß-, Kinderchirurgen, Hals-Nasen-Ohrenärzten, Augenärzten, Pädiatern, Anästhesisten und Radiologen verfügbar ist - unter der Leitung von Anästhesie, (Unfall-)Chirurgie und Radiologie.

In der Reanimationsphase werden unter der Führung von Anästhesie und Unfallchirurgie die Vitalfunktionen sichergestellt bzw. wiederhergestellt. Die Reanimationsphase sollte schnell abgeschlossen werden, um in die CT-Phase überzugehen.

In der Versorgungsphase werden alle Diagnosen mit der aktuellen Klinik des Patienten zusammengefügt und das weitere Prozedere unter den Disziplinen abgesprochen.

#### 1.5 Ziel der Arbeit

Ziel der Arbeit ist eine retrospektive Aufarbeitung der Daten der Jahre 2004 bis 2009. Dafür wurden die Daten der 72 Kinder im Alter bis 14 Jahre, die von März 2004 bis Oktober 2009 im Schockraum der Universitätsklinik Würzburg behandelt wurden, bearbeitet. Die Unfallursachen und Behandlungen werden epidemiologisch ausgewertet. Die Diagnostik im Schockraum wird dargestellt. Ebenso wird die Anzahl und Art der Notfalloperationen und elektiven Operationen ermittelt, ob und wie viele Verletzungen es gab, die trotz GK-CT nicht in den ersten zwölf Stunden nach dem Unfall detektiert wurden. Es wird gezeigt, wie die weitere Diagnostik während des Krankenhausaufenthaltes ablief. Dadurch und mit Hilfe der Letalität wird die Wertigkeit des Würzburger Schockraumalgorithmus zur Anwendung beim pädiatrischen Polytrauma ermittelt.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Patientenkollektiv

Seit März 2004 existiert der moderne Schockraum mit integriertem 16-Zeilen Multislice-Computertomograph der Universitätsklinik Würzburg in den neuen Räumlichkeiten des Zentrums für Operative Medizin. Das erste polytraumatisierte Kind wurde dort im Juni 2004 behandelt. Alle in diese retrospektive Studie einbezogenen Kinder waren zwischen 0 und 14 Jahre alt (Durchschnitt 9 Jahre (1-14)), siehe Abbildung 1. Insgesamt wurden 72 Patienten behandelt, 57 hatten davon ein Polytrauma mit  $ISS \geq 16$  (siehe 2.7 Scores) und 15 einen  $ISS < 16$ . Eine GK-CT erhielten 57 Patienten. 68 % waren Jungen mit einem Durchschnittsalter von neun Jahren, die Mädchen waren durchschnittlich acht Jahre alt. Aufgrund der Diagnostik und des ISS wird das Kollektiv in zwei Gruppen unterteilt: Kinder bis 14 Jahre, die ein Polytrauma ( $ISS \geq 16$ ,  $n=57$ ) hatten, und Kinder bis 14, die retrospektiv kein Polytrauma hatten ( $ISS < 16$ ,  $n=15$ ).

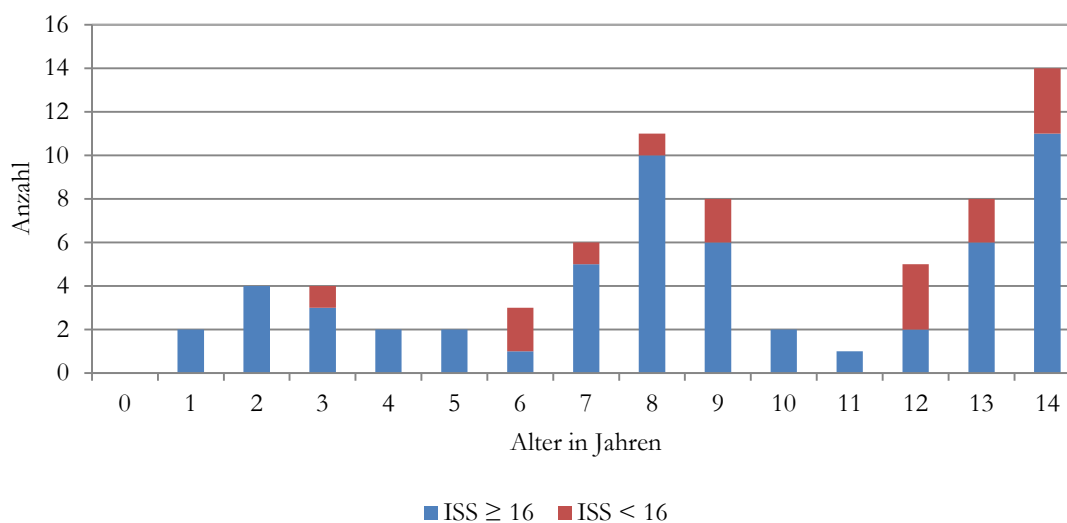


Abbildung 1: Altersverteilung der zwei Kollektive

### 2.2 Datenermittlung

Geschlecht, Alter, Unfallart, Operationen und Intubation der Kinder werden in den im SAP gespeicherten Patientenakten archiviert. Die radiologischen Untersuchungen und Daten sind im Picture Archiving and Communication System (PACS) hinterlegt. Die Daten wurden aus dem klinikinternen SAP und dem PACS zusammengetragen und daraus

eine Datenbank mittels Microsoft Office Excel (Version 2007) erstellt. Alle Abbildungen und Werte stammen aus dieser Datenbank.

### 2.3 Computertomograph

Der Schockraum der Universitätsklinik Würzburg ist ausgestattet mit einem Somatom Sensation 16 der Firma Siemens, Forchheim, siehe Abbildung 2. Das Gerät kann 16 Zeilen mit einer Schichtdicke von 0,75 mm gleichzeitig aufnehmen und benötigt für 41 cm 13 Sekunden.

Die Besonderheit des Computertomographen ist die Sliding Gantry, ein feststehender Tisch und eine auf Schienen bewegliche Gantry. Dadurch, dass der Schwerstverletzte nach dem einmaligen Umlagern auf den röntgengängigen Carbonschlitten nicht mehr bewegt werden muss, können die Venenverweilkanülen, der Tubusschlauch und die Meßgeräte Kabel in ihrer Lage verbleiben.



*Abbildung 2: Computertomograph im Schockraum der Universitätsklinik Würzburg [18].*

## 2.4 Indikationen

Die Indikation für ein GK-CT wird nach dem in Tabelle 1 gezeigten sog. Triage-Schema gestellt. Die Patienten werden nach dem Unfallmechanismus, den Vitalparametern und dem Verletzungsmuster eingeteilt.

Tabelle 1: Triage-Schema [18], zur Indikationsstellung für ein GK-CT.

Kategorie I Unfallmechanismus	Kategorie II Vitalparameter	Kategorie III klinisch offensichtliche Verletzungsmuster
Sturz aus großer Höhe (5m)	RR syst. < 80 mmHg (Schock)	Instabiler Thorax
Verkehrsunfall 1. mit hoher Geschwindigkeit 2. gegen LKW 3. als Fußgänger oder Radfahrer überfahren	Spontanatemfrequenz < 10/min oder > 29/min	Offener Thorax
Sonderfall PKW-Unfall 1. im Fahrzeug eingeklemmt 2. mit Fahrzeug überschlagen 3. frontal gegen anderen PKW 4. Ejektion aus Fahrzeug 5. Tod eines Beifahrers	Sauerstoffsättigung < 90%	Offenes Abdomen
Sonderfall Einklemmung, Verschüttung oder Explosionsverletzung	Patient primär bewusstlos (GCS < 9) und intubiert	Instabiles Becken Brüche von mehr als einem Röhrenknochen an den Beinen  Proximale Amputation von Arm oder Bein

Die CT-Untersuchung kann nur bei einem kreislaufstabilen Patienten nach der Reanimationsphase durchgeführt werden. Ist der Patient nicht stabilisierbar, werden eine FAST und konventionelles Röntgen angewandt, da für die Durchführung einer CT die Maßnahmen am Patienten zu lange unterbrochen werden müssten [18].

## 2.5 Untersuchungsprogramm für ein Ganzkörper-Multi-Slice-CT bei Kindern

Bei der GK-MSCT bei Kindern sind einige Besonderheiten im Vergleich zu Erwachsenen zu beachten. Kinder erhalten keine drei CT-Spiralen, sondern nach einem a.p.-Topogramm

wird ein CCT nativ durchgeführt und eine Spirale von 2 cm oberhalb des Circulus Willisii bis zur Symphyse. Die frühe und späte Phase werden durch biphasische Kontrastmittelboli imitiert, zur Parenchym- und Gefäßdarstellung. Dabei werden durch langsame KM-Injektion die Organe in der Parenchymphase untersucht. Sollte eine Gefäßdarstellung nötig sein, wird durch eine zweite KM-Injektion eine arterielle Phase herbeigeführt. Die Scan-Parameter und die KM-Spritzen-Protokolle sind für vier Altersstufen vorgegeben, siehe Tabelle 2.



Tabelle 2: CT-Dosis und Kontrastmittel-Richtwerte für Kinder. Einteilung nach Alter.

0-1 Jahr

	kV	mAs	
CCT	120	140	16 ml KM/Flow 0,6
Thorax	120	30	KM-Menge für einzelne Untersuchungen: Rücksprache mit Radiologen.
Abdomen	120	48	
			Kontrolle der Scanzeit und Einlaufzeit, evtl. Flow erhöhen.

2-5 Jahre

	kV	mAs	
CCT	120	190	30 ml KM/Flow 1,2
Thorax	120	40	KM-Menge für einzelne Untersuchungen: Rücksprache mit Radiologen.
Abdomen	120	60	
			Kontrolle der Scanzeit und Einlaufzeit, evtl. Flow erhöhen.

6-12 Jahre

	kV	mAs	
CCT	120	240	Ca. 2 ml KM/kg Flow 1,5-2,0
Thorax	120	60	KM-Menge für einzelne Untersuchungen: Rücksprache mit Radiologen.
Abdomen	120	100	
			Kontrolle der Scanzeit und Einlaufzeit, evtl. Flow erhöhen.

13-17 Jahre

	kV	mAs	
CCT	120	280	Ca. 2 ml KM/kg Flow 2,0 oder wie für Erwachsene
Thorax	120	80	KM-Menge für einzelne Untersuchungen: Rücksprache mit Radiologen.
Abdomen	120	140	
			Kontrolle der Scanzeit und Einlaufzeit, evtl. Flow erhöhen.

Im Untersuchungsprogramm werden, wie in Tabelle 3 gezeigt, die Richtwerte für die Schichtdicke, die Kollimation und das Kontrastmittel der 1. und 2. Serie festgelegt.

Tabelle 3: Untersuchungsprogramm für das GK-MSCT bei Kindern. Die frühe und späte Phase werden durch zwei Kontrastmittelboli hervorgerufen.

	Serie 1 Kopf und HWS	Serie 2 Frühe + späte Phase Thorax und Abdomen
Schichtdicke (mm)	2 (WS) - 5	3 (WS) - 5
Kollimation	16 x 0,75	16 x 0,75
Kontrastmittel	-	+
Kontrastmittel-Flow (ml/s)	-	Siehe Altersprotokoll
Kontrastmittelmenge, gesamt (ml)	-	Abhängig vom Alter und Gewicht

## 2.6 Strahlendosis

Die Strahlendosis der Röntgenuntersuchung kann als Dosisflächenprodukt (DFP) angegeben werden. Das DFP wird in der Einheit  $\text{cGy}\cdot\text{cm}^2$  oder  $\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2$  angegeben. Es ist ein Maß für die gesamte aus dem Röntgengerät ausgetretene Strahlenenergie, die auf eine begrenzte Fläche auftrifft.

Für die Computertomographie kann das Dosislängenprodukt (DLP) bestimmt werden. Die Einheit ist  $\text{mGy}\cdot\text{cm}$ . Zur Dosisangabe einer CT-Untersuchung ist auch der Computed Tomography Dose Index (CTDI) möglich. Er wird in mGy gemessen. Er kann mit dem Medium Luft ( $\text{CTDI}_{\text{Luft}}$ ) oder mit einem Dosimetriephantom ( $\text{CTDI}_{\text{FDA}}$ ,  $\text{CTDI}_{100}$ ) bestimmt werden. Die effektive Dosis oder die Organdosis, also die Strahlung, die auf den Patienten einwirkt, wird in mSv gemessen [24].

Die Größen DFP, DLP und CTDI werden bei jeder Untersuchung vom Gerät selbst gemessen und angegeben. Bei der CT-Untersuchung werden das DLP und der CTDI im PACS zusammen mit den Bildern archiviert, das DFP wird im SAP bei den Untersuchungsdaten gespeichert. Die effektive Dosis in mSv wird hierbei nicht berechnet, da dafür Konversionsfaktoren aus Monte-Carlo-Rechnungen benötigt werden, die die Dosis für mathematisch simulierte 3D-Phantome bestimmen. Die Bestimmung des DLP und DFP ist nach jeder Untersuchung sofort möglich und benötigt keine externe Software, die eine potentielle Fehlerquelle darstellt. Es gibt verschiedene Programme, die die effektive Dosis aus dem DLP berechnen [25, 26]. Werden diese Programme verglichen,

werden verschiedene Werte errechnet [27]. Um diesen Umstand zu umgehen und die Dosiswerte vergleichbar zu machen, wird hier auf die Umrechnung in die effektive Dosis (mSv) verzichtet.

Das Bundesamt für Strahlenschutz ermittelt diagnostische Referenzwerte für radiologische und nuklearmedizinische Untersuchungen. Zuletzt wurden diese Werte 2010 aktualisiert, basierend auf Daten, die zwischen 2006 und 2009 gesammelt wurden. Diese Referenzwerte sind als DFP für das Röntgen und die Durchleuchtung und als DLP für die Computertomographie angegeben. Diese Daten sind bei jeder Untersuchung für allgemein definierte Gerätetypen abzulesen [28].

