

Aus dem Institut für Klinische Radiologie der  
Ludwig-Maximilians-Universität München

**Direktor: Prof. Dr. med. Dr. h. c. M. Reiser, FACR, FRCR**

**Radiologische Versorgung Schwerstverletzter –  
Der aktuelle Stand für Polytrauma sowie die Auswertung eines  
universitären Zentrums im Falle der Simulation eines  
Massenanfalls von Verletzten**

Dissertation  
zum Erwerb des Doktorgrades der Zahnmedizin  
aus der Medizinischen Fakultät der  
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

Vorgelegt von  
**Maximilian Muggenthaler**

München  
2016

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. med. Dr. rer. biol. Stefan Wirth

Mitberichterstatter: Priv. Doz. Dr. med. Wulf SieneI

Prof. Dr. med. Christian K. Lackner

Dekan: Prof. Dr. med. dent. Dr. h. c. Reinhard Hickel

Tag der mündlichen Prüfung: 14. 12. 2016

# Inhaltsverzeichnis

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Einleitung .....</b>  | <b>5</b>  |
| 1.1      | Hintergrund.....   | 5         |
| 1.2      | CT-Diagnostik beim Polytrauma.....                               | 7         |
| 1.3      | Massenanfall von Verletzten .....                                | 7         |
| 1.4      | Zielsetzung .....  | 8         |
| <b>2</b> | <b>Review.....</b>   | <b>9</b>  |
| 2.1      | Polytrauma – Definitionen, Epidemiologie und Trauma-Scores ..... | 9         |
| 2.2      | Voraussetzungen für die Polytraumaversorgung.....                | 13        |
| 2.2.1    | Anforderungen an das Krankenhaus/Klinikum.....                   | 13        |
| 2.2.2    | Anforderungen an die radiologische Versorgung.....               | 16        |
| 2.3      | Die Rolle der Radiologie bei Polytrauma .....                    | 17        |
| 2.3.1    | FAST .....   | 17        |
| 2.3.2    | Die Rolle der konventionellen Radiographie.....                  | 20        |
| 2.3.3    | Die Rolle der CT.....  | 21        |
| 2.3.4    | Die Rolle weiterer bildgebender Verfahren .....                  | 23        |
| 2.4      | Konkrete Polytraumaversorgung.....                               | 23        |
| 2.4.1    | Protokolle.....  | 23        |
| 2.4.2    | CT-Bildfluss und Befundung.....                                  | 39        |
| 2.5      | Extremszenario MANV .....  | 42        |
| 2.5.1    | CT-Protokolle.....   | 42        |
| 2.5.2    | CT-Bildfluss und Befundung.....                                  | 45        |
| 2.6      | Dosisreduktion.....  | 45        |
| <b>3</b> | <b>Studie.....</b>   | <b>47</b> |
| 3.1      | Material und Methoden.....                                       | 47        |
| 3.1.1    | Hintergrund.....   | 47        |
| 3.1.2    | Simulation der Unfallopfer .....                                 | 50        |
| 3.1.3    | Überwachendes Personal .....                                     | 52        |
| 3.1.4    | Radiologisches Personal.....                                     | 52        |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| 3.1.5    | Ablauf der Versorgung an den Standorten..... | 54        |
| 3.1.6    | CT-Untersuchung .....                        | 58        |
| 3.1.7    | Bildverarbeitung .....                       | 60        |
| 3.1.8    | Statistik .....                              | 60        |
| 3.2      | Genehmigung .....                            | 61        |
| 3.3      | Ergebnisse.....                              | 61        |
| 3.3.1    | Gesamtablauf .....                           | 61        |
| 3.3.2    | Zeiten bis zum Eintritt in den CT-Raum ..... | 63        |
| 3.3.3    | Zeiten im CT-Raum .....                      | 64        |
| 3.3.4    | Zeiten nach Verlassen des CT-Raums .....     | 66        |
| 3.4      | Diskussion .....                             | 67        |
| <b>4</b> | <b>Zusammenfassung .....</b>                 | <b>75</b> |
| <b>5</b> | <b>Abkürzungen .....</b>                     | <b>76</b> |
| <b>6</b> | <b>Tabellen .....</b>                        | <b>77</b> |
| <b>7</b> | <b>Abbildungen.....</b>                      | <b>78</b> |
| <b>8</b> | <b>Literatur .....</b>                       | <b>79</b> |
| <b>9</b> | <b>Lebenslauf .....</b>                      | <b>90</b> |

# **1 Einleitung**

## **1.1 Hintergrund**

Weltweit sterben im Jahr über 5,8 Millionen Menschen an den Folgen eines Traumas [1]. Im Jahr 2011 gab es in Deutschland mehr als 20 000 tödliche Unfälle. Davon ereigneten sich 39 % im Hausbereich, 38 % in der Freizeit, 21 % im Verkehr, und die übrigen als Arbeits- oder Schulunfälle [2]. Weltweit sind Verkehrsunfälle die häufigste durch Trauma bedingte Todesursache [3]. In Krisen- und Kriegsgebieten, politisch instabilen Ländern, Ländern der Dritten Welt und den USA (9 % der verletzungsbedingten Toten durch Schusswaffen [4]) spielen auch die in Deutschland seltenen schusswaffenbedingten Todesfolgen eine nennenswerte Rolle [5].

Auch in Deutschland ist die häufigste Todesursache junger Menschen ein unfallassoziertes Trauma, fast ausschließlich im Straßenverkehr. Im Jahr 2012 verunglückten 72 130 junge Männer und Frauen im Alter von 18 bis 24 Jahren, davon 611 unmittelbar tödlich [6]. Verkehrsunfälle sind besonders häufig Ursache eines Polytrauma, da hier geschwindigkeitsbedingt hohe Kräfte wirken, denen der gesamte Körper ausgesetzt wird [7].

In der Regel erfolgt die professionelle Erstversorgung bei einem Polytrauma durch den Rettungsdienst und gegebenenfalls durch einen Notarzt [8] [9]. Die bestehenden Leitlinien in Deutschland geben kein konkretes Ablaufschema vor, sondern fokussieren sich auf einzelne Verletzungsmuster, eingebettet in allgemeine Handlungswege [9]. Die initiale Behandlung erfolgt zum Beispiel durch Konzepte wie den in Deutschland verbreiteten „Advanced Trauma Life Support“ (ATLS) [10]. Feste Bestandteile sind ein Elektrokardiogramm (EKG), Pulsoxymetrie und die Messung des Blutdrucks. Gegebenenfalls erfolgt eine

Reanimation, eine Intubation und Beatmung, eine Herzdruckmassage oder das Anlegen von Kompressionsverbänden als primäre lebenserhaltende Maßnahme. Nach der Feststellung des Schweregrades der Verletzungen durch ein Scoringsystem, wie zum Beispiel den „Injury Severity Score“ (ISS) und die „Glasgow Coma Scale“ (GCS), durch die Rekonstruktion des Unfallherganges oder durch festgelegte Kriterien erfolgt die Entscheidung, wie und in welches Krankenhaus der Transport erfolgen soll [8] [9]. Geografische Gegebenheiten erfordern oftmals die Beförderung durch einen Hubschrauber [11] [12].

Während der Überführung werden in der Regel die lebenserhaltenden Maßnahmen weitergeführt und vorbereitende Maßnahmen – wenn noch nicht erfolgt – für die Weiterbehandlung in einem Traumazentrum ergriffen, wie zum Beispiel das Legen von Zugängen und eine Volumentherapie. Da die Mortalität mit der Zeit bis zur Ankunft steigt, sollte auf den schnellstmöglichen Transport des Patienten besonderer Wert gelegt werden [11] [12].

Die Erstversorgung im Krankenhaus erfolgt im Schockraum. In einem überregionalen Traumazentrum sollte dieser mit mindestens zwei Chirurgen, einem Anästhesisten, einem Radiologen, zwei Fachpflegekräften, einer Anästhesiefachpflegekraft und einem medizinisch-technischen Radiologieassistenten (MTRA) besetzt sein. Dort stehen sofort präzisere Möglichkeiten zur Diagnostik zur Verfügung als am Unfallort, wie konventionelles Röntgen (KR), „Focused Assessment with Sonography for Trauma“ (FAST; hohe Spezifität für den Nachweis freier Flüssigkeit und von Organverletzungen) und vor allem ein Computertomograph (CT). Nach einer klinischen Untersuchung, einer FAST-Untersuchung (welche ohne Zeitverlust während des Transports des Patienten erfolgen kann) und gegebenenfalls konventionellem Röntgen erfolgt die Entscheidung, ob eine Computertomographie (CT) durchgeführt werden kann oder ob der Patient

aufgrund von akutem Behandlungsbedarf, welcher keine Zeit für eine CT erlaubt (zum Beispiel freie Flüssigkeit oder Pneumothorax), direkt in den Operationssaal gebracht werden muss. Zeitgleich muss eine Laboruntersuchung des Blutes erfolgen, um wichtige Parameter wie zum Beispiel die Blutgruppe und die Gerinnung zu erfassen [8] [9].

## **1.2 CT-Diagnostik beim Polytrauma**

Die CT-Diagnostik steht heute im Mittelpunkt der initialen Diagnosemittel und ist Goldstandard beim Polytrauma. Konventionelles Röntgen im Schockraum tritt dadurch immer mehr in den Hintergrund und wird zunehmend seltener verwendet, auch wegen der in aller Regel standardmäßig durchgeführten Ganzkörper-Computertomographie (GKCT), bei der so gut wie alle akut lebensbedrohlichen Verletzungen erfasst werden können. Hilfreich hierfür war die Weiterentwicklung der Computertomographen, welche zu einer starken Verringerung des Zeitbedarfs und zu Auflösungen im Sub-Millimeterbereich geführt hat. Bei der inzwischen gegebenen breiten Verfügbarkeit sind somit sehr präzise und schnelle Therapieentscheidungen möglich [13].

## **1.3 Massenanfall von Verletzten**

Der Massenanfall von Verletzten (MANV) ist ein seltenes Ereignis, bei dem eine große Anzahl von Patienten gleichzeitig schwer verletzt wird. Beispiele dafür sind Massenkarambolagen, Zugunglücke, Flugzeugabstürze oder die leider mehr und mehr relevanten Terroranschläge. Dabei stehen sowohl die Rettungsdienste, die Feuerwehr und die Polizei als auch die medizinischen Versorgungseinrichtungen vor einer besonderen Herausforderung und stoßen schnell an die Grenzen ihrer Leistungsfähigkeit [14] [15]. Aufgrund des seltenen Auftretens gibt es diesbezüglich in der dann betroffenen Einrichtung meist kaum Routine und darüber hinaus insgesamt auch allenfalls wenige allgemeine

Richtlinien, speziell in Bezug auf Schockraum- und CT-Protokolle, also den Schwerpunkt der radiologischen Versorgung [8] [16].

#### **1.4 Zielsetzung**

Das Promotionsprojekt verfolgt zwei Ziele.

- 1.) REVIEW: Zunächst wird ein Überblick über aktuelle Kenntnisse des Nutzens und der Benutzung von Computertomographie bei Polytrauma und dem Massenanfall von Verletzten gegeben.
- 2.) STUDIE: Auf diesem Vorwissen baut eine Studie auf, welche die Arbeitsabläufe der beiden Standorte des Klinikums der Universität München, welche beide überregionale Traumazentren sind, mit Fokus auf die CT-Untersuchungen bei dem Extremszenario eines (hier simulierten) Massenanfalls von Verletzten evaluiert und vergleicht.

## **2 Review**

### **2.2 Polytrauma – Definitionen, Epidemiologie und Trauma-Scores**

Nach Tscherne, Oestern und Sturm handelt es sich bei einem Polytrauma um die Verletzung verschiedener Körperregionen, von denen zumindest eine oder deren Kombination lebensbedrohlich ist [17]. Das ist zwar eine etwas ungenaue, aber im Alltag gut praktikable Definition. Das Polytrauma stellt präklinisch zunächst eine Verdachtsdiagnose dar und ist genauer definiert durch den sogenannten Injury Severity Score (ISS) mit einem Wert von mehr als 16 [18]. Das ist zwar genauer, indem die Überlebenschance, welche durch die Abbreviated Injury Scale (AIS) berechnet wird, mit einbezogen wird, hat aber den Nachteil dass der ISS erst retrospektiv verfügbar ist. Die Berechnung erfolgt anhand des AIS, welcher auf den Folgeseiten erläutert wird. Der große Vorteil eines solchen Vorgehens ist eine mögliche Datensammlung in Registern, welche dann retrospektiv genauer ausgewertet werden können. Tabelle 1 gibt nach Nast-Kolb et al. eine Zusammenfassung von Faktoren wieder, die auf die Verdachtsdiagnose Polytrauma hinweisen. Das ist insofern bedeutsam als ja nicht retrospektiv sondern bereits beim Eintreffen von Patienten beurteilt werden muss, ob ein Polytrauma vorliegt und dem entsprechende Abläufe erfolgen, welche sich von denen bei „normalen“ Unfallfolgen unterscheiden.

**Tabelle 1:** Kriterien für die Verdachtsdiagnose Polytrauma [19]

| Unfallmechanismus   | Verletzungsmuster              | Vitalparameter                        |
|---|--------------------------------|---------------------------------------|
| <b>Verkehrsunfall</b>   | Penetrierende Verletzung       | Glasgow Coma Scale < 10               |
| - Radfahrer oder Fußgänger angefahren                           | Instabile Beckenfraktur        | Atemfrequenz < 10 oder > 29           |
| - Unfall mit hoher Geschwindigkeit von über 50 km/h             | Thorax instabil oder offen     | Arterielle Sauerstoffsättigung < 90 % |
| - Mit Fahrzeug überschlagen                                     | Fraktur von mindestens zwei    |                                       |
| - Aus Fahrzeug herausgeschleudert                               | langen Knochen der             | Systolischer Blutdruck < 80 mmHg      |
| - In Fahrzeug eingeklemmt                                       | Extremitäten                   |                                       |
| - Airbag ausgelöst  |                                |                                       |
| - Tod eines Insassen  | Proximale                      |                                       |
| <b>Sturz aus unklarer oder großer Höhe (mindestens 5 Meter)</b> | Gliedmaßenamputation           |                                       |
|   | Trümmerfrakturen               |                                       |
| <b>Andere Unfallmechanismen</b>                                 |                                |                                       |
| - Verschüttet   | Rippenserienfraktur kombiniert |                                       |
| - Explosion   | mit weiteren Verletzungen      |                                       |
| - Unklarer Mechanismus, schweres Trauma wahrscheinlich          |                                |                                       |

Patienten, bei denen ein oder mehrere der genannten Faktoren zutreffen, gelten als potenzielle Polytraumapatienten und sollten als solche behandelt werden.

In Deutschland gibt es pro Jahr bis zu 38 000 Schwerverletzte, die als Polytraumapatienten in ein Krankenhaus eingeliefert werden [9]. Die Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU) hat seit 1993 122 672 Patienten in Registern erfasst, was Voraussetzung für die oben angesprochenen Auswertungen ist [20].

Die häufigsten Mechanismen, die zu einem Polytrauma führen können, sind Aufprall, starke Kompression, starkes Abbremsen und Penetration. Bei einem

Aufprall wirken starke Kräfte, welche Organe, Weichgewebe und Knochen quetschen können. Bei starkem Abbremsen oder plötzlicher Beschleunigung entstehen Scherkräfte, die feste Verbindungen von Gewebe und Knochen zerreißen oder zerbrechen können. Bei Kompression kommt es zu erhöhtem Druck im Körper mit ähnlichen Resultaten wie bei einem Aufprall. Es können auch Penetrationen auftreten, bei denen Gewebe durchdrungen wird und Organe, Knochen und andere Gewebe durchtrennt werden [7].

Es gibt verschiedene Scoring-Systeme, die dazu verwendet werden, die Schwere einer Verletzung durch eine Zahl auszudrücken. Die AIS ist eine einfache Verletzungsskala zur Beurteilung der Letalität von Einzelverletzungen. Für jedes Organ bzw. jede Körperregion wurden Tabellen entwickelt, um die Schwere der Verletzung jeder Region mit einem Punktwert von 0 bis 6 festzulegen. Dabei stellt der Wert 0 keine, der Wert 1 eine leichte, der Wert 5 eine sehr schwere, und der Wert 6 eine für sich tödliche Verletzung der jeweiligen Region dar [21].

Der am häufigsten verwendete Score in der Literatur in Bezug auf Polytrauma ist der ISS nach Baker et al. [22], welcher den AIS als Grundlage nutzt. Der AIS wird zur Berechnung eines Gesamt-ISS in sechs Regionen getrennt ermittelt:

1. Kopf und Hals mit Halswirbelsäule
2. Gesicht
3. Thorax mit Organen und Brustwirbelsäule
4. Abdomen mit Organen und Lendenwirbelsäule
5. Becken und Extremitäten
6. Äußere Verletzungen

Die Punktwerte des AIS der drei am schwersten betroffenen Körperregionen werden jeweils quadriert, die Summe dieser Quadrate ergibt den ISS (Formel 1). Wird eine einzelne Verletzung mit dem AIS-Wert 6 bewertet, ergibt sich nach Definition der maximale ISS von 75 Punkten. Somit können sich Scorewerte zwischen 0 und 75 Punkten ergeben. Hohe Scorewerte bedeuten einen schwereren Grad der Verletzung und somit eine schlechte Überlebensprognose [21] [22] [23] [24].

**Formel 1:** Berechnung des ISS

$$ISS = AIS_1^2 + AIS_2^2 + AIS_3^2$$

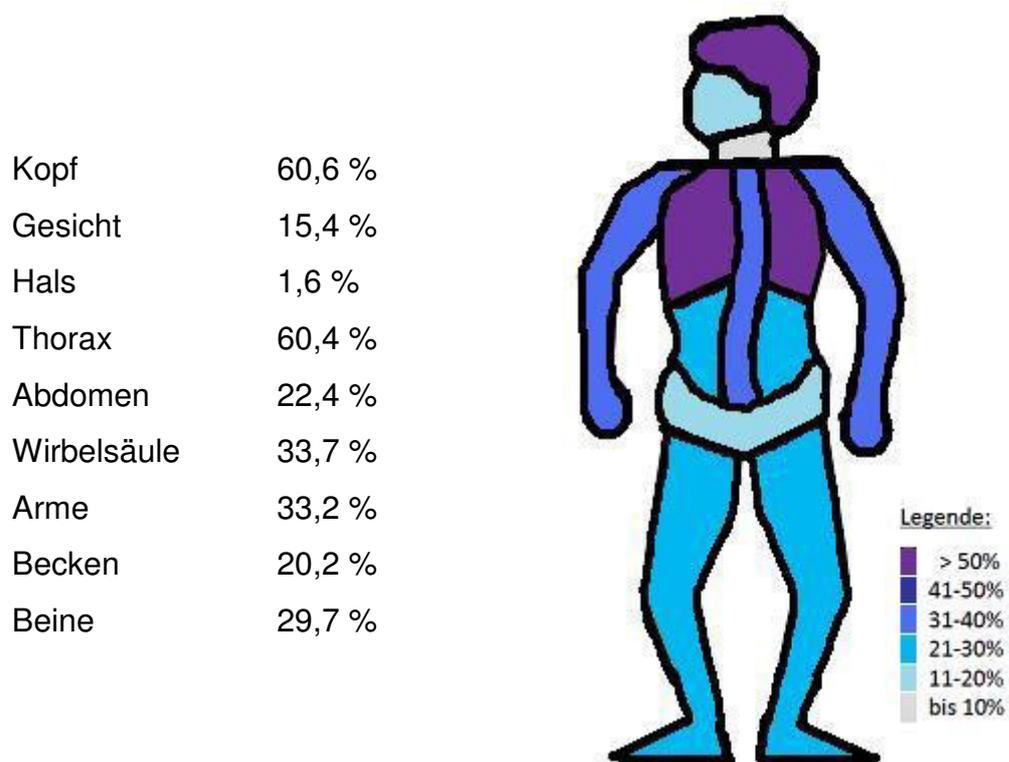
Eine weitverbreitete Skala zur Beurteilung der Bewusstseinslage von Patienten ist die Glasgow Coma Scale (GCS). Mit ihr lassen sich Bewusstseinsstörungen quantifizieren, insbesondere dient sie zur Beurteilung der Schwere eines Schädel-Hirn-Traumas (SHT). Drei Variablen werden in der Skala berücksichtigt:

- Augenöffnung (keine; auf Schmerzreiz; auf Aufforderung; spontan)
- Verbale Reaktion (keine; unverständliche Laute; verworren; verwirrt; voll orientiert)
- Motorische Reaktion (keine; Strecksynergismen auf Schmerzreiz; Beugesynergismen auf Schmerzreiz; ungezielte Abwehr von Schmerzreiz; Abwehr mit Lokalisation des Schmerzreizes; auf Aufforderung)

Für jede Variable werden Punkte vergeben, welche im Anschluss addiert werden. Die höchste Gesamtpunktzahl ist 15, was einem vollen Bewusstsein entspricht, die minimale Gesamtpunktzahl ist 3 und steht für ein tiefes Koma.

Auch der GCS-Wert kann zur Beurteilung der Überlebenschancen herangezogen werden [25] [26].

Abbildung 1 zeigt durchschnittliche Verletzungsmuster der neun Körperregionen der AIS von 36 132 schwerverletzten Patienten mit einem ISS  $\geq 16$  anhand des Traumaregisters der DGU im Zeitraum von 2010 bis 2012. Gewertet werden alle Verletzungen mit einem Schweregrad von mindestens 2 Punkten [20].



