

Aus der
Klinik für Allgemein-, Viszeral-, und Transplantationschirurgie
Klinik der Universität München
Direktor: Prof. Dr. Jens Werner

**Das führende Gefäßtrauma in der Schwerstverletztenversorgung –
Einfluss auf Outcome und Prognose**

Dissertation
zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin
an der Medizinischen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Thomas Bo Han Jerkku

aus
Heidelberg

Jahr
2025

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. Jens Werner
Mitberichterstatter: PD Dr. Gabor Gäbel
PD Dr. Clemens Scherer

Mitbetreuung durch den
promovierten Mitarbeiter: Dr. Ramin Banafsche

Dekan: Prof. Dr. med. Thomas Gudermann

Tag der mündlichen Prüfung: 27.03.2025

Für
Martina

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	4
Hintergrund.....	7
Abstract.....	8
Abbildungsverzeichnis	9
Tabellenverzeichnis	10
Abkürzungsverzeichnis.....	11
1. Einleitung	13
1.1. <i>Definition des Schwerverletzten.....</i>	<i>13</i>
1.2. <i>Verkehrsunfallstatistik.....</i>	<i>15</i>
1.3. <i>Epidemiologie.....</i>	<i>17</i>
1.4. <i>Präklinische Einschätzung.....</i>	<i>19</i>
1.5. <i>Scoresysteme und Klassifikation der Verletzungsschwere.....</i>	<i>20</i>
1.5.1. <i>Anatomisch-bezogene Scoresysteme.....</i>	<i>21</i>
1.5.1.1. <i>Abbreviated Injury Scale (AIS)</i>	<i>21</i>
1.5.1.2. <i>Injury Severity Score (ISS)</i>	<i>23</i>
1.5.1.3. <i>New Injury Severity Score (NISS).....</i>	<i>24</i>
1.5.2. <i>Physiologisch-bezogene Scoresysteme.....</i>	<i>24</i>
1.5.2.1. <i>Glasgow Coma Scale (GCS)</i>	<i>25</i>
1.5.2.2. <i>Acute Physiology And Chronic Health Evaluation (APACHE)</i>	<i>27</i>
1.5.2.3. <i>Trauma Score (TS)</i>	<i>28</i>
1.5.2.4. <i>Revised Trauma Score (RTS).....</i>	<i>28</i>
1.5.3. <i>Kombinierte Scoresystemen.....</i>	<i>30</i>
1.5.3.1. <i>Hannover Polytraumaschlüssel (PTS)</i>	<i>30</i>
1.5.3.2. <i>Trauma Injury Severity Score (TRISS)</i>	<i>31</i>
1.5.3.3. <i>Revised Injury Severity Classification (RISC).....</i>	<i>32</i>
1.5.3.4. <i>Revised Injury Severity Classification version II (RISC II)</i>	<i>32</i>
1.6. <i>Das TraumaRegister DGU – TR-DGU</i>	<i>34</i>
1.6.1. <i>TraumaRegister DGU</i>	<i>34</i>
1.6.2. <i>Datenerfassung mittels Standarderhebungsbogen.....</i>	<i>35</i>

1.6.3.	TraumaNetzwerk DGU	36
1.6.4.	Lokales TraumaZentrum DGU	39
1.6.5.	Regionales TraumaZentrum DGU	40
1.6.6.	Überregionales TraumaZentrum DGU	41
1.6.7.	Boden-/ Luftgebundener Transport	43
1.6.8.	Kriterien zur Weiterverlegung in spezialisierte Zentren.....	44
1.7.	Traumatische Gefäßverletzungen.....	45
2.	Fragestellung	47
2.1.	Gefäßverletzungen bei Polytraumatisierten – eine unterschätzte Entität?.....	47
3.	Material und Methodik	49
3.1.	Patientenkollektiv.....	49
3.2.	Studiendesign.....	50
3.2.1.	Einschlusskriterien Auswertungsphase I (TR-DGU Projekt-ID 2013-011).50	
3.2.2.	Einschlusskriterien Auswertungsphase II (TR-DGU Projekt-ID 2018-045) 51	
3.2.3.	Studienparameter.....	52
3.3.	Statistische Methoden.....	52
4.	Ergebnisse	54
4.1.	Ergebnisse der Auswertungsphase I (TR-DGU Projekt-ID 2013-011).....	54
4.1.1.	Bedeutung des Gefäßtraumas für die Schwerverletztenversorgung.....	54
4.2.	Ergebnisse der Auswertungsphase II (TR-DGU Projekt-ID 2018-045)	63
4.3.	Identifikation des isolierten, des führenden und des begleitenden VT.....	64
4.4.	Zuweisung nach Versorgungsstufe.....	66
4.5.	Boden-/Luftgebundener Transport.....	67
4.6.	Mortalität und Überleben in Abhängigkeit der Versorgungsstufe.....	68
4.6.1.	Mortalität nach Versorgungsstufe.....	68
4.6.2.	Überleben nach Versorgungsstufe.....	70
4.7.	Ergebnisse der Subgruppenanalyse	71
4.7.3.	Maximaler Abbreviated Injury Scale für Gefäßverletzungen (MAIS _{VT})	77
4.7.4.	Unfallhergang in Abhängigkeit des Gefäßtraumas.....	79

4.8.	<i>Prognoseabschätzung</i>	80
4.8.1.	<i>Multivariate Analyse der Mortalität</i>	80
4.8.2.	<i>RISC-II – erwartete versus beobachtete Letalität</i>	84
4.8.3.	<i>Verhältnis der beobachteten Mortalität (non-VT / VT) zu ihrem RISC II</i>	86
5.	Diskussion	88
5.1.	<i>Das führende Gefäßtrauma</i>	88
5.2.	<i>Welche Ergebnisse helfen bei der Interpretation der Registerdaten zur VT-Versorgung?</i>	91
5.3.	<i>Die Schwerstverletztenversorgung in der BRD - ist ein internationaler Vergleich sinnvoll?</i>	93
6.	Zusammenfassung	95
7.	Limitationen der vorliegenden Studie	96
8.	Literaturverzeichnis	98
	Danksagung	109
	Affidavit	110
	Erklärung zur Übereinstimmung der Ausgaben der Dissertation	111
	Publikationsliste	112

Hintergrund

In der Schwerstverletztenversorgung spielen Gefäßverletzungen eine eher untergeordnete Rolle und isolierte vaskuläre Traumata (VT) treten statistisch gesehen sehr selten auf. Es findet sich daher keine aussagekräftige Datenlage zur Inzidenz und Mortalität hinsichtlich Traumata mit Gefäßbeteiligung.

Fragestellung: Diese Arbeit basiert auf ausgewählten Referenzdaten sowie eigenen, zweizeitig publizierten Studien, die auf Registerdaten des TraumaRegister DGU (TR-DGU) zur Versorgung von Schwerverletzten in Deutschland basieren.

Material und Methode: Neben einer übersichtlichen Darstellung der verfügbaren Literatur, erfolgt die Datenauswertung über zwei retrospektive Analysen von TR-DGU-Datensätzen. Es werden Daten von Patienten mit moderaten bis schweren VT mit Patienten ohne VT (non-VT) bei ähnlicher Verletzungsschwere verglichen. Die Untersuchung bezieht sich auf Morbidität, Mortalität sowie Verlaufs- und Prognoseparameter.

Ergebnisse: In einer ersten Auswertung eines Datensatzes aus den Jahren 2002–2012 (TR-DGU Projekt-ID 2013-011) wurde der Einfluss der Zuweisung in Traumazentren mit unterschiedlichen Versorgungsstufen auf die erwartete (EM) und beobachtete Mortalität (OM) in 2961 Fällen von VT unter 42.326 Schwerverletzten (7 %) untersucht. Es zeigte sich, dass die Differenz zwischen OM und EM bei VT bei +3,4% liegt, während sie bei non-VT nur bei $\pm 0,1\%$ liegt. Bei schweren VT betrug die OM 33,8%, im Vergleich zu 16,4% bei non-VT mit vergleichbarer Verletzungsschwere. Dies führte zu einer weiteren Auswertung eines Datensatzes im Jahr 2018 (2008-2017; TR-DGU Projekt-ID 2018-045), bei der die Substratifizierung von isolierten, führenden und begleitenden VT signifikante Effekte von Versorgungsstufen, Zuweisung und Transport auf die OM nachweisen konnte. Nur bei VT wurde eine bedeutende Diskrepanz zwischen OM und EM festgestellt, im Durchschnitt etwa +2%, und in Hochrisikofällen mit VT bis zu +29%. Dies unterstreicht die Bedeutung von VT in der Schwerstverletztenversorgung.

Schlussfolgerungen: Die Ergebnisse legen nahe, dass die Versorgung von Schwerverletzten mit VT weiter optimiert werden kann. Maßnahmen zur Verbesserung der Einschätzung von VT, Zuweisung, Transport und eine frühzeitige Verlegung sollten in Betracht gezogen werden.

Abstract

In the care of severely injured patients, vascular injuries play a relatively minor role, and isolated vascular traumas (VT) are statistically very rare. Therefore, there is no substantial data available regarding the incidence and mortality associated with trauma involving vascular damage.

Research Question: This work is based on selected reference data as well as our own two-stage published studies based on data from the TraumaRegister DGU (TR-DGU) regarding the care of severely injured patients in Germany.

Materials and Methods: In addition to providing a clear overview of the available literature, data analysis is conducted through two retrospective analyses of TR-DGU datasets. Data from patients with moderate to severe VT are compared with data from patients without VT (non-VT) of similar injury severity. The investigation focuses on morbidity, mortality, as well as outcome and prognostic parameters.

Results: In an initial analysis of a dataset from the years 2002-2012 (TR-DGU Project ID 2013-011), the impact of allocation to trauma centers with different levels of care on expected (EM) and observed mortality (OM) in 2961 cases of VT among 42,326 severely injured patients (7%) was examined. It was found that the difference between OM and EM in VT is +3.4%, while in non-VT, it is only $\pm 0.1\%$. For severe VT, the OM was 33.8%, compared to 16.4% for non-VT with a similar injury severity. This led to further analysis of a dataset in 2018 (2008-2017; TR-DGU Project ID 2018-045), which demonstrated significant effects of care levels, allocation, and transport on OM based on the stratification of isolated, leading, and concomitant VT. A significant discrepancy between OM and EM was observed only in VT, averaging around +2%, and reaching up to +29% in high-risk cases with VT. This underscores the importance of VT in the care of severely injured patients.

Conclusions: The results suggest that the care of severely injured patients with VT can be further optimized. Measures to improve the assessment of VT, allocation, transport, and early transfer should be considered.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 - Entwicklung der Zahl der im Straßenverkehr Getöteten in Tsd.	15
Abbildung 2 – Getötete im Straßenverkehr 2018 nach ausgewählter Verkehrsbeteiligungsart und Ortslagen ..	16
Abbildung 3 - Getötete im Straßenverkehr in der EU – Entwicklung von 2001 bis 2019 ©European Commission, 2019	16
Abbildung 4 - Verkehrstote pro Millionen Einwohner der einzelnen Mitgliedsstaaten in der EU ©European Commission, 2019	17
Abbildung 5 - Verunglückte bei Straßenverkehrsunfällen 2018	18
Abbildung 6 - Getötete bei Straßenverkehrsunfällen nach Altersgruppen und Geschlecht 2017 je 1 Million Einwohner (Statistisches Bundesamt - Destatis, 2018)	18
Abbildung 7 - Revised Injury Severity Classification II (RISC II)	33
Abbildung 8 - RISC II - Qualität der Prognoseabschätzung anhand der Grenzwertoptimierungskurven	33
Abbildung 9 - Netzwerkkarte der BRD (und teilnehmende Nachbarländer) des TraumaNetzwerk DGU	38
Abbildung 10 – Mortalität nach AIS des VT [%], aus Lech & Jerkku et al. ⁸⁰	57
Abbildung 11 – Verweildauer [Tage] ohne frühe Weiterverlegung, aus Lech & Jerkku et al. ⁸⁰	58
Abbildung 12 – Verstorbene nach AIS (Abbreviated Injury Scale) bei VT [n], aus Lech & Jerkku et al. ⁸⁰	60
Abbildung 13 - Einschlusskriterien	64
Abbildung 14 - Zuweisung von begleitenden, führenden oder isolierten Gefäßverletzungen nach TraumaZentrum.....	67
Abbildung 15 - Transportart von begleitenden, führenden oder isolierten Gefäßverletzungen	68
Abbildung 16 – Beobachtete Mortalität bei begleitender, führender und isolierter Gefäßverletzung nach	70
Abbildung 17 - Überleben bei begleitender, führender und isolierter Gefäßverletzung nach TraumaZentrum (%)	71
Abbildung 18 - Begleitende, führende oder isolierte Gefäßverletzungen mit ISS ≤ 15 bzw. ISS ≥ 16.....	75
Abbildung 19 - AIS ≥ 3 Verletzungsschwere nach Körperregionen von begleitenden, führenden oder isolierten Gefäßverletzungen im Vergleich zu AIS ≤ 2 Verletzungen der jeweiligen Subgruppen	76
Abbildung 20 - Mortalität nach MAIS _{VT} in den Subgruppen der begleitenden, führenden oder isolierten Gefäßverletzungen sowie insgesamt.....	78
Abbildung 21 - Unfallhergang in Abhängigkeit des Gefäßtraumas.....	80
Abbildung 22 - Forest Plot - Odds Ratio und 95%Konfidenzintervall der Mortalität in Bezug auf verschiedene unabhängige Faktoren.....	82
Abbildung 23 - Forest-Plot – Darstellung der Odds Ratio (OR) und deren 95%-Konfidenzintervall (CI) zur Analyse des Mortalitätsrisikos in Abhängigkeit von verschiedenen unabhängigen Faktoren. Ein OR-Wert größer als 1 deutet auf ein erhöhtes Mortalitätsrisiko im Vergleich zur Kontrollgruppe hin, während ein OR-Wert kleiner als 1 auf ein verringertes Risiko hinweist. Die horizontalen Linien repräsentieren das jeweilige Konfidenzintervall. Signifikanzniveau: **p < 0,01; *p < 0,05. Daten basieren auf dem TR-DGU-Projekt mit der ID 2018-045. ²	83
Abbildung 24 - Beobachtete (OM) versus erwartete Mortalität (EM, RISC-II-Prognose). Subgruppen bezogen auf die Versorgungsstufe des primär versorgenden Traumazentrums (aus Jerkku et al. ²)	85
Abbildung 25 - Unterschätzte Mortalität von VT = Δ Mortalität _{beob} - Δ Mortalität _{erwart} (auf Basis der RISC II-Prognose) in den jeweiligen Subgruppen bezogen auf die Versorgungsstufe des jeweiligen TraumaZentrums.	86
Abbildung 26 - Differenz zwischen Letalität und Letalitätsprognose (RISC II) aller am TR-DGU teilnehmenden Kliniken mit mehr als 5 Fällen für das Jahr 2018 (Quelle: TR-DGU-Jahresbericht 2019). Das Delta der Mortalität und die RISC II-Prognose werden für jedes TraumaZentrum mit seiner jeweiligen jährlichen Fallzahl angezeigt. Die schwarzen Linien repräsentieren das 95% -Konfidenzintervall. Krankenhäuser mit weniger als 5 Fälle/Jahr werden wegen statistischer Unsicherheit ausgeschlossen.	92

