

Technische Universität München

Fakultät für Medizin

Lehrstuhl für Unfallchirurgie

Klinik und Poliklinik für Unfallchirurgie

**Wandel der Sterblichkeitsverteilung Schwerverletzter –
Eine Analyse des TraumaRegisters®
der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie**

Dr. med. univ. Rauend Rauf

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Medizin der Technischen Universität
München zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Medizin
genehmigten Dissertation.

Vorsitzender:

Prof. Dr. Jürgen Schlegel

Prüfer der Dissertation:

1. apl. Prof. Dr. Stefan Huber-Wagner
2. Prof. Dr. Peter Biberthaler

Die Dissertation wurde am 14.12.2017 bei der Technischen Universität München eingereicht und
durch die Fakultät für Medizin am 31.07.2018 angenommen.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	I
1 Einleitung.....	1
1.1 Definition des Polytraumas	1
1.2 Epidemiologie des Polytraumas	2
1.3 Die klassische trimodale Sterblichkeitsverteilung Schwerverletzter	3
1.4 Problemstellung und Studienziel.....	6
2 Material und Methode	7
2.1 Studiendesign	7
2.2 Das TraumaRegister® der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (TR-DGU).....	7
2.3 Studienpopulation: Ein- und Ausschlusskriterien	9
2.4 Analyseparameter	11
2.5 Biometrie	12
2.6 Ethikvotum und Publikation	13
3 Ergebnisse.....	14
3.1 Basisdaten	14
3.2 Zeitliche Mortalitätsverteilung schwerverletzter Patienten	15
3.3 Korrelation zwischen Alter und Zeit bis zum Versterben.....	18
3.4 Unfallmechanismus und -ursachen	19
3.5 Verletzte Körperregion	20
3.6 Verletzungsmuster und Überlebensrate	21
3.7 Sepsis und Multiorganversagen	22
3.8 Rettungstransportzeit, Intensivstation-Liegedauer und Intubationszeiten.....	23
4 Diskussion	24
5 Zusammenfassung.....	35
6 Literaturverzeichnis.....	37
7 Anhang.....	41
7.1 Abbildungsverzeichnis	41
7.2 Danksagung	42

Abkürzungsverzeichnis

AIS	Abbreviated Injury Scale
ATLS [®]	Advanced Trauma Life Support
AUC	Akademie der Unfallchirurgie GmbH
CT	Computertomographie
DCS	<i>Damage control strategy oder surgery</i>
FAST	Focused Assessment with Sonography for Trauma
GCS	Glasgow-Coma-Scale
ICU	Intensive care unit (Intensivstation)
IMC	Intermediate care unit (Observations- oder Wachstation)
ISS	Injury Severity Score
MOV	Multiorganversagen
NIS	Notfall-, Intensivmedizin und Schwerverletztenversorgung, eine Sektion der DGU
SHT	Schädel-Hirn-Trauma
TARN	Trauma Audit and Research Network, britisches Traumaregister
TR-DGU	TraumaRegister [®] der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie
ZNS	Zentrales Nervensystem

1 Einleitung

1.1 Definition des Polytraumas

Das Polytrauma ist charakterisiert durch gleichzeitig entstandene Verletzungen mehrerer Körperregionen oder Organsysteme, wobei wenigstens eine oder die Kombination mehrerer Verletzungen zum Tode führen kann (Tscherne, Oestern et al. 1984).

Trotz dieser präzisen Definition wird der Begriff „Polytrauma“ im klinischen Alltag oft ungenau verwendet, da die Einschätzung der Lebensbedrohlichkeit in der Regel subjektiven Einflüssen unterliegt. Aus diesem Grund wurden zum Zwecke einer objektiveren Einstufung der Verletzungsschwere Scoring-Systeme, die sich aus verschiedenen Variablen zusammensetzen, eingeführt.

Auf der Grundlage anatomischer und/oder physiologischer Parameter helfen Trauma-Score-Systeme, die Verletzungsschwere aber auch die vitale Bedrohung zu erfassen und in einem einfachen Zahlenwert auszudrücken.

International bewährt und sowohl klinisch als auch in der Literatur am häufigsten verwendet wird der *Injury Severity Score* (ISS), der bereits in den 70iger Jahren von Baker et al. erstmals vorgestellt worden war (Baker, o'Neill et al. 1974).

Grundlage des ISS ist die Erfassung des anatomischen Verletzungsmusters, das wiederum durch die sog. *Abbreviated Injury Scale* (AIS) eingestuft wird: Die AIS unterteilt den Körper in sechs Regionen, so dass der Grad der Verletzung jeder Region von 1 bis 6 bewertet werden kann. Um den ISS zu berechnen, müssen die drei am schwersten verletzten Körperregionen identifiziert werden. Der jeweilige Punktwert dieser drei Regionen wird quadriert und die drei resultierenden Werte zu einem Gesamtwert addiert. Der ISS umfasst Werte von 0 (keine Verletzung) bis 75 (schwerste Verletzung). Weist eine der verletzten Körperregionen einen AIS-Wert von 6, so resultiert definitionsgemäß obligat ein maximaler ISS-Wert von 75. Hohe Werte kennzeichnen somit eine schwere anatomische Verletzung und korrelieren dementsprechend mit einer höheren Sterblichkeit und schlechteren Prognose.

International anerkannt ist die Definition des Polytraumas durch einen $ISS \geq 16$ Punkten, wobei zusätzliche physiologische Risikofaktoren, wie beispielsweise

Bewusstlosigkeit oder Hypotonie, ebenfalls Berücksichtigung finden sollten (Paffrath, Lefering et al. 2014).

1.2 Epidemiologie des Polytraumas

In einer 2015 publizierten retrospektiven Analyse aus dem TraumaRegister® der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (TR-DGU) konnte für polytraumatisierte Patienten mit einem ISS ≥ 16 im Jahre 2012 in Deutschland eine Anzahl von 18.200 – 18.400 hochgerechnet werden; bei einer Einwohnerzahl von insgesamt 81.843.743 im Analysezeitraum entspricht dies einer Inzidenz des Polytraumas von 0,02% pro Jahr (Debus, Lefering et al. 2015).

Gemäß Daten des TR-DGU ist der durchschnittliche Polytraumapatient männlich und im Mittel 45,9 Jahre alt (Lefering, Paffrath et al. 2013).

Trotz verbesserter Verkehrs- und Sicherheitstechnik stellen Verkehrsunfälle mit ca. 55% nach wie vor die häufigsten Unfallmechanismen dar, es folgen Stürze und Suizid(-versuche). Das stumpfe Trauma stellt mit zirka 95% in westeuropäischen Ländern die häufigste Form der Gewalteinwirkung bei schwerverletzten Unfallopfern dar (Soreide, Kruger et al. 2007, de Knecht, Meylaerts et al. 2008), wohingegen in den USA das penetrierende Trauma durch Schusswunden seit Jahrzehnten unverändert eine stärkere Rolle spielt (Trunkey and Lim 1974, Baker, Oppenheimer et al. 1980, Sauaia, Moore et al. 1995, Demetriades, Kimbrell et al. 2005). Das Schädel-Hirn-Trauma stellt die am häufigsten zum Tode führende Verletzung bei polytraumatisierten Patienten dar, gefolgt von der Verblutung und dem Multiorganversagen (Soreide, Kruger et al. 2007, de Knecht, Meylaerts et al. 2008), dabei folgen diese Todesursachen einer zeitlichen Verteilung (siehe 1.3.).

Die Letalität polytraumatisierter Patienten zeigte gemäß einer publizierten Analyse aus dem TR-DGU in einem Untersuchungszeitraum von 13 Jahren bei gleichbleibender Verletzungsschwere und Prognose einen Rückgang von 22,8% auf 18,7%, was unter anderem auf Verbesserungen präklinischer und klinischer Therapieansätze in deutschen Kliniken zurückgeführt wird (Ruchholtz, Lefering et al. 2008).

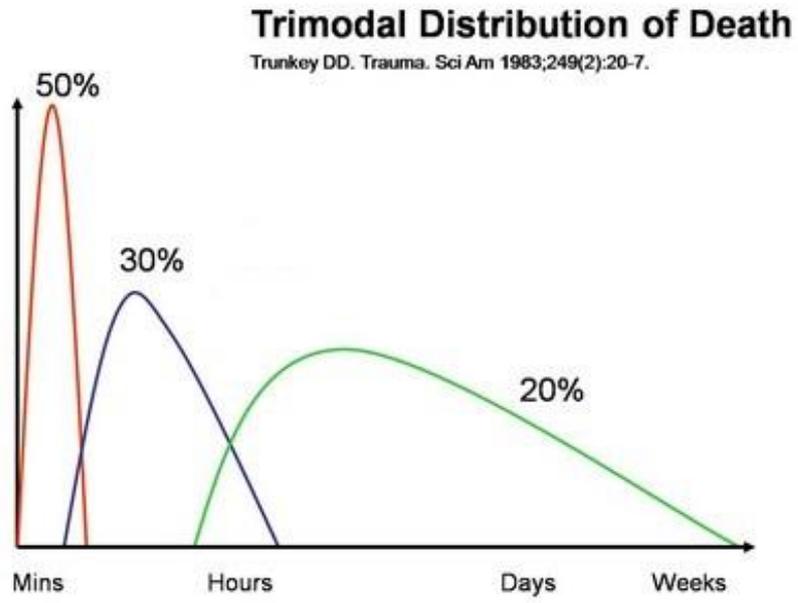
Nur knapp 60% der Schwerverletzten können wieder vollwertig in ihren Beruf zurückkehren, was die unverändert hohe sozioökonomische Bedeutung des

Polytraumas unterstreicht (Holtslag, Post et al. 2007). Dabei werden pro Patient die Therapiekosten für Akutbehandlung und Rehabilitation auf 106.000 Euro geschätzt, kehren die Betroffenen aufgrund einer bleibenden Behinderung nicht mehr in ihren Beruf zurück, so steigen die Kosten auf 935.000 Euro (Haeusler, Tobler et al. 2006).

1.3 Die klassische trimodale Sterblichkeitsverteilung Schwerverletzter

Vor mittlerweile fast fünfzig Jahren stellten Baker und Trunkey in einer retrospektiven Analyse von Autopsieberichten verstorbener Unfallopfer das trimodale Sterblichkeitsmodell schwerverletzter Patienten erstmals in mehreren Publikationen vor (Trunkey and Lim 1974, Baker, Oppenheimer et al. 1980, Trunkey 1983). Dabei unterschieden sie hinsichtlich der zeitlichen Verteilung der Mortalität von Traumapatienten drei Gipfel: Der erste sogenannte „Peak“ umfasste die Unfallopfer, die unmittelbar noch am Unfallort beziehungsweise noch während des Transports in ein Krankenhaus verstarben, in der Regel aufgrund nicht überlebbarer Verletzungen, wie beispielsweise eines schwersten offenen Schädel-Hirn-Traumas oder einer Aortenruptur. Der zweite Gipfel beinhaltete die sogenannten „frühen“ Toten, die innerhalb der ersten Stunden nach Einlieferung in den Schockraum oder noch während einer unmittelbar durchgeführten Notfalloperation verstarben, in der Regel aufgrund schwerer Verletzungen, die aber als potentiell überlebbar eingestuft wurden. Hierzu gehören beispielsweise das schwere Schädel-Hirn-Trauma, eine massive Hämorrhagie oder ein schweres Thoraxtrauma. Der dritte Gipfel schließlich repräsentierte die sogenannten „späten“ Toten, die innerhalb von Tagen bis Wochen verstarben, wobei hier als Todesursachen Sepsis und Multiorganversagen prädominierten. Gemäß diesem sogenannten trimodalen Sterblichkeitsmodell, das seit der Publikation in einer Review von Trunkey im Jahre 1988 (Trunkey and Blaisdell 1988) in die einschlägige Fachliteratur Eingang fand, versterben zirka die Hälfte aller Unfallopfer „sofort“, rund 30% versterben „früh“ binnen Stunden und zirka 20% versterben „spät“ innerhalb von Tagen bis Wochen.

Abb. 1: Grafik – Klassische Trimodale Sterblichkeitsverteilung des Traumas (nach Trunkey 1983).



Etwa fünfzehn Jahre später wurde die Epidemiologie des Traumas durch Sauaia und Kollegen neu evaluiert: Basierend auf retrospektiven Daten in einem U.S.-Bundesstaat konnten Sie aufzeigen, dass die zeitliche Verteilung der Traumasterblichkeit keinem phasischen Muster folgte, sondern linear abnahm (Sauaia, Moore et al. 1995). Diese und weitere nachfolgende Studien, die ebenso keine Trimodalität nachweisen konnten, umfassten jedoch meist kleinere Patientenpopulationen innerhalb enger geographischer Grenzen mit inhomogenen Daten, die teils aus Polizeiberichten und Autopsiebefunden extrahiert wurden (Daly and Thomas 1992, Shackford, Mackersie et al. 1993, Sahdev, Lacqua et al. 1994, Esposito, Sanddal et al. 1995, Meislin, Criss et al. 1997, Stewart, Myers et al. 2003, Demetriades, Murray et al. 2004, Shen, Marcotte et al. 2006, Teixeira, Inaba et al. 2007).