**Abbildung 1:** Häufigkeiten der Verletzungen nach Körperregionen bei Polytrauma [20]

## 2.3 Voraussetzungen für die Polytraumaversorgung

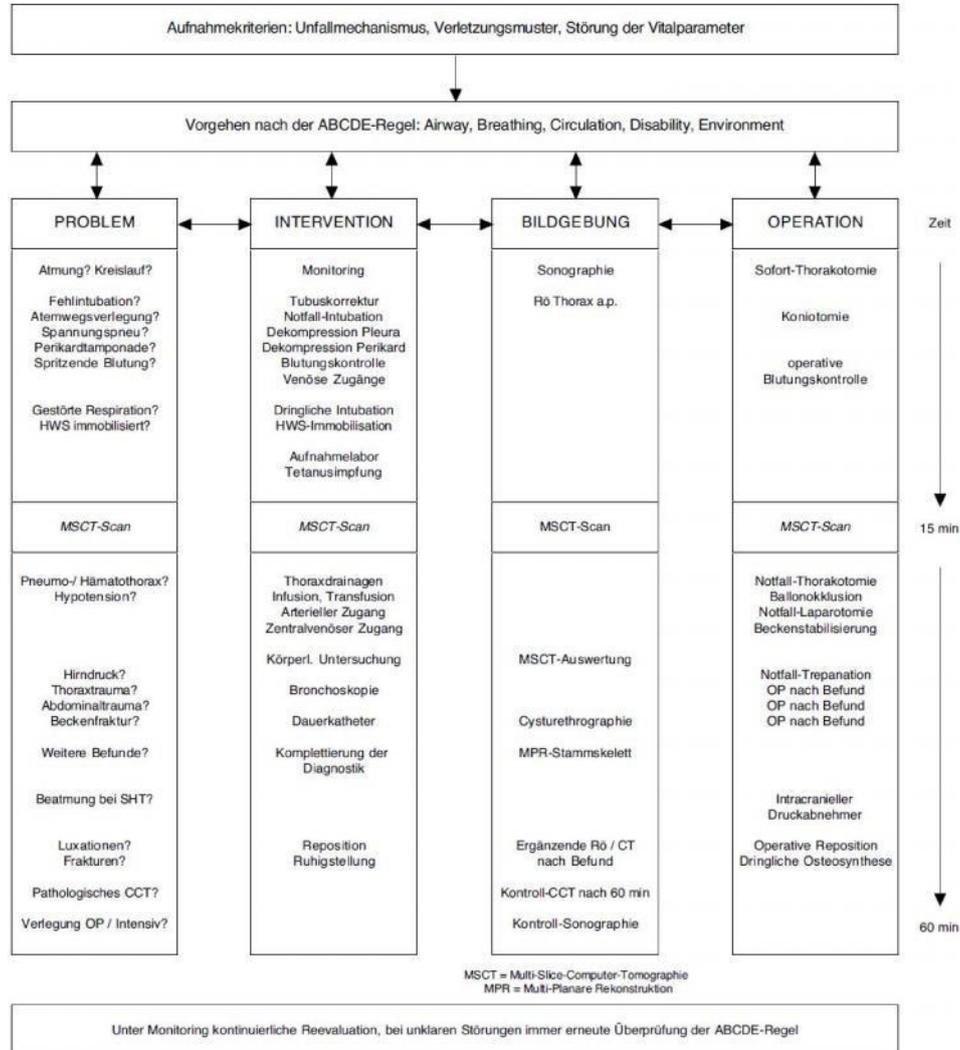
### 2.3.1 Anforderungen an das Krankenhaus/Klinikum

Voraussetzung ist die Behandlung in einem Traumazentrum. Die DGU stellt im Rahmen des Projektes „Traumanetzwerk“ zunächst grundsätzliche

Anforderungen an ein Traumazentrum. Demnach sollte sich der Helikopter-Landeplatz auf dem Klinikgelände befinden, während der Schockraum, die Krankenanhfahrt, die Radiologie und der Operationssaal im selben Gebäude sein sollten [8]. Der Schockraum sollte pro Patient 25–50 m<sup>2</sup> an Fläche haben und getrennt beheizbar sein [8] [9]. Die Ausstattung des Schockraums sollte die Möglichkeiten für ein konventionelles Röntgen und Sonographie, außerdem ein EKG und Einrichtungen für lebenserhaltende Maßnahmen wie Beatmung und Defibrillation bieten. Ein CT und ein Operationssaal sollten sich in angemessener Nähe bzw. in direkter Nachbarschaft befinden. In Notaufnahmen besteht in der Regel ein gemeinsam beschlossenes Protokoll, das die Verantwortlichkeiten der Behandlung bei Polytrauma regelt [9]. Abbildung 2 zeigt das Schockraumprotokoll der Chirurgischen Klinik der Ludwig-Maximilians-Universität München Campus Innenstadt.

# Workflow - Polytrauma - Schockraum

© 12/2008 K.-G. Kanz, S.M. Huber-Wagner, U. Linsenmaier, U. Kreimeier, W. Mutschler



A = Airway, C-Spine Control: Tubusfehlilage?

B = Breathing, Ventilation:

C = Circulation, Hemorrhage Control:

D = Disability, Disorientation, Neurologic Status:

E = Environment, Exposure:

Atemwegsverlegung? Intubationshindernis?

Sicherung der Atemwege unter Immobilisation der HWS

Spannungspneumothorax? Massiver Hämatothorax? Instabiler Thorax?

Dekompression der Pleura, Beatmung, Sauerstoffgabe

Perikardtamponade? Massive Blutung? Hypovolämie?

Dekompression des Perikard, Blutungskontrolle, Transfusions- und Infusionstherapie

Intracranielle Blutung? Hirnödem?

Computertomographie, Neurotraumatologische Intervention, Kopfhochlagerung, MAP > 90 mmHg

Hypothermie? Weitere Verletzungen?

Schutz gegen Wärmeverlust, ggf. Erwärmung, Vollständige Entkleidung

**Abbildung 2:** Schockraumprotokoll der Chirurgischen Klinik der Ludwig-Maximilians-Universität München Campus Innenstadt. Alle vier Säulen enthalten eine Mehrzeilenspiralcomputertomographie (MSCT). Sofern es sich um ein Polytrauma handelt wird also immer eine CT durchgeführt.

Das Schockraum-Basisteam in einem überregionalen Traumazentrum erfordert einen anwesenden Facharzt für Orthopädie und Unfallchirurgie, einen Weiterbildungsassistenten in Orthopädie und Unfallchirurgie bzw. Weiterbildungsassistenten in Allgemeinchirurgie oder Viszeralchirurgie, einen Facharzt für Anästhesiologie oder Weiterbildungsassistenten mit Facharztstandard, einen Facharzt für Radiologie oder Weiterbildungsassistenten mit Facharztstandard, zwei Pflegekräfte aus dem Bereich Chirurgie, eine Pflegekraft aus dem Bereich Anästhesiologie, eine medizinisch-technische Radiologiefachkraft und Transportpersonal. Ein erweitertes Schockraum-Team sollte innerhalb von 20–30 Minuten zur Verfügung stehen. Das Basisteam muss – je nach Muster der Verletzungen – durch Fachärzte verschiedener Disziplinen erweiterbar sein [9].

#### 2.2.2 Anforderungen an die radiologische Versorgung

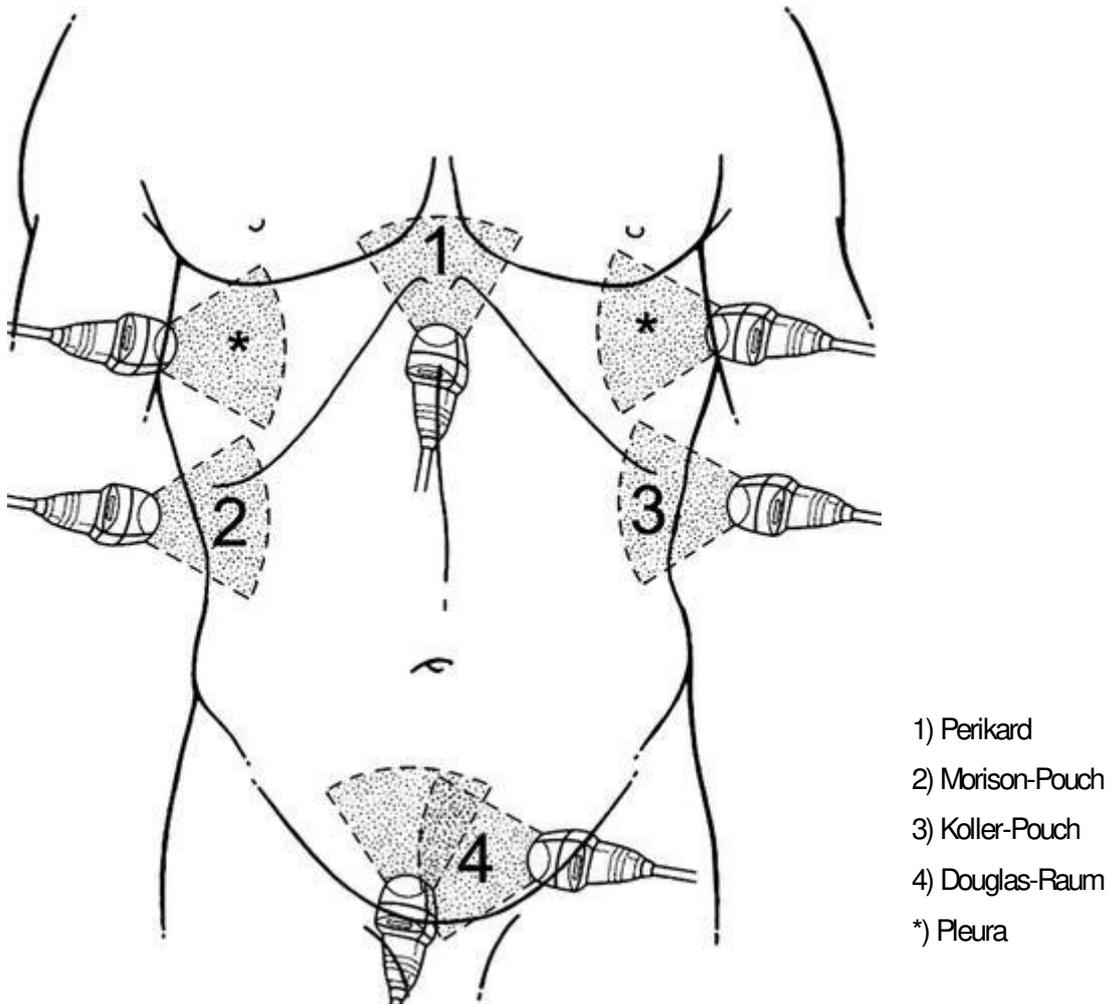
Die DGU fordert, dass bei Neu- oder Umbauten ein CT im oder direkt neben dem Schockraum geplant wird [9]. Saltzherr et al. zeigten im Jahr 2012 in einer Studie, dass ein im Schockraum installierter CT zwar keinen statistisch signifikanten positiven Einfluss auf den Outcome bei Polytraumapatienten hat, jedoch die Zeit von der Aufnahme des Patienten bis zu den ersten CT-Bildern erheblich verkürzen und den Workflow verbessern kann [27]. Eine Zeitersparnis und eine Verbesserung des Workflows kann auch ein beweglicher MSCT-Scanner bringen [28]. Auch in Hinsicht auf den Massenansturm von Verletzten schlagen Halpern et al. vor, einen CT in die Notaufnahme zu integrieren [29]. Im Gegensatz zu einem lokalen oder regionalen Traumazentrum sollte nach den Forderungen der DGU in einem überregionalen Traumazentrum ein Radiologe zum Basisteam gehören [9].

## **2.4 Die Rolle der Radiologie bei Polytrauma**

### 2.4.1 FAST

„Focused Assessment with Sonography for Trauma“ (FAST) bezeichnet eine standardisierte Untersuchungsmethode durch Ultraschall, die nach einem Trauma von Radiologen, Chirurgen oder Notärzten an Bauch, Becken und Brust durchgeführt wird. Freie Flüssigkeit und lebensbedrohliche Verletzungen von Organen und Gefäßen sollen dabei initial am Unfallort oder im Schockraum erkannt werden, um gegebenenfalls frühzeitig die Entscheidung über eine Notoperation fällen zu können [30] [31].

Die Untersuchung soll bewusst nicht eine vollständige Ultraschalluntersuchung, zum Beispiel des Bauchraumes, darstellen, sondern vor allem schnell erfolgen. Dementsprechend wird sie nur an den definierten Stellen Perikard, Morison-Pouch, Koller-Pouch, Douglas-Raum und im Falle von extended FAST (eFAST) auch an der Pleura durchgeführt, um freie Flüssigkeit als Korrelat einer Blutung beziehungsweise mit geringerer Priorität einen Pneumothorax zu finden oder auszuschließen. Abbildung 3 zeigt deren sonographische Zugänge.



**Abbildung 3:** Sonographische Zugänge während einer FAST-Untersuchung [32]

Die DGU empfiehlt, bei Polytrauma eine FAST-Untersuchung zur Erfassung von freier Flüssigkeit durchzuführen. Auch wenn ein unauffälliger Befund vorliegt, kann selbst beim wachen Patienten eine intraabdominelle Verletzung nicht ausgeschlossen werden. Falls keine zeitnahe CT erfolgen kann, sollte die Sonographie wiederholt werden. Wenn eine CT-Untersuchung nicht möglich ist, kann eine gezielte Suche nach Parenchymverletzungen mittels Sonographie erfolgen [8].

FAST hat eine hohe Spezifität für den Nachweis von freier Flüssigkeit und Organverletzungen, jedoch nur eine befriedigende Sensitivität für den Nachweis von freier Flüssigkeit und eine geringe Sensitivität für den Nachweis von Organverletzungen und sollte daher nur als „first look“ verwendet werden. Die Untersuchung führt oft zu einer zu gering eingeschätzten Verletzungsschwere, speziell bei Organverletzungen. Die Qualität ist sehr stark abhängig vom Geschick und der Erfahrung des Behandlers [32].

Eine Ultraschalluntersuchung mit Kontrastmittel kann gelegentlich auch im Trauma-Setting eine Ergänzung zu einer CT darstellen, zum Beispiel bei einer Allergie auf CT-Kontrastmittel, sofern diese bekannt ist, und eine eher geringe Verletzungsschwere dies rechtfertigt. Eine kontrastmittelgestützte Ultraschalluntersuchung verbessert die Visualisierung und Charakterisierung bei Leber-, Nieren- und Milzverletzungen gegenüber konventionellem Ultraschall [33]. Sie eignet sich auch für Folgeuntersuchungen von Organen des Abdomens, speziell bei jungen Menschen oder Kindern [34]. Eine spätere Zweit- oder Kontrollsonographie ist obsolet, wenn eine Multi Detektor Computertomographie (MDCT) erfolgt ist, da keine zusätzlichen Informationen im Ultraschall gewonnen werden können. Eine Indikation dazu können jedoch abnorme klinische Auffälligkeiten oder Laborwerte sein [35] [36].

Ultraschall ist ein schnelles, günstiges, leicht zu erlernendes und sicheres Mittel, um bei Traumapatienten sehr schnell und vergleichsweise sicher freie Flüssigkeit nachzuweisen. Ein Vorteil gegenüber anderen bildgebenden Verfahren ist, dass die Untersuchung schon während der initialen Schockraumbehandlung parallel zu anderen Maßnahmen, das heißt ohne Zeitverlust, durchgeführt werden kann [37].

#### 2.4.2 Die Rolle der konventionellen Radiographie

Die Einrichtungen für ein konventionelles Röntgen im Schockraum sollten die Erstellung von Bildern des Thorax, der Wirbelsäule, der Extremitäten und des Kopfes ermöglichen. Die DGU empfiehlt weiterhin, falls keine kontrastmittelverstärkte CT des Thorax und des Beckens erfolgt, dass ein Thoraxtrauma und Verletzungen des Beckens durch konventionelles Röntgen ausgeschlossen werden sollten. Falls keine CT der Wirbelsäule erfolgt, kann sie ersatzweise durch konventionelles Röntgen abgeklärt werden. Befunde der Extremitäten sollten – je nach Zustand des Patienten – durch Röntgen in zwei Ebenen oder alternativ im CT geklärt werden [8]. Eine konventionelle Röntgenaufnahme bei Schädel-Hirn-Trauma ist obsolet, da die Informationen zu intrakraniellen Verletzungen fehlen. Die CT-Untersuchung hat die Röntgenaufnahme des Schädels inzwischen ersetzt [38].

Konventionelles Röntgen des Thorax wird zur initialen Bildgebung im Liegen oder in zwei Ebenen eingesetzt. Damit besteht eine relativ schnelle Möglichkeit, Verletzungen wie Rippenfrakturen sowie Pneumo- und Hämatothorax zu erkennen [39]. Die Aufnahmen unterliegen den üblichen Einschränkungen der Projektionsradiographie. Sie sind nicht überlagerungsfrei, eine orthograde Einstellung kann schwierig sein und es kann nicht einsehbare Bereiche geben [13]. Falls eine CT des Abdomens und der Hüfte durchgeführt wird, ist eine konventionelle Röntgenaufnahme der Lendenwirbelsäule obsolet, da die rekonstruierten CT-Daten Frakturen besser visualisieren als die konventionelle Radiographie. Die Aussagekraft ist vergleichbar mit einer dedizierten CT der Lendenwirbelsäule und des Beckens [40] [41]. Schon der initiale Scoutview im CT kann Befunde wie ein konventionelles Röntgen hervorbringen, womit die Radiographie auch aus Gründen der Zeitersparnis diskutiert werden kann [42].

Die Weiterentwicklung der Computertomographie in den letzten Jahren brachte eine breite Verfügbarkeit von Computertomographen mit sich, welche schnell überlagerungsfreie Darstellungen liefern können, was genaue Diagnosen ermöglicht. Da bei Polytrauma meist standardmäßig eine Ganzkörpercomputertomographie durchgeführt wird, spielt konventionelles Röntgen in der Diagnostik von Schwerverletzten nur noch eine untergeordnete Rolle [13]. Der Wert besteht inzwischen vor allem in Einrichtungen, in denen der Schockraum relativ weit vom CT entfernt ist und vor der CT eine erste Einschätzung in der klinischen Gesamtabwägung sinnvoll erscheint.

#### 2.4.3 Die Rolle der CT

Nach den Empfehlungen der DGU sollte bei jedem Patienten, bei dem es klinische bzw. anamnestische Hinweise auf ein schweres Thoraxtrauma gibt, eine Spiral-CT durchgeführt werden. Verletzungen des Beckens sollten durch eine CT bzw. durch konventionelles Röntgen ausgeschlossen werden. Regionen, die im konventionellen Röntgen pathologisch oder verdächtig erscheinen oder nicht beurteilbar sind, sollten ebenfalls mittels CT abgeklärt werden. Die DGU fordert außerdem, aufgrund der hohen Sensitivität und höchsten Spezifität im Erfassen von Verletzungen des Abdomens eine Mehrschicht-Spiral-CT durchzuführen. Bei Polytrauma mit Verdacht auf eine Verletzung des Schädels bzw. Gehirns sollte eine native craniale Computertomographie (CCT) durchgeführt werden, eine erneute CCT bei einer Verschlechterung und bei bewusstlosen Patienten bzw. Verletzungszeichen in der ersten CCT eine Verlaufs-CCT binnen 8 Stunden. Bei klinischen Anzeichen für Halsverletzungen sollte eine CT der Weichteile des Halses erfolgen, um die Schwere und Art der Verletzungen festzustellen. Bei stabilem Kreislauf sollte die Wirbelsäule vorzugsweise durch eine MSCT von Kopf bis Becken durchgeführt werden [8].

Diese Forderungen der DGU stützen sich zum größten Teil auf Kenntnisse und Veröffentlichungen aus den Achtziger- und Neunzigerjahren des zwanzigsten Jahrhunderts. Die rasante Entwicklung von schnelleren und besseren Geräten mit verbesserter Auflösung schafft ständig neue Möglichkeiten [43]. Inzwischen gibt es Hinweise, dass die Strahlungsbelastung bei moderner 64-Zeilen-MSCT verringert werden kann, worauf am Ende des ersten Teils der Arbeit noch gesondert eingegangen wird [44]. Die Entscheidung, eine Ganzkörper-CT durchzuführen, liegt im Ermessen des behandelnden Arztes. Hsiao et al. fordern keine Regeln zur Entscheidung für einen Ganzkörper-Scan festzulegen, da die Anzahl der unnötigen Ganzkörper-Scans zu hoch würde [45]. In Deutschland gibt es keine einheitlichen Regelungen; so werden in überregionalen Traumazentren bei Polytrauma wesentlich öfter Ganzkörper-Scans durchgeführt als in regionalen oder lokalen Zentren [46]. In einer retrospektiven Studie anhand der DGU-Traumaregister-Datenbank konnte von Huber-Wagner et al. jedoch nachgewiesen werden, dass eine Ganzkörper-CT als Standard zu einer Reduktion der Mortalität im „Trauma and Injury Severity Score“ (TRISS) um 25 % und in der „Revised Injury Severity Classification“ (RISC) um 13 % führt. Bei 1 494 von 4 621 Polytraumapatienten wurde eine Ganzkörper-CT durchgeführt. Zur Vorhersage des Überlebens erwies sich eine Ganzkörper-CT als unabhängiger, positiver Faktor [47]. Kimura und Tanaka kamen in einer Studie mit 5 208 Patienten mit einem GCS-Wert von 3 bis 12 zu dem Ergebnis, dass eine Ganzkörper-CT bei Patienten, bei denen eine CCT indiziert ist, die Mortalität verringert [48]. Sierink et al. zeigten anhand von 152 Patienten, dass eine Ganzkörper-CT die 30-Tage-Mortalität senkt [49]. Ein gut organisiertes und trainiertes Trauma-Team kann sowohl bei kreislaufstabilen als auch bei kreislaufinstabilen Patienten und sogar während der Wiederbelebung einen Ganzkörper-Scan durchführen [50].

#### 2.4.4 Die Rolle weiterer bildgebender Verfahren

Falls bei Extremitäten kein peripherer Puls festzustellen ist, sollte die Diagnostik weitergeführt werden. Je nach Zustand und Befund des Patienten sollte eine arterielle digitale Subtraktionsangiographie, eine computertomographische Angiographie (CTA) oder eine Duplexsonographie erfolgen. Bei Verdacht auf eine arterielle Gefäßverletzung sollte nach Empfehlung der DGU eine Duplex- oder Dopplersonographie erfolgen [8].

Bei Verdacht auf Gefäßverletzungen wurde die Subtraktionsangiographie weitestgehend durch die Computertomographie verdrängt. Die CTA kann bei einer initialen Traumabehandlung in ein Ganzkörper-Protokoll eingebunden werden [51] [52].

Die Magnetresonanztomographie kann nach einer CT zur weiterführenden Diagnostik herangezogen werden, da sie manchmal Verletzungen darstellen kann (überwiegend der Neuroachse sowie der paravertebralen Weichteile), die bei einer Computertomographie nicht erkennbar sind [53] [54].

## 2.5 Konkrete Polytraumaversorgung

### 2.5.1 Protokolle

Nach einer FAST-Untersuchung, gegebenenfalls konventionellen Röntgenaufnahmen und der Stabilisierung des Patienten sollte so schnell wie möglich eine Ganzkörper-CT durchgeführt werden [55] [56]. Falls der Kreislauf des Patienten nicht stabilisiert werden kann, muss abgewogen werden, ob sofortige operative Maßnahmen ergriffen werden oder dennoch eine CT durchgeführt wird. Wirth et al. zeigten in einer Studie, dass ein Ganzkörper-Scan während einer Wiederbelebung möglich ist, sofern er schnell von einem gut organisierten Trauma-Team durchgeführt wird. Die Überlebensrate wird

durch eine Ganzkörper-CT sowohl bei stabilen als auch bei instabilen Patienten gesteigert [57].

Die Bildgebung bei Polytrauma war lange Zeit auf elektive Computertomographie von einzelnen Teilen des Körpers beschränkt. Spiral-CT und Multidetektor-CT ermöglichen nun kürzere Scanzeiten und sind außerhalb der Kernarbeitszeiten breit verfügbar. Weitere Vorteile der neuen Scanner sind die breite Abdeckung, die Reduktion von Bewegungsartefakten, die gleichzeitig mögliche angiographische Darstellung, der Verlauf mehrerer Kontrastmittelphasen und wesentlich dünnere Schichten mit geringer Kollimation, was Rekonstruktionen von hoher Qualität und dreidimensionale Darstellung in wenigen Sekunden ermöglicht [51] [58].

Am Standort Innenstadt des Klinikums der Ludwig-Maximilians-Universität München werden Polytraumapatienten mit den Füßen voran gelagert und die CT-Untersuchung „feet first“ durchgeführt. Lebenserhaltende Maßnahmen sind so einfacher durchzuführen, da Ärzte und Pflegepersonal auch während des Scans besseren Zugang zum Patienten haben. Beatmungsschläuche und Kabel reichen kürzer in den CT, was den Arbeitsablauf erleichtert. Artefakte und Strahlendosis für das Personal können reduziert werden.

