

**Bundeswehrkrankenhaus Ulm, Klinik für Unfallchirurgie und Orthopädie,
Rekonstruktive und septische Chirurgie, Sporttraumatologie**

Ärztlicher Direktor: Prof. Dr. med. Benedikt Friemert

**Stellenwert der Ganzkörper-Computertomographie
(WBCT) bei Polytraumatisierten Patienten für die
Diagnostik von Thoraxverletzungen und das Überleben –
Eine multizentrische, retrospektive Auswertung aus dem
TraumaRegister DGU®**

**Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Medizin an der Medizinischen
Fakultät der Universität Ulm**

Fabian Kerwagen

Oberndorf bei Salzburg

2017

II

Amtierender Dekan: Prof. Dr. Tobias M. Böckers

1. Berichterstatter: PD Dr. Palm

2. Berichterstatter: Prof. Dr. R. Brenner

Tag der Promotion: 20.10.2017

Widmung:

Für meine Eltern, Helga und Wolfgang, ohne deren Unterstützung ich dies alles nicht erreicht hätte.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	VI
1 Einleitung	1
1.1 Thoraxverletzungen	1
1.2 Die Computertomographie	14
1.3 Fragestellung.....	24
2 Material und Methoden	25
2.1 TraumaRegister DGU®	25
2.2 Patienten.....	26
2.3 Statistik	28
2.4 Parameter und Scores.....	28
3 Ergebnisse.....	39
3.1 Diagnostik.....	39
3.2 Epidemiologie	40
3.3 Thoraxverletzungen	44
3.4 Outcome	45

4	Diskussion	49
4.1	Analyse Thoraxverletzungen	49
4.2	Outcomeanalyse	54
4.3	Alleinstellungsmerkmal der Studie	64
4.4	Limitationen	64
4.5	Ausblick	65
5	Zusammenfassung	66
6	Literaturverzeichnis	68
	Anhang	81
	Lebenslauf	83

Abkürzungsverzeichnis

AAAM	Association for the Advancement of Automotive Medicine
ACR	American College of Surgeons
AIS	Abbreviated Injury Scale
ATLS®	Advanced Trauma Life Support
AUC	Akademie der Unfallchirurgie
ARDS	Acute Respiratory Distress Syndrome
BiPAP	Bi-level Positive Airway Pressure
CPAP	Continuous Positive Airway Pressure
CT	Computertomographie
DGU	Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie
EKG	Elektrokardiogramm
FAST	Focussed Assessment with Sonography for Trauma
GCS	Glasgow Coma Scale
I	Intensität von Strahlung
I ₀	Anfängliche/Ursprünglichen Intensität der Strahlung zum Zeitpunkt „0“
ICU	Intensive Care Unit
ISS	Injury Severity Score
KI	Konfidenzintervall
LI	Lineare Interpolation = mathematische Rechenmethode
LMU	Ludwig-Maximilian-Universität (München)
MAIS	Maximum-AIS
NPPV	Noninvasive Positive Pressure Ventilation
NIS	Notfall, Intensivmedizin und Schwerverletztenversorgung
NISS	New Injury Severity Score
MEES	Mainzer Emergency Evaluation Score
MSCT	Multislice Computed Tomography = Mehrschicht-Computertomographie
OAIS	Overall-AIS

VII

RISC	Revised Injury Severity Classification Score
RTS	Revised Trauma Score
RTX	Röntgen-Thorax / Röntgenaufnahme des Thorax
SMR	Standardised Mortality Ratio
SOP	Standard Operating Procedure
Sv bzw. mSv (milli Sv)	Sievert = Maßeinheit zur Bestimmung der Strahlenbelastung
TCT	Thorakale Computertomographie
TRISS	Trauma and Injury Severity Score
USA	United States of America = Vereinigte Staaten von Amerika
WBCT	Whole Body Computed Tomography = Ganzkörper- Computertomographie

1 Einleitung

1.1 Thoraxverletzungen

Im Allgemeinen gestaltet sich die Versorgung der Thoraxverletzungen als relativ unkompliziert und kann durch das Schockraumpersonal gut gehandhabt werden [61]. Nur in den wenigsten Fällen bedürfen Thoraxverletzungen schwerer interventioneller Maßnahmen, wie beispielsweise einer Thorakotomie [69]. Bei dem Großteil der Patienten (85-90%) ist eine supportive Therapie, bestehend aus Atemtherapie und Analgesie, und das Legen einer Thoraxdrainage vollkommen ausreichend [10, 79]. Trotzdem sind Thoraxverletzungen im Rahmen der Schwerverletztenversorgung nicht von untergeordneter Relevanz. Denn, obwohl die potentiell schwerwiegenden Folgen eines Thoraxtraumas im ersten Augenblick nicht offensichtlich sein mögen, sind Thoraxverletzungen mit 25% für einen wesentlichen Teil der Todesfälle beim polytraumatisierten Patienten verantwortlich und daher in der Schwerverletztenversorgung von großer Bedeutung [61, 76]. Insgesamt kann bei ca. 30-40% aller Polytraumatisierten eine Thoraxverletzung diagnostiziert werden [61, 69, 76, 111]. Als Ursache für Thoraxverletzungen liegt in 70-80% der Fälle ein Verkehrsunfall zugrunde [76, 98]. Laut dem National Vital Statistic Report aus dem Jahr 2010 des Center for Disease Control and Prevention (CDC) stellen in den USA Unfälle aller Art die vierthäufigste Todesursache dar. In der Altersgruppe junger Patienten (bis 44 Jahre) sind Unfälle als Todesursache sogar mit Abstand führend [83]. Infolgedessen gewinnt die Thematik auch aufgrund volkswirtschaftlicher Gesichtspunkte an Bedeutung. Der ökonomische Arbeitskraftverlust eines jungen Patienten ist ebenfalls zu beachten. Zur Einschätzung des Gesamtausmaßes eines Traumas muss neben der Mortalität auch die Morbidität, die rein wirtschaftlich betrachtet größere Folgen nach sich zieht, miteinbezogen werden [76]. Am Beispiel der Rippenfrakturen bzw. des instabilen Thorax wird dies deutlich: Kerr-Valentic et al. konnten zeigen, dass Rippenfrakturen durchschnittlich zu 70 Krankheitstagen bzw. Tagen mit eingeschränkter Aktivität führen [60]. Darüber hinaus wiesen Landercasper et al. nach, dass nur 43% der Patienten mit einer Verletzung der Thoraxwand und konsekutivem instabilen Thorax ca. fünf Jahre nach dem Thoraxtrauma ihre ursprüngliche Tätigkeit wieder aufnehmen konnten [72]. Thoraxverletzungen haben also neben medizinischen auch volkswirtschaftliche Auswirkungen.

1.1.1 Klassifikation

Zur Einteilung der Thoraxverletzungen gibt es zwei verschiedene Möglichkeiten (siehe Tabelle 1). Zunächst lassen sie sich, entsprechend des Unfallmechanismus, in stumpfe und penetrierende Thoraxtraumata unterteilen, wobei eine Kombinationsverletzung auch möglich ist [6, 10, 61]. Beim stumpfen Trauma ist eine Mitbeteiligung weiterer anatomischer Strukturen oder Körpersysteme wahrscheinlicher und dementsprechend sind auch die Mortalität und Morbidität höher [61]. Hauptursache für stumpfe Thoraxverletzungen sind Verkehrsunfälle [18]. Penetrierende Thoraxverletzungen sind zumeist Folge von Schuss- oder Stichwunden [61]. Im Gegensatz zum militärischen Umfeld sind bei zivilen Schussverletzungen meistens Geschosse mit niedriger Geschwindigkeit bzw. Energie („low-velocity“ bzw. „low-kinetic-energy“) für die Wunden verantwortlich. Bei Schussverletzungen des Thorax unterhalb der Mamille bzw. der Skapula muss bis zum Ausschluss des Gegenteils von einer Mitverletzung des Diaphragmas und damit von abdominalen Begleitverletzungen ausgegangen werden. Die Mortalität bei penetrierenden Thoraxverletzungen ist aufgrund der Tatsache, dass das Verletzungsausmaß („trauma load“) schwächer ausgeprägt ist, geringer als bei stumpfen Thoraxverletzungen [18].

Die zweite Möglichkeit der Unterscheidung von Thoraxverletzungen ist eine Klassifikation entsprechend der betroffenen anatomischen Struktur (siehe Tabelle 1). Man unterscheidet hierbei Brustwandverletzungen, Verletzungen des Lungengewebes, Verletzungen der großen Atemwege bzw. der Trachea, Verletzungen der großen Gefäße, Ösophagusverletzungen und Verletzungen des Diaphragmas [10, 61].

Tabelle 1: Zur Klassifikation der Thoraxverletzungen können zwei verschiedene Ansätze verfolgt werden. Es ist eine Unterscheidung anhand des vorangegangenen Unfallmechanismus und eine Unterscheidung anhand der betroffenen anatomischen Struktur möglich. Angaben nach [6, 10, 61].

Unfallmechanismus	Anatomische Struktur
Stumpf	Brustwandverletzungen
Penetrierend	Verletzungen des Lungengewebes
	Verletzungen der großen Atemwege/Trachea
	Verletzungen der großen Gefäße
	Ösophagusverletzungen
	Verletzungen des Diaphragmas

1.1.2 Pathophysiologie

Aufgrund der anatomischen Komplexität und der physiologischen Bedeutung des Thorax können u.a. folgende Mechanismen zum Tode führen [10, 29]:

1. Obstruktion der Atemwege (bei Verletzung oder Verlegung der größeren Atemwege, z.B. der Trachea)
2. Störung des Gasaustauschs (z. B. infolge einer Lungenkontusion oder eines Pneumothorax)
3. Verbluten (bei Verletzung größerer Gefäße)
4. Herzversagen (z. B. bei einer Herzkontusion oder Klappeninsuffizienz durch eine traumatische Ruptur)
5. Perikardtamponade (z. B. bei penetrierenden Trauma des Herzens)

Zu den weiteren schwerwiegenden Folgen eines Thoraxtraumas zählen u.a. das Acute Respiratory Distress Syndrome (ARDS) und das Multiorganversagen [10, 18]. Die pathophysiologischen Vorgänge werden bei den jeweiligen Verletzungen genauer erläutert.

Thoraxtraumata können auf verschiedene Art entstehen, im Wesentlichen werden jedoch drei Mechanismen unterschieden. Am häufigsten sind Verletzungen durch Akzeleration (Beschleunigung) bzw. Dezeleration (Abbremsung), Kompression oder durch einen hochenergetischen Aufschlag. Vor allem für den Verkehrsunfall sind Verletzungen, die sich aus einer Beschleunigungs- bzw. Abbremsbewegung ergeben, typisch. Die innerhalb des

Brustkorbs gelagerten anatomischen Strukturen erleiden im Zuge der raschen Beschleunigungsänderung Schaden. Der zweithäufigste Unfallmechanismus ist die Kompressionsverletzung. Insbesondere bei Stürzen aus großer Höhe oder Quetschungen kann die schützende Thoraxwand der einwirkenden Kraft nicht standhalten. Organe, wie beispielsweise die Lunge oder das Herz, werden komprimiert und dadurch geschädigt. Eine weitere häufige Verletzungsart entsteht durch eine gezielte, mit hoher Energie bzw. Geschwindigkeit einwirkende Kraft. Am besten lässt sich dies am Beispiel von Schussverletzungen nachvollziehen. Im Gegensatz zu den Akzelerations- bzw. Dezelerationsverletzungen, die auch auf einer Kraftübertragung durch Geschwindigkeitsänderung beruhen, ist die einwirkende Kraft hierbei auf einen kleinen Bereich bzw. Punkt konzentriert. [76]

Generell gilt für das Thoraxtrauma folgende Tatsache: Der Thorax stellt eine Art abgeschlossenes System bzw. „geschlossenen Kasten“, in dem die anatomischen Strukturen in sehr enger, räumlicher Beziehung zueinanderstehen, dar. Deshalb führt die bei einem Trauma einwirkende Kraft nicht nur zur Verletzung einer einzelnen, sondern gleich mehrerer Strukturen [23]. Daraus erklärt sich der hohe Anteil an multiplen Verletzungen im Rahmen eines Thoraxtraumas.

1.1.3 Epidemiologie

1.1.3.1 Demographische Daten

Männliche Patienten sind deutlich häufiger (ca. 71%) von Thoraxverletzungen betroffen als weibliche. Was das Alter der Patienten betrifft, lässt sich ein klarer Häufigkeitsgipfel in der jüngeren Altersgruppe finden. 40% aller Patienten sind zwischen 20 und 49 Jahren alt und das mittlere Alter beträgt 43 Jahre [69]. In vielen Studien konnte übereinstimmend gezeigt werden, dass die häufigste Ursache für Thoraxverletzungen der Verkehrsunfall ist. In den meisten Fällen schwankt die Häufigkeit zwischen 70-80% [69, 76, 98]. Die zweithäufigste Ursache stellen Stürze dar. Hinsichtlich des Unfallmechanismus gibt es ein klares Übergewicht an stumpfen Traumata (ca. 90%). Interessante Erkenntnisse lassen sich aus der Tatsache folgern, dass die meisten Thoraxverletzungen entweder zwischen 12 – 18 Uhr oder gegen Mitternacht (24 Uhr) zugezogen werden. Der Häufigkeitsgipfel zwischen Mittag und Abend lässt sich möglicherweise auf das erhöhte Verkehrsaufkommen („rush hour“) und der

Anstieg um Mitternacht auf das Fahren unter dem Einfluss von Alkohol (besonders der jüngeren Altersgruppen) zurückführen [69].

1.1.3.2 Inzidenzen der Thoraxverletzungen

Wie eingangs bereits erwähnt, kann bei 30-40% aller Schwerverletzten eine Thoraxverletzung diagnostiziert werden [61, 69, 76, 111].

Die Lungenkontusion ist mit 30-75% die häufigste Verletzung beim Thoraxtrauma [108]. In 75% der Fälle findet sich eine Assoziation zu anderen Thoraxverletzungen wie z. B. Rippenfrakturen, instabiler Thorax, Hämatothorax, Pneumothorax [112]. Aber auch Verletzungen außerhalb Thorax des treten nicht selten als Begleitverletzungen von Lungenkontusionen auf. Am häufigsten handelt es sich hierbei um Verletzungen der Extremitäten, des Abdomens (vor allem Leber- und Milzverletzungen) und des zentralen Nervensystems. [69, 101]

Neben den Lungenkontusionen treten Rippenfrakturen sehr häufig (ca. 30-55%) beim Thoraxtrauma auf [5, 20, 69]. Schwere Verletzungen der Thoraxwand sind in 35% der Fälle nachzuweisen und 10-15% der Patienten haben trotz intakter Thoraxwand intrathorakale Organschäden [115]. Bei 10-15% der Patienten mit Thoraxtrauma kann aufgrund von Rippenserienfrakturen ein instabiler Thorax diagnostiziert werden [5, 10].

Der Pneumothorax und der Hämatothorax finden sich ungefähr mit der gleichen Häufigkeit bei Patienten mit Thoraxtrauma: Der Hämatothorax in ca. 20-25% und der Pneumothorax in 20% der Fälle [5, 76].

Die restlichen, wichtigen anatomischen Strukturen des Thorax sind im Sinne einer Thoraxverletzung eher seltener betroffen: Herz (6-9%), Ösophagus (7%), Diaphragma (7%), Aorta (4%) [5, 67, 76, 115].

Zur Veranschaulichung sind die wichtigsten Thoraxverletzungen mit ihrer Häufigkeitsverteilung in Tabelle 2 aus den o.g. Quellen zusammengefasst.

Tabelle 2: Thoraxverletzungen und ihre Häufigkeitsverteilung beim Thoraxtrauma. Angaben aus [5, 20, 69, 76, 108, 115].

Thoraxverletzung (bzw. betroffene anatomische Struktur)	Häufigkeit (in %)
Lungenkontusion	30-75
Rippenfrakturen	30-55
Hämatothorax	20-25
Pneumothorax	20
Instabiler Thorax	10-15
Herz	6-9
Ösophagus	7
Diaphragma	7
Aorta	4

Entgegen dem sonstigen wissenschaftlichen Konsens fanden Costa et al. in einer Studie aus dem Jahr 2010 einen generell höheren Anteil an Thoraxverletzungen bei Schwerverletzten (ISS>15) als in der bisherigen, wissenschaftlich verbreiteten Literatur beschrieben (Costa: 63,2% vs. Literatur: 30-40%). Dies verdeutlicht zudem, wie unterschiedlich die Angaben zu den Inzidenzen der Thoraxverletzungen sein können. Die Verteilung der verschiedenen Thoraxverletzungen stellt sich in Costa's Studie folgendermaßen dar: Lungenkontusion (72,8%), Rippenfrakturen (60,2%), Pneumothorax (38,8%), Hämatothorax (36,9%), Hämato-Pneumothorax (11,6%), Frakturen des Sternums (9,7%), Verletzungen des Diaphragmas (4,8%), Lungenlazerationen (2,9%). Gründe für den höheren Anteil an Thoraxverletzungen konnten die Autoren jedoch nicht nennen [23].

1.1.3.3 Letalität

Die Letalität von Thoraxverletzungen hat sich im Laufe des letzten Jahrhunderts stark verändert. 1938 waren Thoraxverletzungen beim Verkehrsunfall noch selten und wurden als nicht schwerwiegend erachtet. Die Letalität lag damals bei 5% [63]. Im Zuge der fortschreitenden Industrialisierung und dem damit verbundenen höheren Verkehrsaufkommen stieg auch die Letalität: Im Jahr 1968 gaben Heberer et al. die Letalität von Thoraxverletzungen mit 26% an [41]. Beeson und Saegesser publizierten 1983 die

Ergebnisse aus einem großen Patientenkollektiv aus der Schweiz, bei der die Letalität von Thoraxverletzungen 18% betrug [5]. Damit lag die Sterblichkeit auf dem Niveau von vielen anderen Studien [20, 84, 115]. Die von Kulshrestha et al. im Jahr 2004 angegebenen 9,4% stehen dazu, wie von den Autoren auch selbst bestätigt, im starken Gegensatz [69]. Prinzipiell erscheint es keine einfache Aufgabe, die definitive Letalität von Thoraxverletzungen zu bestimmen. Nicht nur aufgrund der Tatsache, dass Thoraxverletzungen meist in Zusammenhang mit Verletzungen in anderen Körperregionen, auftreten, wird eine isolierte Bestimmung der Letalität schwierig. Gleichmaßen stellen Thoraxerletzungen an sich schon eine sehr inhomogene Gruppe dar, bei der die Sterblichkeit zwischen den einzelnen Verletzungen stark variiert. Zudem sind die Letalität und die Inzidenz oftmals sehr gegensätzlich. Sehr gut lässt sich das am Beispiel der Herzverletzungen, deren Inzidenz bei 6-9% liegt (siehe oben), nachvollziehen. Trotz dieser relativ geringen Häufigkeit konnten Kulshrestha et al. zeigen, dass die Herzverletzungen für 41% der Todesfälle, die auf Thoraxverletzungen zurückzuführen sind, verantwortlich sind [68].

Zusammenfassend lässt sich bei einer Letalität der Thoraxverletzungen von 18-20% der größte wissenschaftliche Konsens finden.

Ein anderer Ansatz, um die „Tödlichkeit“ der Thoraxverletzungen zu verdeutlichen, geht auf die Evaluation von Traumapatienten zurück.

Khandhar et al. geben an, dass bei ca. 25% aller Patienten, die durch ein Trauma verstorben sind, die Ursache auf Thoraxverletzungen zurückzuführen ist [61]. Allerdings ist dies nicht gleichbedeutend mit der reinen Letalität von Thoraxverletzungen - auch weil Traumapatienten ohne Thoraxverletzungen in das Gesamtkollektiv der Traumapatienten eingehen.

Der Ansatz von Costa et al. aus dem Jahr 2010 ist wiederum spezifischer für Thoraxverletzungen. Einschlusskriterium für das untersuchte Kollektiv war nicht nur die Gesamtverletzungsschwere (ISS > 15), sondern auch das Vorhandensein mindestens einer Thoraxverletzung. Die Letalität dieser Patientengruppe gaben die Autoren mit ca. 23% an [23].

Unabhängig davon welcher Ansatz verfolgt wird, ist schlussendlich folgender Aspekt relevant: Thoraxverletzungen spielen für das Überleben eine wichtige Rolle. Dies wird durch alle hier vorgestellten Ergebnisse verdeutlicht und von allen Autoren auch in dieser Form widergegeben. Die verschiedenen Formen, die Letalität von Thoraxverletzungen darzustellen, sind in Abbildung 1 dargestellt.



Abbildung 1: Verschiedene Ansätze, die Letalität von Thoraxverletzungen darzustellen. Angaben nach [5, 20, 23, 61, 84, 115] (TV = Thoraxverletzung; ISS = Injury Severity Score)

1.1.4 Die häufigsten Thoraxverletzungen

Aufgrund des relativ weiten Spektrums an Thoraxverletzungen werden an dieser Stelle nur die häufigsten Verletzungsarten abgehandelt. Der Schwerpunkt liegt auf der Genese (bzw. der Pathophysiologie), der Diagnostik und der Therapie.

1.1.4.1 Lungenkontusion

Die Lungenkontusion ist die häufigste Thoraxverletzung (bei 30-75% aller Patienten mit Thoraxtrauma) und hat aufgrund der potentiell fatalen Folgen, wie dem ARDS, eine wesentliche prognostische Bedeutung für das Outcome [10, 31].

Infolge eines stumpfen Thoraxtraumas, wie z. B. einer Kompression der Thoraxwand, treten bei der Lungenkontusion schwerwiegende pathophysiologische Veränderungen auf. In Tierstudien konnte gezeigt werden, dass es zu Lacerationen im Lungenparenchym kommt

[85]. Dies führt zu einem diffusen Einströmen von Blut und Plasma in die Alveolen, wodurch die Ventilation gestört wird. Bei noch intakter Perfusion ist das Shunt-Volumen somit erhöht. Die beiden Hauptfunktionen der Lunge sind aufgrund der „vollgelaufenen“ Alveolen und der Lazerationen beeinträchtigt: Wegen mangelnder Elimination kommt es zu einer CO₂-Retention und zu einer gestörten Oxygenierung des Blutes. Zusätzlich ist die Compliance der Lunge reduziert und der pulmonale Gefäßwiderstand erhöht. Mit dem Eintreten einer Entzündungsreaktion und der damit verbundenen Erhöhung der Gefäßpermeabilität schwellen die Alveolarsepten an. Ein intraalveoläres und ein interstitielles Lungenödem sind die Folge. Die pathophysiologischen Veränderungen sind häufig nicht nur auf die vom Trauma direkt betroffenen Areale begrenzt. Auch unverletzte Bereiche und die kontralaterale Lunge können in ihrer Funktion beeinträchtigt werden. Somit entsteht eine Art „Fleckenteppich“ aus Arealen mit gesunder und gestörter Lungenfunktion [10, 42, 101].

Entwickelt sich durch die Schädigung des Lungengewebes eine sehr starke Inflamationsreaktion, kann es zum Auftreten eines ARDS kommen. Abgesehen von den Lazerationen und dem Einbluten bzw. der Plasmaverschiebung in die Alveolen, führt die Entzündungskaskade zu einer weiteren Verschlechterung der Lungenfunktion, so dass eine schwere respiratorische Insuffizienz und/oder ein Multiorganversagen entstehen können. Das „Capillary Leak Syndrom“ und die gestörte Surfactant-Produktion mit einem konsekutiven Kollaps der Alveolen spielen beim ARDS eine große Rolle [10, 18, 101].

Die Diagnostik bei der Lungenkontusion besteht in der Regel aus Bildgebung (Röntgen, CT) und klinischer Untersuchung. Im Thoraxröntgen können fleckige, konfluierende Infiltrate an der vom Trauma betroffenen Stelle oder an der Gegenseite (Contre-Coup) nachgewiesen werden. Es ist allerdings zu beachten, dass eine Lungenkontusion in der Frühphase im Röntgen noch nicht ersichtlich sein kann. Die CT ist eine gute Alternative zum Röntgenthorax. Lungenkontusionen stellen sich meistens als kleinfleckige, entweder konfluierende oder disseminierte Verschattungen dar. Auch Einblutungen, Atelektasen, Hämatome oder Zysten als Spätfolgen können nachgewiesen werden. Eine Verlaufsbeurteilung mit Röntgen/CT kann, vorwiegend bei Intensivbehandlung, sinnvoll sein und macht in manchen Fällen die genaue Bestimmung der Genese eines Befundes erst möglich. Beim klinischen Bild des Patienten ist neben Hämoptysen, einer verringerten

Compliance der Lunge und CO₂-Retention vor allem ein Abfall des Sauerstoffpartialdrucks (paO₂) führend [10, 31].

Eine kausale Therapie der Lungenkontusion existiert nicht, sondern es stehen supportive Maßnahmen zur Sicherung der Oxygenierung und der Ventilation mit Vermeidung weiterer Verletzungen des Lungengewebes im Vordergrund. Eine adäquate analgetische Einstellung des Patienten ist Grundvoraussetzung jedes therapeutischen Ansatzes der Lungenkontusion. Eine Bronchoskopie kann ebenfalls hilfreich sein. Aufgrund der gestörten Oxygenierung sollte durch eine Sauerstoffzufuhr eine Sauerstoffsättigung von mindestens 90% angestrebt werden. Eine geeignete Methode zur Therapie der Lungenkontusion, insbesondere, wenn sich eine leichte bis milde respiratorische Insuffizienz entwickelt, stellt die nichtinvasive Beatmung („Noninvasive Positive Pressure Ventilation“; NPPV) dar. Sowohl CPAP („Continuous Positive Airway Pressure“), als auch BiPAP („Bi-level Positive Airway Pressure“) haben sich zur Verbesserung der Ventilation und der Oxygenierung als effektiv und sicher erwiesen. Mittels des positiven Drucks wird die Sekretmobilisation erleichtert und Atelektasen verhindert bzw. wiedereröffnet. Der Gasaustausch wird ebenfalls verbessert. Der prophylaktische Einsatz von Steroiden ist noch nicht eingängig geklärt, hat sich teilweise aber als vorteilhaft erwiesen. Durch eine Senkung des pulmonalen Gefäßwiderstands kann die Durchblutung des Gewebes verbessert und die Rechtsherzbelastung verringert werden [10, 46, 52, 59, 101, 103].