Tabelle 4: Diagnostische Referenzwerte für pädiatrische Röntgenuntersuchungen nach Veit et al. [29]

Untersuchungsart	Alter/Gewicht	DFP in [cGy·cm <sup>2</sup> ] bzw. [μGy·m <sup>2</sup> ]
Thorax a.-p./p.-a.	5 ± 2 Jahre	2,5
	10 ± 2 Jahre	3,5
Abdomen a.-p./p.-a.	5 ± 2 Jahre	25
	10 ± 2 Jahre	35
Becken a.-p.	5 ± 2 Jahre	15
	10 ± 2 Jahre	25
MCU	5 ± 2 Jahre	30
	10 ± 2 Jahre	60

Tabelle 5: Diagnostische Referenzwerte für pädiatrische CT-Untersuchungen pro Scanserie nach Veit et al. [29]

Untersuchungsart	Alter/Gewicht	DLP-16 in [mGy·cm]	DLP-32 in [mGy·cm]
Hirnschädel	2-5 Jahre	500	
	6-10 Jahre	650	
	11-15 Jahre	850	
Gesamt-Abdomen	11-20 kg (2-5 Jahre)	330	165
	21-30 kg (6-10 Jahre)	500	250
	31-50 kg (11-15 Jahre)		500

Das Dosislängenprodukt wird mit Standard CT-Dosimetriephantomen mit 16 cm (DLP-16) oder 32 cm (DLP-32) Durchmesser bestimmt [29]. Bei den Referenzwerten handelt es sich um tatsächlich gemessene Werte, wobei einige Geräte die Werte geeicht auf ein 16 cm-Phantom und einige auf ein 32 cm-Phantom bestimmen. Zu beachten ist, dass die Werte nur für eine CT-Scanserie gelten, nicht für die gesamte Untersuchung. Die Werte wurden in den Jahren 2006 bis 2009 ermittelt und die Festlegung erfolgte auf Basis der 75. Perzentile der eingereichten Werte. Die Referenzwerte für Kinder beruhen auf einer sehr limitierten Anzahl an Daten [29].

## 2.7 Scores

Zur Einteilung der Schweregrade der Verletzungen gibt es verschiedene Score-Systeme. Der Abbreviated Injury Score (AIS) gehört zu den anatomischen Einteilungen, die vor allem für die Intensivbehandlung ausschlaggebend sind, und kann nur retrospektiv nach den Befunden aller Diagnosen erstellt werden. Darauf basierend wird der Injury Severity Score (ISS) gebildet, der sich auf die drei am schwersten verletzten Regionen beschränkt [30, 31]. Für den AIS werden folgende sechs Körperregionen untersucht: Weichteile, Kopf und Hals, Gesicht, Thorax, Abdomen oder Beckeninhalte, Extremitäten oder Beckengürtel. Die Verletzungen der Regionen werden, wie in Tabelle 6 dargestellt, in sieben Kategorien eingeteilt und mit Punkten bewertet.

Tabelle 6: Traumaklassifikation zur Berechnung des AIS und ISS.

Punktwert	Schwere der Verletzungen im untersuchten Bereich
0	keine
1	leichte
2	mäßige
3	ernste
4	schwere
5	lebensbedrohliche
6	tödliche Verletzung

Für den ISS werden die Punktwerte der drei schwerstbetroffenen Regionen quadriert und danach addiert. Somit ist der maximale Punktwert des ISS 75 ( $3 \times 5^2$ ). Ein AIS von 6 ist gleichbedeutend mit einem ISS von 75.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Unfallmechanismen

Die Unfallmechanismen lassen sich in drei Gruppen einteilen. 42 Kinder wurden bei Verkehrsunfällen verletzt, 24 bei Stürzen und sechs bei anderen Unfällen. Den größten Anteil machen die Verkehrsunfälle als Mitfahrer eines PKWs ( $n=16$ ) aus. Auch Zusammenstöße als Fahrradfahrer oder Fußgänger waren häufig.

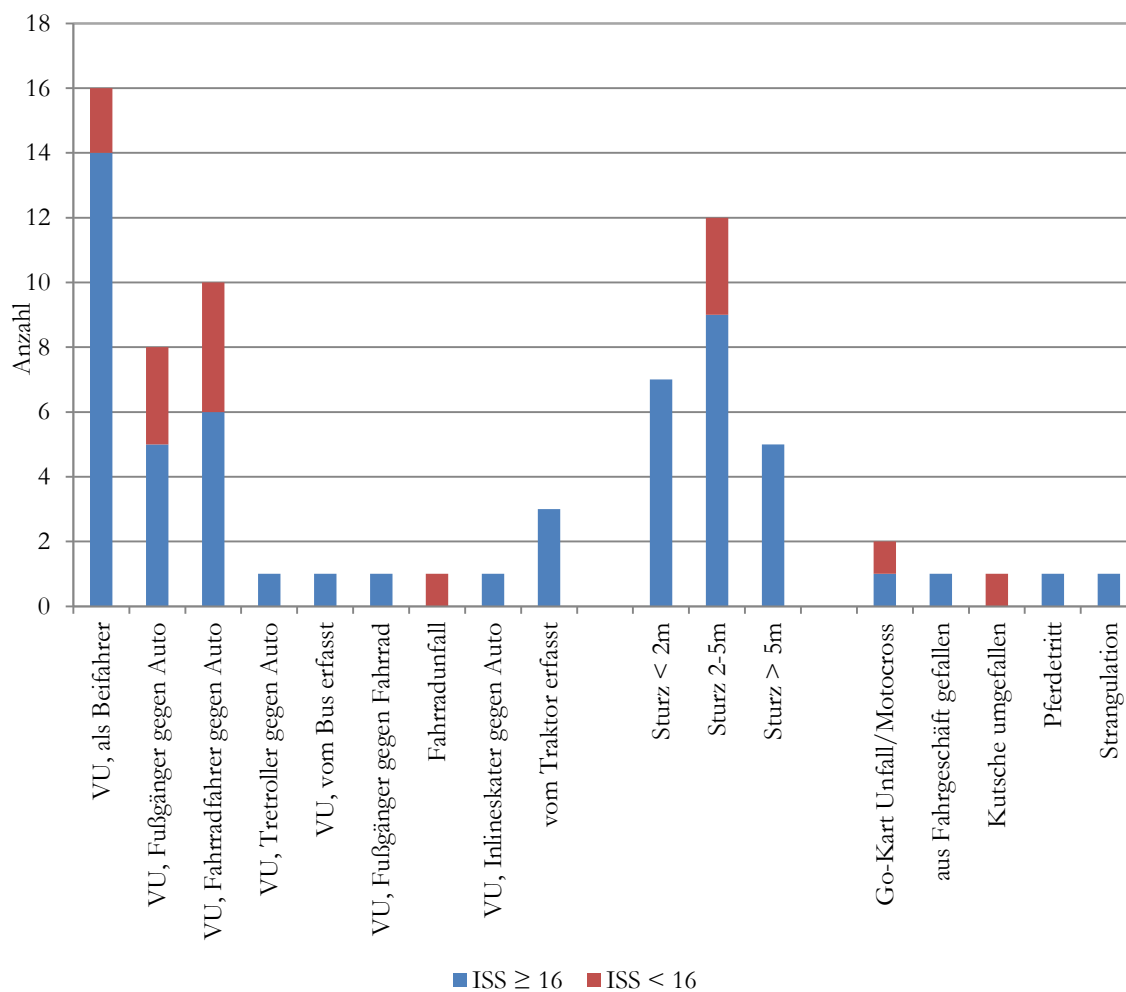


Abbildung 3: Unfallbergang eingeteilt nach den Unfallmechanismen. VU = Verkehrsunfall.

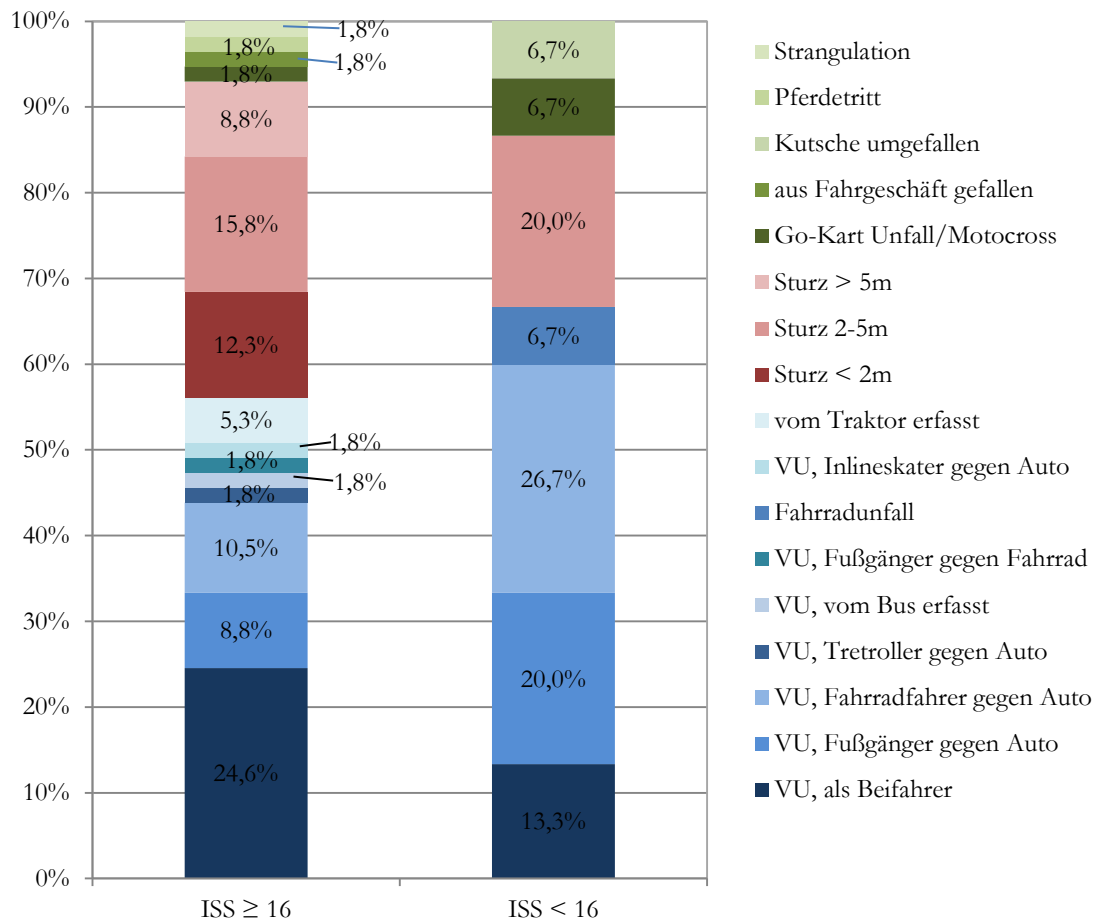


Abbildung 4: Der Unfallbergang, eingeteilt nach den Kollektiven ISS  $\geq 16$  und ISS  $< 16$ . VU = Verkehrsunfall

Die Kinder, die bei Verkehrsunfällen (blau) verletzt wurden, hatten durchschnittlich einen ISS von 26, bei Stürzen (rot) von 25 und bei der Gruppe der „Sonstigen“ (grün) von 32. Der hohe durchschnittliche ISS der schwerverletzten Kinder (ISS  $\geq 16$ ) in der Gruppe der „Sonstigen“ kommt durch die geringe Patientenzahl (n=6) und die hohen einzelnen ISS-Werte (16-75) zustande.

### 3.2 Verletzungslokalisation

Zur Bestimmung der Verletzungslokalisation wird der Körper ähnlich der Berechnung des AIS in neun Regionen aufgeteilt. Im Vergleich zum TraumaRegister DGU Jahresbericht 2010 (siehe Abbildung 5) haben Kinder einen höheren Prozentsatz an Verletzungen des Kopfes (ISS  $\geq 16$ : 61,4 %), des Gesichts (ISS  $\geq 16$ : 28,1 %), des Halses (ISS  $\geq 16$ : 3,5 %) und der unteren Extremität (ISS  $< 16$ : 46,7 %). Der Thorax (ISS  $\geq 16$ : 49,1 %), das Abdomen (ISS  $\geq 16$ : 24,6 %), das Becken (ISS  $\geq 16$ : 17,5 %), die Wirbelsäule (ISS  $\geq 16$ : 8,8 %) und die obere Extremität (ISS  $\geq 16$ : 21,1 %) waren seltener verletzt. Der

durchschnittliche ISS der schwer verletzten Kinder ( $ISS \geq 16$ ) lag bei 31,6. Der durchschnittliche ISS insgesamt war 26,5.

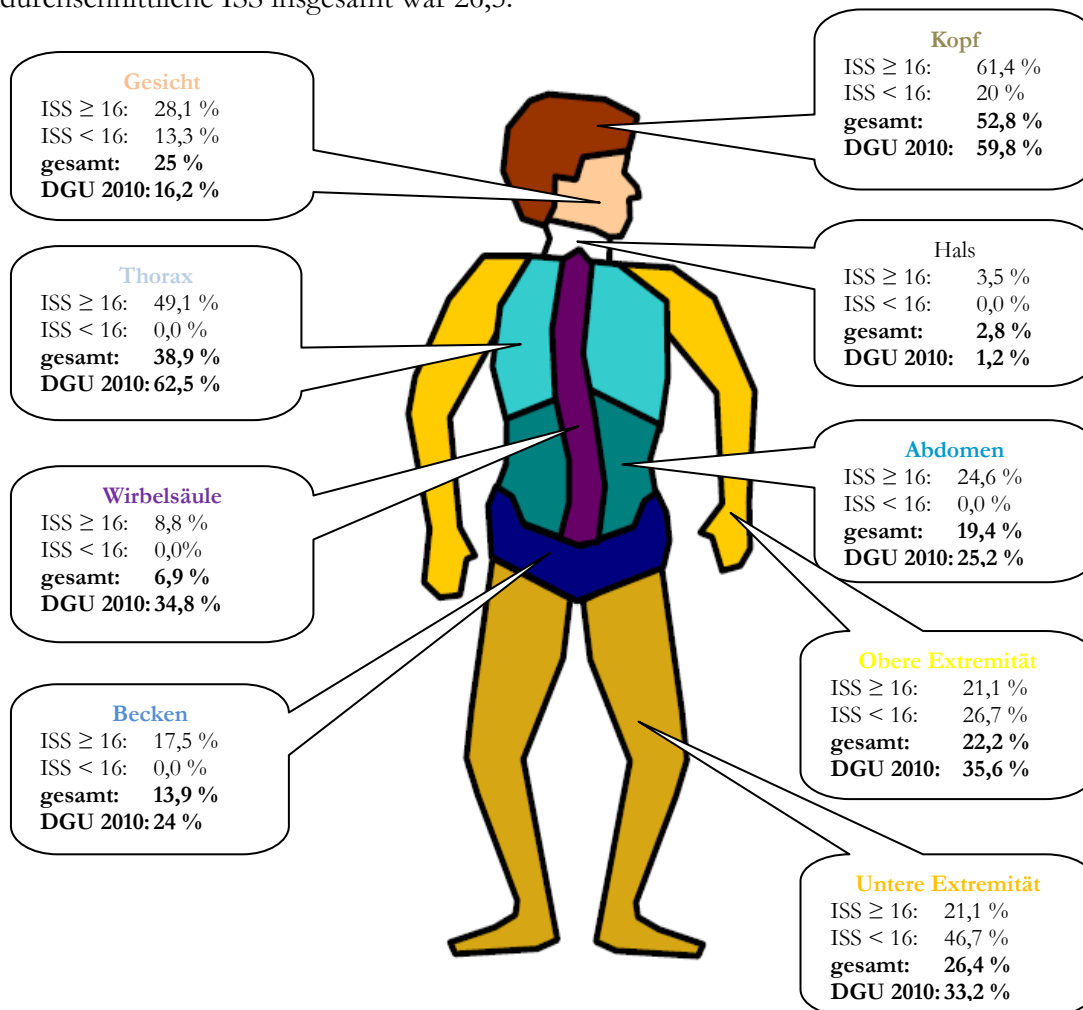


Abbildung 5: Verletzungslokalisation[12]. Vergleich des Durchschnitts der hier untersuchten Kinder ( $ISS \geq 16$ ,  $ISS < 16$ , gesamt) mit dem Durchschnitt der DGU ( $ISS$  unabhängig) 2010.