Als Ursache für den Wandel in der zeitlichen Mortalitätsverteilung wird die stetige Verbesserung der intensivmedizinischen Therapie sowie Fortschritte in der präklinischen und klinischen Akutversorgung schwerverletzter Patienten angesehen (Ruchholtz, Lefering et al. 2008, Probst, Pape et al. 2009). So konnten Ruchholtz und Kollegen anhand großvolumiger, retrospektiver Daten des TraumaRegisters® der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie in einem Zeitraum von 13 Jahren (1993-2005) für das Polytrauma-Management die Verbesserungen von Diagnostik, Therapie aber auch die koordinierte Organisation von Kliniken in einem Traumanetzwerk mit einer Reduktion der Polytraumamortalität von 22,8% auf 18,7% korrelieren (Ruchholtz, Lefering et al. 2008). Neben einer Verkürzung der Zeitspannen bis zur Durchführung diagnostischer Maßnahmen wie die initiale Ultraschalluntersuchung im Schockraum (FAST, Focused Abdominal Sonography in Trauma) und einem frühen Einsatz der Computertomografie konnten auch eine zunehmende Implementierung schadensbegrenzter Notfalloperationen (Blutstillung, externe Fixation von Frakturen), die unter dem englischen Überbegriff *damage control strategy* (DCS) subsummiert werden, beobachtet werden.

1.4 Problemstellung und Studienziel

Die trimodale Sterblichkeitsverteilung stellt das klassische (historische) Modell der Sterblichkeitsverteilung Schwerverletzter dar. Zugrundeliegend sind allerdings Daten, die in den USA vor fast 50 Jahren erhoben worden waren. Des Weiteren sind sowohl die damaligen Analysen als auch aktuellere Untersuchungen zu diesem Thema in der Regel aus einzelnen Traumazentren oder regionalen Verbänden (Meislin, Criss et al. 1997, Demetriades, Kimbrell et al. 2005, McGwin, Nunn et al. 2009, Kleber, Giesecke et al. 2012), oder sie untersuchten nicht explizit die Verteilung der Todesfälle nach zeitlichem Muster.

Ziel der gegenwärtigen Studie ist es, zu klären, inwieweit sich dieses epidemiologische Modell auf ein europäisches System mit einer gereiften und organisiert vernetzten Traumaversorgung übertragen lässt. Anhand großvolumiger retrospektiver Daten des TraumaRegisters® der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie soll die trimodale Verteilung im Angesicht eines modernen Traumasystems gegebenenfalls widerlegt werden.

Für die Einschätzung, die Behandlung und die Vorhaltung von Ressourcen im Rahmen der Schwerverletztenversorgung können diese Daten von Bedeutung sein.

2 Material und Methode

2.1 Studiendesign

Bei der vorliegenden Arbeit handelt es sich um eine retrospektive, multizentrische Kohortenstudie mit der Auswertung des TraumaRegisters® der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (TR-DGU).

2.2 Das TraumaRegister® der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (TR-DGU)

Neben der Beantwortung wissenschaftlicher Fragestellungen ist das vordergründige Ziel des TR-DGU eine detaillierte und standardisierte Evaluierung der klinischen Behandlungsqualität Schwerverletzter (Nienaber 2014). Durch allgemeine Versorgungsdaten wie beispielsweise des Statistischen Bundesamtes oder der Krankenkassen ist dies in zweckdienlicher Weise nicht möglich, da diese Quellen in der Regel keine Daten zur Verletzungsschwere oder Behandlungszeiten und spezifische Therapiemaßnahmen der einzelnen Patienten beinhalten, was für eine nachhaltige klinische Qualitätssicherung aber von großer Relevanz ist (Ruchholtz, Lefering et al. 2013).

Vor mittlerweile 25 Jahren wurde auf Initiative einiger deutscher Unfallchirurgen die Arbeitsgruppe „AG Scoring“ gegründet, um die damals aufkommenden Trauma-Scoring-Systeme in Deutschland zu etablieren. Da in erster Linie Daten von Polytraumapatienten analysiert wurden, wurde die Arbeitsgruppe bald in „AG Polytrauma“ umbenannt, die 1993 das TR-DGU gründete. Waren es im Gründungsjahr noch sechs Kliniken, die sich an der Erhebung der Registerdaten beteiligten, so waren es zwanzig Jahre später über 600 (Nienaber 2014). Dabei ist die Beteiligung einer Klinik am TR-DGU grundsätzlich auf freiwilliger Basis, für Kliniken, die als Teil des TraumaNetzwerk DGU® als Traumazentrum zertifiziert sind allerdings, ist die Teilnahme aus Gründen der Qualitätssicherung verpflichtend. 90% der teilnehmenden Kliniken befinden sich in Deutschland, daneben besteht aber auch eine zunehmende

Beteiligung ausländischer Kliniken (Österreich, Schweiz, Niederlande, Belgien, Finnland, Luxemburg, Slowenien und die Vereinigten Arabischen Emirate).

Ein- und Ausschlusskriterien des TR-DGU:

Da die Behandlungsqualität einer Klinik insbesondere bei schwerverletzten Patienten einer kritischen Beurteilung unterzogen werden sollte, wurden für das Register Einschlusskriterien definiert. Hierbei können initial aus Gründen der Umsetzbarkeit keine Scoring-Werte herangezogen werden.

Als wesentliches Einschlusskriterium von Verletzten in das Register wurde die Einlieferung über den Schockraum mit einer zu erwartenden intensivmedizinischen Weiterbehandlung oder die Ankunft in einer Klinik mit Vitalzeichen aber Versterben noch vor Transfer auf die Intensivstation definiert (Nienaber 2014).

Daneben bestehen auch Ausschlusskriterien, wie beispielsweise Verbrennungs- oder Ertrinkungsopfer, die aus deskriptiven Gründen (z.B. Prognose) und aufgrund differierender Therapiealgorithmen, nicht miteinbezogen werden können. Neben dem Ausschluss leicht verletzter Patienten hat dies den Vorteil, dass zum einen das Register durch diese Fälle nicht „verwässert“ wird, zum anderen kann die ohnehin aufwendige Dokumentationsarbeit in tolerablen Grenzen gehalten werden (Mattiassich, Litzlbauer et al. 2016).

Dokumentation und Auswertung:

Die standardisierte Dokumentation erfolgt in einer zentralen Datenbank. Im Stammbblatt des Registers werden patientenbezogene und epidemiologische Daten wie Alter, Geschlecht, Unfallmechanismus und, soweit möglich, Vorerkrankungen erhoben. Gegliedert in den vier aufeinanderfolgenden Phasen 1) Präklinik, 2) Schockraum und anschließende Operation, 3) Intensivstation und 4) Entlassung werden neben demografischen und verletzungsbezogenen Daten auch detaillierte Informationen über das präklinische und klinische Vorgehen, den intensivmedizinischen Behandlungsverlauf, laborchemische Befunde und Transfusionsdaten erfasst. Einmal jährlich werden von den beteiligten Kliniken die aus dem Schockraumprotokoll und der klinikinternen Patientenakte extrahierten Daten eingeschlossener Traumapatienten

über einen zentralen Server anonymisiert eingegeben und an die Datenbank elektronisch übermittelt. So wurden beispielsweise im Jahr 2015 von knapp 650 Kliniken über 40.000 Fälle registriert.

Im Rahmen klinikinterner und allgemeiner Jahresberichte des TR-DGU werden bis zum Ende der jeweiligen Berichtsperiode die Daten zum Zwecke der Qualitätssicherung ausgewertet und präsentiert. In diesem Kontext werden die Daten der teilnehmenden Kliniken miteinander verglichen, um so im Sinne eines Qualitätsmanagements die Standortbestimmung zu sichern.

Organisation und wissenschaftliche Leitung:

Die Akademie der Unfallchirurgie GmbH (AUC GmbH) übernimmt neben dem Management von Infrastruktur und Betrieb des TR-DGU auch die Aufgaben im Bereich der technischen und organisatorischen Entwicklung sowie die Datenverarbeitung und biostatistische Analysen.

Die Sektion Notfall, Intensivmedizin und Schwerverletztenversorgung der DGU (Sektion NIS) übernimmt die wissenschaftliche Leitung des TR-DGU, im Rahmen derer Auswertungen und daraus hervorgehende Publikationen in einem Reviewverfahren genehmigt werden.

2.3 Studienpopulation: Ein- und Ausschlusskriterien

Patientendaten, die zwischen 2002 und 2015 im TR-DGU erfasst wurden, wurden retrospektiv analysiert. Eingeschlossen wurden schwerverletzte Patienten, die nach Einlieferung in die Klinik verstorben waren. Die Verletzungsschwere wurde als ISS-Wert ausgedrückt, basierend auf der AIS in der Fassung von 2005 mit 450 Kennziffern. Verletzungsnummern aus der vorangehenden AIS-Fassung 1998 wurden entsprechend angepasst einkalkuliert.

Als schwerverletzt wurden Patienten mit einem $ISS \geq 16$ definiert, wobei auch physiologische Parameter wie Alter und Bewusstseinsstatus (Glasgow-Coma-Scale, GCS) mitberücksichtigt wurden, wie dies zur differenzierteren Einstufung

schwerverletzter Unfallopfer von Paffrath und Kollegen empfohlen wird (Paffrath, Lefering et al. 2014).

Voraussetzung für den Einschluss in die Analyse war das Vorhandensein des Aufnahme- und Sterbedatums in der Klinik. Davon ausgehend wurde die zeitliche Sterblichkeitsverteilung in ihrem Verlauf über Stunden, Tage und Wochen analysiert. Von einer Aufteilung in strikte Zeitintervalle, z.B. „Stunde 0-3“, „4-6“ etc. wurde abgesehen, um eine Verzerrung der Mortalitätsverteilung durch zu rigide Zeitabstände zu vermeiden (Soreide, Kruger et al. 2007). Starben Patienten innerhalb der ersten 60 Minuten nach Einlieferung in die Klinik, so wurde dies als „Stunde 0“ definiert, bei Versterben innerhalb von 60 bis 120 Minuten als „Stunde 1“ etc. Der Tag des Todes wurde als „1“ definiert, wenn Verletzte innerhalb von 24 bis 48 Stunden nach Einlieferung in die Klinik verstarben. War der genaue Zeitpunkt der Aufnahme beziehungsweise des Todes nicht dokumentiert, wurde die Zeit bis zum Versterben als Differenz zwischen dem Datum der Aufnahme und des Todes in Tagen angegeben.

Unfallopfer, die vor Ankunft in die Klinik, das heißt am Unfallort oder während des Transports verstarben, wurden nicht eingeschlossen, weil diese nicht im TR-DGU erfasst werden. Aus demselben Grund wurden auch Verbrennungs-, Ertrinkungs-, Vergiftungs- und Suizidopfer ausgeschlossen, ebenso Patienten, die nach Entlassung aus dem primär behandelnden Traumazentrum verstorben waren. Zuverlegungen aus einer anderen Klinik sowie frühe (innerhalb von 2 Tagen) Weiterverlegungen fanden ebenso keinen Eingang in die Analyse, so dass nur das primär in einem Traumazentrum aufgenommene und ausversorgte Patientengut eingeschlossen werden konnte.

In den Tabellen 1 und 2 sind die Ein- und Ausschlusskriterien zusammengefasst dargestellt.

Tabelle 1: Datenanalyse TR-DGU – Einschlusskriterien:

- Zeitperiode: 2002-2015
- Verletzungsschwere: ISS \geq 16
- Verstorben im Krankenhaus
- Vorhandensein des Aufnahme- und Sterbedatums
- Nur primär aufgenommene Fälle, keine Zu- oder Weiterverlegungen

Tabelle 2: Datenanalyse TR-DGU – Ausschlusskriterien:

- Versterben **vor** Ankunft in der Klinik (am Unfallort, während Transport) – werden im TR-DGU nicht erfasst.
- Versterben nach Entlassung aus der Klinik
- Verbrennungs-, Ertrinkungs-, Vergiftungs- und Suizidopfer
- Zu- oder frühe (innerhalb von 2 Tagen) Weiterverlegung

2.4 Analyseparameter

Primäre Zielgrößen waren die Krankenhausmortalität schwerverletzter Patienten und ihre zeitliche Verteilung. Neben diesen primären Zielparametern wurden auch sekundäre Parameter untersucht. Diese beinhalteten demographische Daten (Alter, Geschlecht), Glasgow-Coma-Scale (GCS)-Wert bei Aufnahme, Unfallmechanismus, verletzte Körperregion, Transportzeit ins Krankenhaus, Liegedauer auf der Intensivstation sowie die Rate an Sepsis und Multiorganversagen (MOV). Die Zeitspanne bis zum Tod wird korreliert mit den genannten sekundären Parametern und als Median angegeben.

In den Tabellen 3 und 4 werden die Zielparameter zusammengefasst dargestellt.

Tabelle 3: Primäre Zielparameter

- Krankenhausmortalität
- Zeitlicher Verlauf der Sterblichkeit: Stunden / Tage / Wochen

Tabelle 4: Sekundäre Zielparameter

- Demographische Daten: Alter, Geschlecht
- GCS bei Aufnahme
- Unfallmechanismus und -ursache:
 - Stumpf/penetrierend
 - Verkehrsunfall (Auto, Motorrad, Fahrrad, Fußgänger),
 - Sturz (Höhe $>/<$ 3 Meter)
- Verletzte Körperregion: Schädel-Hirn-Trauma, Thorax-/Abdomen-/Extremitätentrauma
- Sepsis- und MOV-Rate
- Transportzeit ins Krankenhaus
- Liegedauer auf Intensivstation und Intubationszeiten

2.5 Biometrie

Biometrisch handelt es sich um eine konfirmatorische Studie mit Fallzahlschätzung anhand der genannten primären Zielgrößen und der relevanten Effektstärke. Es erfolgten keine statistischen Testverfahren, da im Hinblick auf das große Patientenkollektiv auch kleinere Unterschiede statistisch signifikant erschienen wären. Die Ergebnisse der Datenanalyse werden als Mittel-, Median- und Prozentwerte angegeben. Das kumulative Überleben in den ersten 30 Tagen in Korrelation mit dem Verletzungsmuster wird in einer Kaplan-Meier-Kurve abgebildet.