1.1.4.2 Knöcherne Verletzungen der Brustwand

Die knöcherne Thoraxwand wird gebildet aus den Rippen, dem Sternum, der Klavikula und der Skapula. Die Rippen sind bei einem Thoraxtrauma am häufigsten von einer Fraktur betroffen [10, 61]. Ein Nachweis kann im Röntgenthorax bzw. in der CT erbracht werden. In der Röntgenaufnahme ist eine Aufhellungslinie im Verlauf der Rippe und in der CT eine Strukturunterbrechung der betroffenen Rippe zu erkennen. Frakturen des costochondralen Übergangs bzw. nicht dislozierte Frakturen sind im Röntgen nicht immer einfach zu diagnostizieren [31]. Bei der Therapie steht die Schmerzsymptomatik des Patienten, die sehr stark ausgeprägt sein kann, im Vordergrund. Eine adäquate Analgesie mit Atemtherapie ist unerlässlich, um eine Hypoventilation aufgrund von Schmerzen mit dem potentiellen Entstehen von Atelektasen und (besonders im Zusammenhang mit einer Lungenkontusion)

Pneumonien zu vermeiden [10, 61]. In der Altersgruppe der Kinder werden Rippenfrakturen eher selten beobachtet, bei älteren Patienten können sie sich jedoch als sehr schwerwiegend erweisen [17]. Sind die erste Rippe oder die Skapula von einer Fraktur betroffen, muss von einer großen Krafteinwirkung ausgegangen werden. Eine Mitbeteiligung weiterer schwerwiegender Verletzungen ist in diesen Fällen nicht untypisch und muss ausgeschlossen werden [17]. Bei 10-15% der Thoraxtraumata kann infolge einer Rippenserienfraktur ein instabiler Thorax entstehen [10]. Hierbei handelt es sich um ein frei-flottierendes Segment der Thoraxwand, das bei einer Fraktur von mehr als zwei Rippen an mehr als zwei Stellen entsteht. Ein Erklärungsansatz bestand darin, dass das instabile Segment zu einem „pendelnden“ Luftvolumen bei der Atmung führt: Bei der Inspiration von der betroffenen Seite in die kontralaterale Lunge und bei der Expiration entsprechend gegenläufig [61]. Der therapeutische Fokus hat somit primär auf der Stabilisierung des Rippensegments gelegen [17]. Es hat sich allerdings herausgestellt, dass sich die häufig assoziierten Lungenkontusionen vielmehr für den klinischen Zustand des Patienten verantwortlich zeigen. Die Maßnahmen bestehen mittlerweile also eher aus einer Therapie der Lungenkontusion und einer angemessenen Analgesie [10, 61]. Der Einsatz CPAP-Beatmung kann, insbesondere bei wachen Patienten, von Vorteil sein, da neben der Prävention von Atelektasen eine Art „innere Schienung“ zur Stabilisierung erreicht [37]. Als Ultimo Ratio kann eine Brustwandstabilisierung mit Drahtcerclagen, Plattenosteosynthesen und Netzimplantation von Nöten sein. Frakturen des Sternums sind teilweise von einer Contusio cordis begleitet. Ein entsprechendes Monitoring mit EKG, Enzymdiagnostik und Echokardiographie ist indiziert. Als Therapie ist in den seltensten Fällen eine Drahtcerclage oder Plattenosteosynthese notwendig [10, 61].

1.1.4.3 Hämatothorax

Bei einem Hämatothorax handelt es sich um eine Ansammlung von Blut im Pleuraraum (Raum zwischen dem viszeralen und dem parietalen Blatt der Pleura) und damit um eine Sonderform eines Pleuraergusses. Die Hauptursache eines Hämatothorax ist ein Trauma, wobei die verantwortliche Blutung ihren Ursprung in Verletzungen des Lungenparenchyms, des Herzens (in Verbindung mit einer Perikard- und Pleuraverletzung) oder in Gefäßverletzungen haben kann [9, 10, 120]. Ein spontaner Hämatothorax als Folge von

Neoplasien, Antikoagulanzen oder rupturierten Pleuraadhäsionen wird eher selten beobachtet [9]. Im Rahmen eines Traumas muss bei jeder entdeckten Flüssigkeit im Pleuraspalt bis zum Beweis des Gegenteils von einem Hämatothorax ausgegangen werden [10]. Zur Diagnostik stehen die Bildgebung (Thoraxröntgen/CT/Sonographie) und eine Pleurapunktion zur Verfügung [9]. In der Röntgenaufnahme erkennt man flächenhafte Eintrübungen, die im Liegen häufig basal betont sind. In der Sonographie stellt sich der Hämatothorax als inhomogenes Volumen im Pleuraspalt dar. Die CT, bei der ein Hämatothorax als hyperdense Flüssigkeit nachgewiesen wird, ist in der Regel sehr hilfreich bei der Bestimmung der Ursache [31]. Wie beim Pneumothorax ist beim (traumatischen) Hämatothorax als Therapie neben einer prophylaktischen Antibiose für 24 Stunden die Anlage einer Thoraxdrainage in den meisten Fällen vollkommen ausreichend. Die Einleitung weiterer Maßnahmen hängt von dem hämodynamischen Zustand des Patienten, der von der Drainage geförderten Blutmenge und von der Dauer des Blutverlusts ab. Eine spontane Entleerung von mehr als 1500 ml Blut über die Thoraxdrainage, ein kontinuierlicher Blutverlust von mehr als 200 ml pro Stunde sowie eine hämodynamische Instabilität des Patienten indizieren eine Thorakotomie oder eine Videothorakoskopie [9, 10]. Komplikationen wie ein Fibrothorax oder ein Empyem können bei Verzicht auf eine Thoraxdrainage entstehen [82]. Ein organisierter Hämatothorax erfordert eine frühzeitige Videothorakoskopie oder eine laterale Thorakotomie. Die gleichen therapeutischen Maßnahmen sind bei größeren, prolongierten Parenchymfistelungen, die als Komplikation bei 4-23% der traumatisch bedingten Hämatothoraces entstehen, indiziert. [10, 96]

1.1.4.4 Pneumothorax und Spannungspneumothorax

Bei einem Pneumothorax handelt es sich um eine Ansammlung von Luft im Pleuraraum. Entsprechend der Ursache werden der primäre (idiopathische) Spontanpneumothorax, der ohne ersichtliches Trauma entsteht, der sekundäre Pneumothorax, der auf eine zugrunde liegende (Lungen)Erkrankung zurückzuführen ist, sowie der iatrogene und der traumatische Pneumothorax unterschieden [64]. Die traumatische Form steht in dieser Arbeit im Vordergrund und soll vorrangig behandelt werden. Bedingt durch eine Verletzung der Thoraxwand und der Pleura parietalis bzw. der Lungen und der Pleura viszeralis strömt bei der Inspiration über eine undichte Stelle Umgebungs- bzw. Atemluft in den Pleuraspalt ein.

Durch die normalerweise herrschenden Druckverhältnisse im Thorax und die Eigenelastizität der Lunge führt dieses „Leck“ zu einem Kollaps des betroffenen Lungenflügels, wodurch dieser nicht mehr bzw. nur noch begrenzt seine Atemfunktion erfüllen kann. Es ist möglich, dass wegen der großen respiratorischen Reserve ein einseitiger Pneumothorax teilweise asymptomatisch bleibt. Kann die eingeströmte Luft bei Expiration durch die undichte Stelle wieder ausströmen, entsteht ein sog. „Druckausgleichs“-Pneumothorax. Im Gegensatz dazu steht der viel schwerwiegendere Spannungspneumothorax, der sich ausbildet, wenn die eingeströmte Luft über einen Ventilmechanismus der betroffenen Stelle nicht mehr ausströmen kann. Mit jedem Atemzug nimmt das eingeströmte Luftvolumen zu und verdrängt die übrigen thorakalen Strukturen. Durch eine Komprimierung der venösen Gefäße, meist der Vena cava oberhalb des Diaphragmadurchtritts, wird der Blutrückfluss zum Herzen unterbunden. Der Patient befindet sich durch das einsetzende Kreislaufversagen in akuter Lebensgefahr [31].

Der Befund bei der klinischen Untersuchung des Patienten stellt sich in der Regel folgendermaßen dar: atemabhängigen Thoraxschmerzen, hypersonorer Klopfeschall bei der Perkussion und abgeschwächte bis fehlendes Atemgeräuschen bei der Auskultation [10]. Bei einem Spannungspneumothorax kann es infolge eines intrathorakalen Druckanstiegs über den zentralen Venendruck zu einer oberen Einflusstauung mit starker Venenzeichnung und einem fassförmig aufgetriebenen Thorax kommen. Bei einer Röntgenaufnahme des Thorax in Expirationsstellung stellt sich der Pneumothorax über Luft im Pleuraspalt (im Liegen häufig an der Lungenspitze) und damit strukturlos dar. Typisch für einen Spannungspneumothorax ist die Mediastinalverlagerung zur kontralateralen Seite. Die CT ermöglicht bei insgesamt höherer Sensitivität, im Gegensatz zum Thoraxröntgen, selbst die Diagnose ventraler Pneumothoraces [31]. Therapie der ersten Wahl ist die Thoraxdrainage, die in Mini-Thorakotomie-Technik eingebracht werden sollte [10, 31]. Der 4. oder 5. Interkostalraum in der vorderen oder mittleren Axillarlinie wird als Lokalisation favorisiert (Thoraxdrainage nach Bülow). Eine Anbringung der Drainage in Monaldi-Technik (2./3. Interkostalraum in der Medioklavikularlinie) ist aber auch möglich [31]. Entscheidend für das Überleben ist die Wiederherstellung der physiologischen Zustände im Thorax [32]. Nach dem Entfernen der Thoraxdrainage sollte eine Röntgenkontrollaufnahme zur Dokumentation der vollständigen Wiederentfaltung der Lunge angefertigt werden [31]. Im Allgemeinen hat

sich die Thoraxdrainage als eine schnelle, sichere und komplikationsarme Methode bewährt [32].

1.1.4.5 Lungenparenchymverletzungen

Am häufigsten resultiert aus einem Trauma des Lungenparenchyms eine Einblutung in das Gewebe. Diese sistiert aufgrund der hohen Thromboplastinkonzentration des Lungengewebes allerdings meist spontan [10]. Unbehandelte Hämatome, die sich in der Folge bilden können, können bei Infektion zu Abszessen oder Empyemen führen [102]. Ein Hämatothorax ist bei Mitverletzung der Pleura ebenfalls eine potentielle Folge einer Lungenparenchymverletzung. Die Diagnostik von Lungenparenchymverletzungen erfolgt über die CT. Je nach Ausmaß kann eine Thoraxdrainage ausreichend sein oder eine Übernähung bzw. der Einsatz eines Staplers bei großen Parenchymverletzungen therapeutisch notwendig werden [10].

1.2 Die Computertomographie

Die Computertomographie stellt heute eine der wichtigsten Untersuchungsmodalitäten in der modernen Medizin dar. Wegen ihrer vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten, die mittlerweile weit über den ursprünglichen „Kopf-Scanner“ hinausgehen, ist sie aus der radiologischen Bildgebung und dem klinischen Alltag nicht mehr wegzudenken. In diesem Abschnitt sollen zunächst kurz die Grundlagen und der vereinfachte Aufbau eines Computertomographen beleuchtet werden. Nach einem Überblick über die Geschichte und die Fortschritte der Computertomographie – mit einem Ausblick auf zukünftige Entwicklungen– folgt eine Darstellung des aktuellen Stands der Computertomographie und ihre Verwendung in Deutschland. Abschließend wird der Stellenwert der CT in der Schockraumdiagnostik, besonders in Hinblick auf Thoraxverletzungen, als Überleitung zur Fragestellung der Dissertationsarbeit veranschaulicht.

1.2.1 Grundlagen

Der grundsätzliche Aufbau eines Computertomographen setzt sich aus der Messeinheit (sog. „Gantry“) und der Patientenliege zusammen. Die Gantry beinhaltet eine Röntgenröhre, von der Röntgenstrahlung emittiert wird, und einen Detektor, der die abgeschwächte Strahlung

aufzeichnet. Zusätzlich existieren Blenden, Kollimatoren und Filtersysteme, um u.a. Streustrahlung zu minimieren und die gewünschte Schichtdicke festlegen zu können. Zur Bildrekonstruktion und Verarbeitung der Daten werden Computersysteme benötigt. [55, 89]

Das Prinzip der Computertomographie besteht darin, dass ein bestimmtes Medium mit einer Röntgenstrahlung, die von der Röntgenröhre ausgeht, abgetastet wird. Mit dem Durchdringen des Gewebes geht analog zu den spezifischen Eigenschaften (entsprechend eines Schwächungskoeffizienten) eine Abschwächung der Röntgenstrahlung, die auf der gegenüberliegenden Seite durch einen Detektor gemessen werden kann, einher. Durch den Vergleich der ursprünglichen Intensität der Strahlung (I_0) mit der abgeschwächten Intensität nach Durchdringen des Gewebes (I) lässt sich ein Intensitätsprofil erstellen, aus welchem wiederum ein Schwächungsprofil (was als sog. Projektion bezeichnet wird) berechnet wird. Mathematische Grundlage ist die Radon-Transformation, weswegen die Projektionen manchmal auch als „Radon-Transformierte“ bezeichnet werden. Über weitere Verarbeitungsschritte kann schließlich ein Bild in verschiedenen Graustufen rekonstruiert werden. Entscheidend bei der CT ist, dass keine zweidimensionalen Bildelemente („Pixel“), sondern dreidimensionale Volumenelemente („Voxel“) generiert werden. Diese können in einem Koordinatensystem, das sich an den anatomischen Körperachsen orientiert, betrachtet werden. [55, 89]

Der Untersuchungsvorgang erfolgt für die konventionelle bzw. sog. sequenzielle CT „Schicht für Schicht“ und für die Spiral-CT kontinuierlich (siehe unten), wobei der Scanner dabei für jede weitere transversale Schichtaufnahme entlang des Patienten (in sog. z-Richtung) bewegt wird.

1.2.2 Geschichte der Computertomographie und einzelne Entwicklungsschritte

Nachdem die Computertomographie anfangs eine starke wissenschaftliche Aufmerksamkeit und Anerkennung erfuhr, war ihr Nutzen zwischenzeitlich sehr umstritten. Seit der Einführung der Spiral-Computertomographie und der Multislice-Technik in den 90er Jahren hat sie sich jedoch also absolutes Standardverfahren in der Bildgebung etabliert.

1.2.2.1 Sequenzielle Computertomographie

Erste Überlegungen und Vorarbeiten zur Computertomographie datierten aus dem frühen 20. Jahrhundert. Bereits im Jahr 1917 gelangte der Österreicher Johann Radon zu einigen grundlegenden Erkenntnissen. Im Jahr 1963/64 entwickelte der südafrikanische Physiker Allan Cormack die mathematischen Grundlagen der CT [21, 22], die allerdings keine große Berücksichtigung fanden. Ohne von diesen Vorarbeiten zu wissen fertigte Godfrey N. Hounsfield mit seinen Forschungsergebnissen bei der Firma EMI den ersten Computertomographen an. Dank diesem wurde EMI, das bis zu diesem Zeitpunkt nur Schallplatten und elektronische Bauteile herstellte, für zwei Jahre zum Inbegriff für die CT-Produktion. Die erste CT-Untersuchung konnte Hounsfield 1971 im Atkinson-Morley's Hospital in Wimbledon durchführen und eine intrakranielle Zyste erfolgreich nachweisen. Im Jahr 1979 erhielten Hounsfield und Cormack für die Entwicklung des ersten Computertomographen gemeinsam den Nobelpreis in Medizin [55].

Diese erste Generation von Computertomographen – im Folgenden wird entsprechend technischer Fortschritte von insgesamt vier Generationen die Rede sein – zeichnete sich dadurch aus, dass die von der Röntgenröhre emittierte Strahlung parallel in einem sog. „Nadelstrahl“ verlief und der Scanner (bestehend aus Röntgenröhre und Detektor) nach dem Translations-Rotations-Prinzip (s.u.) die verschiedenen Schichten aufzeichnete. Dem Translations-Rotations-Prinzip treubleibend wurde bei der zweiten Generation der Computertomographen der „Nadelstrahl“ durch einen Teil-Fächerstrahl der Röntgenstrahlung ersetzt. Aus dieser Generation stammen auch die ersten kommerziellen Geräte. Was diese beiden ersten Versionen auszeichnete, war das Translations-Rotations-Prinzip, das nun kurz erläutert werden soll: Der Scanner bewegt sich für die Aufnahme entlang einer geraden Linie tangential bzw. in einer Translationsbewegung zum Patientenkörper. Anschließend werden die Röntgenröhre und der Detektor um einen gewissen Grad um den Patienten rotiert, um danach erneut in Translationsbewegung den Aufnahmevorgang fortzusetzen. Mit dieser Technik waren lediglich langsame Scanzeiten möglich, was eine Aufnahme des Patienten ohne Bewegungs- und Atemartefakte nahezu unmöglich machte. [55, 89]

Die Lösung für dieses Problem wurde 1974 mit Einführung der dritten Gerätegeneration präsentiert. Die angepeilten 20 Sekunden pro Schichtaufnahme konnten erstmals

unterschieden werden und eine Aufnahme mit Atempausen und damit ohne Atemartefakte war möglich. Entscheidend für diesen Zeitgewinn war die neue Fächerstrahltechnik (anstatt in „gerader“ „Nadelstrahl“-Technik werden die Strahlen fächerförmig von der Röntgenröhre emittiert und tasten damit einen größeren Bereich ab) zusammen mit einer kontinuierlich rotierenden Röntgenröhre und Detektor. Die Scanner der 4. Generation (erstmalig 1977) unterschieden sich hierbei nur durch Scanner, bei dem der Dektorenring fest installiert war und lediglich die Röntgenröhre um den Patientenkörper rotierte. Die Überlegenheit beider Systeme wurde intensiv diskutiert. Schlussendlich setzte sich die 3. Generation durch, da sie weniger Streustrahlung generiert und weniger Detektoren nötig sind, wodurch Kosten eingespart werden können. Spätestens mit Einführung der Multislice-Technik (siehe unten) kann die 4. Generation als obsolet bezeichnet werden. [55, 89]

1.2.2.2 Spiral-Computertomographie

In den Folgejahren konnten nur noch wenige innovative Erfolge in der CT-Forschung erzielt werden. Den Durchbruch brachte erst die Spiral-Technik im Jahr 1989 [53, 54]. Aus zweierlei Gesichtspunkten vollzog sich damit ein Paradigmenwechsel, der anfangs zu sehr starken Kontroversen führte. Einerseits stellte die Spiral-CT eine Abkehr von der konventionellen bzw. sequenziellen CT dar: Anstatt „Schicht für Schicht“ (sequenziell) wurde nun kontinuierlich ein Volumen erfasst. Dadurch sind Scanposition und Bildposition nun voneinander unabhängig. Jeder beliebige Punkt im erfassten Volumen kann berechnet und rekonstruiert werden. Andererseits widersprach es der Vorstellung einer möglichst „starren“ Untersuchungsanordnung, um Bewegungsartefakte, die bei einer kontinuierlichen Fortbewegung des Scanners in z-Richtung (Patientenrichtung) unweigerlich entstehen, zu vermeiden. Um dennoch die notwendige Bildqualität zu gewährleisten, mussten erst einige Voraussetzungen geschaffen werden. Für eine kontinuierliche Volumenerfassung benötigt es neben einem kontinuierlich rotierenden Scanner eine kabellose Stromversorgung, um eine ununterbrochene Rotation über 360° hinaus zu ermöglichen. Die Schleifenringtechnologie war hierbei der Schlüssel zum Erfolg. Zur Elimination von Bewegungsartefakten durch die Spiral-Bewegung des Scanners in z-Richtung war die Erfindung der sog. z-Interpolation unverzichtbar. Während anfangs die 360° LI (Lineare Interpolation) den Standard darstellte, wurde diese von der 180° LI in der Routineanwendung weitgehend verdrängt, hat aber nach

wie vor ihren Anwendungsbereich. Als größte Errungenschaften der Spiral-CT im Gegensatz zur sequenziellen CT sollen folgende Punkte noch einmal hervorgehoben werden. Erstens wurde die Optimierung der Scandauer weiter vorangetrieben. Zweitens konnten Atembewegungsartefakte deutlich reduziert werden (gesamter Scan von Lunge in einer Atempause durch die schnelleren Scanzeiten möglich). Drittens konnte das Problem der Abtastlücken, wie bei der sequenziellen CT v.a. bei kleiner Schichtdicke und kleiner Läsionsgröße vorhanden, durch die kontinuierliche, dreidimensionale Datenakquisition eliminiert werden. [55, 89]

Des Weiteren legte die Spiral-CT durch die verkürzte Scandauer und der damit verbundenen Optimierung der Kontrastmittelanwendung auch den Grundstein für eine neue Bildgebungsmodalität: die CT-Angiographie. Neben einer besseren Kontrastierung und Dosisreduktion war es nun möglich längere Körperabschnitte bzw. Organe am Stück zu untersuchen (z. B. Verlauf der Aorta oder der Karotiden). [89]

1.2.2.3 Multislice-Computertomographie

Im Endeffekt blieb die Spiral-CT durch folgenden Aspekt limitiert: Durch Verringerung der Schichtdicke (zur Verbesserung der Bildqualität durch eine höhere Ortsauflösung) kam es zu einer Verlängerung der Gesamtscandauer. Diese Problematik konnte erst richtig durch die Einführung der Multislice-Technik gelöst werden. Eine Reduzierung der Schichtdicke ohne „Zeitverlust“ war möglich. Wie der Name impliziert, werden bei der Multislice-Technik durch viele nebeneinanderliegende Detektorelemente mehrere Schichten pro Scannerumdrehung aufgenommen. Ab einer Schichtanzahl von vier Schichten wird von Multislice-CT (MSCT) gesprochen. Dies ist keine offizielle Definition, sondern die in der Literatur am meisten verwendete Angabe. Geräte mit dieser Technik wurden erstmals 1998 eingeführt. Die entscheidenden Vorteile der MSCT-Technik bestehen in einer weiteren Verkürzung der Scandauer, einer Erweiterung des maximal in einem Vorgang scannbaren Körperabschnitts bzw. der Scanlänge und in der Möglichkeit, die Schichtdicke zu verringern. Im Gegensatz zu 1- bzw. 2-Zeiler-Geräten, bei der durch die verhältnismäßig große Schichtdicke nur „streichholzförmige“ Voxel generiert werden konnten, sind mit der MSCT-Einführung nahezu seitengleiche („würfelförmige“) bzw. isotrope Voxel erreichbar. Damit wird der sog. Partialvolumeneffekt deutlich reduziert. Zudem kann durch die z-

Filterung, die erst bei den MSCT-Geräten standardmäßig zum Einsatz kommt, die effektive Schichtdicke auch noch nach Akquirierung der Daten nahezu beliebig geändert werden. Auch die CT-Diagnostik des Herzens konnte von der Mehrschichttechnik durch die jetzt zur Verfügung stehende Möglichkeit der EKG-korrelierten z-Interpolation profitieren. Angesichts des vergrößerten Scanvolumen bei Mehrzeilensystemen ist es zudem möglich, die Leistung der Röntgenröhre, die in der CT-Technik generell einen begrenzenden Faktor darstellt, effektiver zu nutzen und damit Kosten einzusparen. Als einzig wahrer Nachteil der MSCT-Technik müssen die enormen Datenmassen, die bei den Untersuchungen generiert werden und von den CT-Work-Stations verarbeitet werden müssen, genannt werden. [55, 89]

Hinsichtlich der Schwerverletztenversorgung führte die MSCT-Technik zu einer enormen Veränderung der Schockraumdiagnostik. Dank der schnellen Scangeschwindigkeiten wurden Aufnahmen des gesamten Körpers (Ganzkörper-CT) in einer für die Akutdiagnostik angemessenen Zeitdauer ermöglicht. Man kann davon ausgehen, dass in der Polytraumatisiertenversorgung aktuell weiterhin eine sehr hohe Zahl an Ganzkörper-CT-Aufnahmen in MSCT-Technik durchgeführt wird.

1.2.3 Stellenwert der Computertomographie im Schockraum

Mit der Einführung und Etablierung des Schockraumalgorithmus nach den Richtlinien des „Advanced Trauma Life Support“ des „Committee on Trauma“ (ATLS®) des American College of Surgeons (ACR) wurden die Handlungsabläufe im Schockraum standardisiert und damit für das Schockraumteam deutlich erleichtert. In zahlreichen Studien konnte die Bedeutung der Computertomographie als Diagnostikum im Schockraum dargelegt werden und ist mittlerweile fester Bestandteil vieler Algorithmen (z.B. im „Secondary Survey“ des ATLS®). Sachverhalte wie der hämodynamische Zustand des Patienten, hohe Strahlenbelastung und Zeitmanagement führen dennoch zu einem anhaltenden Diskurs über die Bildgebung im Schockraum [24, 56, 93, 94, 113, 116].

1.2.3.1 Entwicklung der Schockraumdiagnostik

Vor Einführung der Computertomographietechnik bestand die Standarddiagnostik von Polytraumatisierten aus einer Schädelaufnahme in drei Ebenen, jeweils einer Aufnahme der Hals-, Brust-, und Lendenwirbelsäule in zwei Ebenen, einer Thorax-Aufnahme (in a.p.-Technik) im Liegen und einer Übersichtsaufnahme des Beckens, sowie einer fokussierten Ultraschalluntersuchung der wichtigsten und schnell beurteilbaren anatomischen Strukturen (FAST = „Focussed Assessment with Sonography for Trauma“) [97]. Bereits 1997 zeigten Löw et al., dass das Ganzkörper-Spiral-CT als primäre Diagnostik eine verlässliche und schnelle Methode ist, um alle für die Akutsituation klinisch relevanten Verletzungen darzustellen. Lediglich 4% der Verletzungen konnten in dieser prospektiven Studie nicht durch die CT diagnostiziert werden. Zudem handelte es sich dabei um keine akut lebensbedrohlichen Verletzungen [77]. Im Vergleich der initialen Röntgenaufnahme des Thorax (RTX) mit einer thorakalen Computertomographie (TCT) bei Schwerverletzten mit stumpfen Thoraxtrauma zeigt sich die CT in der prospektiven Studie (n=103) von Trupka et al. signifikant überlegen. Bei 65% der Patienten konnten zusätzliche wesentliche Informationen durch die CT nachgewiesen werden. Die diagnostische Genauigkeit zeigte sich vor allem bei Lungenkontusionen (RTX: 25 Diagnosen; TCT 61 Diagnosen), Pneumothorax (RTX: 17; TCT: 44) und Hämatothorax (RTX: 23; TCT: 44). Die Unterschiede waren statistisch hoch signifikant. In 41% der Fälle führte der diagnostische Zugewinn zu wesentlichen klinischen Konsequenzen [107]. Grieser et al. lieferten im Jahr 2001 mit ihrer prospektiven Studie (n=102) sehr ähnliche Ergebnisse: Bei 46,5% der Patienten konnten durch TCT im Vergleich zur RTX weitere therapierelevante Befunde diagnostiziert werden. Dies führt bei 26,5% aller Patienten zu einer therapeutischen Konsequenz [35]. Wie bei Trupka (n=26) war auch bei Grieser (n=29) die Neuanlage einer Thoraxdrainage die am häufigsten aus der Zusatzinformation abgeleitete therapeutische Handlung [35, 107]. In der Studie von Kunisch-Hoppe et al. konnten 38% aller Patienten und in der Studie von Guerrero et al. 29% aller Patienten von den Ergebnissen aus dem TCT im Sinne einer therapierelevanten Konsequenz profitieren [36, 70]. Die Überlegenheit der thorakalen Computertomographie gegenüber des konventionellen Röntgen-Thorax konnte durch weitere Studien belegt werden [7, 28, 39, 58, 80, 110].