### 3.3 Beatmung

Beim Eintreffen in der Zentralen Notaufnahme (ZNA) der Universitätsklinik waren bereits 63,2 % der schwerstverletzten Kinder ( $ISS \geq 16$ ) und 73,3 % der Leichtverletzten ( $ISS < 16$ ) durch den Notarzt primär intubiert und beatmet worden. 17,5 % ( $ISS \geq 16$ ) wurden in der Notaufnahme intubiert und 19,3 % ( $ISS \geq 16$ ) bzw. 26,7 % ( $ISS < 16$ ) wurden nicht intubiert.



### 3.4 Radiologische Diagnostik im Schockraum

57 der 72 Kinder erhielten eine GK-CT, bei den anderen 15 wurde eine organspezifische Computertomographie durchgeführt.

Abbildung 6 zeigt, dass die Diagnostik hauptsächlich aus der CT, vor allem GK-CT bestand, gefolgt von den Röntgenuntersuchungen.

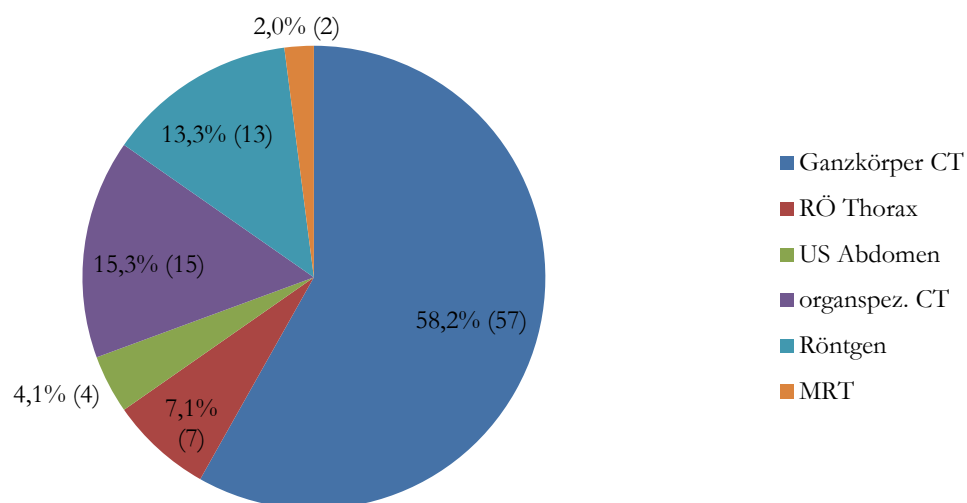


Abbildung 6: Radiologische Diagnostik im Schockraum. Neben den 57 GK-CT und 15 CCT wurden noch konventionelle Röntgenaufnahmen, Ultraschall, MRT und organspezifische CTs durchgeführt. Der Prozentwert ist anteilig an der Gesamtzahl der Untersuchungen im Schockraum. In Klammern die absolute Anzahl.

Die CCT wurde als initiale Untersuchung bei 15 Schwerstverletzten ( $ISS \geq 16$ ) durchgeführt. Bei fünf Kindern wurde zusätzlich eine CT der HWS und bei zwei Kindern eine CT des Thorax veranlasst.

Bei den MRT-Untersuchungen aus Abbildung 6 handelt es sich jeweils um ein MRT des Schädels und der Lendenwirbelsäule, die anschließend an die primäre Diagnostik innerhalb der ersten Stunde in der Röntgenabteilung durchgeführt wurden.

Die Röntgenuntersuchungen, zusätzlich zur CT-Untersuchung der Patienten mit  $ISS \geq 16$ , teilen sich in eine Röntgenuntersuchung des Abdomens, des Beckens, der Beine und des Oberschenkels und jeweils zwei Untersuchungen der Wirbelsäule und des Unterschenkels auf. Bei drei Kindern wurde zusätzlich noch der Arm geröntgt. Bei den Kindern mit  $ISS < 16$  wurden vier Röntgenuntersuchungen des Unterschenkels und eine Untersuchung des Oberschenkels durchgeführt.

### 3.5 Operationen

Von den Kindern mit  $ISS \geq 16$  wurden 20 Kinder (35,1 %) primär operativ versorgt. Bei den leichtverletzten Kindern ( $ISS < 16$ ) erhielten neun eine Operation. Insgesamt wurden 26 Kinder (36,1 %) nicht operiert.

Tabelle 7: Notfalloperationen unterschieden nach Kollektiv.

ISS $\geq 16$		ISS $< 16$	
7	Marknagelosteosynthesen	8	Marknagelosteosynthesen
5	Kraniotomien mit Hämatomentleerung	1	Oberkieferfrakturschienung
2	Hirndrucksonden		
3	Laparotomien		
3	primäre Wundversorgung		

Tabelle 7: Notfalloperationen zeigt, dass Frakturen die häufigste Indikation für eine Notfalloperation des Gesamtkollektivs waren ( $n=15$ ), gefolgt von der Kraniotomie bei Kindern mit  $ISS \geq 16$ .

Bei den Kindern mit  $ISS \geq 16$  wurden während des Krankenhausaufenthalts ab dem zweiten Aufenthaltstag 22 Kinder ein- bis fünfmal operiert. Es wurden 16 kinderchirurgische, drei unfallchirurgische, vier mund-kiefer-gesichtschirurgische, neun neurochirurgische, sieben hals-nasen-ohrenärztliche, eine urologische und eine interdisziplinäre Operation durchgeführt.

Die Kinder mit  $ISS < 16$  wurden sechsmal kinderchirurgisch, einmal neurochirurgisch und einmal hals-nasen-ohrenärztlich operiert.

Tabelle 8 sind die Art und die Anzahl der elektiven Operationen zu entnehmen.

Tabelle 8: Elektive Operationen nach Kollektiv.

ISS $\geq$ 16		ISS $<$ 16	
2	Ileumruptur mit Nachresektion	1	Kompartmentsyndrom
1	Mesenterialwurzelabriss	1	Humerusfraktur
3	Osteosynthesematerialfehlagen	1	ICP-Sondenanlage
2	Ulnafrakturen + Prevot-Nagelung + Fixateur externe	1	Orbitabodenfraktur
1	Flexions-Distraktionsverletzung LWK 2/3 mit Fixateur interne	4	Wunddefekte
1	Kirschnerdrahtfehlage bei subtotaler Unterschenkelamputation mit Fixateur externe		
1	Tricepssehnenruptur		
1	Mittelgesichtsfraktur		
3	Mandibulafrakturen		
1	Duraerweiterungsplastik + ICP-Sondenanlage		
4	Interne Ventrikeldrainage + 1 externe Ventrikeldrainage		
1	Lumbaldrainage + Durazereißungen		
2	Durarekonstruktion		
1	Facialisdekompression		
1	Tracheostomaanlage bei hohem Querschnitt und Tetraparese		
2	Siebbeinentrümmungen bei Rhinobasisfraktur		
3	Orbitabodenfrakturen		
1	Explorative Laparotomie bei Nierenberstung		
1	Lumbaldrainage und Kraniotomie bei Schädelfraktur		
2	Fixateur interne Anlage bei Unterschnénkelteilamputation und Wirbelkörperfraktur		
6	Wundversorgung		

## 3.6 Verzögert diagnostizierte Verletzungen

Bei sechs Kindern mit  $ISS \geq 16$  wurden therapierelevante Verletzungen in der primären Diagnostik nicht beschrieben. Fünf der sechs Kinder haben eine GK-CT erhalten. Vier Hirnschwellungen und ein Subduralhämatom wurden erst im Verlauf manifest und in der CCT-Kontrolle detektiert. Die Verletzungen wurden im Laufe des Aufenthalts zwischen dem Aufnahmetag und 18 Tagen nach Aufnahme diagnostiziert. Operative Konsequenzen hatten eine Orbitabodenfraktur, ein Mesenterialeinriss und eine Ileumruptur. Ein Kind verstarb an den Folgen einer Peritonitis bei Ileumruptur, nachdem weder im GK-CT, in zwei Abdomen-Ultraschalluntersuchungen noch in einer Röntgenuntersuchung des Abdomens Zeichen einer Darmperforation zu sehen waren.

Tabelle 9: Verzögert diagnostizierte Verletzungen nach Region.

Verletzungen des Kopfes:

Verletzung	Anzahl	Tag nach Aufnahme	Versorgung
Orbitabodenfraktur	1	18	Reposition
Schädelbasisfraktur	1	1	konservativ

Verletzungen des Abdomens:

Verletzung	Anzahl	Tag nach Aufnahme	Versorgung
Ileumruptur	1	6	Segmentresektion
Mesenterialeinriss	1	7	Segmentresektion

Verletzungen des Arms:

Verletzung	Anzahl	Tag nach Aufnahme	Versorgung
Klavikulafraktur	1	2	konservativ

Verletzungen der Beine:

Verletzung	Anzahl	Tag nach Aufnahme	Versorgung
Talusfraktur	1	2	konservativ

### 3.7 Patienten ohne Ganzkörper-CT

Von den 57 Kindern mit  $ISS \geq 16$  erhielten 42 (73,7 %) primär im Schockraum eine GK-CT. Die Indikation wird nach dem Triage-Schema (siehe Tabelle 1) gestellt.

15 Kinder erhielten trotz retrospektivem  $ISS \geq 16$  kein GK-CT. Damit kann hier von einer Undertriage von 26,3% ausgegangen werden. Elf der 15 Kinder waren nach dem Unfall bei Bewusstsein und bewegten sich adäquat. Davon zeigten vier Kinder im Verlauf eine verminderte Vigilanz, ein Kind eine verstärkte Agitiertheit. Zwei Kinder erbrachen. Drei Kinder waren initial bewusstlos, zwei erwachten wieder und hatten einen GCS von 6 bzw. 11.

Tabelle 10 zeigt die Befunde von sechs Kindern mit Undertriage. Der durchschnittliche ISS dieser Kinder war 26,2 (16-29).

Tabelle 10: Befunde von sechs Kindern ohne GK-CT. Fett hervorgehoben sind die ins Triage-Schema passenden Daten, die eine GK-CT rechtfertigen würden.

Unfallmechanismus	Vitalparameter	Verletzungsmuster	CT-Untersuchung	Notfall-OP
vom Traktor erfasst	Initial wach	Unterkieferfraktur <b>Teilamputation des Unterschenkels</b>	CCT nativ + RÖ Unterschenkel	Gefäßrekonstruktion am Unterschenkel
von PKW angefahren	<b>Initial bewusstlos</b> , danach GCS 11, intubiert durch NA	Kalottenfraktur, SDH, EDH, Felsenbeinfraktur	CCT + CT HWS nativ	
Sturz aus 2-5 Metern	Initial wach, dann Vigilanzminderung, <b>Gabe von kolloidaler Infusion bei Hypotonie</b>	Kalottenfraktur, Felsenbeinfraktur, EDH, SAB	CCT nativ + RÖ Thorax + BWS	
<b>von Omnibus angefahren</b>	Initial wach, Blutung aus Ohr	SAB, Orbitafraktur, Mastoidfraktur, Klavikulafraktur	CCT + CT Thorax KM	
Zwischen rivalisierende Pferde geraten	Initial wach, <b>GCS 6</b> , Erbrechen	Kalottenfraktur	CCT + CT HWS nativ	
Bei 40km/h aus dem Go-Kart geschleudert	Initial bewusstlos, dann aufgewacht, <b>GCS 6</b>	Felsenbeinfraktur, Klavikulafraktur	CCT + CT Thorax KM	

### 3.8 Nachuntersuchungen während des Klinikaufenthaltes

Jedes Kind mit  $ISS \geq 16$  wurde durchschnittlich viermal geröntgt (0-21), einmal sonographiert (0-10) und erhielt eine Computertomographie (1-5). Die MRT-Untersuchung wurde in 19 Fällen angewandt, davon in 18 Fällen zur spinalen und zerebralen Diagnostik und in einem Fall zur Abdomenuntersuchung. Die DSA wurde in vier Fällen zur

Diagnostik der zerebralen Gefäße verwendet. Die Durchleuchtung wurde bei zwei Kindern angewandt, bei der Miktionszystourographie und bei einer Dickdarmuntersuchung. Die Szintigraphie wurde in zwei Fällen zur Hirntoddiagnostik eingesetzt.

Bei Kindern mit  $ISS < 16$  wurden durchschnittlich zwei Röntgenaufnahmen (0-5) und eine Sonographie (0-3) durchgeführt. CCT- bzw. CMRT-Untersuchungen wurden bei vier bzw. einem Kind veranlasst.