2.6 Ethikvotum und Publikation

Die vorliegende Studie erhielt unter der Projektnummer „62/17 S“ von der Ethikkommission der Fakultät für Medizin der Technischen Universität München die volle Zustimmung. Sie wird mit der Identifikationsnummer „2015-031“ in Übereinstimmung mit den Publikationsrichtlinien des TraumaRegisters DGU® nach einem internen Review-Verfahren publiziert.

3 Ergebnisse

3.1 Basisdaten

Im untersuchten Zeitraum von 2002 bis 2015 wurden insgesamt 78.310 schwer verletzte Unfallopfer mit einem ISS ≥ 16 im TR-DGU registriert. Davon waren 14.816 in der klinischen Phase, also nach Einlieferung in ein Traumazentrum, verstorben, was einer Mortalität von 18,9% entspricht. Patienten, die am Unfallort oder noch während des Transports in die Klinik verstorben waren, werden im TR-DGU nicht erfasst und wurden aus diesem Grund nicht in dieser Untersuchung evaluiert.

Der ISS der Verstorbenen betrug im Mittel $36,0 \pm 16,0$, Überlebende wiesen mit $25,2 \pm 9,3$ im Vergleich dazu einen deutlich geringeren ISS auf. Zwei Drittel der Verstorbenen waren männlich und hatten ein mittleres Alter von $59,5$ Jahren $\pm 23,5$ im Vergleich zu den Überlebenden mit $47,3$ Jahren $\pm 20,9$. 2,4% der Verstorbenen waren unter 16 Jahre alt.

Die Basisdaten sind zusammenfassend in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Basisdaten

- Von 2002 bis 2015: 78.310 registrierte Patienten mit ISS ≥ 16
- Davon 14.816 Patienten nach Einlieferung in die Klinik verstorben
- Krankenhausmortalität: 18,9%.

- Mittlerer ISS-Wert der Verstorbenen: $36,0 \pm 16,0$
- Mittlerer ISS-Wert der Überlebenden: $25,2 \pm 9,3$
- Geschlechtsverteilung der Verstorbenen: 66% männlich, 33% weiblich
- Mittleres Alter der Verstorbenen: $59,5 \pm 23,5$ Jahre

3.2 Zeitliche Mortalitätsverteilung schwerverletzter Patienten

Gemessen am Kollektiv der Verstorbenen betrug der Anteil jener, die innerhalb der ersten Stunde nach Einlieferung in die Klinik verstorben waren 10,8%. Nach 6 Stunden war es zu einem linearen Anstieg auf 25,5% des Gesamtkollektivs gekommen, nach 12 Stunden auf 40,0%, nach 24 Stunden 53,2%. Innerhalb der ersten 48 Stunden konnten bereits 61,9% aller Verstorbenen registriert werden.

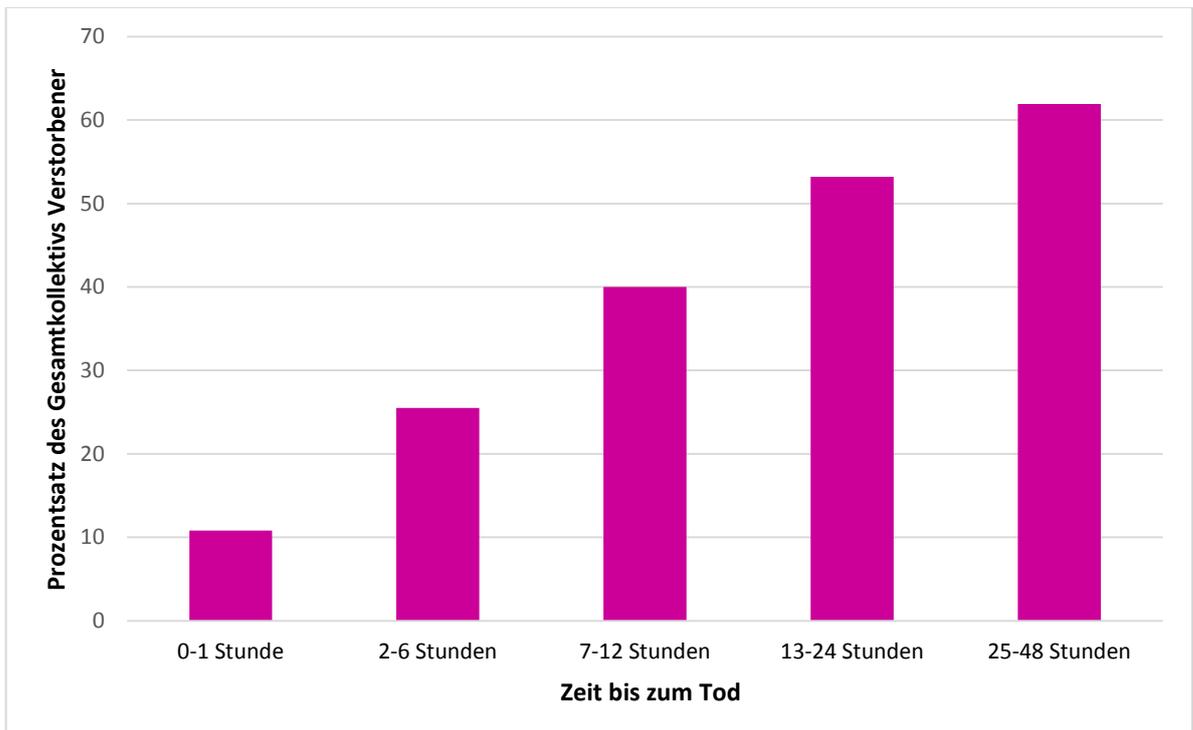


Abb. 2: Prozentsatz des Gesamtkollektivs verstorbener Patienten im zeitlichen Verlauf.

Übertragen auf das Gesamtkollektiv aller registrierten und in die Analyse eingeschlossenen Schwerverletzten waren innerhalb der ersten Stunde nach Einlieferung in die Klinik 2,0% verstorben, nach 6 Stunden 4,8%, nach 12 Stunden 7,6%, nach 24 Stunden 10,1% und nach 48 Stunden 11,7%.

Das Auftreten der Verstorbenen wies einen konstanten Rückgang auf, ein bi- oder triphasischer Verlauf mit Ausbildung von Mortalitätsgipfeln konnte nicht beobachtet werden.

Durch Aufschlüsselung der Totenzahlen in Stundenintervalle und Filterung nach „Liegendauer“ der verstorbenen Patienten, was der Zeit bis zum Tod entspricht, wird die zeitliche Mortalitätsverteilung nach Einlieferung in die Klinik weiter veranschaulicht. Abbildung 3 zeigt, dass die meisten Patienten innerhalb der ersten beiden Stunden nach Einlieferung in die Klinik, dementsprechend im Schockraum bzw. während der akuten OP-Phase, versterben. Im Anschluss daran zeigt sich ein kontinuierlicher Rückgang der Sterblichkeit, ein mehrmodales Muster lässt sich auch hierbei nicht nachweisen.

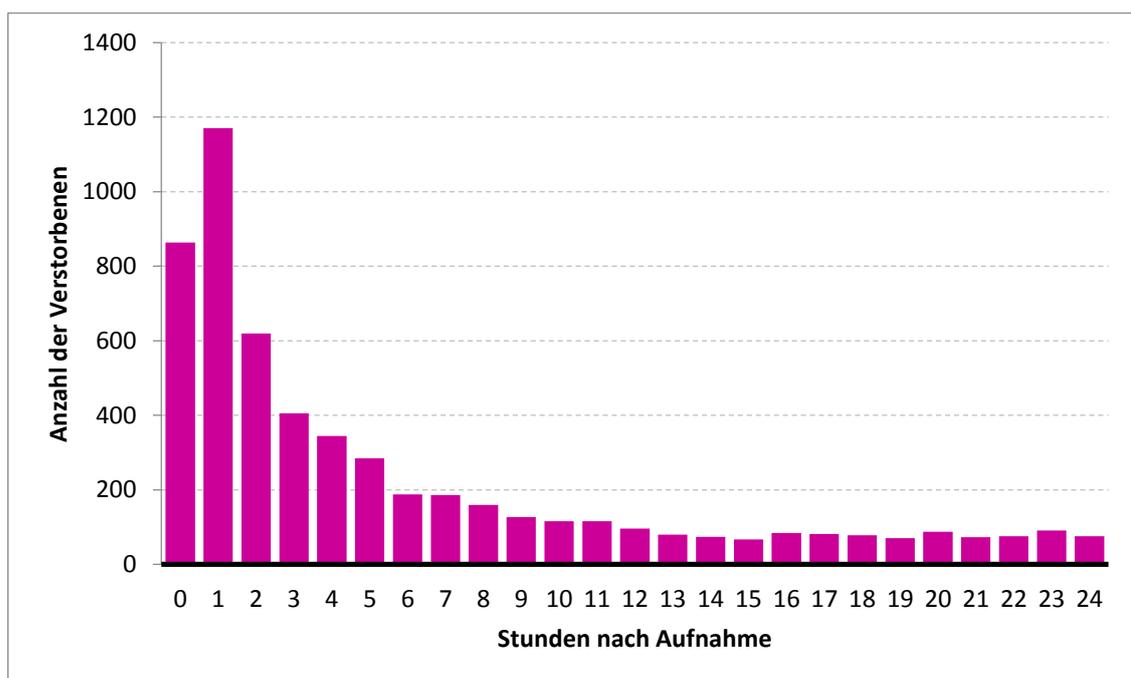


Abb. 3: Zeitliche Verteilung des Auftretens Verstorbener nach Einlieferung in die Klinik – Darstellung in Stunden.

Noch klarer verdeutlicht wird dieses Verteilungsmuster der Mortalität, wenn eine Darstellung in Tagesintervallen erfolgt. Es zeigt sich, dass auch nach mehreren Tagen bis Wochen kein zweiter oder dritter Gipfel der späten Toten zu verzeichnen ist.

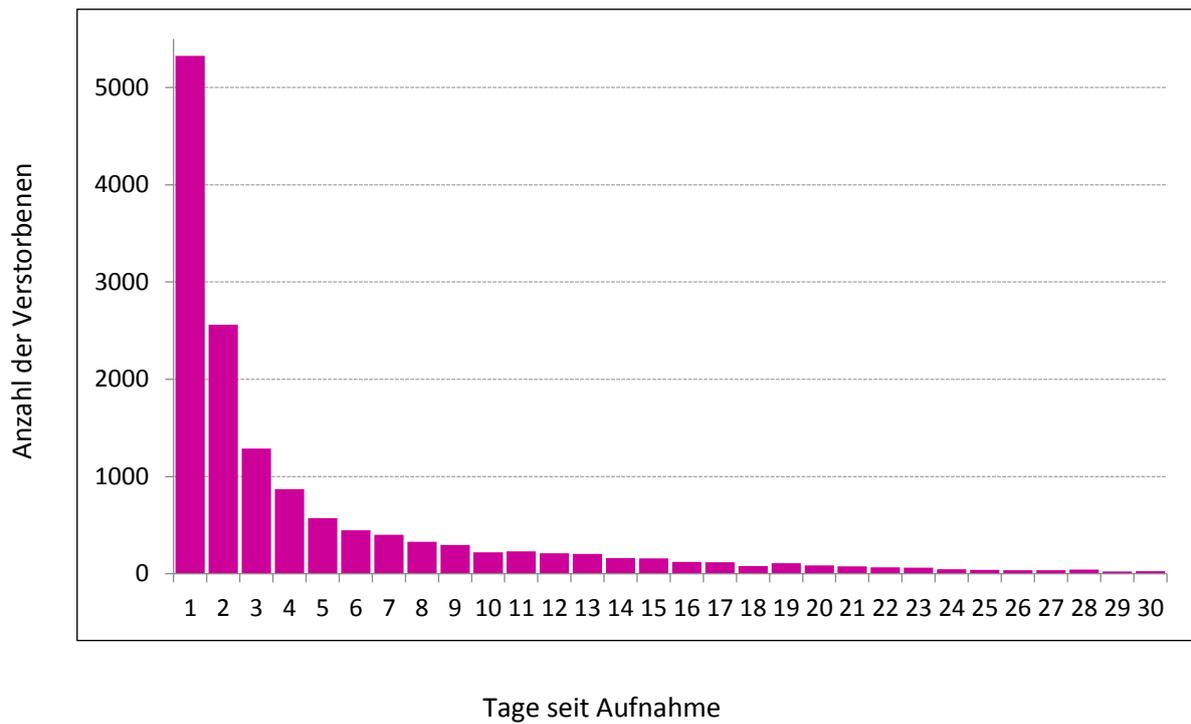


Abb. 4: Zeitliche Verteilung des Auftretens Verstorbenen nach Einlieferung in die Klinik – Darstellung in Tage.

Ermittelt am Gesamtkollektiv der Verstorbenen betrug die mittlere Zeitdauer bis zum Tod 6,5 Tage (Median 2 Tage).

3.3 Korrelation zwischen Alter und Zeit bis zum Versterben

Das Kollektiv der verstorbenen Patienten wurde nach Alter in vier Subgruppen unterteilt: 1-17, 18-54, 55-74 und ≥ 75 Jahre. Die jüngste Gruppe zeigte eine mittlere Zeit bis zum Tod von 3,9 Tagen (Median 2), die 18-54jährigen von 5,2 Tagen (Median 2), die 55-74jährigen von 8,0 Tagen (Median 3) und die älteste Gruppe von 6,9 Tagen (Median 3). Die Korrelation zwischen Patientenalter und Zeit bis zum Versterben zeigte somit ein proportional ansteigendes Muster.