1.2.3.2 Zeitanalyse

Die Bedeutung des Zeitfaktors in der Schwerverletztenversorgung für das Outcome des Patienten ist unumstritten und drückt sich in dem Begriff der „Golden Hour“ aus [2, 75, 81]. Viele Studien ergaben, dass durch die Einführung der CT-Technologie bzw. die Integration der CT in die entsprechenden Schockraumalgorithmen eine Beschleunigung der Handlungsabläufe möglich ist. Insbesondere durch Einführung der MSCT-Technik war eine deutliche Reduktion der Scanzeiten möglich. In diesem Abschnitt sollen einige Ergebnisse exemplarisch vorgestellt werden.

Wurmb et al. verglichen in ihrer Studie aus dem Jahr 2009 die konventionelle Bildgebung (Radiographie, FAST, eventuell CT-Untersuchung im Anschluss) mit der Ganzkörper-Multislice-Computertomographie (Ganzkörper-MSCT). Analysiert wurden verschiedene Phasen. Durch Einführung des Ganzkörper-CT-Algorithmus konnte die Zeitdauer von der Patientenaufnahme bis zum Abschluss der Bildgebungsdiagnostik vom 70 auf 23 Minuten verkürzt werden. Von der Aufnahme bis zum Ende des Schockraumeinsatzes dauerte es mit der konventionellen Bildgebung fast doppelt so lange (82 Minuten vs. 47 Minuten bei dem neuen Algorithmus). Eine weitere Beschleunigung wurde durch die Einführung von „standard operating procedures“ (SOPs) erreicht [116]. Bei Rieger et al. belief sich die Zeitersparnis durch den frühen Einsatz eines Ganzkörper-MSCT und dem Verzicht auf eine initiale Röntgendiagnostik auf nahezu 50% (24 Minuten vs. 44 Minuten) [90]. Zeitliche Unterschiede zwischen einem 1-Schicht- und einem 4-Schicht-Spiral-CT untersuchten Klöppel et al. in ihrer Studie aus dem Jahr 2002. Mit der höheren Schichtanzahl des CT-Geräts konnte der durchschnittliche Aufenthalt des Patienten im CT-Raum von 28 auf 16 Minuten reduziert werden [65]. Dass mit der Ganzkörper-CT eine sehr schnelle Diagnostik möglich ist, verdeutlichen auch die von Kanz et al. bzw. Heyer et al. in Studien nachgewiesenen reine Scanzeit von ca. 6 Minuten [44, 56]. Ein zusätzlicher Zeitgewinn lässt sich durch Modifikation der Scanprotokolle erzielen. So konnten Heyer et al. bei einem MSCT-Gerät zeigen, dass allein durch den Verzicht auf Armelevation und Gantrykipfung die Untersuchungszeit (reiner Scanvorgang: 6,4 Minuten ohne vs. 16,8 Minuten mit Armelevation und Gantrykipfung) stark verkürzt werden kann. Dies geht ohne Qualitätsverlust in der Befundung einher [43].

1.2.3.3 Strahlenbelastung

Obwohl mit den neuen MSCT-Geräten Ganzkörper-CT-Untersuchungen in sehr kurzer Zeit möglich sind, ist die Strahlenbelastung für den Patienten im Vergleich zur konventionellen Bildgebung höher. Während bei einer konventionellen Röntgenaufnahme eine effektive Dosis von 2 mSv und bei einer organfokussierten CT-Untersuchung 8 mSv (Kopf, HWS und Thorax) bzw. 16 mSv (Kopf, HWS und Abdomen) gemessen wird, beträgt die effektive Dosis bei einer Ganzkörper-MSCT-Untersuchung ungefähr 20 mSv [113]. Selbst bei einer Kombination eines Röntgen-Thorax mit einer anschließenden organfokussierten-CT-Aufnahme ist der Patient also weniger Strahlung als bei einer Ganzkörper-CT-Untersuchung exponiert. Dass es mit den Fortschritten in der MSCT-Technik nicht zwangsläufig zu einer Verminderung der Strahlendosis kommt, zeigt die Arbeit von Harrieder et al. Im Vergleich eines 4-Zeilen- mit einem 64-Zeilen-CT-Geräts ergab sich für den 4-Zeiler bei einer Ganzkörper-CT-Untersuchung eine effektive Dosis von $22,4 \pm 2,6$ mSv und für den 64-Zeiler $24,1 \pm 4,6$ mSv [40]. Zwar konnte die effektive Dosis pro Schicht reduziert werden. Allerdings führen die kürzeren Untersuchungszeiten dazu, dass das Scanfeld bei Bedarf ohne Zeitverlust erweitert werden kann. Dadurch erhöht sich für den Patienten die Strahlenexposition. Neueste Ergebnisse konnten zeigen, dass die Strahlenbelastung sogar noch stärker ausfällt. Gordic et al. geben in ihrer Studie aus dem Jahr 2015 die effektive Dosis, der ein Polytraumapatienten bei einer Ganzkörper-CT-Untersuchung ausgesetzt ist, mit 29,5 mSv an [34]. Wenn man von einer natürlichen Strahlenexposition von ca. 2-3 mSv/Jahr in Deutschland ausgeht [12], kann die Belastung durch eine einzelne Ganzkörper-CT also ungefähr um das 10-fache höher ausfallen. Einhergehend mit einer erhöhten Strahlenbelastung ist ein gesteigertes Tumorrisiko. Brenner et al. untersuchten in ihrer Studie den Zusammenhang zwischen der Ganzkörper-CT und der Wahrscheinlichkeit durch einen strahleninduzierten Tumor zu sterben. Die Wahrscheinlichkeit eines 45-jährigen Patienten nach einer einmaligen Ganzkörper-CT-Untersuchung aufgrund eines Tumors zu versterben, liegt demnach für einen 45-jährigen Patienten bei 0,08% (entspricht einem von 1250 Patienten). Im Vergleich dazu lag die Wahrscheinlichkeit des Versterbens in einem Verkehrsunfall (für das Jahr 1999 in den USA) bei einem von 5900 Patienten. Hierbei ist die Lunge das Organ, das von einer strahleninduzierten Tumorgenese am stärksten betroffen ist und dadurch zum Tod führt [11, 47]. Hinsichtlich dieser Problematik ist jede Indikation zu

einer strahlenbelastenden Bildgebung sehr gut abzuwägen. Insbesondere mit den neuen MSCT-Geräten, die eine Ganzkörper-CT-Untersuchung in sehr kurzer Zeit und in einer enormen Bildqualität erlauben, ist die Versuchung für den entscheidenden Arzt sehr groß, zu der schnelleren Untersuchungsmodalität zu tendieren. Dennoch muss der tatsächliche Nutzen jeder einzelnen radiologischen Untersuchung hinterfragt und die Anwendung gerechtfertigt werden. Jede Option, die das Tumorrisiko des Patienten minimiert, sollte genutzt werden. Eine Möglichkeit zur Strahlenreduktion ist die Anpassung der Scanprotokolle, wie in der oben genannten Studie von Heyer et al. dargestellt. So führt ein Verzicht auf Armelevation und Gantrykipfung nicht nur zu einer Zeitersparnis, sondern auch zu einer Verringerung der Strahlenexposition [43].

1.2.3.4 Zustand des Patienten

Der Kreislaufzustand des Patienten ist ein wesentliches Entscheidungskriterium bei der Fragestellung, welche Bildgebung dem Patienten zugänglich gemacht werden soll. Bisher war es in der Schockraumversorgung üblich, dass auf die Durchführung einer Ganzkörper-CT bei kreislaufinstabile Patienten verzichtet werden soll bzw. andere Untersuchungsmodalitäten den Vorzug erhalten. Das Hauptargument hierfür war, dass für den Zeitraum der Ganzkörper-CT-Durchführung Kreislaufstabilisierungs- und Reanimationsmaßnahmen ausgesetzt werden müssten. Selbst für die Anfertigung eines Topogramms, das die Ursachen einer hämodynamischen Instabilität als „Röntgen-Thorax-Ersatz“ schnell darstellen könnte, wäre der Patient für ca. 50 Sekunden dem Schockraumpersonal für therapeutischen Maßnahmen nicht zugänglich. Im Vergleich dazu ist bei der Durchführung eines Röntgen-Thorax als initiale Bildgebung bei einer schweren Kreislaufinsuffizienz bzw. Reanimationspflichtigkeit die Unterbrechung der therapeutischen Interventionen geringer ausgeprägt [117]. Entgegen dieser Überzeugungen, konnten Huber-Wagner et al. in ihrer Studie aus dem Jahr 2013 erstmals zeigen, dass die Durchführung einer Ganzkörper-CT bei hämodynamisch instabilen Patienten einen positiven Effekt auf das Überleben hat. Bei Patienten im mittelschweren Schock ($RR_{\text{systolisch}} = 90-110 \text{ mmHg}$), bei denen eine Ganzkörper-CT durchgeführt wurde, lag die Mortalität bei 18,1%, wohingegen sie bei den Patienten, bei denen keine Ganzkörper-CT durchgeführt wurde, 22,6% betrug. Eine Reduktion der Mortalitätsrate durch die Ganzkörper-CT war auch

bei den Patienten im schweren Kreislaufschock ($RR_{\text{systolisch}} \leq 90 \text{ mmHg}$) zu beobachten (42,1% vs. 54,9%). Die Autoren betonen aber, dass eine gut organisierte und strukturierte Schockraumversorgung mit einem abgestimmten Team für das Überleben unerlässlich sind [48]. Nichtsdestotrotz bleibt abzuwarten, inwiefern die Ganzkörper-CT auch bei hämodynamisch instabilen Patienten routinemäßig in Zukunft in die Schockraumdiagnostik Einzug erhält.

1.3 Fragestellung

Der Trend, der in den letzten Jahren in der Schockraumversorgung zu beobachten war, weist in Richtung eines vermehrten Einsatzes der Ganzkörper-CT.

Unklar ist, ob dadurch die Diagnoserate von Thoraxverletzungen verbessert werden konnte.

Ziel dieser Studie ist es anhand einer retrospektiven Analyse des TraumaRegister DGU® die Inzidenz von Thoraxverletzungen vor bzw. nach Einführung der WBCT zu untersuchen und festzustellen, ob sich dadurch auch eine Veränderung des Outcomes der Patienten ergeben hat.

Folgende Nullhypothesen werden aufgestellt:

- 1) „Die Inzidenz diagnostizierter Thoraxverletzungen hat sich mit Einführung der WBCT-Diagnostik nicht relevant verändert“
- 2) „Die Einführung der WBCT-Diagnostik hat zu keiner Verbesserung des Outcomes der Patienten geführt“

2 Material und Methoden

2.1 TraumaRegister DGU®

Für diese Studie wurden die Daten des TraumaRegister DGU® der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU) verwendet.

Das TraumaRegister DGU® der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU) wurde 1993 gegründet. Ziel dieser multi-zentrischen Datenbank ist eine anonymisierte und standardisierte Dokumentation von Schwerverletzten.

Die Daten werden prospektiv in vier aufeinanderfolgenden Phasen gesammelt: A) Präklinische Phase, B) Schockraum und anschließende OP-Phase, C) Intensivstation und D) Entlassung. Die Dokumentation beinhaltet detaillierte Informationen über Demografie, Verletzungsmuster, Komorbiditäten, präklinisches und klinisches Management, intensivmedizinischen Verlauf, wichtige Laborbefunde einschließlich Transfusionsdaten sowie das Outcome. Das Einschlusskriterium ist die Aufnahme in das Krankenhaus über den Schockraum mit anschließender Intensiv- oder Intermediate Care Unit –Überwachung mit oder ohne vorherige OP, oder Ankunft in der Klinik mit Vitalzeichen und Versterben vor Aufnahme auf die Intensivstation.

Die Infrastruktur für Dokumentation, Datenmanagement und Datenanalyse wird von der AUC - Akademie der Unfallchirurgie GmbH, welche der DGU angegliedert ist, bereitgestellt. Die wissenschaftliche Führung liegt bei der Sektion Notfall, Intensivmedizin und Schwerverletztenversorgung der DGU (Sektion NIS). Über eine webbasierte Anwendung geben die teilnehmenden Kliniken ihre Daten anonym in eine zentrale Datenbank ein. Als obligatorisches Werkzeug zur Qualitätssicherung ist für die Datensammlung keine Einwilligungserklärung notwendig. Wissenschaftliche Auswertungen werden nach einem Reviewverfahren der Sektion NIS genehmigt.

Die teilnehmenden Kliniken sind primär in Deutschland (90 %) lokalisiert, aber eine zunehmende Anzahl von Kliniken aus anderen Ländern tragen ebenfalls Daten bei (z.Z. aus Österreich, Belgien, China, Finnland, Luxemburg, Slowenien, Schweiz, Niederlande und den Vereinigten Arabischen Emiraten). Derzeit fließen jährlich ca. 25.000 Fälle von über 600 Kliniken in die Datenbank ein.

Die Beteiligung am TraumaRegister DGU® ist freiwillig, für die dem TraumaNetzwerk

DGU[®] zugehörigen Kliniken ist die Eingabe zumindest eines Basisdatensatzes zur Qualitätssicherung verpflichtend [100, 106].

2.2 Patienten

2.2.1 Ein- und Ausschlusskriterien

Eingeschlossen wurden alle Patienten zwischen 2002 und 2012 mit einem ISS $\geq$ 9 bei Schocktraumaaufnahme und Verlegung auf Intensivstation/ICU mit oder ohne vorherige OP oder Versterben.

Berücksichtigt wurden nur primärversorgte Patienten von regionalen und überregionalen Traumazentren (entsprechend den Versorgungsstufen des TraumaRegister DGU[®]) [25]. Ein weiteres Einschlusskriterium war eine kontinuierliche Dokumentation von mindestens fünf aufeinanderfolgenden Jahren. Für einige Parameter ergab sich aufgrund fehlender Eingabe im TraumaRegister DGU[®] eine geringere Gesamtfallzahl.

Ausgeschlossen wurden Kliniken mit fehlenden dokumentierten Jahren bzw. einem zu großen Sprung in den Fallzahlen und einer zu hohen WBCT-Rate im ersten dokumentierten Jahr, da in beiden Fällen nicht einwandfrei das Einführungsjahr definiert werden konnte.

2.2.2 „Ganzkörper-CT“ vs. „traditionelle Bildgebung“

Unterschieden wurden zwei Bildgebungsverfahren: einerseits die „Ganzkörper-CT“ und andererseits die „traditioneller Bildgebung“.

Wurde im Datenerhebungsbogen des TraumaRegister DGU[®] das Feld „Ganzkörper-CT“ ausgewählt und dokumentiert, bedeutet dies, dass eine Ganzkörper-CT als primäre diagnostische Untersuchungsmodalität im Sinne einer Traumaspirale verwendet wurde. Als „Ganzkörper-CT“ ist gemäß dem TR-DGU[®] eine kontinuierliche Schichtaufnahme vom Kranium über das Becken hinaus in Schnittbildtechnik definiert. Aussagen über die gewählte Schichtdicke, die Verwendung von Kontrastmittel, den Gerätetyp, Zeilenvorschub, etc. sind nicht möglich.

Die „traditionelle Bildgebung“ hingegen setzt sich aus einer konventionellen Röntgenaufnahme der HWS, des Thorax und des Beckens und einer sich häufig anschließenden Organ/ Region-fokussierten CT-Untersuchung (z.B. thorakale CT/ TCT) zusammen.

2.2.3 Einteilung „Prä-“ vs. „Post-“Gruppe

Anhand einer klinikindividuellen Betrachtung des WBCT-Gebrauchs durch zwei unabhängige Untersucher (im Zweifel Entscheidung durch einen dritten Untersucher aus der Biometrie) konnten wir für jede der Kliniken das Jahr der Einführung des standardmäßigen Gebrauchs einer WBCT erkennen. Vom klinikspezifischen Einführungsjahr der WBCT ausgehend wurden jeweils 3 Jahre vorher (Gruppe „prä“) und 3 Jahre nachher (Gruppe „post“) betrachtet und dem weiteren Vergleich unterzogen (siehe Abbildung 2). Das Einführungsjahr wurde immer für den weiteren Vergleich ausgeklammert, da in der Regel eine Übergangsphase mit Vermengung beider Verfahren zu beobachten war.

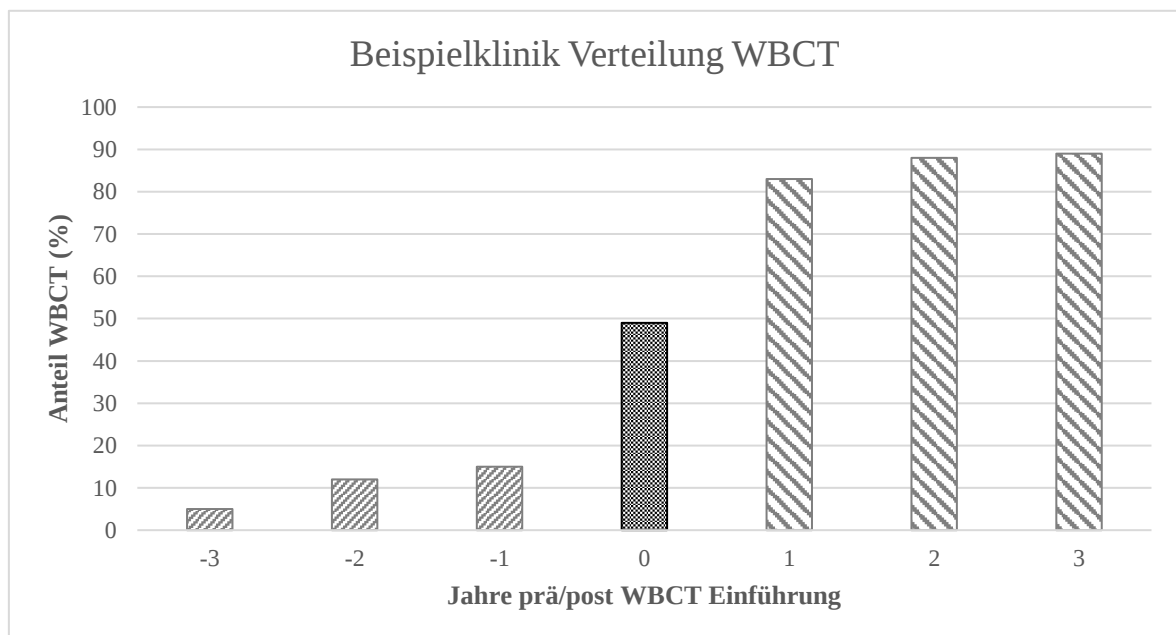


Abbildung 2: Beispielklinik mit der Verteilung der durchgeführten WBCT pro Jahr. Dargestellt ist der Anteil an durchgeführten WBCT bezogen auf alle Fälle, welche von der Klinik im TraumaRegister DGU® eingegeben wurden. Die Jahre -3 bis -1 wurden in der Gruppe „prä“ und die Jahre 1 bis 3 wurden in der Gruppe „post“ zusammengefasst. Das Jahr 0 beschreibt das Einführungsjahr. (WBCT = Whole-Body-CT/Ganzkörper-Computertomographie). Erstveröffentlichung dieser Grafik in: [122]

2.3 Statistik

Anhand der oben genannten Kategorien konnten die Daten vor („prä“) und nach („post“) Einführung der WBCT-Diagnostik an den ausgewählten Kliniken mit Hilfe von Prozentzahlen und Mittelwerten einem Vergleich unterzogen werden. Die Analysen wurden mit dem Statistikprogramm SPSS (Version 22, IBM Inv., Armonk, NY, USA) durchgeführt.

Auf eine formale test-statistische Überprüfung von Unterschieden zwischen der Prä- und der Post-Gruppe im Sinne einer statistischen Signifikanz wurde in Absprache mit der Biometrie des TraumaRegister DGU® bewusst verzichtet, weil wegen der großen Fallzahl selbst kleine Unterschiede regelhaft „statistisch“ signifikant sind, obwohl diese „klinisch“ eigentlich nicht relevant sind. Wir sprechen daher bei medizinisch bedeutsamen Unterschieden im Folgenden von „Relevanz“.

2.4 Parameter und Scores

2.4.1 Epidemiologie

Um unsere Ergebnisse diskutieren zu können, war es entsprechend der statistischen Standards nötig, die epidemiologischen Daten der beiden Patientenkollektive zu bestimmen. Grundsätzlich mussten wir uns natürlich auf die im TraumaRegister DGU® hinterlegten und damit verfügbaren Parameter beschränken. Um eine gute Vergleichbarkeit der beiden Patientengruppen zu erreichen, haben wir daher folgende Parameter ausgewählt und der Analyse unterzogen:

- *Geschlecht*
- *Durchschnittsalter*
- *Alter ≥ 60 Jahre*
- *Trauma stumpf*
- *Unfallhergang*
 - *Verkehrsunfall Auto*
 - *Verkehrsunfall Motorrad*
 - *Verkehrsunfall Fahrrad*
 - *Verkehrsunfall Fußgänger*

- Sturz $> 3m$
- Sturz $< 3m$
- Sonstiges
- Verletzungsmuster bzw. Verletzungsschwere der Einzelverletzungen und deren Verteilung nach der *Abbreviated Injury Scale (AIS)* (ISS-Körperregionen)
 - $AIS\ Kopf \geq 3$
 - $AIS\ Gesicht \geq 3$
 - $AIS\ Thorax \geq 3$
 - $AIS\ Abdomen \geq 3$
 - $AIS\ Extremitäten \geq 3$
 - $AIS\ Weichteile \geq 3$
- Verletzungsschwere nach dem *Injury Severity Score (ISS)* und dem *New Injury Severity Score (NISS)*
- Bewusstseinsgrad: *Glasgow Coma Scale (GCS)* ≤ 8
- Hypotonie: Systolischer Blutdruck: $RR_{systolisch} \leq 90\ mmHg$
 - Präklinisch
 - In der Notaufnahme
- Reanimation durch den Notarzt

Das Geschlecht, sowie das Durchschnittsalter (bzw. das Alter ≥ 60 Jahre) sind standardmäßig erhobene epidemiologische Daten und bedürfen daher keiner weiteren Beschreibung.

Das Trauma wird entsprechend der Klassifikation nach dem Unfallmechanismus in „stumpf“ und „penetrierend“ unterteilt. Bei der Wahl der Parameter beschränkten wir uns darauf, den Anteil an stumpfen Traumen zu bestimmen. Der entsprechende Anteil an penetrierenden Traumen ergibt sich aus Differenz des Anteils an stumpfen Traumen von der Gesamtzahl (100%).

Bei dem Unfallhergang bestimmten wir die häufigsten Unfallursachen: den Verkehrsunfall und den Sturz aus der Höhe. Beim Verkehrsunfall lässt sich unterscheiden, ob der Patient beim Unfall PKW-/LKW-Insasse (Verkehrsunfall Auto), Motorradfahrer oder Fahrradfahrer war oder als Fußgänger angefahren wurde. Wenn im Folgenden der „Verkehrsunfall“ ohne weiteren Zusatz verwendet wird, dann werden diese vier Kategorien zusammengefasst.

Beim Sturz als Unfallhergang lässt sich eine Fallhöhe größer oder kleiner als 3 Meter unterscheiden.

2.4.1.1 Abbreviated Injury Scale (AIS)

Mit dem steigenden Verkehrsaufkommen entsprang in den 1960er Jahren die Idee Verletzungen durch Verkehrsunfälle genauer zu untersuchen. Ziel war es dabei herauszufinden, wie Aufbau, Form und Ausstattung von Fahrzeugen mit dem Auftreten von Verletzungen bei Verkehrsunfällen in Verbindung stehen. Man stellte sich die Frage, welche Arten von Verletzungen besonders häufig auftraten und wie diese zustande kamen. Um Verletzungen nach ihrer Schwere einteilen und vergleichen zu können, benötigt es eine einheitliche Sprache, für deren Grundlage sich zwei verschiedene Verfahren anbieten. Einerseits physiologische Parameter, die sich im zeitlichen Verlauf naturgemäß ändern und damit neben der Verletzungsschwere auch noch die Auswirkungen und Konsequenzen widergeben, und andererseits die Anatomie des Menschen. Bei Letzterem lässt sich für jeden Patienten genau ein Wert, der zudem zeitlich konstant ist, festlegen, wodurch eine Vergleichbarkeit extrem erleichtert wird. Unter Anwendung dieses Grundgedanken wurde, gefördert von der Association for the Advancement of Automotive Medicine (AAAM) und der Society of Automotive Engineers, im Jahr 1971 die erste Version des AIS vorgestellt [99]. Es dauerte allerdings noch bis zum Jahr 1976 bis vom Committee on Injury Scaling von der AAAM das erste AIS-Codebook, ein Art „Katalog“, der mehr als 500 Einzelverletzungen umfasste, veröffentlicht wurde [33, 51]. Von der ursprünglichen Ausrichtung auf die Einzelverletzungsbewertung bei Verkehrsunfällen hat sich die AIS im Laufe der Jahre durch stetige Weiterentwicklung und Revisionen in ihrem Anwendungsbereich ausgeweitet und deckt heute nahezu alle möglichen Verletzungen des gesamten Körpers ab [33, 99]. Die AIS2005 Update 2008 (AIS2008) stellt die aktuellste Version dar. Im TraumaRegister DGU® wird die Version AIS2005 zur Codierung der Einzelverletzungsschwere verwendet.