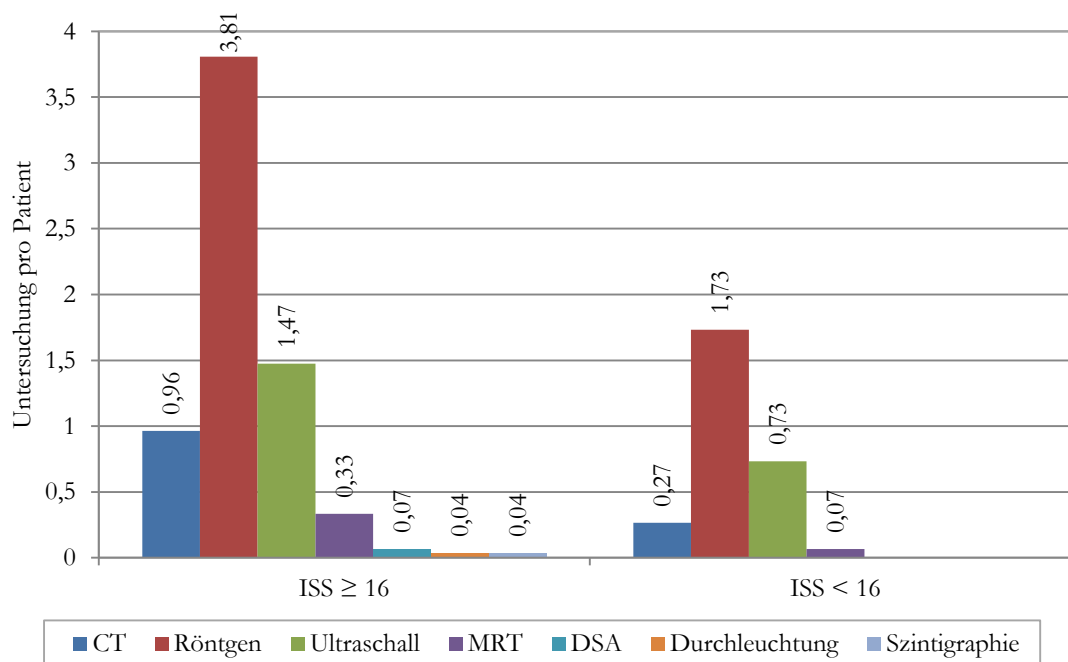


Abbildung 7: Nachuntersuchungen nach Kollektiv.

Bei den Röntgenuntersuchungen wurde hauptsächlich die Röntgenthoraxaufnahme durchgeführt, gefolgt von den Abdomenaufnahmen bei den Schwerverletzten ( $ISS \geq 16$ ). Bei den Leichtverletzten ( $ISS < 16$ ) diente die Röntgenuntersuchung vor allem der Kontrolle nach Frakturposition.

Tabelle 11: Nachuntersuchungen Röntgen.

Röntgenuntersuchung	ISS $\geq$ 16	ISS $<$ 16
Thorax liegend	157	8
Thorax p.a.	4	0
Abdomen Linksseitenlage	9	0
Abdomen stehend	1	0
Abdomen 2 Ebenen	1	0
HWS 2 Ebenen	1	0
Klavikula	0	1
Schulter	1	0
Oberarm	4	2
Unterarm	6	3
Hand 2 Ebenen	3	0
Wirbelsäule	3	0
LWS 2 Ebenen	1	0
Becken a.p.	1	0
Bein	3	1
Oberschenkel	9	5
Knie	3	0
Unterschenkel 2 Ebenen	3	5
Sprunggelenk	5	0
Fuß	2	0
Zahnfilm	0	1

Bei den CT-Kontrolluntersuchungen wurden insgesamt 49 CCT nativ durchgeführt. Die Kinder mit ISS  $\geq$  16 erhielten im Ganzen 19 MRT-Untersuchungen, darunter sind 16 Schädel-MRT. Sowohl bei den Schwerverletzten (ISS  $\geq$  16) als auch bei den Leichtverletzten (ISS  $<$  16) war die abdominelle Sonographie mit 70 bzw. 11 die häufigste Untersuchung. DSA, Durchleuchtung und Szintigraphie blieben speziellen Fragestellungen vorbehalten. Auch andere CT- (Thorax, Abdomen, WS, Fuß), MRT- (Hals, Abdomen) oder Ultraschalluntersuchungen (Schädel, Pleura, Gefäße, Nieren) wurden nur bei speziellen Fragestellungen durchgeführt.



## 3.9 Strahlendosis

Die Strahlendosis der Röntgenuntersuchung wird als DFP in der Einheit  $\text{cGy}\cdot\text{cm}^2$  gemessen. Es werden vom Bundesamt für Strahlenschutz nicht für alle durchgeführten Untersuchungen Referenzwerte angegeben.

Tabelle 12: Strahlendosis der Röntgenuntersuchungen in  $\text{cGy}\cdot\text{cm}^2$  mit Referenzwerten nach Veit et al. [29]. Der „Rest“ umfasst verschiedene Extremitätenuntersuchungen

Untersuchungsart	Alter	Mittelwert		Referenzwert
Thorax a.p./p.a.	5 ± 2 Jahre	2,71	0,23-10,00	2,5
	10 ± 2 Jahre	5,25	1,17-15,00	3,5
Abdomen a.p./p.a.	5 ± 2 Jahre	1,89	0,76-3,75	25
	10 ± 2 Jahre	3,70	3,70	35
Becken a.p.	10 ± 2 Jahre	9,80	9,80	25
Rest	5 ± 2 Jahre	7,53	1,72-17,20	-
	10 ± 2 Jahre	15,08	0,53-84,30	-

Die in der Universitätsklinik Würzburg gemessenen Werte liegen bei den Abdomenuntersuchungen, bei den Beckenuntersuchungen der Kinder von 8 - 12 Jahren im Rahmen der Referenzwerte. Bei den Thoraxuntersuchungen der Kinder aller Altersstufen liegen die gemessenen Werte (n=91) über den Referenzwerten.

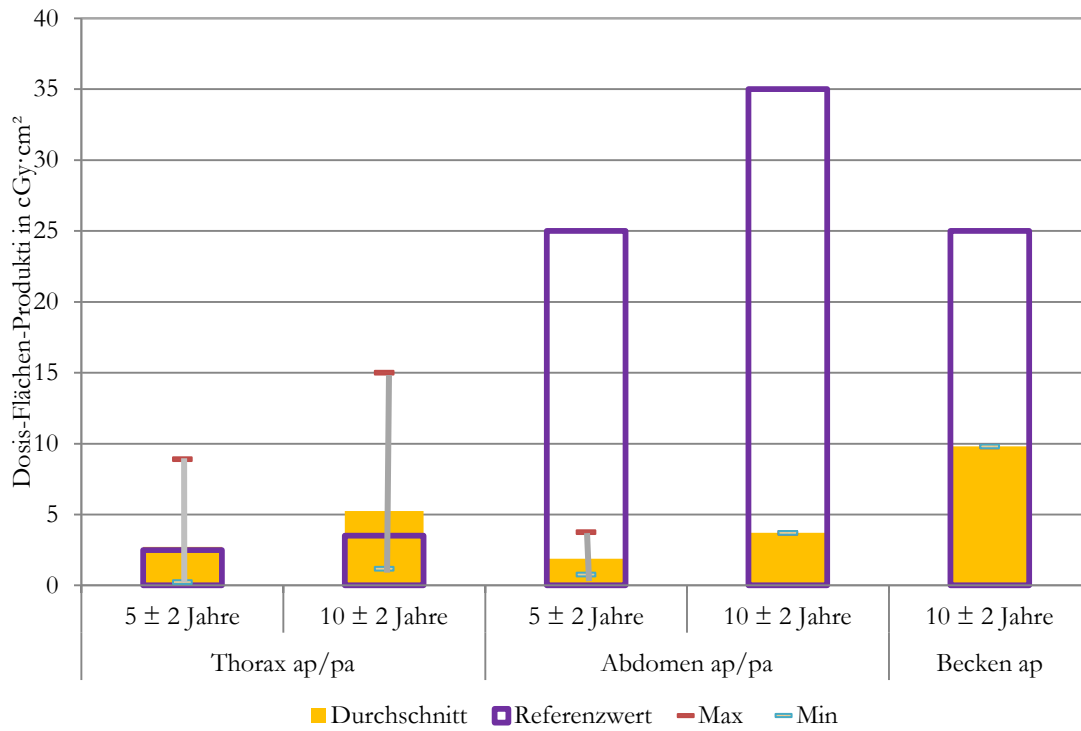


Abbildung 8: Vergleich der gemessenen Strahlendosis der Röntgenuntersuchungen mit den Referenzwerten des Bundesamtes für Strahlenschutz: Mittelwert (orange), Maximalwert (rot), Minimalwert (grün) und Referenzwert (violett) nach Veit et al [29].

Die Strahlendosis der Computertomographie wird als DLP angegeben in der Einheit  $mGy \cdot cm$ . Es gibt vom Bundesamt für Strahlenschutz keine Vergleichswerte für die GK-CT bei Kindern.

*Tabelle 13: Strahlendosis der CT-Untersuchungen in  $mGy \cdot cm$  mit Referenzwerten nach Veit et al. [29]. Die Referenzwerte des DLP-16 und DLP-32 beziehen sich auf die 75. Perzentile der gemeldeten Untersuchungen. Die Werte variieren bei Geräten, die ein 16cm Phantom als Grundlage ihrer Messungen verwenden im Vergleich zu den Geräten, die ein 32cm Phantom als Grundlage verwenden. Aus diesem Grund sind die Referenzwerte einzeln aufgelistet und ausgewertet. Die Altersangaben wurden an Veit et al. angepasst und beinhalten bei den Ergebnissen der Universitätsklinik Würzburg nur Kinder von ein bis 14 Jahre.*

Untersuchungsart	Alter	Mittelwert		Referenzwert	
				DLP-16	DLP-32
Ganzkörper	1 Jahr	1985,00	1985	-	-
	2 – 5 Jahre	1535,75	230-2289	-	-
	6 – 10 Jahre	2144,57	492-4378	-	-
	11 – 15 Jahre	2658,91	361-3980	-	-
Hirnschädel	1 Jahr	463,50	183-744	-	-
	2 – 5 Jahre	871,50	227-1931	500	-
	6 – 10 Jahre	864,54	476-2103	650	-
	11 – 15 Jahre	1118,92	643-2703	850	-
Gesamt-Abdomen	1 – 5 Jahre	-	-	-	-
	6 – 10 Jahre	285,50	242-329	500	250
	11 – 15 Jahre	815,00	815	-	500

Die Werte der CCT liegen in allen drei Altersstufen über den Referenzwerten, siehe Abbildung 9. Die Werte der abdominalen CT liegen bei den älteren Kindern über den Referenzwerten.

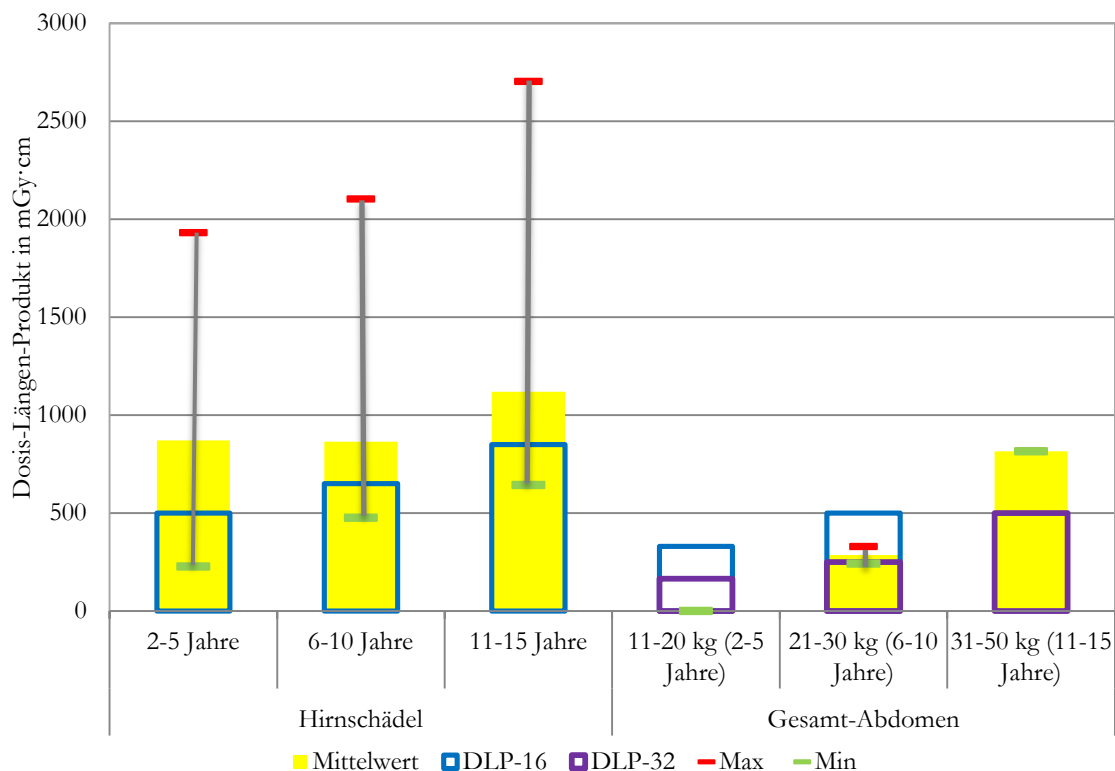


Abbildung 9: Vergleich der gemessenen Strahlendosis der Computertomographie mit den Referenzwerten des Bundesamtes für Strahlenschutz: Mittelwert (gelb), Maximalwert (rot), Minimalwert (grün), Referenzwert für ein 16cm Phantom (blau) und Referenzwert für ein 32cm Phantom (violett) nach Veit et al [29]. Kinder unter 2 Jahren sind hier nicht angegeben aus Mangel an Referenzwerten.