Die „Leitlinien der Bundesärztekammer zur Qualitätssicherung in der Computertomographie“ geben zu Lagerung und Einstellung folgende Empfehlung: „Der zu untersuchende Körperabschnitt muss exakt festgelegt werden. Die Lagerung des Patienten erfolgt in reproduzierbarer Weise. Das Messfeld soll dem zu untersuchenden Körperquerschnitt angepasst werden. Die Position wird durch ein Computerradiogramm (Übersichtsbild, Planungs-Topogramm) exakt festgehalten. Der geplante Untersuchungsbereich wird hierin markiert“ [16].

Zudem empfiehlt die Bundesärztekammer, bei einem Scan des Körperstammes die Arme des Patienten über dem Kopf zu positionieren [16]. Nach Karlo et al. sollte während des Scans des Körperstammes vermieden werden, die Arme des Patienten seitlich des Körpers zu positionieren, da die Bildqualität von Thorax und Abdomen dadurch wesentlich verschlechtert wird. Auch die Dosis kann stark reduziert werden, wenn die Arme in erhobener Position oder mit einem Kissen vor der Brust platziert werden [59]. Kahn et al. fordern, zugunsten der Bildqualität des Abdomens zumindest einen Arm in erhobener Position oder die Arme vor dem oberen Abdomen zu platzieren [60]. Zur Standardisierung und zur Vermeidung von Dislokationen potenziell verletzter Schultern sollten die Arme vor dem Abdomen überkreuzt werden, da entgegen der seitlichen Lagerung der Arme Artefakte verringert und die Bildqualität verbessert werden. Bei Patienten, die nicht reagieren oder intubiert sind, sollte eine Umlagerung während des Scans - auch aus Zeitgründen - vermieden werden, wenn Verletzungen der oberen Extremitäten nicht ausgeschlossen werden können. Die Umlagerung sollte nur bei stabilen Patienten erwogen werden [51] [61] [62] [63].

Um die technischen Möglichkeiten eines modernen Computertomographen auszuschöpfen, bedarf es zweckentsprechender Protokolle. Ein typisches Ganzkörper-CT-Protokoll deckt den Bereich von der Schädeldecke bis zur Symphyse ab und besteht aus einem nativen CCT, gefolgt von einer kontrastmittelverstärkten CT der Brust, des Abdomens und des Beckens. Die Bildgebung des Halses bzw. der Halswirbelsäule wird mit dem Brustscan durchgeführt, um mögliche Gefäßverletzungen zu erkennen. Zusätzliche Scans der Wirbelsäule sind nicht nötig, wenn die Kollimation kleiner als 2,5 mm ist, da Sekundärrekonstruktionen von diagnostischer Bildqualität erstellt werden können [58] [51]. Tabelle 2 zeigt ein typisches Scan-Protokoll eines Ganzkörper-Scans mit einem 64-Zeilen-CT.

**Tabelle 2:** Parameter für ein Ganzkörper-CT-Protokoll nach Geyer et al. [51]

| CT-Parameter                | Scout in zwei Ebenen                     | Kopf  | Halswirbelsäule/Thorax | Abdomen / Hüfte     |
|-----------------------------|--|---|------------------------|---------------------|
| Rotationszeit (s)           |  | 0,5   | 0,5                    | 0,5                 |
| Kollimation (mm)            |  | 64 × 0,625  | 64 × 0,625             | 64 × 0,625          |
| Schichtdicke (mm)           |  | 2,5   | 1,25                   | 1,25                |
| Kippung                     |  | 0°  | -                      | -                   |
| Röhrenspannung (kV)         | 120                                      | 120   | 120                    | 120                 |
| Röhrenstrom (mAs)           | 40 (anterior-posterior),<br>80 (lateral) | 100–320 (moduliert)   | 100–700 (moduliert)    | 100–700 (moduliert) |
| Tischvorschub (mm/Rotation) |  | 19,4  | 55                     | 55                  |
| <b>Kontrastmittelgabe</b>   |  |   |                        |                     |
| Volumen (ml)                |  | 120–150 (1,5–2,0 ml/kg Körpergewicht)   |                        |                     |
| NaCl-Bolus (ml)             |  | 40  |                        |                     |
| Flussrate (ml/s)            |  | 3–4 (alternativ: 4–5 für CTA)   |                        |                     |
| Bolus tracking (Monitoring) |  | Aorta thoracalis  |                        |                     |
| Verzögerung (s)             |  | Arterielle Phase: 3 nach Monitoring<br>Venöse Phase: ca. weitere 40- 50 nach Thorax |                        |                     |

Körner, Reiser und Linsenmaier veröffentlichten im Jahr 2009 Vorschläge für Polytrauma-Ganzkörper-Protokolle, zusammengefasst für verschiedene CT-Geräte mit 4 bis mehr als 64 Zeilen. Tabelle 3 zeigt diese Protokollvorschläge [13].

**Tabelle 3:** Vorschläge für Polytrauma-Ganzkörper-Protokolle nach Körner, Reiser und Linsenmaier [13]

| <b>Schädel</b>   |                               |                   |                   |
|--|-------------------------------|-------------------|-------------------|
| CT-Scanner (Detektorreihen)                                | 4                             | 8–16              | 64 und > 64       |
| Rotationszeit (s)  | 0,5                           | 0,5               | 0,5               |
| Kollimation (mm) <sup>a</sup>                              | 1                             | 0,50–0,75         | 0,33–0,625        |
| Kippung  | 0°                            | 0°                | 0°                |
| Röhrenspannung (kV)  | 120                           | 120               | 120               |
| Röhrenstrom (moduliert) (mAs)                              | 250 effektiv                  | 100–320           | 100–320           |
| Pitch  | 1                             | 1                 | 1                 |
| <b>Kontrastmittelgabe</b>                                  |                               |                   |                   |
| Menge (ml)   | 140 (1,5 ml/kg Körpergewicht) |                   |                   |
| NaCl-Bolus (ml)  | –                             | 40                | 40                |
| Flussrate (ml/s)   | 3                             | 3–5               | 3–5               |
| Monitoring Aorta thoracalis                                | Nein                          | Ja                | Ja                |
| <b>Halswirbelsäule (HWS)/Thorax/Brustwirbelsäule (BWS)</b> |                               |                   |                   |
| Rotationszeit (s)  | 0,5                           | 0,5               | 0,5               |
| Kollimation (mm) <sup>a</sup>                              | 2,5                           | 0,75              | 0,625             |
| Röhrenspannung (kV)  | 120                           | 120               | 120               |
| Röhrenstrom (moduliert) (mAs)                              | 140 effektiv                  | 50–300            | 50–350            |
| Pitch  | 1,5                           | 1,5               | 1,5               |
| Verzögerung nach Kontrastmittelgabe (s)                    | 25                            | 3 nach Monitoring | 3 nach Monitoring |

| <b>Abdomen/Becken/Lendenwirbelsäule (LWS)</b> |  |                             |                             |
|---|--|-----------------------------|-----------------------------|
| Rotationszeit (s)                             | 0,5  | 0,5                         | 0,5                         |
| Kollimation (mm) <sup>a</sup>                 | 2,5  | 0,75                        | 0,625                       |
| Röhrenspannung (kV)                           | 120  | 120                         | 120                         |
| Röhrenstrom (mAs) (moduliert)                 | 180 effektiv   | 50–300                      | 50–350                      |
| Pitch   | 1,5  | 1,5                         | 1,5                         |
| Verzögerung nach Kontrastmittelgabe (s)       | ca. 70   | ca. 50 nach Thorax          | ca. 50 nach Thorax          |
| <b>Rekonstruktionen</b>                       | <b>Axial</b>   | <b>Koronar</b>              | <b>Sagittal</b>             |
| CCT   | 3 mm Weichteil   | 3 mm Weichteil <sup>b</sup> | 3 mm Weichteil <sup>b</sup> |
|   | 2 mm Knochen   | 3 mm Knochen <sup>b</sup>   | 3 mm Knochen <sup>b</sup>   |
| Thorax  | 5 mm Weichteil   | 3 mm Weichteil              | 3 mm Weichteil              |
|   | 3 mm Lunge/ Knochen  | 3 mm Knochen                | 3 mm Knochen                |
| Abdomen                                       | 5 mm Weichteil   | 3 mm Knochen                | 3 mm Knochen                |
|   | 3 mm Knochen   |                             |                             |
| HWS/BWS/LWS                                   | Bei Bedarf 2–3 mm koronar und sagittal mit kleinerem „field of view“ mit Knochenkernel |                             |                             |

<sup>a</sup>) Prinzipiell sollte die Datenakquisition mit möglichst dünner Kollimation erfolgen; <sup>b</sup>) Koronare/sagittale Rekonstruktion des Schädels nur bei Bedarf;

Die Gabe von intravenösem Kontrastmittel ist für einen Scan von Brust und Abdomen in jedem Fall sinnvoll, um Verletzungen von Gefäßen und Organen sicher zu erkennen. Auch bei einer Niereninsuffizienz, welche ansonsten eine Kontraindikation für die Gabe von Kontrastmitteln darstellt, ist oft der Nutzen des Erkennens lebensbedrohlicher Verletzungen größer als das Risiko eines akuten Nierenversagens. Zudem liegen Laborwerte als Indikator einer Niereninsuffizienz zu diesem Zeitpunkt ohnehin meist noch nicht vor. Die meisten Ganzkörper-CT-Protokolle schließen einen Scan der arteriellen Phase von Hals, Brust und Oberbauch sowie einen Scan der portalvenösen Phase von

Abdomen und Becken mit ein [51] [61] [64] [65]. Bei Verdacht auf Verletzungen der Aorta abdominalis oder auf eine Fraktur der Hüfte nach der klinischen Untersuchung oder dem Scoutview kann der Abschnitt der arteriellen Phase von der Halswirbelsäule bis zum Beckengürtel erweitert werden [66]. Nach einer Wartezeit von 3 bis 10 Minuten können mit reduzierter Dosis in der exkretorischen Phase Rückschlüsse auf Verletzungen der Nieren und des Nieren- und Blasensystems gezogen werden [67]. Scans in einer späten Phase können auch der weiteren Behandlungsplanung von verletzten Organen dienen; dabei ist es möglich, Pseudoaneurysmen von Lacerationen und aktiven Extravasationen des Kontrastmittels zu unterscheiden [68].

Die orale und die rektale Gabe von Kontrastmitteln werden diskutiert und die Vorgehensweisen variieren [69] [70] [71] [72] [73] [74]. Stuhlfaut et al. zeigten in einer Studie, dass eine CT ohne die orale Gabe von Kontrastmitteln einer CT mit einer oralen Gabe vergleichbar ist in Bezug auf das Erkennen von lebensbedrohlichen Verletzungen [71]. Lafferty fordert weitere Studien, um eine Empfehlung zur oralen Gabe von Kontrastmitteln aussprechen zu können [75]. „Die Leitlinie der Bundesärztekammer zur Qualitätssicherung in der Computertomographie“ und die „Leitlinie Polytrauma/Schwerverletzten-Behandlung der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie“ beinhalten dazu keine Empfehlungen und empfehlen nur die Kontrastmittelgabe bei einer CTA [8] [16]. Das „American College of Radiology“ gibt nur die generelle Empfehlung, orale Kontrastmittel bei gastrointestinalen Untersuchungen zu verabreichen [76]. Die orale Kontrastmittelgabe kostet auf jeden Fall Zeit (Magen- oder Jejunalsonde; Passagezeit durch den Darm). Hinzu kommt, dass aktive Blutungen nach intraluminal durch den dann bereits schon durch die orale KM-Gabe vorhandenen Kontrast verschleiert werden dürften sofern es sich um positives KM wie Iod-Verbindungen handelt. Gegebenenfalls wäre

negatives KM, wie zum Beispiel Wasser, zu diskutieren, wobei der Zeitverlust bliebe.

Während primär die Menge von intravenös verabreichtem Kontrastmittel bezogen auf das Gewicht des Patienten die Verbesserung der Bildwiedergabe des Parenchyms bestimmt, hängt die Verbesserung der arteriellen Bildwiedergabe von Körpergewicht und Flussrate ab [77]. Fleischmann beschreibt drei Grundregeln für die Dynamik von arterieller Kontrastmittelgabe bei CT-Angiographie [78]:

1. Verbesserte Bildwiedergabe der Arterien ist direkt proportional zum Maß der Gabe von Jod und kann durch die Flussrate und die Konzentration des Kontrastmittels bestimmt werden.
2. Die Bildwiedergabe der Arterien verbessert sich mit zunehmender Injektionsdauer durch die kumulative Wirkung der Ausbreitung und Rezirkulation des Kontrastmittels.
3. Das individuelle Maß der Verbesserung der Bildwiedergabe von intravenös verabreichtem Kontrastmittel hängt primär von der Herzleistung des Patienten ab und verhält sich umgekehrt proportional zum Körpergewicht.

Diese Strategien können einzeln oder kombiniert verwendet werden, um eine ausreichende Verbesserung der arteriellen Darstellung zu gewährleisten. Sowohl die Menge des Kontrastmittels als auch die Flussrate sollten an das Körpergewicht des Patienten angepasst werden, zumindest bei Patienten mit weniger als 60 kg oder mehr als 90 kg Körpergewicht. CT-Protokolle, die auf physiologischen Konzepten basieren, erlauben einen optimalen Gebrauch von Kontrastmitteln und können die technischen Möglichkeiten von modernen MDCT-Scannern voll ausnutzen [78]. Die Menge der verabreichten jodhaltigen

Kontrastmittel sollte an den jeweiligen Patienten angepasst werden. Faktoren können Blutvolumen, Gesamtkörpergewicht, Magergewicht (Körpergewicht abzüglich Körperfett), Body-Mass-Index (BMI) oder Körperoberfläche sein [79] [80] [81] [82] [83]. Kondo et al. empfehlen aus Gründen der einfachen Durchführbarkeit, bei der kontrastmittelverstärkten CT des Abdomens die Körperoberfläche zur Berechnung heranzuziehen. In einer Studie erreichten sie eine Verstärkung des Kontrasts der Leber um 50 Hounsfield-Einheiten (HE) mit einer Joddosis von 0,712 g/kg Magergewicht und 18,6 g/m<sup>2</sup> Körperoberfläche [83].

Bei Verdacht auf Verletzungen von peripheren Gefäßen war lange die Subtraktionsangiographie das Diagnosemittel der Wahl. Moderne CT-Scanner mit 64 oder mehr Zeilen ermöglichen problemlos und in hoher Qualität eine CT-Angiographie bei der initialen Traumabehandlung. Die CTA kann in das Ganzkörper-Protokoll eingebunden werden, wobei die einmalige Gabe von Kontrastmittel ausreicht. Eine gesondert durchgeführte CTA der Extremitäten nach einer Standard-Ganzkörper-CT wird dadurch überflüssig, was die KM-Gesamtmenge reduziert [51] [52].

Tabelle 4 zeigt einen Vorschlag für ein Protokoll, das eine CTA der unteren Extremitäten in der initialen Phase nach Kontrastmittelgabe und anschließender CT des Körperstammes einschließt.

**Tabelle 4:** CTA/GKCT-Protokoll nach Foster et al. [52]

| <b>64-Zeilen-CT (Lightspeed VCT)</b>  |   |
|---|---|
| CTA untere Extremitäten:  | Kontrastmittel:   |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Schichtdicke 0,625 mm</li><li>• Pitch 1:0,984</li><li>• Noise factor 29*</li><li>• Rotationszeit 0,5 s</li></ul>  | <ul style="list-style-type: none"><li>• Lopamidol, 370 mg/ml Jod,<br/>4–5 ml/s (total 100 ml)</li><li>• NaCl-Bolus<br/>4–5 ml/s (total 30 ml)</li></ul> |
| <ol style="list-style-type: none"><li>1. CTA-Scan 25 s nach Kontrastmittelgabe (Dauer 2,5–6 s)</li><li>2. Thorax-CT direkt nach CTA (delay dann ca. 30–35 s)</li><li>3. Abdomen/Hüft-CT nach 70 s delay</li></ol> |   |

\*) Der Noise factor ist ein virtueller Wert, der angibt welches Ausmaß an Bildrauschen durch die Dosismodulation akzeptiert wird. Dies kann anhand der Patienten-Scouts und den bekannten Daten eines Messphantoms vor einem Scan errechnet werden. Der Wert bedeutet die erlaubte Standardabweichung des Bildrauschens in einem Wasserphantom, hier also 29 Hounsfield-Einheiten.

Single-Pass-Scans bei Polytrauma ermöglichen eine Verkürzung der Scan-Zeit und können auch die Bildqualität durch verringerte Bewegungsartefakte verbessern. Dabei erfolgt nach Kontrastmittelgabe ein einzelner Scan in einer Mischphase (im Gegensatz zu getrennten Scans in der Arteriellen und der Portalvenösen Phase). Das Ergebnis ist ein Mischbild von Kontrastmittelphasen. Nguyen et al. zeigten dies in einer Studie mit 90 Patienten, in der sie die Zeiten und die Bildqualität eines konventionellen CT-Protokolls mit zwei Single-Pass-Protokollen verglichen [84]. Auch Fanucci et al. belegten, dass eine Single-Pass-CT ohne Bildqualitätsverlust, jedoch mit einer signifikanten Verkürzung der Scan-Zeit möglich ist [85]. Tabelle 5 gibt das verwendeten Single-Pass-Protokoll von Nguyen et al. wieder.

**Tabelle 5:** Single-Pass-Protokolle nach Nguyen et al. [84]

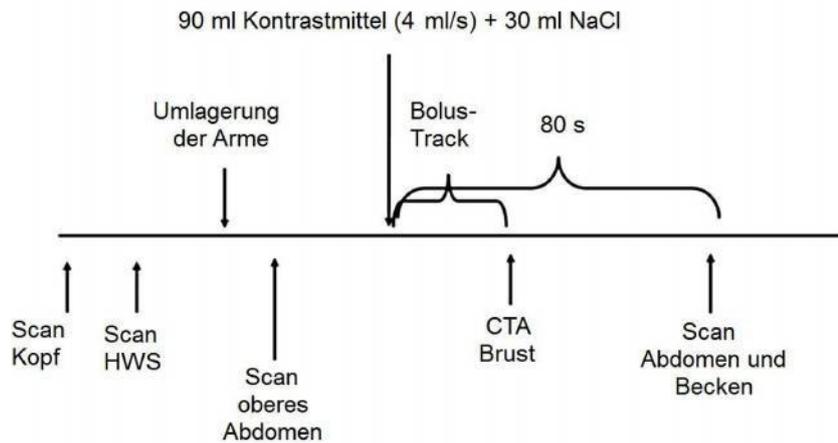
---

| <b>16-Detektor-Scanner (Mx8000, Philips Healthcare)</b>  |   |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Schichtdicke<br/>Cranial 3,0 mm<br/>Ganzkörper 3,0 mm</li><li>• Pitch<br/>Cranial 1,35<br/>Ganzkörper 0,9</li><li>• Kollimation<br/>Cranial 1,5 mm<br/>Ganzkörper 0,75 mm</li><li>• Rotationszeit 0,75 U/s</li></ul> | <p>Kontrastmittel:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Biphasisches Protokoll: Iopromid 6,0 ml/s (total 90 ml), gefolgt von Iopromid 4 ml/s (total 60 ml) 300 mg I/ml</li><li>• Monophasisches Protokoll: Iomeprol 4,0 ml/s; 400 mg I/ml (total 110 ml)</li></ul> |
| Automatische Triggerung am Aortenbogen bei 100 HE  |   |

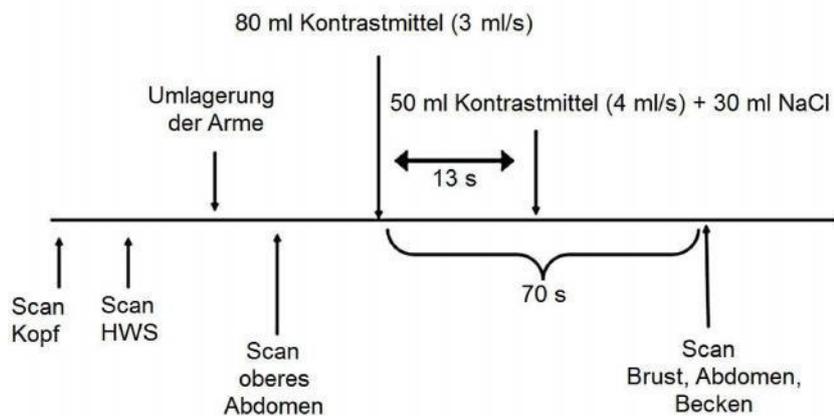
---

Yaniv et al. stellten im Jahr 2013 ein überarbeitetes CT-Protokoll für Polytrauma vor, welches drei Injektionen (zwei Boli KM, ein Spülbolus NaCl) und einen Single-Pass-Scan beinhaltet (Abbildung 4, Tabellen 6 und 7). Der Scan zeigt im Bild ebenfalls zwei KM-Phasen, eine arterielle, überlagert mit einer venösen Phase. Es beginnt wie das verglichene Standardprotokoll mit einer nativen CT des Schädels und der Halswirbelsäule, gefolgt von einer einzelnen Spirale von der Mitte des 7. Halswirbels bis proximal des Femurs. Sie zeigten, dass das überarbeitete Protokoll dem Standardprotokoll (native CT des Schädels, der Halswirbelsäule und des oberen Abdomens, gefolgt von kontrastmittelverstärkter CT des Thorax in der arteriellen Phase und einer CT des Abdomens und des Beckens in der portalvenösen Phase) überlegen ist. Die Bildqualität des überarbeiteten Protokolls war signifikant besser, die Strahlendosis und die Anzahl der Bilder geringer und Streifenartefakte waren nicht vorhanden [86].

## (a) Konventionelles Protokoll



## (b) Überarbeitetes Protokoll



(a) Konventionelles Protokoll, zeitlicher Ablauf der Scans und der Kontrastmittelgabe.

(b) Überarbeitetes Protokoll, zeitlicher Ablauf der Scans und der Kontrastmittelgabe.

