Aus dem Institut für Radiologie
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

Kosten und Stellenwert von Ultraschallverlaufskontrollen bei potenziell polytraumatisierten Patienten nach initialer Computertomografie

zur Erlangung des akademischen Grades
Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Annegret Winkler

aus Bietigheim-Bissingen

Datum der Promotion: 23.06.2013

Meiner Familie

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis I

1. Zusammenfassung/Abstract 1

2. Einleitung 5

2.1 Das Polytrauma in Deutschland 5

2.2 Schockraummanagement 5

2.3 Der Wandel der diagnostischen Verfahren bei der Erstversorgung polytraumatisierter Patienten 7

2.4 Bildgebung bei polytraumatisierten Patienten im klinischen Verlauf 9

2.5 Abrechnungssystem in Krankenhäusern 10

3. Herleitung der Fragestellung 11

4. Methodik 12

4.1 Studienpopulation 12

4.2 Einschlusskriterien 12

4.3 Schockraummanagement 12

4.4. Bildgebende Verfahren im Schockraum und im klinischen Verlauf 14

4.4.1 FAST-Ultraschall 14

4.4.2 Konventionelle Röntgendiagnostik 15

4.4.3 Ganzkörper-Computertomografie 15

4.4.4 Kontrollultraschall 16

4.5 Datenerfassung 16

4.6 Definition und Messung der Kosten 18

4.6.1 Berechnung der direkten fixen Kosten 18

4.6.2 Berechnung der direkten variablen Kosten 19

4.7 Statistische Analyse 20

5. Ergebnisse 21
5.1 Deskriptive Analyse der Studienpopulation 21
5.2 Radiologische Befunde im Schockraum 24
5.3 Sensitivitäten und Spezifitäten des FAST-Ultraschalls 26
5.4 Kontrollultraschall 28
5.4.1 Zeitintervall zwischen initialer Computertomografie und Kontrollultraschall 28
5.4.2 Zeitpunkte der Ultraschallverlaufskontrollen 28
5.4.3 Neubefunde im Kontrollultraschall mit Patientenverlauf 29
5.5 Kostenanalyse 34
5.5.1 Personalkosten 34
5.5.2 Gerätenutzungskosten und Verbrauchsmaterialen 35
5.5.3 Gesamtkosten 36
6. Diskussion 37
6.1 Kontrollultraschall und Kostenaspekt 37
6.2 FAST-Ultraschall 42
6.3 Studienkollektiv 43
6.4 Limitationen 45
7. Literaturverzeichnis 47
Abbildungsverzeichnis II
Tabellenverzeichnis III
Eidesstattliche Versicherung IV
Lebenslauf V
Publikationsliste VI
Danksagung VII

Abkürzungsverzeichnis

AA	Assistenzarzt/ärztin
a.p.	anterior-posterior
ATLS®	Advanced Trauma Life Support
AWMF	Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften
BWS	Brustwirbelsäule
CT	Computertomografie
DGU	Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie
DPL	Diagnostische Peritoneallavage
DRG	Diagnosis Related Groups
dt.	deutsch
engl.	englisch
FAST	Focussed Assessment with Sonography for Trauma
FF	Freie Flüssigkeit
GCS	Glasgow Coma Scale
HWS	Halswirbelsäule
ISS	Injury Severity Score
K-US	Kontrollultraschall
LWS	Lendenwirbelsäule
MTRA	Medizinisch-technische/r Röntgenassistent/in
n	Anzahl
NPV	Negative Predictive Value
OA	Oberarzt/ärztin
OP	Operation
PACS	Picture Archiving Computer System
RIS	Radiologisches Informationssystem
RISC	Revised Injury Severity Classification
TRISS	Trauma and Injury Severity Score
TV	Tarifvertrag
TVöD	Tarifvertrag öffentlicher Dienst
US	Ultraschall

1. Zusammenfassung/Abstract

Einleitung: In der Erstdiagnostik von potenziell polytraumatisierten Patienten haben sich Ultraschalluntersuchungen neben der Durchführung einer Ganzkörper-Computertomografie (CT) etabliert und sind Bestandteil nationaler und internationaler Leitlinien. Auch im weiteren klinischen Verlauf finden Ultraschallverlaufskontrollen bei polytraumatisierten Patienten eine häufige Anwendung. Der klinische Nutzen eines routinemäßigen Einsatzes von Kontrollultraschalluntersuchungen bei initial unauffälligem CT-Befund des Abdomens ist jedoch bisher nur unzureichend untersucht. Zudem stellt die Durchführung von Ultraschallverlaufskontrollen in Kliniken der Maximalversorgung einen hohen zeitlichen und finanziellen Aufwand für die radiologische Abteilung dar. Sollen Verlaufskontrollen innerhalb eines festen Zeitfensters stattfinden, müssen diese auch zu Dienstzeiten erfolgen, in denen eine radiologische Abteilung geringer besetzt ist und Notfalluntersuchungen Priorität haben müssen. Hierdurch kann es zu Verzögerungen im Ablauf bei Notfalluntersuchungen kommen.

Ziel der vorliegenden Arbeit war eine Evaluation von abdominellen Ultraschall-verlaufskontrollen hinsichtlich therapierelevanter Neubefunde bei potenziell polytraumatisierten Patienten nach initialer Computertomografie und der hierbei aus Sicht einer radiologischen Klinik entstehenden Kosten.

Methodik: In einem Studienkollektiv von 176 Patienten (126 männliche und 50 weibliche Patienten) mit einer potenziellen Polytraumatisierung erfolgte eine retrospektive Auswertung von Ultraschallverlaufskontrollen hinsichtlich Neubefunden im Vergleich mit der initialen Ganzkörper-Computertomografie. Zudem wurden Sensitivität und Spezifität des FAST-Ultraschalls, verglichen mit der Ganzkörper-CT, ermittelt. Auf der Basis eines Prozessmodells wurden Personal-, Material-, und die Gesamtkosten von Ultraschallverlaufskontrollen berechnet.

Ergebnisse: Bei 19 der 176 Patienten wurden in der FAST-Untersuchung im Schockraum 26 abdominelle Befunde (freie intraabdominelle Flüssigkeit und/oder Organverletzungen) detektiert. In der sich anschließenden CT-Untersuchung wurden 32 Befunde bei insgesamt 25 Patienten festgestellt. Die ermittelte Sensitivität der FAST-Untersuchung betrug dabei 81,3% bei einer Spezifität von 100%. Im Rahmen der Ultraschallverlaufskontrolle konnten bei 2 Patienten, mit in der Abdomen-CT nachgewiesenen Verletzungen, Neubefunde festgestellt werden. Diese Befunde führten

jedoch nicht zu einer maßgeblichen Änderung des geplanten Behandlungspfades. Bei den übrigen 151 Patienten ohne abdominelle Verletzungen in der initialen CT konnte mittels Ultraschallverlaufskontrolle kein Neubefund detektiert werden. Die ermittelten Gesamtkosten je durchgeführter Ultraschallverlaufskontrolle betrugen je nach Dienstart zwischen 28,93 Euro und 33,96 Euro. Für die Gesamtzahl der Ultraschallverlaufs-kontrolluntersuchung aller Patienten ergab sich ein Betrag von 5 658,23 Euro.

Schlussfolgerung: Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen, dass Ultraschallverlaufskontrollen nach initialer Computertomografie nur in Ausnahmefällen einen Neubefund erbrachten. Bei Patienten mit initial unauffälliger Abdomen-CT waren keine Neubefunde nachzuweisen. Eine routinemäßige Anwendung von Ultraschallverlaufskontrollen beim vorliegenden Patientenkollektiv führt zu einem geringen diagnostischen Zugewinn bei gleichzeitig geringem Kosten- aber hohem Personalaufwand.

Abstract

Introduction: As well as whole-body computed tomography (CT), ultrasound examinations are now a well established procedure in the initial diagnosis of polytrauma patients. They are an integral part of national and international polytrauma guidelines. Ultrasound is not only routinely used in the initial examination, but is also a follow-up tool in the clinical management of these patients. However, the diagnostic benefits of these follow-up examinations in patients with no findings in the initial abdominal computed tomography have not been sufficiently evaluated to date. In hospitals providing maximum care, a radiological clinic is short-staffed at night and during weekend shifts. Especially during on-duty-services, emergencies have to take priority over follow-up examinations. There is a risk that emergency examinations will be delayed if ultrasound-follow-ups have to be carried out within a tight time frame.

The purpose of this study was to evaluate the costs and the diagnostic benefits of abdominal ultrasound follow-up of suspected polytrauma patients who had been initially examined using whole-body CT.

Methods: A total of 176 patients (126 men and 50 women) with suspected multiple trauma were retrospectively analysed with regard to new and additional findings in ultrasound follow-up examinations compared with the findings of the initial whole-body computed tomography. Additionally, the sensitivity and specificity of the FAST in the emergency room were analysed. A process model was established to document the total costs of ultrasound-follow ups (staff-, material-, equipment costs).

Results: The FAST examination in the emergency room revealed 26 abdominal findings in 19 patients while the computed tomography subsequently detected 32 findings in 25 patients. The calculated sensitivity of the FAST to detect organ injuries and/or free abdominal fluid was 81.3% and the specificity 100%, respectively. During the abdominal ultrasound follow-up examination 2 new findings were detected. In both cases the patients had abdominal injuries detected in the initial computed tomography, and both patients had new free abdominal fluid in the follow-up. In both patients the clinical pathway did not have to be changed. The follow-up ultrasound revealed no new results in patients with normal findings in the abdominal CT (151 patients). The costs of ultrasound follow-up examinations were calculated in this study and ranged from EUR 28.93 to EUR 33.96, depending on the type of service provided.

The total cost of all follow-up ultrasound examinations performed in this study was EUR 5,658.23.

Conclusion: The results of this study show that a routinely used ultrasound follow-up examination after initial computed tomography only revealed new findings in exceptional cases. With patients with normal abdominal CT-scan findings, there were no new findings in the ultrasound follow-up. In conclusion, the follow-up ultrasound examination in our study had a low overall diagnostic benefit, while being associated with low cost but high personnel expenses for a radiological department.

2. Einleitung

2.1 Das Polytrauma in Deutschland

Für den Begriff Polytrauma finden sich in der Literatur verschiedene Definitionen. So definiert Tscherne das Polytrauma als zwei oder mehr Verletzungen unterschiedlicher Körperregionen oder Organsysteme, die einzeln für sich oder in ihrer Kombination lebensbedrohlich sind [1]. Er unterscheidet hiervon den Begriff Barytrauma, der eine schwerwiegende Einzelverletzung beschreibt, die für sich bereits lebensbedrohlich ist.
Des Weiteren wird der Begriff des Polytraumas als Syndrom einer Mehrfachverletzung beschrieben, das mit einer systemischen Reaktion einhergeht [2]. Diese Reaktion kann zur Dysfunktion oder zum Versagen von primär nicht verletzten Organen oder vitalen Systemen führen. Durch die kumulative Systembelastung werden diese Verletzungen dann lebensbedrohlich.
In der Unfallstatistik des Jahres 2010 berichtet die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin von 8,25 Millionen Unfallverletzungen in Deutschland. Zusätzlich wurden 20 243 unfallbedingte Todesfälle gemeldet [3]. Es existiert zwar keine umfassende statistische Erhebung in der alle Polytraumata eines Jahres erfasst werden, allerdings erstellt die Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU) zu Qualitätsmanagement-zwecken jährlich einen Bericht über Traumapatienten. 2010 reichten 376 Kliniken ihre Daten für diese Berichterstellung ein. Hier wurden 15 511 Polytraumata gemeldet [4]. Andere Quellen berichten von 30 000-38 000 Fällen pro Jahr [5, 6].
Durch die erzielten Fortschritte in der präklinischen und klinischen Behandlung von schwerverletzten Patienten konnte die polytraumabedingte Sterblichkeit in Deutschland zwischen den Jahren 1970 und 2000 von 40% auf ca. 10% gesenkt werden [7]. Dennoch stellt das Polytrauma weiterhin die häufigste Todesursache bei unter 44-Jährigen dar [6, 8, 9].

2.2 Schockraummanagement

In den vergangenen 20 Jahren wurden zahlreiche Algorithmen zum Schockraummanagement entwickelt [10-14]. Ziel der Forschung war die Entwicklung eines strukturierten, standardisierten und prioritätenorientierten Managements schwerverletzter Patienten. Durch die Einführung solcher Konzepte konnten Diagnostik- und Behandlungsabläufe deutlich verbessert und die Zeitspanne bis zur Einleitung

therapeutisch notwendiger Verfahren erheblich verkürzt werden [15-18]. Zudem konnte die Letalitätsrate polytraumatisierter Patienten relevant verringert werden [19, 20].
Ein inzwischen weltweit verbreitetes Konzept ist der Advanced Trauma Life Support (ATLS®) des American College of Surgeons [21]. In den späten 1970er Jahren wurde in Nebraska (USA) ein Kurskonzept zur strukturierten Traumaversorgung entwickelt. Dieses wurde 1980 vom American College of Surgeons übernommen und weiterentwickelt. 2003 führte schließlich die Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie dieses Kurskonzept ein und bietet seitdem an 11 Zentren in Deutschland ATLS®-Kurse an [22]. Die Teilnahme wird insbesondere Ärztinnen und Ärzten empfohlen, die an der Versorgung schwerverletzter Patienten beteiligt sind. Inzwischen wurde das ATLS®-Konzept in 46 Ländern eingeführt. Ziel des zweitägigen Kurses ist die Vermittlung von theoretischen und praktischen Grundlagen in der frühklinischen Versorgung potenziell polytraumatisierter Patienten, die an klaren Richtlinien orientiert sind. Grundsatz ist dabei: „treat first what kills first“ (dt.: diejenige Verletzung zuerst behandeln, die zuerst tödlich sein könnte). Dieses Konzept soll als Leitfaden dienen lebensbedrohliche Verletzungen schnellst möglich von anderen zu unterscheiden, um diese primär therapieren zu können [23].
Bei der Versorgung dieser Patienten finden eine Erstuntersuchung (engl.: primary survey) und anschließend eine Zweituntersuchung (engl.: secondary survey) statt [23]. Die Erstuntersuchung wird in fünf Abschnitte eingeteilt und als **ABCDE**-Konzept bezeichnet. Sie beinhaltet das Überprüfen von **A**irway (Freihalten des Atemweges unter Schutz der Halswirbelsäule), **B**reathing (suffiziente Atmung und Ventilation), **C**irculation (Kreislaufstabilisierung und Blutungskontrolle), **D**isability (Bewusstseinszustand) und **E**xposure/**E**nvironment (komplette Entkleidung gefolgt von einer kurzen Untersuchung von Kopf bis Fuß, Schutz vor Hypothermie). Das Schema bietet die Möglichkeit die akut lebensbedrohlichen Verletzungen rasch zu erfassen. Kann der Kreislauf eines Patienten während der Erstuntersuchung nicht ausreichend stabilisiert werden, muss weiter nach der Ursache gesucht und gegebenenfalls durch eine chirurgische Blutstillung, Einlage einer Thoraxdrainage oder durch andere Notfalleingriffe interveniert werden.
Ist der Patient nach der kompletten Erstuntersuchung hämodynamisch stabil, folgt die ausführliche Zweituntersuchung des entkleideten Körpers, um alle anatomischen Verletzungen erfassen zu können. Zusätzlich wird der Glasgow Coma Scale (GCS) erhoben und möglichst frühzeitig eine radiologische Diagnostik durchgeführt. Durch diese Strukturierung wird die Gefahr minimiert, lebensbedrohliche Verletzungen

verspätet zu erkennen oder gar zu übersehen.
Gemäß dem ATLS®-Konzept wird im Schockraum initial eine orientierende Ultraschalluntersuchung (FAST = Focussed Assessment with Sonography for Trauma) durchgeführt, mit dem Ziel freie intraabdominelle Flüssigkeit und Organverletzungen wie beispielsweise kapselüberschreitende Lazerationen oder parenchymatöse Verletzungen zu erkennen. Bei hämodynamisch stabilen Patienten schließt sich eine Ganzkörper-Computertomografie an [24].

2.3 Der Wandel der diagnostischen Verfahren bei der Erstversorgung polytraumatisierter Patienten

Die Evaluation der Wertigkeit radiologischer Untersuchungen ist auch im Bereich der Traumabildgebung einer der Hauptgegenstände radiologischer Forschung. Vor allem durch technische Entwicklungen hat sich in den vergangenen Jahrzehnten ein Wandel in der diagnostischen Bildgebung von polytraumatisierten Patienten ergeben.
Nach der Einführung der Diagnostischen Peritoneallavage (DPL) durch Root und Perry [25, 26] in der Mitte der 1960er Jahre war diese in der Diagnostik von abdominellen Traumata über Jahre weit verbreitet. Bei der DPL wird ein Katheter über eine kleine chirurgische Inzision infraumbilical eingeführt, um eine abdominelle Lavage durchzuführen. Die anschließend aspirierte Flüssigkeit wird auf ihren Gehalt an Erythrozyten, Galleflüssigkeit und Darminhalt überprüft. Ein positiver Befund dieser Parameter lässt auf eine intraabdominelle Verletzung schließen [27].
Durch die hohe Sensitivität mit einer nur geringen Rate an falsch-negativen Befunden war die DPL seinerzeit sehr verbreitet [28]. Mit der Entwicklung neuerer Verfahren überwiegten jedoch die Nachteile der DPL. Sie wurde mit einer durchschnittlichen Dauer von ca. 20 Minuten zum einen als sehr zeitintensiv beschrieben [29] und besaß zum anderen eine Komplikationsrate von bis zu 1% [29, 30]. Beim Nachweis von Erythrozyten in der aspirierten Spülflüssigkeit kann nicht spezifisch auf die Verletzung eines bestimmten Organs geschlossen werden [31] und auch retroperitoneale Blutungen entziehen sich der Diagnostik der DPL [32]. Als Hauptkomplikationen können Darmperforationen, Blasen- und Gefäßverletzungen, sowie Verletzung stark durchbluteter parenchymtöser Organe wie Leber, Milz und Nieren auftreten [33]. Weitere Studien konnten in den 1990er Jahren die Überlegenheit der Sonografie gegenüber der Peritoneallavage zeigen [31, 34-36]. Als Vorteile des Ultraschalls

gegenüber der DPL gelten die schnelle Durchführbarkeit, die niedrigen Kosten, die Nichtinvasivität und die Schmerzlosigkeit [37]. Daher wurde die DPL mittlerweile nahezu vollständig durch die Sonografie abgelöst [29] und sollte heutzutage gemäß der AWMF-Leitlinie nur noch in Ausnahmefällen, wie bei hämodynamischer Instabilität und Ausfall weiterer Diagnostika, durchgeführt werden [24].