Die AIS setzt sich aus sechs Ziffern zur Spezifizierung und Beschreibung der Einzelverletzung zuzüglich einer, durch einen Punkt getrennte weitere Ziffer, die die Überlebenswahrscheinlichkeit bzw. die Schwere der Verletzung beschreibt, zusammen. Insgesamt lässt sich die Zahlenfolge damit in fünf Abschnitte einteilen: „Körperregion“,

„Art der anatomischen Struktur“, „Spezifische anatomische Struktur“, „Verletzungsart innerhalb der Region“ und „Verletzungsschwere“ (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3: Bedeutung einer AIS-Ziffernfolge anhand des Beispiels „441002.2“. Insgesamt werden die sieben Ziffern in fünf Abschnitte, durch die eine Verletzung genau beschrieben werden kann, unterteilt. (AIS = Abbreviated Injury Scale)

4	4	1	0	0	2	.	2
Körperregion	Art der anatomischen Struktur	Spezifische anatomische Struktur	Verletzungsart innerhalb der Region			Verletzungsschwere	

Bei der AIS werden neun Körperregionen unterschieden: Kopf, Gesicht, Hals, Thorax, Abdomen, Wirbelsäule, untere Extremitäten, obere Extremitäten und weitere Verletzungen, die nicht spezifiziert sind (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4: Die AIS-Körperregionen. Zur Beschreibung der Lokalisation einer Verletzung werden neun Bereiche unterschieden. In dem 7-ziffrigen AIS-Code wird die Körperregion mit der ersten Ziffer angegeben. (AIS = Abbreviated Injury Scale)

AIS-Körperregion	Beschreibung
1	Kopf
2	Gesicht
3	Hals
4	Thorax
5	Abdomen
6	Wirbelsäule
7	Obere Extremität
8	Untere Extremität
9	Weitere Verletzungen

Die Verletzungsschwere der AIS soll einen Rückschluss auf die Überlebenswahrscheinlichkeit des Patienten erlauben. Genaue Wahrscheinlichkeitswerte werden hierbei allerdings nicht angegeben, da die Verletzungsschwere rein deskriptiv kategorisiert ist. In Tabelle 5 sind die verschiedenen Werte aufgelistet. Ein Wert von „9“ beschreibt eine Verletzung, die nicht weiter spezifiziert werden kann (NFS, „not further specified“). Werte ≥ 3 werden zu den lebensbedrohlichen Verletzungen gezählt [99]. Für unsere Studie sind diese daher von besonderer Relevanz.

Tabelle 5: Die Verletzungsschweregrade der AIS. Zur Beschreibung der Verletzungsschwere einer Verletzung werden sieben Grade unterschieden. In dem 7-ziffrigen AIS-Code wird die Verletzungsschwere mit der letzten Ziffer (also der Ziffer nach dem Punkt) angegeben. (AIS = Abbreviated Injury Scale)

AIS-Verletzungsschwere	Beschreibung (in engl.)	Beschreibung (in dt.)
1	Minor	Gering
2	Moderate	Ernsthaft
3	Serious	Schwer
4	Severe	Sehr schwer
5	Critical	Kritisch
6	Maximum	Maximal (nicht behandelbar)
9	NFS	Nicht genauer angegeben

In unserem Beispiel aus Tabelle 3 mit dem AIS-Code „441002.2“ ist gemäß der AIS2005, die im TraumaRegister DGU® aktuell verwendet wird, eine Herzkontusion beschrieben. Die Körperregion „4“ bezeichnet dabei den Thorax, der Zahlenwert „4“ bei der Art der anatomischen Struktur „4“ beschreibt, dass ein „Organ“ betroffen ist, der dritte Ziffernblock („10“) und der vierte Ziffernblock („02“) dienen der weiteren Spezifizierung der Verletzung und die Ziffer „2“ nach der Punktsetzung gibt die Verletzungsschwere (in diesem Fall „ernsthaft“ an).

2.4.1.2 Injury Severity Score (ISS) und New Injury Severity Score (NISS)

Erste Ansätze zur Kalkulation der Gesamtverletzungsschwere gab es nach Einführung der AIS mit dem Maximum-AIS (MAIS) und dem Overall-AIS (OAIS) schon in den frühen 1970er Jahren. Während der MAIS heute noch teilweise zur Verwendung kommt, war der

OAIS zu stark dem subjektiven Einfluss des Kodierers unterworfen, weswegen er mit der AIS-Revision von 1980 aufgegeben wurde [38, 99]. Erst im Jahr 1974 gab es mit der Einführung des Injury Severity Score (ISS) durch Baker et al. einen Score, mit dem sich die Gesamtverletzungsschwere sowie die Überlebenswahrscheinlichkeit adäquat berechnen ließen. Dies traf insbesondere für Patienten, die eine Vielzahl an Verletzungen aufweisen, zu. Es konnte gezeigt werden, dass neben der Hauptverletzung zusätzliche Verletzungen, die alleine nicht lebensbedrohlich wären, einen schwerwiegenden Einfluss auf das Überleben haben. Diesem Fakt wird bei der Berechnung des ISS Rechnung getragen [3].

Der ISS berechnet sich auf Grundlage der AIS. Beim ISS werden insgesamt sechs Körperregionen unterschieden: Kopf, Gesicht, Thorax, Abdomen, Extremitäten und Weichteile. Hiervon zu unterscheiden sind die neun AIS-Körperregionen, die bei der Berechnung des ISS keine Rolle spielen. Zur Berechnung des ISS werden der jeweils höchste AIS-Wert der drei am schwersten verletzten ISS-Körperregionen eines Patienten quadriert und davon die Summe gebildet.

$$ISS = (AIS \text{ Wert Körperregion } A)^2 + (AIS \text{ Wert Körperregion } B)^2 + (AIS \text{ Wert Körperregion } C)^2$$

Der ISS kann Werte zwischen 1 und 75 annehmen, wobei die Verletzungsschwere des Patienten mit höheren Werten zunimmt. Es ist zu betonen, dass pro ISS-Körperregion nur ein AIS-Wert, nämlich der höchste, in die Kalkulation miteinfließt und dass bei einem AIS-Wert von 6 in einer Körperregion automatisch ein Gesamt-ISS von 75 angegeben wird.

Als Modifikation des ISS wurde 1976 von Osler et al der New Injury Severity Score (NISS) vorgestellt. Im Gegensatz zum ISS werden beim NISS die AIS-Werte der drei schwersten Verletzungen, *unabhängig von der Körperregion*, quadriert und anschließend addiert. Wesentlicher Vorteil ist, dass die Gesamtverletzungsschwere von Patienten, die mehrere schwere Verletzungen in nur *einer* Körperregion aufweisen, realitätsgetreuer abgebildet wird [86]. Beispielsweise ergibt sich für einen Patienten, der in der Körperregion „Thorax“ drei Einzelverletzungen mit einem AIS-Wert von 5, 5 und 3 erlitten hat und keine weiteren Verletzungen in anderen Körperregionen aufweist, ein *ISS-Wert* von 25 (da nur der höchste AIS-Wert einer Körperregion in die Berechnung einfließt: $5^2=25$) und ein *NISS-Wert* von 59 ($5^2+5^2+3^2=59$). In einer kürzlich publizierten Studie von Eid et al. hat sich der NISS dem

ISS, v.a. bei stumpfen Traumen, als überlegen gezeigt [27].

Von besonderem Interesse für unsere Studie sind auch die Ergebnisse von Costa et al. aus dem Jahr 2010. Sowohl der ISS, als auch der NISS bewährten sich zur Evaluation der Schwere des Traumas als Bewertungssysteme und korrelierten gut mit der Mortalität und der Morbidität. Für polytraumatisierte Patienten, die vorwiegend Thoraxverletzungen aufwiesen, stellte sich der NISS jedoch als bessere Methode dar, um die Schwere des Traumas widerzugeben [23]. In Anbetracht der Tatsache, dass der NISS (im Gegensatz zum ISS) mehrere Verletzungen pro Körperregion berücksichtigt und dass Thoraxverletzungen in den seltensten Fällen isoliert auftreten, erscheint die Überlegenheit des NISS durchaus plausibel.

Sowohl der ISS und der NISS stellen in der Literatur eine standardmäßige Methode zur Berechnung der Verletzungsschwere und der Beschreibung von Polytraumatisierten dar. Letzendlich existiert aber noch keine internationale, einheitliche Definition für das „Polytrauma“ [13–16, 27, 87, 88, 121]. In einer Literaturrecherche von 1950 bis 2008 konnten Butcher et al. 47 verschiedene verwendete Definitionen für das „Polytrauma“ finden [13]. Eine Miteinbeziehung von physiologischen Werten neben der bisherigen Fokussierung auf eine anatomische Einteilung, wie es beim ISS oder NISS der Fall ist, kann die Definition von Schwerverletzten möglicherweise verbessern [87]. Pape et al. schlugen in ihrer Studie aus dem Jahr 2014 folgende Neudefinition des „Polytraumas“ vor: signifikante Verletzungen (mit einem AIS-Wert ≥ 3) in mindestens zwei verschiedenen AIS-Körperregionen in Verbindung mit einem von fünf physiologischen Parameter. Diese physiologischen Parameter waren: Hypotension ($RR_{\text{systolisch}} \leq 90$ mmHg), Bewusstseinszustand (Glasgow Coma Scale [GCS] score ≤ 9), Azidose (Base excess $\leq -6,0$), Koagulopathie (International normalized ratio [INR] $\geq 1,4$ /partial thromboplastin time [PTT] ≥ 40 Sekunden) und Alter (≥ 70 Jahre) [88]. Es bleibt abzuwarten, ob und welche Definition sich international durchsetzen kann. Um eine gute Vergleichbarkeit mit anderen ähnlichen Studien zu erreichen und damit eine adäquate Diskussionsgrundlage zu schaffen, entschlossen wir uns für den ISS als Einschlusskriterium bei der Verletzungsschwere.

2.4.1.3 Glasgow Coma Scale (GCS)

Seit 1974 stellt die GCS eine verlässliche Methode dar, um den Bewusstseinsgrad von Patienten zu bestimmen [104]. Ursprünglich für die Evaluation von Patienten mit Schädel-Hirn-Verletzung als leicht in der alltäglichen Stationsarbeit durchzuführende Untersuchung entwickelt, hat sich der Score mittlerweile weltweit in der Schwerverletztenversorgung als Standard etabliert [105]. Zudem stellt die GCS die Grundlage für andere Bewertungssysteme, wie z.B. den Revised Trauma Score (RTS) oder den Mainzer Emergency Evaluation Score (MEES), dar. Als Kritikpunkt muss angemerkt werden, dass die GCS stark den subjektiven Einflüssen des Untersuchers unterworfen ist [66, 71].

Die GCS wird folgendermaßen berechnet. In insgesamt drei Bewertungskategorien kann der Patient einen Punktwert von mindestens 3 bis maximal 15 erreichen. In jeder Kategorie wird dem Patienten eine Punktzahl zugeordnet, die anschließend zu einer Gesamtpunktzahl addiert werden. Ein höherer Wert bedeutet einen besseren Bewusstseinszustand. Es werden folgende Kategorien unterschieden: „Eye opening“ (Augen öffnen), „Verbal response“ (Verbale Antwort) und „Best motor response“ (Beste motorische Antwort) (siehe Tabelle 6; um Missverständnisse zu vermeiden, wurden die Originalbegriffe im Englischen verwendet).

Für das Schädel-Hirn-Trauma können 3 Schweregrade mit der GCS unterschieden werden: leicht (GCS 15-13), mittelschwer (GCS 12-9) und schwer (GCS ≤ 8) [78, 91, 92]. Entsprechend dieser Einteilung wählten wir den Parameter „GCS ≤ 8 “, um den Bewusstseinsgrad des Patienten und den Schweregrad eines Schädel-Hirn-Traumas beurteilen zu können.

Tabelle 6: Der Glasgow Coma Scale (GCS) dient der Beurteilung des Bewusstseinsgrads. In insgesamt drei Bewertungskategorien kann der Patient einen Punktwert von mindestens 3 bis maximal 15 erreichen. In jeder Kategorie wird dem Patienten eine Punktzahl zugeordnet, die anschließend zu einer Gesamtpunktzahl addiert werden. Ein höherer Wert bedeutet einen besseren Bewusstseinszustand.

Kategorie	Bewertung	Punkte
Eye opening	Spontaneous	4
	To speech	3
	To pressure	2
	None	1
Verbal response	Orientated	5
	Confused	4
	Words	3
	Sounds	2
	None	1
Best motor response	Obeying commands	6
	Localising	5
	Normal flexion (withdrawal)	4
	Abnormal flexion	3
	Extension	2
	None	1

In Bezug auf Thoraxverletzungen stellt die GCS einen sehr wichtigen Parameter dar. In der Studie von Kulshreshtha et al. konnten die Autoren nachweisen, dass ein niedriger GCS-Wert neben dem Alter der am stärksten unabhängige Prädiktor für die Mortalität bei Patienten mit Thoraxtrauma ist [68].

2.4.2 Thoraxverletzungen

Die in unserer Studie bestimmten Thoraxverletzungen unterteilten wir, wie in Tabelle 7 dargestellt, grob in zwei Gruppen. Einerseits die schweren, akut lebensbedrohlichen Thoraxverletzungen, die einer raschen Therapie bedürfen, und andererseits die potentiell leichteren Thoraxverletzungen, die nicht akut handlungsbedürftig sind. Entsprechend dieser Einteilung sind auch die epidemiologischen Häufigkeiten. Während die leichteren

Thoraxverletzungen eher selten diagnostiziert werden, stellen v.a. die Lungenkontusion, der Pneumothorax, der Hämatothorax und die Rippenfrakturen eine häufige Verletzung dar.

Tabelle 7: Einteilung der Thoraxverletzungen. Anhand der Verletzungsschwere und der Akutizität können zwei Gruppen unterschieden werden. Die häufigsten Thoraxverletzungen (Rippenserienfraktur inklusive instabilem Thorax, Pneumothorax, Hämatothorax und Lungenkontusion) sind hervorgehoben. (AIS = Abbreviated Injury Scale) (Traumaregister DGU®, 2002-2012)

Schwere, akut lebensbedrohliche Thoraxverletzungen	Potentiell leichtere Thoraxverletzungen
Herzverletzungen	Fraktur 1 Rippe
Rückenmarksverletzung	Fraktur 2 Rippen
Spannungspneumothorax	Rippenserienfraktur inkl. instabilem Thorax
Arterielle Gefäßverletzung	Pneumothorax
	Hämatothorax
	Lungenkontusion
	Lungenparenchymverletzung
	Zwerchfellverletzung
	Wirbelsäulenverletzung gesamt (AIS ≥ 2)

2.4.3 Outcome

Die Gesamtlethalität stellt den wichtigsten Wert bei der Beurteilung des Outcomes der Patienten dar. Zur Abschätzung der Überlebensprognose bei Aufnahme in die Klinik wurde der Revised Injury Severity Classification Score, Version 2 (RISC II-Score) verwendet. Dieser weist gegenüber der früheren Version einige Verbesserungen auf. So kann dieser beispielsweise auch für Patienten mit weniger dokumentierten Werten im TraumaRegister DGU® berechnet werden. Damit ist er bei genauerer Berechnung der Überlebenswahrscheinlichkeit auf ein größeres Patientenkollektiv anwendbar [73, 74].

Als Verhältnis der beobachteten zu der erwarteten/prognostizierten Letalität (angegeben durch den RISCII) wurde die Standardised Mortality Ratio (SMR) berechnet.

$$SMR = \frac{Letalität}{RISC\ II\ Score} = \frac{"Beobachtete" Letalität}{"Prognostizierte" Letalität}$$

Entspricht die erwartete der beobachteten Letalität, ergibt die SMR einen Wert von 1. Ein Wert kleiner als 1 bedeutet, dass die beobachtete Letalität kleiner war als die Erwartete und somit weniger Patienten als erwartet verstorben sind. Ein Wert größer als 1 beschreibt die Tatsache, dass weniger Patienten als erwartet überlebt haben.

Weiterhin wurden folgende Outcomeparameter bestimmt:

- *Organversagen*
- *Multiorganversagen*
- *Dauer der Beatmung (Tage mit Intubation)*
- *Dauer der Tage auf ICU*
- *Beatmungsfreie Tage in Ventilator-free-days (30 Tage)*
- *Liegedauer im Krankenhaus*
- *Anlage einer Thoraxdrainage im Schockraum bzw. OP*

3 Ergebnisse

Insgesamt konnten unter Berücksichtigung der definierten Ein- und Ausschlusskriterien 16.545 Fälle aus 59 Kliniken ausgewertet werden. Hierbei wurden 5.005 Patienten (30,3%) der Prä-Gruppe und 8.559 Patienten (51,7%) der Post-Gruppe zugeordnet. Aufgrund sehr unterschiedlichen und unregelmäßigen WBCT-Raten wurden die Patienten aus dem jeweiligen, klinikspezifischen Einführungsjahr der regelhaften WBCT-Diagnostik (n= 2.981; 18,0%) bei der Auswertung ausgeschlossen.

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt als deskriptive Auswertung zur Hypothesengenerierung ohne konfirmatorische Prüfung. Kontinuierliche Variablen werden als Mittelwert (MW) mit Standardabweichung (SD) dargestellt. Häufigkeitsverteilungen werden mit Hilfe von Kreuztabellen bestimmt und als Prozentangaben dargestellt. Zur Beurteilung der statistischen Unsicherheit von Mittelwerten und Prozentangaben wird das 95% Konfidenzintervall (95% KI) berechnet.

3.1 Diagnostik

Bei Subsumierung aller CT-Untersuchung jeglicher Art (also neben WBCT auch organfokussierte CT), stieg der Anteil von 73,7% aller Patienten vor Einführung der WBCT-Diagnostik auf 92,8% nach Einführung dieser Untersuchungsmodalität. Die Ganzkörper-CT für sich alleine genommen, verzeichnete vor der Einführung der WBCT-Diagnostik einen Anteil aller Patienten von 10,0%, während er danach bei 81,1% lag. Eine konventionelle, thorakale Röntgenuntersuchung wurde nach Einführung der Ganzkörper-CT als Standardverfahren bei 59,8% aller Patienten durchgeführt, im Vergleich zu einem Anteil von 85,2% in den drei Jahren davor. Die Anzahl an durchgeführten FAST-Untersuchungen zeigte hingegen keine großen Veränderungen (prä: 88,4%; post: 86,6%) (siehe Abbildung 3).

Insgesamt stehen einem deutlichen Anstieg der WBCT-Diagnostik somit ein Rückgang der Röntgen-Thorax-Untersuchungen gegenüber, während der Anteil der durchgeführten FAST-Untersuchungen annähernd gleichblieb.

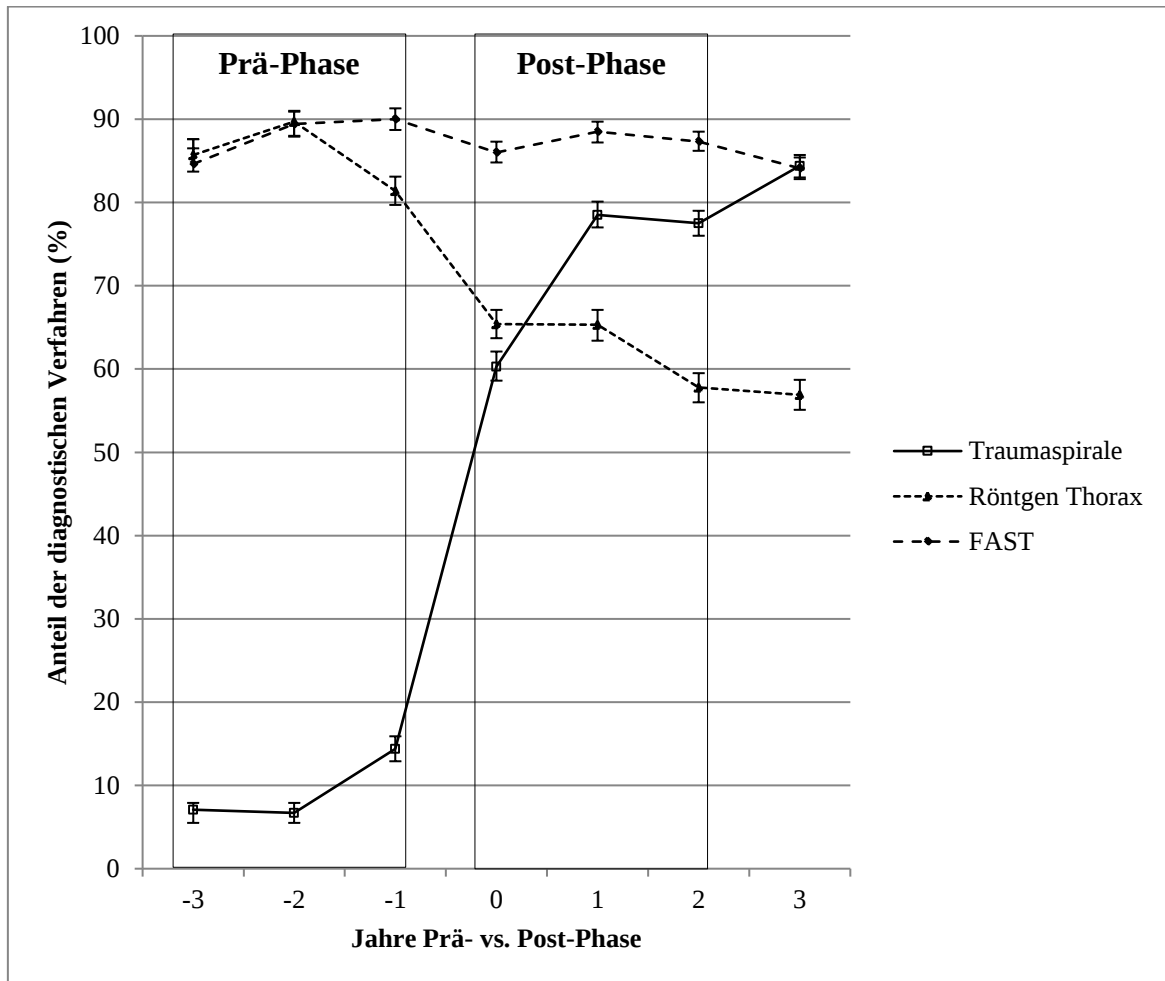


Abbildung 3: Relative Häufigkeit der diagnostischen Verfahren im zeitlichen Verlauf. Dargestellt ist der Anteil an WBCT, Roentgen Thorax und FAST insgesamt für alle Kliniken pro Jahr. Man erkennt den Anstieg an WBCT und die Abnahme an Roentgen-Thorax-Untersuchungen. Der Anteil an FAST ist über den Beobachtungszeitraum nahezu konstant hoch. Das untere und obere 95%ige Konfidenzintervall ist durch die Whiskers angegeben. (WBCT = Whole-Body-CT/Ganzkörper-Computertomographie, FAST = Focussed Assessment with Sonography for Trauma). Erstveröffentlichung dieser Grafik in: [122]

3.2 Epidemiologie

Die Geschlechterverteilung war vor und nach der Einführung der WBCT-Diagnostik annähernd gleich (Anteil männliche Patienten davor 73,5%, 95% KI 72,2–74,7; danach 72,8%, 95% KI 71,9–73,8). Was das Durchschnittsalter betrifft, war ein leichter Anstieg von 43,0 (95% KI 42,5–43,6) auf 45,7 (95% KI 45,2–46,1) Jahre zu verzeichnen. Der Anteil an Patienten über 60 Jahren betrug 23,5% in der Prä-Gruppe bzw. 27,9% in der Post-Gruppe. Der ISS lag im Durchschnitt bei 23,9 (95% KI 23,5–24,2) vor bzw. bei 24,5 (95% KI 24,2–

24,7) nach der WBCT-Einführung und der NISS bei 29,4 (95% KI 28,9-29,8) davor bzw. 30,2 (95% KI 29,9-30,6) danach. In beiden Gruppen war das Trauma hauptsächlich stumpf (prä: 94,8%; post: 94,5%) und die Hauptunfallursache der Verkehrsunfall (prä: 60,0%; post: 58,2%). Die Verteilung des Unfallhergangs ist in den Abbildungen 4 und 5 dargestellt. Der Anteil an Patienten mit einem $GCS \leq 8$ lag vor Einführung der WBCT-Diagnostik bei 30,3% und danach bei 28,9%. Präklinisch wiesen 18,2% (prä) bzw. 17,9% (post) aller Patienten und in der Notaufnahme 14,1% (prä) bzw. 13,3% (post) aller Patienten einen systolischen Blutdruck ≤ 90 mmHg auf. Folgendes Verletzungsmuster ergab sich für die beiden Patientenkollektive: $AIS_{Kopf} \geq 3$ (prä: 48,9%; post: 48,7%), $AIS_{Gesicht} \geq 3$ (prä: 2,4%; post: 4,2%), $AIS_{Thorax} \geq 3$ (prä: 44,1%; post: 50,0%), $AIS_{Abdomen} \geq 3$ (prä: 17,5%; post: 15,8%), $AIS_{Extremitäten} \geq 3$ (prä: 37,2%; post: 34,0%) und $AIS_{Weichteile} \geq 3$ (prä: 0,9%; post: 2,0%). Zusammenfassend ergab sich das Bild zweier sehr gut vergleichbarer Patientenkollektive, wobei die Patienten in der Post-Gruppe in sehr geringem Maße ein etwas höheres Alter und eine höhere Verletzungsschwere aufwiesen. In beiden Gruppen stellte der Verkehrsunfall die Hauptursache des Unfallhergangs dar.