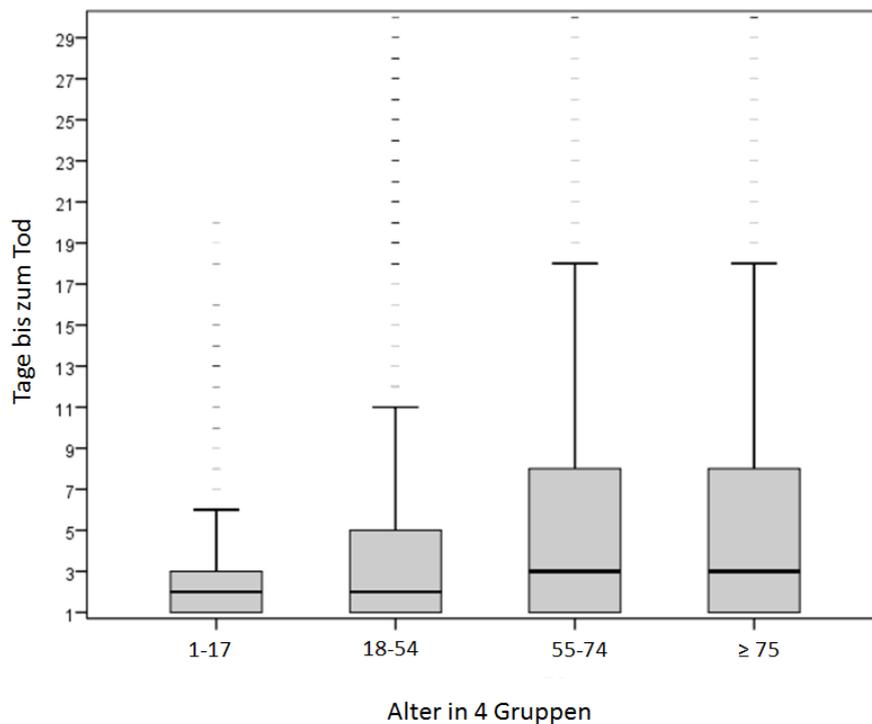


Abb. 5: Korrelation zwischen Alter und Zeit bis zum Tod

3.4 Unfallmechanismus und -ursachen

In ca. 95% aller registrierten Fälle lag ein stumpfes Trauma vor.

Verkehrsunfälle stellten mit 47,0% insgesamt die häufigste tödliche Unfallursache dar.

Bei isolierter Betrachtung des Verstorbenenkollektivs fielen Autounfälle mit 20,1% leicht geringer aus als Stürze unter 3 Metern mit 26,0%. Stürze aus großer Höhe, definiert durch eine Höhe von über 3 Metern, waren für 18,1% der tödlichen Unfälle verantwortlich.

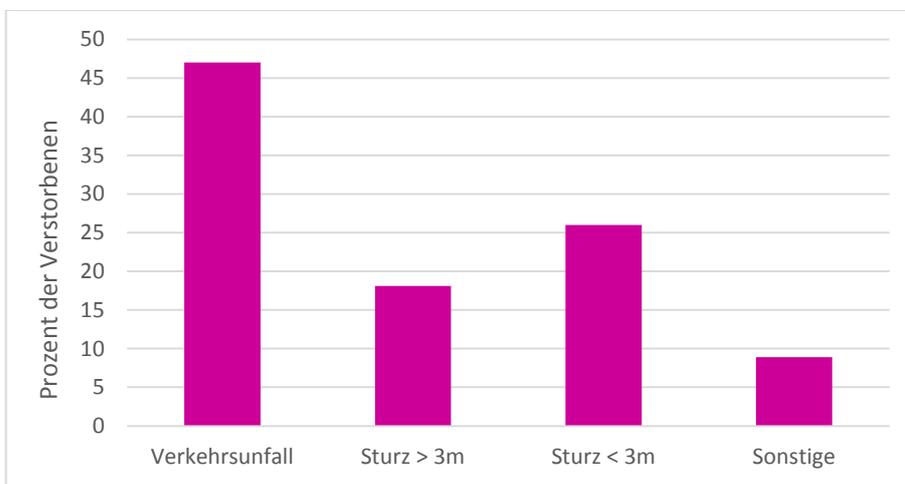


Abb. 6: Anteil der Unfallursachen am Kollektiv der verstorbenen Patienten

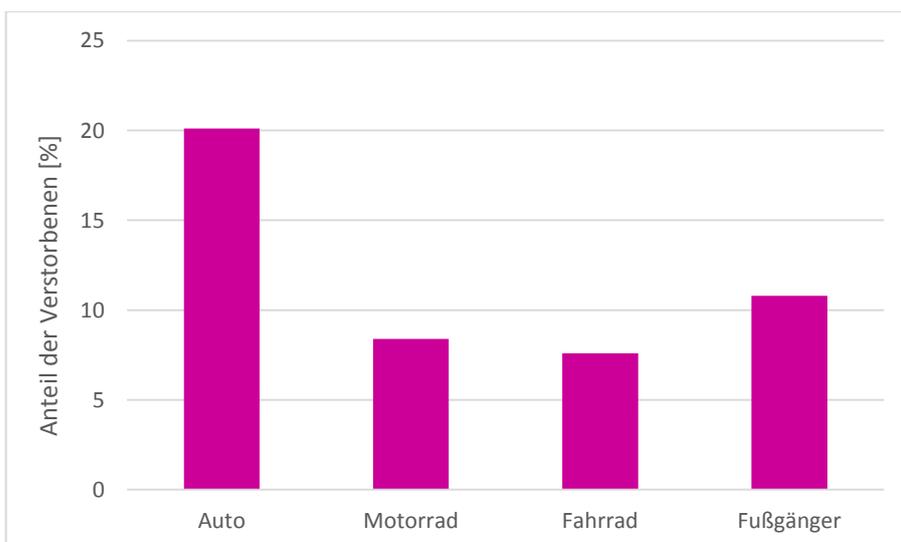


Abb. 7: Verteilung der tödlich Verunfallten in Korrelation mit dem am Unfall beteiligten Verkehrsmittel: Auto 20,1%, Motorrad 8,4%, Fahrrad 7,6%, Fußgänger 10,8%.

3.5 Verletzte Körperregion

Ein schweres SHT, definiert durch einen AIS-Wert für Kopfverletzungen ≥ 3 , lag bei 76,4% der Verstorbenen vor, bei Überlebenden in 47,2% der Fälle. 69,2% der Verstorbenen waren bei Einlieferung in den Schockraum bewusstlos ($GCS \leq 8$), im Vergleich dazu wiesen Überlebende in nur 20,1% eine initiale Bewusstlosigkeit auf.

Ein schweres Thoraxtrauma (AIS Thorax ≥ 3) lag bei 50,7% der tödlich Verunfallten und bei 58,3% der Überlebenden vor. Ein schweres Extremitätentrauma (AIS Extremität ≥ 3) lag bei 28,7% der Verstorbenen und 33,7% der Überlebenden vor. Ein schweres Abdominaltrauma (AIS Abdomen ≥ 3) wies sowohl bei den Verstorbenen als auch bei den Überlebenden eine nahezu idente Verteilung auf (17,1% bzw. 17,0%). Abbildung 5 veranschaulicht die Verteilung der verstorbenen Patienten in Korrelation mit der verletzten Körperregion.

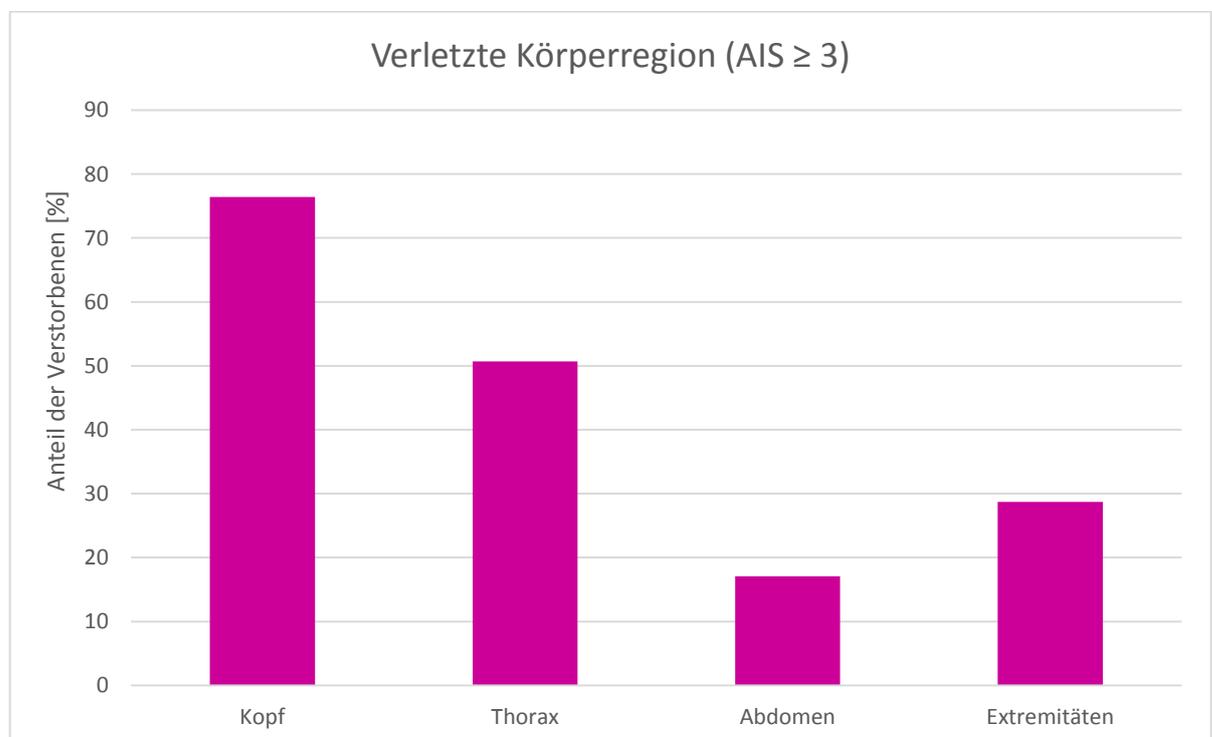


Abb. 8: Anteil der verstorbenen Patienten in Korrelation mit der verletzten Körperregion.

3.6 Verletzungsmuster und Überlebensrate

Das kumulative Überleben der Unfallopfer in den ersten 30 Tagen wurde in einer Kaplan-Meier-Kurve dargestellt. Hierzu wurde das Kollektiv entsprechend dem Verletzungsmuster in drei Subgruppen unterteilt: (1) kein Schädel-Hirn-Trauma, (2) isoliertes Schädel-Hirn-Trauma und (3) kombiniertes Trauma (Abb. 6). Dabei wiesen Patienten mit einem isolierten Schädel-Hirn-Trauma einen stärkeren Abfall des kumulativen Überlebens im Vergleich mit den anderen beiden Gruppen. Dies basierte in erster Linie auf die Unterschiede der Überlebensraten in den ersten Tagen nach der Einlieferung (i.e. nach dem Unfall). Im Schnitt waren Verstorbene Unfallopfer mit isoliertem Schädel-Hirn-Trauma 10 Jahre älter als die tödlich verunfallten der anderen beiden Subgruppen.

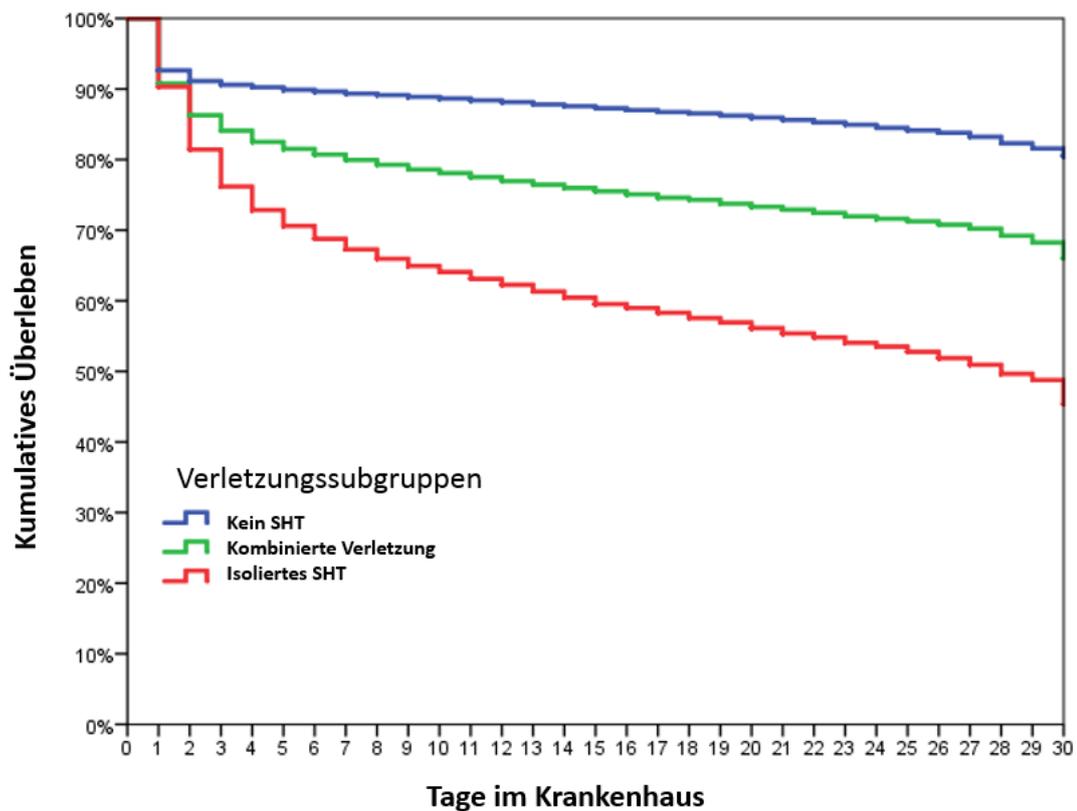


Abb. 9: Kaplan-Meier-Kurve zu Veranschaulichung des kumulativen Überlebens in Abhängigkeit vom Verletzungsmuster. SHT: Schädel-Hirn-Trauma.