Die Sonografie erhielt Mitte der 1970er Jahre Einzug in die klinische Medizin und etablierte sich in der Traumabildgebung vor der flächendeckenden Einführung der Computertomografie in den 1990er Jahren als frühzeitiges Diagnostikinstrument zum Nachweis freier intraabdomineller Flüssigkeit. Seitdem hat der bei der Erstversorgung verwendete FAST-Ultraschall einen hohen Stellenwert in der Festlegung des weiteren frühklinischen Behandlungsalgorithmus bei polytraumatisierten Patienten [33, 35, 38-40].

Seit der klinischen Einführung der Computertomografie im Jahre 1972 entwickelte sich diese in den folgenden 40 Jahren durch technische Innovationen kontinuierlich weiter und bildet inzwischen einen Grundpfeiler der radiologischen Diagnostik bei der Untersuchung Schwerverletzter. Meilensteine der Entwicklung stellen die Einführung der Spiral- und Mehrzeilendetektortechnik dar. Die Spiraltechnik ermöglicht eine relevante Verkürzung der Untersuchungszeit durch eine kontinuierliche Bilddatenakquisition, eine Bildberechnung in annähernd Echtzeit, sowie durch die Einführung von standardisierten Untersuchungsprotokollen. Die nahezu sofortige Verfügbarkeit des Bildmaterials auf dem Befundungsmonitor macht auch den Einsatz der Computertomografie bei schwerverletzten Patienten möglich [19, 41-43]. Die Einführung der Mehrzeilendetektortechnik in den 1990er Jahren ermöglichte eine Reduktion von atmungsbedingten Bewegungsartefakten und die Gewinnung von isotropen Voxeln. Voxel sind Würfel mit gleicher Kantenlänge in allen drei Raumebenen, mithilfe dieser nun multiplanare und hochqualitative dreidimensionale Rekonstruktion erstellt werden können.

Insbesondere bei der Erstversorgung mehrfachverletzter Patienten hat sich die Ganzkörper-Computertomografie aufgrund ihrer hohen Sensitivität und Spezifität und der Fähigkeit zur raschen und exakten Diagnostik des Verletzungsmusters mittlerweile etabliert und stellt einen unverzichtbaren Bestandteil dar [24, 41, 42, 44-47]. Huber-Wagner et al. [41] konnten in einer retrospektiven Multicenterstudie an 4 621 Patienten zeigen, dass eine frühe Durchführung einer Ganzkörper-Computertomografie bei polytraumatisierten Patienten mit einer signifikanten Reduktion der Mortalitätsrate

einhergeht. Hierbei wiesen sie nach Durchführung einer initialen Ganzkörper-Computertomografie eine relative Reduktion der Mortalitätsrate um 25% ($p<0.001$) basierend auf dem TRISS (engl. Trauma and Injury Severity Score, dt. etwa Verletzungsschweregrad-Score) und um 13% ($p=0.017$) basierend auf dem RISC (engl. Revised Injury Severity Classification, dt. etwa revidierte Verletzungsschwere-Klassifikation) nach.

Auch weitere Studien zeigten die Überlegenheit der CT-Untersuchung gegenüber konventionellen Thoraxröntgenaufnahmen und der Abdomensonografie [44, 46]. Verschiedene Verletzungen, wie geringe parenchymatöse Organverletzungen, retroperitoneale Blutungen, kleine Gefäßverletzungen oder Zwerchfellrupturen können nur mittels Computertomografie schnell, eindeutig und zuverlässig diagnostiziert werden [19, 48, 49]. Boehm et al. [45] diskutieren den Einsatz der Computertomografie als initiales und alleiniges Diagnostikum bei hämodynamisch stabilen, polytraumatisierten Patienten. Unter den Voraussetzungen, dass schnelle Akquisitions- und Rekonstruktionsalgorithmen und eine gute Zusammenarbeit des Traumateams vorliegen, sprechen sie der Mehrschichtcomputertomografie dieses Potenzial zu.

2.4 Bildgebung bei polytraumatisierten Patienten im klinischen Verlauf

Bei polytraumatisierten Patienten empfiehlt die DGU im weiteren klinischen Verlauf sonografische Verlaufskontrollen durchzuführen [9]. Eine Ultraschallverlaufskontrolle erfolgt an der Charité – Universitätsmedizin Berlin, Campus Virchow Klinikum bei jedem Patienten, der initial als Polytrauma eingeschätzt wird. Diese Untersuchung soll innerhalb von ca. 6 bis 9 Stunden nach Erstdiagnostik stattfinden. Ziel dieser Kontrolluntersuchung ist eine intensive Überwachung der Patienten. Bei vorbekannten Verletzungen soll eine Zunahme von freier, intraabdomineller Flüssigkeit frühzeitig festgestellt und gegebenenfalls klinisch stumme initial nicht nachweisbare Organrupturen erkannt werden.

Bisher liegen in der Literatur nur wenige Studien zur Wertigkeit von Ultraschallverlaufskontrollen vor. Diese zeigen zudem uneinheitliche Ergebnisse auf. Nunes et al. [50] empfehlen Kontrollultraschalluntersuchungen bei Patienten nach stumpfem Abdominaltrauma bei gleichzeitig bestehender Beschwerdesymptomatik. In einer Studie von Lyass et al. [51] hingegen wurde bei Patienten mit bekannten Milzverletzungen nach Abdominaltrauma keine relevante Änderung des

Behandlungspfades nach sonografischen Verlaufskontrollen beschrieben.
Livingston et al. [52] folgerten aus den Ergebnissen ihrer Untersuchung, dass Patienten mit mutmaßlichem Abdominaltrauma nicht von einer stationären Aufnahme oder einer verlängerten Überwachung profitieren, wenn in einer vorangegangenen CT keine Verletzungen nachweisbar waren. Jacobs et al. [53] konnten ähnliche Ergebnisse aufzeigen. Von 441 Patienten mit einer blanden Abdomen-Computertomografie konnte in lediglich zwei Fällen ein Neubefund mittels Kontrollultraschall nachgewiesen werden. Auch routinemäßig durchgeführte Kontroll-Computertomografien werden bei hämodynamisch stabilen Patienten mit Leber- und/oder Milzverletzungen nicht empfohlen [54-57].

2.5 Abrechnungssystem in Krankenhäusern

Als Abrechnungssystem wurde 2003 das DRG-Konzept (engl. Diagnosis Related Groups, dt. Diagnose bezogene Fallgruppen) eingeführt. Dieses Konzept bezeichnet ein ökonomisch-medizinisches Klassifikationssystem, bei dem stationäre Patienten unterschiedlichen Fallgruppen zugeordnet werden, wobei verschiedene Aspekte berücksichtigt werden. Dazu gehören die Hauptdiagnose, notwendige Prozeduren, relevante Nebenerkrankungen und Komplikationen, die einen Mehraufwand für die Abteilung bedeuten, Beatmungszeit und das Alter und Geschlecht des Patienten. Hieraus berechnet sich schließlich eine Fallpauschale, die der bettenführenden Abteilung von der jeweiligen Krankenkasse erstattet wird.
Radiologische Abteilungen erhalten bei der Vergütung ihrer Leistungen jeweils einen Anteil an der Gesamtfallpauschale eines Behandlungsfalls. Bei Budgetverhandlungen und der Ausrichtung des Leistungsspektrums in einem eng vorgegeben Rahmen besteht daher die Notwendigkeit, einen transparenten Überblick über die tatsächlichen anfallenden Kosten aus Sicht der radiologischer Abteilung zu erhalten. Eine solche Kostentransparenz ist aktuell jedoch noch nicht flächendeckend gegeben [58].

3. Herleitung der Fragestellung

Ultraschalluntersuchungen haben sich in der Erstversorgung von polytraumatisierten Patienten neben der Durchführung einer Ganzkörper-Computertomografie etabliert und sind Bestandteil nationaler und internationaler Leitlinien [9, 24, 59]. Der Ultraschall findet nicht nur Anwendung in der initialen Diagnostik bei polytraumatisierten Patienten sondern wird auch im weiteren klinischen Verlauf zur Verlaufskontrolle eingesetzt, um mögliche zweizeitige Organblutungen frühzeitig erkennen zu können. Diese Untersuchung wird in den Leitlinien der DGU empfohlen [9] und wird an der Charité – Universitätsmedizin Berlin, Campus Virchow Klinikum bei allen potenziell polytraumatisierten Patienten nach ca. 6 bis 9 Stunden durchgeführt.

Unter Berücksichtigung der aktuellen Literatur [50-57, 60], des technischen Fortschritts und des nahezu routinemäßigen Einsatzes der Computertomografie, ist anzunehmen, dass sich der Stellenwert sonografischer Verlaufskontrollen bei polytraumatisierten Patienten in den letzten Jahren verändert hat. Dennoch wird im klinischen Alltag bei initial unauffälliger CT des Abdomens routinemäßig eine Ultraschallverlaufskontrolle gemäß dem etablierten Versorgungsalgorithmus durchgeführt.

Problematisch ist dabei, dass bei unauffälliger Computertomografie nur in Ausnahmefällen ein Neubefund in der Ultraschalluntersuchung zu erwarten ist und die Durchführung der Untersuchung in Kliniken der Maximalversorgung einen hohen zeitlichen und finanziellen Aufwand für die radiologische Abteilung bedeutet. Soll das enge Zeitfenster der radiologischen Diagnostik eingehalten werden, müssen Verlaufskontrollen auch in Nacht- und Bereitschaftsdiensten stattfinden. Da jedoch a priori von einem geringen diagnostischen Nutzen von Ultraschallverlaufskontrollen ausgegangen werden muss, stellt sich die Frage nach deren tatsächlicher Wertigkeit.

Nach der Einführung von Fallpauschalen als Abrechnungssystem in Krankenhäusern wurde es für die verschiedenen Krankenhausabteilungen bei Budgetverhandlungen und Fragen zum Leistungsspektrum immer wichtiger einen Überblick über die anfallenden Kosten ihres Bereiches zu erlangen.

Ziel dieser Arbeit ist es daher, einerseits den diagnostischen Zugewinn von Ultraschall-verlaufskontrollen nach initialer CT-Untersuchung bei potenziell polytraumatisierten Patienten zu evaluieren und anderseits die dabei entstehenden Kosten und den personellen Aufwand aus Sicht einer radiologischen Abteilung zu bestimmen. Zudem sollen Sensitivität und Spezifität des Ultraschalls im Schockraum ermittelt werden.

4. Methodik

4.1 Studienpopulation

Die retrospektive Auswertung des Studienkollektivs der vorliegenden Arbeit erfolgte für den Zeitraum von November 2008 bis Oktober 2009. Erfasst wurden sämtliche Patienten, die per Hubschrauber oder Rettungswagen in die chirurgische Rettungsstelle der Charité – Universitätsmedizin Berlin, Campus Virchow Klinikum gebracht wurden und bei denen gemäß den Leitlinien der DGU [24] aufgrund der präklinischen und klinischen Einschätzung bei Eintreffen der Verdacht auf eine Polytraumatisierung gestellt wurde.

4.2 Einschlusskriterien

Eingeschlossen wurden Patienten, die eine vollständige radiologische Diagnostik gemäß folgendem Schema und in der folgenden Reihenfolge erhalten hatten:

- Aufnahme über die chirurgische Rettungsstelle als Polytraumapatient
- FAST-Ultraschall (Focused Assessment with Sonography for Trauma) im Schockraum
- 16-Zeilen-Ganzkörper-Spiralcomputertomografie
- Kontrollultraschall 3 bis 24 Stunden nach der initialen CT-Untersuchung

4.3 Schockraummanagement

In Abbildung 1 ist der Schockraum-Algorithmus der Charité – Universitätsmedizin Berlin, Campus Virchow Klinikum und Campus Mitte dargestellt. Die Erstversorgung der Patienten im Schockraum erfolgte gemäß der geltenden AWMF-Leitlinie [24]. Es wurden der Unfallhergang, die Verletzungen, der GCS (Glasgow Coma Scale), der ISS (Injury Severity Score), der körperliche Untersuchungsbefund und der FAST-Ultraschallbefund durch das Schockraumteam dokumentiert.

Gemäß dem ATLS®-Konzept wurden bei Eintreffen des Patienten im Krankenhaus primär die Vitalfunktionen festgestellt und gesichert. Dies beinhaltete folgende lebensrettende Sofortmaßnahmen: Airway, Breathing, Circulation, Disability, Exposure and Environment (ABCDE-Konzept) [23]. Die Erstuntersuchung erfolgte am entkleideten Patienten. Nach dem Sichern der Vitalfunktionen kamen verschiedene bildgebende Verfahren zum Einsatz.

Schockraum-Algorithmus

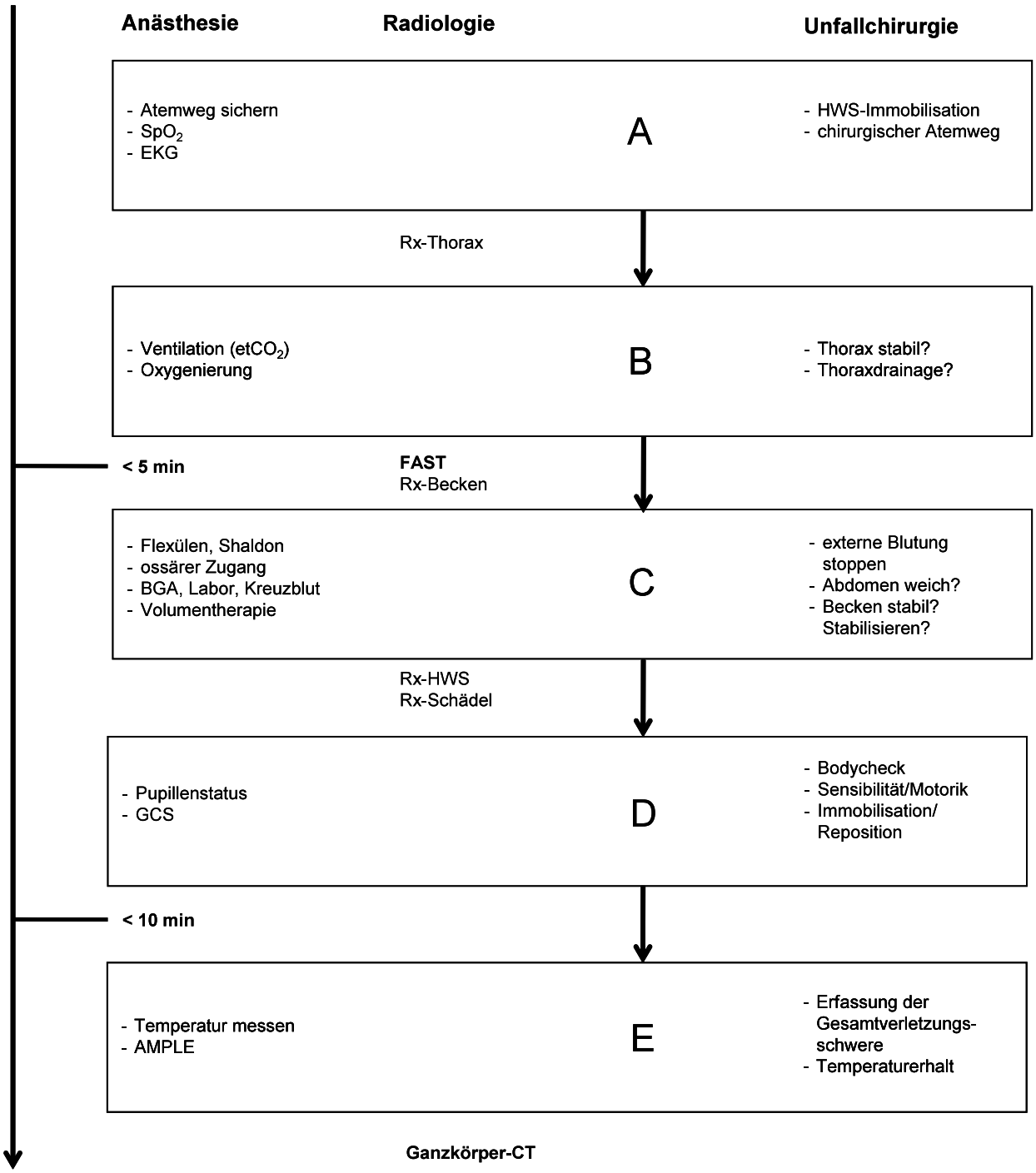

Abb. 1: Schockraum-Algorithmus der Charité – Universitätsmedizin Berlin, Campus Virchow Klinikum und Campus Mitte, modifiziert nach einer Abbildung des Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie (CMSC) [61].