### 3.10 Aufenthaltsdauer

Kinder mit  $ISS \geq 16$  blieben durchschnittlich 17 Tage (0-64) im Krankenhaus, von denen sie sieben Tage (0-35) auf der Intensivstation verbrachten. Kinder mit  $ISS < 16$  waren im Mittel zehn Tage (1-27) stationär und zwei Tage (0-15) davon auf der Intensivstation. Die verstorbenen Kinder waren fünf Tage (0-19) bis zu ihrem Tod im Krankenhaus, zwei Tage (0-8) davon auf der Intensivstation. Fünf der sechs Kinder verstarben auf der Intensivstation, ein Kind verstarb nach 19 Tagen Krankenhausaufenthalt, es war einen Tag auf der Intensivstation.

### 3.11 Entlassungen

Die meisten Kinder wurden nach der Behandlung nach Hause entlassen ( $n=56$ ; 77,8 %). Vereinzelt wurden Kinder in andere, dem Wohnort näher gelegene Kliniken verlegt ( $n=3$ ; 4,3%). Ein Kind musste während der Behandlung in eine stationäre psychiatrische Klinik

überwiesen werden. Sieben Kinder (9,7 %) wurden nach der stationären Therapie in eine weiterführende Rehabilitationsklinik verlegt.

### 3.12 Letalität

Die Sterblichkeit der eingelieferten Kinder bezieht sich auf das Kollektiv der Schwerstverletzten, da aus dem Kollektiv der Kinder mit  $ISS < 16$  kein Patient verstorben war. Insgesamt verstarben im Zeitraum von 12.5.2005 bis 8.4.2009 sechs Kinder an den Folgen ihrer schweren Verletzungen. Im Jahr 2004 starb keines der Kinder. Die Letalität liegt im Mittel bei 8,3 % bezogen auf das Gesamtkollektiv, in Bezug auf die Kinder mit  $ISS \geq 16$  bei 10,5 %.

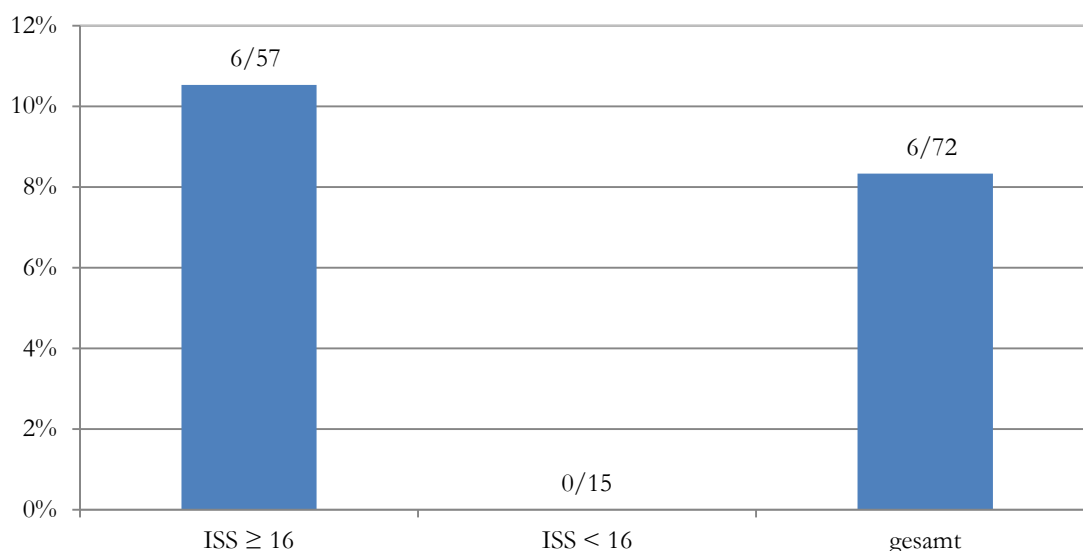


Abbildung 10: Letalität in Abhängigkeit des ISS sowie der Gesamtwert. Angegeben ist die Gesamtzahl an gestorbenen zu aufgenommenen Patienten.

### 3.13 Analyse der Fälle der verstorbenen Patienten

Im Zeitraum zwischen dem 7.3.2004 und dem 31.10.2009 sind in der Behandlung der kindlichen Polytraumata sechs Kinder nach Aufnahme im Verlauf der Behandlung verstorben. Das Durchschnittsalter der Verstorbenen beträgt 8,2 Jahre.

Im Folgenden werden die sechs Fälle der verstorbenen Kinder kurz dargestellt. Die Todesursachen waren in vier Fällen das schwere SHT, in einem Fall die Lungenverletzung mit Luftembolie der großen Gefäße und in einem Fall die Ileumperforation mit folgender Sepsis.

Ein zweijähriger Junge erlitt als nicht angeschnallter Beifahrer einen PKW-Frontalzusammenprall.

Der Junge wurde bei einem GCS von vier vom Notarzt intubiert, kontrolliert beatmet und kreislaufstabil in die ZNA gebracht. Im GK-CT war eine subtotale HWS-Distraktion, eine LWK 4-Berstungsfraktur mit Zerreißung der Cauda equina, ein retroperitoneales Hämatom und gering FAF im Morrison-Pouch zu sehen. Bei steigenden Entzündungswerten, Temperaturanstieg auf 41°C und akutem Abdomen mit Flankenrtung wurde am sechsten Tag nach Aufnahme eine Laparotomie durchgeführt. Intraoperativ zeigte sich eine fibrinöse Peritonitis nach traumatischem Abriss des terminalen Ileums 3 cm proximal der Bauhinschen Klappe und eine Ileumperforation 15 cm proximal der Bauhinschen Klappe. Die Verletzungen wurden mit einer End-zu-End-Anastomose versorgt. Danach zeigte sich keine klinische Besserung, was zu einer Relaparotomie und Anus praeter-Anlage nach sechs Tagen bei Anastomoseninsuffizienz führte. Am siebten postoperativen Tag kam es zu einem akuten Reanimationsereignis mit Null-Linien-EKG nach 45 Minuten Reanimationsmaßnahmen.

Todesursache war globales Herzversagen mit biventrikulärer Dilatation in Folge der Sepsis.

Ein 13jhriger Junge wurde beim berqueren der Straße von einem Auto komplett überrollt.

Der Patient war initial wach und ansprechbar, hatte keine Amnesie, atmete spontan und wurde kreislaufstabil in die ZNA gebracht. Dort trat zunehmend eine respiratorische Insuffizienz auf, woraufhin eine Intubation und Thoraxdrainagenanlage erfolgte. Im GK-CT war eine Rippenserienfraktur der ersten bis sechsten Rippe rechts zu sehen sowie eine geschlossene Schädelfraktur okzipital, eine vordere Beckenringfraktur und eine transforaminale Os sacrum-Fraktur links. Nach Hochfrequenzoszillationsbeatmung kam es nach 45 Minuten zu einer Bradykardie und im EKG zu Zeichen einer Myokardischämie. Es weiteten sich die Pupillen beidseits. Bei der erneuten CT des Schädels und des Thorax konnten Luftembolien in intrakraniellen Gefäßen und den Koronarien gesehen werden. Es kam zur zunehmenden hämodynamischen Instabilität bei Akinese der Hinterwand, des Septums, der Seitenwand und des rechten Ventrikels. Die Obduktion ergab multiple Zerreißungen beider Lungen. Ein Lufteintritt in das Gefäßsystem durch eine vermutete bronchopulmonalvense Fistel konnte nicht detektiert werden.

Ein einjähriges Mädchen war aus über fünf Metern aus dem Fenster gestürzt.

Das Mädchen wurde komatös, vom Notarzt intubiert und manuell beatmet in die Notaufnahme gebracht. Bei der Ankunft im Schockraum waren die Pupillen beidseits geweitet und nicht lichtreagibel. Die GK-CT zeigte ein schwerstes SHT, eine Kalottenfraktur und eine Orbitabodenfraktur. Es war eine Hirnstammreflexie und Perfusionsstillstand in der zerebralen Sonographie zu erkennen. Eine Hirntoddiagnostik durch EEG und Dopplersonographie wurde durchgeführt und ergab keine Reagibilität auf 2,5 mg Atropin. Die Feststellung des Hirntods erfolgte am zweiten Tag nach Aufnahme.

Ein elfjähriger Junge hatte sich selbst beim unbeaufsichtigten Spielen stranguliert.

Nach einem Herz-Kreislaufstillstand wurde der Junge fünf Minuten vom Notarzt reanimiert. Beim Eintreffen in der Notaufnahme zeigte er keine Reaktion auf Schmerzreize, es war kein Kornealreflex auslösbar und beide Pupillen waren weit und entrundet. Es waren Strangulationsmarken am Hals zu erkennen und Petechien im Bereich beider Augenlider. Eine CT des Schädels und der HWS zeigte einen regelrechten intrakraniellen Befund ohne Blutungen, Ödem oder Hypoxiezeichen. Es waren keine Frakturen oder HWS-Verletzungen zu sehen. In der Kontroll-CCT konnte ein manifester hypoxischer Hirnschaden mit Hernierung der Kleinhirntonsillen 3 bis 4 cm durch das Foramen magnum festgestellt werden. Die Feststellung des Hirntodes erfolgte am Tag nach Aufnahme durch fehlende Hirnstammreflexe und aufgehobene zerebrale Perfusion.

Ein achtjähriger Junge war beim Überqueren der Straße von einem PKW erfasst und zehn Meter durch die Luft geschleudert worden.

Der Notarzt bestimmte einen GCS von fünf. Der Patient war bewusstlos und zeigte weite, lichtstarre Pupillen. Er wurde vom Notarzt intubiert und beatmet in die ZNA gebracht. Hier zeigte sich eine Hirnstammreflexie. Im GK-CT war ein geschlossenes SHT mit okzipitaler Schädelkalottenfraktur, Contrecoup-Verletzung links frontotemporal, ein SDH links frontotemporal und Lungenkontusionen beidseits zu sehen. Ein CCT sechs Stunden später zeigte einen ausgedehnten hypoxischen Hirnschaden. Nach einem zerebralen Perfusionsausfall in der SPECT-Untersuchung wurde am zweiten Tag nach Aufnahme der Hirntod festgestellt.

Ein 14-jähriger Junge war als Radfahrer mit einem PKW kollidiert.

Der Patient wies initial einen GCS von drei auf. Er zeigte fehlende Spontanatmung und lichtstarre Pupillen beidseits. Die durchgeführte GK-CT und die CMRT zeigten ein SHT III° mit SAB, eine Parenchymblutung, ein Hirnödem, ein Galeahämatom, eine Schnittwunde frontal, eine Kieferhöhlenfraktur rechts, einen ventralen Pneumothorax links, Lungenkontusionen beidseits und eine offene Unterschenkelfraktur links. Der Unterschenkel wurde notfallmäßig mit einem Fixateur externe versorgt und eine Bülaudrainage wurde gelegt. Am Folgetag wurde in der SPECT-Untersuchung der Hirntod festgestellt.



## 4 Diskussion

Die Grundlage dieser Arbeit bilden die retrospektiv untersuchten Daten von Kindern bis 14 Jahren. Der Wandel des kindlichen Körpers in Bezug auf Anatomie und geistige Entwicklung vollzieht sich zwischen dem 14. und 16. Lebensjahr [6]. Um Ergebnisse zu erhalten, die sich nur auf die Besonderheiten des pädiatrischen Patienten beziehen, wurde die Altersgrenze in dieser Arbeit auf 14 Jahre festgesetzt. Die Altersgrenzen in der Literatur sind uneinheitlich und beziehen sich bei einigen Autoren auf ein Alter bis 14 Jahre [3, 32], 15 Jahre [7, 14, 33], 16 Jahre [5, 6, 8, 34] oder 17 Jahre [2, 4].

Als Kriterium für die Schwere der Verletzungen wurde der Injury Severity Score angewandt und die Kinder als polytraumatisiert eingestuft mit mindestens einer schweren Verletzung einer Körperregion, also  $ISS \geq 16$ . In der Literatur wird diese Grenze meist als Grenze zum Polytrauma gesehen [6, 8, 12, 34]. Einige Autoren ziehen die Grenze bei  $ISS \geq 17$  [33] oder mit Hilfe des Maximum Abbreviated Injury Score (MAIS) [3].

### 4.1 Präklinischer Bereich

Als Hauptursache der Verletzungen konnten mit 58,3 % Unfälle im Straßenverkehr identifiziert werden. Die meisten Kinder waren Beifahrer in einem PKW, gefolgt von den Radfahrern, die mit einem PKW kollidierten, mit 11,1 % stehen die von einem PKW erfassten Fußgänger an dritter Stelle. Es scheint, als wäre die Rate an schwerverletzten Kindern als Beifahrer mit 88 % (14 von 16 Kindern) besonders hoch, allerdings muss man beachten, dass sich diese Zahl nur auf die als schwerverletzt eingelieferten Patienten bezieht. Einfache Knochenbrüche und leichte Schürfwunden werden nicht berücksichtigt. Des Weiteren sind die Kinder durch Stürze (33 %) aus unterschiedlicher Höhe gefährdet, wobei bei Stürzen aus zwei bis fünf Metern drei von zwölf Kindern leichte Verletzungen erlitten. Bei den Stürzen ab fünf Metern Höhe waren alle Kinder mit einem  $ISS \geq 16$  schwer verletzt. Bei den Stürzen unter zwei Metern gab es ebenfalls keine Leichtverletzten ( $ISS < 16$ ), was daran liegen könnte, dass die Verletzungen so gering waren, dass die Behandlung nicht im Schockraum stattfand. In der Literatur wird bereits beschrieben, dass Kinder vor allem als Beifahrer eines Autos oder als Fußgänger/Fahrradfahrer bei einer Kollision mit einem Auto verletzt werden. Bei Schneiders et al. und Schalamon et al. wurden knapp 70 % der polytraumatisierten Kinder im Straßenverkehr verletzt, 29 % als Fußgänger und 11 % als Radfahrer, des Weiteren wurden 8,3 % durch einen Sturz verletzt

[32, 34]. Bei Richter et al. waren 30,3 % der Verletzten PKW-Insassen, 32,1 % Radfahrer, 33,3 % Fußgänger [3]. Auch bei Reichmann et al. wurden die meisten Kinder als Fußgänger von einem PKW erfasst, 17,1 % als PKW-Insassen und 15,4 % als Zweiradfahrer [33]. Bei Gatzka et al. wurden 77,8 % der Kinder im Straßenverkehr verletzt und 9,9 % durch Stürze [8]. Die Daten der Universitätsklinik Würzburg bestätigen somit die Literaturdaten, die die Gefährdung der Kinder durch den Straßenverkehr als Hauptursache für schwere Verletzungen angibt.