3.7 Sepsis und Multiorganversagen

Innerhalb des Kollektivs der verstorbenen Patienten trat eine Sepsis in 11,5% und ein Multiorganversagen in 70,1% der Fälle auf. Die mittlere Zeitdauer bis zum Tod betrug für verstorbene Patienten, die eine Sepsis erlitten hatten, 23,3 Tage (Median 17 Tage). Bei Fokus der Analyse auf jene Fälle, bei denen der Tod *nach* dem 3. Tag nach Einlieferung aufgetreten war, zeigte sich eine Sepsisrate von 23,1% (n=747 von 3,234 Patienten).

Für Verstorbene, die ein Multiorganversagen entwickelt hatten, betrug die mittlere Zeit bis zum Eintritt des Todes 8,7 Tage (Median 4 Tage).

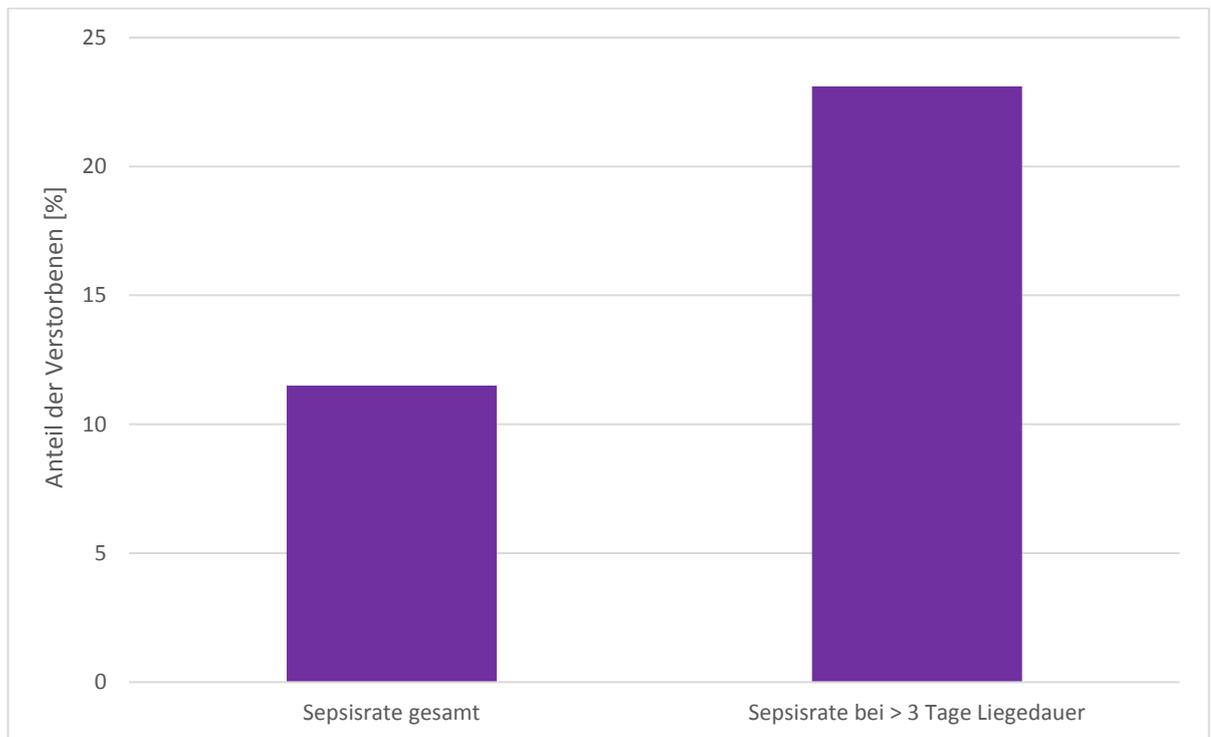


Abb. 10: Sepsisrate im Kollektiv der Verstorbenen

3.8 Rettungstransportzeit, Intensivstation-Liegedauer und Intubationszeiten

Die Transportzeit vom Unfallort in die Klinik betrug im Schnitt $66,3 \pm 29,5$ Minuten bei den Verstorbenen und $65,3 \pm 28,7$ Minuten bei den Überlebenden.

Verstorbene Unfallopfer wurden im Mittel 5 Tage intensivmedizinisch behandelt, während Überlebende eine Liegedauer auf Intensivstation von im Mittel 11 Tagen aufwiesen. Dabei blieben verstorbene Patienten im Mittel 4,3 Tage intubiert, Überlebende im Mittel 5,8 Tage.

4 Diskussion

Die Analyse der Traumamortalität und ihrer zeitlichen Verteilung ist von entscheidender Bedeutung für Weiterentwicklung und Fortschritt in der Versorgung schwerverletzter Patienten. In der vorliegenden Studie konnte gezeigt werden, dass der zeitliche Verlauf der Sterblichkeit Schwerverletzter nach Einlieferung in das Krankenhaus einen linearen Rückgang aufweist und kein bi- oder trimodales Muster. Die Studien von Trunkey und Baker, auf die die klassische trimodale Sterblichkeitsverteilung gründet, waren in den 70er Jahren durchgeführt worden und basierten auf der Analyse von Autopsieberichten von 437 respektive 425 Unfallopfer (Trunkey and Lim 1974, Baker, Oppenheimer et al. 1980). Die Trimodalität der Traumamortalität wurde in einem darauf folgenden Reviewartikel vorgestellt (Trunkey and Blaisdell 1988): Dabei wurden hinsichtlich der zeitlichen Verteilung der Mortalität Schwerverletzter drei Gipfel identifiziert: Der erste Gipfel umfasste jene Unfallopfer, die unmittelbar noch am Unfallort beziehungsweise noch während des Transports in ein Krankenhaus verstarben, in der Regel aufgrund nicht überlebbarer Verletzungen, wie beispielsweise eines schwersten offenen Schädel-Hirn-Traumas oder einer Aortenruptur. Diese Gruppe umfasste zirka die Hälfte aller verstorbenen Patienten. Der zweite Gipfel beinhaltete die sogenannten „frühen“ Toten, die innerhalb der ersten Stunden nach Einlieferung in den Schockraum oder noch während einer unmittelbar durchgeführten Notfalloperation verstarben, in der Regel aufgrund schwerer Verletzungen, die aber als potentiell überlebbar eingestuft wurden. Hierzu gehören beispielsweise das schwere Schädel-Hirn-Trauma, eine massive Hämorrhagie oder ein schweres Thoraxtrauma. In diese Gruppe fielen zirka ein Drittel der Patienten. Der dritte Gipfel schließlich repräsentierte die sogenannten „späten“ Toten, die innerhalb von Tagen bis Wochen verstarben, wobei hier als Todesursachen Sepsis und Multiorganversagen prädominierten. Diese Gruppe umfasste zirka 20% der verstorbenen Unfallopfer.

Jüngere Studien zeigen eine unverändert hohe präklinische Mortalität schwerverletzter Patienten auf (Meislin, Criss et al. 1997, Demetriades, Kimbrell et al. 2005, Gunst, Ghaemmaghami et al. 2010, Kleber, Giesecke et al. 2012). Allerdings schwanken die Zahlen hierbei zwischen 30% und 70%, was auf verschiedene Faktoren

wie unter anderem den Verletzungsmechanismus (stumpf – penetrierend), aber auch geographische und logistische Gesichtspunkte zurückgeführt wird. Da in der vorliegenden, auf eine Registeranalyse basierenden Studie, ausschließlich Daten nach Einlieferung in die Klinik evaluiert wurden, konnte der präklinische Aspekt der Traumamortalität nicht adressiert werden.

Mehrere Arbeiten, die sich der Analyse der Traumamortalität in der jüngeren Vergangenheit widmeten, konnten keine trimodale Verteilung nachweisen, sondern viel mehr ein bi- oder unimodal abfallendes Muster (Sauaia, Moore et al. 1995, Meislin, Criss et al. 1997, Pang, Civil et al. 2008, Evans, van Wessem et al. 2010, Kleber, Giesecke et al. 2012).

15 Jahre nach der Studie von Baker et al. führten Sauaia und Kollegen eine Analyse mit vergleichbarer Methodik in einer ähnlichen geographischen Region (Denver, USA) durch (Sauaia, Moore et al. 1995). Anhand von Rettungstransportprotokollen, Autopsie- und Polizeiberichten sowie eines lokalen Traumaregisters konnte anhand der Daten von 289 tödlich verunfallten Patienten erstmals kein trimodales Verteilungsmuster der Traumaletalität nachgewiesen werden, was auf den Fortschritt und die verbesserte Infrastruktur der Patientenversorgung zurückgeführt wurde.

Auch in der vorliegenden Studie konnte kein phasischer, sondern ein kontinuierlicher Rückgang der zeitlichen Mortalitätsverteilung nachgewiesen werden, sogenannte „Peaks“ konnten nicht festgestellt werden. Von den tödlich verunfallten Patienten, die das Krankenhaus lebend erreicht hatten, waren über die Hälfte bereits innerhalb der ersten 24 Stunden, und knapp zwei Drittel innerhalb der ersten 48 Stunden verstorben, was mit bisher publizierten rezenteren Daten in Einklang steht (Demetriades, Kimbrell et al. 2005, de Knecht, Meylaerts et al. 2008).

Die trimodale Sterblichkeitsverteilung schwerverletzter Patienten wurde bisher von verschiedenen Autoren auch dahingehend kritisch hinterfragt, da es sich dabei möglicherweise um einen künstlich erzeugten Effekt handelt, der durch das jeweils gewählte Zeitintervall der Untersuchungen zustande käme (Soreide, Kruger et al. 2007, Pfeifer, Teuben et al. 2016). Aus diesem Grund wurde in dieser Studie auf die Festlegung strikter Zeitintervalle, wie zum Beispiel 2 Stunden / 12 Stunden / 1 Woche etc., die dann in „früh“, „intermediär“ und „spät“ zu unterteilen gewesen wären, bewusst verzichtet, um eine derartige Verzerrung zu vermeiden. Dementsprechend

konnte unabhängig von einer solchen Untergliederung ein kontinuierlicher Rückgang der Mortalität im zeitlichen Verlauf nachgewiesen werden.

In einer jüngeren registerbasierten US-amerikanischen Untersuchung konnte anhand eines großen Patientenkollektivs mit nahezu 900 000 Unfallverletzten aufgezeigt werden, dass die zeitliche Mortalitätsverteilung einen kontinuierlichen Rückgang aufweist (Valdez, Sarani et al. 2016). Allerdings hielt diese Studie im Hinblick auf die Verletzungsschwere einen mittleren ISS von 11 ± 10 vor, somit wurden hauptsächlich leichtverletzte Patienten evaluiert. Im Gegensatz dazu hat die vorliegende Arbeit ihren Fokus ausschließlich auf schwerverletzte Unfallopfer mit einem mittleren ISS von 36, es ist nach Kenntnis der Autoren das bisher größte Kollektiv zur Untersuchung der zeitlichen Mortalitätsverteilung Polytraumatisierter ($n = 78\,310$ / Todesfälle = 14 816). In einer vorangehenden Arbeit von Lefering et al. wurden kombinierte Daten aus zwei großen europäischen Traumaregistern im Hinblick auf die Epidemiologie der Klinikmortalität ausgewertet (TR-DGU und das britische „Trauma Audit and Research Network“ (TARN)) (Lefering, Paffrath et al. 2012). Auf Grundlage von insgesamt 43 958 Fällen, die zwischen 2000 und 2010 in den beiden Registern dokumentiert worden waren, wurden 6 685 (TR-DGU) und 6 867 (TARN) identifiziert. Der zeitliche Verlauf der Mortalitätsverteilung zeigte auch bei dieser Analyse einen kontinuierlichen Rückgang ohne Nachweis etwaiger Spitzen. Es handelte sich hierbei allerdings um inhomogene Daten aus zwei unterschiedlichen Traumaregistern. Beispielsweise fehlte im britischen Register bei knapp 1000 Patienten der Sterbezeitpunkt, auch wurden Unfallmechanismus und Verletzungsmuster nicht genauer beleuchtet, da der Fokus der Studie mehr auf physiologische Parameter wie Blutdruck oder Transfusionsraten ausgelegt war.

In der vorliegenden Arbeit wurden auch Unfallmechanismus und verletzte Körperregion in die Analyse miteinbezogen. Das stumpfe Trauma ist dabei in einem westeuropäischen Land die mit Abstand häufigste Form der Gewalteinwirkung (95%), was mit anderen vergleichbaren europäischen Studien übereinstimmt (Soreide, Kruger et al. 2007, de Knecht, Meylaerts et al. 2008). Dementsprechend sind in Deutschland Verkehrsunfälle und Stürze am häufigsten für tödliche Unfälle verantwortlich, wohingegen in den Vereinigten Staaten als vergleichbare Industrienation

Schussverletzungen nach wie vor eine der führenden unfallbedingten Todesursachen darstellen (Trunkey and Lim 1974, Baker, Oppenheimer et al. 1980, Sauaia, Moore et al. 1995).