**Abbildung 4:** Diagramm des triphasischen Protokolls nach Yaniv et al. [86]

**Tabelle 6:** Zeitlicher Ablauf der Protokolle nach Yaniv et al. [86]

|                               | CTA<br>Abdomen | Konventionelles<br>Protokoll – Thorax | Konventionelles<br>Protokoll –<br>Abdomen | Überarbeitetes<br>Protokoll                  |
|-------------------------------|----------------|---------------------------------------|---|--|
| Verzögerung                   | Trigger        | Trigger                               | 80 s                                      | 75 s   |
| Flussrate (ml/s)              | 4,0            | 4,0                                   | 4,0                                       | Phase 1: 2,5<br>Phase 2: 4,0<br>Phase 3: 4,0 |
| Gesamt (ml<br>Kontrastmittel) | 90             | 90                                    | –   | 130  |

**Tabelle 7:** Weitere Daten zum triphasischen Protokoll nach Yaniv et al.

| 64-Zeilen-CT (Philips-Brilliance 64-slice)  |  |
|---|--|
|   | Kontrastmittel:  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Schichtdicke<br/>Ganzkörper 2,0 mm</li> <li>Abstand (überlappend)<br/>Ganzkörper 1,0 mm</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Triphasisch: Iopromol 350 mg/ml<br/>Phase 1: 80 ml<br/>Phase 2: 50 ml<br/>Phase 3: 30 ml Kochsalzlösung</li> <li>Standardprotokoll: Iomeprol 350 mg/ml (total 90 ml), Folgebolus<br/>Kochsalzlösung 4,0 ml/s</li> </ul> |
|   | Standardprotokoll: Scan-Start durch Bolus tracking   |
|   | Triphasisch: Scan-Start 75 s nach der ersten Injektion   |

Sedlic et al. veröffentlichten im Jahr 2013 ein Protokoll (Rapid Imaging Protocol in Trauma – RIPIT) für einen Ganzkörper-Dual-Source-CT-Scan. Sie verglichen dabei das neue Dual-Source-Protokoll mit ihrem Standardprotokoll und konnten eine Verkürzung der Scan-Zeit und eine Dosisreduktion mit vergleichbarer Bildqualität erreichen. Verwendet wurde ein Somatom Definition Dual-Source-CT von Siemens mit zwei Röhren und korrespondierenden Detektoren die um 90° versetzt installiert waren. Ein Detektor deckte ein Feld von 50 cm ab, der andere ein Feld von 26 cm. Der Computertomograph verwendete das Röhrenstrom-Modulationssystem CARE Dose 4D, das automatische Röhrenstrom-Modulation erlaubt, abgestimmt auf die Größe des Patienten. Das RIPIT-Protokoll beinhaltet ein triphasisches Injektionsprotokoll, bestehend aus 120 ml Optiray 320, gefolgt von 50 ml Gemisch aus 50 % Optiray und 50 % Kochsalzlösung, wiederum gefolgt von 50 ml Kochsalzlösung als Folgebolus. Das Kontrastmittel wurde durch die rechte Armbeuge bei einer Flussrate von 4,5 ml/s gegeben. Das RIPIT-Protokoll von Scheitel bis Becken kann bis zu den Füßen erweitert werden, falls eine arterielle Phase für die Bildgebung von Gefäßverletzungen der Extremitäten benötigt wird. Die CT von Abdomen und Becken erfolgte nach einer voreingestellten Verzögerung von 70 s nach Kontrastmittelgabe und vom Zwerchfell bis zur Symphyse. Das Standardprotokoll verwendete einen Doppelbolus, aufgeteilt auf die CT von Thorax, Abdomen und Becken (120 ml Optiray 320) und die CT von Carotiden und Circulus Willisi (80 ml Optiray 320) [87]. Die Tabellen 8, 9 und 10 zeigen die verglichenen Protokolle.

**Tabelle 8:** Vergleich RIPIT- und Standard-Protokoll nach Sedlic et al. [87]

| Sequenz | RIPIT-Protokoll                   | Standard-Protokoll                 |
|---------|-----------------------------------|------------------------------------|
| 1       | CCT nativ                         | CT nativ Kopf bis HMS              |
| 2       | CTA Scheitel bis Becken           | CTA Thorax                         |
| 3       | CT portalvenös Abdomen bis Becken | CT portalvenös Abdomen bis Becken  |
| 4       |                                   | CTA Aortenbogen bis Scheitel       |
| 5       |                                   | Abdomen bis Becken mit Verzögerung |

**Tabelle 9:** RIPIT-Protokoll nach Sedlic et al. [87]

| Protokoll                | mAs (kV 120) | Kollimation | Pitch | Rotationszeit | CTDIvol* |
|--------------------------|--------------|-------------|-------|---------------|----------|
| Trauma Kopf<br>(nativ)   | 425          | 40x0,6 mm   | 0,55  | 1 s           | 79 mGy   |
| Ganzkörper CTA           | 280          | 128x0,6 mm  | 0,9   | 0,5 s         | 19 mGy   |
| Trauma Abdomen<br>Becken | 280          | 128x0,6 mm  | 0,9   | 0,5 s         | 19 mGy   |

\* Computed Tomography Dose Index volume

**Tabelle 10:** Verwendetes Standard-Protokoll (non-RIPIT) nach Sedlic et al., mit dem verglichen wurde [87]

| Protokoll                           | mAs (kV 120) | Kollimation | Pitch | Rotationszeit | CTDIvol* |
|-------------------------------------|--------------|-------------|-------|---------------|----------|
| Trauma Kopf (nativ)                 | 425          | 40x0,6 mm   | 0,55  | 0,5 s         | 79 mGy   |
| Trauma Thorax                       | 230          | 128x0,6 mm  | 0,5   | 0,5 s         | 16 mGy   |
| Trauma Abdomen                      |              |             |       |               |          |
| Becken (nach 54 s<br>Verzögerung)   | 280          | 128x0,6 mm  | 0,9   | 0,5 s         | 19 mGy   |
| Nieren nach 5 min<br>Verzögerung    | 90           | 128x0,6 mm  | 0,9   | 0,5 s         | 6 mGy    |
| Arterielle Phase                    |              |             |       |               |          |
| Aortenbogen bis Circulus<br>Willisi | 500          | 128x0,6 mm  | 0,7   | 0,5 s         | 25 mGy   |

\* Computed Tomography Dose Index volume

#### 2.4.2 CT-Bildfluss und Befundung

Um den Workflow im CT bei Polytrauma zu verbessern, gilt es auch schnellstmöglich einen Befund zu erheben. Dazu muss zeitnah nach oder noch während des Scans auf Bilder zugegriffen werden können. Wichtige Faktoren sind Übertragungs- und Rechenzeiten, die durch die Ausstattung der Radiologie (CT, Bandbreiten, Rechenleistung) bestimmt werden. Ein Bildverwaltungssystem (PACS, Picture Archiving and Communication System) macht eine einfache, nicht ortsgebundene Betrachtung und Befundung möglich. Durch ein PACS kann in einer Klinik von beliebigen Computern, die das entsprechende Programm installiert haben, auf die archivierten Bilder zugegriffen werden. Diese Bilder müssen jedoch zunächst aus den Rohdaten an einer Workstation rekonstruiert und in das PACS übertragen werden [88]. Bei einem Polytrauma genügt es vermutlich zunächst nur eine einzige axiale Rekonstruktion in 1,25 mm automatisiert anzufertigen um diese

Bilder (Primärrekonstruktionen) auf einer dem CT zugehörigen Viewing-Station initial mit rein auf der Workstation erfolgender multiplanarer Darstellung möglichst schnell befunden zu können. Während dieses Vorgangs kann die medizinisch-technische Radiologieassistenz (MTRA) beginnen die endgültigen Bilder manuell optimal in mehreren Ebenen zu berechnen und zu versenden (Sekundärrekonstruktion) [89]. Dieses Vorgehen ist für die Polytraumaversorgung besonders interessant, da die erste Befundung erheblich schneller erfolgen kann. Lediglich der Hals ist in den Primärrekonstruktionen dann sehr viel kleiner dargestellt, wenn der Scan gemeinsam mit der Thoraxdarstellung erfolgte. In einem solchen Fall wird die zur Verfügung stehende Pixelmatrix nicht ausgenutzt und daher die Auflösung deutlich eingeschränkt. Bei der Sekundärrekonstruktion würde die MTRA den Hals mit einem vergrößerten Field-of-View berechnen und getrennt von der Thoraxuntersuchung als eigene Serie speichern.

In den meisten Traumazentren ist der Algorithmus nach ATLS die Leitlinie für den Behandlungsablauf. ATLS empfiehlt eine Befundung der Verletzungen des Patienten nach dem ABCDE-Schema (airway, breathing, circulation, disability, exposure) (Tabelle 11), mit dem Ziel „treat first, that kills first“ [90].

**Tabelle 11:** Radiologisches ABCDE-Schema zur standardisierten Befundung [51]

| <b>ABCDE</b>   | <b>Mögliche Befunde</b>   |
|----------------|---|
| A: Airway      | Tubusfehlage, Atemwegsverlegung, Intubationshindernis<br>Verletzungen der Halswirbelsäule   |
| B: Breathing   | (Spannungs-)Pneumothorax<br>(massiver) Hämatothorax<br>Instabiler Thorax<br>Lungenkontusion   |
| C: Circulation | Brust: Perikardtamponade, Verletzung der Aorta, mediastinale Blutung<br>Abdomen: Parenchymale Blutung (zum Beispiel Leber, Milz, Gefäßverletzungen)<br>Hüfte: Verletzung von iliofemorale Gefäßen (gegebenenfalls assoziiert mit einer instabilen Beckenfraktur)<br>Andere Blutungen (zum Beispiel Verletzung von peripheren Arterien, schwere Gesichtsverletzungen)<br>Schweres Schädel-Hirn-Trauma<br>Frakturen der Wirbelsäule mit Rückenmarksverletzung |
| D: Disability  | Intracraniales Hämatom<br>Intracraniale Schwellung<br>Verletzung von Halsgefäßen mit zerebraler Ischämie  |
| E: Exposure    | Gewöhnlich nicht radiologische Befunde wie zum Beispiel Verbrennungen oder Hypothermie  |

Abgesehen von initialem konventionellem Röntgen und der FAST-Sonographie ist der Scoutview das erste Bild, das während der CT-Untersuchung angefertigt wird und auf das zugegriffen werden kann. Anhand des Scoutviews wird der weitere Scanvorgang geplant. Oftmals sind jedoch schon darauf eine falsche

Tubuslage oder ein Pneumothorax als lebensbedrohlicher Befund zu erkennen. Man kann also den Scoutview, wie eingangs bereits erwähnt, auch als Alternative zum konventionellen Röntgen sehen [42] [51].

## **2.6 Extremszenario MANV**

### 2.6.1 CT-Protokolle

Da die Ganzkörper-CT als Goldstandard in der Diagnostik bei Polytrauma gilt, ist die Radiologie ebenso ein wichtiger Bestandteil bei der Versorgung von Patienten bei einem Massenanfall von Verletzten [13]. Fast jeder schwerverletzte Patient muss nach Möglichkeit eine CT-Untersuchung durchlaufen [8]. Die Anzahl der zur Verfügung stehenden Computertomographen pro Einrichtung ist begrenzt, und so kann bei einem hohen Aufkommen von Patienten die CT-Untersuchung eine Engstelle darstellen, welche die Diagnose und damit den Behandlungsablauf verzögert. Die Ziele von dedizierten Protokollen müssen die Verbesserung des Workflows und die Erhöhung der Geschwindigkeit der Untersuchung sein, ohne die Patienten zusätzlich zu gefährden. Die Qualität der Bildwiedergabe muss ausreichen, um lebensbedrohliche Verletzungen sofort zu erkennen.

Körner et al. stellten im Jahr 2006 ein beschleunigtes MSCT-Protokoll für den Massenanfall von Verletzten vor. Im Rahmen einer Studie mit 15 Patienten mit Verdacht auf Polytrauma, die in einem Zeitraum von 2 Stunden in einem überregionalen Traumazentrum aufgenommen wurden, wurde das beschleunigte Protokoll getestet. Der Fall war eine Simulation, bei der die CT-Untersuchung an Phantompuppen durchgeführt wurde. Die Untersuchung bestand aus einer nativen CT des Schädels und einer einzelnen kontrastmittelverstärkten Spirale der Halswirbelsäule, des Thorax und des Abdomens. Um die Anzahl der Bilder und die Rechenzeit zu verkürzen, wurden

initial keine hochauflösenden und multiplanaren Rekonstruktionen durchgeführt. Verglichen wurden unter anderem die Scan-Zeiten mit 144 Polytraumapatienten. Die Scan-Zeit konnte verglichen mit dem konventionellen Protokoll auf ein Drittel reduziert werden. So war es möglich, pro Stunde bei durchschnittlich 6,7 Patienten eine CT durchzuführen [91]. Tabelle 12 gibt das verwendete beschleunigte Protokoll wieder.

**Tabelle 12:** Scan-Parameter des beschleunigten MSCT-Protokolls nach Körner et al. [91]

| 4-Zeilen-CT (Somatom Volume Zoom, Siemens) | CT Kopf | CT Thorax und Abdomen                    | Wirbelsäule (Reformation)                    |
|--|---------|--|--|
| Röhrenspannung (kV)                        | 120     | 120                                      |  |
| Röhrenstrom (mAs)                          | 210     | 120                                      |  |
| Kollimation (mm)                           | 4x2.5   | 4x2.5                                    | 4x2.5<br>3 (Knochen)                         |
| Schichtstärke (mm)                         | 5       | 5  | Multiplanare Reformation (sagittal, coronal) |
| Tischvorschub (mm)                         | 4       | 15                                       |  |
| Kernel                                     | H30     | B30                                      | B80  |
| Kontrastmittel (ml)                        | –       | 140 (2 ml/kg Körpergewicht);<br>2,5 ml/s |  |
| Verzögerung nach Kontrastmittelgabe (s)    | –       | 45                                       |  |

Körner et al. führten eine weitere Studie mit zwei simulierten Massenanfällen von Verletzten durch und konnten die Anzahl an durchgeführten CT-Untersuchungen auf 9,8 Patienten pro Stunde erhöhen. Die Untersuchung bestand aus einer nativen CT des Schädels, gefolgt von einer kontrastmittelverstärkten einzelnen Spirale des Körperstammes (Halswirbelsäule, Thorax, Abdomen und Hüfte bis zum Sitzbeinhöcker). Im Protokoll wurden voreingestellt nur die Transversalschnitte akquiriert, die Rohdaten der Untersuchung wurden für spätere Rekonstruktionen digital gespeichert. Tabelle 13 zeigt das verwendete diskret veränderte CT-Protokoll nach Körner et al. [92].

**Tabelle 13:** Verändertes Triage-CT-Protokoll nach Körner et al.

| 4-Zeilen-CT (Somatom Volume Zoom, Siemens) | CT Kopf | CT Körper                                |
|--|---------|--|
| Röhrenspannung (kV)                        | 120     | 120                                      |
| Röhrenstrom (mAs)                          | 210     | 120                                      |
| Kollimation (mm)                           | 4x2.5   | 4x2.5                                    |
| Schichtstärke (mm)                         | 5       | 5  |
| Tischvorschub (mm/U)                       | 10      | 15                                       |
| Kernel                                     | H30     | B30                                      |
| Kontrastmittel (ml)                        | –       | 140 (2 ml/kg Körpergewicht);<br>4,0 ml/s |
| Verzögerung nach Kontrastmittelgabe (s)    | –       | 45                                       |

### 2.6.2 CT-Bildfluss und Befundung

Am Standort Innenstadt des Klinikums der Ludwig-Maximilians-Universität München sind an den Computertomographen zwei Workstations angeschlossen, was eine gleichzeitige Befundung von Primärrekonstruktionen von zwei Patienten ermöglicht. Nachdem der Scan des ersten Patienten abgeschlossen worden ist, kann direkt beim nächsten Patienten eine CT-Untersuchung durchgeführt werden. Die Primärrekonstruktionen des ersten Patienten werden auf der ersten Station befundet. An der zweiten Station können noch vor Beendigung des Scans die ersten Bilder des zweiten Patienten befundet werden. Auf eine Sekundärrekonstruktion der Bilder nach dem Scan wird hier bei einem Massenanfall von Verletzten verzichtet; es werden nur die voreingestellten axialen Primärrekonstruktionen befundet, um die Workstations möglichst schnell für die Befundung des nächsten Patienten zur Verfügung zu haben.

### 2.7 Dosisreduktion

Die Ganzkörper-Computertomographie wird immer häufiger bei der Befundung von Polytrauma eingesetzt. Ein Nachteil von CT-Untersuchungen stellt die Strahlendosis dar, der Patienten und Personal ausgesetzt sind [93]. Bei den diagnostischen bildgebenden Verfahren in der Medizin ist die Computertomographie für den größten Teil der Strahlenexposition für alle Patienten verantwortlich [94]. Auch wenn die schnelle Durchführung des Scans Priorität hat, um das Überleben der Patienten zu sichern, gibt es verschiedene Ansätze, die Strahlendosis zu reduzieren. Spezielle Protokolle wie der Single-Pass-Scan nach Ptak et al. [95], die Verwendung von Dual-Source-Scannern und entsprechenden Protokollen wie dem von Sedlic et al. [87] sowie der Einsatz von iterativer Rekonstruktion [96] [97] [98] können die Dosis für den Patienten verringern. Eine weitere Verringerung der Dosis können die

Modulation des Röhrenstroms bei einer CTA oder auch bei einer nativen CT, die Auswahl von Kollimation und Pitch, eine kleinere Bildanzahl und die richtige Patientenlagerung bringen [99]. Moderne Computertomographen ermöglichen eine schnelle Durchführbarkeit von CT-Scans und liefern Bilder von hoher diagnostischer Bildschärfe, welche schnelle und präzise Befunde ermöglichen. Da durch die Durchführung einer CT die Überlebenschance von Polytraumapatienten stark erhöht wird, spielt die Strahlenexposition bei der Untersuchung von Schwerverletzten insgesamt eine deutlich geringere Rolle als bei anderen CT-Untersuchungen. Dies gilt auch bei den oft jungen Patienten, da zusätzlich berücksichtigt werden muss, dass es sich um ein in aller Regel einmaliges lebensbedrohliches Ereignis handelt, welches überlebt wird oder nicht, mit allen persönlichen und volkswirtschaftlichen Konsequenzen [13] [47] [48] [49] [93].

## **3 Studie**

### **3.1 Material und Methoden**

#### 3.1.1 Hintergrund

Im Rahmen einer Münchner MANV-Simulation mit 70 Schwerverletzten in einem innerstädtischen Autotunnel wurden in der Studie zwei Standorte des Universitätsklinikums der Ludwig-Maximilians-Universität München in Bezug auf prätherapeutische Maßnahmen und Arbeitsabläufe – mit Fokus auf CT – verglichen (Standort Großhadern, Klinik A; Standort Innenstadt, Klinik B).

Am Unfallort wurde eine Feldtriage durch das Rettungspersonal und die Notärzte durchgeführt, deren Ziel es war, die Dringlichkeit einer Behandlung und des Transports in eine Klinik zu bestimmen. Die Patienten wurden nach dem START-Algorithmus in die Kategorien T1 („immediate“), T2 („delayed“), T3 („minor“) und tot („deceased“) eingeteilt [23] [100] [101] [102].

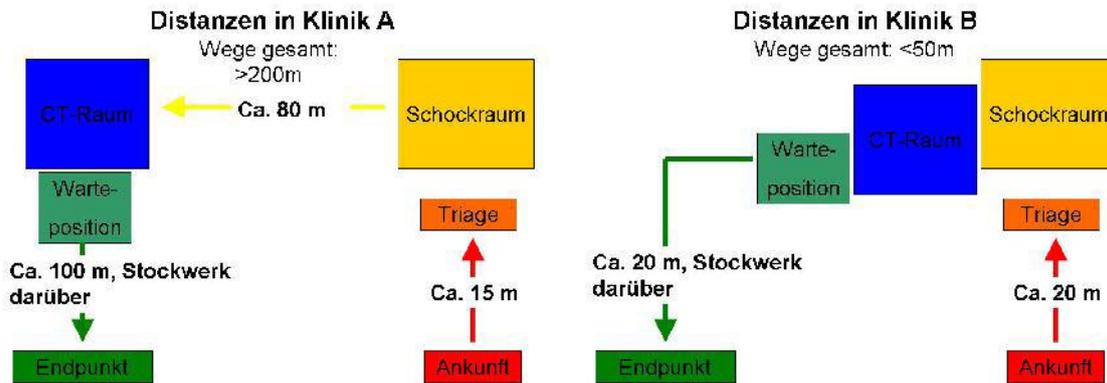
In der Simulation wurde eine Patientenverteilungsmatrix verwendet, um so gut wie möglich zu gewährleisten, dass die Patienten die Kliniken in ausreichend großen Intervallen erreichten, um einzelne Behandlungsorte nicht zu überlasten und dennoch möglichst effektiv auszulasten (Abbildung 8) [103] [104] [105]. Diese Matrix berücksichtigt die Anzahl der vorhandenen Schockräume, die Anzahl der CT-Scanner, die zu jeder Zeit verfügbar sind, die Anzahl der zur Verfügung stehenden Operationsteams und den Umfang der Geräte zur Intensivpflege. Alle teilnehmenden Kliniken sind mit der Matrix vertraut und können nach dem Auslösen eines MANV-Alarms abschätzen, wie viele schwerverletzte Patienten zu erwarten sind. Dadurch kann die Kommunikation

zwischen dem Rettungspersonal am Unfallort, der Leitstelle und den Kliniken reduziert und somit Zeit gespart werden.

In diesem Rahmen waren unter anderem auch die beiden Traumazentren Klinik A und Klinik B berücksichtigt. Nur diese beiden Zentren wurden evaluiert. Da Klinik A und Klinik B zwei Standorte eines Klinikums sind, waren die Führungsstrukturen vergleichbar, wobei in Klinik B wegen der ausgedehnten Räumlichkeiten an den verschiedenen Abschnitten jeweils ein zweiter Einsatzleiter und einige zusätzliche Unterabschnitte vorgesehen sind. In den evaluierten Kliniken sind die MANV-Führungsstrukturen wie folgt (Abbildung 6):

- ein Einsatzleiter (Oberarzt Anästhesie): allen Mitarbeitern weisungsberechtigt; Koordination des gesamten Einsatzes; die folgenden Einsatzleiter der Abteilungen stehen in direktem Kontakt mit dem Einsatzleiter
- ein Einsatzleiter der Abteilung Notaufnahme (Oberarzt): verantwortlich für die Aufnahme und Erstversorgung der Patienten in den Räumlichkeiten der Notaufnahme; Einteilung der Operationsteams und Entscheidung über die weiterführende Behandlung
- ein Einsatzleiter der Abteilung Radiologie (Oberarzt Radiologie): verantwortlich für die Organisation und Durchführung von radiologischen Aufgaben; Einteilung von radiologischem Personal; hält direkt Rücksprache mit dem Einsatzleiter der Abteilung Notaufnahme bezüglich weiterführender Behandlungen
- ein Leiter der Abteilung Technik (Führungsperson der Abteilung): verantwortlich für die Ausführung und Überwachung bei technischen Anfragen
- ein Pflegeleiter (führende Pflegeperson der Abteilung Anästhesie): Assistenz des Einsatzleiters zur Organisation von Belangen der Pflege

Teilnehmer der Übung waren Feuerwehr, Rettungsdienste, Polizei sowie städtische Krankenhäuser und die Kliniken der Universitäten, welche alle in ihren regulären Kapazitäten agierten. An einem Sonntagmorgen wurde ein Busunglück mit 70 Verletzten in einem stark befahrenen Tunnel innerhalb der Stadtgrenzen simuliert. Unmittelbar nach dem Unfall wurde durch die Leitstelle der MANV-Alarm ausgelöst und Kliniken sowie verantwortliche Stellen und Personen wurden benachrichtigt. Die zu erwartende Anzahl von Schwerverletzten wurde diesen mitgeteilt. Die Leitstelle verteilte die Schwerverletzten anhand einer Patientenverteilungsmatrix, dem „Münchner Wellenmodell“ (Abbildung 8) [103]. Insgesamt nahmen sieben Krankenhäuser an der Übung teil, darunter zwei Häuser des Universitätsklinikums der Ludwig-Maximilians-Universität München (Klinik A und Klinik B). Beide Häuser sind überregionale Traumazentren mit speziellen Polytrauma-Algorithmen und Erfahrung in der Versorgung von Schwerverletzten. Die Evaluation der Arbeitsabläufe wurde an beiden Kliniken zur selben Zeit durchgeführt. Der Hauptunterschied zwischen den beiden Kliniken besteht in der jeweiligen Gestaltung der Gebäude. Während in Klinik B alle Einrichtungen zur Versorgung von Schwerverletzten in unmittelbarer Nähe zueinander liegen, müssen die Patienten in Klinik A über relativ weite Distanzen transportiert werden (Abbildung 5).