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 - Übersicht der Definitionen für schwerverletzte Unfallopfer von Lefering et al. ³	14
Tabelle 2 - Einschätzung des Verletzungsschweregrades.....	19
Tabelle 3 - Übersicht über die wichtigsten anatomischen Klassifikationssysteme zur Bewertung der Verletzungsschwere	21
Tabelle 4 - Schweregradklassifikation der Abbreviated Injury Scale (AIS) mit Beispielen von Lefering et al. ³	22
Tabelle 5 - Beispielhafte Berechnung des ISS anhand einer Kombination aus Verletzungen.....	23
Tabelle 6 - Der Injury Severity Score (ISS) von Baker et al.....	23
Tabelle 7 - Physiologische Klassifikationssysteme zur Bewertung der Verletzungsschwere	25
Tabelle 8 - Glasgow Coma Scale (GCS) für Erwachsene und Kinder (max. Punktzahl 15).....	25
Tabelle 9 - Glasgow Coma Scale (GCS) – Interpretation.....	26
Tabelle 10 - APACHE-Punkte entsprechend dem Alter	27
Tabelle 11 - Trauma Score (RTS) nach Champion et al. 1989.....	28
Tabelle 12 - Revised Trauma Score (RTS) nach Champion et al. 1990.....	29
Tabelle 13 - Kombinierte Klassifikationssysteme zur Bewertung der Verletzungsschwere.....	30
Tabelle 14 - Schweregrade des Hannover Polytraumaschlüssels (PTS) nach Oestern et al. ³⁶	30
Tabelle 15 - Personelle Ausstattung eines Lokalen TraumaZentrums DGU (LTZ)	40
Tabelle 16 - Personelle Ausstattung eines Regionalen TraumaZentrums DGU (RTZ)	41
Tabelle 17 - Personelle Ausstattung eines Überregionalen TraumaZentrums DGU (ÜTZ).....	42
Tabelle 18 - Einschlusskriterien des TraumaRegister (TR-DGU)	51
Tabelle 19 – RISC-Prognosen (EM) und Mortalität (OM) primär Versorgter (keine Weiterverlegten)	62
Tabelle 20 – Einteilung isoliertes, führendes und begleitendes Gefäßtrauma (VT).....	65
Tabelle 21 - Stratifizierung der VT-Subgruppen (aus Jerkku et al. ²).....	65
Tabelle 22 - Verteilung der Subgruppen auf die unterschiedlichen Versorgungsstufen.....	67
Tabelle 23 - Verteilung der Subgruppen nach Transportart (boden- versus luftgebunden)	68
Tabelle 24 - Überleben/Mortalität nach Versorgungsstufe in Abhängigkeit des Gefäßtraumas	70
Tabelle 25 - Ergebnisse aus der Subgruppenanalyse	73
Tabelle 26 – Krankenhaus-Liegedauer in Tagen.....	74
Tabelle 27 - Injury Severity Score (ISS) in Abhängigkeit des Gefäßtraumas.....	75
Tabelle 28 - Abbreviated Injury Scale (AIS) nach Körperregionen in Abhängigkeit des Gefäßtraumas	76
Tabelle 29 - Maximaler Abbreviated Injury Scale (MAIS) bezogen auf Gefäßverletzungen in Abhängigkeit des Gefäßtraumas	77
Tabelle 30 - Mortalität bezogen auf Max. AIS der Gefäßverletzungen in Abhängigkeit des Gefäßtraumas.	79
Tabelle 31 - Unfallhergang in Abhängigkeit des Gefäßtraumas.....	79
Tabelle 32 - Multivarianzanalyse Mortalität in Abhängigkeit des Gefäßtraumas.....	81
Tabelle 33 - Multivarianzanalyse Mortalität in Abhängigkeit des Gefäßtraumas.....	82
Tabelle 34 - Beobachtete versus erwartete Mortalität (= RISC II Prognose) in den jeweiligen Subgruppen bezogen auf die Versorgungsstufe des jeweiligen TraumaZentrums.	84
Tabelle 35 - RISC II Prognose und Überleben/Mortalität in Abhängigkeit des Gefäßtraumas (nur primäre Patienten für den RISC II Vergleich).....	87

Abkürzungsverzeichnis

A./Aa.	Arteria / Arteriae
AAAM	Association for the Advancement of Automotive Medicine
Abb.	Abbildung
AD	Aortendissektion
Af	Atemfrequenz
ANV	Akutes Nierenversagen
AHB	Anschlussheilbehandlung
AIS	Abbreviated Injury Scale
APACHE	Acute Physiology and Chronic Health Evaluation
ARDS	Adult Respiratory Distress Syndrome
ASA	American Society of Anesthesiologists
ATA	Aorta thoracica ascendens (ascending thoracic aorta)
ATLS	Advanced Trauma Life Support
AUC	Akademie der Unfallchirurgie GmbH
CI	Konfidenz Intervall
COPD	Chronic Obstructive Pulmonary Disease
CT	Computertomographie
CTA	Computer Tomographie Angiographie
DGG	Deutsche Gesellschaft für Gefäßchirurgie
DGU	Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie
DIVI	Deutsche Interdisziplinäre Vereinigung für Intensivmedizin
DSA	Digitale Substraktionsangiographie
DTA	Deszendierende thorakale Aorta
ECLS	Extrakorporales Life Support System
ECMO	Extrakorporale Membran Oxygenierung
EK	Erythrozytenkonzentrat
EKG	Elektrokardiogramm
EU	Europäische Union
FFP	Fresh Frozen Plasma
GCS	Glasgow Coma Scale
GOS	Glasgow Outcome Scale
Hb	Hämoglobin
Hkt	Hämatokrit
HVC	High-Volume-Center
ICD	International Classification of Diseases
ILS	Integrierte Leitstelle
ISS	Injury Severity Score
KHK	Koronare Herzkrankheit
LTZ	Lokales TraumaZentrum DGU
LVC	Low-Volume-Center
MANV	Massenanfall von Verletzten
MAP	Arterieller Mitteldruck (mean arterial pressure)
Max	Statistisches Maximum

Min	Statistisches Minimum
mmHg	Millimeter Quecksilbersäule
MOV	Multiorganversagen
MRT	Magnetresonanztomographie
MRA	MR-Angiographie
n	Anzahl (lateinisch: numerus)
NEF	Sektion Notfall-/Intensivmedizin und Schwerverletztenversorgung
NIS	Notarzteinsatzfahrzeug
NISS	New Injury Severity Score
NTDB	National Trauma Data Bank (USA)
OPS	Operationen- und Prozedurenschlüssel
OR	Odds Ratio
OTA	Operationstechnischer Assistent
PAU	Penetrierendes Aortenulcus
PTS	Hannover Polytraumaschlüssel
PVS	Persistent Vegative State
REBOA	Resuscitative Endovascular Balloon Occlusion of the Aorta
RISC	Revised Injury Severity Classification
RR	Blutdruckmessung nach Riva Rocci
RTH	Revised Trauma Score
RTS	Rettungshubschrauber
RTZ	Regionales TraumaZentrum DGU
SHT	Schädel-Hirn-Trauma
SIRS	Systemic Inflammatory Response Syndrome
SOFA	Sepsis-related Organ Failure Assessment
SOP	Standard Operating Procedures
sysRR	Systolischer Blutdruck
Tab.	Tabelle
TEE	Transoesophageale Echokardiographie
TEVAR	Thoracic Endovascular Aortic Repair
TIC	Trauma-induzierte Koagulopathie
TNW	TraumaNetzwerk DGU
TTE	Transthorakale Echokardiographie
TIA	Transitorisch ischämische Attacke
TK	Thrombozytenkonzentrat
TR-DGU®	TraumaRegister der DGU
TRISS	Trauma Injury Severity Score
TS	Trauma Score
TVT	Tiefe Venenthrombose
TZ	TraumaZentrum DGU
ÜTZ	Überregionales TraumaZentrum DGU
V./Vv.	Vena / Venae
VT	Vaskuläres Trauma
V.a.	Verdacht auf
Z.n.	Zustand nach

1. Einleitung

1.1. Definition des Schwerverletzten

Laut Definition der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU), steht das Polytrauma für „eine gleichzeitige Verletzung mehrerer Körperregionen bzw. Organsysteme“, dabei kann „bereits eine einzelne Verletzung oder die Kombination mehrerer für den Verletzten lebensbedrohlich“ sein. „Die häufigsten Ursachen für ein Polytrauma sind schwere Verkehrsunfälle und Stürze aus großer Höhe. Aber auch Unfälle bei der Arbeit (z.B. Explosions-, thermische, chemische und Strahlenverletzungen), Freizeitunfälle (z.B. bei Extremsportarten) oder Verletzungen aus Gewaltverbrechen (z.B. Schuss- oder Stichverletzungen) können ein Polytrauma darstellen.“¹ Schwerstverletzungen stellen sowohl für die notfallmedizinische Versorgung als auch aus sozialökonomischer Perspektive ein bedeutendes Thema dar. Neben der unmittelbaren Lebensgefahr, die sie für die Betroffenen darstellen, können sie auch zu zahlreichen gesundheitlichen aber auch erwerbsmindernden Einschränkungen führen, welche die Lebensqualität der Betroffenen erheblich beeinträchtigen.² Dazu zählen Langzeitfolgen wie Schmerzen, Funktionseinschränkungen oder Verlust des Arbeitsplatzes. Inwiefern eine Verletzung als schwer zu bezeichnen ist, hängt von unterschiedlichsten Kriterien ab (Unfallmechanismus, Verletzungsart, betroffene Körperregionen, Schockindex, etc.). Im Vergleich zu anderen Krankheitsbildern ist hier eine allgemeingültige Definition deutlich schwieriger zu erfassen, da es sich häufig um eine Kombination von (lebensbedrohlichen) Verletzungen handeln kann.³

Die amtliche Verkehrsunfallstatistik (Destatis) hingegen erfasst ein Unfallopfer bereits dann als schwerverletzt, wenn er sich unmittelbar nach dem Unfall für mindestens 24 Stunden in stationärer, klinischer Behandlung befindet. Alle übrigen Verletzungen, die entweder überhaupt nicht oder nur ambulant behandelt werden müssen, sind als leichte Verletzungen definiert. Die Einstufung erfolgt in der Regel durch die Polizei und diese bezieht sich aus datenschutzrechtlichen Gründen nicht auf die medizinischen Behandlungsdaten des jeweiligen versorgenden Zentrums. Dies ergibt eine deutliche Unschärfe in der tatsächlichen Erfassung und Identifikation von Schwerstverletzten, da

bereits Verletzte mit einem leichten Schädel-Hirn-Trauma (SHT) oder einer unkomplizierten Fraktur, die nach 1-2 Tagen entlassen werden können, in die Kategorie „Schwerverletzte“ eingruppiert werden.⁴

Bezeichnung	Definition	Anmerkung
(Amtlich) schwerverletzt	Mindestens 24 h im Krankenhaus	Straßenverkehrsunfallstatistik
Ernsthaft verletzt	MAIS 3+	Entspricht der Definition von „serious injuries“ auf europäischer Ebene
Schwerverletzt	ISS \geq 16	In der internationalen Literatur weit verbreitet; schließt auch schwere isolierte Verletzungen mit ein
Polytrauma (Tscherne)	Multiple Verletzungen, von denen eine oder mehrere lebensgefährlich sind	In Deutschland weit verbreitet, pragmatisch und handlich, aber ohne scharfe Kriterien
Polytrauma (Balogh)	AIS \geq 3 in mindestens zwei Körperregionen	Vorschlag zur Definition rein über die Anatomie
Polytrauma (Berlin)	AIS \geq 3 in mindestens zwei Körperregionen plus physiologische Probleme ^a	Internationaler Konsensprozess, Erweiterung um die Komponente der Physiologie
Lebensgefährlich verletzt	ISS \geq 16 plus physiologische Probleme ^a	Schließt auch schwere isolierte Verletzungen mit ein
Basiskollektiv	MAIS3+ oder Intensivtherapie oder verstorben (aber ohne MAIS 1)	Eigentlich keine Schweregraddefinition, sondern dient als Grundlage der Berichterstattung im TraumaRegister DGU

Tabelle 1 - Übersicht der Definitionen für schwerverletzte Unfallopfer von Lefering et al.³

^aBewusstlosigkeit, Schock, Azidose, Gerinnungsstörung und hohes Alter; zur genauen Definition s. Pape et al. oder Paffrath et al.^{5,6}

DGU Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie, MAIS Maximaler Abbreviated Injury Scale Schweregrad, ISS Injury Severity Score

Die weit verbreitete Begrifflichkeit des Polytraumatisierten wurde 1978 durch Tscherne et al. definiert als ein Patient mit multiplen Verletzungen, von denen eine oder ihre Kombination lebensbedrohlich ist.⁷

Allerdings ist diese, im klinischen Alltag gängige und anwendbare Definition, für wissenschaftliche Auswertungen und Register häufig nicht ausreichend. Daher werden

verschiedene Klassifikationssysteme zur Bewertung des Schwerverletzten in der wissenschaftlichen Diskussion herangezogen.