Die verletzten Körperregionen waren vor allem der Kopf mit 52,8 %, der Thorax mit 38,9 % und die untere Extremität mit 26,4 %. Im Vergleich zur Gesamtstatistik der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie hatten die Kinder vermehrt Verletzungen des Gesichts und des Halses. Auch der Literatur zufolge finden sich mit 80 bis 90 % die häufigsten Verletzungen im Bereich des Kopfes. Gefolgt von Verletzungen der Extremitäten (untere Extremität > obere Extremität) oder Verletzungen des Thorax in bis zu 64 % der Fälle. Das Abdomen, das Becken oder die Wirbelsäule waren seltener betroffen [3, 7, 8, 32-34]. Das kann durch die ungünstigere Körper-Kopf-Relation der Kinder erklärt werden. Zudem hatten die Kinder mit ISS < 16 mit 46,7 % besonders häufig Verletzungen der unteren Extremität im Vergleich zur DGU 2010. Die Kinder hatten außerdem sehr viel seltener Verletzungen der Wirbelsäule. Der Kopf und das Abdomen waren genauso häufig betroffen wie bei den Erwachsenen. Die Ergebnisse sind vergleichbar mit den Daten von Remmers et al., die darüber hinaus das relative Sterberisiko für Kinder im Vorschulalter bei Thorax- und Abdominaltraumen, bei Kindern von sechs bis 12 Jahren bei Kopfverletzungen und bei Jugendlichen bei Thoraxverletzungen sieht [2]. Bei den Daten von Richter et al. haben die Kinder in allen Körperregionen im Vergleich mit Erwachsenen eine erhöhte Verletzungshäufigkeit, ausgenommen Verletzungen des Halses, die bei Erwachsenen vermehrt auftreten [3]. Diese Ergebnisse lassen sich dadurch erklären, dass Richter et al. nur Verletzungen aus Verkehrsunfällen betrachten und dabei die Stürze nicht einbezogen werden, die laut Fischer et al. das größte Risiko für ein SHT sind [5].

Die Beatmungsrate der Kinder ist mit insgesamt 82 % sehr hoch. Bei Schalamon et al. und Reichmann et al. wurden zwischen 43 und 48 % vom Notarzt intubiert [33, 34]. Bei Gatzka et al. wurden 82 % primär und 11 % im Schockraum intubiert [8]. Bei den Erwachsenen der DGU 2010 waren es nur 69 % [12]. Remmers et al. empfiehlt, Kinder frühzeitig zu intubieren, weil das Letalitätsrisiko beim Thoraxtrauma durch Rippenfrakturen stark

ansteigt [2]. Darüber hinaus reduziert die maschinelle Beatmung das Risiko eines Hirnödems, das durch die Hyperämie in Folge der Hypoxie entstehen kann [2]. Dadurch ist die hohe Rate an notärztlichen Intubationen mit 62 % bei den Schwerverletzten ( $ISS \geq 16$ ) und 73 % bei den Leichtverletzten ( $ISS < 16$ ) zu erklären.

#### 4.2 Radiologische Diagnostik und Strahlendosis

Die Schwierigkeit der Schockraumdiagnostik bei Kindern liegt in der Abwägung zwischen der Diagnostik aller Körperregionen und dem Schutz der Kinder vor ionisierender Strahlung. Das Triage-Schema soll die Entscheidung erleichtern, welche Patienten ein GK-MSCT erhalten sollen. In der Notfalldiagnostik steht die Computertomographie mittlerweile als die Methode der Wahl im Vordergrund. Das Limited Konzept mit Abdomensonographie und Röntgenuntersuchung tritt dadurch immer mehr in den Hintergrund. Die konventionelle Röntgenuntersuchung hat in der Frakturdarstellung der Extremitäten weiterhin ihren Stellenwert. Biberthaler et al. empfehlen bei Kindern ab einem  $GCS \leq 13$  eine Schnittbildgebung [23]. Die GK-CT beschleunigt die Diagnostik und führt somit zu einer schnellen und adäquaten Behandlung der Kinder. Nach Kanz et al. kann eine Vielzahl von Verletzungen nur mittels CT zuverlässig diagnostiziert werden [35]. Des Weiteren reduziert die MSCT die Mortalität von polytraumatisierten Patienten im Vergleich zur Prognose [36]. Die CT-Untersuchung ist überlegen in der Diagnostik der FAF, arterieller Blutungen und Gefäßverletzungen und Parenchymverletzungen abdomineller Organe [37]. Die MRT-Untersuchung ist aufgrund der Untersuchungszeit und der schlechteren Verfügbarkeit trotz der fehlenden Röntgenstrahlung keine Alternative in der initialen Diagnostik und wird allenfalls subsidiär bei spinalen und zerebralen Fragestellungen nach der Computertomographie durchgeführt.

In der Verlaufsdagnostik sind die Röntgenaufnahmen am häufigsten durchgeführt worden. Hier steht die Sonographie im Gegensatz zur Primärdiagnostik an zweiter Stelle. Die Computertomographie wird im Verlauf des Krankenhausaufenthalts seltener angewandt. Die MRT ist hier ein etabliertes Verfahren zur Verlaufkontrolle.

Bei 15 (20,1%) Kindern wurde kein GK-CT durchgeführt, obwohl sie retrospektiv ein Polytrauma hatten. In der Akutsituation ist es schwierig festzustellen, wie schwer die Verletzungen des Patienten sind. Die Kinder erhielten alle eine CCT und meist noch weitere radiologische Untersuchungen. Sechs der 15 Kinder fielen unter eine der drei Kategorien des Triage-Schemas, erhielten aber trotzdem keine GK-CT, sondern eine CCT

und eine selektive CT oder Röntgenuntersuchung. Keines der Kinder verstarb oder hatte eine nichterkannte Verletzung. Alle hatten Kopfverletzungen und vier Kinder zusätzliche Verletzungen am Thorax (n=2), Gesicht (n=2), an der oberen Extremität (n=1) und an der unteren Extremität (n=1). Die Kinder waren mit durchschnittlich 20 Tagen (9-43) im Krankenhaus und 7 Tagen (3-17) auf der Intensivstation etwas länger stationär behandelt worden als das Gesamtkollektiv. Dadurch wird gezeigt, dass sich in diesen Fällen die Letalität durch das GK-CT nicht verändert hätte, die Strahlendosis wäre allerdings erhöht gewesen. Die Anwendung des Triage-Schemas ist in der Akutsituation von Bedeutung und erleichtert die Indikationsstellung, ersetzt aber nicht das Überprüfen der Vorgehensweise individuell bei jedem Patienten.

Von den 72 Kindern erhielten 15 (20,1 %) ein GK-CT, obwohl sie retrospektiv kein Polytrauma hatten. Dieses Overtriage führte zu keiner Verbesserung der Behandlung. Wurmb et al. beschreibt bei Erwachsenen ein Overtriage von bis zu 30 % [38].

Bei den Kindern mit  $ISS \geq 16$  wurden sechs therapierelevante Verletzungen in der primären GK-CT nicht festgestellt. Trotz der GK-CT bei fünf der sechs Kinder konnten diese Verletzungen im Schockraum nicht detektiert werden. Ein Kind mit verzögert diagnostizierten Claviculafraktur erhielt ein CCT und Thorax-CT. Bei einer Wirbelsäulenverletzung wurde der begleitende Mesenterialeinriss ohne Gefäßverletzung, trotz freier abdomineller Luft und Flüssigkeit erst nach sieben Tagen infolge des obstruktiven Ileus festgestellt. Die maximale Diagnostik konnte hier nicht dazu beitragen, diese Verletzungen frühzeitig darzustellen. Bereits im initialen CT wurde ein retroperitoneales Hämatom gesehen. Einen Anhalt für eine Organverletzung gab es nicht. Laut Brody et al. tritt ein retroperitoneales Hämatom in 88 % bis 100 % der Patienten mit Darm oder Mesenterialverletzungen auf [39]. Allerdings kann man hier von einer Limitierung der Diagnostik ausgehen, da die Verletzung weder in der CT noch in der Röntgenuntersuchung noch im Ultraschall zu sehen war. Die CT-Untersuchung hat für die Diagnose von Dünndarmverletzungen eine Sensitivität von 92 % und eine Spezifität von 94 % [40]. Ein Patient hatte eine Orbitabodenfraktur, die erst am 18. Tag nach dem Unfall erkannt wurde. Lee et al. beschreibt die CT bei Orbitatraumen als gut mit der Klinik korrelierende Untersuchung, die auch das Outcome positiv beeinflusst [41].

Willner et al. beschreibt 8 % verzögert ( $> 12h$  nach der Behandlung im Schockraum) gestellte Diagnosen. Drei Viertel davon waren orthopädische Verletzungen. Ein Kind hatte einen Mesenterialeinriss, der wegen des gleichzeitigen Vorkommens eines Milzrisses erst

nach dem Auftreten einer Peritonitis und Sepsis am fünften Tag nach der Aufnahme in der explorativen Laparotomie detektiert wurde. Insgesamt führten bei Willner 27 der 36 übersehenen Diagnosen zu einer Behandlungsänderung. Die Anzahl der verspätet diagnostizierten Verletzungen war unabhängig vom Untersuchungsalgorithmus (CT, Sonographie, Röntgen). Die Kinder mit übersehenen Diagnosen erhielten mehr Abdomen oder Becken-CTs. Bei den Kindern wurde kein GK-CT durchgeführt, lediglich symptomorientiertes Röntgen und selektive CT [42].

Connors et al. betrachten die verzögerten Diagnosen bei Kindern mit Aufpralltraumata. In 1 % der Kinder kam es zu verzögert festgestellten Diagnosen. In zwei Drittel der Fälle handelt es sich um Frakturen, gefolgt von den intraabdominellen und intrakraniellen Verletzungen. Ein höheres Risiko einer verzögert festgestellten Diagnose haben laut Connors Mädchen, die bei einem Verkehrsunfall verletzt wurden und Gesichts- oder Extremitätenverletzungen hatten [43]. Mirvis et al. berichtet bereits 1992 von im CT nicht erkennbaren Dünndarmrupturen, begleitend zu weiteren schweren Verletzungen oder nur geringer FAF [44].

Auch Soundappan et al. betrachtet die Fälle von 76 Kindern bis 15 Jahre, die bei einem Aufpralltrauma oder einer Schussverletzung (n=1) verletzt wurden. Bei zwölf Kindern wurden 13 Diagnosen bei der Aufnahme nicht festgestellt. Hauptsächlich handelte es sich dabei um Verletzungen der unteren Extremitäten (n=4). Die Patienten waren hauptsächlich männlich, bei einem Verkehrsunfall verletzt und hatten Kopfverletzungen. Keines der Kinder verstarb [45].

Pfeifer et al. gibt eine Übersicht über 16 Studien von 1980 bis 2006, die sich mit den übersehenen Verletzungen nach einem Polytrauma befassen. Die meisten der Studien befassen sich mit Erwachsenen oder Patienten jeden Alters. Die Studie von Soundappan et al. [45] über übersehene Verletzungen bei Kindern ist mit einbezogen. Die Autoren kommen zu dem Ergebnis, dass durch die flächendeckende Verfügbarkeit des CT und MSCT die Zahl der übersehenen Verletzungen in den letzten zehn Jahren gesunken ist, vor allem bei den Verletzungen des Beckens. Die übersehenen Verletzungen waren vornehmlich schwere oder leichte Verletzungen (27,7 % bis 72,3 %). Lebensbedrohliche Verletzungen wurden nur selten nicht erkannt (0 % bis 4,4 %). Als Gründe für die übersehenen Verletzungen werden angegeben: Technische Fehler, schlechte Qualität der Röntgenaufnahmen, unterbrochene Diagnostik und angrenzende Verletzungen. Eine

tertiäre Begutachtung aller Diagnosen wird empfohlen, wobei eine Reevaluation der Blutwerte, der Röntgenbilder und der Klinik des Patienten durchgeführt werden sollte [46]. Von den sechs Kindern mit verzögert diagnostizierten Verletzungen in der Universitätsklinik Würzburg waren zwei weiblich, vier hatten Extremitätenverletzungen, zwei Gesichtsverletzungen und alle waren bei einem Verkehrsunfall verletzt worden. Diese sehr geringe Anzahl an Patienten lässt keine Rückschlüsse auf ein speziell gefährdetes Kollektiv zu. Von den sechs Kindern verstarben zwei. Neben dem Kind mit Ileumruptur wurde eine Rippenserienfraktur bei einem Kind mit schwerem Thoraxtrauma nicht dokumentiert.

Die Strahlendosis der Röntgen- und CT-Untersuchungen variiert je nach Untersuchungsart. Die hier angegebenen Dosiswerte sind lediglich ein Querschnitt durch das betrachtete Kollektiv von Notfallpatienten und nicht auf andere Patienten übertragbar. Die Dosen sind bei einigen Röntgenuntersuchungen, wie z. B. der Thoraxaufnahme, im Durchschnitt doppelt so hoch wie der Referenzwert angibt. Bei den Abdomenröntgenaufnahmen bleibt die Dosis bei den Kindern bis sieben Jahre unter 10 % des Referenzwertes und auch bei den größeren Kindern ist die Dosis geringer. Die pädiatrischen Referenzwerte des Bundesamtes für Strahlenschutz beruhen nur auf wenigen Daten und geben keine Grenzwerte, sondern Richtwerte wieder. 25 % dieser Daten, auf denen die Statistik von Veit et al. basiert, lagen über diesen Referenzwerten [29]. Brenner et al. zeigen für Patienten ab 25 Jahren das Risiko für einen strahlenbedingten Tumor ansteigend, je jünger die Patienten bei der Durchführung der CT sind [47].