In einer retrospektiven Analyse der Traumaletalität mit einem großen Patientenkollektiv (n = 4151) in Los Angeles, USA, wurden auch präklinische Todesopfer miteingeschlossen (Demetriades, Kimbrell et al. 2005): Demetriades und Mitarbeiter konnten keine trimodale zeitliche Verteilung der Mortalität feststellen. Es ließ sich aber eine Korrelation zwischen Sterblichkeitsverteilung und Unfallmechanismus, Verletzungsschwere und -muster sowie Patientenalter beobachten. Es zeigten sich zum einen Unterschiede zwischen penetrierendem und stumpfem Trauma: Unfallopfer mit penetrierendem Trauma (46% Schusswunden) starben häufiger noch vor Einlieferung ins Krankenhaus, meist noch am Unfallort („*dead at scene*“), während Patienten nach schwerem stumpfem Trauma häufiger innerhalb der ersten Stunden nach Klinikaufnahme verstarben. Es zeigte sich auch, dass beim SHT eine modale Verteilung der Mortalität komplett fehlte (keine Ausbildung von Gipfeln). Ferner definierten Demetriades et al. den Tod am Unfallort als ersten und den Tod innerhalb der ersten 1 bis 6 Stunden als zweiten Gipfel und konnten dementsprechend insgesamt eine bimodale Sterblichkeitsverteilung darstellen, die Ausbildung eines dritten (späten) Gipfels war nicht nachweisbar. Sie führten die geringe Rate der späten Letalität, in der Regel bedingt durch Sepsis und/oder Multiorganversagen, auf Verbesserungen in der intensivmedizinischen Therapie zurück. Allerdings umfasste der erste Gipfel (Tod vor Ort/vor Erreichen des Krankenhauses) immerhin noch 50% aller Todesopfer, was sich seit den ersten Analysen der Traumamortalität von Trunkey und Baker nicht geändert hatte (Trunkey and Lim 1974, Baker, Oppenheimer et al. 1980). Deshalb legen die Autoren nahe, den Fokus der Weiterentwicklung auch auf Präventions- und Rettungsmaßnahmen zu legen.

In der aktuellen Analyse konnten präklinische Unfalldtote nicht berücksichtigt werden, da diese im TraumaRegister® nicht erfasst werden. Allerdings konnten die Autoren für die akute Phase der ersten Stunden nach der Einlieferung in die Klinik einen vergleichbar hohen Anteil der tödlich verunfallten Patienten feststellen, einen zweiten

oder dritten Mortalitätsgipfel, der die sog. späten Toten repräsentieren würde, war gleichermaßen nicht nachweisbar.

In der vorliegenden Studie hatten tödlich verunfallte Patienten in 70% der Fälle ein schweres SHT (AIS-Kopf ≥ 3 , GCS ≤ 8) erlitten, was dementsprechend die führende Verletzung darstellte und insbesondere in der frühen Phase nach dem Trauma maßgebend war. Dies steht im Einklang mit der aktuellen Datenlage (Sauaia, Moore et al. 1995, Demetriades, Kimbrell et al. 2005, de Knecht, Meylaerts et al. 2008). Gemäß der Datenanalyse der vorliegenden Arbeit zeigten Patienten mit einem isolierten SHT einen stärkeren Abfall der kumulativen Überlebensrate als solche ohne SHT oder mit kombinierten Verletzungen. Eine Erklärung für diesen Zusammenhang bietet das Einschlusskriterium ISS ≥ 16 als Definition des Polytraumas respektive einer höhergradigen anatomischen Verletzungsschwere (Paffrath, Lefering et al. 2014). Dementsprechend hatten Patienten bei einem ISS ≥ 16 mit einem isolierten SHT eine entsprechend schwerere Kopfverletzung als solche ohne SHT oder mit kombinierten Verletzungen, was letztendlich maßgebend für das Überleben war. Ferner waren Patienten mit isoliertem SHT im Mittel 10 Jahre älter als in den beiden anderen Subgruppen, was die Altersabhängigkeit der Prognose wiederum unterstreicht.

Im untersuchten Kollektiv der verstorbenen Unfallopfer bestand in 50% der Fälle ein schweres Thoraxtrauma (AIS-Thorax ≥ 3) gefolgt von Extremitätenverletzungen mit knapp 30% und einem Abdominaltrauma mit ca. 17%. Dies ist mit epidemiologischen Daten anderer europäischer Länder vergleichbar (Soreide, Kruger et al. 2007), nicht aber mit US-amerikanischen Analysen, wo sich, wie eingangs erwähnt, Schusswunden weitaus häufiger verantwortlich für tödliche Verletzungen zeichnen, was dazu führt, dass schwere abdominelle Verletzungen hier die Rate an Extremitätenverletzungen übertreffen (Sauaia, Moore et al. 1995, Demetriades, Kimbrell et al. 2005).

Die Daten der aktuellen Studie veranschaulichen auch die Beziehung zwischen Patientenalter und zeitlichem Verlauf der Mortalität: Mit zunehmendem Alter nahm die Zeit bis zum Eintreten des Todes proportional zu. Dieser Zusammenhang konnte in vergleichbarer Weise in einer norwegischen Studie zur Epidemiologie des Traumas

hergestellt werden (Soreide, Kruger et al. 2007): Soreide et al. konnten anhand einer retrospektiven Analyse von Autopsieberichten tödlich verunfallter Patienten aufzeigen, dass das Patientenalter innerhalb der Studienperiode zwischen 1996-2004 signifikant zunahm, wobei Alter und Verletzungsschwere deutlich divergierten, insofern, dass ältere Todesopfer einen signifikant geringeren ISS-Wert aufwiesen. Zwar stellte auch bei dieser Studie das SHT die häufigste zum Tode führende Unfallursache dar (67%), doch bei Betrachtung der später (> 1 Woche) verstorbenen Patienten, prädominierte bei im Mittel höherem Lebensalter das Multiorganversagen als Todesursache. Im Gegensatz zu dieser Arbeit fand in der aktuellen Studie keine Evaluation der Verletzungsschwere in Relation zu verschiedenen Altersgruppen statt, da dies kein Zielparameter darstellte. In einer vorangegangenen Analyse von Daten des Deutschen TraumaRegisters® konnten Lefering et al. zeigen, dass Patienten, die ihren Verletzungen jenseits des 30. Tages nach Einlieferung in die Klinik erlagen, im Mittel deutlich älter waren als Unfallopfer, die früher verstarben (Lefering, Paffrath et al. 2012). Das Lebensalter stellt somit einen maßgeblichen prognostischen Faktor für die traumaassoziierte Mortalität dar, wie eine weitere Analyse von Registerdaten darstellen konnte (Kuhne, Ruchholtz et al. 2005). Die aktuelle Datenlage bestätigt den Zusammenhang, dass Patienten mit hohem Lebensalter im Vergleich mit dem jüngeren Patientenkollektiv eine geringere Verletzungsschwere aufweisen, was aber aufgrund altersbedingt assoziierter Komorbiditäten dennoch mit einer höheren Mortalität vergesellschaftet ist (Soreide, Kruger et al. 2007, de Knecht, Meylaerts et al. 2008, Earl-Royal, Kaufman et al. 2016).

Bei polytraumatisierten Patienten stellen Sepsis und MOV im Verlauf auftretende häufige und gefährliche Komplikationen dar (Faist, Baue et al. 1983, Keel and Trentz 2005). In der aktuellen Arbeit waren unter den verstorbenen Unfallopfern eine Sepsisrate von 11,5% und eine MOV-Rate von 70,1% nachzuweisen. Anhand von Daten des Deutschen TraumaRegisters® untersuchten Fröhlich und Kollegen die MOV-Rate bei schwerverletzten Patienten, die vergleichbar mit der vorliegenden Arbeit einen ISS ≥ 16 aufwiesen (Frohlich, Lefering et al. 2014). Im Analysezeitraum von 2002 bis 2011 zeigte sich zwar ein signifikanter Rückgang der MOV-Mortalität von 42,6 % (2002) auf 33,3% (2011), allerdings nahm die MOV-Inzidenz in gleicherweise signifikant zu, von

24,6% auf 31,5%. Als mögliche Erklärung für diesen Zusammenhang nennen die Autoren den stetigen Rückgang der Mortalität schwerverletzter Patienten per se – zwischen 2002 und 2011 von 18,1% auf 15,3%. Dementsprechend überlebten insgesamt mehr Patienten, die im Verlauf ein MOV entwickeln konnten. Dieses kann dank der Weiterentwicklung der intensivmedizinischen Therapie aber sicherer beherrscht und erfolgreich behandelt werden. Als Risikofaktoren für die Entwicklung eines MOV wurden Alter, ISS-Wert, GCS-Wert (≤ 8), die Erforderlichkeit einer Massentransfusion, Koagulopathie, ein Base Excess weniger als -3 sowie ein systolischer Blutdruck bei Aufnahme von weniger als 90mmHg.

Sepsis und MOV sind die prädominierende Todesursache im Anschluss an die akute Phase eines Polytraumas (> 1 Woche), was die aktuelle Datenlage bestätigt (Pfeifer, Tarkin et al. 2009). Auch die Resultate der vorliegenden Studie stimmen damit überein: Die mittlere Zeitdauer bis zum Tod betrug für verstorbene Patienten, die eine Sepsis erlitten hatten, 23,3 Tage (Median 17 Tage). Bei Fokus der Analyse auf jene Fälle, bei denen der Tod *nach* dem 3. Tag nach Einlieferung aufgetreten war, zeigte sich eine Sepsisrate von 23,1% (n=747 von 3,234 Patienten). Für Verstorbene, die ein Multiorganversagen entwickelt hatten, betrug die mittlere Zeit bis zum Eintritt des Todes 8,7 Tage (Median 4 Tage).

In den letzten Jahren und Jahrzehnten lässt sich ein stetiger Rückgang der Mortalität polytraumatisierter Patienten beobachten (Regel, Lobenhoffer et al. 1995, Ruchholtz, Lefering et al. 2008, Probst, Pape et al. 2009). Regel et al. untersuchten die Qualität der Behandlung und deren Fortschritt anhand einer retrospektiven Analyse von 3406 Polytraumapatienten (Regel, Lobenhoffer et al. 1995): Sie teilten das Kollektiv entsprechend dem Untersuchungszeitraum in zwei Dekaden auf. Bei vergleichbarem Patientenkollektiv zeigten sich Unterschiede in Bezug auf Mortalität und Therapie des Polytraumas. Während in der ersten Dekade von 1972 bis 1981 die Mortalitätsrate noch bei 37% lag, zeigte sie in der zweiten Zeitperiode von 1982 bis 1991 einen deutlichen Rückgang und lag bei 22%. In der zweiten Dekade zeigte sich in Korrelation dazu eine aggressivere präklinische Therapie in Bezug auf intravenöser Volumensubstitution (Steigerung von 80% auf 98%), Intubation (von 84% auf 91%), und auch die Anlage von Thoraxdrainagen verzeichnete eine deutliche Zunahme (von

37% auf 76%). Neben verkürzten Rettungstransportzeiten wurde auch die klinische Diagnostik verfeinert: Die diagnostische Peritoneallavage wurde durch den Ultraschall (FAST: focused assessment with sonography for trauma) abgelöst, was eine schnellere chirurgische Intervention im Bedarfsfall möglich machte. Daneben nahm der Einsatz der CT stetig zu (siehe unten). Durch die konsequente Implementierung einer Volumentherapie konnte das akute Nierenversagen nahezu komplett vermieden werden. In gleicher Weise konnte durch den Einsatz moderner Beatmungsstrategien die Rate des akuten respiratorischen Versagens (ARDS, acute respiratory distress syndrome) maßgeblich gesenkt werden. Dabei ließ sich die Mortalität des ARDS von 32,4% auf 15,9% senken. Auf Grundlage dieser Daten führten Probst et al. die Analyse bis ins Jahr 2004 fort, in dem der Datensatz in das bis dahin etablierte Deutsche TraumaRegister® integriert wurde. Es zeigte sich ein weiterer Rückgang der Polytraumamortalität auf 18%. Ruchholtz et al. konnten über einen Zeitraum von 13 Jahren (1993-2005) bei einem Kollektiv von 11 013 Polytraumatisierten einen signifikanten Rückgang der Mortalität von 22,8% auf 18,7% beobachten (Ruchholtz, Lefering et al. 2008). Dies deckt sich weitgehend mit den Daten der aktuellen Studie, bei der sich eine innerklinische Mortalitätsrate von 18,9% nachweisen ließ.

Dies zeigt aber auch, dass es in einem Zeitraum von über zehn Jahren, 2004/2005 (Probst, Pape et al. 2009) / (Ruchholtz, Lefering et al. 2008) bis 2015 (aktuelle Studie), zu keiner weiteren Reduktion der Mortalität gekommen ist. Aus diesem Grund wird die Förderung und Weiterentwicklung von Präventionsmaßnahmen als wichtiger Ansatzpunkt zur weiteren Reduktion der unfallbedingten Letalität angesehen (Richter, Lob et al. 2007). In diesem Zusammenhang wurde innerhalb der DGU die „Arbeitsgemeinschaft Prävention von Verletzungen“ ins Leben gerufen, die das Ziel hat, eine möglichst umfassende Bestandsaufnahme bereits bestehender Programme unterschiedlicher Expertengruppen wiederzugeben. Darauf aufbauend soll durch Zusammenfassung bisheriger Erkenntnisse die Implementierung interdisziplinärer Präventionsmaßnahmen gefördert werden.