Westrecken und Hauptversorgungspunkte der beiden teilnehmenden Standorte. In Klinik A sind die Wege insgesamt länger, in Klinik B grenzt der CT-Raum unmittelbar an den Schockraum.

**Abbildung 5:** Vergleich der Lage der Räume und der Distanzen in Klinik A und Klinik B [106]

### 3.1.2 Simulation der Unfallopfer

Um die Situation so realistisch wie möglich darzustellen, wurden die Opfer von Schauspielern gespielt, welche mit entsprechender Kleidung und Make-up ausgestattet waren (Abbildung 7). Nach der Triage vor Ort wurden die kritischen Verletzten mit höchster Priorität (T1, 36 Opfer) und die Schwerverletzten mit mittlerer Priorität (T2, 14 Opfer) durch den Rettungsdienst in Traumazentren verbracht. 7 Fälle wurden Klinik A zugewiesen (alle T1), 5 Fälle Klinik B (alle T1). Die Schauspieler hatten vor der Übung ein spezielles Training durchlaufen und Anweisungen erhalten, um ihre zugewiesenen Opferrollen realistisch darzustellen. Jeder hatte eine Fallnummer und eine Fallbeschreibung erhalten, durch die es möglich war, wichtige Informationen wie zum Beispiel Vitalparameter oder Symptome zu erhalten. Ein Patient der Klinik B musste aufgrund eines in seiner Rolle vorgesehenen Herzstillstandes von der Studie

ausgeschlossen werden, ansonsten beeinflusste bei keinem der eingeschlossenen Patienten eine spezielle Behandlung die Messzeiten.

**Tabelle 14:** Verletzungsmuster und Befunde

| <b>Fall-Nr.</b> | <b>Vorgegebene Verletzungsmuster</b>                            | <b>Radiologische Befunde</b>   |
|-----------------|---|--|
| 1               | Periphere Extremitätenverletzung<br>1x Klinik A                 | Beidseitige distale Radiusfraktur<br>→ Reposition, keine sofortige<br>Weiterbehandlung nötig   |
| 2               | Beckenfraktur<br>1x Klinik B                                    | Beckenfraktur mit Symphysensprengung<br>→ sofortige chirurgische Intervention  |
| 3               | Schädel-Hirn-Trauma<br>3x Klinik A; 1x Klinik B                 | Epidurales Hämatom (klein), keine<br>neurochirurgische Intervention notwendig<br>→ Intensivstation   |
| 4               | Thoraxtrauma (mit Rippenfraktur)<br>1x Klinik A                 | Rippenfraktur, Pneumothorax, während<br>CT-Befundung<br>Zustandsverschlechterung mit<br>Notwendigkeit zur Intervention<br>→ Thoraxdrainage |
| 5               | Stumpfes Bauchtrauma<br>1x Klinik A                             | Blutung aus Milz-/Leberparenchym<br>→ sofortige chirurgische Intervention  |
| 6               | Offene Oberschenkelfraktur<br>1x Klinik A                       | Proximale Femurschaftfraktur<br>→ Notaufnahme zur provisorischen<br>Versorgung   |
| 7               | Wirbelsäulenverletzung mit<br>Brustwirbelfraktur<br>1x Klinik B | Wirbelkörperfraktur (instabil)<br>→ sofortige chirurgische Intervention  |
| 8               | Brustschmerz mit akutem<br>Koronarsyndrom<br>1x Klinik B        | Myokardinfarkt; Patient ausgeschlossen*  |
| 9               | Dissezierendes Aortenaneurysma<br>1x Klinik B                   | Thorakales Aortenaneurysma mit einem<br>Durchmesser von > 4,5 cm, dissezierend<br>→ sofortige chirurgische Intervention                    |

9 verschiedene Verletzungsmuster verteilen sich auf 14 Patienten. \*) Patient ausgeschlossen wie im Teil „Material und Methoden“ beschrieben.

### 3.1.3 Überwachendes Personal

Jeder Klinik wurde eine Person zugewiesen, die den Ablauf überwachte, jedoch nicht eingriff. Jedem der teilnehmenden Patienten wurde eine Person mit medizinischem Hintergrund zu deren individuellen Überwachung zugeteilt, welche immer bei ihrem zugewiesenen Patienten blieb. Jede der überwachenden Personen dokumentierte die Zeiten der vorher definierten Abschnitte und notierte persönliche Beobachtungen zur simulierten Behandlung.

### 3.1.4 Radiologisches Personal

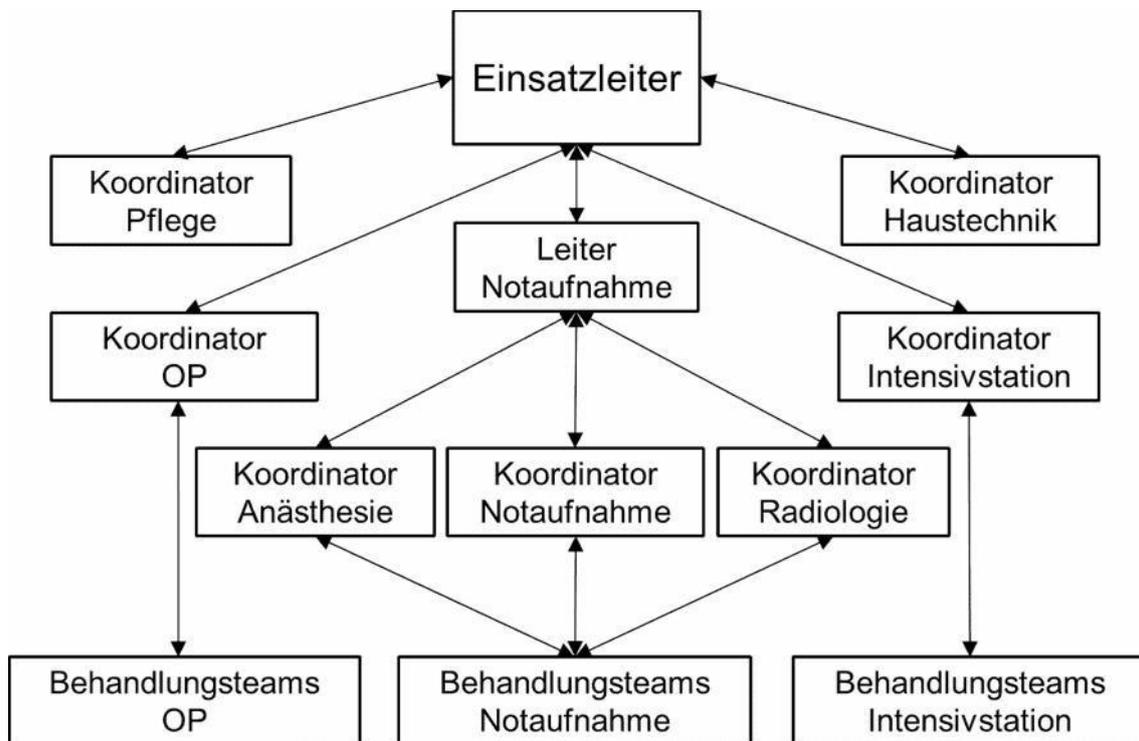
Da die Übung an einem Sonntag stattfand, repräsentierte das teilnehmende Personal die Besetzung für Wochenenden, Feiertage und Nachtschichten. Dem Auslösen des MANV-Alarms folgt eine automatische Einberufung von zusätzlichem Personal in 3 Schritten:

Alarmstufe 1: Interner Klinikalarm, nur diensthabendes Personal wird alarmiert (Klinik A: werktags (8:00–16:00 Uhr, 3–8 T1-Verletzte; Klinik B: Werktags 8:00–16:00 Uhr, 2–4 T1-Verletzte)

Alarmstufe 2: Interner Klinikalarm (diensthabendes Personal) und Einberufung von Personal im Bereitschafts- und Hintergrunddienst (Klinik A: werktags 16:00–8:00 Uhr, Wochenenden und Feiertage, 3–8 T1-Verletzte; Klinik B: werktags 16:00–8:00 Uhr, Wochenenden und Feiertage, 2–4 T1-Verletzte)

Alarmstufe 3: Interner Klinikalarm (diensthabendes Personal), Einberufung von Personal im Bereitschafts- und Hintergrunddienst sowie Personal außer Dienst oder im Urlaub (unabhängig von Zeit und Tag; Klinik A: > 8 T1-Verletzte oder Aktivierung der Patientenverteilungsmatrix; Klinik B: > 4 T1-Verletzte oder Aktivierung der Patientenverteilungsmatrix)

In der Übung wurde bis zur höchsten Alarmstufe ausgelöst. Das jeweilige Personal musste auf den Alarm antworten. Das Personal, welches dem Notfallalarm folgte, erreichte jeweils die Klinik noch vor den ersten Opfern. Während in Klinik B nur ein CT-Raum, zwei Radiologen und zwei radiologisch-technische Assistenten zur Verfügung standen (Besetzung an Wochenenden), waren in Klinik A drei CT-Räume, zwei Radiologen und sechs radiologisch-technische Assistenten verfügbar (an Wochenenden sind üblicherweise zwei radiologisch-technische Assistenten verfügbar). Um den reibungslosen sonstigen Ablauf der Patientenversorgung in Klinik A zu gewährleisten, wurden ein CT-Raum und zwei radiologisch-technische Assistenten exklusiv für das Tagesgeschäft abgestellt. Damit waren an jedem Standort zwei Radiologen und zwei radiologisch-technische Assistenten für die Übung verfügbar. An Klinik A waren es sogar vier MTRA, wovon aber nur zwei benötigt wurden. Zusätzlich waren pro Standort je ein einberufener Oberarzt zur Koordination verfügbar.



Ausschnitt aus dem institutionellen Organigramm von Klinik A und Klinik B mit Funktionen, Verantwortlichkeiten und Kommunikationsstruktur.

**Abbildung 6:** Ausschnitt aus dem institutionellen Organigramm [106]

### 3.1.5 Ablauf der Versorgung an den Standorten

Alle Geschehnisse, Untersuchungen und Behandlungen wurden so realistisch wie möglich simuliert und beobachtet. Nach Ankunft und Aufnahme in der jeweiligen Klinik wurden die Patienten erneut triagiert, in den jeweiligen Schockraum gebracht und es wurden erste Untersuchungen und Maßnahmen durchgeführt. Daraufhin wurden die Patienten direkt in einen CT-Raum überstellt, wo sie einer Ganzkörper-CT-Untersuchung unterzogen wurden, welche in den beiden Kliniken unterschiedlich durchgeführt wurde. In Klinik B wurden die Patienten so schnell wie möglich in den CT-Raum geleitet, Untersuchungen und erste Maßnahmen wurden dort hauptsächlich direkt auf

der CT-Liege durchgeführt, der Schockraum war hauptsächlich Transit-Raum. In Klinik A wurden die Patienten ausführlicher im Schockraum behandelt und dort für die CT vorbereitet. FAST-Ultraschall-Untersuchungen wurden an beiden Standorten während der ersten Wege ohne Verzögerung durchgeführt und Vitalparameter wurden überwacht. Pathologische Befunde wurden gemäß des Laufzettels des Patienten erstellt und – falls nötig – behandelt. Abbildung 5 zeigt die unterschiedlichen räumlichen Situationen. Im CT-Raum wurden die Patienten für den eigentlichen Scan durch Puppen ersetzt und der Scan an der Puppe durchgeführt. Um den CT-Raum so frei wie möglich zu halten, wurden die Patienten direkt nach dem CT-Scan aus dem CT-Raum auf eine Warteposition in unmittelbarer Nähe gebracht. Diese Wartezeit ist notwendig, da sie das Intervall vom Scanende bis zum Vorliegen eines ersten Befunds darstellt. Erst dann ist eine Entscheidung über das weitere Procedere möglich. Da die CT-Untersuchung nur an Puppen durchgeführt wurde, wurde die Befundung der Bilder nicht evaluiert. Stattdessen wurde angenommen, dass das Zeitintervall zwischen dem Erscheinen des ersten und des letzten Bildes der Rekonstruktion der axialen Dünnschichten auf der Workstation der Zeit eines ersten mündlichen Befundes entspricht. Dies ist vereinfachend, aber nicht völlig unplausibel, da nicht auf das letzte Bild gewartet werden muss bevor die anderen Bilder befundet werden können. Nach Abwarten dieser Zeitspanne wurden die Befunde dem Patientenblatt entnommen. Die Zeitspanne von der „Warteposition“ bis zum Endpunkt entspricht der Zeit, die für den Transport zur weiteren Behandlung (Operationssaal oder Intensivstation) benötigt wurde. Gemäß der Patientenverteilungsmatrix der Leitstelle (Abbildung 8) erreichten die Patienten die Kliniken mit einer einigermaßen konstanten Verzögerung [103]. Dadurch waren Einrichtungen wie der Schockraum oder der CT-Raum zum Zeitpunkt der Aufnahme immer frei, sodass es für die Patienten zu keinen Verzögerungen kam.



a) Unfallszenario. b) Erstversorgung und Triage. c) Schockraum in Klinik B. d) CT-Vorbereitung in Klinik B

**Abbildung 7:** Bilder der Simulation am Unfallort und in Klinik B [106]

| Kliniken | Einrichtung für Schädel-Hirn-Traumata | 1. Welle |    | 2. Welle |    | Stufe 1 < 37 T1 + T2 < 80<br>Verletzte | Fahrzeit < 45' | Fahrzeit 45' - 60' | Fahrzeit 60' - 90' | Flugzeit < 30' | Flugzeit < 45' | Entfernung zum<br>Stadtzentrum in km (Straße) |
|----------|---------------------------------------|----------|----|----------|----|--|----------------|--------------------|--------------------|----------------|----------------|---|
|          |                                       |          |    |          |    |  |                |                    |                    |                |                |   |
| Klinik B | x                                     | 1        | 14 | 21       | 32 |  | x              |                    |                    | x              |                | 1   |
| Klinik C | x                                     | 2        | 15 | 22       | 33 |  | x              |                    |                    | x              |                | 4   |
| Klinik D | x                                     | 3        | 16 | 23       | 34 |  | x              |                    |                    | x              |                | 6   |
| Klinik E | x                                     | 4        | 17 | 24       | 35 |  | x              |                    |                    | x              |                | 7   |
| Klinik F | x                                     | 5        | 18 | 25       | 36 |  | x              |                    |                    | x              |                | 7   |
| Klinik A | x                                     | 6        | 19 | 26       | 37 |  | x              |                    |                    | x              |                | 10  |
| Klinik G |                                       | 7        |    | 27       |    |  | x              |                    |                    | x              |                | 5   |
| Klinik H |                                       | 8        |    | 28       |    |  | x              |                    |                    | x              |                | 9   |
| Klinik I |                                       | 9        |    | 29       |    |  | x              |                    |                    | x              |                | 9   |
| Klinik J |                                       | 10       |    | 30       |    |  | x              |                    |                    | x              |                | 10  |
| Klinik K |                                       | 11       |    | 31       |    |  | x              |                    |                    | x              |                | 6   |
| Klinik L |                                       | 12       |    |          |    |  | x              |                    |                    | x              |                | 7   |
| Klinik M |                                       | 13       | 20 |          |    |  | x              |                    |                    | x              |                | 7   |

|   |   |
|---|---|
| <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">X</span>             | Aufnahmeplatz                             |
| <span style="border: 2px solid red; padding: 2px;">X</span>               | Aufnahmeplatz ohne Hubschrauberlandeplatz |
| <span style="background-color: red; color: black; padding: 2px;">X</span> | Aufnahme kollidiert mit Kinderaufnahme    |

Auszug aus der verwendeten Patientenverteilungsmatrix mit allen teilnehmenden Kliniken (A–M) und Reihenfolge des Transports der Patienten während eines Massenanstfalls von Verletzten (Nummern in Kästchen; 1. Patient Klinik B, 2. Patient Klinik C usw. Erst der 14. Patient wird wieder in Klinik B gebracht usw.).

**Abbildung 8:** Auszug aus der verwendeten Patientenverteilungsmatrix [103] [106]

### 3.1.6 CT-Untersuchung

Eine Strahlenexposition der Schauspieler (simulierte Patienten) war nicht zu rechtfertigen, weswegen die Patienten im CT-Raum auf der Liege durch Puppen ersetzt wurden. Die durch den Austausch entstandene Verzögerung wurde gemessen und von den entsprechenden Zeiten der Ergebnisse abgezogen. Um die Simulation so realistisch wie möglich zu gestalten, wurde die CT-Untersuchung an den Puppen durchgeführt und die Daten wurden wie gewohnt rekonstruiert. Alle Kabel und Schläuche, die für die Überwachung und Lebenserhaltung der Patienten notwendig waren, wurden ebenfalls simuliert und an den Patienten bzw. Puppen befestigt, um mögliche Probleme zu simulieren (zum Beispiel Ordnung der Kabel, verklemmte oder verlorene Schläuche).

Die CT-Untersuchungen unterschieden sich in den beiden Kliniken nur durch die Durchführung der Scout-Scans. In Klinik A wurde zuerst ein Scout-Scan des Kopfes durchgeführt, gefolgt von einer Kopf-CT ohne Kontrastmittel, einem Scout-Scan des Körpers und einem Körper-Scan mit Kontrastmittel. Klinik B hingegen führte Kopf- und Körper-Scout an einem Stück durch. Das Protokoll bei Polytrauma beinhaltete in beiden Kliniken eine Kopf-CT ohne Kontrastmittel, gefolgt von einem getriggerten Scan des Brust- und des oberen Bauchraumes während der arteriellen Phase und abschließend einem Scan des kompletten Bauchraumes einschließlich des Beckens während der portalvenösen Phase mit einer zusätzlichen Verzögerung von 50 Sekunden. Da eine Triggerung auf den Kontrastmittelbolus bei den Puppen nicht möglich war, wurden in der Übung feststehende Zeiten für die Verzögerung gewählt (29 Sekunden für die arterielle Phase und zusätzliche 50 Sekunden für die portalvenöse Phase).

**Tabelle 15:** In Klinik A und Klinik B verwendete CT-Protokolle

| <b>Klinik A: 64-Zeilen-CT</b>                            | <b>Kopf-CT</b> | <b>Körper-CT</b> |
|--|----------------|------------------|
| Röhrenspannung (kV)                                      | 120            | 120              |
| Röhrenstrom Care Dose 4D (mAs)                           | 390            | 150              |
| Schichtstärke (mm)                                       | 0,6            | 0,6              |
| Pitch  | 0,55           | 1,5              |
| Rotationszeit (s)  | 1              | 0,5              |
| Kernel   | J37s           | I26f             |
| Simulierte Verzögerung nach Gabe des Kontrastmittels (s) | –              | 25 (arteriell)   |
| Simulierte Verzögerung nach der arteriellen Phase (s)    | –              | 50 (portalvenös) |

| <b>Klinik B: 64-Zeilen-CT</b>                            | <b>Kopf-CT</b> | <b>Körper-CT</b> |
|--|----------------|------------------|
| Röhrenspannung (kV)                                      | 120            | 120              |
| Röhrenstrom (mAs)<br>Auto mA/Smart mA                    | 100–300        | 100–600          |
| Schichtstärke (mm)                                       | 1,25           | 1,25             |
| Tischvorschub (mm/U)                                     | 19,37          | 55               |
| Rotationszeit (s)  | 0,8            | 0,5              |
| Kernel   | soft           | standard         |
| Simulierte Verzögerung nach Gabe des Kontrastmittels (s) | –              | 25 (arteriell)   |
| Simulierte Verzögerung nach der arteriellen Phase (s)    | –              | 50 (portalvenös) |

### 3.1.7 Bildverarbeitung

Die Bilder, auf die an der Workstation zugegriffen werden konnten, waren axiale Schichtaufnahmen. In Klinik A wurden diese in 0,625 mm und in Klinik B in 1,25 mm für die initiale Befundung rekonstruiert [107]. Die Grundlage für die sekundären, also endgültigen Rekonstruktionen waren in beiden Kliniken Schichten von 0,625 mm. Die Zeiten vom Scan-Start bis zu den ersten Bildern auf der Workstation wurden ebenso gemessen wie die Zeiten von den ersten Bildern bis zum Zeitpunkt an dem auf alle Bilder zugegriffen werden konnte. Da beide Kliniken identische Datenverarbeitungsleitungen verwenden, kann angenommen werden, dass es keine relevanten Zeitunterschiede beim Senden der Bilder gibt. Demgegenüber kann es abhängig vom Umgang mit den Rekonstruktionen und deren Verteilung relevante Auswirkungen geben. Um mögliche Auswirkungen zu beurteilen, wurden in Klinik A die Bilder noch während der Konstruktion an das PACS gesendet, während in Klinik B die Bilder zuerst konstruiert und erst nach abgeschlossener Rekonstruktion an das PACS gesendet wurden. Da die reine Sendezeit bei sehr ähnlich großen Datensätzen nur von der Bandbreite abhängt und somit keine Unterschiede zu erwarten sind, wurde nur ein Datensatz gesendet, diese Zeit gemessen und als repräsentativ angenommen.

### 3.1.8 Statistik

Die Analyse der Daten erfolgte mit PASW statistics 21.0.0 (SPSS, Chicago, IL). Zur statistischen Prüfung wurde der Mann-Whitney-U-Test angewandt und hierfür das Signifikanzniveau auf  $P < 0,05$  festgesetzt.