Für die Strahlendosis des GK-CT, wie es an der Universitätsklinik Würzburg bei Kindern durchgeführt wird, gibt es bislang keine Referenzwerte für das DLP. Munk et al. beschreibt in einer Auswertung von 51 Kindern bis 16 Jahren die Dosis für das GK-CT in der effektiven Dosis mit Hilfe des Berechnungsprogrammes CT-EXPO [9]. Die Daten aus diesem Programm sind Näherungswerte, die durch die geringe Anzahl an Patienten nur als grobe Vergleichswerte, nicht als Richtwerte angesehen werden können. Auf eine Umrechnung in die effektive Dosis wird in dieser Arbeit wegen der ungenauen Vergleichsmöglichkeiten verzichtet.

Auffällig an den DLP-Werten der Universitätsklinik Würzburg ist, dass die Höhe des DLP sehr stark variiert und in jeder Altersgruppe schwankt. Das entsteht trotz des einheitlichen und auf das Patientenalter abgestimmten CT-Protokolls. Des Weiteren ist der Mittelwert des DLP der CCT 50 % des DLP der GK-CT, im Vergleich dazu ist das DLP der

Abdomen-CT ein Drittel (37,8 %) bis ein Siebtel (13,3 %) des DLP des GK-CT, je nach Altersgruppe.

Bei der Computertomographie lagen die Dosiswerte der Universitätsklinik Würzburg bei der CCT in jeder Altersgruppe über dem entsprechenden Referenzwert. Bei den Abdomenaufnahmen der Kinder bis zehn Jahre liegen die Werte im entsprechenden Rahmen. Auffällig ist, dass vor allem bei den häufigen Untersuchungen wie Thoraxröntgen und CCT der Dosisdurchschnitt über den Referenzwerten liegt. Das könnte an der geringen Anzahl an Daten liegen, auf denen die Referenzwerte von Veit et al. basieren. In der Notfallsituation ist die schnelle und umfassende Diagnostik wichtiger als die Eindämmung der Strahlenexposition [19]. Allerdings ist das kindliche Gewebe durch die dünnere Haut, den größeren Wassergehalt und die differente Verteilung des blutbildenden Knochenmarks sehr viel empfindlicher gegenüber Strahlung als erwachsenes Gewebe [48]. Trotz des reduzierten Protokolls und der wenigen Vergleichswerte sollte versucht werden, die Strahlenbelastung weiter zu reduzieren. Brix et al. empfehlen zur Dosisreduktion bei Röntgenuntersuchungen eine Abstimmung der Geräte auf die Aufnahmefolien, ein Verzicht auf Raster bei Kindern, eine korrekte Einstellung der Belichtungsautomatik, die Verwendung von Zusatzfiltern und die Anwendung von Patientenschutzmitteln wie Schürzen oder Schilddrüsenschutz [49]. Für die CT-Untersuchung wird die Optimierung der Protokolle empfohlen. Eine Begrenzung des Scanbereichs auf die relevanten Körperbereiche, auf eine möglichst geringe Anzahl an Scanserien, eine Reduktion des Strom-Zeit-Produkts vor allem bei Kindern, ein Pitchfaktor  $> 1$  soweit vertretbar und eine Akzeptanz eines höheren Rauschsignals [49]. Bei Honnef et al. wird ein Pitchfaktor von 1,45 bei Kindern empfohlen, denn je niedriger der Pitchfaktor ist, desto höher ist die Dosis aber auch die Bildqualität. Bei Siemens MSCT-Geräten, wie das an der Universitätsklinik Würzburg, gibt es ein „Effektives-mAS-Konzept“, wodurch die Dosis unabhängig vom Pitchfaktor ist [50]. Huda et al. verwenden einen Pitchfaktor von 1,5 [51]. Laut Stamm et al. würde eine Erhöhung des Pitchfaktors auf 1,5 mit darauf abgestimmten Parametern eine Dosisreduktion um 50% bewirken [25].

#### 4.3 Stationäre Behandlung nach der Notaufnahme

Nach der Aufnahme in der Notaufnahme wurden 38,1 % (n=20) der Kinder mit ISS  $\geq 16$  primär operiert. Den größten Anteil (12,3 %) daran haben Frakturpositionen. Gatzka et al. berichten von 61,7 % primären Operationen, wovon 22,2 % Frakturpositionen waren

[8]. Kraniotomien wurden am zweithäufigsten durchgeführt, wobei es sich bei fünf Fällen um eine Hämatomentlastung handelte und in zwei Fällen (40 %) um die Anlage einer Hirndrucksonde. Bei Gatzka et al. machen die Laparotomien den zweithäufigsten Eingriff aus und neurochirurgische Eingriffe waren zu 87 % Anlagen von Hirndrucksonden. Verletzungen des Kopfes waren häufiger, mussten aber seltener operativ versorgt werden als die Verletzungen der unteren Extremität. Bei den leichtverletzten Kindern (ISS < 16) wurden Frakturen der Extremitäten fast alle in einer primären Operation stabilisiert. In der Literatur erhielten 70 % bis 78 % der Kinder eine Operation. Etwa 60 % waren primäre Operationen. Am häufigsten wurden Frakturstabilisierungen durchgeführt, gefolgt von thoraxstabilisierenden Maßnahmen. Seltener waren mit 17 % bzw. 13 % Kraniotomien bzw. Laparotomien [8, 34].

Die Aufenthaltsdauer von durchschnittlich 17 Tagen im Krankenhaus und 7 Tagen auf der Intensivstation bei Kindern mit ISS  $\geq$  16 war im Vergleich zur DGU 2009 mit 21,5 Tagen im Krankenhaus und 9,3 Tagen auf der Intensivstation etwas geringer. Im Vergleich zur Literatur mit drei bis elf Tagen auf der Intensivstation und elf bis 30 Tagen im Krankenhaus liegt die Aufenthaltsdauer am Universitätsklinikum Würzburg im mittleren Bereich [4, 33, 34]. Auch bei Remmers et al. zeigt sich bei Kindern eine geringere Intensivzeit und Krankenhausaufenthaltsdauer als bei Erwachsenen [2]. Die Aufenthaltsdauer der Kinder mit ISS < 16 war nochmals kürzer. Die Rekonvaleszenzzeit der Kinder ist kürzer und die Invaliditätsrate geringer als bei den Erwachsenen, trotz der höheren Verletzungsschwere mit einem durchschnittlichen ISS von 26,5 im Vergleich zu den Erwachsenen mit 21,4 [12]. In der poststationären Behandlung konnten mehr Kinder nach Hause entlassen werden als Erwachsene. Bei den Erwachsenen musste ein größerer Anteil in eine Rehabilitationseinrichtung oder eine Spezialklinik überwiesen werden [12]. Gatzka et al. beschreiben eine Rekonvaleszenz mit Entlassung nach Hause von 14,4 % der Erwachsenen und 28,4 % der Kinder [8].

Die Letalität ist mit 10,5% im Vergleich zum Durchschnitt der DGU 2010 niedriger (13,5% [12]). Strohm et al. geben die Letalität beim kindlichen Polytrauma mit 19% an [14]. In der Studie von Schneiders et al. verstarben 14% der Kinder mit ISS > 13 [32]. Bei Schalamon et al. überlebten alle der 70 schwerverletzten Kinder [34]. Bei Reichmann et al. verstarben 12 % der Kinder nach durchschnittlich 6 Tagen im Vergleich zu 20 % bei den Erwachsenen [33]. Auch hier war das SHT die häufigste Todesursache, gefolgt von einem hämorrhagischen Schock und einem Lungenversagen. Bei Gatzka et al. war die Letalität der



Kinder mit 23,5 % im Vergleich zu den Erwachsenen mit 18,9 % höher [8]. Kinder verstarben am häufigsten an einem SHT, gefolgt von einem Multiorganversagen und im Gegensatz zu Erwachsenen häufiger an einem hämorrhagischen Schock. Bei Buschmann beträgt die Letalität 19,3 % [7]. Bei Kay et al. überlebten 80% der Kinder [17]. Bei Zwingmann et al. starben 17 % der Kinder am schweren SHT [6]. Somit liegt die Letalität an der Universitätsklinik Würzburg an zweiter Stelle nach Schalamon [34] im Vergleich zur Literatur unabhängig davon, ob dort ein GK-CT angewandt wurde oder nicht. Der Altersdurchschnitt der Verstorbenen ist mit 8,2 Jahren etwas geringer als der Altersdurchschnitt des gesamten Kollektivs mit 9 Jahren. Die Kinder wurden 1, 2, 8, 11, 13 und 14 Jahre alt. Bei vier Kindern waren die Verletzungen des Kopfes Ursache des Todes, bei einem Kind schwere Lungenverletzungen und bei einem eine Darmperforation mit folgender Sepsis. Auch bei Schneiders et al. verstarben drei von fünf Kindern an schweren Kopfverletzungen und zwei an einem hämorrhagischen Schock [32]. Die Verletzungen des Kopfes und des Thorax werden auch in der Literatur als größtes Letalitätsrisiko beschrieben [2].

#### 4.4 Limitation der Arbeit

Limitierend in dieser retrospektiven, vergleichenden Arbeit wirkt sich vor allem die kleine Patientenzahl aus. Die Daten der bereits publizierten Studien beruhen meist auf einer höheren pädiatrischen Patientenzahl (51 bis 1734), aber der Zeitraum bezieht sich dabei auch auf bis zu 20 Jahre, in denen die Daten erhoben wurden [2-5, 7-9, 32-34]. Auch der Zeitpunkt von jüngstens 2006 und ältestens 1975, an welchem die Daten erhoben wurden, liegt lange zurück [7, 9, 33]. Die Ergebnisse der DGU 2009 beziehen sich auf eine Patientenzahl von 9651 Patientendaten allein 2009. Davon sind 5 % dieser Daten pädiatrische Polytraumata. Die Ergebnisse der DGU sind also nicht als reines „Erwachsenenkollektiv“ anzusehen. Die pädiatrischen Fälle erhielten hier keine spezielle Auswertung.

Die Ergebnisse der vergleichenden Literatur stammen hauptsächlich aus deutschen Kliniken, was zum einen eine geringere Übertragbarkeit der Ergebnisse für ausländische Kliniken mit anderen Standards der Notfallversorgung bietet. Zum anderen wurden einige Vergleiche zu Ergebnissen amerikanischer oder kanadischer Autoren gezogen. Durch die unterschiedliche Traumaversorgung des amerikanischen im Vergleich zum europäischen Kontinent sind diese Vergleiche nicht ohne Vorbehalte zu ziehen.

Eine weitere Einschränkung entsteht durch fehlende Daten. Bei der Auswertung des Aufenthaltes auf der Intensivstation, den verzögert diagnostizierten Verletzungen oder der Strahlendosis können dadurch Fehler in Bezug auf die Summe der verzögert diagnostizierten Verletzungen und die durchschnittliche Strahlendosis aufgetreten sein. Bei einigen Kindern konnte die Intensivliegezeit nicht ermittelt werden, bei einigen wurden der Befund der primären GK-CT und die Strahlendosis einiger Untersuchungen nicht archiviert.

Des Weiteren beziehen sich die Altersverteilung, die Entlassungen, die Letalität und vor allem die Angaben der Strahlendosis nur auf ein Kollektiv von Notfallpatienten und sind nicht auf andere pädiatrische Patienten übertragbar.

## 5 Zusammenfassung

Seit März 2004 ist im Zentrum für operative Medizin der Universitätsklinik Würzburg der Schockraum mit einem Somatom Sensation 16 der Firma Siemens, einem CT mit Sliding-Gantry in Betrieb. Auch schwer verletzte Kinder werden hier nach dem Würzburger Schockraumalgorithmus behandelt. Insgesamt gibt es nur wenige Daten zur Anwendung von GK-CT bei Kindern. Die DGU beschreibt im TraumaRegister die Daten von zuletzt 266 Kliniken. Nur 5,1 % dieser Daten stammen von Kindern unter 16 Jahren. Die Unterschiede zu Erwachsenen entstehen durch die geringere Erfahrung im Straßenverkehr, die kindliche Anatomie, die größere Gefährdung durch den hypovolämischen Schock und die bessere Rekonvaleszenz von Kindern. Ebenso ist die radiologische Diagnostik durch das geringere Körpervolumen und die höhere Strahlenempfindlichkeit der Kinder problematischer. Der Schockraumalgorithmus der Universitätsklinik Würzburg besteht aus der Reanimations-, CT- und Versorgungsphase. Die Indikation zur GK-CT wird nach dem Triage-Schema gestellt und ist auch bei polytraumatisierten Kindern Diagnostik der Wahl. Die Schwere der Verletzungen wird mit dem ISS bestimmt. In den Jahren 2004 bis 2009 wurden 72 Kinder mit Verdacht auf ein Polytrauma behandelt. Davon erhielten 57 (79,2%) ein GK-CT, 15 (20,1 %) erhielten eine organbezogene CT (CCT, Thorax, Abdomen). 15 (26,3 %) der 57 Kinder mit GK-CT hatten retrospektiv kein Polytrauma ( $ISS < 16$ ), wobei hier von einer Overtriage auszugehen ist. Die Kinder wurden hauptsächlich im Straßenverkehr und hier als Beifahrer eines PKWs verletzt, gefolgt von den Radfahrern und Fußgängern, die von einem PKW erfasst wurden. Ein Drittel der Patienten erlitt Sturzverletzungen aus bis zu fünf Metern Höhe. Die am häufigsten verletzte Körperregion war mit 52,8 % der Kopf, gefolgt vom Thorax, den Extremitäten und 25 % Gesichtsverletzungen. Dies ist durch die ungünstigere Körper-Kopf-Relation der Kinder erklärbar. Im Vergleich zu Erwachsenen ist bei Kindern vermehrt das Gesicht, der Hals und die untere Extremität verletzt, die Wirbelsäule war weniger betroffen. 82 % der Kinder wurden maschinell beatmet, davon 65% initial und 14% in der ZNA. Es wird empfohlen, Kinder frühzeitig zu intubieren, was sich in der Intubationsrate von 82% widerspiegelt. Eine Notfallopération wurde in 38,9 % der Fälle durchgeführt, wobei es sich hauptsächlich um Frakturpositionen handelte, vor allem bei Kindern mit  $ISS < 16$ . Bei Kindern mit  $ISS \geq 16$  wurde in 8,8 % der Fälle eine Kraniotomie durchgeführt. Insgesamt wurden 62 % der Kinder operiert, wobei es sich auch bei den Operationen im Verlauf hauptsächlich um

Frakturrepositionen handelte. 15 Kinder erhielten kein GK-CT als primäre Diagnostik, obwohl dies retrospektiv gemäß des Triage-Schemas indiziert gewesen wäre. Bei diesen Kindern wurden zusätzlich zum CCT selektive CTs, Röntgenaufnahmen und Abdomenultraschalluntersuchungen durchgeführt. Bei sechs Kindern wurde trotz initialer GK-CT eine therapierelevante Diagnose erst im Verlauf des Klinikaufenthalts gestellt. Dabei handelte es sich um eine Schädelbasis-, eine Orbitaboden-, eine Klavikula-, eine Talusfraktur, ein Mesenterialarterieneinriss und eine Ileumruptur. Ein Kind verstarb, weil dessen Ileumruptur in der radiologischen Diagnostik nicht detektiert wurde und die Zeit bis zur Laparotomie verzögerte. Während des Krankenhausaufenthalts wurde zur Verlaufsdokumentation die Röntgenuntersuchung, gefolgt von der Sonographie, am häufigsten angewendet. Die CT tritt hierbei in den Hintergrund, wobei die MRT häufiger durchgeführt wurde als bei der initialen Diagnostik.