Im Hinblick auf Diagnostik und Therapie des schwerverletzten Patienten konnten mit Hilfe von Daten des TR-DGU wichtige Rückschlüsse auf Weiterentwicklung und Fortschritt und deren Auswirkungen auf das Behandlungsergebnis gezogen werden. So konnten Ruchholtz et al. in der oben zitierten Arbeit auch zeigen (Ruchholtz, Lefering

et al. 2008), dass über den Beobachtungszeitraum von 13 Jahren, die Zeiten bis zur Durchführung einer FAST-Untersuchung von 25 auf 15 Minuten zurückgingen (am Klinikum rechts der Isar der Technischen Universität München wird diese Untersuchung innerhalb der ersten 3-5 Minuten nach Schockraumeinweisung durchgeführt, bis zur CT-Untersuchung dauert es in der Regel knapp 15 Minuten; unveröffentlichte innerklinische Daten des Klinikums). Aus der FAST-Untersuchung können sich maßgebliche chirurgische Konsequenzen ergeben, wenn intraabdominell freie Flüssigkeit mit Hinweis auf eine innere Blutung nachgewiesen wird. So kann bei einem kreislaufinstabilen Patienten mit drohendem hämorrhagischem Schock die lebensrettende chirurgische Intervention (Laparotomie, Hämostase/Packing) in Extremfällen vorgezogen werden. Verkürzte Zeiten bis zu einer derartigen Notoperation konnten Ruchholtz und Kollegen in ihrer Arbeit demonstrieren. Auch wurde eine Zunahme der durchgeführten CT-Untersuchungen verzeichnet (von 10% 2002 auf 36% 2005). Huber-Wagner et al. konnten in einer multizentrischen retrospektiven Analyse zeigen, dass eine möglichst frühzeitig (idealerweise im Schockraum) durchgeführte Ganzkörper-CT mit einer signifikanten Erhöhung der Überlebenschancen polytraumatisierter Patienten assoziiert ist (Huber-Wagner, Lefering et al. 2009).

Die Umsetzung standardisierter Therapiealgorithmen bei der Akutbehandlung des Polytraumas, wie insbesondere des ATLS® (Advanced Trauma Life Support, American College of Surgeons Committee on Trauma (Chapleau, Al-Khatib et al. 2013)) hat in gleicher Weise wesentlich zur Reduktion der Mortalität beigetragen: So konnten van Olden et al. zeigen, dass die Implementierung der ATLS®-Prinzipien eine signifikante Reduktion der Polytraumamortalität innerhalb der ersten Stunde nach Einlieferung in die Klinik bewirken kann. Dies wiesen die Autoren nach, indem sie Patientendaten aus der Periode vor mit der Zeit nach Einführung des ATLS® an einer Universitätsklinik und einem assoziierten Lehrkrankenhaus untersuchten (Van Olden, Meeuwis et al. 2004).

Neben verkürzten Zeiten bis zur Aufnahme auf die Intensivstation konnten Ruchholtz und Mitarbeiter auch eine zunehmende Implementierung von Damage-Control-Strategien feststellen (Ruchholtz, Lefering et al. 2008). Die Prinzipien der *damage control surgery* (DCS) umfassen alle Maßnahmen, die sich alleinig auf das Überleben und den Funktionserhalt des schwerverletzten Organismus konzentrieren, um

zusätzliche (System-)Belastungen der Physiologie des Polytraumatisierten (*second hit*) auf das Nötigste zu minimieren (Hirshberg and Mattox 2005).

Ob all diese Weiterentwicklungen und Fortschritte des präklinischen und klinischen Traumamanagements tatsächlich auch einen direkten Einfluss auf die zeitliche Sterblichkeitsverteilung im Sinne eines Wandels von einer Tri- zur Bi- oder Unimodalität haben, konnte bisher nicht gezeigt werden (Pfeifer, Tarkin et al. 2009).

Im Hinblick auf die Rettungstransportzeiten konnte in der vorliegenden Untersuchung kein Unterschied zwischen Verstorbenen und Überlebenden nachgewiesen werden (66,3 ± 29,5 Minuten versus 65,3 ± 28,7 Minuten). Gemäß der aktuellen Datenlage kann bisher kein eindeutiger Zusammenhang zwischen der präklinischen Zeitdauer (Versorgung am Unfallort, Transport) und einer Reduktion der Mortalität hergestellt werden – Zeitspannen von etwas mehr als 60 Minuten scheinen mit einem besseren Outcome assoziiert zu sein, allerdings handelt sich hierbei um heterogene Daten (Harmsen, Giannakopoulos et al. 2015).

Hinsichtlich der mittleren Liegedauer auf Intensivstation decken sich unsere Ergebnisse (bis 2015) mit denen von Ruchholtz et al. (Ruchholtz, Lefering et al. 2008) (bis 2005) mit ca. 11 Tagen zumindest für die Überlebenden und haben sich dementsprechend in einem Zeitraum von 10 Jahren nicht wesentlich geändert – für verstorbene Unfallpatienten konnten wir eine mittlere ICU-Liegedauer von 5 Tagen nachweisen.

Die Inhomogenität der Daten über die zeitliche Sterblichkeitsverteilung Schwerverletzter hat verschiedene Gründe: Zum einen handelt es sich bei vielen Studien um verhältnismäßig kleine Patientenkollektive innerhalb enger geographischer Grenzen (Baker, Oppenheimer et al. 1980, Shackford, Mackersie et al. 1993, Sauaia, Moore et al. 1995, Pang, Civil et al. 2008, Evans, van Wessem et al. 2010). Dass das Muster der Traumamortalität vom Ort und dessen Infrastruktur abhängig ist, wird anhand einer Studie verdeutlicht, die in diesem Kontext in Indien durchgeführt wurde: Sahdev et al. werteten retrospektiv 177 Autopsieberichte von Verkehrsteilnehmern aus, die 1989 in Dehli tödlich verunfallt waren. Dabei zeigte die Sterblichkeitsverteilung einen „vierten“ Gipfel, den die Autoren als „delayed deaths“ bezeichneten (Sahdev,

Lacqua et al. 1994). Ein solch zusätzlicher Gipfel konnte in entwickelten Industrieländern bisher nicht nachgewiesen werden.

Hinzu kommt, dass neben unterschiedlichen Zeitpunkten und -spannen, in denen die Analysen durchgeführt wurden, auch die Definitionen für „früh“, „intermediär“ und „spät“ nicht einheitlich und eher untersucherabhängig festgelegt wurden, so dass die zeitliche Verteilung zu einem Effekt des festgelegten Zeitintervalls wird (Soreide, Kruger et al. 2007). Aus diesem Grund verzichteten wir in dieser Untersuchung bewusst auf die Festlegung strikt definierter Zeitintervalle, wie zum Beispiel 1 bis 2 Stunden, 2 bis 8 Stunden, und werteten die Daten im zeitlichen Verlauf rein in Stunden bzw. Tagen aus.

Eine Limitation der vorliegenden Arbeit besteht darin, dass präklinische Unfalltote – Tot vor Ort oder während des Transports – nicht in die Analyse miteingeschlossen werden konnten, da konzeptgemäß rein innerklinische Daten in das TR-DGU Eingang finden. Dies könnte zu einer Unterschätzung der Gesamtzahl Verstorbener in der ersten Stunde nach Trauma führen. Wie allerdings von mehreren Autoren, die auch präklinisch tödlich verunglückte Unfallopfer miteinbezogen hatten, unabhängig voneinander dargelegt werden konnte, versterben über die Hälfte aller Schwerverletzten noch vor Ankunft im Krankenhaus (Soreide, Kruger et al. 2007, McGwin, Nunn et al. 2009, Gunst, Ghaemmaghami et al. 2010). Werden die Ergebnisse der vorliegenden Studie diesen Daten gegenübergestellt, so stehen sie im Kontext der zeitlichen Mortalitätsverteilung nicht im Gegensatz dazu, sondern unterstützen das epidemiologische Modell einer kontinuierlich rückläufigen Sterblichkeit, da die aktuelle Arbeit veranschaulicht, dass über die Hälfte auch der im Krankenhaus verstorbenen Schwerverletzten innerhalb der ersten 24 Stunden zu registrieren sind.

5 Zusammenfassung

Das Polytrauma stellt für jedes Gesundheitssystem, in Entwicklungs- und Industrieländern gleichermaßen, eine große Herausforderung dar. In Deutschland werden schwer verletzte Patienten in den meisten Regionen aufgrund der effizienten Zusammenarbeit aller beteiligter Disziplinen und einer modernen Infrastruktur auf hohem Niveau behandelt. Zwar konnte die Mortalität des Polytraumas durch Organisation und Weiterentwicklung der Traumasysteme deutlich gesenkt werden, sie bleibt jedoch mit ca. 18% auch heute noch relativ hoch.

Aus diesem Grund hat die Analyse der Traumaletalität und ihrer zeitlichen Verteilung eine entscheidende Bedeutung für Weiterentwicklung und Fortschritt der Versorgung schwerverletzter Patienten und in gleicher Weise auch für Unfallpräventionsmaßnahmen.

Fragestellung: Historische, bisher nicht neu verifizierte Daten legen eine *trimodale* Sterblichkeitsverteilung Schwerverletzter mit drei Gipfeln nahe: 1. Präklinisch Verstorbene, 2. Früh innerklinisch Verstorbene (<48h) und 3. Spätverstorbene durch Sepsis und MOV nach mehr als 1 Woche nach Trauma. Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, anhand von Daten des TraumaRegisters® der DGU (TR-DGU) zu überprüfen, ob diese historische Verteilung angesichts eines veränderten Traumamanagements noch zutreffend ist.

Methodik: Retrospektive Auswertung des TR-DGU 2002-2015. Einschlusskriterien: Verstorbene Patienten mit ISS \geq 16. Analyse der zeitlichen Mortalitätsverteilung, des Unfallmechanismus und Verletzungsmusters sowie der Altersverteilung verstorbener Schwerverletzter (Kaplan-Meier Kurven). Untersucht wurde ausschließlich die Gruppe der primär in einem Traumazentrum aufgenommenen Patienten unter Ausschluss von Zu- und Weiterverlegten. Daten von Unfalltoten, die noch am Unfallort bzw. vor Ankunft in der Klinik versterben, werden im TR-DGU nicht erfasst, weshalb diese nicht miteinbezogen werden konnten.

Ergebnisse: Insgesamt waren im untersuchten Zeitraum $n = 78.310$ registrierte Schwerverletzte zu verzeichnen, davon waren 14.816 verstorben, was einer Mortalität von 18,9% entspricht. Der ISS der Verstorbenen betrug im Mittel $36,0 \pm 16,0$ (Überlebende $25,2 \pm 9,3$). Männlich 66,7%. Verstorbene hatten ein mittl. Alter von $59,5 \text{ J.} \pm 23,5$ (Überlebende $47,3 \text{ J.} \pm 20,9$). Im Kollektiv der Verstorbenen betrug der Anteil jener, die innerhalb der ersten Stunde nach Einlieferung in die Klinik verstorben waren 10,8%, nach 6 h 25,5%, nach 12 h 40,0%, nach 24 h 53,2% und nach 48 h bereits 61,9%. Der Anteil der Verstorbenen wies einen konstanten Rückgang auf, ein sog. dritter Gipfel nach mehreren Tagen oder Wochen konnte nicht nachgewiesen werden. Ein schweres SHT (AIS Kopf ≥ 3) lag bei 76,4% der Verstorbenen vor, ein schweres Thoraxtrauma (AIS Thorax ≥ 3) bei 50,7%, ein schweres Extremitätentrauma bei 28,7% und ein schweres Abdominaltrauma bei 17,1%. Ein höheres Lebensalter (> 55 Jahre) ist mit einer längeren Zeit bis zum Eintritt des Todes vergesellschaftet.

Schlussfolgerung: Anhand von Daten aus dem TR-DGU lässt sich ein klarer Wandel in der Sterblichkeitsverteilung Polytraumatisierter aufzeigen. Ein sog. dritter Peak der Sterblichkeit nach mehreren Tagen oder Wochen nach Trauma kann in einem modernen System der Versorgung von Polytraumapatienten nicht mehr nachgewiesen werden. Mögliche Ursachen könnten auf die Etablierung neuer Behandlungsalgorithmen, der Implementierung von Traumanetzwerken und auf Fortschritte in der intensivmedizinischen Therapie zurückzuführen sein.

6 Literaturverzeichnis

Baker, C. C., L. Oppenheimer, B. Stephens, F. R. Lewis and D. D. Trunkey (1980). "Epidemiology of trauma deaths." Am J Surg **140**(1): 144-150.

Baker, S. P., B. o'Neill, W. Haddon Jr and W. B. Long (1974). "The injury severity score: a method for describing patients with multiple injuries and evaluating emergency care." Journal of Trauma and Acute Care Surgery **14**(3): 187-196.

Chapleau, W., J. Al-Khatib, D. Haskin, P. LeBlanc, G. Cárdenas, S. Borum, N. Torres, O. al Ghanimi, A. Al-Harthy and J. Ali (2013). "Advanced trauma life support (ATLS®): the ninth edition." Journal of Trauma and Acute Care Surgery **74**(5): 1363-1366.

Daly, K. E. and P. R. Thomas (1992). "Trauma deaths in the south west Thames region." Injury **23**(6): 393-396.

de Knecht, C., S. A. G. Meylaerts and L. P. H. Leenen (2008). "Applicability of the trimodal distribution of trauma deaths in a Level I trauma centre in the Netherlands with a population of mainly blunt trauma." Injury **39**(9): 993-1000.