SpO_2, Sauerstoffsättigung; EKG, Elektrokardiogramm; HWS, Halswirbelsäule; Rx, Röntgen; $etCO_2$, exspiratorisches Kohlendioxyd; FAST, Focussed Assessment with Sonography for Trauma; BGA, Blutgasanalyse; GCS, Glasgow Coma Scale; AMPLE, Allergies, Medications, Previous medical history, Last meal, Events.

4.4. Bildgebende Verfahren im Schockraum und im klinischen Verlauf

4.4.1 FAST-Ultraschall

Der FAST-Ultraschall (Focused Assessment with Sonography for Trauma) ist eines der ersten zum Einsatz kommenden bildgebenden Verfahren. Er ist eine wichtige diagnostische Säule, um massive innere Blutungen und Verletzungen nichtinvasiv und innerhalb kürzester Zeit erkennen zu können. Die Ultraschalluntersuchung erfolgte durch den diensthabenden Radiologen der radiologischen Klinik. Entsprechend dem FAST-Untersuchungskonzept wurden folgende Bereiche des Thorax und des Abdomens sonografisch auf freie Flüssigkeit, freie Luft und Organverletzungen untersucht: 1. Morrison Pouch (Raum zwischen rechter Niere und Leber), 2. Perikard und Pleuraspalt, 3. perisplenischer Raum und 4. Douglas Raum (kleines Becken). Eine Übersicht über die Untersuchungsregionen ist in Abbildung 2 dargestellt. Es wurde ein Ultraschallgerät der Firma Toshiba, (Corevision Pro, Tokio, Japan) mit einem 3,5 MHz curved array Schallkopf verwendet. Bei allen Patienten des untersuchten Studienkollektivs erfolgte nach der FAST-Untersuchung eine Ganzkörper-Computertomografie. Hierdurch konnten die Befunde der Sonografie überprüft werden. Ein richtig-positiver Befund lag vor, wenn Sonografie und CT übereinstimmende Befunde erbrachten. Als richtig-negativ wurde der FAST-Ultraschall gewertet, wenn auch in der CT keine Verletzungen nachzuweisen war. Falsch-positiv war der FAST-Ultraschallbefund, wenn in der Sonografie ein Verdacht auf eine Organverletzung oder freie Flüssigkeit geäußert wurde, sich dieser jedoch in der anschließenden CT-Untersuchung nicht bestätigte. Falsch-negativ waren solche Ultraschalluntersuchungen, bei denen in der CT neue Verletzungen detektiert werden konnten, auf die zuvor noch kein Verdacht bestand.

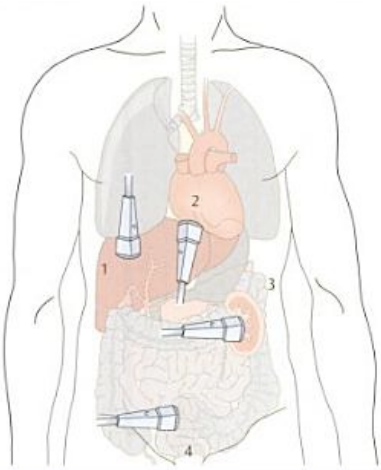

Abb. 2: Untersuchungsregionen des FAST-Ultraschalls:
1. Morrison Pouch, 2. Perikard und Pleuraspalt,
3. linke splenorenale Fossa, 4. Douglas-Raum.
Aus Niethard FU, Pfeil J, Bieberthaler P, *Abdomen- und Urogenitaltrauma*. Duale Reihe Orthopädie und Unfallchirurgie. [62]

4.4.2 Konventionelle Röntgendiagnostik

Anschließend erfolgte die konventionell-radiografische Darstellung anhand von anterior-posterior (a.p.) Röntgenaufnahmen des Thorax und der seitlichen Halswirbelsäule, sowie der Schädelbasis. Gemäß dem Verletzungsmuster erfolgte eine Röntgenaufnahme des Beckens in a.p. Projektion, der Brust- und Lendenwirbelsäule sowie der Extremitäten in 2 Projektionsebenen. Verwendet wurde jeweils das im Schockraum installierte Röntgengerät Optiplanimat (Siemens, Erlangen, Deutschland) mit Speicherfoliensystem. Die Befundung der Radiografien erfolgte durch den diensthabenden Radiologen unmittelbar im Schockraum in Anwesenheit des traumatologischen Teams.

4.4.3 Ganzkörper-Computertomografie

Zur umfassenden Diagnostik von Verletzungen erfolgte beim vorliegenden Studienkollektiv im Anschluss an die Erstversorgung im Schockraum die 16-Zeilen-Ganzkörper-Computertomografie. Der verwendete Computertomograf (Light Speed, General Electric, Fairfield, CT, USA) stand in einem ca. 50 m vom Schockraum entfernten Raum der radiologischen Abteilung. Bei der computertomografischen Diagnostik von potenziell polytraumatisierten Patienten kam ein spezielles radiologisches Protokoll zur Anwendung. Dieses Protokoll bestand aus zwei Untersuchungsabschnitten. Zunächst erfolgte eine native okzipitomental-angulierte Spiral-CT-Aufnahme des Kopfes mit einer Schichtdicke von 1,25 mm (120 kV Röhrenspannung, 250 mA Stromstärke, 1 s Rotationsdauer). Der sich anschließende zweite Untersuchungsabschnitt umfasste die kontrastmittelverstärkte Untersuchung des restlichen Körpers (axiale Hals-Thorax-Abdomen-Spiralserie). Hierzu wurden nach Anheben der Arme 150 ml Kontrastmittel (Ultravist 370, Bayer Schering Pharma, Berlin, Deutschland) mit einer Flussrate von 3,5 ml/s verabreicht. Die Aufnahme erfolgte nach einer Scanverzögerung von 60 Sekunden (1,25 mm Schichtdicke, 120 kV Röhrenspannung, 290 mA Stromstärke, 0,5 s Rotationsdauer).

Im Anschluss an den CT-Scan erfolgte die multiplanare Rekonstruktion der Rohdaten an der CT-Konsole. Die Befundung erfolgte unmittelbar nach der Untersuchung durch einen traumatologisch erfahrenen Assistenzarzt der Radiologie in Anwesenheit eines radiologischen Facharztes. Zusätzlich waren stets ärztliche Kollegen des Trauma-Teams und eventuell auch weiterer relevanter Fachrichtungen (Neurochirurgie, HNO,

MKG-Chirurgie, Ophthalmologie) anwesend. Die erhobenen Befunde wurden direkt im Anschluss an den CT-Scan demonstriert. Es wurde der schriftliche Untersuchungsbefund erstellt, welcher spätestens 30 Minuten nach der CT-Untersuchung freigegeben wurde. Interdisziplinär wurde entschieden, ob der Patient direkt operiert werden musste, oder ob zunächst ein konservatives Vorgehen angezeigt war. Bei indizierter Überwachung wurden die Patienten auf eine Intensiv- oder Überwachungsstation verlegt. Die Bilddaten der CT-Untersuchungen wurden im PACS (Picture Archiving Computer System; GE Centricity 4.1, GE Healthcare, USA) und die Befunde im radiologischen Informationssystem (RIS) gespeichert.

4.4.4 Kontrollultraschall

In einem Zeitintervall von 3 bis 24 Stunden nach Aufnahme erfolgte bei dem untersuchten Patientenkollektiv ein Kontrollultraschall des Abdomens. Die Durchführung und Befundung dieser Untersuchung erfolgte durch den jeweiligen diensthabenden Radiologen der Klinik entweder auf der Intensiv- bzw. Wachstation oder auf einer Normalstation. Hierbei kam ein mobiles Ultraschallgerät (LOGIQ e, GE Healthcare, Fairfield, USA, mit einem 3,5 MHz currved array Schallkopf) zum Einsatz. Die erhobenen Bilddaten wurden im Anschluss an die Untersuchung vom mobilen Ultraschallgerät in das PACS der radiologischen Klinik übertragen. Das genaue Zeitintervall zwischen der initialen Ganzkörper-Computertomografie und der Ultraschallverlaufskontrolle wurde dem RIS entnommen.

4.5 Datenerfassung

Die Daten für diese Arbeit wurden mithilfe eines Datenerfassungsbogens retrospektiv erhoben. Zur Selektion des Patientenkollektivs wurde das Bildarchivierungssystem PACS der Klinik für Radiologie der Charité – Universitätsmedizin Berlin, Campus Virchow Klinikum genutzt. Die Eingrenzung des Patientenkollektivs erfolgte durch eine Beschränkung auf den Zeitraum von November 2008 bis Oktober 2009. Als Untersuchungsart wurde die Polytrauma-Computertomografie und als Anforderer der Untersuchung die erstaufnehmende chirurgische Abteilung ausgewählt. Zudem mussten die Einschlusskriterien (siehe Kapitel 3.2.) erfüllt sein.

Die Befunde der radiologischen Bildgebung der potenziell polytraumatisierten Patienten wurden hinsichtlich vorhandener, dokumentierter Verletzungen überprüft. Dazu

gehörten Verletzungen und freie Flüssigkeit im FAST-Ultraschall, in der CT Verletzungen von Schädel, Thorax, Abdomen, Wirbelsäule und Becken sowie Verletzungen und freie Flüssigkeit des ersten Kontrollultraschalls. Zudem wurde das Zeitintervall zwischen initialer CT und erstem Kontrollultraschall dem RIS entnommen. Im Datenerfassungsbogen wurden die Patienten pseudonymisiert (KUS + fortlaufende Nummer, 3-stellig). Über die elektronische Datenbank der Charité – Universitätsmedizin Berlin (SAP, Systeme Anwendungen und Produkte in der Datenverarbeitung, Walldorf, Deutschland) wurden aus der Erste-Hilfe-Dokumentation das Geschlecht und Alter, sowie Informationen zur Unfallanamnese erfasst. Der Glasgow Coma Scale (GCS) der Patienten bei Aufnahme wurde den Patientenakten aus dem Krankenblattarchiv an der Charité – Universitätsmedizin Berlin, Campus Virchow Klinikum entnommen.

Bei der Auswertung der CT-Befunde wurden die vorhandenen Befunde nochmals durch einen radiologischen Facharzt durchgesehen und dokumentierte Verletzungen anhand des Bildmaterials validiert. Bei allen Patienten, die in der initialen CT eine Verletzung des Abdomens aufwiesen wurden zusätzlich die Krankenakten eingesehen, um den weiteren Verlauf der Krankengeschichte zu erfassen. Dabei wurden die Entlassungsbriefe hinsichtlich der Dokumentation von Abdomenverletzungen und deren klinische Versorgung (Operation – konservative Behandlung) durchgesehen.

Das Patientenkollektiv wurde hinsichtlich der häufigsten Unfallursachen mit Verletzungsmuster, Geschlecht und Alter untereinander verglichen.

Nach der Dokumentation der Befunde der FAST-Untersuchung, der Ganzkörper-Computertomografie und des Kontrollultraschalls erfolgte deren Auswertung und Vergleich hinsichtlich neu detektierter Befunde. Hier wurde zwischen therapierelevanten Neubefunden und sonstigen Neubefunden ohne relevantes Therapieänderungs-potenzial unterschieden. Als therapierelevant wurden solche Befunde definiert, die eine operative Konsequenz zur Folge hatten. Die Einordnung der Neubefunde wurde auf der Grundlage der Dokumentation in der Krankenakte getroffen. Nach der Auswertung der gewonnen Ergebnisse wurden zwei Gruppen gebildet. Die erste Gruppe bestand aus Patienten mit Abdomenverletzungen in der initialen Computertomografie, die zweite Gruppe entsprechend aus Patienten ohne eine solche abdominelle Verletzung. Beiden Gruppen wurden hinsichtlich der Neubefunde in der Ultraschallverlaufskontrolle verglichen.

4.6 Definition und Messung der Kosten

Grundlage eines rationalen Wirtschaftens bildet das ökonomische Prinzip [63]. Eine seiner Ausprägungsformen stellt das Minimumprinzip dar, wobei ein vorgegebenes Ziel mit einem möglichst geringen Mittelseinsatz erreicht werden soll. Bei der Anwendung des Maximumprinzips soll hingegen ein möglichst großer Nutzen bei einem zuvor definierten Mitteleinsatz erreicht werden. Im Gesundheitswesen kommt unter der gesetzlichen Festlegung der Beitragssatzstabilität nach §71 Sozialgesetzbuch V vor allem das Maximumprinzip im Sinne der Erzielung eines möglichst großen Nutzens bei gegebenem Mitteleinsatz zur Anwendung [64].

Der Definition nach stellen Kosten den bewerteten Verzehr von wirtschaftlichen Gütern materieller und immaterieller Art zur Erstellung von Sach- oder Dienstleistungen dar [65]. Bei einer Kostenbetrachtung werden verschiedene Kostenbegriffe voneinander abgegrenzt und dabei zwischen direkten und indirekten Kosten sowie variablen und fixen Kosten unterschieden. Zudem werden Personal-, Material-, Anschaffungs- und Finanzierungskosten voneinander abgegrenzt.

In der vorliegenden Arbeit wurden neben direkten fixen Kosten, also Kosten, die unabhängig von der Anzahl der Untersuchungen entstehen, auch direkten variable Kosten, welche für jede Untersuchung erneut anfallen berücksichtigt. Direkte fixe Kosten beinhalten die Anschaffungs- und Wartungskosten der Untersuchungsgeräte und deren Wertminderung über einen bestimmten Zeitraum (Abschreibungskosten). Unter direkten variablen Kosten wurden die Personalkosten für Ärzte und medizinisch technische Röntgenassistenten (MTRA) und die Kosten für Verbrauchsmaterialen, wie Ultraschallgel und Desinfektionstücher, zusammengefasst.

4.6.1 Berechnung der direkten fixen Kosten

Zur Berechnung der Gerätenutzungskosten müssen deren Anschaffungskosten und die Finanzierungs- und Installationskosten bekannt sein. Darüber hinaus sind Wartungs- und Reparaturkosten zu berücksichtigen. Unter der Annahme einer bestimmten Gesamtnutzungszeit und der jährlichen Nutzungsdauer können, unter Kenntnis sämtlicher Kosten, die Kosten je Nutzungsminute berechnet werden.

Die Kosten für Anschaffung und Wartung sowie für Reparaturen wurden von der Einkaufsabteilung unserer Klinik zur Verfügung gestellt. Bei der Abschreibung der Anschaffungskosten wurde von einer 5-jährigen Nutzungsdauer ausgegangen. Aus

Vereinfachungsgründen wurden die Kosten für die Raumnutzung, Reinigung sowie Energiekosten nicht berücksichtigt.

4.6.2 Berechnung der direkten variablen Kosten

Zur Berechnung der Personalkosten wurde ein Prozessmodell für das Verfahren der Ultraschalluntersuchung mit einem mobilen Gerät aufgestellt. Durch die Analyse der einzelnen Prozessschritte der Ultraschalluntersuchung wurde die Personalbindungszeit (in Minuten) für die jeweils involvierte Personalgruppe der radiologischen Abteilung (Oberarzt, Assistenzarzt, MTRA) errechnet. Die Dauer der Einzelschritte wurde prospektiv im Rahmen von 20 auf den Stationen mobil durchgeführten Ultraschalluntersuchungen ermittelt und daraus anschließend die Mittelwerte errechnet.
Die Personalkosten wurden anhand der geltenden Tarifverträge für den öffentlichen Dienst (TVöD – Besonderer Teil Krankenhäuser, Tarifgebiet West, gültig bis 31.12.2009) sowie für Ärztinnen und Ärzte an Universitätskliniken (TV-Ärzte an Universitätskliniken, Tarifgebiet West, gültig bis 31.07.2010) kalkuliert. Da die Entgeltstufe des Personals je nach Zugehörigkeitslänge variieren, wurden jeweils die Mittelwerte der Bruttolöhne der einzelnen Beschäftigungsgruppen gebildet. Die Personalkosten, basierend auf den monatlichen Bruttolöhnen der einzelnen Beschäftigungsgruppen, wurden unter Annahme einer 40-Stunden Woche auf Minutenbasis errechnet. Die durchschnittlichen Urlaubs- und Fehltage (Krankheits- und Fortbildungstage) wurden hierbei ebenfalls berücksichtig.
Da die Kontrollultraschalluntersuchungen häufig in Wochenend-, Nacht- und Bereitschaftsdiensten durchgeführt werden mussten, war für die korrekte Kostenanalyse auch die Berücksichtigung von Dienstzuschlägen von Bedeutung. Zu diesem Zweck wurde zwischen Kontrollultraschalluntersuchungen, die in der Regelarbeitszeit (07:30 Uhr bis 16:30 Uhr) stattgefunden haben, und jenen Untersuchungen, die zu Dienstzeiten unter der Woche (16:30 Uhr bis 07:30 Uhr) oder in allen Diensten am Wochenende durchgeführt wurden, unterschieden. Für die Untersuchungen zu Dienstzeiten wurde an Wochentagen ein Zuschlag von 15% und an Wochenenden ein Zuschlag von 20% hinzugerechnet. Die Personalgesamtkosten ergaben sich dann aus der Summe der anfallenden Personalkosten der ermittelten Einzelschritte der jeweiligen Beschäftigungsgruppe.