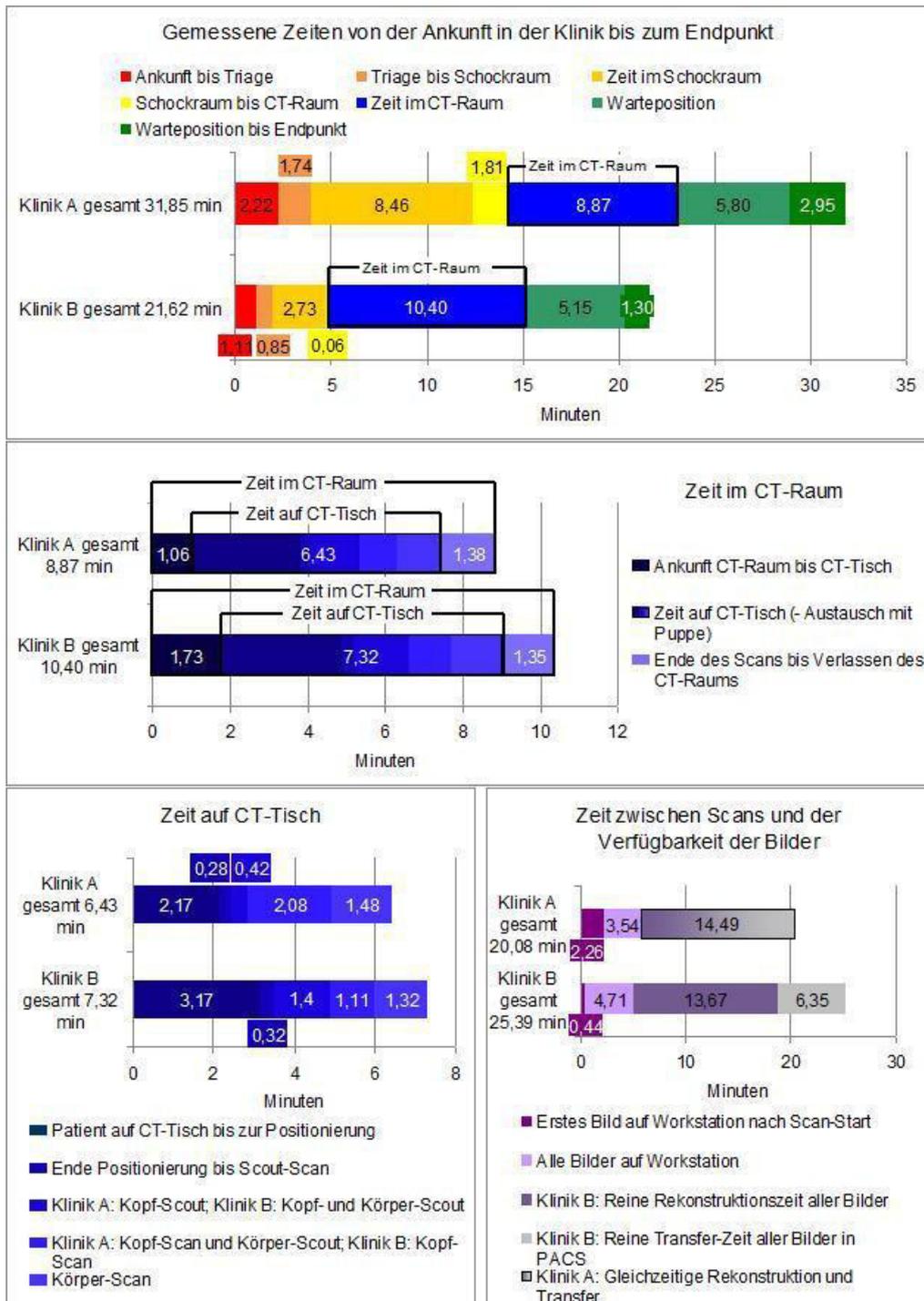
## **3.2 Genehmigung**

Da keine Patienten Teil der MANV-Simulation waren und auch keine Patientendaten verwendet wurden, war eine Genehmigung der lokalen Ethikkommission nicht erforderlich.

## **3.3 Ergebnisse**

### **3.3.1 Gesamtablauf**

Die gemessenen Gesamtzeiten der Übung in beiden teilnehmenden Kliniken (Aufnahme der Patienten bis zum Endpunkt) zeigten einen großen, wenn auch nicht signifikanten Unterschied von 10,26 Minuten (Klinik A: 31,85 Minuten; Klinik B: 21,62 Minuten;  $P = 0,059$ ). Ausschlaggebend für die große Differenz waren allem voran die stark divergierenden Zeiten im Schockraum und im CT-Raum. Abbildung 9 und Tabelle 16 zeigen eine Übersicht über die gemessenen Zeiten, wobei Klinik A und Klinik B verglichen werden.



**Abbildung 9:** Überblick über die Zeiten von der Ankunft bis zum Endpunkt [106] [108]

**Tabelle 16:** Durchschnittlich gemessene Zeitintervalle von der Patientenankunft bis zum Erreichen eines der Endpunkte (Operationssaal oder Intensivstation); MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung; signifikante Unterschiede sind mit „\*“ markiert [106] [108]

| Zeit in Minuten                | Klinik A     |             | Klinik B     |             | Signifikanz (P-Wert) |
|--------------------------------|--------------|-------------|--------------|-------------|----------------------|
|                                | MW           | SD          | MW           | SD          |                      |
| „Ankunft“ bis „Triage“         | 2,22         | 1,27        | 1,11         | 0,45        | 0,257                |
| „Triage“ bis „Schockraum“      | 1,74         | 0,84        | 0,85         | 0,09        | 0,059                |
| Zeit im Schockraum             | 8,46         | 3,02        | 2,73         | 0,78        | 0,008*               |
| „Schockraum“ bis „CT-Raum“     | 1,81         | 0,62        | 0,06         | 0,03        | 0,008*               |
| Zeit im CT-Raum                | 8,87         | 1,84        | 10,40        | 2,89        | 0,571                |
| Warteposition                  | 5,80         | 3,94        | 5,15         | 1,11        | 0,705                |
| „Warteposition“ bis „Endpunkt“ | 2,95         | 1,92        | 1,30         | 0,49        | 0,059                |
| <b>Gesamtzeit (min)</b>        | <b>31,85</b> | <b>7,99</b> | <b>21,62</b> | <b>4,76</b> | <b>0,059</b>         |

### 3.3.2 Zeiten bis zum Eintritt in den CT-Raum

Von Ankunft der Patienten in der jeweiligen Klinik bis zur Triage waren die Zeiten in Klinik A doppelt so lang wie in Klinik B (Klinik A: 2,22 Minuten; Klinik B: 1,11 Minuten;  $P = 0,257$ ). Der Transport von der Triage in den Schockraum dauerte in Klinik A mehr als doppelt so lange (Klinik A: 1,74 Minuten; Klinik B: 0,85 Minuten;  $P = 0,059$ ). Die Zeit, die im Schockraum verbracht wurde, war in Klinik A signifikant länger als in Klinik B (Klinik A: 8,46 Minuten; Klinik B: 2,73 Minuten;  $P < 0,05$ ). Ein sehr großer Unterschied konnte bei der Transportzeit vom Schockraum in den CT-Raum festgestellt werden (Klinik A: 1,81 Minuten; Klinik B: 0,06 Minuten;  $P < 0,05$ ).

### 3.3.3 Zeiten im CT-Raum

Während Klinik A bis zum Eintritt in den CT-Raum mehr Zeit benötigte als Klinik B, hatte Klinik A im CT-Raum einen Zeitvorteil (Klinik A: 8,87 Minuten; Klinik B: 10,40 Minuten;  $P = 0,571$ ). Da der Fokus der Studie auf CT gelegt wurde, wurden die Daten im CT-Raum einer genaueren Analyse unterzogen:

- Die Zeit von der Ankunft im CT-Raum bis zur Positionierung der Patienten auf dem CT-Tisch war in Klinik B länger (Klinik A: 1,06 Minuten; Klinik B: 1,73 Minuten;  $P = 0,705$ ), ebenso die Verweildauer auf dem CT-Tisch (Klinik A: 6,43 Minuten; Klinik B: 7,32 Minuten;  $P = 0,705$ ) mit einem Unterschied von 0,89 Minuten. Mögliche Hauptursache für diese Diskrepanz könnten die Zeiten von der Umlagerung auf den CT-Tisch bis zur endgültigen Positionierung sein (Klinik A: 2,17 Minuten; Klinik B: 3,17 Minuten;  $P = 0,850$ ). Diese Daten beinhalten bereits die Korrektur für den Austausch mit den Puppen, wie im Teil „Material und Methoden“ beschrieben. Die Zeiten vom Ende des Scans bis zum Verlassen des CT-Raums waren hingegen vergleichbar (Klinik A: 1,38 Minuten; Klinik B: 1,35 Minuten;  $P = 0,450$ ).

- Obwohl beide Kliniken verschiedene Herangehensweisen in Bezug auf den Scout-Scan zeigten, waren die Gesamtzeiten des CT-Scans vom Beginn des ersten Scout-Scans bis zum Ende des letzten Scans vergleichbar (Klinik A: 3,98 Minuten; Klinik B: 3,82 Minuten;  $P = 0,705$ ).

- Die Zeit zwischen dem Beginn des Scans bis zu den ersten verfügbaren Bildern auf der Workstation war in Klinik A signifikant länger (Klinik A: 2,26 Minuten; Klinik B: 0,44 Minuten;  $P < 0,05$ ). In Klinik A dauerte es durchschnittlich 3,54 Minuten, bis auf alle Bilder an der Workstation zugegriffen werden konnte, in Klinik B über eine Minute länger (4,71 Minuten;  $P = 0,450$ ). Hingegen war die Zeit vom Beginn des Scans bis zum Zeitpunkt, an dem alle

Bilder auf der Workstation verfügbar waren (Simulation der Befundungszeit), vergleichbar (Klinik A: 5,80 Minuten; Klinik B: 5,15 Minuten; P = 0,705).

- In den beiden Kliniken wurden verschiedene Zeiten für die Rekonstruktion und die Übertragung in das PACS festgehalten. In Klinik A wurden durchschnittlich 14,49 ( $\pm$  4,80) Minuten für die Zeit vom Beginn der Rekonstruktion bis zum Zeitpunkt, an dem alle Bilder im PACS verfügbar waren, gemessen. Dies setzt ein gleichzeitiges Rekonstruieren und Senden der rekonstruierten Daten voraus. Im Gegensatz dazu wurden diese beiden Arbeitsschritte in Klinik B nacheinander durchgeführt. Die reine Rekonstruktionszeit durch den radiologisch-technischen Assistenten betrug dabei 13,67 ( $\pm$  0,97) Minuten, die reine Übertragungszeit eines gesendeten Datensatzes (wie im Abschnitt Material und Methoden beschrieben) ins PACS 6,35 Minuten.

**Tabelle 17:** Durchschnittlich gemessene Zeitintervalle von der Ankunft im CT-Raum bis zu dessen Verlassen; MW= Mittelwert, SD = Standardabweichung

| Zeit in Minuten                                    | Klinik A    |             | Klinik B     |             | Signifikanz (P-Wert) |
|--|-------------|-------------|--------------|-------------|----------------------|
|  | MW          | SD          | MW           | SD          |                      |
| „Ankunft im CT-Raum“ bis „CT-Tisch“                | 1,06        | 0,38        | 1,73         | 1,27        | 0,705                |
| Zeiten auf dem CT-Tisch (ohne Austausch mit Puppe) | 6,43        | 0,88        | 7,32         | 2,65        | 0,705                |
| „Ende des Scans“ bis „Verlassen des CT-Raums“      | 1,38        | 1,34        | 1,35         | 0,78        | 0,450                |
| <b>Gesamtzeit</b>                                  | <b>8,87</b> | <b>1,84</b> | <b>10,40</b> | <b>2,89</b> | <b>0,571</b>         |

**Tabelle 18:** Durchschnittlich gemessene Zeitintervalle vom Zeitpunkt, an dem der Patient auf dem CT-Tisch lag, bis zum Ende des Scans; MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung; signifikante Unterschiede sind mit „\*“ markiert

| Zeit in Minuten                                  | Klinik A    |             | Klinik B    |             | Signifikanz (P-Wert) |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|----------------------|
|  | MW          | SD          | MW          | SD          |                      |
| Patient auf CT-Tisch bis zur Positionierung      | 2,17        | 0,84        | 3,17        | 2,64        | 0,850                |
| Ende der Positionierung bis zum Scout-Scan       | 0,28        | 0,23        | 0,32        | 0,04        | 0,251                |
| Klinik A: Kopf-Scout (1 Ebene)                   |             |             |             |             |                      |
| Klinik B: Kopf- und Körper-Scout (2 Ebenen)      | 0,42        | 0,18        | 1,40        | 0,22        | 0,008*               |
| Klinik A: Kopf-Scan und Körper-Scout (1 Schicht) |             |             |             |             |                      |
| Klinik B: Kopf-Scan                              | 2,08        | 0,78        | 1,11        | 0,04        | 0,056                |
| Körper-Scan                                      |             |             |             |             |                      |
| Körper-Scan                                      | 1,48        | 0,57        | 1,32        | 0,04        | 1,000                |
| <b>Gesamtzeit</b>                                | <b>6,43</b> | <b>0,88</b> | <b>7,32</b> | <b>2,65</b> | <b>0,705</b>         |

### 3.3.4 Zeiten nach Verlassen des CT-Raums

Die Zeiten, in denen die Patienten auf einer Warteposition bis zu einer weiteren Entscheidung zur Behandlung nach dem CT-Raum verweilten, waren vergleichbar (Klinik A: 5,80 Minuten; Klinik B: 5,15 Minuten; P = 0,705). Die Dauer des Transports von der Warteposition zu einem der beiden Endpunkte (Intensivstation oder Operationssaal) unterschied sich in den beiden Kliniken

erheblich, wenn auch nicht signifikant (Klinik A: 2,95 Minuten; Klinik B: 1,30 Minuten;  $P = 0,059$ ).

### **3.4 Diskussion**

Obwohl Massenanfälle von Verletzten selten auftreten, stellen Ereignisse wie Flugzeug- und Zugunglücke und besonders die leider zunehmend häufigeren Terroranschläge eine ständige Bedrohung dar. Es überrascht ein wenig dass es zu einem solch wichtigen Thema nur vergleichsweise wenig Literatur gibt, welche in besonderem Maß auf radiologische Aspekte eingeht [91] [92] [109] [110] [111]. Insbesondere sind spezielle CT-Protokolle für den Massenanfall von Verletzten rar [91] [92]. Unsere Zielsetzung war es, neue Kenntnisse aus einer sehr realistischen Übung in Bezug auf die Prozessoptimierung sowie das Erkennen von Engstellen, Grenzen und Fehlern zu gewinnen.

Obwohl die Distanzen von „Ankunft“ bis „Triage“ und von „Triage“ bis „Schockraum“ in den beiden untersuchten Kliniken vergleichbar waren, unterschieden sich die Zeiten. Eine mögliche Erklärung könnten die verschiedenen Verletzungsmuster sein, welche das Personal in Klinik A dazu zwang, mehr Zeit für Triage und Erstversorgung aufzuwenden. Es gab einen signifikanten Unterschied bei der Zeit, welche die Patienten durchschnittlich im Schockraum verbrachten. Die Patienten in Klinik A blieben dort fast dreimal so lange wie die Patienten in Klinik B. Gründe für diese und viele andere Beobachtungen könnten die Gestaltung des Gebäudes und die verschiedenen Konzepte der beiden Kliniken sein. In Klinik A wurden die Patienten umfangreicher im Schockraum behandelt, um durch eine bessere Vorbereitung der Patienten möglichst wenig Zeit im CT-Raum zu verlieren und den CT-Scan möglichst bald nach Betreten des CT-Raums zu beginnen. Die Herangehensweise in Klinik B unterschied sich davon. Dort sollten die

Patienten möglichst schnell in den CT-Raum gebracht werden. Konsequenterweise wurden im Schockraum nur dringend notwendige Behandlungen durchgeführt und die Vorbereitung der Patienten wurde näher an den CT oder gar auf den CT-Tisch gelegt. Dies wirkt sich entsprechend auf die durchschnittlichen Messzeiten aus.

Da die Patienten mit einer nahezu konstanten Zeitverzögerung in den Kliniken eintrafen, waren die CT-Räume bei jedem eintreffenden Patienten frei. Die verwendete Patientenverteilungsmatrix erwies sich somit zumindest in der Übung als nützlich und sinnvoll. Im Falle eines Massenanfalls von Verletzten mit einer sehr großen Anzahl von Patienten würden die Patienten in einer höheren Frequenz oder sogar teilweise gleichzeitig eintreffen. Angesichts dessen würde das Protokoll in Klinik B an seine Grenzen gebracht werden und die Patienten müssten auch hier häufiger im Schockraum zuerst versorgt werden, um die Zeit zu überbrücken bis der CT wieder frei ist. Da die verbrachte Zeit im CT-Raum den limitierenden Faktor bezüglich der Zahl der durchgeführten Scans darstellt [91], würde sich das Konzept an dasjenige von Klinik A angleichen. Im Schockraum und anderen Räumen einer Klinik können eine große Anzahl von Patienten gleichzeitig vorbereitet werden, während nach einer ausgedehnten Vorbereitung Scans in einer höheren Zahl durchgeführt werden können. Die Wartezeit kann für neue Befunde, den Vergleich von Patienten und erneute Triage genutzt werden [112].

Während zwischen Schockraum und CT-Raum in Klinik A eine weite Strecke liegt, befindet sich in Klinik B der CT-Raum unmittelbar neben dem Schockraum. Das könnte den signifikanten Unterschied der Transportzeiten erklären. Im Hinblick darauf konnte Klinik B fast 2 Minuten einsparen. Aufgrund dieser Tatsache empfehlen viele Gesellschaften bei einem Neu- oder Umbau von Kliniken eine Planung des CT-Raums neben dem Schockraum [8]. Salzherr

et al. wiesen eine Verbesserung des radiologischen Arbeitsflusses und kürzere Zeiten der Behandlung aufgrund der Nähe von CT- und Schockraum nach [27]. Halpern et al. bezogen ebenfalls die Idee, diese beiden Räume nebeneinander zu planen, in ihre Arbeit zu den Grundsätzen von Gebäudegestaltung für den Massenanfall von Verletzten mit ein [29].

Der Unterschied der Gesamtkonzepte könnte auch der Grund für den beobachteten Zeitunterschied bei der Verweildauer der Patienten im CT-Raum sein. In Klinik A wurde mehr Zeit für Vorbereitung im Schockraum verwendet und die Scans konnten nach kurzer Zeit im CT-Raum begonnen werden. In Klinik B wurden die Patienten so schnell wie möglich in den CT-Raum gebracht, was vermuten lässt, dass die Vorbehandlungs- und Vorbereitungszeit auf den CT-Tisch verlagert wurde.

Die Scanprotokolle betreffend konnten in der Literatur nur zwei dedizierte CT-Protokolle für den Massenanfall von Verletzten gefunden werden, beide für 4-Zeilen-CT-Scanner [91] [92]. Dies förderte die Entscheidung, zwei eigene dedizierte Protokolle zu verwenden, die dem jeweiligen Standard-Polytraumaprotokoll glichen.

Die Zeit der Patienten auf dem CT-Tisch war in Klinik B länger, was durch die unterschiedliche Zeit erklärt werden kann, welche für die Vorbereitung der Patienten aufgewendet wurde. Obwohl sich die Reihenfolge der verschiedenen Teilscans unterschied, waren die durchschnittlichen reinen Scan-Zeiten vergleichbar. Bezugnehmend auf die Zeit, welche die Patienten im CT-Raum verbrachten, wies Klinik A eine theoretische Kapazität von 6,8 Scans pro Stunde auf; dies ist ein Scan mehr als in Klinik B mit einer theoretischen Kapazität von 5,8 Scans pro Stunde. Genug sonstige Ressourcen, wie zum Beispiel Personal, Operationssäle und Intensivbetten, vorausgesetzt, um eine

größere Anzahl von Patienten in dieser Zeit zu behandeln, würde der CT-Scan einen Engpass in der Behandlung darstellen. Die Zeit auf dem CT-Tisch könnte durch ausgedehntere Vorbereitung der Patienten noch vor dem Betreten des CT-Raums verkürzt werden sowie durch eine Optimierung der Scan-Protokolle und deren Anpassung an die augenblicklichen Anforderungen. Ein mögliches solches Konzept könnte eine Ganzkörper-CT ohne die Gabe von Kontrastmitteln sein, welche als Hilfsmittel zur Triage verwendet werden könnte (MANV-Protokoll 1; danach kontrastmittelverstärkte CT, wenn nötig). Beruhend auf den in dieser Studie erhobenen Daten könnte dies 1,25 Minuten an Verzögerungszeiten einsparen (25 Sekunden arteriell, 50 Sekunden portalvenös). Eine weitere vorstellbare Möglichkeit wäre, das Kontrastmittel von Hand noch vor der Umlagerung des Patienten auf den CT-Tisch zu injizieren und die CT unmittelbar als standardisiertes Ganzkörper-Protokoll zu beginnen (MANV-Protokoll 2). Dies würde einen standardisierten Startpunkt am Ende des Tisches, zum Beispiel in caudal-cranialer Richtung für ein größtmögliches „scan field of view“ (sFOV), voraussetzen. Ohne die Durchführung eines Scout-Scans und ohne die Planung des sFOV könnten weitere 1,78 Minuten der Scan-Zeit gespart werden. Solche Maßnahmen zur Zeitersparnis würden mit erheblichen Einschränkungen einhergehen (zum Beispiel wäre das MANV-Protokoll 2 am kürzesten ohne kontrastmittelgestützte CT des Schädels). Solche Lösungen sollten deswegen nur auf außerordentliche Situationen beschränkt werden, wenn nicht die Behandlungskapazitäten den nächsten Engpass darstellen [113] [114] [115]. Eine drastische Variante mit einer Kombination aus MANV-Protokoll 1 und MANV-Protokoll 2, bestehend aus der auf dem CT-Tisch verbrachten Zeit in Klinik A (6,42 Minuten) und nur einer angenommenen Minute für die Umlagerung des Patienten vor und nach dem Scan, könnte die Zeit um theoretische 3,03 Minuten reduzieren. Mit den beschriebenen Konzepten kann eine Verweildauer der Patienten im CT-Raum von 4,39 Minuten und damit eine

maximale Kapazität von 13,7 Patienten pro Stunde und Scanner errechnet werden [107].

Die Intervalle innerhalb derer alle Bilder auf der Workstation verfügbar waren, waren in den beiden Kliniken vergleichbar. Jedoch konnte Klinik B durch das Senden von Bildern mit 1,25 mm Schichtdicke im Vergleich zu Klinik A (Senden mit 0,625 mm Schichtdicke) bis zu dem Zeitpunkt an dem die ersten Bilder auf der Workstation verfügbar waren 1,82 Minuten einsparen. Diese Zeit kann schon für erste Diagnosen genutzt werden und zu schnelleren Entscheidungen bezüglich der weiteren Behandlung führen. Da die ersten vorliegenden Bilder Scans des Schädels sind, können häufige und sehr relevante Schädel-Hirn-Traumata früher erkannt werden. In Klinik A konnte durch das gleichzeitige Rekonstruieren und Senden an das PACS im Vergleich zu Klinik B mehr als 5 Minuten eingespart werden. Trotzdem dauerte der gesamte Transfer an das PACS immer noch fast 15 Minuten. Vor Abschluss des Transfers werden die Patienten im Bedarfsfall schon einer Behandlung unterzogen und die Bilder sind vom Operationssaal noch nicht zugänglich. In normalen Polytraumasituationen ist das Operationsteam dasselbe, welches den Patienten als Erstes untersucht und erste Behandlungsmaßnahmen ergreift. Bei einem Massenanfall von Verletzten ist es wahrscheinlicher, dass es Teams gibt, die nur die Triage, erste Maßnahmen und die CT-Scans durchführen, und solche, welche nur operieren. Oft befinden sich die Operationssäle in einiger Distanz zum CT-Raum, was eine Herausforderung darstellt, um vor einer Operation auf CT-Bilder zuzugreifen, da die Übertragungszeit in das PACS erhebliche Zeit in Anspruch nimmt. Für diese Probleme sollten neue Lösungen gefunden werden. Mögliche Ansätze, ohne die Gebäude und die IT-Struktur zu verändern, sind Live-Berichte durch Radiologen über das Haustelefon/Funk oder gar Echtzeit-Ausdrucke der wichtigsten Bilder, welche direkt in den Operationssaal mitgenommen werden können. Verschiedene Arten des Zugangs zu Bildern wurden in der Arbeit von

Geijer und El-Khoury aus dem Jahr 2006 [89] und der von Geyer et al. aus dem Jahr 2013 [51] dargestellt.