Die Strahlenbelastung des pädiatrischen Kollektivs ist im Kontext der schnellen Diagnoseerhebung therapierelevanter Verletzungen zu sehen. Bei der GK-CT ist mit einem durchschnittlichen DLP von 2268 mGy·cm, bei der CCT von 956 mGy·cm zu rechnen. Bei den Röntgenuntersuchungen ein DFP von 4 cGy·cm<sup>2</sup> bei Thoraxröntgenuntersuchungen und 11 cGy·cm<sup>2</sup> bei anderen Röntgenuntersuchungen. Zur korrekten Einordnung der Strahlendosis sind genauere Richtwerte für Kinder und genauere Protokolle nötig. Die GK-CT ist Methode der Wahl bei polytraumatisierten Kindern und wird nur in seltenen Fällen von der FAST oder der Röntgenuntersuchung ersetzt. Trotz der GK-CT können nicht alle therapierelevanten Diagnosen gestellt werden. Insgesamt verbrachten die Kinder durchschnittlich 17 Tage im Krankenhaus und sieben Tage auf der Intensivstation. 77,8 % konnten danach nach Hause entlassen werden, sieben Kinder mussten nach dem Krankenhausaufenthalt in eine Rehabilitationsklinik verlegt werden. Die Letalität der Kinder ist mit 10,5% (n=6) im Vergleich zu den Erwachsenen mit 13,5 % und anderen Studien mit einer pädiatrischen Letalität mit durchschnittlich 18 % geringer. Vier Kinder verstarben an schwerem SHT, ein Kind in Folge seines schweren Thoraxtraumas und ein Kind entwickelte eine Sepsis in Folge einer in der radiologischen Diagnostik nicht detektierbaren Ileumruptur.

Die radiologische Diagnostik des kindlichen Polytraumas hat sich durch das MSCT in den letzten Jahren stark gewandelt. Die geringe Letalität unseres Patientenkollektivs ist ein deutlicher Hinweis auf die Effizienz des Würzburger Schockraumalgorithmus auch beim pädiatrischen Polytrauma.

## 6 Literaturverzeichnis

1. Tscherne H., T.O., *Chirurgie* 1980, Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
2. Remmers, D., et al., [*Pediatric polytrauma. A retrospective comparison between pediatric, adolescent and adult polytrauma*]. Unfallchirurg, 1998. **101**(5): p. 388-94.
3. Richter, M., et al., [*Current situation of traffic accidents in children and adolescents. A medical and technical analysis*]. Der Unfallchirurg, 2001. **104**(8): p. 733-41.
4. Condello, A.S., et al., *Pediatric trauma registries: the foundation of quality care*. Journal of pediatric surgery, 2001. **36**(5): p. 685-9.
5. Fischer, B. and J. Wit, [*Emergency ward management of traumatic head injury in children*]. Unfallchirurg, 2007. **110**(3): p. 226-32.
6. Zwingmann, J., et al., [*Injury severity and localisations seen in polytraumatised children compared to adults and the relevance for emergency room management*]. Zentralbl Chir, 2008. **133**(1): p. 68-75.
7. Buschmann, C., et al., *Major trauma with multiple injuries in German children: a retrospective review*. J Pediatr Orthop, 2008. **28**(1): p. 1-5.
8. Gatzka, C., et al., [*Injury pattern and clinical course of children with multiple injuries in comparison to adults, Ab 11-year analysis at a clinic of maximum utilization*]. Der Unfallchirurg, 2005. **108**(6): p. 470-80.
9. Munk, R.D., et al., *Effective dose estimation in whole-body multislice CT in paediatric trauma patients*. Pediatric radiology, 2009. **39**(3): p. 245-52.
10. Löw, R., *Ganzkörperspiral-CT zur Primärdiagnostik polytraumatisierter Patienten unter Notfallbedingungen*. Fortschr. Röntgenstr., 1997. **166.5 (1997)** p. 382-388.
11. Sektion Notfall- & Intensivmedizin, S.N.d.D.G.f.U.D., *TraumaRegister DGU - Jahresbericht 2003 - für den Zeitraum bis Ende 2002*. 2003.
12. Sektion Notfall- & Intensivmedizin, S.N.d.D.G.f.U.D., *TraumaRegister DGU - Jahresbericht 2010 - für den Zeitraum bis Ende 2009*, 2010.
13. Wurmb, T., et al., [*The Würzburg polytrauma algorithm. Concept and first results of a sliding-gantry-based computer tomography diagnostic system*]. Der Anaesthesist, 2005. **54**(8): p. 763-8; 770-2.
14. Strohm, P.C. and P.P. Schmittenbecher, [*Fracture stabilization in polytraumatized children*]. Der Unfallchirurg, 2011.
15. Clarke, J.R., et al., *Time to laparotomy for intra-abdominal bleeding from trauma does affect survival for delays up to 90 minutes*. The Journal of trauma, 2002. **52**(3): p. 420-5.
16. Nast-Kolb, D., et al., [*Management of polytrauma*]. Chirurg, 2006. **77**(9): p. 861-72; quiz 873.
17. Kay, R.M. and D.L. Skaggs, *Pediatric polytrauma management*. J Pediatr Orthop, 2006. **26**(2): p. 268-77.
18. Wurmb, T., et al., [*Polytrauma management in a period of change: time analysis of new strategies for emergency room treatment*]. Der Unfallchirurg, 2009. **112**(4): p. 390-9.
19. Prokop, A., et al., [*Multislice CT in diagnostic work-up of polytrauma*]. Unfallchirurg, 2006. **109**(7): p. 545-50.
20. Imhof, H., et al., *Spiral CT and radiation dose*. Eur J Radiol, 2003. **47**(1): p. 29-37.
21. Alzen, G. and G. Benz-Bohm, *Radiation protection in pediatric radiology*. Deutsches Arzteblatt international, 2011. **108**(24): p. 407-14.
22. Pehle, B., et al., [*The significance of delayed diagnosis of lesions in multiply traumatized patients. A study of 1,187 shock room patients*]. Unfallchirurg, 2006. **109**(11): p. 964-74; discussion 975-6.
23. Biberthaler, P. and W. Mutschler, [*Diagnostic management of children with craniocerebral trauma*]. Unfallchirurg, 2007. **110**(3): p. 233-4.
24. J Freyschmidt, T.S., *Handbuch diagnostische Radiologie - Strahlenphysik, Strahlenbiologie, Strahlenschutz*. Vol. 1. 2002, Berlin: Springer Verlag. p. 26-29.
25. Stamm, G. and H.D. Nagel, [*CT-expo-a novel program for dose evaluation in CT*]. RoFo : Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen und der Nuklearmedizin, 2002. **174**(12): p. 1570-6.

26. Kalender, W.A., et al., *A PC program for estimating organ dose and effective dose values in computed tomography*. European radiology, 1999. **9**(3): p. 555-62.
27. Tack, D., *Comments on Kalender et al.: a PC program for estimating organ dose and effective dose values in computed tomography*. European radiology, 2001. **11**(12): p. 2641-3.
28. Noßke, B.f.S.-I.A.-D.D., *Bekanntmachung der aktualisierten diagnostischen Referenzwerte für diagnostische und interventionelle Röntgenuntersuchungen*, 2010, Bundesamt für Strahlenschutz: Salzgitter.
29. Veit, R., et al., [*Diagnostic reference levels for X-ray examinations: update 2010*]. Der Radiologe, 2010. **50**(10): p. 907-12.
30. Baker, S.P., et al., *The injury severity score: a method for describing patients with multiple injuries and evaluating emergency care*. J Trauma, 1974. **14**(3): p. 187-96.
31. Boyd, C.R., M.A. Tolson, and W.S. Copes, *Evaluating trauma care: the TRISS method. Trauma Score and the Injury Severity Score*. J Trauma, 1987. **27**(4): p. 370-8.
32. Schneiders, W., et al., [*Accidents in children and adolescents. Analysis of the accident event*]. Unfallchirurg, 2005. **108**(11): p. 920-2, 924-6.
33. Reichmann, I., et al., [*Comparison of severe multiple injuries in childhood and adulthood*]. Der Unfallchirurg, 1998. **101**(12): p. 919-27.
34. Schalamon, J., et al., *Multiple trauma in pediatric patients*. Pediatr Surg Int, 2003. **19**(6): p. 417-23.
35. Kanz, K.G., et al., [*Priority-oriented shock trauma room management with the integration of multiple-view spiral computed tomography*]. Unfallchirurg, 2004. **107**(10): p. 937-44.
36. Huber-Wagner, S., et al., *Effect of whole-body CT during trauma resuscitation on survival: a retrospective, multicentre study*. Lancet, 2009. **373**(9673): p. 1455-61.
37. Kloth, J.K., H.U. Kauczor, and W. Hosch, [*Imaging in the emergency room*]. Medizinische Klinik, 2011. **106**(2): p. 82-8.
38. Wurmb, T.E., et al., *Whole-body multislice computed tomography as the primary and sole diagnostic tool in patients with blunt trauma: searching for its appropriate indication*. The American journal of emergency medicine, 2007. **25**(9): p. 1057-62.
39. Brody, J.M., et al., *CT of blunt trauma bowel and mesenteric injury: typical findings and pitfalls in diagnosis*. Radiographics : a review publication of the Radiological Society of North America, Inc, 2000. **20**(6): p. 1525-36; discussion 1536-7.
40. Hunt, A., et al., *Isolated jejunal rupture after blunt trauma*. The Physician and sportsmedicine, 2001. **29**(11): p. 39-46.
41. Lee, H.J., et al., *CT of orbital trauma*. Emergency radiology, 2004. **10**(4): p. 168-72.
42. Willner, E.L., H.A. Jackson, and A.L. Nager, *Delayed diagnosis of injuries in pediatric trauma: the role of radiographic ordering practices*. The American journal of emergency medicine, 2012. **30**(1): p. 115-23.
43. Connors, J.M., et al., *Delayed diagnosis in pediatric blunt trauma*. Pediatric emergency care, 2001. **17**(1): p. 1-4.
44. Mirvis, S.E., D.R. Gens, and K. Shanmuganathan, *Rupture of the bowel after blunt abdominal trauma: diagnosis with CT*. AJR. American journal of roentgenology, 1992. **159**(6): p. 1217-21.
45. Soundappan, S.V., A.J. Holland, and D.T. Cass, *Role of an extended tertiary survey in detecting missed injuries in children*. The Journal of trauma, 2004. **57**(1): p. 114-8; discussion 118.
46. Pfeifer, R. and H.C. Pape, *Missed injuries in trauma patients: A literature review*. Patient safety in surgery, 2008. **2**: p. 20.
47. Brenner, D.J. and C.D. Elliston, *Estimated radiation risks potentially associated with full-body CT screening*. Radiology, 2004. **232**(3): p. 735-8.
48. Vock, P., [*CT radiation exposure in children: Consequences of the American discussion for Europe*]. Der Radiologe, 2002. **42**(9): p. 697-702.
49. Brix, G., R. Veit, and U. Hausler, [*Radiation hygiene in medical X-ray imaging: part 2: Assessment of radiation exposure and radiation protection measures*]. Der Radiologe, 2010. **50**(10): p. 913-25; quiz 926-7.

50. Honnef, D., et al., [*Multislice spiral CT (MSCT) in pediatric radiology: dose reduction for chest and abdomen examinations*]. *RoFo : Fortschritte auf dem Gebiete der Rontgenstrahlen und der Nuklearmedizin*, 2004. **176**(7): p. 1021-30.
51. Huda, W. and A. Vance, *Patient radiation doses from adult and pediatric CT*. *AJR. American journal of roentgenology*, 2007. **188**(2): p. 540-6.

## **Danksagung**

Ich möchte mich in besonderem Maße bei meinem Doktorvater dafür bedanken, dass er mir dieses interessante und umfangreiche Thema zur Verfügung gestellt hat. Des Weiteren möchte ich ihm für die Geduld danken, die er aufgebracht hat, mir die Einzelheiten dieses Themas näherzubringen und die anfänglichen Probleme beim Schreiben der Arbeit zu beseitigen.

Weiterhin danke ich dem gesamten Team des Instituts für diagnostische und interventionelle Radiologie der Universitätsklinik Würzburg für die Freundlichkeit und Hilfsbereitschaft.

Außerdem danke ich meinem Freund W. L. und meiner Familie für die Unterstützung während der Entstehung der Arbeit. Des Weiteren danke ich meinen Freunden, die mir mit kleinen Tipps und Ermutigungen zur Seite standen.



## Lebenslauf

### Persönliche Daten:

---

Name: Sabine Manger  
Anschrift: Fürth  
Geburtsort: Nürnberg

### Beschäftigung:

---

Ab 02/2013 Facharztausbildung

### Hochschulstudium:

---

10/2006 – 09/2011 Studium der Humanmedizin an der Julius-  
Maximilians-Universität Würzburg  
20.8.2008 1. Abschnitt der ärztlichen Prüfung  
10/2011 – 09/2012 Studium an der Friedrich-  
Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg  
18.12.2012 2. Abschnitt der ärztlichen Prüfung  
20.12.2012 Approbation als Ärztin

### Schulbildung:

---

1993 – 2006 Grundschule und Gymnasium in Nürnberg

Fürth, März 2014