Die Preise für Verbrauchsmaterialien wie Ultraschallgel, Desinfektionstücher und Papier für den mobilen Drucker wurden von der Einkaufsabteilung der Klinik für Radiologie zur Verfügung gestellt.
Um die Gesamtkosten einer einzelnen Ultraschalluntersuchung mit einem mobilen Gerät auf einer Station zu errechnen wurde schließlich die Summe aus Personalkosten, Gerätenutzungskosten und den Kosten für Verbrauchsmaterialien gebildet.

4.7 Statistische Analyse

Für die statistische Analyse sowie für die Erstellung von Grafiken wurde die Software R-Statistik (The R Foundation for Statistical Computing, Wien, Österreich) verwendet.
Mittels des Shapiro-Wilk-Tests konnte bezüglich des Alters der Studienpopulation keine Normalverteilung nachgewiesen werden. Auch die Zeitintervalle (initale CT bis Kontrollultraschall) waren nicht normalverteilt. Zur deskriptiven Beschreibung der Studienpopulation wurden daher Mediane und Quartile (25%; 75%) für alle relevanten Daten errechnet. Dementsprechend kamen der Mann-Whitney Test und Kruskal-Wallis Test zur Anwendung. Die Sensitivitäten und Spezifitäten des FAST-Ultraschalls wurden mittels Kontingenztafel errechnet. Die Neubefunde des Kontrollultraschalls wurden ausgezählt und als Absolutwerte (n) und Prozente (%) angegeben.

5. Ergebnisse

5.1 Deskriptive Analyse der Studienpopulation

Im Zeitraum von November 2008 bis Oktober 2009 erfüllten 176 Patienten die Einschlusskriterien und wurden in die Auswertung einbezogen. Bei allen eingeschlossenen Patienten erfolgte, bei Verdacht auf ein polytraumatisches Verletzungsmuster, im Schockraum ein FAST-Ultraschall, eine Ganzkörper-Computertomografie, sowie mindestens eine Ultraschallverlaufskontrolle im Zeitraum zwischen 3 und 24 Stunden nach initialer CT-Untersuchung.

Das eingeschlossene Studienkollektiv setzte sich zu 28,4% (n=50) aus weiblichen und zu 71,6% (n=126) aus männlichen Patienten zusammen. Das mediane Alter der gesamten Studienpopulation betrug 42 Jahre (29; 55 Jahre) mit einem Minimum von 6 Jahren und einem Maximum von 97 Jahren. Die weiblichen Patienten unterschieden sich mit einem medianen Alter von 39,5 Jahren (28; 50 Jahre) nicht von den männlichen Patienten mit einem medianen Alter von 42,5 Jahren (29; 55 Jahre) (p=0.42). Bei der Altersverteilung ließen sich zwei Altersgipfel erkennen. Der erste Gipfel lag bei der Patientengruppe zwischen 20 und 25 Jahren, der zweite bei der Gruppe der 35 bis 40-Jährigen (Abbildung 3).

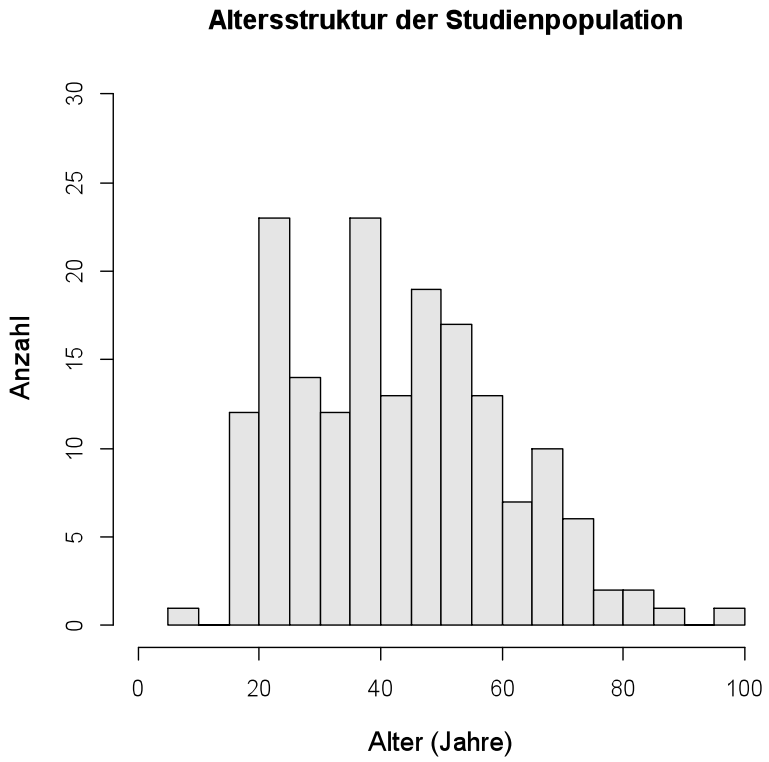

Abb. 3: Altersstruktur der Studienpopulation (n=176 Patienten).

In Tabelle 1 sind die Unfallursachen der Studienpopulation dargestellt.

Tab. 1: Unfallursachen der Studienpopulation, Prozentzahlen bezogen auf die Gesamtstudienpopulation n=176, Prozentzahlen auf eine Nachkommstelle gerundet, Gesamtpatientenanzahl in der Tabelle n=175, da ein Patient diesen Gruppen nicht zuzuordnen war (Messerstichverletzungen).

Unfallursachen	männlich (%)	weiblich (%)	Gesamt (%)
Verkehrsunfälle	88 (50,0%)	34 (19,3%)	**122 (69,3%)**
Pkw-Unfall	26 (14,8%)	10 (5,7%)	36 (20,5%)
Motorradunfall	29 (16,5%)	5 (2,8%)	34 (19,3%)
Fahrradunfall	13 (7,4%)	9 (5,1%)	22 (12,5%)
Fußgänger	20 (11,4%)	10 (5,7%)	30 (17,0%)
Stürze	37 (21,0%)	16 (9,1%)	**53 (30,1%)**
<3 m Höhe	13 (7,4%)	3 (1,7%)	16 (9,1%)
≥3 m Höhe	24 (13,6%)	13 (7,4%)	37 (21,0%)

14 Patienten (8%) des Studienkollektivs wiesen einen GCS von ≤ 8 Punkten auf. Bei 9 Patienten (5,1%) wurde ein GCS von 9-12 Punkten festgestellt. 16 Patienten (9,1%) hatten einen GCS von 13 oder 14 Punkten, die übrigen 137 Patienten (77,8%) waren im Bewusstseinszustand nicht eingeschränkt und wiesen somit einen GCS-Wert von 15 Punkten auf.

In Abbildung 4 ist die Altersverteilung der Patienten bezüglich der Unfallursachen dargestellt. Das mediane Alter der einzelnen Gruppen betrug bei Pkw-Unfällen 38,5 Jahre, bei Motorradunfällen 37,5 Jahre, bei Fahrradunfällen 46,5 Jahre und bei Unfällen von Fußgängern 47 Jahre. Bei den Stürzen aus großer Höhe (≥3 m) lag das mediane Alter der Patienten bei 40 Jahren und bei aus geringer Höhe (<3 m) bei 58,5 Jahren.

Patienten mit Verkehrsunfällen, sowie Patienten mit Sturzverletzungen aus großer Höhe zeigten untereinander hinsichtlich des Alters keine signifikanten Unterschiede (p=0.25). Patienten mit Stürzen aus geringer Höhe waren älter als die Patienten mit allen anderen Unfallursachen (p<0.05), ausgenommen Patienten mit Fahrradunfällen.

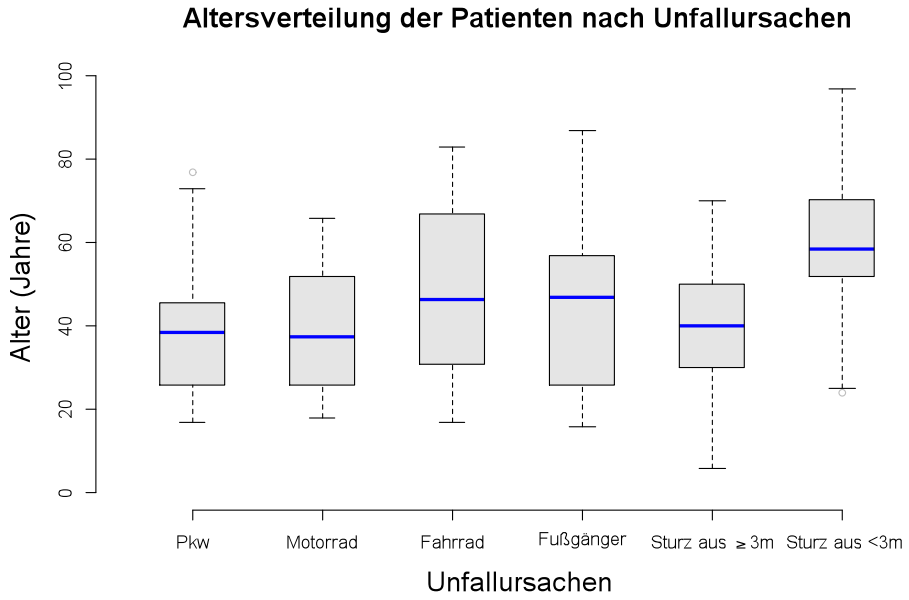

Abb. 4: Altersverteilung der Patienten bezüglich der Unfallursachen; n=175 Patienten.

Die Verteilung der Verletzungsmuster der unterschiedlichen Unfallursachen ist in Abbildung 5 dargestellt. Bei den Pkw-Fahrern, Motorradfahren, und Fahrradfahrern sowie bei Stürzen aus großer Höhe wurden hauptsächlich Thoraxverletzungen festgestellt. Bei Fahrradfahren und Fußgängern wurden häufig Kopfverletzungen diagnostiziert. Bei den Stürzen aus geringer Höhe waren am häufigsten Kopfverletzungen festzustellen. Patienten mit Stürzen aus großer Höhe wiesen die meisten Verletzungen auf (n=70 Verletzungen).

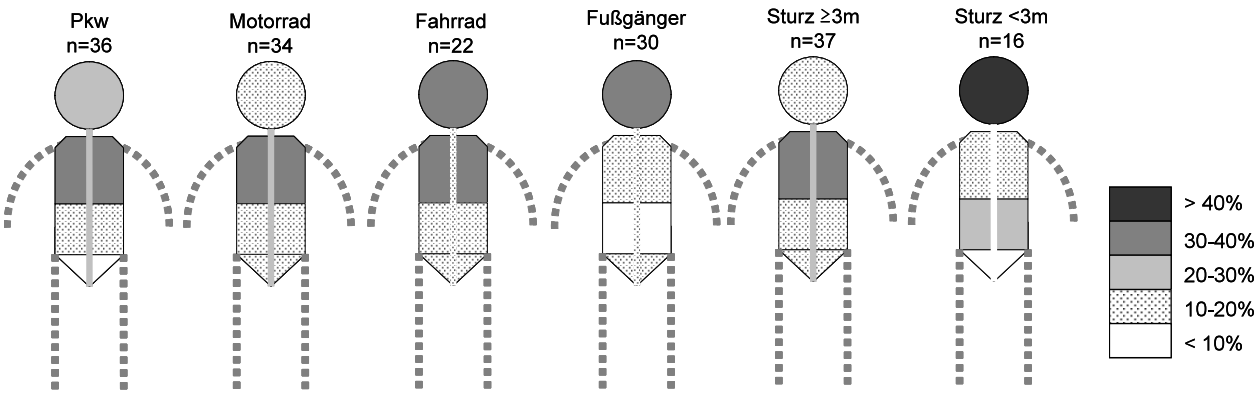

Abb. 5: Verletzungsmuster bei den unterschiedlichen Unfallursachen. Die Patientenanzahl (n) ist für jede Unfallursache dargestellt. Die prozentuale Verteilung der Verletzungen der Körperregionen (Kopf, Thorax, Abdomen, Wirbelsäule und Becken) ist auf die Patientenanzahl der jeweiligen Gruppe bezogen. Verletzungen der Extremitäten wurden in der Abbildung nicht berücksichtigt.

5.2 Radiologische Befunde im Schockraum

Im FAST-Ultraschall konnten bei insgesamt 19 der 176 Patienten Verletzungen festgestellt werden. Darunter waren 8 Verletzungen der Leber, 5 Milz- und 3 Nierenverletzungen. Freie Flüssigkeit perihepatisch, perisplenisch, perirenal oder im kleinen Becken wurde bei insgesamt 10 Patienten im initialen Ultraschall im Schockraum vermutet.

In der CT-Untersuchung wurden bei insgesamt 125 Patienten Verletzungen detektiert. Den einzelnen Körperregionen zugeordnet ergaben sich folgende Werte: 55 Patienten wiesen Kopfverletzungen auf, 66 Thoraxverletzungen, 25 Abdomenverletzungen, 43 Wirbelsäulenverletzungen und 28 Patienten wiesen Beckenfrakturen auf. Eine detaillierte Übersicht aller Verletzungen ist in Tabelle 2 dargestellt.

Da die abdominellen Verletzungen im Bezug auf die gesetzte Fragestellung wichtig sind, werden sie im Folgenden genauer beschrieben: Bei 25 der untersuchten Patienten wurden Abdomenverletzungen diagnostiziert. Hier entfielen 10 Verletzungen auf die Leber. Hierunter waren 2 kapselüberschreitende Verletzungen (eine Leberlazerationen und eine Leberruptur) und 8 subkapsuläre Verletzungen (3 Leberkontusionen und 5 Leberhämatome). 6 Verletzungen entfielen auf die Milz, darunter waren 4 Milzkontusionen/Hämatome, ein Milzparenchymeinriss und eine Milzruptur. Des Weiteren lagen 4 parenchymatöse Verletzungen der Nieren vor. Bei 12 Patienten wurde freie Flüssigkeit nachgewiesen.

Bei 60 Patienten lagen Verletzungen mehrerer Körperregionen vor (≥ 2 Regionen), 65 Patienten wiesen in der Ganzkörper-Computertomografie Verletzungen einer Körperregion auf und bei 51 Patienten wurde in der initialen CT-Untersuchung keine Verletzung detektiert.

Tab. 2: Befunde des FAST-Ultraschalls und der Computertomografie, differenziert nach Körperregionen. Prozentuale Darstellung der Verletzungen bezogen auf die Gesamtanzahl der Verletzungen der jeweiligen Körperregion, Prozentzahlen auf eine Nachkommastelle gerundet.

Patienten-anzahl	Körperregion	Verletzungen	Anzahl der Verletzungen	Verletzungen gesamt
FAST-Ultraschall:				**26**
19	Abdomen			26
	• Leber	Parenchymatöse Einblutung	6 (23,0%)	
		Kapselüberschreitende Verletzung	2 (7,7%)	
	• Milz	Parenchymatöse Einblutung	3 (11,5%)	
		Kapselüberschreitende Verletzung	2 (7,7%)	
	• Niere	Parenchymatöse Einblutung	3 (11,5%)	
		Kapselüberschreitende Verletzung	0	
	• Sonstige	Freie intraabdominelle Flüssigkeit	10 (38,5%)	
Computertomografie:				**328**
55	Kopf			87
		Kalottenfraktur	37 (42,5%)	
		Intrazerebrale Blutung (inkl. Kontusionsblutungen)	13 (14,9%)	
		Subarachnoidalblutung	20 (23,0%)	
		Subduralhämatom	10 (11,5%)	
		Epiduralhämatom	7 (8,0%)	
66	Thorax			120
		Rippenfraktur	50 (41,7%)	
		Pneumothorax	23 (19,2%)	
		Lungenkontusion	47 (39,2%)	
25	Abdomen			32
	• Leber	parenchymatöse Einblutung	8 (25,0%)	
		Kapselüberschreitende Verletzung	2 (6,3%)	
	• Milz	Parenchymatöse Einblutung	4 (12,5%)	
		Kapselüberschreitende Verletzung	2 (6,3%)	
	• Niere	Parenchymatöse Einblutung	4 (12,5%)	
		Kapselüberschreitende Verletzung	0	
	• Sonstige	Freie intraabdominelle Flüssigkeit	12 (37,5%)	
43	Wirbelsäule			61
		Fraktur HWS	25 (41,0%)	
		Fraktur BWS	11 (18,0%)	
		Fraktur LWS	25 (41,0%)	
28	Knöchernes Becken	Beckenfraktur	28 (100%)	28

5.3 Sensitivitäten und Spezifitäten des FAST-Ultraschalls

Der Vergleich der Befunde der FAST-Untersuchung und der Computertomografie ist in Tabelle 3 dargestellt.

Tab. 3: Vergleich der FAST-Befunde mit den Abdomen-Computertomografie-Befunden.

	Positive FAST-Befunde	**Positive CT-Befunde**	**Neubefunde in der CT**
Leber	8	10	2
Milz	5	6	1
Niere	3	4	1
freie Flüssigkeit	10	12	2
Positive Befunde gesamt	26	32	6
Anzahl der Patienten	19	25	6

Bei 19 Patienten wurde im FAST-Ultraschall der Verdacht auf eine abdominelle Verletzung gestellt, bei 157 Patienten lag ein blander FAST-Ultraschallbefund im Schockraum vor. Alle 26 Befunde, die mithilfe der FAST-Untersuchung diagnostiziert wurden, konnten auch mittels CT bestätigt werden. Zusätzlich lieferte die Computertomografie bei insgesamt 6 Patienten neue Befunde, auf die zuvor kein Verdacht geäußert wurde. Dabei handelte es sich um 2 Leberverletzungen, jeweils eine Milz- und eine Nierenverletzung. Bei 2 Patienten konnte freie intraabdominelle Flüssigkeit festgestellt werden.