Tabelle 8: Vergleich der Patientengruppen vor und nach der WBCT-Einführung. Patienten aus den drei Jahren vor der WBCT-Einführung wurden der Gruppe „Prä-WBCT“ und Patienten aus den drei Jahren nach der WBCT-Einführung wurden der Gruppe „Post-WBCT“ zugeordnet. Dargestellt sind demographische Daten, der Bewusstseins- und Kreislaufzustand des Patienten in der Prähospitalphase, die Prognose bei Aufnahme, das Verletzungsmuster anhand betroffener AIS-Körperbereiche (mit einer Verletzungsschwere von ≥ 3) und die Verletzungsschwere. Angaben mit unterem und oberem 95%igem-Konfidenzintervall. (AIS = Abbreviated Injury Scale; GCS = Glasgow Coma Scale; ISS = Injury Severity Score; NISS = New Injury Severity Score; RISC II = Revised Injury Severity Classification Score II; $RR_{\text{systolisch}}$ = systolischer Blutdruck; WBCT= Whole-Body-CT/Ganzkörper-Computertomographie)

	Prä-WBCT	Post-WBCT
Anzahl (n)	5005	8559
Demographische Daten		
Anteil Männer	73,5% [72,2-74,7]	73,0% [71,9-73,8]
Durchschnittsalter (in Jahren)	43,0 [42,5-43,6]	45,7 [45,2-46,1]
Trauma stumpf	94,8% [94,2-95,2]	94,5% [94,2-95,0]
Prähospitalphase		
Anteil GCS ≤ 8	30,3% [29,0-31,6]	28,9% [28,0-29,6]
$RR_{\text{systolisch}} \leq 90$ mmHg	18,2% [17,2-19,4]	17,9% [17,0-18,7]
Prognose		
RISC II (Prognose Letalität)	17,63%	17,31%
Verletzungsmuster		
AIS Kopf ≥ 3	48,9 % [47,5 – 50,3]	48,7 [47,6 – 49,8]
AIS Gesicht ≥ 3	2,4% [2,0-2,9]	4,2% [3,8-4,6]
AIS Thorax ≥ 3	44,1% [42,8-45,5]	50,0% [48,9-51,0]
AIS Abdomen ≥ 3	17,5% [16,4-18,5]	15,8% [15,0-16,6]
AIS Extremitäten ≥ 3	37,2% [35,9-38,6]	34,0% [33,0-35,0]
AIS Weichteile ≥ 3	0,9% [0,6-1,1]	2,0 [1,7-2,3]
Anteil ohne Thoraxverletzungen	45,8% [44,4-47,2]	40,2% [39,2-41,3]
Verletzungsschwere		
ISS	23,9 [23,5-24,2]	24,5 [24,2-24,7]
NISS	29,4 [28,9-29,8]	30,2 [29,9-30,6]

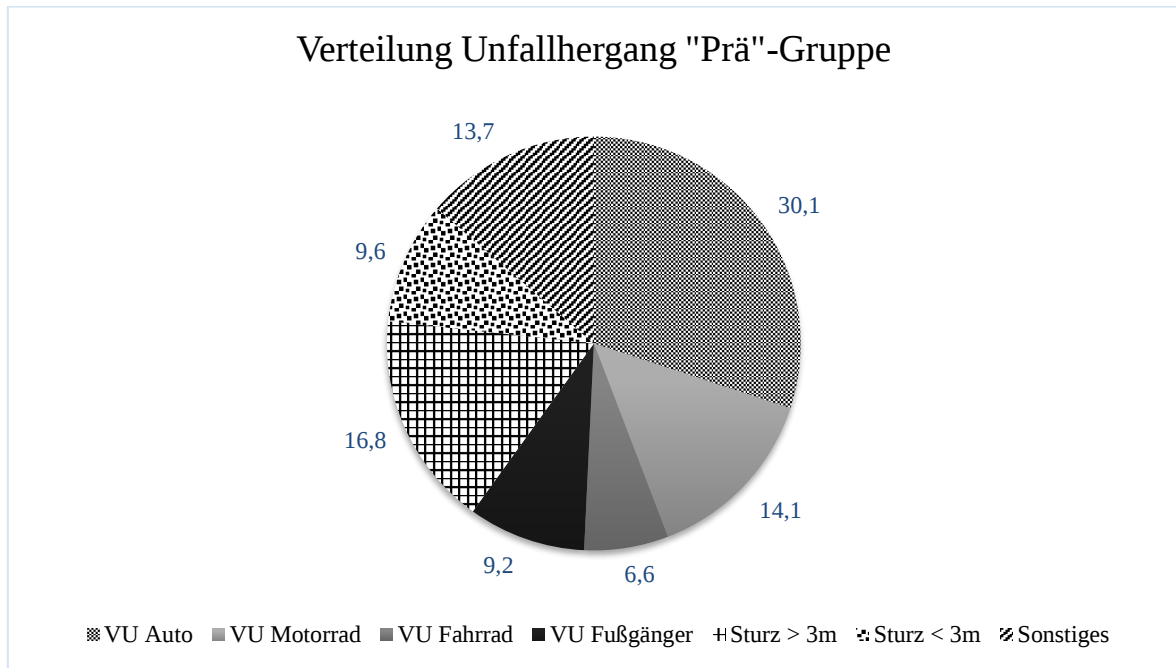


Abbildung 4: Verteilung Unfallhergang vor WBCT-Einführung. Patienten aus den 3 Jahren vor der Einführung wurden der Prä-Gruppe zugeordnet. Gesamtzahl = 4994 Patienten. Angaben in Prozent. (VU = Verkehrsunfall; WBCT = Whole-Body-CT/Ganzkörper-Computertomographie).

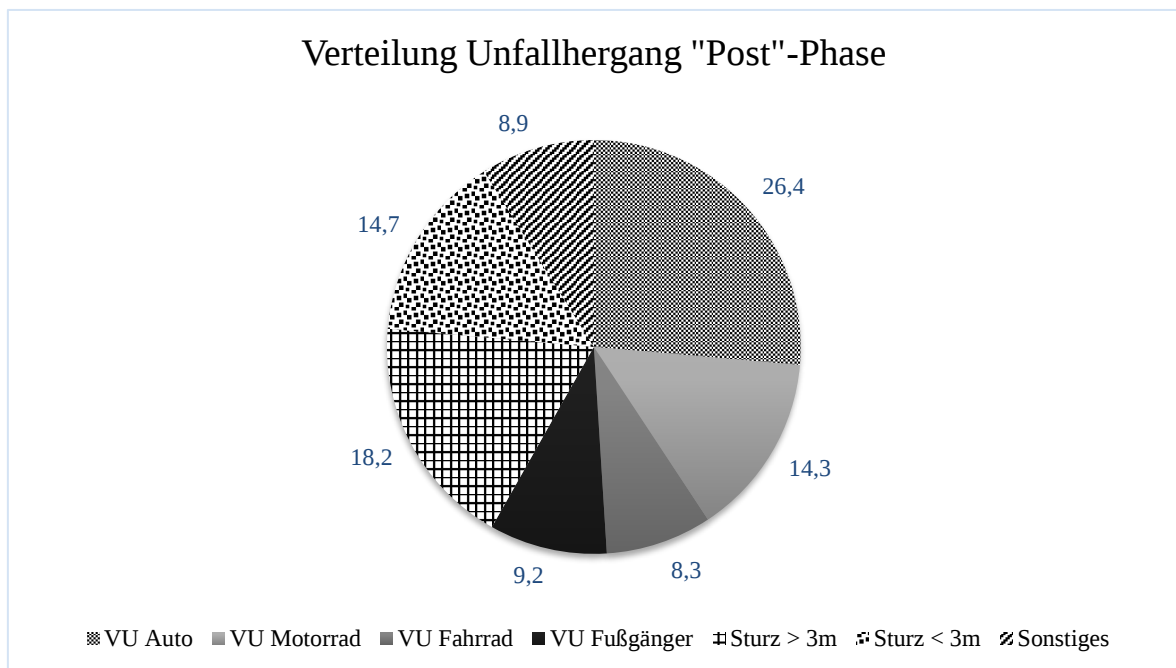


Abbildung 5: Verteilung Unfallhergang nach WBCT-Einführung. Patienten aus den 3 Jahren nach der Einführung wurden der Post-Gruppe zugeordnet. Gesamtzahl = 8133 Patienten. Angaben in Prozent. (VU = Verkehrsunfall; WBCT = Whole-Body-CT/Ganzkörper-Computertomographie).

3.3 Thoraxverletzungen

Mit Einführung der WBCT-Diagnostik nahm die Anzahl Schwerverletzter ohne Thoraxverletzung ab ($\text{AIS}_{\text{Thorax}} = 0$ von 45,8% auf 40,2%), während der Anteil von Patienten mit relevanten Thoraxverletzungen ($\text{AIS}_{\text{Thorax}} \geq 3$ von 44,1% auf 50,0%) anstieg. Die Verteilung der Verletzungsschwere für die Körperregion Thorax gemäß dem AIS ist der Tabelle 9 zu entnehmen. Bei folgenden Thoraxverletzungen war eine relevante Veränderung zu beobachten: Lungenparenchymverletzungen (prä: 12,6%; post 5,9%), Lungenkontusionen (prä: 18,5%; post: 28,7%), Hämatothorax (prä: 15,6%; post: 14,0%), Pneumothorax (prä: 17,3%; post: 21,6%), Rippenserienfraktur inklusive instabilem Thorax (prä: 10,6%; post: 21,6%) und thorakale Wirbelsäulenverletzungen gesamt (ab AIS 2) (prä: 10,9%; post 13,2%). Bei folgenden Thoraxverletzungen zeigte sich keine relevante Veränderung: Herzverletzungen (prä: 0,4%; post: 0,5%), thorakale Rückenmarkverletzungen (prä: 1,7%; post: 1,9%), Spannungspneumothorax (prä: 2,9%; post: 2,5%), arterielle Gefäßverletzungen im Thorax (prä: 1,5%; post: 1,5%), Fraktur 1 Rippe (prä: 3,4%; post: 3,3%), Fraktur 2 Rippen (prä: 6,4%; post: 6,6%) und Zwerchfellverletzungen (prä: 1,0%; post: 1,1%). Die Häufigkeiten der Thoraxverletzungen sind mit Standardabweichungen in Tabelle 10 dargestellt.

Tabelle 9: Verteilung der Verletzungsschwere des Thorax anhand der Abbreviated Injury Scale (AIS). Patienten aus den drei Jahren vor der WBCT-Einführung wurden der Gruppe „Prä-WBCT“ und Patienten aus den drei Jahren nach der WBCT-Einführung wurden der Gruppe „Post-WBCT“ zugeordnet. Bei einem AIS-Wert von „0“ liegt keine Verletzung vor. Ein AIS-Wert von „6“ beschreibt die höchste Verletzungsschwere. Anzahl (n): Prä = 5005; Post = 8559 (WBCT = Whole-Body-CT/Ganzkörper-Computertomographie)

	Prä-WBCT	Post-WBCT
AIS Thorax = 0	45,8%	40,2%
AIS Thorax = 1	2,8%	2,0%
AIS Thorax = 2	9,2%	9,3%
AIS Thorax = 3	24,9%	28,2%
AIS Thorax = 4	12,4%	14,6%
AIS Thorax = 5	4,7%	5,3%
AIS Thorax = 6	0,2%	0,3%

Tabelle 10: Vergleich der Inzidenzen der Thoraxverletzungen vor und nach der WBCT-Einführung. Patienten aus den drei Jahren vor der WBCT-Einführung wurden der Gruppe „Prä-WBCT“ und Patienten aus den drei Jahren nach der WBCT-Einführung wurden der Gruppe „Post-WBCT“ zugeordnet. Es werden relevante und nicht relevante Veränderungen unterschieden. Angaben mit unterem und oberem 95%igem-Konfidenzintervall. (AIS = Abbreviated Injury Scale; WBCT = Whole-Body-CT/Ganzkörper-Computertomographie)

Parameter	Prä-WBCT	Post-WBCT
Anzahl (n)	5002	8497
Relevante Veränderungen		
Lungenparenchymverletzung	12,6% [11,7-13,5]	5,9% [5,4-6,4]
Lungenkontusion	18,5% [17,4-19,6]	28,7 [27,7-29,7]
Hämatothorax	15,6% [14,6-16,6]	14,0% [13,3-14,7]
Pneumothorax	17,3% [16,3-18,4]	21,6% [20,7-22,5]
Rippenserienfraktur inklusive instabilem Thorax	10,6% [9,7-11,4]	21,6% [20,7-22,5]
Wirbelsäule (thorakal) $\geq$ AIS 2	10,9% [10,0-11,8]	13,2% [12,5-13,9]
Nicht-relevante Veränderungen		
Herzverletzungen	0,4% [0,2-0,6]	0,5% [0,4-0,7]
Rückenmark (thorakal)	1,7% [1,3-2,1]	1,9% [1,6-2,2]
Spannungspneumothorax	2,9% [2,4-3,4]	2,5% [2,2-2,8]
Arterielle Gefäßverletzung (Thorax)	1,5% [1,2-1,8]	1,5% [1,2-1,8]
Fraktur von 1 Rippe	3,4% [2,9-3,9]	3,3% [2,9-3,7]
Fraktur von 2 Rippen	6,4% [5,7-7,1]	6,6% [6,1-7,1]
Zwerchfell-verletzung	1,0% [0,7-1,3]	1,1% [0,9-1,3]

Insgesamt nahm die Anzahl an dokumentierten Thoraxverletzungen zu. Insbesondere Lungenparenchymverletzungen, Lungenkontusionen, Pneumothoraces, Rippenserienfrakturen und thorakale Wirbelsäulenverletzungen waren von einem relevanten Anstieg betroffen. Demgegenüber nahm der Anteil an diagnostizierten Hämatothoraces ab.

3.4 Outcome

Im Rahmen der Auswertung zeigte sich, dass die Letalität der Patienten vor und nach der WBCT-Einführung nahezu gleich blieb. Mit 774 von 5.005 Patienten lag sie in der Gruppe mit konventioneller Bildgebung bei 15,5% (95% KI 14,5–16,5) und mit 1.339 von 8.559 in der Gruppe mit WBCT als primärer diagnostischer Prozess bei 15,6% (95% KI 14,9–16,4). Für die prognostizierte Mortalität bzw. die Überlebensprognose bei Aufnahme in den Schockraum ergaben sich durch die WBCT-Implementierung ebenfalls keine relevanten Unterschiede: der RISC II-Score betrug 17,6 in der Prä-Gruppe und 17,3 in der Post-Gruppe. Die daraus kalkulierte SMR liegt somit vor Einführung der WBCT bei 0,88 und danach bei 0,90.

Für den Anteil an Patienten mit Organversagen (prä: 43,5%, 95% KI 42,0–45,0; post: 43,9%, 95% KI 42,7–45,1) und Multiorganversagen (prä: 26,5%, 95% KI 25,2–27,8; post: 26,9%, 95% KI 25,8–27,9) waren durch die WBCT-Einführung auch keine relevanten Veränderungen nachzuweisen.

Die Dauer der Beatmung bzw. der Tage mit Intubation (prä: 6,7, 95% KI 6,6–7,2; post: 6,0, 95% KI 5,4–5,8), die Dauer der Tage auf ICU (prä: 10,8, 95% KI 10,5–11,2; post: 9,7, 95% KI 9,4–10,0) und die Liegedauer im Krankenhaus (prä: 26,2, 95% KI 25,5–26,9; post: 23,3, 95% KI 22,7–23,9) nahmen mit Einführung der WBCT-Diagnostik im Vergleich zur konventionellen Bildgebung ab. Bei der Anzahl an beatmungsfreien Tagen („Ventilator-free-days“) bezogen auf 30 Tage war ein leichter Anstieg von 19,8 Tagen (95% KI 19,4–20,1) auf 20,8 Tage (95% KI 20,6–21,1) zu verzeichnen. Eine Abnahme zeigte sich bei dem Anteil an Patienten, bei denen in der Schockraum- bzw. OP-Phase eine Thoraxdrainage gelegt (prä: 6,6%, 95% KI 5,9–7,2; post: 5,6%, 95% KI 5,1–6,1) bzw. die intubiert (prä: 55,6%, 95% KI 54,2–57,0; post: 49,3%, 95% KI 48,3–50,4) wurden. Das Zeitmanagement im Schockraum veränderte sich deutlich. Während in Prä-Gruppe die Schockraumphase 78 Minuten (95% KI 76–79) dauerte, lag sie in der Post-Gruppe bei 64 Minuten (95% KI 63–65). Dies bedeutet eine Verkürzung der Schockraumzeit um 14 Minuten. Die Zeitdauer, die in der Schockraumphase von Aufnahme bis WBCT-Durchführung vergeht, sank von 31,3 Minuten

(95% KI 29,8-32,9) vor auf 23,7 Minuten (95% KI 23,3-24,0) nach WBCT-Einführung (siehe Abbildung 6 und 7).

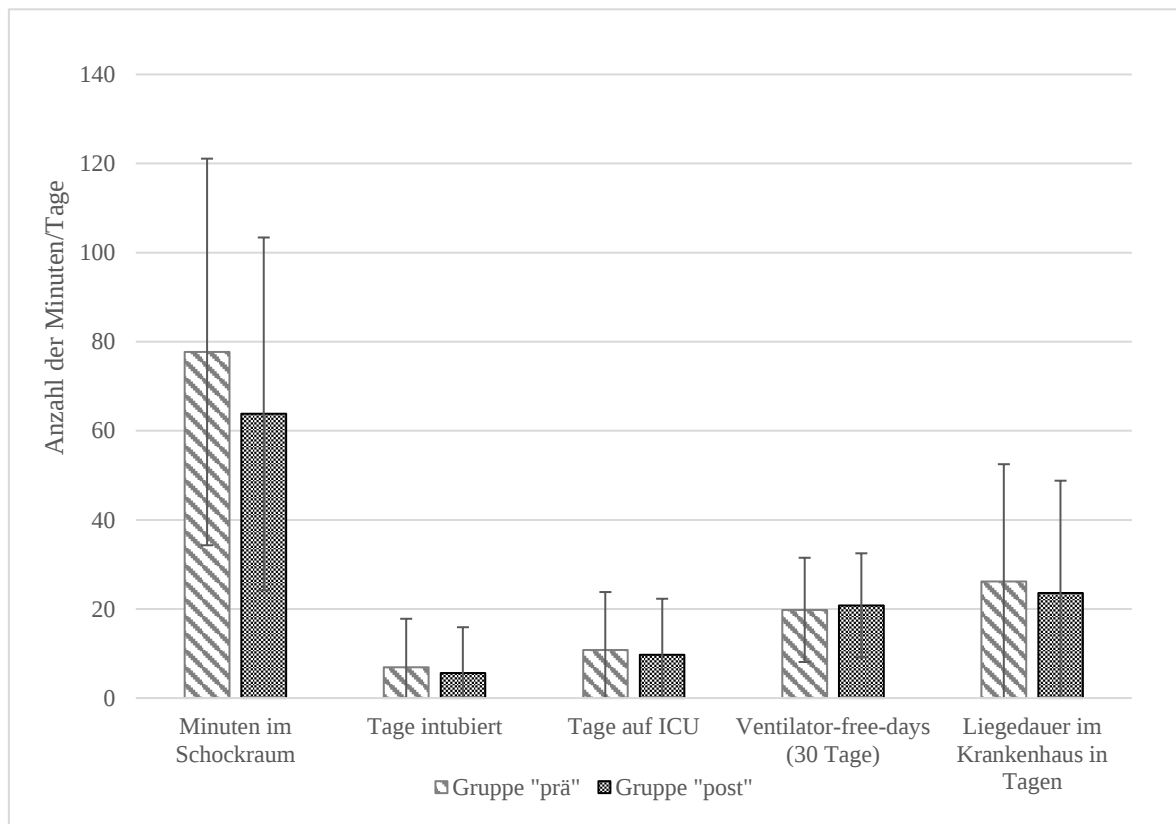


Abbildung 6: Outcome I. Vergleich vor und nach der WBCT-Einführung. Patienten aus den drei Jahren vor der WBCT-Einführung wurden der Gruppe „prä“ und Patienten aus den drei Jahren nach der WBCT-Einführung wurden der Gruppe „post“ zugeordnet. Dargestellt sind verschiedenen Outcome-Parameter. Das untere und obere 95%ige Konfidenzintervall ist durch die Whiskers angegeben. Man erkennt insbesondere bei den im Schockraum verbrachten Minuten und bei der Liegedauer im Krankenhaus eine Reduktion in der Post-Gruppe im Vergleich zu der Prä-Gruppe. (ICU = Intensive Care Unit; WBCT = Whole-Body-CT/Ganzkörper-Computertomographie)

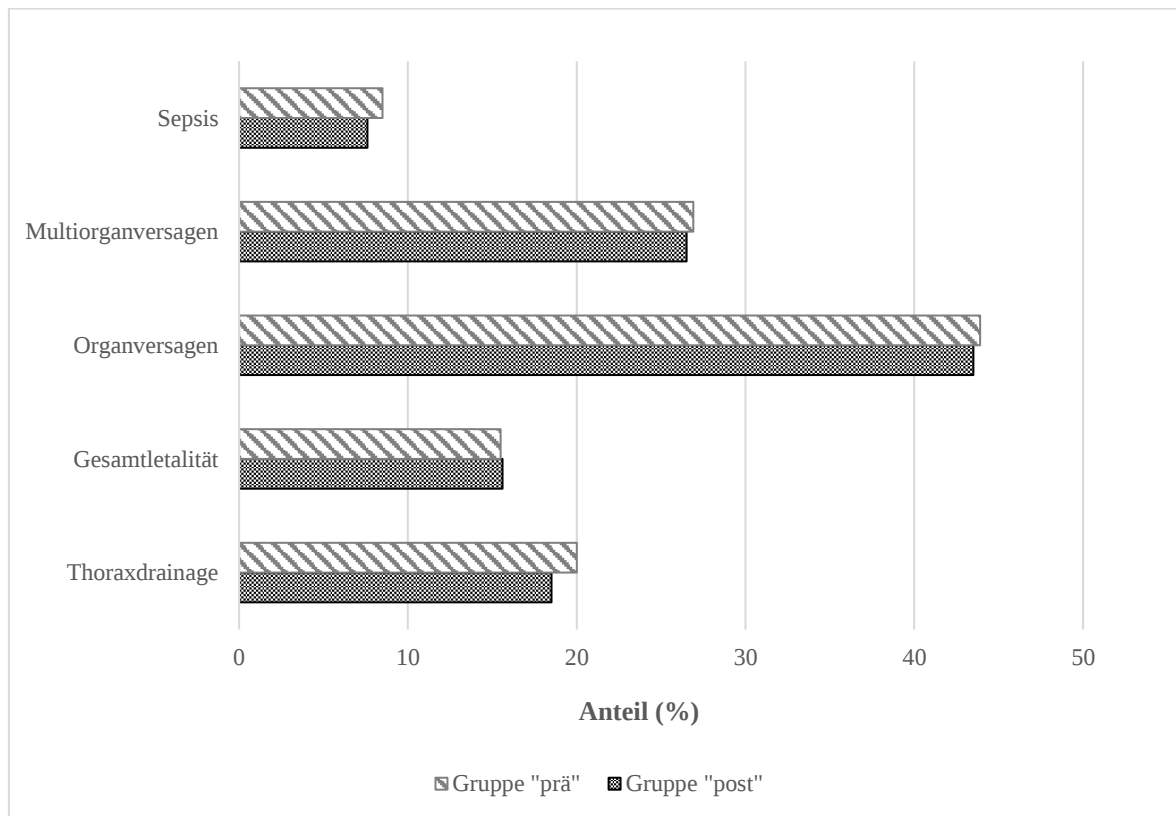


Abbildung 7: Outcome II. Vergleich vor und nach der WBCT-Einführung. Patienten aus den drei Jahren vor der WBCT-Einführung wurden der Gruppe „prä“ und Patienten aus den drei Jahren nach der WBCT-Einführung wurden der Gruppe „post“ zugeordnet. Dargestellt sind die Gesamttletalität, der Anteil an Patienten mit Sepsis, Multiorganversagen, Organversagen und der Anteil an Patienten mit angelegten Thoraxdrainagen in den beiden Gruppen. Man erkennt, dass sich die Letalität nur geringfügig verändert hat, der Anteil an angelegten Thoraxdrainagen jedoch leicht abgenommen hat. (WBCT = Whole-Body-CT/Ganzkörper-Computertomographie)

Insgesamt konnte durch die Einführung der WBCT-Diagnostik keine deutliche Verbesserung des Outcomes nachgewiesen werden. Die Gesamttletalität und die prognostizierte Überlebenswahrscheinlichkeit bei Aufnahme stellte sich in beiden Gruppen annähernd gleich dar. Für die Beatmungsdauer, die Dauer der Tage auf und die Liegedauer im Krankenhaus wurde ein leichter Rückgang verzeichnet.

4 Diskussion

Ziel unserer Studie war es festzustellen, ob bei Polytraumatisierten in der Schockraumdiagnostik die WBCT-Diagnostik der konventionellen Röntgenbildgebung und ggf. zusätzlicher organfokussierter CT-Diagnostik bezüglich der Diagnoserate von Thoraxverletzungen überlegen ist und ob dies Auswirkungen auf das Überleben für den Patienten hat.

Wir konnten einerseits zeigen, dass sich durch die Einführung der WBCT einige leichtere Thoraxverletzungen besser nachweisen ließen, wohingegen sich die Diagnoserate für schwerere Thoraxverletzungen nicht veränderte. Andererseits führte die Einführung der WBCT-Diagnostik zu keiner Verbesserung der Prognose für den Patienten.

Somit kann die erste Nullhypothese („Die Inzidenz diagnostizierter Thoraxverletzungen hat sich mit Einführung der WBCT-Diagnostik nicht relevant verändert“) abgelehnt werden.

Die zweite Nullhypothese („Die Einführung der WBCT-Diagnostik hat zu keiner Verbesserung des Outcomes der Patienten geführt“) kann angenommen werden.

4.1 Analyse Thoraxverletzungen

Im Rahmen der Auswertungen konnte keine Überlegenheit der WBCT-Diagnostik im Vergleich zur konventionellen Bildgebung nachgewiesen werden. Zwar war eine relevante Zunahme von diagnostizierten Lungenkontusionen, Pneumothoraces, Rippenfrakturen und thorakalen Wirbelsäulenverletzungen zu beobachten, aber zugleich auch eine Abnahme der Diagnoserate von Lungenparenchymverletzungen und Hämatothoraces. Zusammen mit der Tatsache, dass sich durch die Einführung der neuen Untersuchungsmodalität bei der Diagnose der weiteren thorakalen Verletzungen (z.B. Spannungspneumothorax oder Herzverletzungen) keine relevante Verbesserung zeigte, lässt sich kein klarer Vorteil der WBCT-Diagnostik gegenüber der konventionellen Bildgebung schlussfolgern. Allein bei der Diagnose von einigen leichteren, nicht akut lebensbedrohlichen Thoraxverletzungen scheint die WBCT überlegen zu sein.

Als erste Studie, die die Ganzkörper-Multislice-CT hinsichtlich einer diagnostischen Überlegenheit gegenüber der konventionellen Bildgebung in Bezug auf Thoraxverletzungen untersucht hat, konnte in einer Literaturrecherche die Arbeit von Rieger et al. aus dem Jahr 2002 gefunden werden. Hintergrund war eine Umstellung des Schockraumalgorithmus hin zu einer größeren Gewichtung der WBCT als Bildgebung. Es zeigte sich, dass lediglich 4% der Verletzungen übereinstimmend im WBCT und in der thorakalen Röntgenaufnahme nachgewiesen werden konnten. Bei 18% der Thoraxverletzungen gelang nur ein Nachweis in der WBCT und bei 78% der Läsionen erreichte man durch die Befunde im WBCT einen diagnostischen Zusatzgewinn hinsichtlich des Verletzungsausmaßes [90]. Einschränkung muss erwähnt werden, dass gemäß dem hier angewendeten „Innsbrucker Schockraumalgorithmus“ für Polytraumatisierte die Indikation für die Durchführung einer thorakalen Röntgenaufnahme nicht standardmäßig war. So wurde bei dieser bei einem Thoraxtrauma nur „optional“ durchgeführt. Bei folgenden Indikationen wurde eine Röntgenaufnahme des Thorax angefertigt: erhebliche Beatmungsprobleme oder Verdacht auf einen Spannungspneumothorax oder eine Tubus- bzw. Katheterfehlage. Im Gegensatz zu unserer Studie wurde somit ein vorselektioniertes Kollektiv mit einer erwartungsgemäß höheren Verletzungsschwere-/muster des Thorax analysiert und erlaubt nur einen bedingten Vergleich mit unseren Daten. Zudem finden sich keine Angaben über die demographischen Daten im Sinne von Alter, Verletzungsschwere (nach dem ISS), Geschlecht, etc. der dem Vergleich unterzogenen Patienten. Es lässt sich der Studie ebenso nicht entnehmen, bei welcher Art von Thoraxverletzungen die WBCT einen Mehrgewinn an Informationen brachte. Ob es sich hierbei ebenfalls um leichtere Thoraxverletzungen handelte, bleibt fraglich und lässt somit keinen genauen Vergleich mit unseren Ergebnissen zu. Die hier gezeigte deutliche diagnostische Überlegenheit der WBCT können wir mit unseren Ergebnissen nicht bestätigen.