1.2. Verkehrsunfallstatistik

Die amtliche Verkehrsunfallstatistik wurde 1953 in der Bundesrepublik Deutschland eingeführt. Hier werden die Zahlen der im Straßenverkehr Getöteten, Schwer- und Leichtverletzten jährlich ermittelt. Nach anfänglichem Anstieg der Anzahl an Verkehrstoten, zeigen sich die Zahlen seit den 1970er Jahren durch die stetige technische Weiterentwicklung der Fahrzeugtechnik und der Sicherheitssysteme sowie der Verabschiedung von Gesetzen und Etablierung von neuen Verordnungen in der Straßenverkehrsordnung (StVO), kontinuierlich rückläufig (→ Abb. 1).

Gemäß dem Statistischen Bundesamt (Destatis) waren im Jahr 2018 in Deutschland 3.275 Menschen bei Straßenverkehrsunfällen ums Leben gekommen. Wie das Statistische Bundesamt (Destatis) weiter ermittelt hat, waren das 95 Menschen mehr als im Jahr 2017 (+3 %). Weitere 396.000 Menschen wurden bei Verkehrsunfällen verletzt, im Vergleich zum Vorjahr waren das 5.706 (+1,5 %) Verletzte mehr.



Abbildung 1 - Entwicklung der Zahl der im Straßenverkehr Getöteten in Tsd.

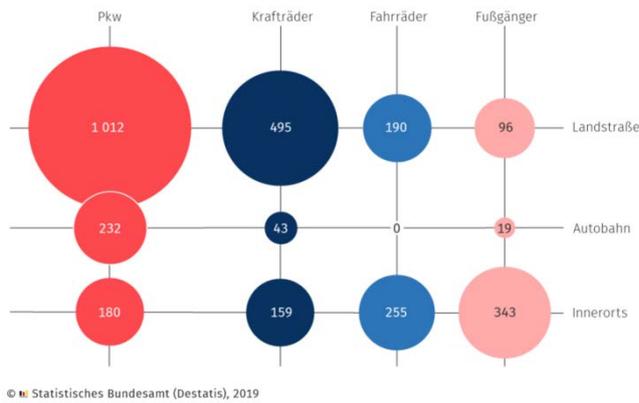


Abbildung 2 – Getötete im Straßenverkehr 2018 nach ausgewählter Verkehrsbeteiligungsart und Ortslagen

In den 28 Mitgliedsstaaten der Europäischen Union (EU) konnte in den letzten zwei Jahrzehnten ebenfalls eine deutliche Abnahme der Verkehrstoten beobachtet werden (→ Abb. 3). Im Jahr 2018 sind laut der Europäischen Kommission 25.100 Menschen bei Verkehrsunfällen verstorben und somit 21% weniger als noch 2010. In Großbritannien versterben mit 28 pro eine Millionen Einwohner am wenigsten Verkehrsteilnehmer, die vorwiegend osteuropäischen Länder zählen die meisten Verkehrstoten mit bis zu 98 pro eine Millionen Einwohnern (→ Abb. 4). Die BRD liegt auf Platz 8 der europäischen Unfallstatistik (39 Verkehrstote pro eine Millionen Einwohnern).⁸

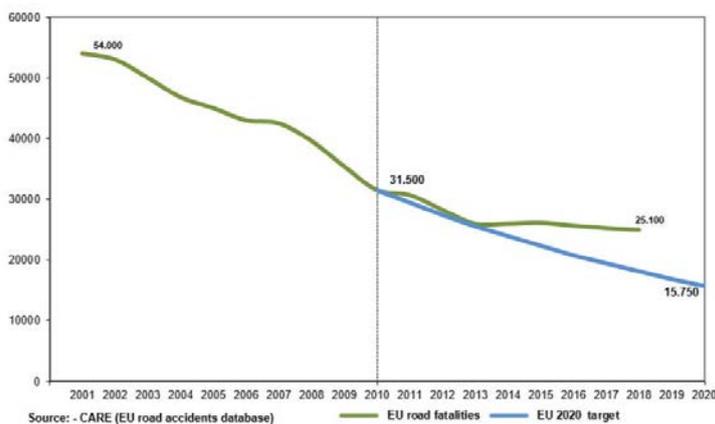


Abbildung 3 - Getötete im Straßenverkehr in der EU – Entwicklung von 2001 bis 2019 ©European Commission, 2019

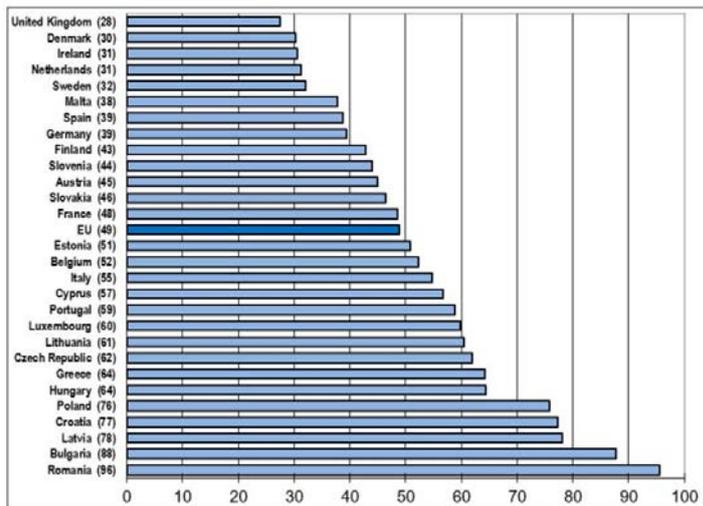


Abbildung 4 - Verkehrstote pro Millionen Einwohner der einzelnen Mitgliedsstaaten in der EU ©European Commission, 2019

1.3. Epidemiologie

Laut dem Statistischen Bundesamt (Destatis) verunglückten im Jahr 2017 insgesamt 218.096 (55,5 %) männliche und 175.170 (44,5 %) weibliche Verkehrsteilnehmer im Straßenverkehr.

Im Jahr 2017 verunglückten insgesamt 3.180 Personen im Straßenverkehr tödlich. Trotz des höheren Anteils der Frauen an der Gesamtbevölkerung (50,7 %) waren 73,9 % der Todesopfer Männer, während der Anteil der Frauen nur 26,1 % betrug. Unter den schwer verletzten Verkehrsteilnehmern lag der Anteil der Männer bei 61,5 % (40.875 Personen), während 38,5 % (25.636 Personen) Frauen waren. Auch bei den leicht Verletzten überwogen Männer mit 54,0 % (174.871 Personen) gegenüber 46,0 % Frauen (148.704 Personen).

Diese Zahlen verdeutlichen, dass Frauen, bezogen auf ihre Bevölkerungszahl, ein deutlich geringeres Risiko haben, im Straßenverkehr zu verunglücken, als Männer: Auf 100.000 Einwohnerinnen kamen 419 verletzte Frauen, während es bei den Männern 536 waren. Die Unterschiede sind bei den tödlich Verunglückten noch ausgeprägter: Pro eine Million Einwohner starben im Straßenverkehr 20 Frauen, jedoch 58 Männer. Das bedeutet, dass

bezogen auf die Einwohnerzahl fast dreimal so viele Männer wie Frauen im Straßenverkehr ums Leben kamen. Dieses geringere Risiko für Frauen gilt zudem in allen Altersgruppen.

Junge Erwachsene im Alter von 18 bis 24 Jahren gehören zu den besonders unfallgefährdeten Altersgruppen (siehe Abb. 5). Innerhalb dieser zeigt sich ein deutlich höheres Risiko für junge Männer im Vergleich zu jungen Frauen, im Straßenverkehr tödlich zu verunglücken. Im Jahr 2017 starben 32 junge Frauen je eine Million Einwohnerinnen dieser Altersgruppe, während es fast dreimal so viele junge Männer im gleichen Zeitraum waren (90 pro eine Million). (→ Abb. 6).⁹

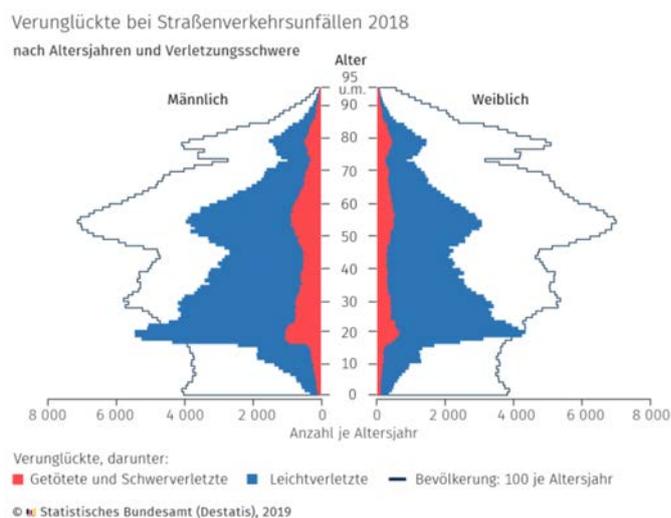


Abbildung 5 - Verunglückte bei Straßenverkehrsunfällen 2018

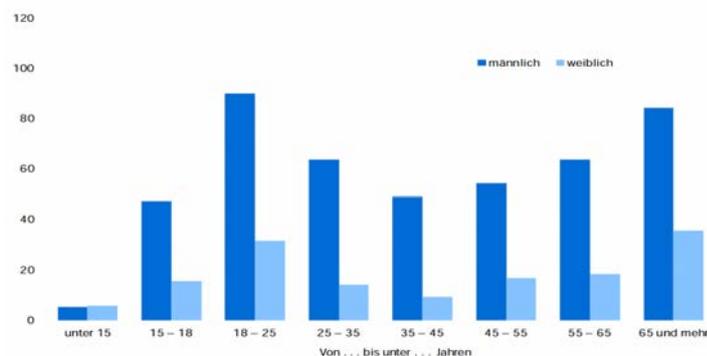


Abbildung 6 - Getötete bei Straßenverkehrsunfällen nach Altersgruppen und Geschlecht 2017 je 1 Million Einwohner (Statistisches Bundesamt - Destatis, 2018)

1.4. Präklinische Einschätzung

Die präklinische Einschätzung der Verletzungsschwere durch den erstversorgenden Rettungsdienst bzw. Notarzt, entscheidet über die weitere klinische Behandlungsphase und über eine, je nach Gefährdungsgrad, erforderliche Schockraumzuweisung. Hierfür stehen physiologische Scoresysteme als Entscheidungshilfe zur Verfügung. Da physiologische Parameter jedoch alleine nicht ausreichend sind einen hohen Gefährdungsgrad sicher zu identifizieren, müssen nach der S3-Leitlinie „Polytrauma/Schwerverletztenversorgung“ (→ Tab. 2) zusätzlich folgende Kriterien erfüllt sein (Empfehlungsgrad A)¹⁰:

Kategorie	Kriterien
a) Störung der Vitalparameter	Systolischer Blutdruck unter 90 mmHg nach Trauma GCS unter 9 nach Trauma Atemstörungen/Intubationspflicht nach Trauma
b) Festgestellte Verletzungen	Penetrierende Verletzungen der Rumpf- und Halsregion Schussverletzungen der Rumpf- und Halsregion Frakturen von mehr als zwei proximalen Knochen Instabiler Thorax Instabile Beckenfraktur Amputationsverletzung proximal der Hände/Füße Verletzungen mit neurologischer Querschnittssymptomatik Offene Schädelverletzung Verbrennung > 20% von Grad ≥ 2b
c) Unfallmechanismus	Sturz aus über drei Metern Höhe Verkehrsunfall mit: Frontalaufprall und Intrusion von mehr als 50–75cm Geschwindigkeitsveränderung von Delta > 30 km/h Fußgänger-/Zweirad-Kollision Tod eines Insassen Ejektion eines Insassen

Tabelle 2 - Einschätzung des Verletzungsschweregrades

Aus der S3-Leitlinie „Polytrauma/Schwerverletztenversorgung“ der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie DGU. Wenn kein Kriterium aus a) und b) vorliegt, sind die Kriterien des Unfallmechanismus c) zielführend für die Indikationsstellung einer Schockraumversorgung.