Debus, F., R. Lefering, M. Frink, C. A. Kühne, C. Mand, B. Bücking, S. Ruchholtz and D. TraumaRegister (2015). "Numbers of Severely Injured Patients in Germany: A Retrospective Analysis From the DGU (German Society for Trauma Surgery) Trauma Registry." Dtsch Arztebl Int **112**(49): 823.

Demetriades, D., B. Kimbrell, A. Salim, G. Velmahos, P. Rhee, C. Preston, G. Gruzinski and L. Chan (2005). "Trauma deaths in a mature urban trauma system: is "trimodal" distribution a valid concept?" J Am Coll Surg **201**(3): 343-348.

Demetriades, D., J. Murray, K. Charalambides, K. Alo, G. Velmahos, P. Rhee and L. Chan (2004). "Trauma fatalities: time and location of hospital deaths." J Am Coll Surg **198**(1): 20-26.

Earl-Royal, E., E. J. Kaufman, J. Y. Hsu, D. J. Wiebe, P. M. Reilly and D. N. Holena (2016). "Age and preexisting conditions as risk factors for severe adverse events and failure to rescue after injury." J Surg Res **205**(2): 368-377.

Esposito, T. J., N. D. Sanddal, J. D. Hansen and S. Reynolds (1995). "Analysis of preventable trauma deaths and inappropriate trauma care in a rural state." J Trauma **39**(5): 955-962.

Evans, J. A., K. J. van Wessem, D. McDougall, K. A. Lee, T. Lyons and Z. J. Balogh (2010). "Epidemiology of traumatic deaths: comprehensive population-based assessment." World J Surg **34**(1): 158-163.

Faist, E., A. Baue, H. Dittmer and G. Heberer (1983). "Multiple organ failure in polytrauma patients." Journal of Trauma and Acute Care Surgery **23**(9): 775-787.

Frohlich, M., R. Lefering, C. Probst, T. Paffrath, M. M. Schneider, M. Maegele, S. G. Sakka, B. Bouillon and A. Wafaisade (2014). "Epidemiology and risk factors of multiple-organ failure after multiple trauma: an analysis of 31,154 patients from the TraumaRegister DGU." Journal of Trauma and Acute Care Surgery **76**(4): 921-927; discussion 927-928.

Gunst, M., V. Ghaemmaghami, A. Gruszecki, J. Urban, H. Frankel and S. Shafi (2010). "Changing epidemiology of trauma deaths leads to a bimodal distribution." Proc (Bayl Univ Med Cent) **23**(4): 349-354.

Haeusler, J.-M. C., B. Tobler, B. Arnet, J. Huesler and H. Zimmermann (2006). "Pilot study on the comprehensive economic costs of major trauma: consequential costs are well in excess of medical costs." Journal of Trauma and Acute Care Surgery **61**(3): 723-731.

Harmsen, A. M., G. F. Giannakopoulos, P. R. Moerbeek, E. P. Jansma, H. J. Bonjer and F. W. Bloemers (2015). "The influence of prehospital time on trauma patients outcome: a systematic review." Injury **46**(4): 602-609.

Hirshberg, A. and K. Mattox (2005). "The 3-D trauma surgeon." Top Knife: The Art & Craft of Trauma Surgery. Harley, Nr Shrewsbury, United Kingdom: tfm Publishing Ltd: 5-17.

Holtslag, H. R., M. W. Post, C. van der Werken and E. Lindeman (2007). "Return to work after major trauma." Clinical Rehabilitation **21**(4): 373-383.

Huber-Wagner, S., R. Lefering, L. M. Qvick, M. Korner, M. V. Kay, K. J. Pfeifer, M. Reiser, W. Mutschler, K. G. Kanz and S. Working Group on Polytrauma of the German Trauma (2009). "Effect of whole-body CT during trauma resuscitation on survival: a retrospective, multicentre study." Lancet **373**(9673): 1455-1461.

Keel, M. and O. Trentz (2005). "Pathophysiology of polytrauma." Injury **36**(6): 691-709.

Kleber, C., M. T. Giesecke, M. Tsokos, N. P. Haas, K. D. Schaser, P. Stefan and C. T. Buschmann (2012). "Overall distribution of trauma-related deaths in Berlin 2010: advancement or stagnation of German trauma management?" World J Surg **36**(9): 2125-2130.

Kuhne, C. A., S. Ruchholtz, G. M. Kaiser and D. Nast-Kolb (2005). "Mortality in Severely Injured Elderly Trauma Patients—When Does Age Become a Risk Factor?" World J Surg **29**(11): 1476-1482.

Lefering, R., T. Paffrath, O. Bouamra, T. J. Coats, M. Woodford, T. Jenks, A. Wafaisade, U. Nienaber and F. Lecky (2012). "Epidemiology of in-hospital trauma deaths." Eur J Trauma Emerg Surg **38**(1): 3-9.

Lefering, R., Paffrath, T., Nienaber U. (2013). "TraumaRegister DGU Jahresbericht 2014." Cologne, Germany.

Mattiassich, G., W. Litzlbauer and R. Ortmaier (2016). "Voraussetzungen, Erfahrungen und Nutzen des Traumaregisters der DGU in Österreich." Der Unfallchirurg **119**(7): 613-616.

McGwin, G., Jr., A. M. Nunn, J. C. Mann, R. Griffin, G. G. Davis, P. A. MacLennan, J. D. Kerby, J. E. Acker and L. W. Rue, 3rd (2009). "Reassessment of the tri-modal mortality distribution in the presence of a regional trauma system." J Trauma **66**(2): 526-530.

Meislin, H., E. A. Criss, D. Judkins, R. Berger, C. Conroy, B. Parks, D. W. Spaite and T. D. Valenzuela (1997). "Fatal trauma: the modal distribution of time to death is a function of patient demographics and regional resources." J Trauma **43**(3): 433-440.

Nienaber, U., T. Paffrath, R. Lefering (2014). "20 years TraumaRegister DGU®: Development, aims and structure." Injury **45**: S6-S13.

Paffrath, T., R. Lefering, S. Flohe and D. G. U. TraumaRegister (2014). "How to define severely injured patients? -- an Injury Severity Score (ISS) based approach alone is not sufficient." *Injury* **45 Suppl 3**: S64-69.

Pang, J. M., I. Civil, A. Ng, D. Adams and T. Koelmeyer (2008). "Is the trimodal pattern of death after trauma a dated concept in the 21st century? Trauma deaths in Auckland 2004." *Injury* **39**(1): 102-106.

Pfeifer, R., I. S. Tarkin, B. Rocos and H.-C. Pape (2009). "Patterns of mortality and causes of death in polytrauma patients—Has anything changed?" *Injury* **40**(9): 907-911.

Pfeifer, R., M. Teuben, H. Andruszkow, B. M. Barkatali and H. C. Pape (2016). "Mortality Patterns in Patients with Multiple Trauma: A Systematic Review of Autopsy Studies." *PLoS One* **11**(2): e0148844.

Probst, C., H. C. Pape, F. Hildebrand, G. Regel, L. Mahlke, P. Giannoudis, C. Krettek and M. R. Grotz (2009). "30 years of polytrauma care: An analysis of the change in strategies and results of 4849 cases treated at a single institution." *Injury* **40**(1): 77-83.

Regel, G., P. Lobenhoffer, M. Grotz, H. C. Pape, U. Lehmann and H. Tscherne (1995). "Treatment results of patients with multiple trauma: an analysis of 3406 cases treated between 1972 and 1991 at a German Level I Trauma Center." *J Trauma* **38**(1): 70-78.

Richter, M., G. Lob, F. Pühlhofer, J. Siegrist, C. Becker, K. Dreinhöfer, A. Ekkernkamp, M. Feldmann, A. Fieguth, C. Haasper, F. Gebhard, A. Icks, J. Kleinert, K. Knobloch, L. Lampl, U. Liener, S. Märzheuser, H. J. Oestern, G. Pistor, W. von Renteln-Kruse, J. Seifert and M. Wildner (2007). "Injury prevention as the physician's challenge." *Der Unfallchirurg* **110**(9): 734-744.

Ruchholtz, S., R. Lefering, F. Debus, C. Mand, C. Kuhne and H. Siebert (2013). "TraumaregisterTraumaNetwork DGU(R) und TraumaRegister DGU(R). Success by cooperation and documentation." *Chirurg* **84**(9): 730-738.

Ruchholtz, S., R. Lefering, T. Paffrath, H. J. Oestern, E. Neugebauer, D. Nast-Kolb, H. C. Pape and B. Bouillon (2008). "Reduction in mortality of severely injured patients in Germany." *Dtsch Arztebl Int* **105**(13): 225-231.

Sahdev, P., M. J. Lacqua, B. Singh and T. D. Dogra (1994). "Road traffic fatalities in Delhi: causes, injury patterns, and incidence of preventable deaths." *Accid Anal Prev* **26**(3): 377-384.

Sauaia, A., F. A. Moore, E. E. Moore, K. S. Moser, R. Brennan, R. A. Read and P. T. Pons (1995). "Epidemiology of trauma deaths: a reassessment." *J Trauma* **38**(2): 185-193.

Shackford, S. R., R. C. Mackersie, T. L. Holbrook, J. W. Davis, P. Hollingsworth-Fridlund, D. B. Hoyt and P. L. Wolf (1993). "The epidemiology of traumatic death. A population-based analysis." *Arch Surg* **128**(5): 571-575.

Shen, L. Y., K. N. Marcotte, S. D. Helmer, M. H. Dudley and R. S. Smith (2006). "Correlation of clinical findings and autopsy results after fatal injury from motor vehicular-related crashes." *The American Surgeon* **72**(3): 282-287.

- Soreide, K., A. J. Kruger, A. L. Vardal, C. L. Ellingsen, E. Soreide and H. M. Lossius (2007). "Epidemiology and contemporary patterns of trauma deaths: changing place, similar pace, older face." World J Surg **31**(11): 2092-2103.
- Stewart, R. M., J. G. Myers, D. L. Dent, P. Ermis, G. A. Gray, R. Villarreal, O. Blow, B. Woods, M. McFarland, J. Garavaglia, H. D. Root and B. A. Pruitt, Jr. (2003). "Seven hundred fifty-three consecutive deaths in a level I trauma center: the argument for injury prevention." J Trauma **54**(1): 66-70; discussion 70-61.
- Teixeira, P. G., K. Inaba, P. Hadjizacharia, C. Brown, A. Salim, P. Rhee, T. Browder, T. T. Noguchi and D. Demetriades (2007). "Preventable or potentially preventable mortality at a mature trauma center." J Trauma **63**(6): 1338-1346; discussion 1346-1337.
- Trunkey, D. (1983). "Accidental and intentional injuries account for more years of life lost in the US than cancer and heart disease. Among the prescribed remedies are improved preventive efforts, speedier surgery and further research." Sci Am **249**: 28-35.
- Trunkey, D. and F. Blaisdell (1988). "Epidemiology of trauma." Sci Am **4**(1): b22.
- Trunkey, D. D. and R. C. Lim (1974). "Analysis of 425 consecutive trauma fatalities: An autopsy study." Journal of the American College of Emergency Physicians **3**(6): 368-371.
- Tscherne, H., H.-J. Oestern and J. Sturm (1984). "5. Die Belastbarkeit Mehrfachverletzter und ihre Bedeutung für die operative Versorgung." Langenbeck's Archives of Surgery **364**(1): 71-77.
- Valdez, C., B. Sarani, H. Young, R. Amdur, J. Dunne and L. S. Chawla (2016). "Timing of death after traumatic injury—a contemporary assessment of the temporal distribution of death." J Surg Res **200**(2): 604-609.
- Van Olden, G. D., J. D. Meeuwis, H. W. Bolhuis, H. Boxma and R. J. A. Goris (2004). "Clinical impact of advanced trauma life support." The American journal of emergency medicine **22**(7): 522-525.

7 Anhang

7.1 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Klassische Trimodale Sterblichkeitsverteilung des Traumas (nach Trunkey 1983).

Online unter:

http://www.basics.org.uk/about_us/zulu_nine_five_four_blog/february_blog

Abb. 2: Prozentsatz des Gesamtkollektivs verstorbener Patienten im zeitlichen Verlauf.

Abb. 3: Zeitliche Verteilung des Auftretens Verstorbener nach Einlieferung in die Klinik
Darstellung in Stunden.

Abb. 4: Zeitliche Verteilung des Auftretens Verstorbener nach Einlieferung in die Klinik
– Darstellung in Tage.

Abb. 5: Korrelation zwischen Alter und Zeit bis zum Tod

Abb. 6: Anteil der Unfallursachen am Kollektiv der verstorbenen Patienten

Abb. 7: Verteilung der tödlich Verunfallten in Korrelation mit dem am Unfall beteiligten Verkehrsmittel.

Abb. 8: Anteil der verstorbenen Patienten in Korrelation mit der verletzten Körperregion.

Abb. 9: Kaplan-Meier-Kurve zu Veranschaulichung des kumulativen Überlebens in Abhängigkeit vom Verletzungsmuster.

Abb. 10: Sepsisrate im Kollektiv der Verstorbenen

7.2 Danksagung

Gedankt sei an erster Stelle meinem Betreuer Prof. Stefan Huber-Wagner und meinem Mentor Prof. Martijn van Griensven für die kompetente und kollegiale Begleitung auf meinem Weg der akademischen Weiterentwicklung.

Gedankt sei auch meiner Frau, Dr. Katja Landgraf-Rauf, für ihren wissenschaftlich stimulierenden Input. Dank gebührt allen Personen in meinem unmittelbaren akademischen Umfeld, die das Promotionsvorhaben möglich machten und mir mit Rat und Tat zur Seite standen.