In der Studie von Albrecht et al. aus dem Jahr 2004, die die Wertigkeit der Ganzkörper-CT in Einzeilentechnik gegenüber der konventionellen Bildgebung untersucht, kommen die Autoren zu ähnlichen Ergebnissen wie Rieger et al. Insgesamt wurden 50 polytraumatisierte Patienten im Schockraum mit einer WBCT untersucht. Falls keine weitere akute Intervention von Nöten war, wurde im Anschluss eine zusätzlich, konventionelle Röntgenuntersuchung angefertigt. Während die WBCT alle 75 thorakalen Einzelverletzungen nachweisen konnte

und somit eine Sensitivität von 100% aufwies, wurden durch die zusätzliche Röntgenaufnahme nur 12 von 61 Thoraxverletzungen erkannt. Die Sensitivität lag damit bei 20%. Bei genauerer Betrachtung konnten im WBCT alle Mediastinalhämatome (18 von 18), alle Hämatothoraces (22 von 22), alle Pneumothoraces (14 von 14) und alle Lungenkontusionen (21 von 21) entdeckt werden. Die Diagnoserate beim Röntgenthorax stellte wie folgt dar: Mediastinalhämatom (2 von 14), Hämatothorax (2 von 16), Pneumothorax (2 von 13) und Lungenkontusion (6 von 18) [1]. Die Autoren schlussfolgern daraus eine klare Überlegenheit der WBCT gegenüber der konventionellen Radiographie, welche wir in unserer Arbeit bedingt, was die leichteren Thoraxverletzungen betrifft, ebenfalls nachweisen konnten. Denn, obgleich die CT in dieser Studie nicht in Multislice-Technik, sondern in Einzeltechnik durchgeführt wurde, erweist sie sich in der Diagnostik von kleineren, potentiell weniger lebensbedrohlichen Thoraxverletzungen, wie beispielsweise der Lungenkontusion oder eines kleinen Pneumothorax, als deutlich sensitiver als die konventionelle Bildgebungsmodalität. Die klinische Relevanz dieser Befunde bleibt unklar. Hinsichtlich der Demographie des Patientenkollektivs ist ein Vergleich mit unseren Patientengruppen aufgrund ähnlicher Datenlage gut durchführbar. Bei 36 von 50 Patienten beträgt der männliche Anteil 72% und das Durchschnittsalter liegt bei 38 Jahren. Angaben über die Verletzungsschwere (nach dem ISS) werden nicht gemacht, sondern nur das Kriterium „Polytrauma“, dessen Definition, wie in Material und Methoden beschrieben, allerdings stark divergiert, angegeben.

Als eine letzte Studie, die sich mit dem Thema der Wertigkeit der Ganzkörper-CT beschäftigt, soll die Arbeit von Weninger et al. aus dem Jahr 2007 präsentiert werden. Sowohl das Studiendesign, als auch das Patientenkollektiv eignen sich sehr gut für einen Vergleich mit unserer Arbeit. Hintergrund der Studie war die Einführung eines 16-Zeilen-MSCT-Scanners im Jahre 2002. Hieraus ergab sich die Einteilung zweier Kollektive. 185 Patienten aus der Zeit vom 1. Februar 2001 bis zum 30. November 2002 wurden der sogenannten „Prä-MSCT-Protokoll“-Gruppe zugeordnet. Das diagnostische Protokoll beinhaltete als bildgebende, radiologische Verfahren die konventionelle Radiographie. Weitere 185 Patienten aus der Zeit vom 1. Februar 2003 bis zum 31. Dezember 2004 wurden der „MSCT-Protokoll“-Gruppe zugeordnet. Die Bildgebung erfolgte durch eine Ganzkörper-Multislice-CT. Einschlusskriterien für beide Gruppen waren ein ISS-Score ≥ 17 , mindestens

eine lebensgefährliche Verletzung des Kopfes, Thorax oder Abdomen mit einem AIS-Score ≥ 4 und eine Aufnahme auf ICU. Die demographischen Daten der beiden Gruppen stellten sich wie folgt dar: Durchschnittsalter (Prä-MSCT: $40,7 \pm 18,2$; MSCT: $43,5 \pm 17,2$), Anteil männlicher Patienten (Prä-MSCT: 73,4%; MSCT: 72,4%), ISS (Prä-MSCT: $27,6 \pm 11,5$; MSCT: $26,6 \pm 10,3$) [114]. Im Vergleich zu unseren beiden Kollektiven liegen die Verletzungsschwere um ca. 3 ISS-Punkte höher und das Durchschnittsalter um etwa 2-3 Jahre niedriger, während der Anteil an männlichen Patienten nahezu gleich ist. Die höhere Verletzungsschwere lässt sich aus dem strengeren Einschlusskriterium ($ISS \geq 17$ vs. $ISS \geq 9$ bei unserer Studie) erklären. Hinsichtlich der diagnostischen Treffsicherheit der beiden Patientenkollektive zeigte sich nun folgendes, signifikantes Ergebnis. Während in der „Prä-MSCT-Protokoll“-Gruppe nur 76,2% aller Thoraxverletzungen erkannt werden konnten, lag der Anteil an diagnostizierten, thorakalen Läsionen in der „MSCT-Protokoll“-Gruppe bei 92,4% [114]. Die Entität der Thoraxverletzungen wird nicht genauer spezifiziert. Diese deutliche Überlegenheit der WBCT gegenüber der konventionellen Bildgebung können wir nicht bestätigen. Bei sehr guter Vergleichbarkeit dieser Studie mit der unsrigen, wirft dies in besonderem Maß Fragen nach den Gründen der unterschiedlichen Ergebnisse auf.

Wichtig ist es hierbei den Augenmerk auf folgenden, grundlegenden Sachverhalt, mit dem sich unsere Studie deutlich von den anderen unterscheidet, zu legen. In den gerade genannten Studien werden die Vorteile der Ganzkörper-CT im Vergleich zur konventionellen Radiographie nachgewiesen. In den in der Einleitung erwähnten Studien wurde die Überlegenheit der organfokussierten Computertomographie des Thorax (TCT) gegenüber dem Röntgenthorax (RTX) dargestellt. Im Gegensatz zu diesen beiden Ansätzen dient in unserer Studie weder nur das TCT, noch das RTX, sondern ein heterogenes Kollektiv aus beiden Untersuchungsmodalitäten als Vergleichsgruppe. Wenn man die radiologische Bildgebung im Schockraum im Laufe seiner zeitlichen und technologischen Entwicklung betrachtet, kann man folgende Entwicklungsschritte unterscheiden: vom einfachen Röntgenthorax/RTX (1) zum organfokussierten CT/Thorax-CT (2) und anschließend vom TCT zum Ganzkörper-CT (3). In unserer Studie schlagen wir einen größeren Betrachtungsbogen von der aktuellen „Entwicklungsstufe“ des Ganzkörper-CT zurück auf die beiden vergangenen Schritte zusammen („Stufe 1 und 2 im Vergleich zu Stufe 3“). Letztendlich kam es mit Einführung der organfokussierten Computertomographie in den

Schockraum nicht zu einem kompletten Verdrängen der konventionellen Röntgenuntersuchung, sondern diese behielt bei gewissen Frage-/Indikationsstellungen nach wie vor ihren Stellenwert. Somit kam es zu einer gewissen „Zwischenstufe“ (1-2), bei der beide Technologien (TCT und RTX) zusammen als Untersuchungsmodalitäten im Schockraum zum Einsatz kamen [8, 114]. Dadurch trägt unser Studienansatz der Realität, nämlich dem Prozess einer Abwendung von den „TCT-RTX-Protokollen“ hin zum breiten Einsatz der „Ganzkörper-CT“ (vorzugsweise in Multislice-Technik), besser Rechnung als ein reiner Vergleich der WBCT-Technologie mit der organfokussierter CT oder nur mit dem konventionellen Röntgen.

Dieser letzte technologische Fortschritt scheint für die Diagnostik von schweren, akut lebensbedrohlichen Thoraxverletzungen, wie beispielsweise Herzverletzungen oder Spannungspneumothoraces, keine wesentlichen besseren Ergebnisse zu liefern. Hinsichtlich der weniger schweren, nicht akut lebensbedrohlichen Thoraxverletzungen, lässt sich aus unseren Ergebnissen schließen, dass die WBCT einen gewissen Zugewinn an diagnostischer Information liefern kann. In besonderem Maße profitiert davon die Diagnostik von Rippenfrakturen (prä: 10,6%; post: 21,6%), Pneumothoraces (prä: 17,3%; post: 21,6%) und Lungenkontusionen (prä: 18,5%; post: 28,7%). Bei den Lungenparenchymverletzungen würde man eigentlich den gleichen Trend erwarten, deswegen scheint die deutliche Abnahme der Diagnoserate (prä: 12,6%; post 5,9%) zunächst zu überraschen. Am wahrscheinlichsten lässt sich diese Tatsache darauf zurückführen, dass die verbesserte Bildgebung eine genauere Differenzierung kleinerer Lungenverletzungen ermöglicht hat. Die starke Abnahme von Parenchymverletzungen zusammen mit der deutlichen Zunahme an Lungenkontusionen und Pneumothoraces indiziert ebenfalls die Tatsache, dass die Genauigkeit der Diagnostik gesteigert wurde. Möglicherweise wurden früher kleinere Lungenkontusionen mangels guter Bildqualität oder durch Atmungsartefakte beispielsweise als Lungenparenchymverletzungen falsch befundet. Heutzutage können diese klar als Lungenkontusionen diagnostiziert werden. Der Fortschritt in der Bildgebungstechnologie hat also zu einer korrekteren Befunderstellung und zu einer anderen Verteilung bzw. Differenzierung der kleineren Thoraxverletzungen geführt. Letztendlich ist dies allerdings nur Erklärungsversuch und eine Bestätigung dieser These ist durch weitere Studien wünschenswert.

Die deutliche Zunahme an diagnostizierten Rippenserienfrakturen (prä: 10,6%; post: 21,6%) durch die WBCT-Einführung erscheint plausibel und gut erklärbar. Eine entscheidende Rolle spielt hierbei mit Sicherheit die Zeilenanzahl der CT-Geräte. Mit dem technologischen Fortschritt und einer damit einhergehenden Erhöhung der Zeilenzahl konnten die Scandauern und die damit verbundenen Atemartefakte, die eine Diagnose von Rippenfrakturen erschweren, deutlich reduziert werden. Vermutlich führten diese Atemartefakte früher dazu, dass nicht-dislozierte Rippenserienfrakturen schwieriger zu erkennen waren und in manchen Fällen sogar als Atemartefakte falsch diagnostiziert wurden. Weiterhin erlaubt eine dünnere Schichtdicke eine Verbesserung der räumlichen Auflösung und damit der Diagnosequalität. Letztere wird ebenfalls dadurch gesteigert, dass durch die technischen Errungenschaften eine Überlappung benachbarter Bildschichten ermöglicht wurde. Außerdem ist zu generell berücksichtigen, dass die Diagnosemöglichkeiten mit einer konventionellen thorakalen Röntgenuntersuchung durchaus sehr begrenzt sind. Dass diese Untersuchungsmodalität in unsere Prä-Gruppe mit einfließt, führt mit großer Wahrscheinlichkeit auch dazu, dass der Anstieg der Diagnoserate so deutlich ausfällt.

4.2 Outcomeanalyse

Wir konnten mit unseren Ergebnissen zeigen, dass durch die Einführung der WBCT-Technik das Outcome des Patienten nur bedingt verbessert werden konnte. Während die Gesamttletalität und die prognostizierte Überlebenswahrscheinlichkeit bei Aufnahme näherungsweise gleichblieb, konnte jedoch eine Verringerung der Dauer der Tage auf ICU (prä: 10,8, 95% KI 10,5-11,2; post: 9,7, 95% KI 9,4-10,0), der Dauer der Beatmungstage bzw. Tage mit Intubation (prä: 6,7, 95% KI 6,6-7,2; post: 6,0, 95% KI 5,4-5,8) und der Liegedauer im Krankenhaus um ca. 3 Tage von ca. 26 Tagen (95% KI 25,5-26,9) auf ca. 23 Tage (95% KI 22,7-23,9) erreicht werden.

Entgegen unserer Ergebnisse, konnten Weninger et al. in ihrer oben bereits erwähnten Studie über einen frühzeitigen WBCT-Einsatz im Schockraum erstmals einen positiven Einfluss der WBCT auf das Outcome nachweisen. Im Vergleich zu der „Prä-MSCT-Protokoll“-Gruppe konnte in der „Post-MSCT-Protokoll“-Gruppe die Dauer der Tage auf ICU (prä: 21,3 Tage; post: 15,2 Tage) ebenso wie die Ventilationstage (prä: 14,3 Tage; post: 10,9

Tage) und die Gesamtliegedauer im Krankenhaus (prä: 32,5 Tage; post: 29,0 Tage) verringert werden. Die Rate an Organinsuffizienzen nahm ebenfalls ab. In der „MSCT-Protokoll“-Gruppe wurden weniger Lungen- (prä: 32%; post: 20%), Nieren- (prä: 20%; post: 9%) und Lebeninsuffizienzen (prä: 9%; post: 3%) diagnostiziert. Hinsichtlich der Häufigkeit von Multiorganversagen war auch ein Rückgang zu beobachten (prä: 18,9%; post: 11,4%). Die Mortalitätsrate änderte sich hingegen nicht signifikant (prä: 16%; post: 17%) [114]. Den Rückgang der ICU-Tage, der Ventilationstage und der Gesamtliegedauer im Krankenhaus sowie die nahezu unveränderte Gesamtmortalität konnten wir in unserer Studie bestätigen. Man kann daraus schließen, dass die Fortschritte in der medizinischen Versorgung seit 2004 kontinuierlich zu kürzeren Beatmungs- und Liegedauern für den Patienten geführt haben. Was die Beeinträchtigung der Organfunktion betrifft, konnten wir die Ergebnisse nicht bestätigen. Im Gegenteil: Wir verzeichneten sogar einen geringen Anstieg an Organversagen (von 43,5% auf 43,9%) und Multiorganversagen (von 26,5% auf 26,9%). Ein Vergleich dieser Ergebnisse fällt jedoch schwer. Einerseits stellen die Autoren die Aussagekraft der Multiorganversagensrate aufgrund von Fallunterschieden selbst in Frage. Andererseits wurden bei Weninger et al. Organdysfunktionen bestimmt, während bei uns der Parameter Organversagen abgefragt wurde. Interessant ist dennoch, dass bei unseren Patienten generell die Rate an funktionsbeeinträchtigten Organsystemen (v.a. bei Multiorganversagen, wenn man Organversagen bzw. Organdysfunktionen aufgrund von mangelnder Vergleichbarkeit ausklammert) auf einem deutlich höheren Niveau liegt als in der Studie von Weninger et al.. Es ist naheliegend, den Grund für diesen Unterschied bei der Verletzungsschwere zu suchen. Jedoch finden sich bei Weninger et al. höhere ISS-Werte ($27,6 \pm 11,5$ in der „Prä-MSCT-Protokoll“-Gruppe bzw. $26,6 \pm 10,3$ in der „MSCT-Protokoll“-Gruppe) als in unserer Arbeit ($23,9 \pm 13,3$ vor bzw. bei $24,5 \pm 13,2$ nach WBCT-Einführung). Hinsichtlich des Alters und der Geschlechterverteilung ergaben sich keine relevanten Unterschiede.

Es stellt sich also die berechtigte Frage, inwiefern der Anteil an Multiorganversagen in der jeweiligen Studie nicht zu niedrig bzw. zu hoch liegt. In der Literatur finden sich folgende Angaben. Eine groß angelegte, prospektive, über 12 Jahre dauernde Studie (Ende 31. Dezember 2003) von Ciesla et al. ergab, dass bei 25% aller Schwerverletzter ($ISS > 15$) ein Multiorganversagen diagnostiziert wird, was ungefähr unserer Diagnoserate entspricht (Einschlusskriterium unserer Studie war allerdings ein $ISS\text{-Wert} \geq 9$) [19]. In einer Studie aus dem Jahr 2014 konnten Sauaia et al. zeigen, dass die Rate an Multiorganversagen nach

einem Trauma im Laufe der Jahre stark zurückgegangen ist (von 17% in 2003-2004 auf 9,8% in 2009-2010). Die Gründe hierfür sehen die Autoren vor allem in einer verbesserten notfall- und intensivmedizinischen Versorgung [95]. Dieser Trend konnte von Dewar et al. 2013 ebenfalls bestätigt werden. Laut ihrer Studie ist die Inzidenz von Multiorganversagen auf 15% zurückgegangen [26]. Wenn man die Datenlage des TraumaRegister DGU® betrachtet, dann entwickelten laut der Arbeit von Fröhlich et al. im Zeitraum von 2002 – 2011 insgesamt 10.201 von 31.154 eingeschlossenen Patienten ein Multiorganversagen. Dies entspricht einer Rate von 32,7% [30]. Für diese Studie eingeschlossen wurden nur Patienten mit einem $ISS \geq 16$ und ICU-Aufnahme. Nachdem wir nur Patienten mit einem $ISS \geq 9$ berücksichtigten, erklärt sich die niedrigere Inzidenz im Vergleich zu der Studie von Dewar et al.. Insgesamt erscheinen die Daten des TraumaRegister DGU® von anderen internationalen Studienergebnissen hingegen stark zu divergieren. Ein Erklärungsversuch für die internationalen Unterschiede bei der Inzidenz von Multiorganversagen soll aber nicht Schwerpunkt dieser Arbeit sein. Vielmehr entscheidend ist, dass Weninger et al., ebenso wie wir, darlegen konnten, dass die WBCT-Einführung zwar eine Verkürzung der Beatmungs- und Liegedauer (ICU oder Krankenhaus gesamt), aber keinen Rückgang der Mortalität nach sich gezogen hat.

Ebenfalls im Jahr 2007 unterzogen Hilbert et al. die Integration der WBCT in die Frühphase eines Schockraumalgorithmus einer ausführlichen Zeitanalyse. Im Fokus stand hierbei die Erkenntnis, dass die WBCT-Diagnostik einen deutlichen Zeitgewinn mit sich bringt und dass ein frühzeitiger WBCT-Einsatz auch bei hämodynamisch instabilen und reanimationspflichtigen Patienten möglich ist. Es zeigte sich jedoch auch, dass die Mortalität bei polytraumatisierten Patienten, bei denen nach Aufnahme in den Schockraum vor jeder weiteren Maßnahme eine Ganzkörper-CT-Aufnahme durchgeführt wurde, von 15% auf 8,6% sank [45]. Den Grund für diese deutliche Reduktion der Sterblichkeit sehen die Autoren selbst nicht nur in dem verbesserten Schockraumalgorithmus, sondern auch in dem Fortschritt der ICU-Versorgung. Das Patientenkollektiv war mit dem unserem hinsichtlich demographischer Parameter gut vergleichbar: mittleres Alter 42,2 Jahre, ISS-Mittelwert 26,93, Anteil männlicher Patienten 78,4%. Jedoch betrug die Gesamtfallzahl nur 139 Patienten für die Gruppe mit dem frühzeitigen WBCT-Einsatz. Zudem kann, wie von den Autoren bereits erwähnt, der allgemeine Fortschritt in der medizinischen

Schockraumversorgung zu der deutlichen Reduktion der Mortalität beigetragen haben. Denn verglichen wurden eigene Daten der Autoren von 2000 bis 2001 mit dem Zeitraum des neuen Schockraumalgorithmus von Januar bis Dezember 2004. Innerhalb dieser 3-4 Jahre ist eine Verbesserung der Schwerverletztenversorgung mit Beeinflussung des Gesamtergebnisses durchaus möglich.

Im Jahr 2009 untersuchten Wurmb et al. in einem retrospektiven Ansatz die Schockraumdiagnostik am Würzburger Universitätsklinikum. Hintergrund war eine Änderung des Schockraummanagements im Jahr 2004 mit Einführung einer Ganzkörper-MSCT als primäre Bildgebung. Die zuvor verwendete konventionelle Diagnostik bestand aus Röntgen, FAST und organfokussierter CT. Im Jahr 2005 erfolgte zudem die Etablierung von SOPs (Standard Operating Procedures). Untersucht wurden also 3 Gruppen: Gruppe A (konventionelle Bildgebung; 2002), Gruppe B (Ganzkörper-MSCT; 2004) und Gruppe C (Ganzkörper-MSCT und Vorgehen nach SOPs; 2006). Wie bei Hilbert et al. konnte auch hier gezeigt werden, dass durch die Einführung des WBCT-Einsatzes (und durch die Etablierung von SOPs) der Schockraumeinsatz beschleunigt werden kann. Von größerem Interesse zum Vergleich mit unserer Studie sind jedoch die Ergebnisse, die bezüglich des Outcomes der Patienten erbracht werden konnten. Für die unterschiedlichen Gruppen ergaben sich folgende Werte: Gruppe A (Mortalität = 16,1%; RISC-Prognose = 16,2%; SMR = 0,99 mit einem 95%-Konfidenzintervall von 0,54-1,67), Gruppe B (Mortalität = 15,4%; RISC-Prognose = 18,3%, SMR = 0,84 mit einem 95%-Konfidenzintervall von 0,36-1,67), Gruppe C (Mortalität = 18,6%; RISC-Prognose = 21,1%; SMR = 0,88 mit einem 95%-Konfidenzintervall von 0,38-1,74). Hinsichtlich der Verletzungsschwere zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen [116]. Wichtig ist zunächst, dass die Studie aufgrund sehr ähnlicher demographischer Ergebnisse sehr gut mit unserer Arbeit zu vergleichen ist. Für die einzelnen Patientengruppen ergibt sich eine ähnliche Gesamtverletzungsschwere. Die Unfallursache und die Verteilung der Verletzungen auf die einzelnen Körperregionen zeigen ebenfalls ein sehr ähnliches Muster.

Was das Outcome der Patienten betrifft, konnten die Autoren keine signifikante Reduzierung der Letalität und keine signifikante Verbesserung der Prognose (nach der SMR) zeigen. Bei Betrachtung der verschiedenen Versorgungsphasen und deren Dauer konnte in dieser Studie zwar als Hauptergebnis gezeigt werden, dass eine Beschleunigung der Schockraumabläufe

durch die WBCT möglich ist. Und obwohl die Korrelation zwischen schnelleren Versorgungszeiten und geringerer Mortalitäts- sowie Morbiditätsraten bekannt ist, konnten die Autoren jedoch nicht einen direkten Zusammenhang zwischen der Ganzkörper-CT-Diagnostik und einer Verbesserung der Überlebenswahrscheinlichkeit nachweisen. Dieses Erkenntnis deckt sich mit unseren Ergebnissen.

Dass die Ganzkörper-Multislice-CT das Überleben von polytraumatisierten Patienten verbessern kann, wiesen Huber-Wagner et al. im Jahr 2009 weltweit erstmals nach. Zur Analyse des Outcomes und zur Berechnung der SMR wurden neben dem RISC auch der Trauma and Injury Severity Score (TRISS) verwendet. Der TRISS stellt eine im angloamerikanischen Raum sehr verbreitete Methode zur Berechnung der Überlebenswahrscheinlichkeit von Schwerverletzten dar [66]. Insgesamt wurden 4.621 Patienten aus dem TraumaRegister DGU® in die Studie eingeschlossen. 1.494 (32%) Patienten erhielten ein WBCT, 3.127 (68%) erhielten kein WBCT (Non-WBCT). Die Analyse des Outcomes erbrachte folgende Ergebnisse: die SMR, bezogen auf den TRISS, betrug für die WBCT-Gruppe 0,745 (95%-Konfidenzintervall 0,633 – 0,859) und für die Non-WBCT-Gruppe 1,023 (0,909 – 1,137). Die SMR, bezogen auf den RISC, betrug für die WBCT-Gruppe 0,865 (0,774 – 0,956) und für die Non-WBCT-Gruppe 1,034 (0,959 – 1,109) [49]. Daraus schlussfolgerten die Autoren die Vorteile des WBCT auf das Überleben. Da sich diese Studie ebenfalls aus Daten des TraumaRegister DGU® speist, aber gegensätzliche Ergebnisse liefert, ist eine besonders genaue Analyse des Ansatzes und die Interpretation der Ergebnisse notwendig. Ein erstes Unterscheidungsmerkmal findet sich bei den Einschlusskriterien. Im Gegensatz zu Huber-Wagner et al., die in ihrer Arbeit nur Patienten mit einem stumpfen Trauma und einer Verletzungsschwere $ISS \geq 16$ berücksichtigten, bezogen wir in Bezug auf die Verletzungsschwere und die Art des Traumas ein breiteres Patientenkollektiv in unsere Studie mit ein: $ISS \geq 9$, stumpfe und penetrierende Verletzungen. Es ist nicht überraschend, dass sich bei einer Patientengruppe mit einem höheren Verletzungsausmaß leichter eine Verbesserung des Outcomes nachweisen lässt. Von größerer Bedeutung für die divergierenden Ergebnisse erscheint jedoch eher der jeweils gewählte Beobachtungszeitraum. Während Huber-Wagner et al. ein Intervall von 2002 bis 2004 wählten, lag die Zeitspanne bei uns von 2002 bis 2012. Zweierlei Aspekte müssen hier berücksichtigt werden. Zum einen bilden wir mit unserer Arbeit ein längeres Zeitfenster ab,

was prinzipiell eine genauere Analyse erlaubt. Zum anderen beschränkt sich unser Beobachtungszeitraum nicht auf die für die Entwicklung der Schockraumversorgung so entscheidenden Jahre zwischen 2002 und 2004. In dieser Phase, in der sich die Einführung der WBCT-Diagnostik in das Schockraummanagement vollzog, fanden infolgedessen weitere bedeutende Veränderungen, die allesamt Einfluss auf das Outcome des Patienten nehmen, statt. Fortschritte in den Handlungsabläufen (beispielsweise durch die Einführung von SOPs) mit einer stärkeren interdisziplinären Zusammenarbeit als Grundvoraussetzung, ein besseres und gezielteres Ausbildungskonzept für die Fachkräfte (neben den Ärzten, v.a. auch für das Pflegepersonal) und eine intensivere Patientenversorgung sind exemplarisch weitere wichtige Stellschrauben einer Optimierung der Schockraumversorgung. Natürlich kommt der WBCT-Diagnostik, da sie gewissermaßen den Anstoß dieser Entwicklung gegeben hat, eine besondere Bedeutung in diesem Prozess zu, allerdings ist sie nur einer von mehreren Faktoren und Gründen, die zu einer besseren Schockraumversorgung und damit zu einem besseren Outcome des Patienten geführt haben. Des Weiteren erscheint es als sehr wahrscheinlich, dass Kliniken, die bereits in den Anfängen des Umstellungsprozesses (2002 – 2004) den Schritt zu einer Implementation der WBCT in das Schockraummanagement vollzogen haben, mit sehr großem Einsatz und starken Willen die Schockraumversorgung vorangetrieben haben. Diese Bereitschaft und Entschlossenheit kann in gewissem Maß auch zu den Ergebnissen von Huber-Wagner et al. beigetragen haben. Wie dargelegt wurde, erscheint der Ansatz mit dem kurzen Beobachtungszeitraum von 2002 bis 2004 grundsätzlich nicht optimal gewählt worden zu sein. Mit einer Verlängerung des Intervalls bis in das Jahr 2012 fallen diese Effekte deutlich weniger ins Gewicht bzw. können als irrelevant betrachtet werden.