Tab. 4: Kontingenztafel zur Ermittlung der Sensitivität und Spezifität des FAST-Ultraschalls zur Detektion von freier intraabdomineller Flüssigkeit; RP, richtig-positiv; FP, falsch-positiv; FN, falsch-negativ; RN, richtig-negativ.

	CT positiv	**CT negativ**	**Summe**
FAST positiv	10 (RP)	0 (FP)	10
FAST negativ	2 (FN)	164 (RN)	166
Summe	12	164	**176**

Tab. 5: Kontingenztafel zur Ermittlung der Sensitivität und Spezifität des FAST-Ultraschalls zur Detektion von Organverletzungen.

	CT positiv	**CT negativ**	**Summe**
FAST positiv	16 (RP)	0 (FP)	16
FAST negativ	4 (FN)	156 (RN)	160
Summe	20	156	**176**

Aus obigen Werten ergab sich für den FAST-Ultraschall zur Detektion von freier Flüssigkeit eine Sensitivität von 83,3% bei einer Spezifität von 100% gemessen am Goldstandard der Computertomografie. Die Sensitivität zur Detektion von Organverletzungen betrug 80% und die Spezifität 100%. Fasst man die Befunde für Organverletzungen und freie Flüssigkeit zusammen, ergibt sich eine Gesamtsensitivität von 81,3% und eine Spezifität von 100%.

5.4 Kontrollultraschall

5.4.1 Zeitintervall zwischen initialer Computertomografie und Kontrollultraschall

Das Zeitintervall zwischen initialer CT-Untersuchung und dem ersten Kontrollultraschall ist in Abbildung 6 dargestellt. Es betrug im Median 8:02 Stunden mit einem Minimum von 3:35 Stunden und einem Maximum von 21:58 Stunden nach der initialen CT. 50% der Untersuchungen lagen im Zeitintervall zwischen 6:19 Stunden (1.Quartil) und 10:57 Stunden (3.Quartil).

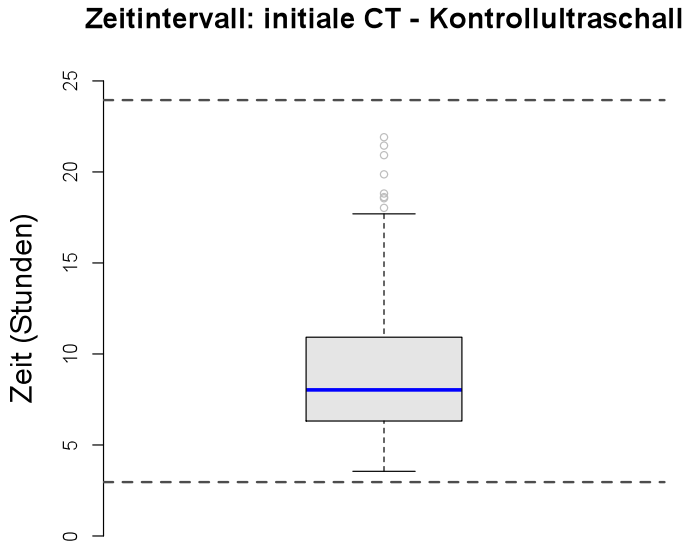

Abb.6: Zeitintervall zwischen initialer CT und Kontrollultraschall. Die gestrichelten horizontalen Linien begrenzen das geforderte Zeitintervall zwischen 3 und 24 Stunden.

5.4.2 Zeitpunkte der Ultraschallverlaufskontrollen

Von den 176 Ultraschallverlaufskontrollen erfolgten 135 zu Dienstzeiten, 41 zur Regelarbeitszeit. Hierbei wurden 90 Untersuchungen an Wochentagen zwischen 16:30 Uhr und 7:30 Uhr und 45 Untersuchungen an Wochenenden durchgeführt.

5.4.3 Neubefunde im Kontrollultraschall mit Patientenverlauf

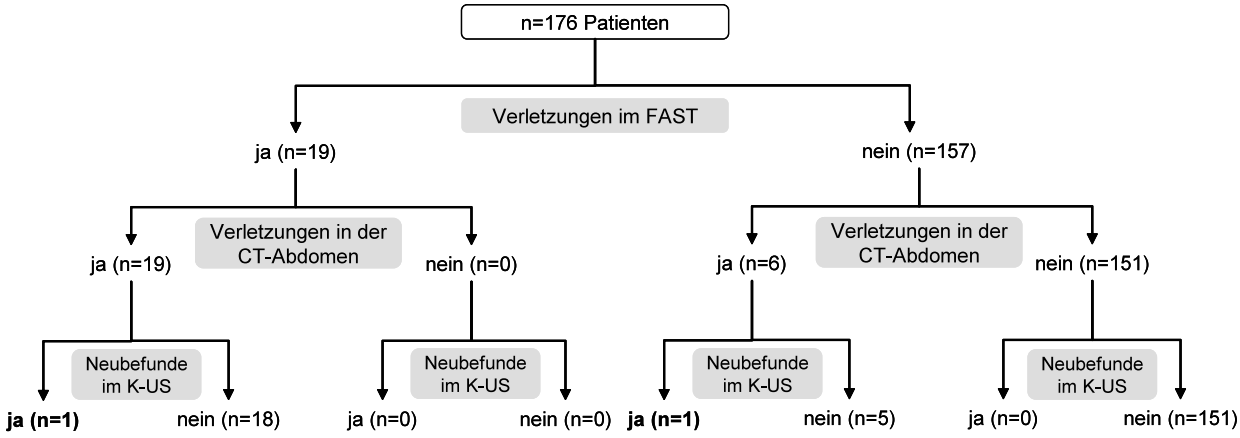

Abb.7: Überblick über die radiologischen Untersuchungen mit Patientenanzahl in Klammern; K-US, Kontrollultraschall.

Die Patienten des Studienkollektivs wurden zwei verschiedenen Gruppen zugeteilt. Die erste Gruppe wurde aus Patienten gebildet, welche Verletzungen in der Abdomen-CT aufwiesen. Der zweiten Gruppe wurden entsprechend aus Patienten ohne intraabdominelle Verletzungen zugewiesen. Beiden Gruppen wurden hinsichtlich der Neubefunde im Kontrollultraschall und ihres klinischen Verlaufs verglichen.

Tab.6: Vergleich der Patienten mit und ohne Verletzungen in der Abdomen-CT.

	Abdominelle Verletzungen in der CT	**Keine abdominellen Verletzungen in der CT**
Anzahl der Patienten	25	151
Anzahl der Patienten mit OP (Abdomen)	5	0
Neubefunde im Kontrollultraschall (davon therapierelevante Neubefunde)	**2 (0)**	**0 (0)**

Bei 2 Patienten konnten in der Ultraschallverlaufskontrolle neue Befunde zur vorhergehenden CT-Untersuchung erhoben werden. Beide Patienten zeigten neue freie Flüssigkeit im abdominellen Ultraschall. Da diese Patienten hinsichtlich der Fragestellung, ob gegebenenfalls in der initialen CT-Untersuchung Organverletzungen noch nicht diagnostizierbar waren und erst später auftraten oder im Verlauf progredient waren, besonders wichtig erscheinen, erfolgt eine genaue Beschreibung des

Behandlungsverlaufes dieser Patienten. Eine Zusammenfassung der Verläufe ist in Tabelle 7 dargestellt.

Patient KUS002:

Dieser 18-jährige Patient verunfallte als Beifahrer in einem sich überschlagenden Auto. In der initialen Ultraschalluntersuchung wurde der Verdacht auf eine Milzeinblutung gestellt. In der durchgeführten Ganzkörper-Computertomografie wurde neben einer Lungenkontusion eine subkapsuläre Verletzung der Leber und der Milz festgestellt. 10 Stunden nach der CT-Untersuchung erfolgte der erste Kontrollultraschall. Hier fiel der Patient mit einem neuen Flüssigkeitssaum perisplenisch und perihepatisch auf. Es bestand kein chirurgischer Interventionsbedarf. Die freie Flüssigkeit wurde im Verlauf weiter sonografisch kontrolliert. Insgesamt erfolgten zwei weitere Ultraschallkontrollen, am 2. Tag nach dem Unfall wurde ein regredienter Flüssigkeitssaum beschrieben, nach 8 Tagen war keine freie Flüssigkeit mehr nachzuweisen.

Patient KUS034:

Ein 32-jähriger Patient stürzte sich in suizidaler Absicht aus einem Fenster des 3. Stocks. Die FAST-Untersuchung im Schockraum erbrachte zunächst keine pathologischen Befunde, in der CT-Untersuchung konnten dann folgende Befunde erhoben werden: Thorakal fielen ein einseitiger Pneumothorax, eine einseitige Rippenserienfraktur und Lungenkontusionen auf. Abdominal wies der Patient eine Lazeration des kaudalen Leberpols und zwei Einblutungsareale in die rechte Niere auf. Des Weiteren lag bei Frakturen von Brust- und Lendenwirbelsäule und des Beckenrings ein retroperitoneales Hämatom vor. Anschließend erfolgte zunächst die operative Versorgung der Beckenfraktur mittels Beckenzwinge. Im Ultraschall 6 Stunden nach der CT-Untersuchung konnte neue freie Flüssigkeit perihepatisch festgestellt werden. Diese wurde zunächst sonografisch kontrolliert. In einer weiteren Ultraschallkontrolle zeigte sich wiederum neue Flüssigkeit perisplenisch. Es folgte eine Kontrollcomputertomografie, die neu nachweisbar geringe Mengen von Flüssigkeit um die Milz zeigte, jedoch ohne Nachweis einer Milzruptur. Das retroperitoneale Hämatom wurde als leicht größenprogredient beschrieben. Bei konservativem Vorgehen konnte 6 Tage später im Kontrollultraschall nur noch ein paracavales Hämatom auf Höhe der Nieren nachgewiesen werden.

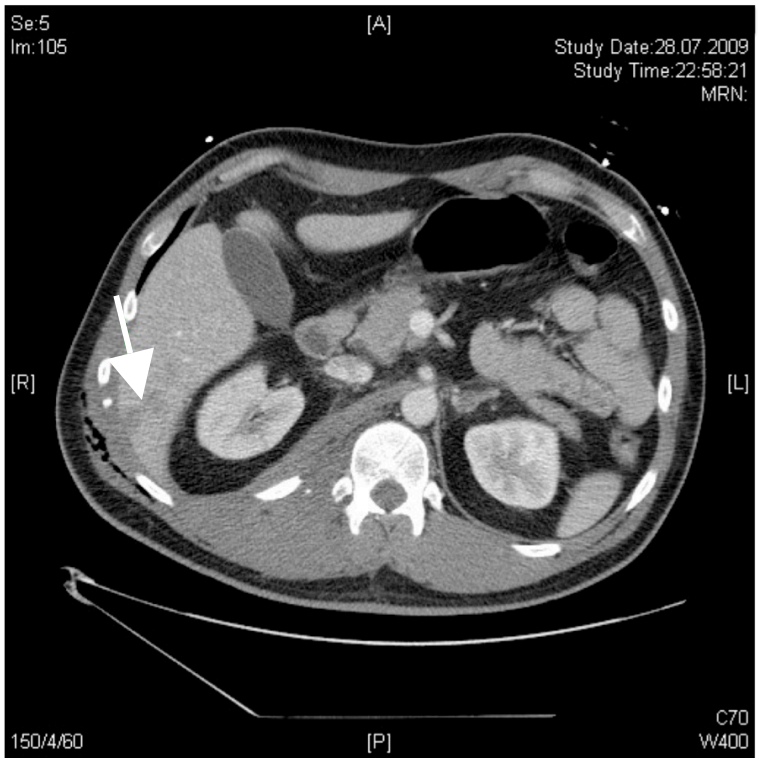

Abb.8: Initiale Computertomografie von Patient KUS034: Lazeration des kaudalen Leberpols (weißer Pfeil).

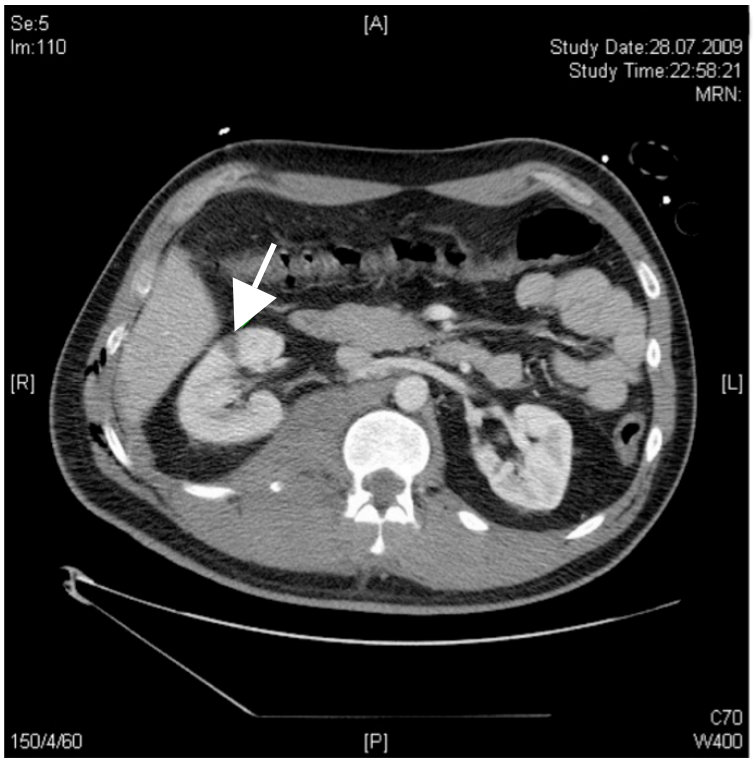

Abb.9: Initiale Computertomografie von Patient KUS034: Einblutungsareal in der rechten Niere (weißer Pfeil).

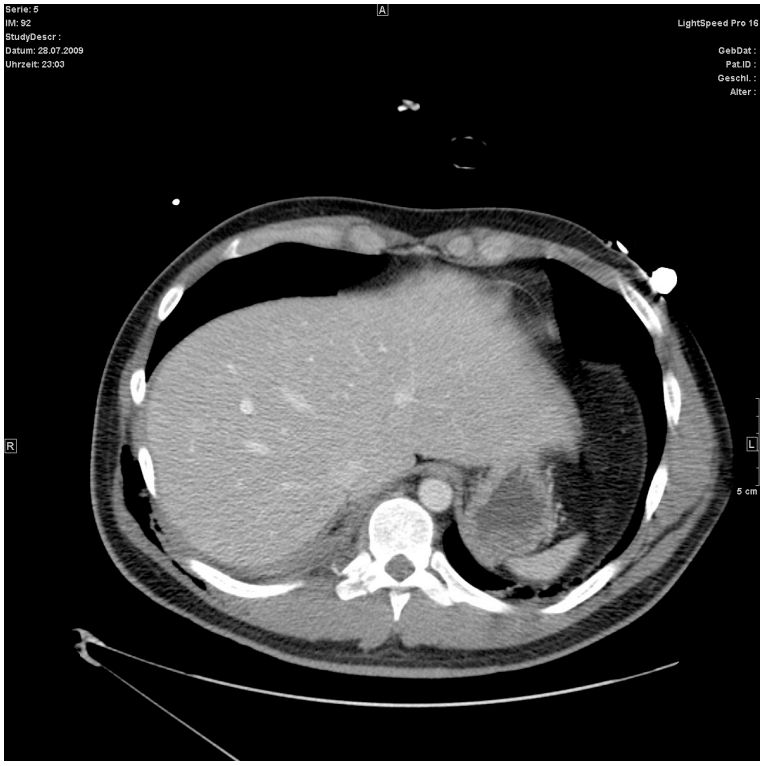

Abb.10: Initiale Computertomografie von Patient KUS034: Milzregion ohne umgebende freie Flüssigkeit.

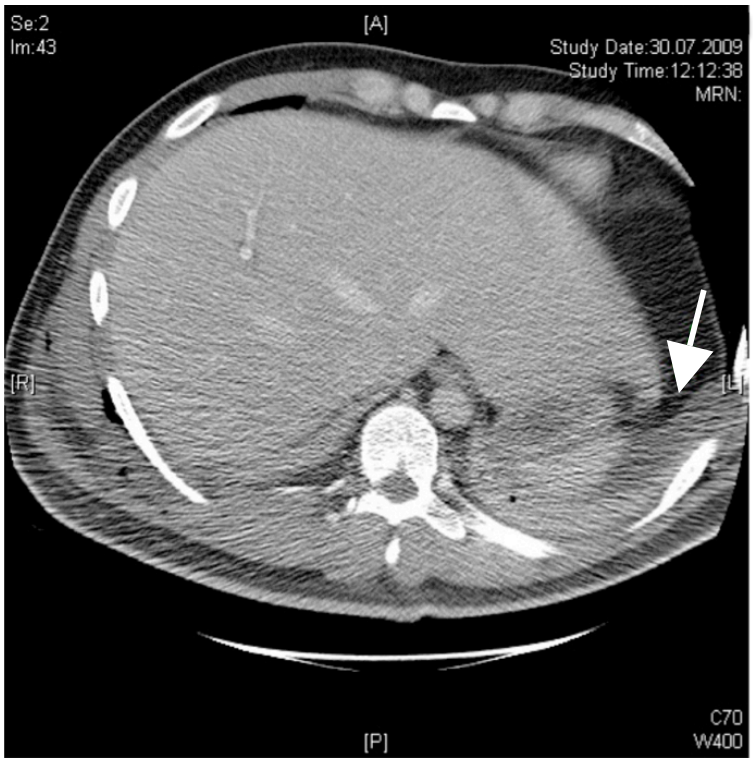

Abb.11: Kontrollcomputertomografie von Patient KUS034: Neue freie Flüssigkeit um die Milz (weißer Pfeil).