1.5. Scoresysteme und Klassifikation der Verletzungsschwere

In der wissenschaftlichen Literatur sind zahlreiche Klassifikationssysteme etabliert. Diese Punktesysteme dienen der klinischen Triage und Klassifizierung von polytraumatisierten Patienten anhand einer nominal oder ordinal skalierten Darstellung der Verletzungsschwere. Bereits im präklinischen Setting finden entsprechende Scoresysteme Anwendung und bieten dem Notarzt und dem Rettungsdienst Entscheidungshilfe, bezüglich der angemessenen Zuweisung des Verletzten in das jeweilige Traumazentrum, ggf. auch über einen Schockraum. Neben der unmittelbaren Einstufung der Behandlungsdringlichkeit und der Sicherstellung der Versorgungsqualität, kann der Einfluss des Verletzungsmusters auf Letalität und Prognose des Outcomes abgeschätzt werden. Die erfassten Parameter können darüber hinaus aufgrund ihrer guten Reproduzierbarkeit zur Qualitätskontrolle des einzelnen Zentrums oder des gesamten nationalen Netzwerkes herangezogen werden. Einheitliche Scoresysteme verbessern zu dem die Qualität von Forschungsergebnissen.^{11, 12} Im Allgemeinen können anatomisch-bezogene von, auf physiologischen Parameter basierende Bewertungssysteme unterschieden werden. Die anatomisch-bezogenen Scoresysteme (Abbreviated Injury Scale, Maximum Abbreviated Injury Scale, Injury Severity Score, New Injury Severity Score) beschreiben und bewerten Verletzungsmuster, isoliert betrachtet korrelieren diese jedoch weniger mit dem Outcome als Scoringsysteme die mit physiologischen Parametern kombiniert werden können (APACHE, APACHE II, Trauma Score, Revised Trauma Score, etc.).¹²

Eine grundsätzliche Schwierigkeit ergibt sich aus der Vergleichbarkeit der erhobenen Daten aus zwei oder mehreren unterschiedlichen heterogenen Patientenkollektiven.

1.5.1. Anatomisch-bezogene Scoresysteme

Klassifikationssystem	Beschreibung
Abbreviated Injury Scale (AIS)	Der 1960 von der Association for the Advancement of Automotive Medicine (AAAM) entwickelte Abbreviated Injury Scale (AIS) ist ein anatomisch-basiertes Schweregrad-Bewertungssystem, das jede Verletzung nach Körperregionen auf einer 6-Punkte-Skala klassifiziert. Der AIS dient als Grundlage zur Bestimmung des Injury Severity Score (ISS) des mehrfach verletzten Patienten.
Maximum Abbreviated Injury Scale (MAIS)	Der AIS ist eine Ordnungsskala von 1 bis 6 (1 = leichte Verletzung und 6 = maximale Verletzung). Ein Verletzter mit einer AIS-Bewertung von 3 oder höher, wird als klinisch schwer verletzt eingestuft (MAIS3+).
Injury Severity Score (ISS)	Anatomische Verletzungsgradtabelle (6 Körperregionen) zur Einordnung der Verletzungsschwere (Werte zwischen 0-75) (Baker et al. 1974)
New Injury Severity Score (NISS)	Anatomische Verletzungsgradtabelle zur Einordnung der Schwere einer Verletzung. Bewertungsgrundlage ist der jeweilige Schweregrad bei den Einzelverletzungen gemäß der vereinfachten Verletzungsskala Abbreviated Injury Scale (AIS). Die ISS-Tabelle umfasst Werte zwischen 0 und 75. (Copes et al. 1988)

Tabelle 3 - Übersicht über die wichtigsten anatomischen Klassifikationssysteme zur Bewertung der Verletzungsschwere

1.5.1.1. Abbreviated Injury Scale (AIS)

Die Abbreviated Injury Scale (AIS) wurde entwickelt, um der Wissenschaft eine einfache numerische Methode zur Einstufung und zum Vergleich von Verletzungen nach Schweregrad bereitzustellen und die Beschreibung von Verletzungen zu standardisieren. Es handelt sich um eine numerische Skala für die Schwere der Verletzung, die von 1 (leichte Verletzung) bis 6 (maximale Verletzung nicht überlebbar) reicht. Verletzungen werden für jede der Körperregionen bestimmt.

Bei dem durch John D. States 1971 erstmals im *Journal of the American Medical Association* (JAMA) publizierten AIS, handelt es sich um ein Codebuch mit über 2000 gelisteten Verletzungen.¹³ Jeder einzelnen Verletzung wurde durch eine Expertenkommission ein definierter Verletzungsschweregrad mit Punkten zwischen 1 (leicht) und 6 (maximal) zugeordnet.

Der AIS kann als universeller Grundscore für die Bewertung von Einzelverletzungen verstanden werden. Mehrfachverletzte werden mit dem Injury Severity Score (ISS) und Maximum Abbreviated Severity Scale (MAIS) oder dem New Injury Severity Score (NISS) beschrieben. Beide korrelieren mit der Letalität und der durchschnittlichen Hospitalisationszeit.^{3, 14}

Tab. 4 zeigt Beispiele für die unterschiedlichen Verletzungsschweregrade. Der Maximum AIS (MAIS) klassifiziert die Verletzungsschwere anhand der schwersten Verletzung. Daher wurde vor einigen Jahren von dem European Transport Safety Council (ETSC) der Europäischen Union für die einheitliche Erfassung von Verkehrsunfallfolgen der europäischen Mitgliedsstaaten eine Definition von „serious road injuries“ (d. h. ernsthaft unfallverletzt) eingeführt. Dabei gilt jeder Verunfallte mit einem MAIS 3+, also einer Verletzung ab einem AIS-Schweregrad von 3, als schwerst verletzt.³

Schweregrad	Beschreibung	Beispiele
1	Leicht	Kleine Fleischwunden, Hämatome, Finger-/Zehenfrakturen, Fraktur einer Rippe, Contusio, Verletzungen von Bändern und Sehnen
2	Mäßig	Radiusfraktur, geschlossene Tibiafraktur, Leberkontusion, Wirbelkörperfraktur ohne Beteiligung des Rückenmarks, Subarachnoidalblutung (SAB)
3	Ernsthaft	Nierenverletzung (>1 cm tief); Femurfraktur; offene Tibiafraktur; Schädelbasisfraktur; Rippenserienfraktur
4	Schwer	Hämatothorax (>1000 ml), intrazerebrale Blutung mit Koma >6 h, schwere Milzverletzung, Contusio spinalis
5	Kritisch	Instabile Open-book-Fraktur des Beckens mit relevantem Blutverlust (>20 % des Blutvolumens), intrazerebrales oder subdurales Hämatom >50 cm ³ , Verletzung des Rückenmarks
6	Maximal, zur Zeit nicht behandelbar	Hirnstammverletzung, hoher Querschnitt (C1–C3), Aortenabriss mit Blutung über das Mediastinum hinaus

Tabelle 4 - Schweregradklassifikation der Abbreviated Injury Scale (AIS) mit Beispielen von Lefering et al.³

1.5.1.2. Injury Severity Score (ISS)

Eine angemessene Klassifizierung der Verletzungen nach Art und Schweregrad ist für die Untersuchung der Verletzung von grundlegender Bedeutung. Um multiple Verletzungen im Rahmen eines Polytraumas zusammenzufassen, wurde von Baker et al.¹⁵ der Injury Severity Score (ISS) entwickelt. Es handelt sich dabei um ein Scoresystem, der auf dem AIS basiert.¹⁶ Ein Punktwert von 16 oder höher (ISS 16+ oder ISS > 15 oder ISS ≥ 16) kennzeichnet einen Schwerverletzten (→ Tab. 5). Der ISS ergibt sich aus der Summe der Quadrate der AIS-Schweregrade in den drei am stärksten betroffenen Körperregionen.

Körperregion	AIS Score	(Summe aus 3 max. AIS) ²
Kopf & Hals	3	9
Gesicht	0	0
Thorax	4	16
Abdomen	0	0
Extremitäten	2	4
Äußerlich	1	1
Injury Severity Score (ISS)		30

Tabella 5 - Beispielhafte Berechnung des ISS anhand einer Kombination aus Verletzungen

Injury Severity Score (ISS)	
1 - 8	Minor
9 - 15	Moderate
16 - 24	Serious
25 - 49	Severe
50 - 74	Critical
75	Maximum

Tabella 6 - Der Injury Severity Score (ISS) von Baker et al.

Ein Punktwert von 16 oder höher (ISS 16+ oder ISS > 15 oder ISS ≥ 16) kennzeichnet einen Schwerverletzten.

In die Berechnung des ISS gehen ausschließlich Codes der Schwere 1–5 einher. Der ISS liegt zwischen den Werten 1 und 75, wobei sich der Maximalwert von 75 Punkten aus einer Kombination von 3 × 52, also einem AIS von 5 in 3 Körperregionen, ergibt (→ Tab. 6). Ein AIS von 6 führt definitionsgemäß zu einem Maximalwert von ISS 75. Dabei ist ein ISS 16+ nicht gleichbedeutend mit dem Begriff des „Polytraumas“, da auch schwere isolierte Verletzungen AIS-Grad ≥ 4 einen ISS von 16+ ergeben können.³

1.5.1.3. New Injury Severity Score (NISS)

Da beim ISS je nach Körperregion, die nur dort jeweils schwerste Verletzung bewertet wird, bleiben Mehrfachverletzungen einer definierten Körperregion im Zweifel unberücksichtigt. Daher kann der ISS die tatsächliche Verletzungsschwere bei Mehrfachverletzungen in nur einer definierten Körperregion nur unzureichend beurteilen. Aufgrund dieser Ungenauigkeit wurde der New Injury Severity Score“ (NISS) von Osler et al. entwickelt.¹⁷

Der NISS bezieht sich weniger auf die Körperregionen, sondern betrachtet insgesamt die drei höchsten AIS-Schweregrade. Die Summe aus quadrierten AIS-Werten ergeben den NISS der zwischen 1 und 75 liegt. Dieser entspricht nur dann dem ISS, wenn die 3 schwersten Verletzungen in unterschiedlichen Körperregionen zu finden sind. Der Unterschied zwischen diesen beiden Scorewerten wird besonders dann deutlich, wenn multiple Verletzungen der gleichen Region vorliegen, denn dann ist der NISS größer als der ISS. Obwohl in verschiedenen wissenschaftlichen Studien ein Vorteil gegenüber dem ISS belegt werden konnte, fanden sich insbesondere in der amerikanischen Literatur, kontroverse Vergleiche des NISS gegenüber des ISS.^{3, 18-20}

1.5.2. Physiologisch-bezogene Scoresysteme

Klassifikationssystem	Beschreibung
Glasgow Coma Scale (GCS)	Einfache 15-Punkte Skala zur Abschätzung einer Bewusstseinsstörung (Teasdale & Jennet 1974)
Glasgow Outcome Scale (GOS)	Anatomische Verletzungsgradtabelle (6 Körperregionen) zur Einordnung der Verletzungsschwere (Werte zwischen 0-75) (Jennet & Bond 1975)
Acute Physiology and Chronic Health Evaluation (APACHE)	Der APACHE Score ist ein physiologisches Scoring System (Knaus et al. 1981) aus der Intensivmedizin
APACHE II	Der APACHE II (Knaus et al. 1985) setzt sich aus drei Datengruppen zusammen: <ul style="list-style-type: none">• dem Acute Physiology Score• den Age Points• den Chronic Health Points

Klassifikationssystem	Beschreibung
Trauma Score (TS)	Einfache physiologische Einschätzung der Verletzungsschwere (Champion et al. 1989)
Revised Trauma Score (RTS)	Physiologisches Scoring System basierend auf den initialen Vitalwerten eines Patienten (Champion et al. 1990)

Tabelle 7 - Physiologische Klassifikationssysteme zur Bewertung der Verletzungsschwere

1.5.2.1. Glasgow Coma Scale (GCS)

Der Glasgow Coma Scale ist ein von den beiden Neurochirurgen G. Teasdale und B. Jennett im Jahr 1974 entwickeltes und mittlerweile weltweit etabliertes Bewertungssystem zur Einschätzung der Bewusstseinslage von Patienten und deren Prognose.²¹ Der GCS bewertet die reduzierte Reaktionsfähigkeit des Patienten durch zunehmende zerebrale Funktionsstörungen anhand von drei Merkmalen: Augenreaktionen, verbale Reaktionen und motorische Reaktionen. Dabei ergeben sich aus den zu untersuchenden drei Kategorien eine Summe von mindestens 3 bis maximal 15 Punkten (→ Tab. 8 + 9).