Eine ähnliche Schlussfolgerung wie Huber-Wagner et al., nämlich, dass ein frühzeitiger WBCT-Einsatz bei Polytraumatisierten die Überlebenswahrscheinlichkeit verbessern kann, ziehen auch Kanz et al. aus den Ergebnissen ihrer Studie aus dem Jahr 2010. Hierbei wurden aus dem Zeitraum von 2002 bis 2004 insgesamt 4.817 Patienten aus dem TraumaRegister DGU® eingeschlossen. Voraussetzung war ein ISS-Wert ≥ 16 , der direkte Transport von der Unfallstelle zum Krankenhaus und eine vollständig vorhandene Dokumentation über WBCT im TraumaRegister DGU®. Das Gesamtkollektiv wurde in zwei Gruppen eingeteilt und einem Vergleich unterzogen. In die LMU-Gruppe wurden alle Patienten, die an der der

Ludwig-Maximilian-Universität München (LMU) gemäß einem Schockraumalgorithmus mit frühzeitigem WBCT-Einsatz versorgt wurden, eingeschlossen (n=160). Die DGU-Gruppe umfasste alle Patienten, die an anderen Traumazentren behandelt wurden (n=4.657). Während in der LMU-Gruppe 86,3% aller Patienten ein WBCT erhielten, lag die Rate bei der DGU-Gruppe nur bei 26,3%. Zur Outcomeanalyse wurden neben dem RISC und der SMR auch der TRISS verwendet. Hinsichtlich der demographischen Daten wies das Patientenkollektiv der LMU-Gruppe ein etwas höheres Durchschnittsalter ($44,6 \pm 18,3$ Jahre vs. $42,5 \pm 20,7$ Jahre in der DGU-Gruppe) und eine etwas geringere Verletzungsschwere auf (ISS $29,7 \pm 13,0$ vs. $32,5 \pm 16,4$ in der DGU-Gruppe). Die SMR, bezogen auf den TRISS, lag für die LMU-Gruppe bei 0,74 (95%-Konfidenzintervall 0,40-1,08; $p=0,24$) und für die DGU-Gruppe bei 0,92 (95%-Konfidenzintervall 0,84-1,01; $p=0,10$). Die SMR, bezogen auf den RISC, lag für die LMU-Gruppe bei 0,69 (95%-Konfidenzintervall 0,47-0,92; $p=0,043$) und für die DGU-Gruppe bei 1,00 (95%-Konfidenzintervall 0,94-1,06; $p=0,88$). Von den Autoren wird besonders hervorgehoben, dass bei der Berechnung der SMR (bezogen auf den RISC) in der LMU-Gruppe die beobachtete Mortalität (19,1%) signifikant niedriger als die prognostizierte Mortalität (27,6%) war ($p=0,043$). Dass die Ergebnisse der SMR, bezogen auf den TRISS, keine signifikante Verbesserung der Prognose liefern, findet in der Diskussion keine große Beachtung. Mittels einer Zeitanalyse kann in der gleichen Studie zwar wieder die Beschleunigung der Schockraumvorgänge durch Einführung der WBCT-Technik gezeigt werden, allerdings kann der direkte Zusammenhang zwischen der Durchführung einer Ganzkörper-CT und einer verbesserten Überlebenswahrscheinlichkeit für den Patienten nur ungenügend belegt werden. So sprechen die Autoren zusammenfassend auch nur davon, dass der Einsatz eines frühzeitigen WBCT aufgrund der Schnelligkeit und der hohen diagnostischen Qualität das Überleben verbessern *kann*. Wie von den Autoren erwähnt, sind eine gute Zusammenarbeit der verschiedenen Fachdisziplinen, ein guter Workflow, der auf die strukturellen Gegebenheiten des jeweiligen Traumazentrums angepasst ist, und eine gute Organisation unabdingbar. Der Zeitraum, in dem Patienten für diese Studie eingeschlossen wurden, liegt wie bei der Arbeit Huber-Wagner et al. zwischen 2002 und 2004. Dementsprechend sind die Ergebnisse wahrscheinlich ebenfalls den oben genannten Einflüssen der Frühphase des Umstellungsprozesses unterworfen [57].

Im Zentrum der retrospektiven Studie von Wurmb et al. aus dem Jahr 2011 stand neben einer Zeit- vor allem auch eine Outcome-Analyse. Verglichen wurde der Einsatz der Ganzkörper-Multislice-CT und konventionelle Schockraumprotokolle (Röntgen/ FAST) als Primärdiagnostik bei polytraumatisierten Patienten. Die Patienten wurden in zwei Gruppen unterteilt: Gruppe I (konventionelle Bildgebung, Zeitraum 2001 – 2003) und Gruppe II (Bildgebung durch WBCT; Zeitraum: 2004 – 2006). In beiden Gruppen wurden nur Patienten eingeschlossen, die ein Polytrauma erlitten hatten und einer Notfall-OP bedurften. Es konnte eine Beschleunigung der Schockraumvorgänge durch den WBCT-Einsatz beschrieben werden. Was das Outcome betrifft, zeigten sich keine Unterschiede. Die 24-Stunden-Mortalität (Gruppe I: 3,2%; Gruppe II: 3%), die Gesamtmortalität (Gruppe I: 9%; Gruppe II: 8,5%), die ICU-Tage (Gruppe I: 5 (Median); Gruppe II: 8 (Median); $p=0,157$) sowie die Beatmungstage (Gruppe I: 3 (1-14) (Median und Interquartilsabstand); Gruppe II: 5 (2-19) (Median und Interquartilsabstand); $p=0,107$) änderten sich nicht signifikant. Die Autoren legten dar, dass die Patienten in Gruppe II eine signifikant höhere Anzahl an schweren Verletzungen aufwiesen. Daraus schlossen die Autoren, dass bei gleichbleibenden Mortalitätsraten, aber höherer Verletzungsschwere, der WBCT-Einsatz einen positiven Effekt auf das Outcome hat. Ein direkter Nachweis konnte in dieser Studie allerdings nicht erbracht werden. [119] Gleichwohl konnte von van Vugt et al. nachgewiesen werden, dass die in der WBCT zusätzlich diagnostizierten Verletzungen zu einer höheren Einstufung der Verletzungsschwere gemäß dem ISS führen, jedoch keinen Einfluss auf die beobachtete Mortalität haben [109]. Insofern muss der vermutete, positive Effekt des WBCT-Einsatzes auf das Outcome in dieser Studie in Frage gestellt werden.

Eine weitere Studie, die auf Daten des TraumaRegister DGU® zurückgreift, ist diejenige von Huber-Wagner et al. aus dem Jahr 2013. Untersucht wurde der Einsatz der WBCT bei hämodynamisch stabilen und instabilen Patienten. Einschlusskriterien waren: Alter ≥ 16 Jahre, stumpfes Trauma und ein ISS ≥ 16 . Der Beobachtungszeitraum erstreckte sich von 2002 bis 2009. Alle zuverlegten Patienten wurden ausgeschlossen. Voraussetzung zur Aufnahme in die Studie war zudem, dass im TraumaRegister DGU® die entsprechenden Daten zu WBCT, RISC und der RR bei Aufnahme dokumentiert waren. Insgesamt erfüllten 16.719 Patienten die Einschlusskriterien. In Abhängigkeit davon, ob ein WBCT durchgeführt wurde oder nicht, wurden diese Patienten in zwei Gruppen aufgeteilt: Gruppe

I (WBCT; 9233 Patienten) und Gruppe II (Non-WBCT; 7486 Patienten). Zur Untersuchung der Anwendbarkeit des WBCT bei instabilen Patienten wurden drei verschiedene Kreislaufzustände, welche zur Diskussion irrelevant sind, unterschieden. Im Gegensatz zur ihrer Studie aus dem Jahr 2009 konnten die Autoren diesmal nicht nur nachweisen, dass es durch einen WBCT-Einsatz zu einer besseren Überlebenswahrscheinlichkeit (SMR), sondern auch zu einem Rückgang der reinen Mortalitätsrate (WBCT-Gruppe: 17,4% vs. Non-WBCT-Gruppe: 21,4%; $p < 0,001$) kommt. Eine geringere 24-Stunden-Mortalität war ebenfalls zu beobachten (WBCT-Gruppe: 8,9% vs. Non-WBCT-Gruppe: 12,0%; $p < 0,001$). Hinsichtlich des Kreislaufzustands konnten Huber-Wagner et al. darlegen, dass der WBCT-Einsatz sowohl bei hämodynamisch stabilen als auch instabilen Patienten das Überleben verbessert [48]. Dass die Ergebnisse dieser Studie bei gleicher Herkunft der Daten unseren Ergebnissen bezüglich dem Überlebensvorteil durch einen WBCT-Einsatz widersprechen, können wir uns nur durch die schon oben (bei der Studie von 2009 von Huber-Wagner et al.) erwähnten Gründe erklären. Wir sehen den klaren Vorteil unserer Studie darin, dass wir in einem von dem Zeitpunkt der WBCT-Einführung unabhängigen Rahmen die Auswirkungen auf das Überleben untersucht haben. Eine kontinuierliche Verbesserung der Schockraumversorgung über die Jahre hinweg konnten wir damit als Bias ausschließen und den Untersuchungszeitraum für jedes Krankenhaus spezifisch festlegen. Obwohl Huber-Wagner et al. die im Mittel um 2 Punkte höheren ISS-Werte in der WBCT-Gruppe und damit das Will-Rogers-Phänomen als Bias ausschließen, ist es verwunderlich, dass sich für die WBCT-Gruppe eine signifikant ($p < 0,001$) höhere Rate an Multiorganversagen (WBCT-Gruppe: 36,4% vs. Non-WBCT: 28,4%) und signifikant ($p < 0,001$) höhere Ergebnisse bei der Beatmungsdauer ($8,1 \pm 12,4$ Tage vs. $7,1 \pm 11,1$ Tage), der Liegedauer auf ICU ($12,7 \pm 14,7$ Tage vs. $11,0 \pm 13,3$ Tage) sowie der Länge des Krankenhausaufenthalts ($26,7 \pm 27,5$ vs. $26,0 \pm 28,4$) ergeben. Die Multiorganversagensrate erscheint uns unverhältnismäßig hoch und entgegen dem oben beschriebenen Trend eines im Laufe der letzten Jahr(zehnte) verzeichneten Rückgangs zu liegen. Die höheren Werte bei der Beatmungsdauer, der Tage auf ICU und des Krankenhausaufenthalts widersprechen ebenfalls unseren Ergebnissen. Eine Verschlechterung dieser Parameter durch eine WBCT-Einführung erscheint uns zweifelhaft. Es wird also die Frage aufgeworfen, ob der positive Effekt der WBCT auf das Überleben nicht doch auf ein schwerer verletztes Patientenkollektiv zurückzuführen ist.

Zudem greifen wir auch auf eine aktuellere Datenlage (bis 2012) zurück, was ebenfalls zu den unterschiedlichen Ergebnissen beigetragen haben könnte.

In einer Literaturrecherche ließ sich als aktuellste Studie, die sich mit dem Einfluss der WBCT auf das Überleben auseinandersetzt, diejenige von Sierink et al. aus dem Jahr 2014 identifizieren. Im Gegensatz zu den bereits erwähnten Arbeiten, wird hier ein „case-matched“-Ansatz verwendet. Unterschieden wurde eine WBCT-Gruppe (Untersuchungszeitraum Januar 2009 bis April 2011) und eine Non-WBCT-Gruppe mit konventioneller Diagnostik bestehend aus Röntgenuntersuchungen des Thorax und des Beckens, FAST und einer optionalen organfokussierten CT-Untersuchung (Untersuchungszeitraum Juli 2006 bis November 2007). Insgesamt 152 Patientenpaare konnten nach Alter, Geschlecht und ISS „gematched“ werden. Bei der beobachteten 30-Tage-Mortalität zeigten sich keine Unterschiede zwischen den beiden Kollektiven (13,2 % vs. 13,2%). Erst mit Berücksichtigung des Einflusses der Unterschiede beim ISS und dem GCS ließ sich darstellen, dass der WBCT-Einsatz mit einer geringeren 30-Tage-Mortalität assoziiert ist.

Donaubauer et al. beleuchten in einer aktuellen Arbeit aus dem Jahr 2014 die S3-Leitlinien zur Polytrauma/Schwerverletzten-Behandlung, zu deren Erstellung aufgrund des Entwicklungsprozesses nur die Studienlage bis zum Jahr 2009 berücksichtigt wurde, auf Grundlage aktueller Erkenntnisse aus der Literatur. Dabei kommen sie zu der Schlussfolgerung, dass der Einsatz der WBCT einen positiven Einfluss auf das Überleben haben kann, es gilt jedoch klare Indikationskriterien zu identifizieren, um die zusätzliche Strahlenbelastung zu rechtfertigen.

Neben den erwähnten Studien, die auf eine bzw. keine Verbesserung des Outcomes durch den WBCT-Einsatz hinweisen, existieren weitere Arbeiten, die sich dieser Thematik widmen [50, 62]. Die dargestellte Literatur erhebt somit keinen Anspruch auf Vollständigkeit und stellt nur eine Auswahl dar.

4.3 Alleinstellungsmerkmal der Studie

Abschließend sollen noch einmal das Alleinstellungsmerkmal und die Stärken dieser Studie hervorgehoben werden. Für jede der insgesamt 59 Kliniken wurde nach intensiver und individueller Betrachtung durch mindestens zwei unabhängige Untersucher (aus verschiedenen Fachdisziplinen: Unfallchirurgie/Orthopädie, Anästhesie und Biometrie) der Einschluss und die anschließende Zuordnung der „Prä“- und „Post“-Jahre klinikindividuell explizit festgelegt. Im Gegensatz zu bisherigen Studien, bei denen das Einführungsjahr der WBCT auf ein Jahr (in den meisten Fällen das Jahr 2002) fixiert worden ist, wurde in dieser Studie das Einführungsjahr für jede der teilnehmenden Kliniken individuell festgelegt. Neben der Generierung einer sehr hohen Fallzahl, erlaubt dies die Einflüsse der allgemeinen Fortschritte der Prozess- und Strukturqualität in der Schwerverletztenversorgung besser herauszufiltern. Die Beobachtung beschränkt sich somit nur auf die 3 Jahre vor und nach Einführung und nicht darüber hinaus. Als weiteres Qualitätsmerkmal ist anzuführen, dass alle teilnehmenden Kliniken nach den Richtlinien des TraumaNetzwerk DGU® der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie e. V. zertifizierte Traumazentren in Deutschland mit langjähriger Erfahrung, die kontinuierlich über mindestens 5 Jahre Daten für das TraumaRegister DGU® erfasst und dort dokumentiert haben, sind.

4.4 Limitationen

Bei dieser Studie handelt es sich um eine retrospektive Analyse, was die Herstellung eines definitiven, kausalen Zusammenhangs zwischen der WBCT-Einführung und dem Einfluss auf das Outcome nicht ermöglicht. Des Weiteren gestaltete sich das Festlegen des Einführungsjahres durch ungenügende Dokumentation von Seiten der Kliniken des TraumaRegister DGU® bei der Dateneingabe in einzelnen Fällen als schwierig. Limitierend wirkt zudem, dass bei der Festlegung des Einführungsjahrs kein klarer Cut-Off-Wert verwendet werden konnte. Diese Individualentscheidung wurde von drei unabhängigen Untersuchern gefällt und war damit untersucherabhängig. Als Einschränkung muss auch erwähnt werden, dass die Auswertung der Daten nur auf jährlicher und nicht auf monatlicher Basis erfolgte. Für die Fallzahl eines Jahres spielt es eine nicht unwesentliche Rolle, ob die WBCT-Technik beispielsweise im Januar oder erst im November oder Dezember eines

Kalenderjahres eingeführt worden ist. Darüber hinaus lassen sich dem TraumaRegister DGU® keine detaillierten Informationen über die verwendete WBCT-Technik entnehmen. Angaben über den Gerätetyp, die Schichtanzahl und –dicke, die Verwendung von Kontrastmittel, Vorschub oder die Art der Rekonstruktion können nicht gemacht werden, obwohl diese Faktoren die Befundung in entscheidendem Maße beeinflussen.

4.5 Ausblick

Letztendlich bleibt der Vorteil der WBCT auf das Überleben in Anbetracht des aktuellen Forschungsstands immer noch unklar. Weitere prospektive Studien werden in Zukunft nötig sein, um diese Fragestellung klären zu können. Insbesondere erscheint uns nicht die Frage, ob der WBCT-Einsatz in der Schockraumversorgung generell zu einer Verbesserung des Outcomes führt, sondern eher die Frage, welche Patienten am ehesten von einer WBCT profitieren, für die Zukunft relevant. Erste Untersuchungen zu diesem Thema existieren bereits [4, 118], dennoch gibt es, wie von Donaubaue et al. auch angemerkt, noch keine einheitlichen Indikationskriterien und Richtlinien für eine WBCT. Im Zuge der raschen Entwicklung der Mehrzeilentechnik halten wir folgende weitere Aspekt als Ausblick für weitere Studien ebenfalls für sehr interessant: Wo stehen wir heute mit der Mehrzeilentechnik in Deutschland? Lassen sich durch mehr Zeilen auch bessere Ergebnisse und eventuell auch ein besseres Outcome für die Patienten erzielen? Ist z.B. ein 256-Zeiler-CT einem 64-Zeiler-CT in der Polytraumaversorgung überhaupt überlegen und wenn ja, auch wirtschaftlich gerechtfertigt? Welchen Stellenwert hat der Einsatz von Kontrastmittel in der CT-Diagnostik von Polytraumatisierten und in welchen Fällen bzw. zu welchem Zeitpunkt ist der Einsatz am meisten zielführend?

5 Zusammenfassung

Ziel dieser retrospektiven Studie war es zu untersuchen, ob die Einführung der Ganzkörper-Computertomographie (Whole-body-CT/WBCT) als Diagnostik bei Polytraumatisierten in der Schockraumdiagnostik im Vergleich zur konventionellen Röntgenbildgebung mit ggf. zusätzlicher organfokussierter Computertomographie-Diagnostik zu einer Veränderung der Diagnoseraten von Thoraxverletzungen führt. Des Weiteren sollte festgestellt werden, ob dies einen Einfluss auf das Outcome des Patienten hat. Diesbezüglich erfolgte eine Analyse des TraumaRegister DGU der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU) von 16.545 Patienten aus 59 Kliniken im Zeitraum von 2002 bis 2012. Eingeschlossen wurden alle Patienten mit einem $ISS \geq 9$, die in den Schockraum aufgenommen und mit oder ohne sofortige OP auf eine Intensivstation übernommen wurden bzw. nach Aufnahme im Schockraum verstorben sind. Hierzu wurde für jede der 59 Kliniken ein klinikindividuelles Einführungsjahr für die Einführung des WBCT im Schockraum festgelegt und eine Phase von bis zu 3 Jahren vor („prä“) und nach („post“) betrachtet. (TR-DGU Projekt ID 2013-053)

Wir konnten zeigen, dass die konventionelle Bildgebung mit Röntgen-Thorax-Aufnahme und ggf. organfokussiertem Thorax dem Einsatz der WBCT bezüglich des Outcomes nicht unterlegen ist. Beide Patientengruppen zeigten hinsichtlich Verletzungsschwere/-muster und demographischer Daten keine relevanten Unterschiede auf. Insgesamt konnte durch die Änderung der Behandlungsabläufe mit Einführung der WBCT-Technik im Schockraummanagement die Rate bezüglich diagnostizierter, schwerer und akut behandlungsbedürftiger Thoraxverletzungen (z.B. Spannungspneumothorax, Herzverletzung, arterielle Gefäßverletzung) nicht verändert werden. Dagegen hat sich die Diagnoserate leichter thorakaler Verletzungen (z.B. Lungenkontusion, Pneumothorax, Rippenserienfraktur) relevant erhöht. Dieses schlägt sich allerdings nicht in einer Verbesserung der Prognose, bezogen auf das Überleben, nieder.

Somit ist es fraglich, ob die standardmäßige Durchführung eines WBCT bei einem Patienten mit Thoraxtrauma oder einem Verdacht auf Thoraxverletzungen zwangsläufig notwendig ist, oder ob eine standardisierte Röntgendiagnostik mit fokussierter Computertomographie-Diagnostik nicht ausreichend ist. Dass die diagnostische Treffsicherheit der WBCT

gegenüber der konventionellen Bildgebung bei thorakalen Verletzungen höher liegt, konnte in der Untersuchung dargelegt werden, einen positiven Einfluss auf das Outcome der Patienten scheint dieser Mehrgewinn an Informationen jedoch nicht zu haben.

6 Literaturverzeichnis

1. Albrecht, T., Schlippenbach J. von, Stahel, P. F., Ertel, W., Wolf, K.-J. (2004). Die Rolle der Ganzkörper-Spiral-CT bei der Primärdiagnostik polytraumatisierter Patienten - Vergleich mit konventioneller Radiographie und Abdomensonographie. *RöFo: Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen und der Nuklearmedizin*, 176, 1142–1150.
2. American College of Surgeons (2008). *ATLS, advanced trauma life support for doctors* (8th edn). Chicago, IL: American College of Surgeons.
3. Baker, S. P., O'Neill, B., Haddon, W., JR, Long, W. B. (1974). The injury severity score: a method for describing patients with multiple injuries and evaluating emergency care. *The Journal of trauma*, 14, 187–196.
4. Bernhard, M., Becker, T. K., Nowe, T., Mohorovicic, M., Sikinger, M., Brenner, T., Richter, G. M., Radeleff, B., Meeder, P.-J., Büchler, M.W., Böttiger, B.W., Martin, E., Gries, A. (2007). Introduction of a treatment algorithm can improve the early management of emergency patients in the resuscitation room. *Resuscitation*, 73, 362–373.
5. Besson A., Saegesser F. (1983). *Color Atlas of Chest Trauma and Associated Injuries. Vol. 1*: Oradell, NJ: Med. Economics Books.
6. Blalock, J. B., Ochsner, J. L. (1966). Management of thoracic trauma. *The Surgical clinics of North America*, 46, 1513–1524.
7. Blostein, P. A., Hodgman, C. G. (1997). Computed tomography of the chest in blunt thoracic trauma: results of a prospective study. *The Journal of trauma*, 43, 13–18.
8. Boehm, T., Alkadhi, H., Schertler, T., Baumert, B., Roos, J., Marincek, B., Wildermuth, S. (2004). Application of multislice spiral CT (MSCT) in multiple injured patients and its effect on diagnostic and therapeutic algorithms. *RöFo: Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen und der Nuklearmedizin*, 176, 1734–1742.
9. Boersma, W. G., Stigt, J. A., Smit, Hans J M (2010). Treatment of haemothorax. *Respiratory medicine*, 104, 1583–1587.
10. Bolukbas, S., Ghezel-Ahmadi, D., Kwozalla, A.-K., Schirren, J. (2011). Diagnostic assessment and treatment concepts for thoracic trauma. *Der Chirurg; Zeitschrift für alle Gebiete der operativen Medizin*, 82, 843-49.

11. Brenner, D. J., Elliston, C. D. (2004). Estimated radiation risks potentially associated with full-body CT screening. *Radiology*, 232, 735–738.
12. <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2014082611633> (01.08.2016)
13. Butcher, N., Balogh, Z. J. (2009). The definition of polytrauma: the need for international consensus. *Injury*, 40, 12–22.
14. Butcher, N., Balogh, Z. J. (2012). AIS2 in at least two body regions: a potential new anatomical definition of polytrauma. *Injury*, 43, 196–199.
15. Butcher, N. E., D'Este, C., Balogh, Z. J. (2014). The quest for a universal definition of polytrauma: a trauma registry-based validation study. *The journal of trauma and acute care surgery*, 77, 620–623.
16. Butcher, N. E., Enninghorst, N., Sisak, K., Balogh, Z. J. (2013). The definition of polytrauma: variable interrater versus intrarater agreement - a prospective international study among trauma surgeons. *The journal of trauma and acute care surgery*, 74, 884–889.
17. Calhoun, J. H., Grover, F. L., Trinkle, J. K. (1992). Chest trauma. Approach and management. *Clinics in chest medicine*, 13, 55–67.
18. Calhoun, J. H., Trinkle, J. K. (1997). Pathophysiology of chest trauma. *Chest surgery clinics of North America*, 7, 199–211.
19. Ciesla, D. J., Moore, E. E., Johnson, J. L., Burch, J. M., Cothren, C. C., Sauaia, A. (2005). A 12-year prospective study of postinjury multiple organ failure: has anything changed? *Archives of surgery*, 140, 432–438.
20. Conn, J. H., Hardy, J. D., Fain, W. R., Netterville, R. E. (1963). Thoracic trauma: analysis of 1022 cases. *The Journal of trauma*, 3, 22–40.
21. Cormack, A. M. (1963). Representation of a Function by Its Line Integrals, with Some Radiological Applications. *Journal of Applied Physics*, 34, 2722.
22. Cormack, A. M. (1964). Representation of a Function by Its Line Integrals, with Some Radiological Applications. II. *Journal of Applied Physics*, 35, 2908.
23. Costa, G., Tomassini, F., Tierno, S. M., Venturini, L., Frezza, B., Cancrini, G., Stella, F. (2010). The prognostic significance of thoracic and abdominal trauma in severe trauma patients (Injury severity score 15). *Annali italiani di chirurgia*, 81, 171–176.