Tab. 7 : Tabellarischer Verlauf der Patienten mit Neubefunden im Kontrollultraschall. FAST, Focussed Assessment with Sonography for Trauma; CT, Computertomografie; FF, freie intraabdominelle Flüssigkeit; OP, Operation; US, Ultraschall.

	Befunde in der Erstdiagnostik (FAST+CT)	**Neubefunde Kontrollultraschall**	**Konsequenz**
Patient KUS002	**Abdomenverletzungen:** • subkapsuläre Leberverletzung • subkapsuläre Milzverletzung • keine FF	FF perihepatisch und perisplenisch	US-Kontrollen: • FF regredient
Patient KUS034	**Abdomenverletzungen:** • kapselüberschreitende Leberverletzung • subkapsuläre Nierenverletzung • keine FF	FF perihepatisch	Kontroll-CT: • FF perisplensich und perihepatisch • keine Milzruptur US-Kontrollen: • FF regredient

5.5 Kostenanalyse

5.5.1 Personalkosten

Das Prozessmodell zur Ermittlung der Personalkosten ist in Tabelle 8 dargestellt. Den Einzelschritten wurde die Personalbindungszeit der jeweiligen Berufsgruppe in Minuten und der errechnete Minutensatz zugeordnet (Tabelle 9).

Tab. 8: Prozessmodell: Einzelschritte der Kontrollultraschalluntersuchung und Personalkosten auf Minutenbasis in Euro. MTRA, Medizinisch-technische/r Röntgenassistent/in; AA, Assistenzarzt/ärztin; OA, Oberarzt/ärztin

Einzelschritte	Minuten	Kürzel	Minutensatz	Wert in Euro
Einbuchung der Leistung	3	MTRA	0,37	1,11
Bestückung des mobilen Ultraschallgerätes mit Gel und Tüchern	2	AA	0,54	1,08
Hinweg auf die Station	6	AA	0,54	3,24
Gespräch mit dem betreuenden Arzt auf der Station	2	AA	0,54	1,08
Aufsuchen des Patienten auf der Station und Vorbereitung der Untersuchung	6	AA	0,54	3,24
Ultraschalluntersuchung des Abdomens	7	AA	0,54	3,78
Abbau des Gerätes	2	AA	0,54	1,08
Mitteilung des Ergebnisses an den Stationsarzt	2	AA	0,54	1,08
Rückweg in die radiologische Abteilung	6	AA	0,54	3,24
Quittieren der Leistung	2	MTRA	0,37	0,74
Befunderstellung	7	AA	0,54	3,78
Befundkontrolle und Freigabe	2	OA	0,87	1,74
Gesamtpersonalkosten für eine stationär durchgeführte Ultraschalluntersuchung und Gesamtzeit aller Personalgruppen	**47**			**25,19**

Die gemessene Gesamtpersonalbindungszeit betrug für eine Kontroll-ultraschalluntersuchung durchschnittlich 47 Minuten. Hiervon waren 40 Minuten Bindungszeit des durchführenden Assistenzarztes.

Tab. 9: Personalkosten in Euro auf Minutenbasis in den beteiligten Berufsgruppen gemäß den Tarifverträgen für den öffentlichen Dienst (TVöD - Besonderer Teil Krankenhäuser, Tarifgebiet West. Gültig bis 31.12.2009) und dem Tarifvertrag für Ärztinnen und Ärzte an Universitätskliniken (TV-Ärzte an Universitätskliniken, Tarifgebiet West, gültig bis 31.07.2010).

Personal	Kürzel	Gruppierung laut Tarifvertrag	Minutenkosten in Euro
Ärzte			
Oberarzt/ärztin	OA	Ä3	0,87
Assistenzarzt/ärztin	AA	Ä1	0,54
Nicht-ärztlicher Dienst			
Technische/r Assistent/in	MTRA	E9a	0,37

Für Ultraschalluntersuchungen zu Dienstzeiten an Wochentagen zwischen 16:30 Uhr und 07:30 Uhr des Folgetags wurde ein Zuschlag von 15%, für jene an Wochenenden ein Zuschlag von 20% hinzugerechnet. Somit ergaben sich Personalkosten im regulären Tagdienst an Wochentagen von durchschnittlich 25,19 Euro je Untersuchung. Zu Dienstzeiten wochentags betrugen die Personalkosten durchschnittlich 28,97 Euro und am Wochenende 30,22 Euro je Untersuchung (Tabellen 10 und 11).

Tab. 10: Zuordnung der Anzahl der Kontrollultraschalluntersuchungen zur jeweiligen Dienstart.

Dienstart	Gesamtes Studienkollektiv	Patienten ohne Verletzungen in der Abdomen-CT
wochentags		
07:30 Uhr – 16:30 Uhr	41	32
16:30 Uhr – 07:30 Uhr	90	80
an Wochenenden	45	39
Gesamtzahl	176	151

5.5.2 Gerätenutzungskosten und Verbrauchsmaterialen

Für das verwendete mobile Ultraschallgerät wurden 24 560 Euro Anschaffungskosten fällig. Es werden täglich im Durchschnitt 6 Ultraschalluntersuchungen auf peripheren Stationen mit dem mobilen Ultraschallgerät durchgeführt. Auf ein Jahr bezogen ergaben sich daraus 2 190 Untersuchungen. Folglich beliefen sich die Gerätekosten pro Ultraschalluntersuchung bei einer 5-jährigen Nutzungsdauer auf 2,24 Euro.

Basierend auf den Daten der Einkaufsabteilung betrugen die Kosten der Verbrauchsmaterialen (Ultraschallgel, Desinfektionstücher, Papier für mobilen Drucker) 1,50 Euro pro Untersuchung.

5.5.3 Gesamtkosten

Die Gesamtkosten konnten durch Summation der Personalkosten, Gerätenutzungskosten und den Kosten für Verbrauchsmaterialien ermittelt werden. Je Kontrollultraschalluntersuchung betrugen die Gesamtkosten in unserer Klinik zur Regelarbeitszeit 28,93 Euro, zur Dienstzeit wochentags 32,71 Euro und am Wochenende 33,96 Euro (Tabelle 11).

Tab. 11: Zusammenfassung der Gesamtkosten für die Kontrollultraschalluntersuchungen in Euro.

Kostenart	**Kosten je Untersuchung in Euro**		
	wochentags 07:30 Uhr – 16:30 Uhr	**wochentags 16:30 Uhr – 07:30 Uhr**	**am Wochenende**
Personalkosten	25,19	28,97	30,22
Gerätenutzungskosten	2,24	2,24	2,24
Verbrauchsmaterialien	1,50	1,50	1,50
Gesamtkosten	**28,93**	**32,71**	**33,96**

Die Gesamtkosten sämtlicher Kontrollultraschalluntersuchungen im vorliegenden Studienkollektiv (n=176 Patienten) betrugen 5 658,23 Euro. Bei den 151 Patienten ohne Verletzungen in der Abdomen-CT ergaben sich Gesamtkosten in Höhe von 4 867,50 Euro.

6. Diskussion

Dies ist die erste Arbeit, die den klinischen Nutzen von Ultraschallverlaufskontrollen nach initialer CT-Untersuchung bei potenziell polytraumatisierten Patienten untersucht und die dabei entstehenden Kosten aus Sicht einer radiologischen Abteilung evaluiert.
Es konnte gezeigt werden, dass eine routinemäßig durchgeführte Ultraschallverlaufskontrolle nach initialer Computertomografie beim vorliegenden Studienkollektiv nur in Ausnahmefällen einen Neubefund erbrachte. Diese Neubefunde hatten zudem keine therapeutische Konsequenz. Bei Patienten mit initial unauffälliger Abdomen-CT waren keine abdominellen Neubefunde nachzuweisen. Aufgrund fehlender therapierelevanter Neubefunde führen routinemäßig durchgeführte Ultraschallverlaufskontrollen beim vorliegenden Patientenkollektiv zu einem geringen diagnostischen Zugewinn bei gleichzeitig geringem Kosten- aber hohem Personalaufwand.

6.1 Kontrollultraschall und Kostenaspekt

Gemäß der Leitlinie der DGU sollen im klinischen Verlauf bei polytraumatisierten Patienten sonografische Kontrolluntersuchungen erfolgen [9], allerdings wird hierbei kein genauer Zeitrahmen definiert. Auch nach Wening et al. [66] werden regelmäßige Kontrollsonografien bei polytraumatisierten Patienten in den ersten 8 Stunden empfohlen. Röthlin et al. [67] sprechen sich für Ultraschallverlaufskontrollen alle 1 bis 2 Stunden in den ersten 6 Stunden und anschließend alle 12 Stunden für 2 Tage nach Aufnahme aus. Ziel ist es hierbei, eine Zunahme von freier Flüssigkeit bei primär stabilen Patienten frühzeitig zu erkennen. Diese Empfehlung bezieht jedoch auf eine rein klinische und sonografische Überwachung der Traumapatienten, da keine initiale Computertomografie durchgeführt wurde.
In unserer Klinik wird standardmäßig die Durchführung der Ultraschallverlaufskontrolle in einem Zeitraum zwischen 6 bis 9 Stunden nach initialer CT angestrebt. In unserer Studie betrug die mediane Zeitspanne zwischen CT und Verlaufskontrolle 8:02 Stunden und liegt damit im geforderten Zeitintervall.
Bislang liegen in der Literatur nur wenige Studien vor, die Kontrolluntersuchungen [51, 54-57], insbesondere Ultraschallverlaufskontrollen [51] nach initialer Computertomografie evaluierten. Der klinische Nutzen einer solchen Ultraschallverlaufskontrolle ist bisher nur unzureichend untersucht.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen, dass bei 151 Patienten mit unauffälliger abdomineller Computertomografie kontrollsonografisch kein Neubefund nachzuweisen war. Bei Patienten mit abdominellen Verletzungen (n=25) in der initialen Computertomografie wurden bei 2 Patienten Neubefunde mittels Kontrollultraschall detektiert. Bei Patient KUS002 wurde nach subkapsulärer Leber- und Milzverletzung neue freie Flüssigkeit im Kontrollultraschall nachgewiesen. Eine konservative Überwachung des Patienten mittels wiederholten Ultraschallkontrollen erschien dabei ausreichend. Patient KUS034 wies im Kontrollultraschall neue freie Flüssigkeit perihepatisch und später auch perisplenisch auf. Vorbekannt waren eine Leberlazeration und Nierenparenchymeinblutungen, sowie ein Beckentrauma, das mittels Beckenzwinge zuvor operativ versorgt wurde. Als Ursache der freien Flüssigkeit konnte eine zweizeitige Milzruptur computertomografisch ausgeschlossen werden. Die neuaufgetretene Flüssigkeit wurde auf die initial schon vorhandene Lazerationverletzung der Leber zurückgeführt. Auch hier reichte eine rein konservative Überwachung des Patienten aus.

Somit war bei lediglich 2 der 176 untersuchten Patienten (1,1%) ein Neubefund in der Ultraschallkontrolle nach initialer Computertomografie zu erheben. Beide Neubefunde hatten keine therapeutische Konsequenz.

Auch Lyass et al. [51] konnten an hämodynamisch stabilen Patienten mit initial nicht-operationswürdigen Milzverletzungen durch einen Kontrollultraschall und/oder Kontrollcomputertomografie keine Änderungen des Behandlungsmanagements feststellen, wobei jedoch eine geringe Fallzahl von 30 Patienten zu berücksichtigen ist. Trotz des uneinheitlichen radiologischen Kontrollverfahrens und des geringen Studienkollektivs, gibt diese Studie Hinweise, dass Ultraschallverlaufskontrollen bei hämodynamisch stabilen Patienten unterlassen werden können.

Auch routinemäßig durchgeführte Kontrollcomputertomografien bei hämodynamisch stabilen und klinisch unauffälligen Patienten nach abdominellem Trauma mit nichtoperationswürdigen Milz- und/oder Leberverletzungen werden nicht als notwendig erachtet [54-57].

Nunes et al. [50] untersuchten in einer prospektiven Studie 147 Patienten nach Abdominaltrauma. Sie führten bei allen Patienten initial eine FAST-Untersuchung durch. Anschließend wurde über das weitere Behandlungsmanagement anhand eines Algorithmus entschieden. Die Ergebnisse der Studie zeigten, dass bei hämodynamisch stabilen Patienten mit negativem FAST-Ultraschall und fehlender

Beschwerdesymptomatik eine weitere bildgebende Diagnostik entfallen kann. Diese Ergebnisse sind mit der vorliegenden Arbeit konform. In unserer Erhebung konnte bei keinem Patienten mit unauffälliger Abdominal-CT ein Neubefund in einer Kontrolluntersuchung nachgewiesen werden. Allerdings konnten Nunes et al. bei Patienten, die sich im Verlauf klinisch verschlechterten, 6 Neubefunde durch Kontrolluntersuchungen (Kontrollultraschall oder Kontrollcomputertomografie) detektieren. Diese Neubefunde hatten in 4 Fällen chirurgische Interventionen zur Folge. Daher empfehlen die Autoren bei einem negativen FAST-Ultraschall und klinischer Verschlechterung der Patienten eine Kontrolluntersuchung. Im Gegensatz zu unserer Studie wurde jedoch bei diesen Patienten initial nur eine FAST-Untersuchung und keine Computertomografie durchgeführt. Aufgrund der geringeren Sensitivität im Vergleich mit der CT [44, 46] besteht die Möglichkeit, dass Verletzungen im FAST-Ultraschall übersehen wurden. Da bei Nunes et al. initial nicht bei allen Patienten auch eine CT-Untersuchung stattfand bleibt die Frage nach der Wertigkeit einer Kontrolluntersuchung nach vorangegangener CT-Untersuchung auch hier offen.

Im Gegensatz zu unseren Ergebnissen empfehlen Blackbourne et al. [68] den Kontrollultraschall bei allen Patienten mit stumpfem Abdominaltrauma als sinnvolle ergänzende Diagnostik. In ihrer prospektiven Beobachtungsstudie an 547 Patienten konnten sie zeigen, dass ein Kontrollultraschall die Sensitivität der ersten sonografischen Untersuchung zur Erkennung von freier intraabdomineller Flüssigkeit und Organverletzungen von 31,1% auf 72,1% steigern kann. Bei allen Patienten erfolgte ein initiale FAST-Untersuchung und innerhalb einer Zeitspanne von 30 Minuten bis 24 Stunden eine Kontrollultraschalluntersuchung. Sie beschreiben diese zweite Untersuchung als sinnvoll, da sich durch die verstrichene Zeit zwischen beiden Untersuchungen eine größere Menge an freier Flüssigkeit intraabdominell ansammeln kann und dadurch erst sonografisch diagnostizierbar wird. Diese Sensitivitätssteigerung hinsichtlich der Detektion von abdominellen Verletzungen durch Ultraschallverlaufskontrollen ist bei unserem Studienkollektiv nicht zu erwarten. Blackbourne et al. führten nicht bei allen Patienten eine initiale Computertomografie durch, um initiale FAST-Ultraschallbefunde standardmäßig zu validieren. Es ist nicht bekannt, ob der Untersucher der Ultraschallverlaufskontrolle die Ergebnisse einer zuvor durchgeführten Computertomografie kannte und dadurch gegebenenfalls in seiner Untersuchung und Befundung beeinflusst wurde. Da in unserer Studie standardmäßig eine initiale

Computertomografie durchgeführt wurde, ist eine Sensitivitätssteigerung durch eine Ultraschallverlaufskontrolle in unserem Patientenkollektiv nicht anzunehmen.
In unserer Studie lässt sich das Fehlen von Neubefunden mittels Kontrollultraschall bei Patienten mit blander Abdomen-CT auf die inzwischen sehr hohe Spezifität der Computertomografie in der Diagnostik von Organverletzungen zurückführen [24, 60, 69]. Mittels CT kann somit eine Organverletzung nach abdominellem Trauma verlässlich ausgeschlossen werden. Die Diagnostik von Mesenterial- und Hohlorganverletzungen stellte bis vor einigen Jahren noch eine Schwierigkeit der computertomografischen Diagnostik dar [70]. Aufgrund des technischen Fortschritts in der Detektortechnik und Softwareapplikationen für die Bildrekonstruktion, konnte die Diagnostik von Hohlorganverletzungen verbessert werden. Verletzungen, die eine chirurgische Intervention notwendig machen, können inzwischen ausreichend sicher mittels Computertomografie diagnostiziert werden [60, 69, 71]. Das American College of Emergency Physicians [72] hat im Jahr 2011 Empfehlung zum Management von Patienten mit stumpfem Abdominaltrauma veröffentlicht. Sie sprechen, eine Level B-Empfehlung (Level B = mit moderater klinischer Sicherheit) aus, dass die Entlassung von hämodynamisch stabilen Patienten nach blander Abdomen-CT bei gleichzeitigem Fehlen anderer Verletzungen als sicher angenommen werden kann. Hierbei stützen sie sich unter anderem auf die Studien von Livingston et al. [52] und Jacobs et al. [53]. Beide untersuchten in zwei unterschiedlichen Studien den negativen prädiktiven Wert (NPV) der Computertomografie bei Patienten mit potenziellem Abdominaltrauma. Sie kamen mit 99,6% [52] und 99,5% [53] zu vergleichbaren Werten des NPV. Livingston et al. folgerten aus ihren Ergebnissen, dass Patienten mit potenziellem Abdominaltrauma nach negativem CT-Scan nicht von einer stationären Aufnahme oder einer verlängerten Überwachung profitierten. Beide Studien belegen die hohe diagnostische Sicherheit der Computertomografie abdominelle Verletzungen auszuschließen. Auch die Ergebnisse unserer Studie unterstützen diese Schlussfolgerung und lassen die Annahme zu, dass ein abdomineller Neubefund bei Patienten mit initial blandem Computertomografie-Befund nicht zu erwarten ist.