Glasgow Coma Scale (GCS)	Augenöffnung	Beste verbale Antwort	Beste motorische Reaktion
6			befolgt Aufforderungen
5		orientiert	auf Stimulation gezielte Abwehr
4	spontan	desorientiert	auf Stimulation ungezielte Abwehr
3	auf Ansprache	inadäquat	auf Stimulation abnorme Beugeabwehr
2	auf Stimulation	unartikuliert	auf Stimulation abnorme Streckabwehr
1	keine	keine	keine

Tabelle 8 - Glasgow Coma Scale (GCS) für Erwachsene und Kinder (max. Punktzahl 15)

Gesamtpunkte	Beurteilung	Mögliche Maßnahmen
14-15	keine Bewusstseinsstörung	keine Maßnahmen
12-13	leichte Bewusstseinsstörung	Monitoring
9-11	mittelschwere Bewusstseinsstörung	Intubationsbereitschaft
3-8	schwere Bewusstseinsstörung, komatös	Schutzintubation

Tabelle 9 - Glasgow Coma Scale (GCS) – Interpretation

Die drei Kategorien können zudem separat bewertet werden. Es konnte gezeigt werden, dass es eine annähernd lineare Beziehung zwischen sinkenden GCS-Werten und zunehmender Mortalität bei Patienten mit Schädel-Hirn-Trauma (SHT) besteht, und die Reduktion der motorischen Komponente alleine, bereits ein starker Prädiktor für ein schlechtes Outcome bei mittelschwerem / schwerem SHT darstellt.²²

Der Glasgow Coma Scale kann allerdings auch von anderen Einflussfaktoren wie z.B. einer Intoxikation, metabolischen Störungen, Hypoxie sowie von therapeutischen Maßnahmen (z.B. Sedierung, Intubation, etc.) verändert werden und verliert dadurch an Aussagekraft.²³⁻²⁶

Der GCS dient in der heutigen Zeit als zentraler Bestandteil in der Beurteilung von Patienten in der Notfall- und Intensivmedizin und darüber hinaus als Grundlage von diversen Trauma-Scores wie z.B. dem Revised Trauma Score (RTS), dem Trauma Injury Severity Score (TRISS) und der Revised Injury Severity Classification (RISC).

Der GCS wird vom Notarzt in der präklinischen Phase erhoben und im DIVI-Notarzteinsatzprotokoll eingetragen. Dieser wird dann auch bei Eintreffen im Schockraum erfasst in dem Erhebungsbogen des TraumaRegisters TR-DGU eingegeben.

1.5.2.2. Acute Physiology And Chronic Health Evaluation (APACHE)

Der Acute Physiology And Chronic Health Evaluation (APACHE) wurde von W. Knaus et al. aus Washington im Jahre 1981 publiziert, zur Abschätzung der Überlebenswahrscheinlichkeit von Patienten unter intensivmedizinischer Therapie. In der Folge wurden bereits 3 überarbeitete Versionen veröffentlicht, zuletzt der APACHE IV 2006.²⁷⁻³⁰

Der APACHE Score setzt sich aus dem Acute Physiology Score und dem Chronic Health Score, in Abhängigkeit des Alters zusammen:

$$\text{APACHE II} = \text{Acute Physiology Score} + \text{Alter (Punkte)} + \text{Chronic Health Score}$$

Der Acute Physiology Score bezieht sich auf die physiologischen Parameter, wie z.B. der arterielle Mitteldruck, die rektal gemessene Körpertemperatur, Herz- und Atemfrequenz, dem pH-Wert, den Elektrolytwerten, Kreatinin- und Hämatokritwert, Leukozytenzahl und dem Glasgow Coma Scale.

Alter	≤ 44	45 – 54	55 – 64	65 – 74	≥ 75
Punkte	0	2	3	5	6

Tabelle 10 - APACHE-Punkte entsprechend dem Alter

Entsprechend dem Alter des Patienten wird ein weiterer Punktwert ermittelt (Tab. 10). Zur Berechnung des APACHE werden die kodierten Punkte beider Abschnitte sowie des Alters als Summe zusammengefasst. Dabei ergeben sich für den Minimalwert 0, für den Maximalwert 71 Punkte.³¹

Der APACHE II zählt zu den heute am häufigsten genutzten Scores zur Abschätzung des Outcomes für Patienten auf der Intensivstation. Eine prinzipiell falsche Einschätzung ergibt der Score bei Patienten, die bereits vor Verlegung auf die Intensivstation, z.B. im

Schockraum oder OP stabilisiert wurden. Hieraus können sich falsch niedrige Werte bezüglich der Mortalität errechnen. Ähnlich können sich bei der Prognoseabschätzung von Mehrfachverletzten, falsche Ergebnisse des APACHE II ergeben, da hier grundsätzlich keine anatomischen Kriterien miteinbezogen werden.^{31, 32}

1.5.2.3. Trauma Score (TS)

Der Trauma Score (TS) wurde 1989 von Champion et al. entwickelt und charakterisiert die physiologische Antwort des Körpers auf eine Verletzung. Der TS enthält fünf physiologische Variablen (Tab. 11): GCS, Atemfrequenz (Af), Atmungsausdehnung, systolischer Blutdruck (RR_{sys}) und Kapillarfüllung. Die TS-Werte reichen von 16 (am besten) bis 1 (am schlechtesten).³³

Rekapillarierungszeit	Systolischer Blutdruck (sysRR)	Atemfrequenz (Af)	Atemexkursionen	Glasgow Coma Scale	Punkte je Kategorie
				14-15	5
	> 89 mmHg	10-24/min		11-13	4
	76-89 mmHg	25-35/min		8-10	3
normal	50-75 mmHg	> 36/min		5-7	2
verzögert	1-49 mmHg	1-9/min	normal	3-4	1
keine	0 mmHg	0/min	retrahiert		0

Tabelle 11 - Trauma Score (RTS) nach Champion et al. 1989

1.5.2.4. Revised Trauma Score (RTS)

In den 1980er Jahren wurde der Revised Trauma Score (RTS) als Weiterentwicklung des Trauma Scores (TS) von Champion veröffentlicht und fand breite Anwendung in Wissenschaft und Klinik^{33, 34}. Bei dem RTS handelt es sich um einen physiologischen Bewertungsscore der Verletzungsschwere in der präklinischen Phase und zur Triage. Dabei werden die Vigilanz anhand des GCS, der systolische Blutdruck (RR_{sys}) und die

Atemfrequenz (Af) als Parameter erfasst. Aus jeder Kategorie ergeben sich 0 bis maximal 4 Punkte (→ Tab. 12).

Glasgow Coma Scale (GCS)	Systolischer Blutdruck (sysRR)	Atemfrequenz (Af)	Punkte je Kategorie
13-15	> 89 mmHg	10-29/min	4
9-12	76-89 mmHg	> 29/min	3
6-8	50-75 mmHg	6-9/min	2
4-5	1-49 mmHg	1-5/min	1
3	0 mmHg	0/min	0

Tabelle 12 - Revised Trauma Score (RTS) nach Champion et al. 1990

Zur Einschätzung der Prognose werden die RTS-Werte durch Koeffizienten gewichtet und der daraus errechnete RTS ergibt Rückschlüsse auf die physiologische Reaktion eines Verunfallten auf ein Trauma:

$$RTS = 0,9638 \times GCS\text{-Punkte} + 0,7326 \times RR_{sys}\text{-Punkte} + 0,2908 \times Af\text{-Punkte}$$

Dabei ergeben sich Werte für den RTS zwischen 0 und 7,8408, wobei 0 Punkte einem letalen Ausgang entsprechen und der Maximalwert von 7,8408 die Norm darstellt.³¹ Der empfohlene Schwellenwert, um diejenigen Patienten zu identifizieren, die aufgrund ihrer Verletzungsschwere in ein Traumazentrum verlegt und dort primär behandelt werden sollten, liegt laut Chawda et al. bei einem RTS-Wert von <4.³²

Allerdings gelten diese Parameter ausschließlich für nicht-intubierte und Patienten ohne Analgosedierung, da sich für beatmete und sedierte Patienten prinzipiell falsch niedrige Werte ergeben, wodurch sich ebenfalls eine zu niedrige Überlebenswahrscheinlichkeit prognostiziert lässt.³⁵

Grundsätzlich ist der RTS als prognostischer Score den kombinierten physiologischen und anatomischen Scores wie z.B. dem Trauma Injury Severity Score (TRISS) oder der Revised Injury Severity Classification (RISC), unterlegen.³¹

1.5.3. Kombinierte Scoresystemen

Klassifikationssystem	Beschreibung
Hannover Polytraumaschlüssel (PTS)	Klassifikation der Verletzungsschwere bei Polytraumatisierten (Oestern et al. 1985)
Trauma Injury Severity Score (TRISS)	Der TRISS ergibt sich aus der Kombination des Revised Trauma Score (RTS), des Injury Severity Score (ISS) und des Patientenalters (Champion et al. 1981)
Revised Injury Severity Classification (RISC)	Kombination aus der anatomischen Beurteilung der Verletzungsschwere anhand des NISS, AIS „Kopf und Extremitäten“ und des GCS (Lefering et al. 2009)
Revised Injury Severity Classification v.II (RISC II)	Der AIS ist eine Ordnungsskala von 1 bis 6 (1 = leichte Verletzung und 6 = maximale Verletzung). Ein Verletzter mit einer AIS-Bewertung von 3 oder höher, wird als klinisch schwer verletzt eingestuft (MAIS3+). (Lefering et al. 2014)

Tabelle 13 - Kombinierte Klassifikationssysteme zur Bewertung der Verletzungsschwere

1.5.3.1. Hannover Polytraumaschlüssel (PTS)

Der Hannoveraner Polytraumaschlüssel ist ein von Oestern et al. 1997 entwickelter kombinierter Score zur Bewertung der Verletzungsschwere. Er umfasst neben der Aufschlüsselung von Verletzungen verschiedener Körperregionen (Schädel, Thorax, Abdomen, Extremitäten, Becken- und Gefäßverletzungen), das Alter des Verunfallten, das Basendefizit (BE) und den Horowitz-Koeffizienten (paO_2/FiO_2) bei Aufnahme in die Klinik.

Schweregrad	PTS-Punkte
I	< 19
II	20 – 34
III	35 -48
IV	> 49

Tabelle 14 - Schweregrade des Hannover Polytraumaschlüssels (PTS) nach Oestern et al.³⁶

Aus allen Kategorien ergeben sich Punktwerte, die in Summe die Gesamtverletzungsschwere erfassen. Diese wird in 4 unterschiedliche Schweregrade eingeteilt (→ Tab. 14).³⁶

1.5.3.2. Trauma Injury Severity Score (TRISS)

Die Ausarbeitung des Trauma Injury Severity Score (TRISS) aus dem Datensatz der Major Trauma Outcome Study im Jahr 1981 durch Boyd et al.³⁷ kombinierte Teilkriterien anatomischer und physiologischer Klassifikationssysteme und gab den Notfallmediziner die Möglichkeit, aussagekräftigere Prognosen zum Outcome von Schwerstverletzten geben zu können. Der TRISS besteht zum einen aus dem ISS, der die Verletzungsschwere beschreibt, zum anderen aus den physiologischen Parameter des RTS. Zu den beiden kombinierten Scores wird das Patientenalter mit einberechnet, um eine Prognose bezüglich der Überlebenswahrscheinlichkeit treffen zu können.^{31, 32}

Die Überlebenswahrscheinlichkeit wird wie folgt berechnet:

$TRISS = 1/(1 + e^{-X})$
$X_{\text{stumpfes Trauma}} = 0,9544 \times RTS - 0,0768 \times ISS - 1,9052 \times (\text{Alter} \geq 55 \text{ Jahre}) - 1,1270$
$X_{\text{penetrier. Trauma}} = 1,1430 \times RTS - 0,1516 \times ISS - 2,6676 \times (\text{Alter} \geq 55 \text{ Jahre}) - 0,6029$

Daraus ergeben sich Werte des TRISS zwischen 0 und 1, der die direkte Überlebenswahrscheinlichkeit angeben soll. Einer der Vorteile des TRISS ist die Anwendbarkeit für Erwachsene und Kinder.³⁸ Da der TRISS aus dem ISS und dem RTS kombiniert wurde, bestehen auch beim TRISS Einschränkungen der Validität, vor allem bei Mehrfachverletzungen einer Körperregion und bei schweren SHT. Auch bei beatmeten und sedierten Patienten ist die Bewertung bezüglich der Prognose eingeschränkt.³¹

1.5.3.3. Revised Injury Severity Classification (RISC)

Die angemessene Berücksichtigung identifizierter Prognosefaktoren ist für eine gültige Bewertung mit guten Eigenschaften der Ergebnisvorhersage obligatorisch. Das Trauma-Register der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (TR-DGU) verwendete zunächst den TRISS (Trauma and Injury Severity Score), aber verschiedene Gründe führten letztlich zur Entwicklung eines neuen Bewertungssystems, der Revised Injury Severity Classification (RISC).