Da die Zeiten vom Zeitpunkt des ersten Bildes auf der Workstation bis zum Zeitpunkt, an dem auf alle Bilder auf der Workstation zugegriffen werden konnte, für die Zeit der Warteposition nach dem CT-Raum genommen wurden, stellen diese nicht notwendigerweise die Zeit dar, welche ein Radiologe für einen mündlichen Bericht und eine Entscheidung zur weiteren Behandlung benötigt. Erste Diagnosen können gestellt werden, noch bevor alle Bilder auf der Workstation zugänglich sind. Der große Unterschied zwischen den Zeiten, welche die Kliniken für den Transport von der Warteposition bis zum Ort der weiteren Behandlung brauchten (Endpunkt), ist gut durch die weiten Strecken und das weitläufige Gebäude von Klinik A erklärbar. Um zwischen dem Ende des Scans und der Entscheidung über die weitere Behandlung Zeit zu sparen, könnten die Patienten direkt in oder in Richtung des Operationssaals gebracht werden, schriftliche Berichte könnten nachgereicht werden. Im Zweifel müsste dann in Kauf genommen werden, dass der Transport in den OP umsonst war (sei es weil der Patient im Rahmen des Triagevorgehens nicht zu retten ist und die OP unnötig Ressourcen für rettbar Patienten blockieren würde oder aber weil die Verletzungsschwere zu gering für eine sofortige OP ist).

Da alle Zeiten von der Ankunft der Patienten bis zum Endpunkt (Tabelle 16) – außer der Zeit, welche im Schockraum verbracht wurde, und der Gesamtzeit im CT-Raum – in Klinik B kürzer waren als in Klinik A, kann eine optimierte Gesamtzeit von Klinik A von 25,80 Minuten errechnet werden. Das bedeutet, dass die kurzen Distanzen im Vergleich zu Klinik B 6,05 Minuten einsparen konnten.

Da die Ergebnisse auf Simulationen, nicht auf tatsächlichen Ereignissen gründen, hat die Studie wesentliche Limitationen:

- Es gab nur 9 verschiedene Verletzungsmuster, welche auf nur 11 Patienten verteilt wurden.
- Die Patienten in beiden Kliniken zeigten verschiedene Symptome und die Fälle waren nicht direkt vergleichbar.
- Aufgrund der Verteilungsmatrix kamen an keiner Klinik Patienten gleichzeitig an, was die Abläufe vermutlich verändert hätte.
- Es liegen weder Daten zur Triage und Erstversorgung am Unfallort noch zu den Zeiten des Transports in die Kliniken vor.
- Es handelte sich nicht um real verletzte Patienten, auch wenn die Übung sehr realistisch gestaltet war. Unklar bleibt, inwiefern dies die Versorgung beeinflusste. Die Zeiten bis zu einem ersten Befund wurden nur geschätzt; es bleibt jedoch anzunehmen, dass dies keinen größeren Einfluss auf den Vergleich der beiden Kliniken hat.
- Die ermittelten Zeiten stellen ideale Werte dar, da keiner der eingeschlossenen Patienten in seiner Rolle eine Besonderheit im Ablauf aufwies (zum Beispiel Komplikationen, die eine sofortige Intervention erfordern). In einem Realfall wäre dies aber sehr wahrscheinlich und würde zu längeren und vor allem unregelmäßigeren Versorgungszeiten führen.

Die Übung zeigt, dass sogar in gut trainierten überregionalen Traumazentren mit speziellen Polytraumaprotokollen Potenzial zur Optimierung besteht. Die speziellen Protokolle erwiesen sich als sehr effektiv, doch Organisation, Vorbereitung und Behandlung vor und nach dem Scan könnten verbessert werden. Gebäudegestaltung mit kurzen Distanzen gibt die Möglichkeit, signifikant Zeit zu sparen [27] [112]. Die messtechnischen Nachteile von Klinik A wurden nach Studienende (wenngleich aus anderen Gründen) durch

Inbetriebnahme eines OP-Zentrums überwunden. Auch sind an Klinik A zwischenzeitlich kürzere Versorgungswege gegeben.

Aufgrund des seltenen Auftretens und der geringen Erfahrung mit Massenanfällen von Verletzten scheinen Training der Mitarbeiter, spezielle Protokolle und regelmäßige Übungen ein angemessenes Werkzeug zu sein, um Routine zu erlangen und somit Zeit und Ressourcen im Falle eines realen Ereignisses zu sparen [116] [117].

Obwohl es in den beiden Kliniken einen großen Unterschied zwischen den Zeiten von der Aufnahme bis zum Endpunkt gab, blieben beide Zentren unter 32 Minuten Versorgungszeit von der Patientenankunft bis zum möglichen Beginn der Versorgung an einem der beiden Endpunkte (OP oder Intensivstation). Dies ist eine gute Voraussetzung, um mit der Gesamtversorgung so gut wie möglich innerhalb der „Golden Hour“ [118] [119] zu bleiben, solange Feldtriage und Transport vom Ort des Unfalls zügig erfolgen. Nationale Traumaletlinien könnten in zukünftigen Überarbeitungen neue Ideen und praktische Empfehlungen für den Massenanfall von Verletzten miteinbeziehen.

## 4 Zusammenfassung

Ein Massenanfall von Verletzten (MANV) ist ein seltenes Ereignis und stellt beim Auftreten immer eine besondere Herausforderung dar. Für das Training des Personals und die Ablaufoptimierung sind Simulationen etabliert..

Ziel der Arbeit war (1) eine Literaturrecherche zum aktuellen Stand der Polytraumaversorgung mit besonderem Fokus auf Radiologie und MANV sowie darauf aufbauend (2) eine Studie für den Vergleich von MANV-Arbeitsabläufen in zwei überregionalen Traumazentren.

Mit 70 Schauspielern wurde ein Großunglück in einem Autotunnel simuliert. Einer Verteilungsmatrix folgend wurden 7 Patienten in Klinik A (A: lange Wege innerhalb der Klinik) und 5 Patienten in Klinik B (B: kurze Wege) eingeliefert. In einer realistischen Simulation der Behandlung wurden Zeiten an definierten Versorgungspunkten gemessen und mit dem Mann-Whitney-U-Test verglichen. Ein Patient der Klinik B wurde ausgeschlossen, da ein simulierter Herzstillstand während der radiologischen Versorgung sonst die Messzeiten verfälscht hätte.

Klinik A benötigte mehr Zeit von der Ankunft bis zum Endpunkt, der als Eintreffen im OP oder auf der Intensivstation definiert war, als Klinik B (A: 31,85 min; B: 21,62 min;  $P = 0,059$ ). Signifikant länger dauerten der Aufenthalt im Schockraum (A: 8,46 min; B: 2,73 min;  $P < 0,05$ ) und der Transport in den CT-Raum (A: 1,81 min; B: 0,06 min;  $P < 0,05$ ). Der Aufenthalt auf dem CT-Tisch in Klinik A war zwar kürzer, konnte die Gesamtunterschiede aber nicht kompensieren (A: 6,43 min; B: 7,32 min;  $P = 0,705$ ).

Kurze Distanzen in Klinik B erlaubten einen theoretischen Patientendurchsatz von 6,8 Patienten (Klinik A: 5,8 Patienten) pro Stunde. Da die Zeit bis zur Verfügbarkeit der Bilder an den Endpunkten der größte potenzielle Engpass war, böten sich Bild- und Befundverteilung als nächster Optimierungsschritt an (z.B. gedruckte Key-images, handschriftlicher Kurzbefund).

Obwohl die Studie einigen Limitationen unterliegt, rechtfertigte ein CT-Durchsatz von bis zu 6 Patienten pro Scanner und Stunde den Einsatz der qualitativ hochwertigen Standard-Ganzkörper-Polytrauma-CT-Protokolle. Ein noch größerer CT-Durchsatz ist denkbar, macht aber nur Sinn, wenn die Endpunktkapazitäten dies darstellen können.

## 5 Abkürzungen

|       |   |
|-------|---|
| AIS   | Abbreviated Injury Score                      |
| ATLS  | Advanced Trauma Life Support                  |
| BMI   | Body-Mass-Index                               |
| BWS   | Brustwirbelsäule                              |
| CT    | Computertomograph/Computertomographie         |
| CTA   | Computertomographische Angiographie           |
| CCT   | Craniale Computertomographie                  |
| CPR   | Cardiopulmonary Resuscitation                 |
| DGU   | Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie     |
| EKG   | Elektrokardiograph/Elektrokardiogramm         |
| FAST  | Focused Assessment with Sonography for Trauma |
| GCS   | Glasgow Coma Scale                            |
| GKCT  | Ganzkörpercomputertomographie                 |
| HWS   | Halswirbelsäule                               |
| ISS   | Injury Severity Score                         |
| KM    | Kontrastmittel                                |
| LWS   | Lendenwirbelsäule                             |
| MANV  | Massenanfall von Verletzten                   |
| MDCT  | Multi Detektor Computertomographie            |
| MSCT  | Mehrzeilenspiralcomputertomographie           |
| MTRA  | Medizinisch-technischer Radiologieassistent   |
| OP    | Operation/Operationssaal                      |
| PACS  | Picture Archiving and Communication System    |
| RIPIT | Rapid Imaging Protocol in Trauma              |
| RISC  | Revised Injury Severity Classification        |
| TRISS | Trauma and Injury Severity Score              |

## 6 Tabellen

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabelle 1:</b> Kriterien für die Verdachtsdiagnose Polytrauma [19].....  | 10 |
| <b>Tabelle 2:</b> Parameter für ein Ganzkörper-CT-Protokoll nach Geyer et al. [51] .....  | 26 |
| <b>Tabelle 3:</b> Vorschläge für Polytrauma-Ganzkörper-Protokolle nach Körner, Reiser und<br>Linsenmaier [13].....  | 27 |
| <b>Tabelle 4:</b> CTA/GKCT-Protokoll nach Foster et al. [52] .....  | 32 |
| <b>Tabelle 5:</b> Single-Pass-Protokoll nach Nguyen et al. [84] .....   | 33 |
| <b>Tabelle 6:</b> Zeitlicher Ablauf der Protokolle nach Yaniv et al. [86].....  | 36 |
| <b>Tabelle 7:</b> Weitere Daten zum triphasischen Protokoll nach Yaniv et al.....   | 36 |
| <b>Tabelle 8:</b> Vergleich RIPIT- und Standard-Protokoll nach Sedlic et al. [87].....  | 38 |
| <b>Tabelle 9:</b> RIPIT-Protokoll nach Sedlic et al. [87].....  | 38 |
| <b>Tabelle 10:</b> Verwendetes Standard-Protokoll (non-RIPIT) nach Sedlic et al., mit dem verglichen<br>wurde [87].....   | 39 |
| <b>Tabelle 11:</b> Radiologisches ABCDE-Schema zur standardisierten Befundung [51] .....  | 41 |
| <b>Tabelle 12:</b> Scan-Parameter des beschleunigten MSCT-Protokolls nach Körner et al. [91] .....  | 43 |
| <b>Tabelle 13:</b> Verändertes Triage-CT-Protokoll nach Körner et al. ....  | 44 |
| <b>Tabelle 14:</b> Verletzungsmuster und Befunde .....  | 51 |
| <b>Tabelle 15:</b> In Klinik A und Klinik B verwendete CT-Protokolle .....  | 59 |
| <b>Tabelle 16:</b> Durchschnittlich gemessene Zeitintervalle von der Patientenankunft bis zum<br>Erreichen eines der Endpunkte (Operationssaal oder Intensivstation)..... | 63 |
| <b>Tabelle 17:</b> Durchschnittlich gemessene Zeitintervalle von der Ankunft im CT-Raum bis zu<br>dessen Verlassen .....  | 65 |
| <b>Tabelle 18:</b> Durchschnittlich gemessene Zeitintervalle vom Zeitpunkt, an dem der Patient auf<br>dem CT-Tisch lag, bis zum Ende des Scans .....                      | 66 |

## 7 Abbildungen

|  |    |
|--|----|
| <b>Abbildung 1:</b> Häufigkeiten der Verletzungen nach Körperregionen bei Polytrauma [20].....   | 13 |
| <b>Abbildung 2:</b> Schockraumprotokoll der Chirurgischen Klinik des Klinikums der Ludwig-Maximilians-Universität München Campus Innenstadt..... | 15 |
| <b>Abbildung 3:</b> Sonographische Zugänge während einer FAST-Untersuchung [32].....   | 18 |
| <b>Abbildung 4:</b> Diagramm des triphasischen Protokolls nach Yaniv et al. [86].....  | 35 |
| <b>Abbildung 5:</b> Vergleich der Lage der Räume und der Distanzen in Klinik A und Klinik B [106]  | 50 |
| <b>Abbildung 6:</b> Ausschnitt aus dem institutionellen Organigramm [106].....   | 54 |
| <b>Abbildung 7:</b> Bilder der Simulation am Unfallort und in Klinik B [106].....  | 56 |
| <b>Abbildung 8:</b> Auszug aus der verwendeten Patientenverteilungsmatrix [103] [106].....   | 57 |
| <b>Abbildung 9:</b> Überblick über die Zeiten von der Ankunft bis zum Endpunkt [106] [108].....  | 62 |

## 8 Literatur

1. *The global burden of disease: 2004 update*. 2008 [abgerufen am 20.11.2013]; unter: [http://www.who.int/healthinfo/global\\_burden\\_disease/GBD\\_report\\_2004update\\_full.pdf](http://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/GBD_report_2004update_full.pdf).
2. *Unfallstatistik Unfalltote und Unfallverletzte 2011 in Deutschland*. 2012 [abgerufen am 20.11.2013]; unter: <http://www.baua.de/de/Informationen-fuer-die-Praxis/Statistiken/Unfaelle/Gesamtunfallgeschehen/pdf/Unfallstatistik-2011.pdf>.
3. *Injuries an violence: the facts*. 2010 [abgerufen am 21.11.2013]; unter: [http://whqlibdoc.who.int/publications/2010/9789241599375\\_eng.pdf](http://whqlibdoc.who.int/publications/2010/9789241599375_eng.pdf).
4. *Injuries and Violence are Leading Causes of Death: Key Data & Statistics*. 2013 [abgerufen am 18.11.2013]; unter: <http://www.cdc.gov/injury/overview/data.html>.
5. Guerrero Velasco, R., M.I. Gutierrez Martinez, A. Fandino-Losada und S. Cardona, *[System of comparable indicators for peaceful coexistence and citizen security: a consensus among countries]*. Rev Panam Salud Publica, 2012. 31(3): 253-9.
6. *Unfälle von 18- bis 24-jährigen im Straßenverkehr*. 2013 10.10.2013 [abgerufen am 10.11.2013]; unter: [https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/TransportVerkehr/Verkehrsunfaelle/Unfaelle18bis24jaehrigen5462406127004.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/TransportVerkehr/Verkehrsunfaelle/Unfaelle18bis24jaehrigen5462406127004.pdf?__blob=publicationFile).
7. Hughes, T.M. und C. Elton, *The pathophysiology and management of bowel and mesenteric injuries due to blunt trauma*. Injury, 2002. 33(4): 295-302.
8. *S3 – Guideline on Treatment of Patients with Severe and Multiple Injuries*. 2011 [abgerufen am 10.11.2013]; unter: [http://www.awmf.org/fileadmin/user\\_upload/Leitlinien/012\\_D\\_Ges\\_fuer\\_Unfallchirurgie/012-019e\\_S3\\_Severe\\_and\\_Multiple\\_Injuries\\_2012-11.pdf](http://www.awmf.org/fileadmin/user_upload/Leitlinien/012_D_Ges_fuer_Unfallchirurgie/012-019e_S3_Severe_and_Multiple_Injuries_2012-11.pdf).
9. *Weißbuch Schwerverletztenversorgung*. 2012 [abgerufen am 10.11.2013]; unter: [http://www.dgu-online.de/fileadmin/published\\_content/5.Qualitaet\\_und\\_Sicherheit/PDF/20\\_07\\_2012\\_Weissbuch\\_Schwerverletztenversorgung\\_Auflage2.pdf](http://www.dgu-online.de/fileadmin/published_content/5.Qualitaet_und_Sicherheit/PDF/20_07_2012_Weissbuch_Schwerverletztenversorgung_Auflage2.pdf).

10. Mohammad, A., F. Branicki und F.M. Abu-Zidan, *Educational and Clinical Impact of Advanced Trauma Life Support (ATLS) Courses: A Systematic Review*. World J Surg, 2013.
11. Desmettre, T., J.M. Yeguiayan, H. Coadou, C. Jacquot, M. Raux, B. Vivien, C. Martin, C. Bonithon-Kopp und M. Freysz, *Impact of emergency medical helicopter transport directly to a university hospital trauma center on mortality of severe blunt trauma patients until discharge*. Crit Care, 2012. 16(5): R170.
12. Galvagno, S.M., Jr., E.R. Haut, S.N. Zafar, M.G. Millin, D.T. Efron, G.J. Koenig, Jr., S.P. Baker, S.M. Bowman, P.J. Pronovost und A.H. Haider, *Association between helicopter vs ground emergency medical services and survival for adults with major trauma*. JAMA, 2012. 307(15): 1602-10.
13. Korner, M., M. Reiser und U. Linsenmaier, *Imaging of trauma with multi-detector computed tomography*. Radiologe, 2009. 49(6): 510-5.
14. Levi, L., M. Michaelson, H. Admi, D. Bregman und R. Bar-Nahor, *National strategy for mass casualty situations and its effects on the hospital*. Prehosp Disaster Med, 2002. 17(1): 12-6.
15. Arnold, J.L., M.C. Tsai, P. Halpern, H. Smithline, E. Stok und G. Ersoy, *Mass-casualty, terrorist bombings: epidemiological outcomes, resource utilization, and time course of emergency needs (Part I)*. Prehosp Disaster Med, 2003. 18(3): 220-34.
16. *Leitlinie der Bundesärztekammer zur Qualitätssicherung in der Computertomographie*. 2007 [abgerufen am 18.11.2013]; unter: <http://www.drg.de/de-DE/48/leitlinien>.
17. Tscherne, H., H.J. Oestern und J.A. Sturm, *Stress tolerance of patients with multiple injuries and its significance for operative care*. Langenbecks Arch Chir, 1984. 364: 71-7.
18. Baker, S.P., B. O'Neill, W. Haddon und W.B. Long, *The injury severity score: a method for describing patients with multiple injuries and evaluating emergency care*. J Trauma, 1974. 14(3): 187-196.
19. Nast-Kolb, D., C. Waydhas, K.G. Kanz und L. Schweiberer, *An algorithm for management of shock in polytrauma*. Unfallchirurg, 1994. 97(6): 292-302.
20. *TraumaRegister DGU Jahrensbericht 2013 für den Zeitraum bis Ende 2012*. 2013 [abgerufen am 10.11.2013]; Unter: [http://www.traumaregister.de/images/stories/downloads/jahresberichte/TR-DGU-Jahresbericht\\_2013.pdf](http://www.traumaregister.de/images/stories/downloads/jahresberichte/TR-DGU-Jahresbericht_2013.pdf).
21. Greenspan, L., B.A. McLellan und H. Greig, *Abbreviated Injury Scale and Injury Severity Score: a scoring chart*. J Trauma, 1985. 25(1): 60-4.

22. Baker, S.P., B. O'Neill, W. Haddon, Jr. und W.B. Long, *The injury severity score: a method for describing patients with multiple injuries and evaluating emergency care*. J Trauma, 1974. 14(3): 187-96.
23. Bostick, N.A., I. Subbarao, F.M. Burkle, Jr., E.B. Hsu, J.H. Armstrong und J.J. James, *Disaster triage systems for large-scale catastrophic events*. Disaster Med Public Health Prep, 2008. 2 Suppl 1: S35-9.
24. Reichel, M., K. Miller und M. Wagner, *Judgement of prognosis in multiple trauma of patients with blunt abdominal injuries based on different useful trauma scores*. Unfallchirurgie, 1992. 18(2): 75-9.
25. Sternbach, G.L., *The Glasgow coma scale*. J Emerg Med, 2000. 19(1): 67-71.
26. Middleton, P.M., *Practical use of the Glasgow Coma Scale; a comprehensive narrative review of GCS methodology*. Australas Emerg Nurs J, 2012. 15(3): 170-83.
27. Saltzherr, T.P., F.C. Bakker, L.F. Beenen, M.G. Dijkgraaf, J.B. Reitsma und J.C. Goslings, *Randomized clinical trial comparing the effect of computed tomography in the trauma room versus the radiology department on injury outcomes*. Br J Surg, 2012. 99 Suppl 1: 105-13.
28. Fung Kon Jin, P.H., J.C. Goslings, K.J. Ponsen, C. van Kuijk, N. Hoogerwerf und J.S. Luitse, *Assessment of a new trauma workflow concept implementing a sliding CT scanner in the trauma room: the effect on workup times*. J Trauma, 2008. 64(5): 1320-6.
29. Halpern, P., S.A. Goldberg, J.G. Keng und K.L. Koenig, *Principles of Emergency Department facility design for optimal management of mass-casualty incidents*. Prehosp Disaster Med, 2012. 27(2): 204-12.
30. Walcher, F., T. Kirschning und R. Breitzkreutz, *Ultraschall in der Anästhesie und Intensivmedizin*. 2009: Deutscher Ärzte-Verlag.
31. Spahn, D.R., V. Cerny, T.J. Coats, J. Duranteau, E. Fernandez-Mondejar, G. Gordini, P.F. Stahel, B.J. Hunt, R. Komadina, E. Neugebauer, Y. Ozier, L. Riddez, A. Schultz, J.L. Vincent und R. Rossaint, *Management of bleeding following major trauma: a European guideline*. Crit Care, 2007. 11(1): R17.
32. Korner, M., M.M. Krotz, C. Degenhart, K.J. Pfeifer, M.F. Reiser und U. Linsenmaier, *Current Role of Emergency US in Patients with Major Trauma*. Radiographics, 2008. 28(1): 225-42.
33. Clevert, D.A., S. Weckbach, N. Minaifar, D.A. Clevert, M. Stickel und M. Reiser, *Contrast-enhanced ultrasound versus MS-CT in blunt abdominal trauma*. Clin Hemorheol Microcirc, 2008. 39(1-4): 155-69.
34. Cagini, L., S. Gravante, C.M. Malaspina, E. Cesarano, M. Giganti, A. Rebonato, P. Fonio und M. Scialpi, *Contrast enhanced ultrasound (CEUS) in blunt abdominal trauma*. Crit Ultrasound J, 2013. 5 Suppl 1: S9.