Schuler et al. [73] führten ebenfalls eine Kostenanalyse von Ultraschalluntersuchungen durch. Die von ihnen ermittelten Kosten für eine Basissonografie stimmen mit unseren Ergebnissen weitgehend überein. Für einen Kontrollultraschall ermittelten wir Beträge

zwischen 28,93 Euro und 33,96 Euro pro Untersuchung, bei Schuler et al. wird eine Kostenspanne für eine Basissonografie von 31,34 Euro bis 51,47 Euro angegeben.
Für die 151 Patienten, deren Ganzkörper-Computertomografie keine abdominellen Verletzungen aufwiesen, betrugen die Kosten in unserer Studie insgesamt 4 867,50 Euro. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, dass dieser Betrag durch den Verzicht auf Kontrollultraschalluntersuchungen bei abdominell unauffälligen Patienten eingespart werden könnte.
In der vorliegenden Studie betrug die Gesamtpersonalbindungszeit in allen Personalgruppen im Durchschnitt 47 Minuten pro Untersuchung. Der radiologische Assistenzarzt war durchschnittlich 40 Minuten in eine Kontrollultraschalluntersuchung involviert. Die Kontrolluntersuchungen fanden zumeist außerhalb der radiologischen Kliniken auf Intensiv-, Wach- oder Normalstationen statt. In einer großen Klinik muss daher mit langen Wegezeiten gerechnet werden (durchschnittlich 12 Minuten in der untersuchten Klinik). Zudem fand ein erheblicher Anteil der Kontrolluntersuchungen in Nacht- und Bereitschaftsdiensten statt, in denen grundsätzlich weniger Personal anwesend ist. 135 der 151 hier durchgeführten Kontrolluntersuchungen erfolgten zur Dienstarbeitszeit. In diesen Dienstzeiten müssen Notfalluntersuchungen vorrangig durchgeführt werden.

Die vorliegende Studie zeigt, dass bei Patienten ohne abdominelle Verletzungen in der initialen Computertomografie keine Neubefunde in einer Kontrolluntersuchung zu erwarten sind. Durch Ultraschallroutinekontrollen mit einem geringen diagnostischen Zusatznutzen besteht bei einer langen zeitlichen Bindung des Radiologen die Gefahr der Verzögerung bei anderen dringlichen Untersuchungen. Bei Patienten mit bekannten abdominellen Verletzungen sind Neubefunde wahrscheinlicher und somit eine Kontrolluntersuchung eher indiziert.

Zusammenfassend führt eine routinemäßige Anwendung von Ultraschallverlaufskontrollen beim vorliegenden Patientenkollektiv zu einem geringen diagnostischen Zugewinn bei gleichzeitig geringem Kosten- aber hohem Personalaufwand.

6.2 FAST-Ultraschall

In unserer Studie betrug die Sensitivität des FAST-Ultraschalls zur Detektion von freier intraabdomineller Flüssigkeit 80% und zur Detektion von Organverletzungen 83,3%. Aus diesen Ergebnissen lässt sich eine allgemeine Sensitivität zur Detektion von Organverletzungen und freier Flüssigkeit von 81,3% ermitteln. Die Spezifität betrug in beiden Fällen 100%. Bislang sind in der Literatur zahlreiche Studien [39, 74-78] erschienen, welche die Sensitivität und Spezifität des FAST-Ultraschalls untersuchten. Dabei unterlagen die in den verschiedenen Studien ermittelten Sensitivitäten einer großen Schwankungsbreite von 42% [77] bis 97% [74]. Im Gegensatz zur Sensitivität werden für die Spezifität der FAST-Untersuchung in der Literatur hohe und weniger schwankende Werte zwischen 88% [76] und 98% [39, 75, 77, 78] angegeben. Die Ergebnisse unserer Studie stimmen überwiegend mit denen in der Literatur überein.
Ein Vergleich der vorliegenden Arbeit mit der Studienlage der Literatur ist in Tabelle 12 dargestellt.

Tab. 12: Studienübersicht zur sonografischen Diagnose von abdominellen Verletzungen (freie Flüssigkeit oder Organverletzungen); CT, Computertomografie; US, Ultraschall; OP, Operation; DPL, diagnostische Peritoneallavage.

Autoren	Patienten-anzahl	Sensitiviät (%)	Spezifität (%)	Einheitliche Vergleichs-methode bei negativem US	Vergleichsmethoden
Förster et al. [74] 1992	140	97	94	nein	US von erfahrenen Kollegen, CT oder DPL
Lingawi et al. [75] 2000	1090	94	98	nein	CT oder klinische Überwachung
Dolich et al. [39] 2001	2576	86	98	nein	CT, OP, DPL oder klinische Überwachung
Poletti et al. [76] 2003	205	72	88	ja	CT oder OP
Miller et al. [77] 2003	372	42	98	ja	CT oder OP
Becker et al. [78] 2010	3181	75	98	ja	CT oder OP
Diese Studie 2011	176	81	100	ja	CT

Die Schwankungsbreite der Ergebnisse in der zitierten Literatur liegt vermutlich an den maßgeblichen Unterschieden im Studiendesign. In einigen Studien wurde kein einheitlicher Kontrollstandard zur Validierung der Ultraschallergebnisse verwendet [39, 74, 75]. Beispielsweise wurden Patienten mit negativen Ultraschallbefunden und fehlender klinischer Symptomatik bei Lingawi et al. [75] lediglich durch die klinische Untersuchung überwacht. Die Abwesenheit von klinischen Symptomen wurde als Bestätigung des negativen Ultraschalls gewertet. Somit können fälschlich zu hohe Sensitivitäten ermittelt worden sein. Auch bei Förster et al. [74] fehlt eine einheitliche Kontrolluntersuchung. Dies kann als Erklärung der sehr hohen Sensitivitäten dieser Studien herangezogen werden. Unsere Studie hingegen verwendete die Computertomografie als einheitliche Kontrolle der Ultraschallbefunde. Hierbei konnten wir, verglichen mit den vorherigen Studien, eine geringere Sensitivität nachweisen. Auch andere Studien mit einem vergleichbaren Studiendesign, zeigten unter Verwendung einer einheitlichen Kontrolluntersuchung der Ultraschallbefunde, niedrigere Werte für die Sensitivität zur sonografischen Detektion von abdominellen Verletzungen [76-78]. Hierbei wurden die Ultraschallergebnisse ebenfalls mittels Computertomografie oder Laparotomie überprüft. Miller et al. ermittelten eine deutlich niedrigere Sensitivität von nur 42% [77]. Im Gegensatz zur vorliegenden Arbeit wurde der FAST-Ultraschall nicht von Radiologen durchgeführt.

6.3 Studienkollektiv

Die DGU erstellte erstmals im Jahr 1993 das TraumaRegister-DGU® (TR-DGU) und verfasst seitdem jährlich einen Bericht über Polytraumapatienten. 2010 reichten 376 Kliniken ihre Daten für diese Berichterstellung ein.

Das vorliegende Patientenkollektiv wurde mit dem Kollektiv des TR-DGU [79] verglichen. Neben der Alters- (42 vs. 42,6 Jahre) und Geschlechterverteilung (71,6% vs. 71,9% männliche Patienten) zeigten sich auch hinsichtlich der Unfallursachen übereinstimmende Daten. Bei den Unfallursachen bilden in beiden Studienkollektiven die Verkehrsunfälle die größte Gruppe (68% vs. 57,1%). Aufgrund der hohen Konkordanz zum Kollektiv des TR-DGU kann von einer representativen Studienpopulation der vorliegenden Arbeit ausgegangen werden.

Die große Anzahl an jungen männlichen Patienten, die an einem Verkehrsunfall mit Pkw oder Motorrad beteiligt waren (an 20% der Pkw- und Motorradunfälle waren

18 bis 25-jährige Männer beteiligt) lässt sich durch eine größere Risikobereitschaft, Unerfahrenheit und Selbstüberschätzung im Straßenverkehr dieser Patientengruppe erklären [80].

Das signifikant höhere Alter der Patientenpopulation mit Stürzen aus geringer Höhe (<3 m) begründet sich durch die häufig im Alter bestehende Gang- und Gleichgewichtsstörungen, verlangsamte Reaktionszeit, schwindende Muskelkraft, verminderter Visus, orthostatische Dysregulationen und Herzrhythmusstörungen [81-83]. Bei dieser Unfallursache wurden in der vorliegenden Arbeit vermehrt Kopfverletzungen registriert. Auch in der Literatur werden als Hauptverletzungen bei älternen Menschen nach Stürzen Verletzungen der oberen Extremität, des Kopfes und der Hüfte angegeben [84].

6.4 Limitationen

Diese Studie weist einzelne Limitationen auf. Eine lückenlose Datenerfassung des ISS (Injury Severity Score) war in der durchgeführten Studie nicht möglich, da dieser nicht bei allen Patienten im Schockraum dokumentiert wurde. Daher ist nur eine eingeschränkte Aussage über die Verletzungsschwere der Patienten zu treffen. Dadurch war eine Gruppenbildung nach Verletzungsschwere und ein Vergleich dieser Gruppen hinsichtlich sonografischer Neubefunde im Verlauf nicht möglich.

Um eine höchstmögliche Homogenität des Studienkollektivs sicherzustellen, wurden bestimmte Einschlusskriterien festgelegt. Das vollständige radiologische Polytrauma-Protokoll musste bei dem untersuchten Kollektiv durchgeführt worden sein (FAST-Ultraschall, CT und Kontrollultraschall nach 3 bis 24 Stunden). Hämodynamisch instabile Patienten, die nach Schockraumaufnahme direkt operativ versorgt wurden und initial keine Computertomografie erhielten, konnten in der vorliegenden Arbeit nicht berücksichtigt werden. Es kann daher keine Aussage über den weiteren klinischen Verlauf und weitere radiologische Verlaufsuntersuchungen bei diesen Patienten getroffen werden.

Die Sensitivität der Ultraschalluntersuchungen ist stark von der Erfahrung des durchführenden Radiologen abhängig [67, 85, 86]. Zwar verfügten alle Radiologen in der untersuchten Klinik über eine umfangreiche Erfahrung in der Durchführung von FAST-Ultraschalluntersuchungen, jedoch ist nicht auszuschließen, dass aufgrund der geforderten Schnelligkeit bei der Untersuchungsdurchführung geringe Befunde wie beispielsweise diskrete Organeinblutungen nicht adäquat bewertet wurden und somit falsch-negative Ergebnisse erzeugten.

Des Weiteren konnten Ultraschallkontrollen, die von den chirurgischen Kollegen selbst durchgeführt wurden nicht berücksichtigt werden, da diese nicht in das radiologische Dokumentationssystem eingetragen wurden. Diese Patienten entsprachen somit formal nicht den Einschlusskriterien, da ein Kontrollultraschall nicht im System dokumentiert wurde und konnten somit in der vorliegenden Arbeit nicht berücksichtigt werden.

Um eine generelle Aussage hinsichtlich der Wertigkeit von Ultraschallverlaufskontrollen bei polytraumatisierten Patienten treffen zu können, sind hohe Fallzahlen nötig, da von einem a priori geringen Risiko von Neu- oder Zusatzbefunden ausgegangen wird. Trotzdem ermöglicht die vorliegende wissenschaftliche Arbeit mit einer Fallzahl von 176 Patienten eine tendenzielle Aussage hinsichtlich der Wertigkeit von Ultraschallverlaufs-

kontrollen bei potenziell polytraumatisierten Patienten, da letztlich bei keinem der einbezogenen Patienten die Ultraschallverlaufskontrolle eine relevante Therapieänderung bedingte.

Die vorliegende Arbeit gibt somit wichtige Hinweise, dass eine routinemäßig durchgeführte sonografische Verlaufskontrolle vor allem bei Patienten mit initial negativer abdomineller Computertomografie entfallen könnte.

Um allerdings eine generelle Aussage treffen zu können wäre eine weiterführende Untersuchung mit noch höheren Fallzahlen nötig, welche innerhalb einer retrospektiven multizentrischen Studie umgesetzt werden könnte.

7. Literaturverzeichnis

1. Kalbe P, Seekamp A, Tscherne H, *Polytrauma und spezielle Verletzungen*. In: Tscherne H, Regel G, Tscherne Unfallchirurgie: Trauma Management. 1. Auflage. Berlin: Springer Verlag, 1997: 213-17
2. Stahel PF, Ertel W, *Pathophysiologie des Traumas*. In: Rüter A, Trentz O, Wagner M, Unfallchirurgie. 2. Auflage. München: Elsevier GmbH, Urban&Fischer Verlag, 2004: 1-22
3. *Gesamtunfallstatistik für das Jahr 2010*. Berlin: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, 2010. (Eingesehen am 18. Februar 2012 unter: http://www.baua.de/de/Informationen-fuer-die-Praxis/Statistiken/Unfaelle/Gesamtunfallgeschehen/Gesamtunfallgeschehen.html)
4. *Traumaregister DGU: Jahresbericht 2011*. Berlin: Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie, 2011. (Eingesehen am 8. Januar 2012 unter: http://www.traumaregister.de/images/stories/downloads/jahresbericht_2011.pdf)
5. *Polytraumamanagement*. Berlin: Centrum für Muskulo Skeletale Chirurgie, Charité Universitätsmedizin Berlin, 2012. (Eingesehen am 23. Februar 2012 unter: http://www.cmsc-online.de/metas/polytraumamanagement.html)
6. Hauser H, Bohndorf K, *[Management of multiple trauma: Comments on a radiologic "Round the Clock" task].* Rofo 2001; 173(1):1-3.
7. Rosch M, Klose T, Leidl R, et al., *[Cost analysis of the treatment of patients with multiple trauma].* Unfallchirurg 2000; 103(8):632-9.
8. Wick M, Ekkernkamp A, Muhr G, *[The epidemiology of multiple trauma].* Chirurg 1997; 68(11):1053-8.
9. *Leitlinien-Kommission der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie e.V.: Polytrauma - Leitlinie für die Unfallchirurgische Diagnostik und Therapie.* Unfallchirurg 2001; 104(9):902-12.
10. Beck A, Gebhard F, Fleiter T, Pfenninger E, Kinzl L, *[Time optimized modern shock room management using digital techniques].* Unfallchirurg 2002; 105(3):292-6.
11. Wurmb T, Balling H, Fruhwald P, et al., *[Polytrauma management in a period of change: time analysis of new strategies for emergency room treatment].* Unfallchirurg 2009; 112(4):390-9.

12. Nast-Kolb D, Waydhas C, Kanz KG, Schweiberer L, *[An algorithm for management of shock in polytrauma].* Unfallchirurg 1994; 97(6):292-302.
13. Ertel W, Trentz O, *[New diagnostic strategies in multiple injury].* Chirurg 1997; 68(11):1071-5.
14. Tscherne H, Regel G, Sturm JA, Friedl HP, *[Degree of severity and priorities in multiple injuries].* Chirurg 1987; 58(10):631-40.
15. Davis JW, Hoyt DB, McArdle MS, et al., *An analysis of errors causing morbidity and mortality in a trauma system: a guide for quality improvement.* J Trauma 1992; 32(5):660-5; discussion 665-6.
16. Frink M, Probst C, Krettek C, Pape HC, *[Clinical management of polytraumatized patients in the emegergency room--duty and assignment of the trauma surgeon].* Zentralbl Chir 2007; 132(1):49-53.
17. Haas NP, Hoffmann RF, Mauch C, von Fournier C, Sudkamp NP, *The management of polytraumatized patients in Germany.* Clin Orthop Relat Res 1995(318):25-35.
18. Ruchholtz S, Nast-Kolb D, Waydhas C, Betz P, Schweiberer L, *[Early mortality in polytrauma. A critical analysis of preventable errors].* Unfallchirurg 1994; 97(6):285-91.
19. Linsenmaier U, Kanz KG, Mutschler W, Pfeifer KJ, *[Radiological diagnosis in polytrauma: interdisciplinary management].* Rofo 2001; 173(6):485-93.
20. Ruchholtz S, Zintl B, Nast-Kolb D, et al., *[Quality management in early clinical polytrauma management. II. Optimizing therapy by treatment guidelines].* Unfallchirurg 1997; 100(11):859-66.
21. Carmont M, *The Advanced Trauma Life Support course: a history of its development and review of related literature.* Postgrad Med J 2005; 81(952):87-91.
22. *ATLS - Nationale Kurszentren*. Berlin: Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie, 2012. (Eingesehen am 5. Februar 2012 unter: www.atls.de/de/struktur/nationale_kurszentren.jsp)
23. Bouillon B, Kanz KG, Lackner CK, Mutschler W, Sturm J, *[The importance of Advanced Trauma Life Support (ATLS) in the emergency room].* Unfallchirurg 2004; 107(10):844-50.