Der RISC kombiniert 11 verschiedene Prädiktoren wie Alter, NISS, Kopfverletzung, schwere Beckenverletzung, Glasgow Coma Scale, partielle Thromboplastinzeit (PTT), base excess, Herzstillstand und indirekte Anzeichen von Blutungen (Schock, Massentransfusion und niedriger Hämoglobinspiegel). Der neue RISC-Score erreichte sowohl in Entwicklungs- als auch in Validierungsproben signifikant höhere Werte von über 0,90 für den Bereich unter der ROC-Kurve, gegenüber bestehenden Punktesysteme wie dem ISS, NISS, RTS, ASCOT oder TRISS mit Werten von 0,767 bis 0,877.³⁹

1.5.3.4. Revised Injury Severity Classification version II (RISC II)

Basierend auf der Datenanalyse von über 30.000 Fällen aus zwei aufeinanderfolgenden Jahren wurde aus der Weiterentwicklung des RISC, der RISC II im Jahre 2011 veröffentlicht und zur Prognoseabschätzung allgemein etabliert (→ Abb. 7). Validierungen aus großen Datensätzen aus den Folgejahren konnten letztlich die hohe prognostische Qualität des RISC II, bezogen auf die Krankenhausmortalität, aufzeigen (→ Abb. 8). Neben den Kriterien des RISC, wurden neue Prädiktoren wie z.B. die Pupillengröße und -reagibilität, die Abschätzung des Krankheitsschweregrades (= ASA-Klassifikation) vor Trauma, Geschlecht sowie Blutwerte bei Aufnahme, in die Scoreberechnung mit aufgenommen. Zudem erfolgte eine Optimierung des RISC^{40, 41}

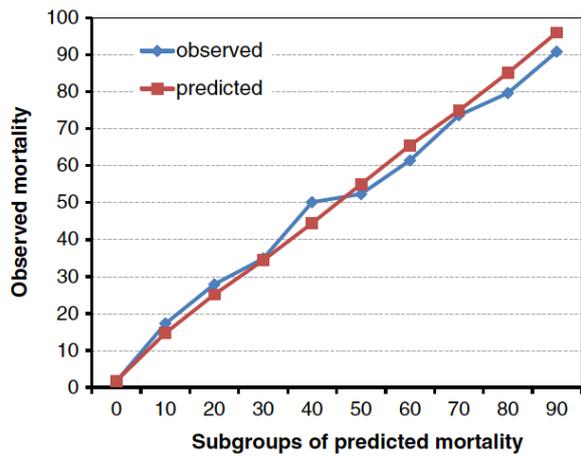


Abbildung 7 - Revised Injury Severity Classification II (RISC II)

Beobachtete und erwartete Mortalität aus 10 Subgruppen (Alle Patienten aus Datensatz mit $n = 30,866$) mit steigendem Mortalitätsrisiko auf der Grundlage des berechneten RISC II aus Lefering et al.⁴⁰

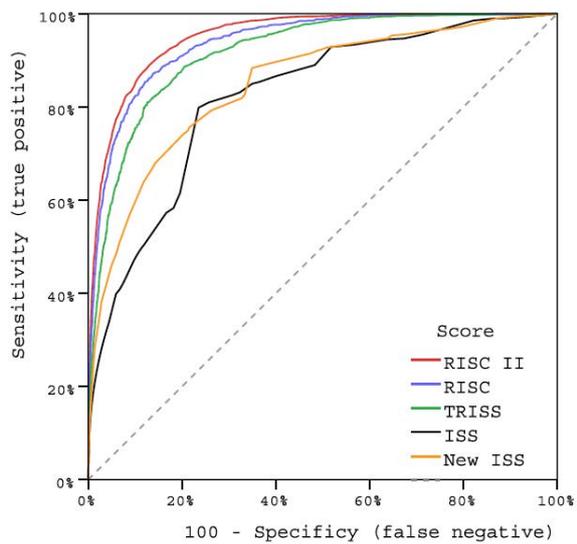


Abbildung 8 - RISC II - Qualität der Prognoseabschätzung anhand der Grenzwertoptimierungskurven

(“Receiver operating characteristic curves” ROC) für RISC II, RISC, TRISS, ISS und NISS von 17,411 Patienten. ISS, Injury Severity Score; NISS, New Injury Severity Score; RISC (II), Revised Injury Severity Classification (II); TRISS, Trauma and Injury Severity Score.

1.6. Das TraumaRegister DGU – TR-DGU

1.6.1. TraumaRegister DGU

Im Bereich der Traumatologie finden sich international zahlreiche Register. Hier werden Daten der Schwerverletztenversorgung einzelner Kliniken, einer Gruppe von Kliniken eines Trägers, Regionen oder als nationales Register erfasst. Die Arbeitsgemeinschaft Polytrauma der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie gründete im Jahr 1993 das TraumaRegister DGU in Deutschland. Neben der TR-DGU gibt es nationale Register in den USA, Kanada, Australien, Großbritannien und den Niederlanden.

Im Jahr 2017 beteiligten sich insgesamt 675 Kliniken an der Datenerfassung durch das Traumaregister der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (TR-DGU). Davon stammten 620 Kliniken aus Deutschland, 24 aus Österreich, 11 aus der Schweiz und 7 aus Belgien.⁴²

Die zentrale Datenbank des TR-DGU enthält anonymisierte Daten, die zur Erhöhung der Sicherheit und Qualität in der Versorgung schwer verletzter Patientinnen und Patienten beitragen sollen. Etwa 100 Parameter zu Behandlungsdaten polytraumatisierter Personen werden über einen standardisierten, webbasierten Erhebungsbogen der DGU® erfasst. Die Datenerfassung erfolgt in vier aufeinanderfolgenden Behandlungsphasen, wobei für jede Phase ein eigener Erhebungsbogen verwendet wird.

A	Präklinik
B	Schockraum und OP
C	Intensivstation
D	Entlassung

Nach den Vorgaben und Registerkriterien der Arbeitsgruppe Polytrauma der DGU beinhalten die Daten detaillierte Informationen über Demographie, Verletzungsmuster, Komorbiditäten, präklinische und klinische Behandlungsprozesse, intensivmedizinischen Verlauf und wichtige Laborbefunde einschließlich Transfusionsdaten. Weiterhin enthält

das Register Daten zum Outcome wie beispielsweise der Zustand des Patienten bei Entlassung/Verlegung.

Für die erfassenden Kliniken ist die Teilnahme am TR-DGU freiwillig und dient vorwiegend der eigenen Qualitätssicherung, einzig für die am TraumaNetzwerk (TNW) beteiligten Kliniken ist die Eingabe der Daten in das Register verpflichtend.

Die wissenschaftliche Leitung des Registers obliegt der Sektion Notfall-, Intensivmedizin und Schwerverletztenversorgung (NIS) der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU). Getragen wird das Register von der Akademie der Unfallchirurgie GmbH (AUC). Die Abbreviated Injury Scale (AIS) wird zur Einschätzung der Verletzungsschwere verwendet und basiert auf einem weltweit genutzten Katalog mit über 2000 Diagnosen. Im TR-DGU findet eine verkürzte Version mit etwa 450 Einträgen Anwendung, die sämtliche Schweregrade berücksichtigt. Jede Verletzung erhält im AIS-System einen sechsstelligen Code sowie eine Bewertung des Schweregrades von 1 (leicht) bis 6 (maximal). So steht der Code 751272.3 beispielsweise für eine offene Mehrfragmentfraktur des Oberarmknochens, die mit einem Schweregrad von 3 eingestuft wird. Die Verwendung des ICD (International Classification of Diseases) liefert hierbei keine vergleichbaren Resultate, da oft keine Differenzierung der Schweregrade vorgenommen wird. Um den passenden AIS-Code zu finden, bietet die Online-Plattform ein Hilfsmittel an, das durch Auswahl von 2 bis 4 Kategorien eine begrenzte Liste relevanter Verletzungen anzeigt.²

1.6.2. Datenerfassung mittels Standarderhebungsbogen

Die Datenerfassung erfolgt standardisiert anhand des TR-DGU-Erhebungsbogens. Die erhobenen, anonymisierten Parameter werden gemäß den Behandlungsphasen (A-D) Präklinik, Schockraum-/OP-Phase, Intensivstation und Abschluss/Diagnosen in den Standardbogen eingegeben.

Nach Erfassung der Stammdaten (Alter, Geschlecht, Unfall-Anamnese, Zuverlegung, Gesundheitszustand vor Unfall, Unfallart) werden in der präklinischen Phase A die Alarmierungs- und Transportzeiten, die Transportart (boden- oder luftgebunden), die Vitalzeichen, der Glasgow Coma Scale (GCS), das Verteilungsmuster der Verletzungen sowie die initiale, präklinische Therapie (z.B. Volumengabe, endotracheale Intubation, Analgosedierung, Herzdruckmaschine, etc.) erfasst.

Im Erhebungsbogen B1 werden die Schockraum-Parameter (Aufnahmezeit, Vitalzeichen, GCS, Laborwerte, erweiterte Diagnostik und Therapie im Schockraum) eingegeben. Daneben sind operative Notfalleingriffe bis zur Aufnahme auf eine ICU / IMC erfasst.

Unter B2 wird der Transfusions-/Substitutionsbedarf bzw. eine medikamentöse Gerinnungstherapie bis zur Weiterverlegung in den OP, ICU/IMC, bzw. Tod im Schockraum oder Verlegung in anderes KH, ermittelt.

Für die Phase der Intensivstation C werden neben den Aufnahmedaten (Aufnahmezeit, Labor/Vitalwerte, Gerinnungsdiagnostik, -therapie) die Aufenthaltsdauer und Beatmungstherapie und das Vorliegen eines Organversagens (Sepsis-related Organ Failure Assessment → SOFA-Score > 2) erfasst.

Abschließend werden in der Phase D die Entlassungsdaten, Komplikationen, das Outcome und darüber hinaus sämtliche Diagnosen, erfasste Verletzungen anhand ihres AIS-Codes sowie alle Operationen mit den entsprechenden OPS-Kodierungen an das Register übermittelt.

1.6.3. TraumaNetzwerk DGU

Als konzeptionellen Ansatz fordert das TraumaNetzwerk DGU „für jeden Schwerverletzten an jedem Ort in Deutschland zu jeder Zeit in gleicher Qualität das Überleben und die bestmögliche Lebensqualität zu sichern“. Aufgrund von Beobachtungen in der Versorgungsrealität von Schwerstverletzten in der Bundesrepublik

Deutschland, konnten erhebliche Abweichungen z.B. in Bezug auf die Letalitätsraten von Polytraumatisierten in zahlreichen wissenschaftlich Studien aufgezeigt werden. Die Analyse der Daten ergab eindeutige Hinweise auf infrastrukturelle Unterschiede in den betroffenen Regionen. Vor diesem Hintergrund wurde 2006 der „Arbeitskreis Umsetzung TraumaNetzwerk“ (AKUT) der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU) konstituiert, mit dem Ziel der flächendeckenden Vereinheitlichung der strukturellen, personellen und apparativen Ausstattung in der Schwerstverletztenversorgung der Akutkliniken der Bundesrepublik Deutschland.

Mit der Herausgabe der ersten Fassung des „Weißbuch Schwerverletztenversorgung“ im Jahr 2006, das die Anforderungen an die jeweiligen Akutkliniken regelt und deren Einhaltung die Voraussetzung für eine Zertifizierung als TraumaZentrum darstellt, wurden die ersten Zertifizierungsprozesse von einzelnen TraumaZentren eingeleitet. Diese wurden erstmals in lokale, regionale und überregionale TraumaZentren unterteilt und nach Zusammenschluss der teilnehmenden und zertifizierten Kliniken, konnte das erste regionale TraumaNetzwerk (TNW) in Ostbayern im Jahr 2009 etabliert werden.⁴³

Damit ein regionales TraumaNetzwerk als solches anerkannt werden kann, muss es über mindestens einem überregionalem TraumaZentrum (ÜTZ), zwei regionalen TraumaZentren (RTZ) und drei lokalen TraumaZentren (LTZ) verfügen. Alle Akutkliniken innerhalb des TNW müssen über ein geregeltes Kommunikations- und Kooperationssystem, untereinander und auch mit den Rettungsdiensten vernetzt sein. In der aktuellen, 3. erweiterten Auflage (Stand April 2019) werden im „Weißbuch Schwerverletztenversorgung“ insgesamt 624 zertifizierte TraumaZentren in 52 TraumaNetzwerken organisiert (→ Abb. 9). Dabei handelt es sich um 109 überregionale TraumaZentren (ÜTZ), 209 regionale TraumaZentren (RTZ) und 306 lokalen TraumaZentren (LTZ). Durch die flächendeckende Etablierung der TraumaNetzwerke konnte eine messbare Verbesserung der Struktur- und Prozessqualität festgestellt werden. Insbesondere an den regionalen und lokalen TraumaZentren konnte eine umfängliche Optimierung der personellen, organisatorischen und strukturellen Akutversorgung beobachtet werden. Einen hohen Stellenwert für die Verbesserung der

Prozessqualität nahm dabei die Teilnahme am TraumaRegister DGU für das interne und externe Qualitätsmanagement, die Einführung von Schockraum- und Behandlungsalgorithmen (Standard Operating Procedures, SOP) sowie die Regelung von z.T. einrichtungsübergreifenden Kooperationen mit anderen Fachabteilungen, vor allem für die Versorgung von Schädel-Hirn-Traumata, ein.⁴⁴

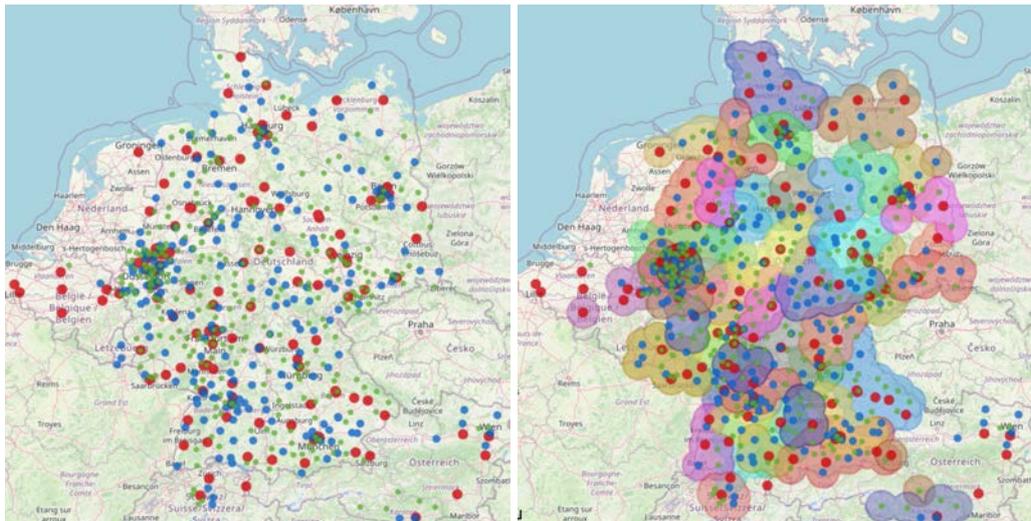


Abbildung 9 - Netzwerkkarte der BRD (und teilnehmende Nachbarländer) des TraumaNetzwerk DGU

(Quelle: AUC – Akademie der Unfallchirurgie GmbH; <http://www.traumanetzwerk-dgu.de>). Die roten Punkte markieren die ÜTZ (n=120), die blauen Punkte entsprechen den Standorten der RTZ (n=217) und die grünen Punkte stehen für die LTZ (n=285).