35. Geyer, L.L., M. Korner, U. Linsenmaier, S. Wirth, M. Reiser und T. Meindl, *The role of follow-up ultrasound and clinical parameters after abdominal MDCT in patients with multiple trauma*. Acta Radiol, 2013.
36. Maurer, M.H., A. Winkler, F. Wichlas, M.J. Powerski, F. Elgeti, A. Huppertz, R. Rottgen und T. Marnitz, *Costs and role of ultrasound follow-up of polytrauma patients after initial computed tomography*. Rofo, 2012. 184(1): 53-8.
37. Freeman, P., *The role of ultrasound in the assessment of the trauma patient*. Aust J Rural Health, 1999. 7(2): 85-9.
38. Zimmer, A. und W. Reith, *Diagnostic imaging of traumatic brain injury*. Radiologe, 2008. 48(5): 503-16; quiz 517-8.
39. Traub, M., M. Stevenson, S. McEvoy, G. Briggs, S.K. Lo, S. Leibman und T. Joseph, *The use of chest computed tomography versus chest X-ray in patients with major blunt trauma*. Injury, 2007. 38(1): 43-7.
40. Fu, C.Y., S.Y. Wang, Y.P. Hsu, C.H. Liao, B.C. Lin, S.C. Kang, K.C. Yuan, I.M. Kuo, C.H. Ouyang und S.J. Yang, *The diminishing role of pelvic x-rays in the management of patients with major torso injuries*. Am J Emerg Med, 2013.
41. Lucey, B.C., J.W. Stuhlfaut, A.R. Hochberg, J.C. Varghese und J.A. Soto, *Evaluation of blunt abdominal trauma using PACS-based 2D and 3D MDCT reformations of the lumbar spine and pelvis*. AJR Am J Roentgenol, 2005. 185(6): 1435-40.
42. Brook, O.R., L. Guralnik und A. Engel, *CT scout view as an essential part of CT reading*. Australas Radiol, 2007. 51(3): 211-7.
43. Soto, J.A. und S.W. Anderson, *Multidetector CT of blunt abdominal trauma*. Radiology, 2012. 265(3): 678-93.
44. Harrieder, A., L.L. Geyer, M. Korner, Z. Deak, S. Wirth, M. Reiser und U. Linsenmaier, *Evaluation of radiation dose in 64-row whole-body CT of multiple injured patients compared to 4-row CT*. Rofo, 2012. 184(5): 443-9.
45. Hsiao, K.H., M.M. Dinh, K.P. McNamara, K.J. Bein, S. Roncal, C. Saade, R.C. Waugh und K.F. Chi, *Whole-body computed tomography in the initial assessment of trauma patients: is there optimal criteria for patient selection?* Emerg Med Australas, 2013. 25(2): 182-91.
46. Bayer, J., G. Pache, T.O. Hammer, J. Zwingmann, N.P. Sudkamp und P.C. Strohm, *German trauma centers: level-dependent differences in polytrauma care regarding resources and diagnostic concepts*. Chirurg, 2013. 84(4): 316-21.
47. Huber-Wagner, S., R. Lefering, L.M. Qvick, M. Korner, M.V. Kay, K.J. Pfeifer, M. Reiser, W. Mutschler, und K.G. Kanz, *Effect of whole-body CT during trauma resuscitation on survival: a retrospective, multicentre study*. Lancet, 2009. 373(9673): 1455-61.

48. Kimura, A. und N. Tanaka, *Whole-body computed tomography is associated with decreased mortality in blunt trauma patients with moderate-to-severe consciousness disturbance: a multicenter, retrospective study*. J Trauma Acute Care Surg, 2013. 75(2): 202-6.
49. Sierink, J.C., T.P. Saltzherr, L.F. Beenen, M.J. Russchen, J.S. Luitse, M.G. Dijkgraaf und J.C. Goslings, *A Case-matched Series of Immediate Total-body CT Scanning Versus the Standard Radiological Work-up in Trauma Patients*. World J Surg, 2013.
50. Huber-Wagner, S., P. Biberthaler, S. Haberle, M. Wierer, M. Dobritz, E. Rummeny, M. van Griensven, K.G. Kanz und R. Lefering, *Whole-body CT in haemodynamically unstable severely injured patients--a retrospective, multicentre study*. PLoS One, 2013. 8(7): e68880.
51. Geyer, L.L., M. Koerner, S. Wirth, F.G. Mueck, M.F. Reiser und U. Linsenmaier, *Polytrauma: optimal imaging and evaluation algorithm*. Semin Musculoskelet Radiol, 2013. 17(4): 371-9.
52. Foster, B.R., S.W. Anderson, J.W. Uyeda, J.G. Brooks und J.A. Soto, *Integration of 64-detector lower extremity CT angiography into whole-body trauma imaging: feasibility and early experience*. Radiology, 2011. 261(3): 787-95.
53. Pourtaheri, S., A. Emami, K. Sinha, M. Faloon, K. Hwang, E. Shafa und L. Holmes, Jr., *The role of magnetic resonance imaging in acute cervical spine fractures*. Spine J, 2013.
54. Karantanas, A.H., *What's new in the use of MRI in the orthopaedic trauma patient?* Injury, 2014.
55. Wurmb, T., H. Balling, P. Fruhwald, T. Keil, M. Kredel, R. Meffert, N. Roewer und J. Brederlau, *[Polytrauma management in a period of change: time analysis of new strategies for emergency room treatment]*. Unfallchirurg, 2009. 112(4): 390-9.
56. Wurmb, T.E., C. Quaisser, H. Balling, M. Kredel, R. Muellenbach, W. Kenn, N. Roewer und J. Brederlau, *Whole-body multislice computed tomography (MSCT) improves trauma care in patients requiring surgery after multiple trauma*. Emerg Med J, 2011. 28(4): 300-4.
57. Wirth, S., M. Korner, M. Treitl, U. Linsenmaier, B.A. Leidel, T. Jaschkowitz, M.F. Reiser und K.G. Kanz, *Computed tomography during cardiopulmonary resuscitation using automated chest compression devices--an initial study*. Eur Radiol, 2009. 19(8): 1857-66.
58. Mann, F.A., W.A. Cohen, K.F. Linnau, D.K. Hallam und C.C. Blackmore, *Evidence-based approach to using CT in spinal trauma*. Eur J Radiol, 2003. 48(1): 39-48.
59. Karlo, C., R. Gnannt, T. Frauenfelder, S. Leschka, M. Bruesch, G.A. Wannner und H. Alkadhi, *Whole-body CT in polytrauma patients: effect of*

- arm positioning on thoracic and abdominal image quality.* Emerg Radiol, 2011. 18(4): 285-93.
60. Kahn, J., U. Grupp und M. Maurer, *How does arm positioning of polytraumatized patients in the initial computed tomography (CT) affect image quality and diagnostic accuracy?* Eur J Radiol, 2013.
  61. Linsenmaier, U., M. Krotz, H. Hauser, C. Rock, J. Rieger, K. Bohndorf, K.J. Pfeifer und M. Reiser, *Whole-body computed tomography in polytrauma: techniques and management.* Eur Radiol, 2002. 12(7): 1728-40.
  62. Hoppe, H., P. Vock, H.M. Bonel, C. Ozdoba und J. Gralla, *A novel multiple-trauma CT-scanning protocol using patient repositioning.* Emerg Radiol, 2006. 13(3): 123-8.
  63. Benneker, L.M., H.M. Bonel, M.A. Zumstein und A.K. Exadaktylos, *A novel multiple-trauma CT-scanning protocol using patient repositioning may increase risks of iatrogenic injuries.* Emergency Radiology, 2007. 13(6): 349-351.
  64. Kanz, K.G., M. Korner, U. Linsenmaier, M.V. Kay, S.M. Huber-Wagner, U. Kreimeier, K.J. Pfeifer, M. Reiser und W. Mutschler, *Priority-oriented shock trauma room management with the integration of multiple-view spiral computed tomography.* Unfallchirurg, 2004. 107(10): 937-44.
  65. Wurmb, T., P. Fruhwald, J. Brederlau, B. Steinhubel, M. Frommer, H. Kuhnigk, M. Kredel, J. Knupffer, W. Hopfner, J. Maroske, R. Moll, R. Wagner, A. Thiede, G. Schindler und N. Roewer, *[The Wurzburg polytrauma algorithm. Concept and first results of a sliding-gantry-based computer tomography diagnostic system].* Anaesthesist, 2005. 54(8): 763-8; 770-2.
  66. Geyer, L.L., M. Körner und M. Reiser, *Value of conventional radiography and ultrasound during initial treatment of traumatized patients.* Notfall Rettungsmedizin, 2010. 13(6): 428-435.
  67. Park, S.J., J.K. Kim, K.W. Kim und K.S. Cho, *MDCT Findings of renal trauma.* AJR Am J Roentgenol, 2006. 187(2): 541-7.
  68. Marmery, H und K. Shanmuganathan, *Multidetector-row computed tomography imaging of splenic trauma.* Semin Ultrasound CT MR, 2006. 27(5): 404-19.
  69. Allen, T.L., M.T. Mueller, R.T. Bonk, C.P. Harker, O.H. Duffy und M.H. Stevens, *Computed tomographic scanning without oral contrast solution for blunt bowel and mesenteric injuries in abdominal trauma.* J Trauma, 2004. 56(2): 314-22.
  70. Holmes, J.F., S.R. Offerman, C.H. Chang, B.E. Randel, D.D. Hahn, M.J. Frankovsky und D.H. Wisner, *Performance of helical computed tomography without oral contrast for the detection of gastrointestinal injuries.* Ann Emerg Med, 2004. 43(1): 120-8.

71. Stuhlfaut, J.W., J.A. Soto, B.C. Lucey, A. Ulrich, N.K. Rathlev, P.A. Burke und E.F. Hirsch, *Blunt abdominal trauma: performance of CT without oral contrast material*. Radiology, 2004. 233(3): 689-94.
72. Sampson, M.A., K.B. Colquhoun und N.L. Hennessy, *Computed tomography whole body imaging in multi-trauma: 7 years experience*. Clin Radiol, 2006. 61(4): 365-9.
73. Shanmuganathan, K., S.E. Mirvis, W.C. Chiu, K.L. Killeen, G.J. Hogan und T.M. Scalea, *Penetrating torso trauma: triple-contrast helical CT in peritoneal violation and organ injury--a prospective study in 200 patients*. Radiology, 2004. 231(3): 775-84.
74. Broder, J.S., A.G. Hamedani, S.W. Liu und C.L. Emerman, *Emergency department contrast practices for abdominal/pelvic computed tomography-a national survey and comparison with the american college of radiology appropriateness criteria((R))*. J Emerg Med, 2013. 44(2): 423-33.
75. Lafferty, B., *Oral contrast omission in the computed tomographic evaluation of blunt abdominal trauma: a literature review*. J Trauma Nurs, 2012. 19(1): E1-4.
76. *ACR Manual on Contrast Media*. 2013 [abgerufen am 17.12.2013]; unter:  
[http://www.acr.org/~media/ACR/Documents/PDF/QualitySafety/Resources/Contrast%20Manual/2013\\_Contrast\\_Media.pdf](http://www.acr.org/~media/ACR/Documents/PDF/QualitySafety/Resources/Contrast%20Manual/2013_Contrast_Media.pdf)
77. Fleischmann, D. and A. Kamaya, *Optimal vascular and parenchymal contrast enhancement: the current state of the art*. Radiol Clin North Am, 2009. 47(1): 13-26.
78. Fleischmann, D., *How to design injection protocols for multiple detector-row CT angiography (MDCTA)*. Eur Radiol, 2005. 15 Suppl 5: E60-5.
79. Li, J., U.K. Udayasankar, X. Tang, J. Carew, T.L. Toth und W.C. Small, *An optimal contrast dose indicator for the determination of hepatic enhancement in abdominal multidetector computed tomography: comparison of patient attenuation indicator with total body weight and body mass index*. J Comput Assist Tomogr, 2010. 34(6): 874-8.
80. Isogai, T., M. Jinzaki, Y. Tanami, H. Kusuzaki, M. Yamada und S. Kuribayashi, *Body weight-tailored contrast material injection protocol for 64-detector row computed tomography coronary angiography*. Jpn J Radiol, 2011. 29(1): 33-8.
81. Kondo, H., M. Kanematsu, S. Goshima, Y. Tomita, M.J. Kim, N. Moriyama, M. Onozuka, Y. Shiratori und K.T. Bae, *Body size indexes for optimizing iodine dose for aortic and hepatic enhancement at multidetector CT: comparison of total body weight, lean body weight, and blood volume*. Radiology, 2010. 254(1): 163-9.

82. Kondo, H., M. Kanematsu, S. Goshima, H. Watanabe, M. Onozuka, N. Moriyama und K.T. Bae, *Aortic and hepatic enhancement at multidetector CT: evaluation of optimal iodine dose determined by lean body weight*. Eur J Radiol, 2011. 80(3): e273-7.
83. Kondo, H., M. Kanematsu, S. Goshima, H. Watanabe, H. Kawada, N. Moriyama und K.T. Bae, *Body size indices to determine iodine mass with contrast-enhanced multi-detector computed tomography of the upper abdomen: does body surface area outperform total body weight or lean body weight?* Eur Radiol, 2013. 23(7): 1855-61.
84. Nguyen, D., A. Platon, K. Shanmuganathan, S.E. Mirvis, C.D. Becker und P.A. Poletti, *Evaluation of a single-pass continuous whole-body 16-MDCT protocol for patients with polytrauma*. AJR Am J Roentgenol, 2009. 192(1): 3-10.
85. Fanucci, E., V. Fiaschetti, A. Rotili, R. Floris und G. Simonetti, *Whole body 16-row multislice CT in emergency room: effects of different protocols on scanning time, image quality and radiation exposure*. Emerg Radiol, 2007. 13(5): 251-7.
86. Yaniv, G., O. Portnoy, D. Simon, S. Bader, E. Konen und L. Guranda, *Revised protocol for whole-body CT for multi-trauma patients applying triphasic injection followed by a single-pass scan on a 64-MDCT*. Clin Radiol, 2013. 68(7): 668-75.
87. Sedlic, A., C.M. Chingcoe, D.K. Tso, S. Galea-Soler und S. Nicolaou, *Rapid imaging protocol in trauma: a whole-body dual-source CT scan*. Emerg Radiol, 2013. 20(5): 401-8.
88. Parrish, F.J., *Volume CT: state-of-the-art reporting*. AJR Am J Roentgenol, 2007. 189(3): 528-34.
89. Geijer, M. und G.Y. El-Khoury, *MDCT in the evaluation of skeletal trauma: principles, protocols, and clinical applications*. Emerg Radiol, 2006. 13(1): 7-18.
90. Kool, D.R. und J.G. Blickman, *Advanced Trauma Life Support. ABCDE from a radiological point of view*. Emerg Radiol, 2007. 14(3): 135-41.
91. Korner, M., M. Krotz, K.G. Kanz, K.J. Pfeifer, M. Reiser und U. Linsenmaier, *Development of an accelerated MSCT protocol (Triage MSCT) for mass casualty incidents: comparison to MSCT for single-trauma patients*. Emerg Radiol, 2006. 12(5): 203-9.
92. Korner, M., M.M. Krotz, S. Wirth, S. Huber-Wagner, K.G. Kanz, H.F. Boehm, M. Reiser und U. Linsenmaier, *Evaluation of a CT triage protocol for mass casualty incidents: results from two large-scale exercises*. Eur Radiol, 2009. 19(8): 1867-74.
93. Sierink, J.C., T.P. Saltzherr, M.R. Wirtz, G.J. Streekstra, L.F. Beenen und J.C. Goslings, *Radiation exposure before and after the introduction of*

- a dedicated total-body CT protocol in multitrauma patients.* Emerg Radiol, 2013.
94. Costello, J.E., N.D. Cecava, J.E. Tucker und J.L. Bau, *CT radiation dose: current controversies and dose reduction strategies.* AJR Am J Roentgenol, 2013. 201(6): 1283-90.
  95. Ptak, T., J.T. Rhea und R.A. Novelline, *Radiation dose is reduced with a single-pass whole-body multi-detector row CT trauma protocol compared with a conventional segmented method: initial experience.* Radiology, 2003. 229(3): 902-5.
  96. Noel, P.B., B. Renger, M. Fiebich, D. Munzel, A.A. Fingerle, E.J. Rummeny und M. Dobritz, *Does Iterative Reconstruction Lower CT Radiation Dose: Evaluation of 15,000 Examinations.* PLoS One, 2013. 8(11): e81141.
  97. Pickhardt, P.J., M.G. Lubner, D.H. Kim, J. Tang, J.A. Ruma, A.M. del Rio und G.H. Chen, *Abdominal CT with model-based iterative reconstruction (MBIR): initial results of a prospective trial comparing ultralow-dose with standard-dose imaging.* AJR Am J Roentgenol, 2012. 199(6): 1266-74.
  98. Grupp, U., M.L. Schafer, H. Meyer, A. Lembcke, A. Pollinger, G. Wieners, D. Renz, P. Schwabe und F. Streitparth, *Reducing Radiation Dose in Emergency CT Scans While Maintaining Equal Image Quality: Just a Promise or Reality for Severely Injured Patients?* Emerg Med Int, 2013. 2013: 984645.
  99. Schindera, S.T., C. Nauer, R. Treier, P. Trueb, G. von Allmen, P. Vock und Z. Szucs-Farkas, *Strategies for reducing the CT radiation dose.* Radiologe, 2010. 50(12): 1120, 1122-7.
  100. Benson, M., K.L. Koenig und C.H. Schultz, *Disaster triage: START, then SAVE--a new method of dynamic triage for victims of a catastrophic earthquake.* Prehosp Disaster Med, 1996. 11(2): 117-24.
  101. Lerner, E.B., R.B. Schwartz, P.L. Coule und R.G. Pirrallo, *Use of SALT triage in a simulated mass-casualty incident.* Prehosp Emerg Care, 2010. 14(1): 21-5.
  102. Mills, A.F., N.T. Argon, S. Ziya, B. Hiestand und J. Winslow, *ReSTART: A Novel Framework for Resource-Based Triage in Mass-Casualty Events.* J Spec Oper Med, 2014. 14(1): 30-9.
  103. Hornburger, P., S. Schuster, G. Schmöller und E. Höcherl, *Das Münchener Wellenmodell - Verteilungsmatrix für Patienten bei einem Massenanfall von Verletzten.* Brandschutz 6/06, 2006. 6/06(6/06): 380-386.
  104. Postma, I.L., H. Weel, M.J. Heetveld, I. van der Zande, T.S. Bijlsma, F.W. Bloemers und J.C. Goslings, *Patient distribution in a mass casualty event of an airplane crash.* Injury, 2013. 44(11): 1574-8.

105. Bail, H.J., C. Kleber, N.P. Haas, P. Fischer, L. Mahlke, G. Matthes, S. Ruchholtz und J.W. Weidinger, *Distribution planning of injured persons in mass disasters or catastrophes. Structuring of hospital capacities exemplified by the catastrophe network of the German Society for Trauma Surgery (DGU)*. Unfallchirurg, 2009. 112(10): 870-7.
106. Mueck, F.G., K. Wirth, M. Muggenthaler, K.G. Kanz, U. Kreimeier, D. Maxien, U. Linsenmeier, W. Mutschler und S. Wirth, *Prätherapeutische Ablaufanalyse bei einem Massenanfall von Verletzten (MANV)*. Der Unfallchirurg, angenommen am 12.5.2016.
107. Korner, M., L.L. Geyer, S. Wirth, M.F. Reiser und U. Linsenmaier, *64-MDCT in mass casualty incidents: volume image reading boosts radiological workflow*. AJR Am J Roentgenol, 2011. 197(3): W399-404.
108. Mueck, F.G., K. Wirth, M. Muggenthaler, U. Kreimeier, L. Geyer, K.G. Kanz, U. Linsenmaier und S. Wirth, *Radiological mass casualty incident (MCI) workflow analysis: single-centre data of a mid-scale exercise*. Br J Radiol, 2016: 20150918.
109. Sasser, S.M., R.C. Hunt, M. Faul, D. Sugerman, W.S. Pearson, T. Dulski, M.M. Wald, G.J. Jurkovich, C.D. Newgard und E.B. Lerner, *Guidelines for field triage of injured patients: recommendations of the National Expert Panel on Field Triage, 2011*. MMWR Recomm Rep, 2012. 61(RR-1): 1-20.
110. McCoy, C.E., B. Chakravarthy und S. Lotfipour, *Guidelines for Field Triage of Injured Patients: In conjunction with the Morbidity and Mortality Weekly Report published by the Center for Disease Control and Prevention*. West J Emerg Med, 2013. 14(1): 69-76.
111. Wolf, S., A. Partenheimer, C. Voigt, R. Kunze, H.A. Adams und H. Lill, *[Primary care hospital for a mass disaster MANV IV. Experience from a mock disaster exercise]*. Unfallchirurg, 2009. 112(6): 565-74.
112. Hick, J.L., M.D. Christian und C.L. Sprung, *Chapter 2. Surge capacity and infrastructure considerations for mass critical care. Recommendations and standard operating procedures for intensive care unit and hospital preparations for an influenza epidemic or mass disaster*. Intensive Care Med, 2010. 36 Suppl 1: S11-20.
113. Kanz, K.G., S. Huber-Wagner, R. Lefering, M. Kay, M. Qvick, P. Biberthaler und W. Mutschler, *Estimation of surgical treatment capacity for managing mass casualty incidents based on time needed for life-saving emergency operations*. Unfallchirurg, 2006. 109(4): 278-84.
114. Sefrin, P. und H. Kuhnigk, *[The role of patient flow and surge capacity for in-hospital response in mass casualty events]*. Anasthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther, 2008. 43(3): 232-5.
115. Huber-Wagner, S., R. Lefering, M.V. Kay, J. Stegmaier, P.N. Khalil, A.O. Paul, P. Biberthaler, W. Mutschler und K.G. Kanz, *Duration and*

- predictors of emergency surgical operations--basis for medical management of mass casualty incidents. Eur J Med Res, 2009. 14: 532-40.*
116. Sprung, C.L., J.L. Zimmerman, M.D. Christian, G.M. Joynt, J.L. Hick, B. Taylor, G.A. Richards, C. Sandroock, R. Cohen und B. Adini, *Recommendations for intensive care unit and hospital preparations for an influenza epidemic or mass disaster: summary report of the European Society of Intensive Care Medicine's Task Force for intensive care unit triage during an influenza epidemic or mass disaster. Intensive Care Med, 2010. 36(3): 428-43.*
  117. Adesunkanmi, A.R. und A.O. Lawal, *Management of mass casualty: a review. Niger Postgrad Med J, 2011. 18(3): 210-6.*
  118. Markogiannakis, H., E. Sanidas, E. Messaris, D. Koutentakis, K. Alpantaki, A. Kafetzakis und D. Tsiftsis, *Predictors of in-hospital mortality of trauma patients injured in vehicle accidents. Ulus Travma Acil Cerrahi Derg, 2008. 14(2): 125-31.*
  119. Russo, A., *Negative and positive prognostic factors in polytrauma, especially referring to "golden hour". Ann Ital Chir, 2009. 80(5): 337-49.*

## 9 Lebenslauf

Persönliche Daten:

Maximilian Rudolf Muggenthaler

Geb. Am 21.05.1984

In München

Familienstand: ledig

Schulbildung:

2003

Abitur am Städtischen Luisengymnasium

München

Studium:

10/2007-1/2014

Studium der Zahnmedizin an der LMU

München

1/2014

Staatsexamen Zahnmedizin

Beruflicher Werdegang:

04/2014

Erteilung der Approbation als Zahnarzt durch

die Regierung von Oberbayern

Seit 04/2014

Assistenz Zahnarzt in Zahnarztpraxis,

Penzberg

## **Eidesstattliche Versicherung**

Muggenthaler, Maximilian

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Thema „Radiologische Versorgung Schwerstverletzter – Der aktuelle Stand für Polytrauma sowie die Auswertung eines universitären Zentrums im Falle der Simulation eines Massenanfalls von Verletzten“ selbständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe. Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

-----  
Ort, Datum

-----  
Unterschrift Doktorand