24. *S3-Leitlinie Polytrauma/Schwerverletzten-Behandlung*. Berlin: Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie, 2011. (Eingesehen am 5. Februar 2012 unter: http://www.awmf.org/leitlinien/detail/ll/012-019.html)
25. Root HD, Hauser CW, McKinley CR, Lafave JW, Mendiola RP, Jr., *Diagnostic Peritoneal Lavage.* Surgery 1965; 57:633-7.
26. Perry JF, Jr., DeMeules JE, Root HD, *Diagnostic peritoneal lavage in blunt abdominal trauma.* Surg Gynecol Obstet 1970; 131(4):742-4.
27. Barbee CL, Gilsdorf RB, *Diagnostic peritoneal lavage in evaluating acute abdominal pain.* Ann Surg 1975; 181(6):853-6.
28. Liu M, Lee CH, P'Eng F K, *Prospective comparison of diagnostic peritoneal lavage, computed tomographic scanning, and ultrasonography for the diagnosis of blunt abdominal trauma.* J Trauma 1993; 35(2):267-70.
29. Freeman P, *Ultrasound assessment of the trauma patient.* Aust N Z J Surg 1999; 69(8):592-3.
30. Gruessner R, Mentges B, Duber C, Ruckert K, Rothmund M, *Sonography versus peritoneal lavage in blunt abdominal trauma.* J Trauma 1989; 29(2):242-4.
31. Goletti O, Ghiselli G, Lippolis PV, et al., *The role of ultrasonography in blunt abdominal trauma: results in 250 consecutive cases.* J Trauma 1994; 36(2):178-81.
32. Tumbarello C, *Ultrasound evaluation of abdominal trauma in the emergency department.* J Trauma Nurs 1998; 5(3):67-72; quiz 79-80.
33. McKenney KL, Nunez DB, Jr., McKenney MG, et al., *Sonography as the primary screening technique for blunt abdominal trauma: experience with 899 patients.* AJR Am J Roentgenol 1998; 170(4):979-85.
34. Hoffmann R, Nerlich M, Muggia-Sullam M, et al., *Blunt abdominal trauma in cases of multiple trauma evaluated by ultrasonography: a prospective analysis of 291 patients.* J Trauma 1992; 32(4):452-8.
35. McKenney MG, Martin L, Lentz K, et al., *1,000 consecutive ultrasounds for blunt abdominal trauma.* J Trauma 1996; 40(4):607-10; discussion 611-2.
36. Rozycki GS, Ochsner MG, Jaffin JH, Champion HR, *Prospective evaluation of surgeons' use of ultrasound in the evaluation of trauma patients.* J Trauma 1993; 34(4):516-26; discussion 526-7.

37. Boulanger BR, McLellan BA, Brenneman FD, Ochoa J, Kirkpatrick AW, *Prospective evidence of the superiority of a sonography-based algorithm in the assessment of blunt abdominal injury.* J Trauma 1999; 47(4):632-7.
38. Bode PJ, Edwards MJ, Kruit MC, van Vugt AB, *Sonography in a clinical algorithm for early evaluation of 1671 patients with blunt abdominal trauma.* AJR Am J Roentgenol 1999; 172(4):905-11.
39. Dolich MO, McKenney MG, Varela JE, et al., *2,576 ultrasounds for blunt abdominal trauma.* J Trauma 2001; 50(1):108-12.
40. McGahan JP, Richards JR, *Blunt abdominal trauma: the role of emergent sonography and a review of the literature.* AJR Am J Roentgenol 1999; 172(4):897-903.
41. Huber-Wagner S, Lefering R, Qvick LM, et al., *Effect of whole-body CT during trauma resuscitation on survival: a retrospective, multicentre study.* Lancet 2009; 373(9673):1455-61.
42. Low R, Duber C, Schweden F, et al., *[Whole body spiral CT in primary diagnosis of patients with multiple trauma in emergency situations].* Rofo 1997; 166(5):382-8.
43. Leidner B, Adiels M, Aspelin P, Gullstrand P, Wallen S, *Standardized CT examination of the multitraumatized patient.* Eur Radiol 1998; 8(9):1630-8.
44. Albrecht T, von Schlippenbach J, Stahel PF, Ertel W, Wolf KJ, *[The role of whole body spiral CT in the primary work-up of polytrauma patients--comparison with conventional radiography and abdominal sonography].* Rofo 2004; 176(8):1142-50.
45. Boehm T, Alkadhi H, Schertler T, et al., *[Application of multislice spiral CT (MSCT) in multiple injured patients and its effect on diagnostic and therapeutic algorithms].* Rofo 2004; 176(12):1734-42.
46. Maurer MH, Knopke S, Schroder RJ, *[Added diagnostic benefit of 16-row whole-body spiral CT in patients with multiple trauma differentiated by region and injury severity according to the ATLS concept].* Rofo 2008; 180(12):1117-23.
47. Kanz KG, Korner M, Linsenmaier U, et al., *[Priority-oriented shock trauma room management with the integration of multiple-view spiral computed tomography].* Unfallchirurg 2004; 107(10):937-44.
48. Novelline RA, Rhea JT, Rao PM, Stuk JL, *Helical CT in emergency radiology.* Radiology 1999; 213(2):321-39.

49. Poletti PA, Wintermark M, Schnyder P, Becker CD, *Traumatic injuries: role of imaging in the management of the polytrauma victim (conservative expectation).* Eur Radiol 2002; 12(5):969-78.

50. Nunes LW, Simmons S, Hallowell MJ, et al., *Diagnostic performance of trauma US in identifying abdominal or pelvic free fluid and serious abdominal or pelvic injury.* Acad Radiol 2001; 8(2):128-36.

51. Lyass S, Sela T, Lebensart PD, Muggia-Sullam M, *Follow-up imaging studies of blunt splenic injury: do they influence management?* Isr Med Assoc J 2001; 3(10):731-3.

52. Livingston DH, Lavery RF, Passannante MR, et al., *Admission or observation is not necessary after a negative abdominal computed tomographic scan in patients with suspected blunt abdominal trauma: results of a prospective, multi-institutional trial.* J Trauma 1998; 44(2):273-80; discussion 280-2.

53. Jacobs DG, Sarafin JL, Marx JA, *Abdominal CT scanning for trauma: how low can we go?* Injury 2000; 31(5):337-43.

54. Allins A, Ho T, Nguyen TH, et al., *Limited value of routine followup CT scans in nonoperative management of blunt liver and splenic injuries.* Am Surg 1996; 62(11):883-6.

55. Cuff RF, Cogbill TH, Lambert PJ, *Nonoperative management of blunt liver trauma: the value of follow-up abdominal computed tomography scans.* Am Surg 2000; 66(4):332-6.

56. Lawson DE, Jacobson JA, Spizarny DL, Pranikoff T, *Splenic trauma: value of follow-up CT.* Radiology 1995; 194(1):97-100.

57. Thaemert BC, Cogbill TH, Lambert PJ, *Nonoperative management of splenic injury: are follow-up computed tomographic scans of any value?* J Trauma 1997; 43(5):748-51.

58. Cohen MD, *Determining costs of imaging services.* Radiology 2001; 220(3):563-5.

59. Tayal V, Blaivas M, Mandavia D, *Emergency ultrasound guidelines.* Ann Emerg Med 2009; 53(4):550-70.

60. Killeen KL, Shanmuganathan K, Poletti PA, Cooper C, Mirvis SE, *Helical computed tomography of bowel and mesenteric injuries.* J Trauma 2001; 51(1):26-36.

61. *Schockraum Algorithmus*. Berlin: Centrum für Muskulo Skeletale Chirurgie, Charité - Universitätsmedizin Berlin, 2012. (Eingesehen am 5. Februar 2012 unter: http://www.cmsc-online.de/metas/polytraumamanagement.html)
62. Niethard FU, Pfeil J, Bieberthaler P, *Abdomen- und Urogenitaltrauma*. Duale Reihe Orthopädie und Unfallchirurgie. 6. Auflage. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG, 2009: 366-72
63. *Ökonomisches Prinzip*. Wiesbaden: Gabler Wirtschaftslexikon, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH BS, 2012. (Eingesehen am 7. März 2012 unter: http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/oekonomisches-prinzip.html)
64. *Wirtschaftlichkeitsprinzip*. Wiesbaden: Gabler Wirtschaftslexikon, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH BS, 2012. (Eingesehen am 7. März 2012 unter: http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/wirtschaftlichkeitsprinzip.html)
65. *Kosten*. Wiesbaden: Gabler Wirtschaftslexikon, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH BS, 2012. (Eingesehen am 7. März 2012 unter: http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/kosten.html)
66. Wening JV, Tesch C, Huhnholz J, Friemert B, *[The value of sonography in traumatology and orthopedics : Part 2: emergency diagnostics in blunt abdominal and thoracic trauma.].* Unfallchirurg 2008; 111(12):958-64, 966-7.
67. Rothlin MA, Naf R, Amgwerd M, et al., *Ultrasound in blunt abdominal and thoracic trauma.* J Trauma 1993; 34(4):488-95.
68. Blackbourne LH, Soffer D, McKenney M, et al., *Secondary ultrasound examination increases the sensitivity of the FAST exam in blunt trauma.* J Trauma 2004; 57(5):934-8.
69. Pal JD, Victorino GP, *Defining the role of computed tomography in blunt abdominal trauma: use in the hemodynamically stable patient with a depressed level of consciousness.* Arch Surg 2002; 137(9):1029-32; discussion 1032-3.
70. Sherck JP, Oakes DD, *Intestinal injuries missed by computed tomography.* J Trauma 1990; 30(1):1-5; discussion 5-7.
71. Stuhlfaut JW, Soto JA, Lucey BC, et al., *Blunt abdominal trauma: performance of CT without oral contrast material.* Radiology 2004; 233(3):689-94.
72. Diercks DB, Mehrotra A, Nazarian DJ, et al., *Clinical policy: critical issues in the evaluation of adult patients presenting to the emergency department with acute blunt abdominal trauma.* Ann Emerg Med 2011; 57(4):387-404.

73. Schuler A, Reuss J, Delorme S, Hagendorff A, Giesel F, *[Costs of clinical ultrasound examinations - an economical cost calculation and analysis].* Ultraschall Med 2010; 31(4):379-86.
74. Forster R, Pillasch J, Zielke A, Malewski U, Rothmund M, *Ultrasonography in blunt abdominal trauma: influence of the investigators' experience.* J Trauma 1993; 34(2):264-9.
75. Lingawi SS, Buckley AR, *Focused abdominal US in patients with trauma.* Radiology 2000; 217(2):426-9.
76. Poletti PA, Kinkel K, Vermeulen B, et al., *Blunt abdominal trauma: should US be used to detect both free fluid and organ injuries?* Radiology 2003; 227(1):95-103.
77. Miller MT, Pasquale MD, Bromberg WJ, Wasser TE, Cox J, *Not so FAST.* J Trauma 2003; 54(1):52-9; discussion 59-60.
78. Becker A, Lin G, McKenney MG, Marttos A, Schulman CI, *Is the FAST exam reliable in severely injured patients?* Injury 2010; 41(5):479-83.
79. *Traumaregister DGU: Jahresbericht 2010*. Berlin: Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie, 2010. (Eingesehen am 23. April 2011 unter: http://www.traumaregister.de/images/stories/downloads/jahresbericht_2010.pdf)
80. Vorndran I. *18-24-Jährige im Straßenverkehr: Die sieben risikoreichsten Jahre*. Deutscher Verkehrssicherheitsrat, 2006. (Eingesehen am 06.08. 2012 unter: http://www.dvr.de/download/ps_2006-11-30_vorndran.pdf)
81. Davies AJ KR, *Falls Presenting to the Accident and Emergency Department: Types of Presentation and Risk Factor Profile.* Age Ageing 1996; 25(5):362-366.
82. Kulmala J VA, Sipilä S, Pajala S, *Poor vision accompanied with other sensory impairments as a predictor of falls in older women.* Age Aging 2009; 38(2):162-167.
83. Myers AH, Baker SP, Van Natta ML, Abbey H, Robinson EG, *Risk factors associated with falls and injuries among elderly institutionalized persons.* Am J Epidemiol 1991; 133(11):1179-90.
84. Vellas BJ, Wayne SJ, Garry PJ, Baumgartner RN, *A two-year longitudinal study of falls in 482 community-dwelling elderly adults.* J Gerontol A Biol Sci Med Sci 1998; 53(4):M264-74.
85. Stengel D, Bauwens K, Sehouli J, et al., *Systematic review and meta-analysis of emergency ultrasonography for blunt abdominal trauma.* Br J Surg 2001; 88(7):901-12.

86. Poletti PA, Mirvis SE, Shanmuganathan K, et al., *Blunt abdominal trauma patients: can organ injury be excluded without performing computed tomography?* J Trauma 2004; 57(5):1072-81.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 Schockraum-Algorithmus der Charité – Universitätsmedizin Berlin..... 13

Abb. 2 Untersuchungsregionen des FAST-Ultraschalls…… 14

Abb. 3 Altersstruktur der Studienpopulation..... 21

Abb. 4 Altersverteilung der Patienten bezüglich der Unfallursachen..... 23

Abb. 5 Verletzungsmuster bei den unterschiedlichen Unfallursachen..... 23

Abb. 6 Zeitintervall zwischen initialer CT und Kontrollultraschall..... 28

Abb. 7 Überblick über die radiologischen Untersuchungen mit Patientenanzahl. 29

Abb. 8 Initiale Computertomografie von Patient KUS034: Lazeration des kaudalen Leberpols 31

Abb. 9 Initiale Computertomografie von Patient KUS034: Einblutungsareal in der rechten Niere..... 31

Abb.10 Initiale Computertomografie von Patient KUS034: Milzregion..... 32

Abb.11 Kontrollcomputertomografie von Patient KUS034: Neue freie Flüssigkeit um die Milz 32

Tabellenverzeichnis

Tab. 1 Unfallursachen der Studienpopulation..... 22

Tab. 2 Befunde des FAST-Ultraschalls und der Computertomografie..... 25

Tab. 3 Vergleich der FAST-Befunde mit den Computertomografie-Befunden..... 26

Tab. 4 Kontingenztafel zur Ermittlung der Sensitivität und Spezifität des FAST-Ultraschalls zur Detektion von freier intraabdomineller Flüssigkeit..... 26

Tab. 5 Kontingenztafel zur Ermittlung der Sensitivität und Spezifität des FAST-Ultraschalls zur Detektion von Organverletzungen..... 27

Tab. 6 Vergleich der Patienten mit und ohne Verletzungen in der Abdomen-CT 29

Tab. 7 Tabellarischer Verlauf der Patienten mit Neubefunden im Kontrollultraschall..... 33

Tab. 8 Prozessmodell: Einzelschritte der Ultraschalluntersuchung und Personalkosten in Euro auf Minutenbasis 34

Tab. 9 Personalkosten in Euro auf Minutenbasis..... 35

Tab. 10 Zuordnung der Anzahl der Kontrollultraschalluntersuchungen zur jeweiligen Dienstart..... 35

Tab. 11 Zusammenfassung der Gesamtkosten für Ultraschalluntersuchungen in Euro..... 36

Tab. 12 Studienübersicht zur sonografischen Diagnose von abdominellen Verletzungen..... 42

Eidesstattliche Versicherung

„Ich, Annegret Winkler, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: **Kosten und Stellenwert von Ultraschallverlaufskontrollen bei potenziell polytraumatisierten Patienten nach initialer Computertomografie** selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.
Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung (siehe „Uniform Requirements for Manuscripts (URM)“ des ICMJE -*www.**icmje**.org*) kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) entsprechen den URM (s.o) und werden von mir verantwortet.
Meine Anteile an etwaigen Publikationen zu dieser Dissertation entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem Betreuer angegeben sind. Sämtliche Publikationen, die aus dieser Dissertation hervorgegangen sind und bei denen ich Autor bin, entsprechen den URM (s.o) und werden von mir verantwortet.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§156,161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.

Datum Unterschrift

Anteilserklärung an etwaigen erfolgten Publikationen

Annegret Winkler hatte folgenden Anteil an folgender Publikation:

M.H. Maurer, A. Winkler, F. Wichlas, M.-J. Powerski, F. Elgeti, A. Huppertz, R. Röttgen, T. Marnitz. Costs and role of ultrasound follow-up of polytrauma patients after initial computed tomography. Rofo. 2012 Jan;184(1):53-8.

Beitrag im Einzelnen:
Erstellung des Studiendesigns, Datenerhebung, statistische Auswertung, Mitarbeit an der Erstellung des Manuskripts

Unterschrift, Datum und Stempel des betreuenden Hochschullehrers

Unterschrift der Doktorandin

Lebenslauf

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

Publikationsliste

Teile dieser Dissertation sind in folgender Publikation erschienen:

M.H. Maurer, **A. Winkler**, F. Wichlas, M.-J. Powerski, F. Elgeti, A. Huppertz, R. Röttgen, T. Marnitz. Costs and role of ultrasound follow-up of polytrauma patients after initial computed tomography. Rofo. 2012 Jan;184(1):53-8.

Danksagung

Zunächst gilt mein Dank Herrn PD Dr. med. Rainer Röttgen für die Überlassung des Dissertationsthemas.
Des Weiteren möchte ich mich bei Herrn PD Dr. med. Martin Maurer für die sehr gute Betreuung und die Hilfe bei der Fertigstellung meiner Dissertation bedanken.

Mein besonderer Dank gilt meiner Familie: Meinen Eltern Marianne und Werner Winkler, die die Grundsteine für meinen privaten und beruflichen Weg gelegt haben und mich immer unterstützten und meiner Schwester Eva, die mir in jeder Lebenslage Mut zugesprochen hat und mir stets unterstützend zur Seite stand.
Oliver möchte ich für seine Hilfe, den Rückhalt und das entgegengebrachte Verständnis in den vergangenen Jahren danken.
Mein Dank gilt auch meiner Freundin Aleska für ihre Unterstützung in der vergangenen nicht immer einfachen Zeit.

Danke.