Gemäß dem TR-DGU®-Jahresbericht 2018 (Erfassungsjahr 2017), stellten von allen teilnehmenden TraumaZentren der DGU® (n=636), die LTZ den Großteil mit 300 erstversorgenden Kliniken in Deutschland (47,2%).

Diese LTZ versorgten anteilig lediglich 12,0% aller Schwerstverletzten des Gesamtkollektivs (n=10.856; 3 Jahre kumuliert). 8.325 Patienten wurden in den LTZ primär aufgenommen und versorgt. Davon wurden 2.413 Patienten (22,0%) in ein TraumaZentrum mit höherer Versorgungsstufe frühverlegt (< 48 Std.). Nur 118 Patienten (1,0%) wurden aus anderen Kliniken in die LTZ verlegt.

In den RTZ wurden 23.957 Patienten (30,0% Anteil am Gesamtkollektiv) primär versorgt und 3.525 Verletzte (12,0%) primär aufgenommen und anschließend in ein anderes Krankenhaus frühverlegt.⁴²

Da die Zentrums-assoziierten Versorgungsstandards und die präklinischen Zuweisungsprozesse offensichtlich einen entscheidenden Einfluss für das Outcome und die Prognose des führenden Gefäßtraumas in der Schwerstverletztenversorgung aufweisen, ist es nützlich, diese Faktoren im Hinblick auf die etablierten Trauma-Netzwerke auf nationaler Ebene und im internationalen Vergleich, zu analysieren.

1.6.4. Lokales TraumaZentrum DGU

Lokale TraumaZentren (LTZ) spielen eine zentrale Rolle in der flächendeckenden Versorgung von weniger komplexen Verletzungen. In Fällen, in denen ein rechtzeitiger Transport schwerverletzter Patienten in ein Regionales (RTZ) oder Überregionales TraumaZentrum (ÜTZ) nicht möglich ist, dienen die LTZ besonders in ländlichen Regionen aber auch als Anlaufstellen für die Erstversorgung Schwerstverletzter. Nach initialer Stabilisierung der Patienten erfolgt dann, falls nötig, eine gezielte Verlegung in spezialisierte Zentren. Durch ihre Anbindung an ein regionales TraumaNetzwerk können LTZ auch über die Erstversorgung hinaus, entsprechend ihrem Leistungsspektrum, eine ergänzende oder weiterführende Versorgung anbieten.⁴⁴

Voraussetzung für die Organisation eines LTZ ist, dass es von einer Klinik für Unfallchirurgie, Orthopädie und Unfallchirurgie oder Chirurgie mit einer unfallchirurgischen Einheit, beispielsweise einer Sektion, geführt wird. Diese Einrichtung muss eine 24-Stunden-Bereitschaft für die Aufnahme von Schwerverletzten sicherstellen. Die Anforderungen an die Struktur- und Prozessqualität eines LTZ beinhalten die ständige Verfügbarkeit eines Facharztes (FA) für Orthopädie und Unfallchirurgie oder Chirurgie mit Schwerpunkt Unfallchirurgie, eines Facharztes für Viszeral- oder Allgemein Chirurgie, sowie eines Facharztes für Anästhesiologie. Zusätzlich ist ein rund um die Uhr einsatzbereites Operationsteam (einschließlich Operationstechnischer Assistenten, OP- und Anästhesiepflegepersonal) für Notfälle erforderlich (→ Tab. 15). Die innerklinischen Abläufe der Schockraumversorgung müssen dabei in sogenannten Standard Operating Procedures (SOP) geregelt sein.⁴⁴

Notaufnahme und Schockraum eines LTZ müssen gewisse Mindestkriterien der räumlichen und apparativen Ausstattung erfüllen. Dazu zählen eine Grundfläche des Schockraums von über 25 m² und die räumliche Nähe zur radiologischen Funktionseinheit mit Röntgen und/oder Computertomographie (CT), einer Operationsabteilung mit 24-stündiger Bereitstellung eines Operationssaals, sowie einer qualifizierten Intensivstation (entsprechend den Empfehlungen der Deutschen Interdisziplinären Vereinigung für Intensivmedizin DIVI) für die intensivmedizinische Behandlung von Schwerstverletzten.⁴⁴

TraumaZentrum	Organisationseinheit	Personelle Ausstattung
LTZ	Ärztliche Leitungsebene:	Facharzt für Orthopädie und Unfallchirurgie mit Zusatzweiterbildung Spezielle Unfallchirurgie oder Facharzt für Chirurgie mit Schwerpunkt Unfallchirurgie
	Basisteam Schockraum:	<ul style="list-style-type: none"> • 1 Facharzt (bzw. Facharztstandard) für Orthopädie und Unfallchirurgie oder Viszeralchirurgie oder Allgemeinchirurgie • 1 Facharzt für Anästhesiologie (bzw. Facharztstandard) • 1 Pflegekraft Notaufnahme • 1 Pflegekraft Anästhesiologie • 1 medizinisch-technische Radiologiefachkraft (MTRA)
	Erweitertes Schockraumteam: (Anwesenheit innerhalb 30 min)	<ul style="list-style-type: none"> • Facharzt für Orthopädie und Unfallchirurgie (Oberarzt)* • Facharzt für Viszeralchirurgie oder Allgemeinchirurgie (Oberarzt) • Facharzt für Anästhesiologie (Oberarzt) • Facharzt für Radiologie (Oberarzt), wenn keine 24 stündige Anbindung an eine teleradiologische Abteilung mit Genehmigung nach RöV besteht

Tabelle 15 - Personelle Ausstattung eines Lokalen TraumaZentrums DGU (LTZ)

aus „Weißbuch Schwerverletztenversorgung - Empfehlungen zur Struktur, Organisation, Ausstattung sowie Förderung von Qualität und Sicherheit in der Schwerverletztenversorgung in der Bundesrepublik Deutschland“ der Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie e.V. (DGU), 3. erweiterte Auflage, 2019

1.6.5. Regionales TraumaZentrum DGU

Regionale TraumaZentren (RTZ) verfügen über eine, dem LTZ gegenüber, erweiterte Personal- und Infrastruktur, um die Vorgaben einer umfassenden Notfallversorgung von Verletzten unter Vorhaltung ausreichender operativer und intensivmedizinischer Kapazitäten, gewährleisten zu können (→ Tab. 16). Dabei handelt es sich meist um Krankenhäuser der Schwerpunktversorgung.

Über die bereits für das LTZ erforderlichen personellen Verfügbarkeiten hinaus, muss das RTZ eine 24-stündige Verfügbarkeit jeweils eines Facharztes für Radiologie, Neurochirurgie und Gefäßchirurgie, nachweisen können. Die strukturellen Anforderungen für Notaufnahme und Schockraum entsprechen grundsätzlich denen des LTZ, die diagnostischen und apparativen Voraussetzungen werden den jeweiligen Versorgungsstufen angepasst.⁴⁴

TraumaZentrum	Organisationseinheit	Personelle Ausstattung
RTZ	Ärztliche Leitungsebene:	<ul style="list-style-type: none"> Facharzt für Orthopädie und Unfallchirurgie mit Zusatzweiterbildung Spezielle Unfallchirurgie oder Facharzt für Chirurgie mit Schwerpunkt Unfallchirurgie Mindestens die Hälfte der Zeit der vollen Weiterbildungsbefugnis Spezielle Unfallchirurgie Stellvertreter: Facharzt für Orthopädie und Unfallchirurgie mit Zusatzweiterbildung Spezielle Unfallchirurgie oder Facharzt für Chirurgie mit Schwerpunkt Unfallchirurgie
	Basisteam Schockraum:	<ul style="list-style-type: none"> 1 Facharzt (bzw. Facharztstandard) für Orthopädie und Unfallchirurgie 1 Weiterbildungsassistent in Orthopädie und Unfallchirurgie oder in Viszeralchirurgie und/oder Allgemeinchirurgie 1 Facharzt für Anästhesiologie bzw. Weiterbildungsassistent (bzw. Facharztstandard) 2 Pflegekräfte Notaufnahme 1 Pflegekraft Anästhesiologie 1 medizinisch-technische Radiologiefachkraft (MTRA)
	Erweitertes Schockraumteam: (Anwesenheit innerhalb 30 min)	<ul style="list-style-type: none"> Facharzt für Orthopädie und Unfallchirurgie mit Zusatzweiterbildung Spezielle Unfallchirurgie oder Facharzt für Chirurgie mit Schwerpunkt Unfallchirurgie (Oberarzt) Facharzt für Anästhesiologie (Oberarzt) Facharzt für Radiologie wenn keine 24-stündige Anbindung an eine teleradiologische Abteilung mit Genehmigung nach RöV besteht Facharzt für Viszeralchirurgie oder Allgemeinchirurgie (Oberarzt) Facharzt für Neurochirurgie Facharzt für Gefäßchirurgie 2 OP-Pflegekräfte

Tabelle 16 - Personelle Ausstattung eines Regionalen TraumaZentrums DGU (RTZ)

aus „Weißbuch Schwerverletztenversorgung - Empfehlungen zur Struktur, Organisation, Ausstattung sowie Förderung von Qualität und Sicherheit in der Schwerverletztenversorgung in der Bundesrepublik Deutschland“ der Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie e.V. (DGU), 3. erweiterte Auflage, 2019

1.6.6.Überregionales TraumaZentrum DGU

Über die erweiterte Regel- bis Schwerpunktversorgung der RTZ hinaus, bieten die Überregionalen TraumaZentren (ÜTZ) in der Behandlung von Schwerstverletzten

zusätzliche fachärztliche Verfügbarkeiten weiterer Fachdisziplinen mit entsprechend qualifizierten Operations- und Intensivmedizinischen Kapazitäten, z.B. für Patienten mit komplexen Verletzungen wie z.B. traumatische thorakale Aortenrupturen bzw. Transsektionen. Hierfür eignen sich insbesondere Universitätskliniken, Unfallkliniken der Berufsgenossenschaften sowie Kliniken der Schwerpunkt- und Maximalversorgung.