24. Degenhart, C. (2010). Der diagnostische Stellenwert der Mehrschichtcomputertomographie (MSCT) bei thorakalen und abdominalen Notfällen. *Notfall + Rettungsmedizin*, 13, 451–457.
25. Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie e. V. (2012). Whitebook Medical Care of the Severely Injured: 2nd revised and updated edition.
26. Dewar, D. C., Tarrant, S. M., King, K. L., Balogh, Z. J. (2013). Changes in the epidemiology and prediction of multiple-organ failure after injury. *The journal of trauma and acute care surgery*, 74, 774–779.
27. Eid, H. O., Abu-Zidan, F. M. (2015). New injury severity score is a better predictor of mortality for blunt trauma patients than the injury severity score. *World journal of surgery*, 39, 165–171.
28. Exadaktylos, A. K., Sclabas, G., Schmid, S. W., Schaller, B., Zimmermann, H. (2001). Do we really need routine computed tomographic scanning in the primary evaluation of blunt chest trauma in patients with "normal" chest radiograph? *The Journal of trauma*, 51, 1173–1176.
29. Feliciano, D. V. (1992). The diagnostic and therapeutic approach to chest trauma. *Seminars in thoracic and cardiovascular surgery*, 4, 156–162.
30. Fröhlich, M., Lefering, R., Probst, C., Paffrath, T., Schneider, M. M., Maegele, M., Sakka, S. G., Bouillon, B., Wafaisade, A. (2014). Epidemiology and risk factors of multiple-organ failure after multiple trauma: an analysis of 31,154 patients from the TraumaRegister DGU. *The journal of trauma and acute care surgery*, 76, 921-7.
31. Gahr, R. H. (Ed.) (2007). *Handbuch der Thorax-Traumatologie*. Hamburg: Einhorn-Pressen Verl.
32. Gambazzi, F., Schirren, J. (2003). Thoracic drainage. What is evidence based? *Der Chirurg; Zeitschrift für alle Gebiete der operativen Medizin*, 74, 99–107.
33. Gennarelli, T. A., Wodzin, E. (2006). AIS 2005: a contemporary injury scale. *Injury*, 37, 1083–1091.
34. Gordic, S., Alkadhi, H., Hodel, S., Simmen, H.-P., Brueesch, M., Frauenfelder, T., Wanner, G., Sprengel, K. (2015). Whole-body CT-based imaging algorithm for multiple trauma patients: radiation dose and time to diagnosis. *The British journal of radiology*, 88, 20140616.

35. Grieser, T., Buhne, K. H., Hauser, H., Bohndorf, K. (2001). Significance of findings of chest X-rays and thoracic CT routinely performed at the emergency unit: 102 patients with multiple trauma. A prospective study. *RöFo: Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen und der Nuklearmedizin*, 173, 44–51.
36. Guerrero-Lopez, F., Vazquez-Mata, G., Alcazar-Romero, P. P., Fernandez-Mondejar, E., Aguayo-Hoyos, E., Linde-Valverde, C. M. (2000). Evaluation of the utility of computed tomography in the initial assessment of the critical care patient with chest trauma. *Critical care medicine*, 28, 1370–1375.
37. Gunduz, M., Unlugenc, H., Ozalevli, M., Inanoglu, K., Akman, H. (2005). A comparative study of continuous positive airway pressure (CPAP) and intermittent positive pressure ventilation (IPPV) in patients with flail chest. *Emergency medicine journal : EMJ*, 22, 325–329.
38. Haasper, C., Junge, M., Ernstberger, A., Brehme, H., Hannawald, L., Langer, C., Nehmzow, J., Otte, D., Sander, U., Krettek, C., Zwipp, H. (2010). Die Abbreviated Injury Scale (AIS). Potenzial und Probleme bei der Anwendung. *Der Unfallchirurg*, 113, 366–372.
39. Haramati, L. B., Hochsztein, J. G., Marciano, N., Nathanson, N. (1996). Evaluation of the role of chest computed tomography in the management of trauma patients. *Emergency Radiology*, 3, 225–230.
40. Harrieder, A., Geyer, L. L., Korner, M., Deak, Z., Wirth, S., Reiser, M., Linsenmaier, U. (2012). Evaluation of radiation dose in 64-row whole-body CT of multiple injured patients compared to 4-row CT. *RöFo: Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen und der Nuklearmedizin*, 184, 443–449.
41. Heberer, G. (1968). Evaluation and treatment of chest injuries and chest organs among multiple injuries. *Langenbecks Archiv für Chirurgie*, 322, 268–284.
42. Hellinger, A., Konerding, M. A., Malkusch, W., Obertacke, U., Redl, H., Bruch, J., Schlag, G. (1995). Does lung contusion affect both the traumatized and the noninjured lung parenchyma? A morphological and morphometric study in the pig. *The Journal of trauma*, 39, 712–719.
43. Heyer, C. M., Rduch, G., Kagel, T., Lemburg, S. P., Theisinger, A., Bauer, T. T., Muhr, G., Nicolas V. (2005). Prospective randomized trial of a modified standard multislice CT protocol for the evaluation of multiple trauma patients. *RöFo: Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen und der Nuklearmedizin*, 177, 242–249.

44. Heyer, C. M., Rduch, G. J., Wick, M., Bauer, T. T., Muhr, G., Nicolas, V. (2005). Evaluation of multiple trauma victims with 16-row multidetector CT (MDCT): a time analysis. *RöFo: Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen und der Nuklearmedizin*, 177, 1677–1682.
45. Hilbert, P., zur Nieden, K., Hofmann, G. O., Hoeller, I., Koch, R., Stuttmann, R. (2007). New aspects in the emergency room management of critically injured patients: a multi-slice CT-oriented care algorithm. *Injury*, 38, 552–558.
46. Hill, N. S., Brennan, J., Garpestad, E., Nava, S. (2007). Noninvasive ventilation in acute respiratory failure. *Critical care medicine*, 35, 2402–2407.
47. Hoyert, D. L., Arias, E., Smith, B. L., Murphy, S. L., Kochanek, K. D. (2001). Deaths: final data for 1999. *National vital statistics reports: from the Centers for Disease Control and Prevention, National Center for Health Statistics, National Vital Statistics System*, 49, 1–113.
48. Huber-Wagner, S., Biberthaler, P., Haberle, S., Wierer, M., Dobritz, M., Rummeny, E., van Griensven, M., Kanz K.-G., Lefering, R. (2013). Whole-body CT in haemodynamically unstable severely injured patients--a retrospective, multicentre study. *PloS one*, 8, e68880.
49. Huber-Wagner, S., Lefering, R., Qvick, L.-M., Korner, M., Kay, M. V., Pfeifer, K.-J., Reiser, M., Mutschler, W., Kanz, K.-G. (2009). Effect of whole-body CT during trauma resuscitation on survival: a retrospective, multicentre study. *Lancet*, 373, 1455–1461.
50. Hutter, M., Woltmann, A., Hierholzer, C., Gartner, C., Buhren, V., Stengel, D. (2011). Association between a single-pass whole-body computed tomography policy and survival after blunt major trauma: a retrospective cohort study. *Scandinavian journal of trauma, resuscitation and emergency medicine*, 19, 73.
51. Joint Committee of AMA, AAAM, SAE (Ed.) (1976). *The Abbreviated Injury Scale* . Morton Grove IL: American Association for Automotive Medicine (AAAM).
52. Just-Viera, J. O., Gonzalez, A., Santiago-Delpin, E. (1980). Glycerol and methylprednisolone in lung contusion. *The American surgeon*, 46, 33–37.
53. Kalender, W. A. (1994). Principles and applications of spiral CT. *Nuclear medicine and biology*, 21, 693–699.

54. Kalender, W. A. (1995). Technical foundations of spiral CT. *Journal belge de radiologie*, 78, 68–74.
55. Kalender, W. A. (2006). *Computertomographie: Grundlagen, Gerätetechnologie, Bildqualität, Anwendungen* (2nd edn). Erlangen: Publicis Corp. Publ.
56. Kanz, K.-G., Korner, M., Linsenmaier, U., Kay, M. V., Huber-Wagner, S. M., Kreimeier, U., Pfeifer, K.-J., Reiser, M., Mutschler, W. (2004). Priority-oriented shock trauma room management with the integration of multiple-view spiral computed tomography. *Der Unfallchirurg*, 107, 937–944.
57. Kanz, K.-G., Paul, A. O., Lefering, R., Kay, M. V., Kreimeier, U., Linsenmaier, U., Mutschler, W., Huber-Wagner, S. (2010). Trauma management incorporating focused assessment with computed tomography in trauma (FACTT) - potential effect on survival. *Journal of trauma management & outcomes*, 4, 4.
58. Karaaslan, T., Meuli, R., Androux, R., Duvoisin, B., Hessler, C., Schnyder, P. (1995). Traumatic chest lesions in patients with severe head trauma: a comparative study with computed tomography and conventional chest roentgenograms. *The Journal of trauma*, 39, 1081–1086.
59. Keenan, S. P., Sinuff, T., Cook, D. J., Hill, N. S. (2004). Does noninvasive positive pressure ventilation improve outcome in acute hypoxemic respiratory failure? A systematic review. *Critical care medicine*, 32, 2516–2523.
60. Kerr-Valentic, M. A., Arthur, M., Mullins, R. J., Pearson, T. E., Mayberry, J. C. (2003). Rib fracture pain and disability: can we do better? *The Journal of trauma*, 54, 1058–63.
61. Khandhar, S. J., Johnson, S. B., Calhoon, J. H. (2007). Overview of thoracic trauma in the United States. *Thoracic surgery clinics*, 17, 1–9.
62. Kimura, A., Tanaka, N. (2013). Whole-body computed tomography is associated with decreased mortality in blunt trauma patients with moderate-to-severe consciousness disturbance: a multicenter, retrospective study. *The journal of trauma and acute care surgery*, 75, 202–206.
63. Kirschner M (1938). Der Verkehrsunfall und seine erste Behandlung. *Langenbecks Archiv für Chirurgie*.
64. Klopp, M., Dienemann, H., Hoffmann, H. (2007). Behandlung des Pneumothorax. *Der Chirurg; Zeitschrift für alle Gebiete der operativen Medizin*, 78, 655–668.

65. Klöppel, Schreiter, Dietrich, Josten, Kahn (2002). Frühes klinisches Management nach Polytrauma mit 1- und 4-Schicht-Spiral-CT. *Der Radiologe*, 42, 541–546.
66. Kulla, M., Fischer, S., Helm, M., Lampl, L. (2005). How to assess the severity of the multi-system trauma in the emergency-room -- a critical review. *Anesthesiologie, Intensivmedizin, Notfallmedizin, Schmerztherapie: AINS*, 40, 726–736.
67. Kulshrestha, P., Das, B., Iyer, K. S., Sampath, K. A., Sharma, M. L., Rao, I. M., Venugopal, P. (1990). Cardiac injuries--a clinical and autopsy profile. *The Journal of trauma*, 30, 203–207.
68. Kulshrestha, P., Iyer, K. S., Das, B., Balram, A., Kumar, A. S., Sharma, M. L., Rao I. M., Venugopal P. (1988). Chest injuries: a clinical and autopsy profile. *The Journal of trauma*, 28, 844–847.
69. Kulshrestha, P., Munshi, I., Wait, R. (2004). Profile of chest trauma in a level I trauma center. *The Journal of trauma*, 57, 576–581.
70. Kunisch-Hoppe, M., Bachmann, G., Hoppe, M., Weimar, B., Bauer, T., Zickmann, B., Rau, W. S. (1997). CT quantification of pleuropulmonary lesions in severe thoracic trauma. *RöFo: Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen und der Nuklearmedizin*, 167, 453–457.
71. Lackner, C. K., Ruppert, M., Lazarovici, M., Stolpe, E. (2002). Anwenderperformanz und -variabilität der Glasgow-Koma-Skala. *Notfall & Rettungsmedizin*, 5, 173–185.
72. Landercasper, J., Cogbill, T. H., Lindesmith, L. A. (1984). Long-term disability after flail chest injury. *The Journal of trauma*, 24, 410–414.
73. Lefering, R. (2009). Development and validation of the revised injury severity classification score for severely injured patients. *European Journal of Trauma and Emergency Surgery*, 35, 437–447.
74. Lefering, R., Huber-Wagner, S., Nienaber, U., Maegele, M., Bouillon, B. (2014). Update of the trauma risk adjustment model of the TraumaRegister DGU: The Revised Injury Severity Classification, version II. *Critical care (London, England)*, 18, 476.
75. Lerner, E. B., Moscatti, R. M. (2001). The golden hour: scientific fact or medical "urban legend"? *Academic emergency medicine: official journal of the Society for Academic Emergency Medicine*, 8, 758–760.

76. LoCicero, J. 3., Mattox, K. L. (1989). Epidemiology of chest trauma. *The Surgical clinics of North America*, 69, 15–19.
77. Low, R., Duber, C., Schweden, F., Lehmann, L., Blum, J., Thelen, M. (1997). Whole body spiral CT in primary diagnosis of patients with multiple trauma in emergency situations. *RöFo: Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen und der Nuklearmedizin*, 166, 382–388.
78. Marshall, L. F., Becker, D. P., Bowers, S. A., Cayard, C., Eisenberg, H., Gross, C. R., Grossmann, R. G., Jane, J. A., Kunitz, S. C., Rimel, R., Tabaddor, K. Warren, J.(1983). The National Traumatic Coma Data Bank. Part 1: Design, purpose, goals, and results. *Journal of neurosurgery*, 59, 276–284.
79. Mattox KL, Wall MJ, Pickard LR (1996). *Thoracic trauma* : In: Feliciano D, Moore E, Mattox KL(eds) Trauma. 3. Aufl. Appleton & Lange. Stamford (CT); 345-354.
80. McGonigal, M. D., Schwab, C. W., Kauder, D. R., Miller, W. T., Grumbach, K. (1990). Supplemental emergent chest computed tomography in the management of blunt torso trauma. *The Journal of trauma*, 30, 1431-4.
81. McNicholl, B. P. (1994). The golden hour and prehospital trauma care. *Injury*, 25, 251–254.
82. Meyer, D. M. (2007). Hemothorax related to trauma. *Thoracic surgery clinics*, 17, 47–55.
83. Murphy, S. L., Xu, J., Kochanek, K. D. (2013). Deaths: final data for 2010. *National vital statistics reports: from the Centers for Disease Control and Prevention, National Center for Health Statistics, National Vital Statistics System*, 61, 1–117.
84. Oparah, S. S., Mandal, A. K. (1979). Operative management of penetrating wounds of the chest in civilian practice. Review of indications in 125 consecutive patients. *The Journal of thoracic and cardiovascular surgery*, 77, 162–168.
85. Oppenheimer, L., Craven, K. D., Forkert, L., Wood, L. D. (1979). Pathophysiology of pulmonary contusion in dogs. *Journal of applied physiology: respiratory, environmental and exercise physiology*, 47, 718–728.
86. Osler, T., Baker, S. P., Long, W. (1997). A modification of the injury severity score that both improves accuracy and simplifies scoring. *The Journal of trauma*, 43, 922–925.

87. Paffrath, T., Lefering, R., Flohe, S. (2014). How to define severely injured patients? An Injury Severity Score (ISS) based approach alone is not sufficient. *Injury*, 45 Suppl 3, 64-9
88. Pape, H.-C., Lefering, R., Butcher, N., Peitzman, A., Leenen, L., Marzi, I., Licht, P., Josten, C., Bouillon, B., Schmucker, U., Stahel, P., Giannoudis, P., Balogh, Z. (2014). The definition of polytrauma revisited: An international consensus process and proposal of the new 'Berlin definition'. *The journal of trauma and acute care surgery*, 77, 780–786.
89. Prokop, M., Engelke, C. (2013). *Ganzkörper-Computertomographie: Spiral- und Multislice-CT* (2nd edn, Referenz-Reihe Radiologie). Stuttgart: Thieme.
90. Rieger, M., Sparr, H., Esterhammer, R., Fink, C., Bale, R., Czermak, B., Jaschke, W. (2002). Modern CT diagnosis of acute thoracic and abdominal trauma. *Der Anaesthesist*, 51, 835–842.
91. Rimel, R. W., Giordani, B., Barth, J. T., Boll, T. J., Jane, J. A. (1981). Disability caused by minor head injury. *Neurosurgery*, 9, 221–228.
92. Rimel, R. W., Giordani, B., Barth, J. T., Jane, J. A. (1982). Moderate head injury: completing the clinical spectrum of brain trauma. *Neurosurgery*, 11, 344–351.
93. Rivas, L. A., Fishman, J. E., Munera, F., Bajayo, D. E. (2003). Multislice CT in thoracic trauma. *Radiologic clinics of North America*, 41, 599–616.
94. Ruchholtz, S., Waydhas, C., Schroeder, T., Piepenbrink, K., Kuhl, H., Nast-Kolb, D. (2002). The value of computed tomography in the early treatment of seriously injured patients. *Der Chirurg; Zeitschrift für alle Gebiete der operativen Medizin*, 73, 1005–1012.
95. Sauaia, A., Moore, E. E., Johnson, J. L., Chin, T. L., Banerjee, A., Sperry, J. L., Maier, R. V., Burlew C. C. (2014). Temporal trends of postinjury multiple-organ failure: still resource intensive, morbid, and lethal. *The journal of trauma and acute care surgery*, 76, 582-92.
96. Schermer, C. R., Matteson, B. D., Demarest, G B 3rd, Albrecht, R. M., Davis, V. H. (1999). A prospective evaluation of video-assisted thoracic surgery for persistent air leak due to trauma. *American journal of surgery*, 177, 480–484.

97. Schweiberer, L., Nast-Kolb, D., Duswald, K. H., Waydhas, C., Muller, K. (1987). Polytrauma--treatment by the staged diagnostic and therapeutic plan. *Der Unfallchirurg*, 90, 529–538.
98. Shorr, R. M., Crittenden, M., Indeck, M., Hartunian, S. L., Rodriguez, A. (1987). Blunt thoracic trauma. Analysis of 515 patients. *Annals of surgery*, 206, 200–205.
99. States, J. D. (1998). *Die abgekürzte Verletzungsskala (AIS): AIS-98; Update 98*. Morton Grove, IL.
100. http://www.traumaregister-dgu.de/de/startseite_tr.html (01.08.2016)
101. Sutyak, J. P., Wohltmann, C. D., Larson, J. (2007). Pulmonary contusions and critical care management in thoracic trauma. *Thoracic surgery clinics*, 17, 11–23.
102. Svane, S. (2001). Multiple persistent circumscribed pulmonary hematomas due to a blunt chest trauma. *The Annals of thoracic surgery*, 72, 1752–1753.
103. Svennevig, J. L., Bugge-Asperheim, B., Bjorgo, S., Kleppe, H., Birkeland, S. (1980). Methylprednisolone in the treatment of lung contusion following blunt chest trauma. *Scandinavian journal of thoracic and cardiovascular surgery*, 14, 301–305.
104. Teasdale, G., Jennett, B. (1974). Assessment of coma and impaired consciousness. *The Lancet*, 304, 81–84.
105. Teasdale, G., Maas, A., Lecky, F., Manley, G., Stocchetti, N., Murray, G. (2014). The Glasgow Coma Scale at 40 years: standing the test of time. *The Lancet Neurology*, 13, 844–854.
106. TraumaRegister DGU (®) (2014). 20 years TraumaRegister DGU (®): development, aims and structure. *Injury*, 45 Suppl 3, 6-13.
107. Trupka, A., Waydhas, C., Hallfeldt, K. K., Nast-Kolb, D., Pfeifer, K. J., Schweiberer, L. (1997). Value of thoracic computed tomography in the first assessment of severely injured patients with blunt chest trauma: results of a prospective study. *The Journal of trauma*, 43, 405-11.
108. Tyburski, J. G., Collinge, J. D., Wilson, R. F., Eachempati, S. R. (1999). Pulmonary contusions: quantifying the lesions on chest X-ray films and the factors affecting prognosis. *The Journal of trauma*, 46, 833–838.
109. van Vugt, R., Deunk, J., Brink, M., Dekker, H. M., Kool, D. R., van Vugt, A B, Edwards, M. J. (2011). Influence of routine computed tomography on predicted

- survival from blunt thoracoabdominal trauma. *European journal of trauma and emergency surgery: official publication of the European Trauma Society*, 37, 185–190.
110. Voggenreiter, G., Aufmkolk, M., Majetschak, M., Assenmacher, S., Waydhas, C., Obertacke, U., Nast-Kolb, D. (2000). Efficiency of chest computed tomography in critically ill patients with multiple traumas. *Critical care medicine*, 28, 1033–1039.
 111. Wanek, S., Mayberry, J. C. (2004). Blunt thoracic trauma: flail chest, pulmonary contusion, and blast injury. *Critical care clinics*, 20, 71–81.
 112. Webb RR (1974). Thoracic Trauma. *SCNA Newsl*, 54, 1179–1192.
 113. Wedegartner, U., Lorenzen, M., Nagel, H. D., Weber, C., Adam, G. (2004). Diagnostic imaging in polytrauma: comparison of radiation exposure from whole-body MSCT and conventional radiography with organ-specific CT. *RöFo: Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen und der Nuklearmedizin*, 176, 1039–1044.
 114. Weninger, P., Mauritz, W., Fridrich, P., Spitaler, R., Figl, M., Kern, B., Hertz, H. (2007). Emergency room management of patients with blunt major trauma: evaluation of the multislice computed tomography protocol exemplified by an urban trauma center. *The Journal of trauma*, 62, 584–591.
 115. Westaby S. *The pathophysiology of chest trauma*: In: Wesaby S, Odell JA, eds. Cardiothoracic trauma. London:Arnold; 1999:1-22.
 116. Wurmb, T., Balling, H., Fruhwald, P., Keil, T., Kredel, M., Meffert, R., Roewer, N., Brederlau, J. (2009). Polytrauma management in a period of change: time analysis of new strategies for emergency room treatment. *Der Unfallchirurg*, 112, 390–399.
 117. Wurmb, T., Fruhwald, P., Brederlau, J., Maroske, J., Schindler, G., Roewer, N. (2006). Management of seriously injured patients without conventional radiography? Does a whole body MSCT scanner replace the conventional X-ray unit in the emergency room? *Der Anaesthesist*, 55, 17–25.
 118. Wurmb, T. E., Fruhwald, P., Hopfner, W., Roewer, N., Brederlau, J. (2007). 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*, 25, 1057–1062.

119. Wurmb, T. E., Quaisser, C., Balling, H., Kredel, M., Muellenbach, R., Kenn, W., Roewer, N., Brederlau, J. (2011). Whole-body multislice computed tomography (MSCT) improves trauma care in patients requiring surgery after multiple trauma. *Emergency medicine journal: EMJ*, 28, 300–304.
120. Yeam, I., Sassoon, C. (1997). Hemothorax and chylothorax. *Current opinion in pulmonary medicine*, 3, 310–314.
121. Zhao, X.-G., Ma, Y.-F., Zhang, M., Gan, J.-X., Xu, S.-W., Jiang, G.-Y. (2008). Comparison of the new injury severity score and the injury severity score in multiple trauma patients. *Chinese journal of traumatology = Zhonghua chuang shang za zhi / Chinese Medical Association*, 11, 368–371.
122. Lang, P., Kulla, M., Kerwagen, F., Lefering, R., Friemert, B., Palm, H.-G. (2017) The Role of Whole-Body Computed Tomography in the Diagnosis of Thoracic Injuries in Severely Injured Patients – a Retrospective Multi-Centre Study Based on the Trauma Registry of the German Trauma Society (TraumaRegister DGU[®]) *Scandinavian Journal of Trauma, Resuscitation and Emergency Medicine* 25:82.
(<https://doi.org/10.1186/s13049-017-0427-4>) (07.11.2017) (Veröffentlichung erfolgte nach Eröffnung des Promotionsverfahrens)

Teile dieser Dissertation wurden bereits in folgendem Fachartikel veröffentlicht:

Lang P., Kulla M., Kerwagen F., Lefering R., Friemert B., Palm H.-G. (2017) The Role of Whole-Body Computed Tomography in the Diagnosis of Thoracic Injuries in Severely Injured Patients – a Retrospective Multi-Centre Study Based on the Trauma Registry of the German Trauma Society (TraumaRegister DGU[®]) *Scandinavian Journal of Trauma, Resuscitation and Emergency Medicine* 25:82.

Anhang**A) Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Die Letalität von Thoraxverletzungen.....	8
Abbildung 2: Beispielklinik mit der Verteilung der durchgeführten WBCT pro Jahr.....	27
Abbildung 3: Relative Häufigkeit der diagnostischen Verfahren im zeitlichen Verlauf. ...	40
Abbildung 4: Verteilung Unfallhergang vor WBCT-Einführung.	43
Abbildung 5: Verteilung Unfallhergang nach WBCT-Einführung.	43
Abbildung 6: Outcome I.....	47
Abbildung 7: Outcome II.....	48

B) Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Klassifikation der Thoraxverletzungen	3
Tabelle 2: Thoraxverletzungen und ihre Häufigkeitsverteilung beim Thoraxtrauma.	6
Tabelle 3: Bedeutung einer AIS-Ziffernfolge anhand des Beispiels „441002.2“.	31
Tabelle 4: Die AIS-Körperregionen.	31
Tabelle 5: Die Verletzungsschweregrade der AIS.	32
Tabelle 6: Der Glasgow Coma Scale.....	36
Tabelle 7: Einteilung der Thoraxverletzungen.	37
Tabelle 8: Patientengruppen vor und nach der WBCT-Einführung.	42
Tabelle 9: Verteilung der Verletzungsschwere des Thorax anhand der AIS	44
Tabelle 10: Inzidenzen der Thoraxverletzungen vor und nach der WBCT-Einführung.	45

Lebenslauf Fabian Kerwagen*Geburtsdatum: 03.01.1990**Geburtsort: Oberndorf bei Salzburg***AUSBILDUNG**

- 10/2009 – 05/2016 **Studium der Humanmedizin**, Universität Ulm
 Praktisches Jahr: 1. Tertial (Chirurgie): Dar es Salaam, Tansania
 2. Tertial (Anästhesiologie): Würzburg
 3. Tertial (Innere Medizin): Kempten (Allgäu)
Gesamtnote: 1,66
- 09/2012 – 01/2013 **Erasmus Auslandssemester**, Université d'Angers
- 05/2006 – 06/2006 **Schüleraustausch**, Lycée Pierre Caraminot in Egletons (Frankreich)
- 09/2000 – 05/2009 **Christian-von-Bomhard-Schule (Gymnasium), Uffenheim**
 Leistungskurse: Mathematik, Französisch
 Abiturnote: 1,4

BESCHÄFTIGUNGEN

- 09/2016 – dato **Wiss. Mitarbeiter/Assistenzarzt**
 Universitätsklinikum Mainz, Kardiologie II
- 06/2013 – dato **Unfallchirurgische Forschungsgruppe (UFO)**
 Doktorand am Bundeswehrkrankenhaus Ulm
- 06/2012 – 04/2015 **Institut für Diabetes Technologie (IDT), Ulm**
 Studienassistent (Messungen, Dokumentation, Laborarbeit,
 Probandenbetreuung)
- 10/2011 – 07/2014 **Universität Ulm**
 Tutor für Physiologie, Psychologie und Terminologie (Seminare für Studierende)

SPRACHKENNTNISSE

- | | | | |
|---------------------|---------------|------------------|-----------------|
| Deutsch: | Muttersprache | Spanisch: | Grundkenntnisse |
| Englisch: | fließend | Latein: | Latinum |
| Französisch: | fließend | | |