TraumaZentrum	Organisationseinheit	Personelle Ausstattung
ÜTZ	Ärztliche Leitungsebene:	<ul style="list-style-type: none"> Facharzt für Orthopädie und Unfallchirurgie mit Zusatzweiterbildung Spezielle Unfallchirurgie oder Facharzt für Chirurgie mit Schwerpunkt Unfallchirurgie Volle Weiterbildungsbefugnis für die Zusatzweiterbildung Spezielle Unfallchirurgie Stellvertreter: Facharzt für Orthopädie/Unfallchirurgie mit Zusatz- weiterbildung Spezielle Unfallchirurgie oder Facharzt für Chirurgie mit Schwerpunkt Unfallchirurgie
	Basisteam Schockraum:	<ul style="list-style-type: none"> 1 Facharzt (bzw. Facharztstandard) für Orthopädie und Unfallchirurgie 1 Weiterbildungsassistent in Orthopädie und Unfallchirurgie oder in Viszeralchirurgie und/oder Allgemeinchirurgie 1 Facharzt für Anästhesiologie bzw. Weiterbildungsassistent 2 Pflegekräfte Notaufnahme 1 Pflegekraft Anästhesiologie 1 medizinisch-technische Radiologiefachkraft (MTRA)
	Erweitertes Schockraumteam: (Anwesenheit innerhalb 30 min)	<ul style="list-style-type: none"> Facharzt für Orthopädie und Unfallchirurgie mit Zusatzweiterbildung Spezielle Unfallchirurgie oder Facharzt für Chirurgie mit Schwerpunkt Unfallchirurgie (Oberarzt) Facharzt für Anästhesiologie (Oberarzt) Facharzt für Neurochirurgie (Oberarzt) Facharzt für Radiologie (Oberarzt) mit Kenntnissen in interventioneller Radiologie 2 OP-Pflegekräfte weitere Rufdienste zur gleichzeitigen Versorgung mehrerer Schwerverletzter Facharzt für Viszeralchirurgie oder Allgemeinchirurgie (Oberarzt) Facharzt für Gefäßchirurgie Facharzt mit Zusatzweiterbildung Handchirurgie Facharzt für Herz- und/oder Thoraxchirurgie Facharzt für Mund-, Kiefer-,Gesichtschirurgie Facharzt für HNO Facharzt für Augenheilkunde Facharzt für Urologie Facharzt für Gynäkologie Facharzt für Plastische Chirurgie Facharzt für Kinderchirurgie oder Pädiatrie

Tabelle 17 - Personelle Ausstattung eines Überregionalen TraumaZentrums DGU (ÜTZ)

aus „Weißbuch Schwerverletztenversorgung - Empfehlungen zur Struktur, Organisation, Ausstattung sowie Förderung von Qualität und Sicherheit in der Schwerverletztenversorgung in der Bundesrepublik Deutschland“ der Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie e.V. (DGU), 3. erweiterte Auflage, 2019

Die ÜTZ verfügen im Vergleich zu den RTZ nicht nur über umfangreichere personelle Kapazitäten, sondern auch über eine erweiterte Infrastruktur und Ausstattung, die beispielsweise die gleichzeitige Betreuung von zwei Patienten im Schockraum ermöglicht (→ Tab. 17). Darüber hinaus erfüllen diese Zentren insbesondere den Auftrag zur Lehre und Forschung und sind für die Aus- und Weiterbildung von Fachpersonal verantwortlich.⁴⁴

1.6.7. Boden-/ Luftgebundener Transport

Eine schnelle, effiziente präklinische Erstversorgung und Einschätzung der Verletzungsschwere sowie ein zügiger Transport in die, der Verletzungsschwere angemessene Klinik, ist Voraussetzung um dem dichten Verkehrsnetz in der Bundesrepublik Deutschland und der hohen Zahl an Polytraumata, gerecht zu werden. Rettungshubschrauber (RTH) werden seit über 30 Jahren in der Versorgung von Polytraumatisierten eingesetzt. Mittlerweile verfügt die Bundesrepublik über mehr als 50 Luftrettungsstationen bzw. -zentren und garantiert eine nahezu flächendeckende Versorgung aus der Luft.

Insbesondere die verkürzte Transportzeit und die hohe Flexibilität zeichnet die präklinische Luftrettung aus. Gerade Verunfallte mit schwersten Mehrfachverletzungen, Patienten mit intrakraniellen, thorakalen oder abdominellen Blutungen profitieren mit niedrigeren Mortalitätsraten.⁴⁵⁻⁴⁸

Allerdings wird der Vorteil der Luftrettung gegenüber der bodengebundenen Rettung mittels Notarzteinsetzfahrzeug (NEF) in der Literatur auch kontrovers diskutiert.^{45, 48-51}

1.6.8. Kriterien zur Weiterverlegung in spezialisierte Zentren

Bereits 1983 beschrieb Boyd et al. die präklinische Zeit als wesentliche Determinante für das Outcome von Traumapatienten. Historisch gesehen, war ein grundlegender Aspekt in der Schwerstverletztenversorgung die sog. „goldene Stunde“, also die unmittelbare Zeit nach Verletzung, mit Erstversorgung z.B. durch Reanimation und Stabilisierung der Vitalfunktionen und einem anschließenden zügigen Transport in die weiterversorgende Klinik. Es wurde angenommen, dass die Mortalität und Morbidität der Schwerstverletzten verringert werden kann, wenn in einem möglichst kurzen Zeitfenster eine maximale medizinische Versorgung dem Patienten vorgehalten und das Zeitintervall auf ein Minimum beschränkt werden kann.⁵²⁻⁵⁴ Allerdings gab es bereits in den 1980er Jahren kontroverse Diskussionen über die präklinischen Strategien der Notfallversorgung und des Faktors Zeit.⁵⁵⁻⁵⁷

Hieraus entstanden die Begriffe des „load&go“ bzw. „stay&play“, also des schnellstmöglichen Transports in die Klinik gegenüber der Theorie der präklinischen Stabilisierung. Es erscheint intuitiv, einen Schwerstverletzten so schnell wie möglich in ein entsprechendes TraumaZentrum zu transportieren, insbesondere bei hämodynamisch instabilen Patienten mit schwerer Blutung oder bei Patienten mit erhöhtem Hirndruck. Dies kann sich jedoch im Einzelfall nachteilig auf das Outcome auswirken, wenn zwingend erforderliche, z.B. kreislaufstabilisierende Maßnahmen dem Patienten vorgehalten werden.^{57, 58}

Werden Polytraumatisierte mit besonders schweren oder komplexen Verletzungen aufgrund kürzerer Transportwege bei z.B. Kreislaufinstabilität primär in ein niedrigversorgendes Zentrum geleitet, muss dieses über Allgemeinzustand und Transportfähigkeit des Patienten entscheiden, wenn eine definitive operative/interventionelle oder intensivmedizinische Therapie nur in einem höherstufigem Zentrum möglich ist. Gemäß den S3-Leitlinien der DGU „Polytrauma / Schwerverletzten-Behandlung“, sollten nach Standards des Advanced Trauma Life Support (ATLS®) zunächst die Vitalfunktionen stabilisiert werden und eine „zeitnahe

Weiterverlegung in ein höherstufiges Traumazentrum bzw. in ein Zentrum mit entsprechender Spezialkompetenz erfolgen.“ Die Verlegungskriterien sind im Kooperationsvertrag des entsprechenden TraumaNetzwerkes geregelt.¹⁰

1.7. Traumatische Gefäßverletzungen

Traumatische Gefäßverletzungen (VT) sind statistisch gesehen selten, aber potenziell lebensbedrohlich. Die Inzidenz einer relevanten VT im Zusammenhang mit stumpfen Traumata beträgt weniger als 4 %, während sie bei penetrierendem Trauma unter 30 % liegt. Unter den mehrfach Schwerverletzten zeigt sich in bis zu 10 % der Fälle ein relevantes VT. Die Mortalitätsrate im Zusammenhang mit solchen Verletzungen liegt zwischen 2 % und 12 %.^{2, 59-66}

Hämodynamisch relevante Blutungen können zu einem hämorrhagischen Schock führen, begleitet von Organversagen und Störungen der Gerinnungsfunktion. Dadurch stellen sie die zweithäufigste, vermeidbare Todesursache in der präklinischen Phase dar. Besonders betroffen sind junge Männer, die in Verkehrsunfällen, Arbeitsunfällen, Sportunfällen mit hoher Geschwindigkeit oder bei Gewalttaten mit Schusswaffen- oder Stichverletzungen verwickelt sind.^{2, 67, 68}

Gefäßverletzungen der Extremitäten sind sehr häufig anzutreffen (ca. 75%). Aufgrund der häufigen Begleitverletzungen der Weichteile, Nerven und Knochen treten in 95 % der Fälle direkte, penetrierende Gefäßläsionen auf, die beispielsweise durch Knochenfragmente, Zerreißen und Kontusionen verursacht werden. Nur in 5 % der Fälle kommt es durch indirektes Trauma zu einer Überdehnung der Innenschicht der Gefäße, was zu einer Intimaläsion bzw. Dissektion führen kann. Besonders bei spät erkannten oder nicht behandelten peripheren Ischämien besteht die Gefahr des Verlusts der Extremitäten, was eine häufige und schwerwiegende Komplikation darstellt.^{2, 62, 65, 69}

In einer Datenanalyse des TR-DGU durch Heuer et al. wurde gezeigt, dass die Gesamtmortalitätsraten bei besonders schweren AIS_{Gefäß} 4- und 5-Verletzungen innerhalb der Gruppe abdomineller Gefäßverletzungen mit 44,6 % bzw. 60 % signifikant höher lagen als die Mortalitätsraten bei Patienten mit AIS_{Gefäß} 2- und 3-Verletzungen (31,1 % bzw. 35,4 %) sowie die Gesamtmortalität dieser Gruppe (17,2 %).

Auch die Frühmortalität, definiert als Sterblichkeit innerhalb der ersten 24 Stunden nach Aufnahme, war bei den AIS_{Gefäß} 4- und 5-Verletzungen mit 34,2 % bzw. 52 % signifikant höher als bei den Patienten mit AIS_{Gefäß} 2- und 3-Verletzungen (21,4 % und 22,5 %).

Heuer et al. beobachteten zudem, dass Patienten mit abdominellen Gefäßverletzungen eine höhere Sterblichkeit aufwiesen als die erwartete Mortalität, die durch den RISC-Score (Revised Injury Severity Classification) berechnet wurde.^{2, 66}

Eine häufige Todesursache bei schwerstverletzten Patienten ist die Hämorrhagie, die für etwa 30-40% der Todesfälle verantwortlich ist. Blutungen im Bereich der Extremitäten können in der Regel durch manuelle Kompression, Kompressionsverbände, Hämostyptika und Tourniquets kontrolliert werden. Im Gegensatz dazu sind Blutungen im Bereich des Körperstamms oft schwer zu erkennen und erfordern meist operative Maßnahmen zur Blutungskontrolle. Dies führt zu erhöhten Mortalitätsraten von bis zu 40%. Ein Großteil dieser Patienten verstirbt bereits während der präklinischen Versorgung, noch bevor sie in ein TraumaZentrum eingeliefert werden können.^{2, 70}

Eine mögliche Sofortmaßnahme zur Kontrolle von schweren inneren Blutungen stellt der temporäre endovaskuläre Verschluss der deszendierenden Aorta durch einen Ballonkatheter (Resuscitative Endovascular Balloon Occlusion of the Aorta, REBOA) dar. REBOA dient der sofortigen und u.U. lebensrettenden Reduktion des Blutverlustes bei blutenden abdominellen und pelvinen Verletzungen mit simultaner Nachlaststeigerung zum Erhalt der Perfusion von Herz und Gehirn. In diverse Publikationen und Tiermodellversuchen wurde REBOA bereits diskutiert.^{71, 72} Die Ergebnisse sind jedoch aufgrund unterschiedlicher Einflussfaktoren (Indikationsstellung, präklinische und

klinische Prozessstrukturen, Erfahrung in der Anwendung) und kleiner Fallzahlen sehr inkongruent.^{73,74} Durch die technische Weiterentwicklung und stetige Weiterbildung des Personals, konnte in den letzten Jahren bereits eine Reduktion der verfahrensbedingten Komplikationen nachgewiesen werden.^{72, 75} In der interdisziplinären S3-Leitlinie Schwerstverletztenversorgung wird REBOA als Option bei „kreislaufinstabilen Patienten in extremis“ aufgeführt.¹⁰ Kulla et al. untersuchten die potentielle Inzidenz von Schwerstverletzten die im Rahmen der Schockraumversorgung von einer REBOA profitieren könnten. Diese liegt bei ca. 1% und ist somit vergleichbar niedrig wie die Inzidenz für eine Notfallthorakotomie (Lötgers et al., 0,56% (72/12.971)).

Neben der spezifischen Indikationsstellung ist die technische und personelle Verfügbarkeit (Gefäßchirurg) ein entscheidendes Kriterium für die erfolgreiche Anwendung von REBOA.

2. Fragestellung

2.1. Gefäßverletzungen bei Polytraumatisierten – eine unterschätzte Entität?

In Deutschland stehen Unfälle an 5. Stelle der Todesursachenstatistik, 2011 insgesamt 8,72 Mio. Unfälle, d.h. jeder 10. Einwohner erlitt einen Unfall, insgesamt 20.406 Verunfallte starben.^{44, 76} In den letzten fünf Jahrzehnten ist eine kontinuierliche Zunahme von Gefäßtraumata (VT) bei Schwerverletzten zu verzeichnen. Im Gegensatz dazu gibt es jedoch nur wenige Daten über Traumata mit Gefäßverletzungen im Vergleich zu den gut dokumentierten traumatischen Verletzungen ohne Gefäßbeteiligung (non-VT).^{2, 77, 78} Schätzungen gehen derzeit in Deutschland von etwa 33.000-38.000 Schwerverletzten aus, die einen ISS ≥ 16 (Injury Severity Score) aufweisen.^{2, 44, 79}

Nicht nur aus gefäßchirurgischem Interesse stellt sich die Frage nach dem Stellenwert des VT in der Schwerverletztenversorgung. Es ist unklar, ob VT durch Trauma-Scores zeitnah und ausreichend erfasst werden können, um angemessene Maßnahmen rechtzeitig einzuleiten. Im klinischen Alltag entsteht oft der Eindruck, dass die Bedeutung

von VT (Gefäßtraumata) teilweise stark unterschätzt wird, insbesondere angesichts der schweren Verläufe, die damit einhergehen können. Um diese Wahrnehmung zu objektivieren, führen wir eine Analyse der Daten des TR-DGU durch, der einzigen Datenquelle mit aussagekräftigen Informationen zur tatsächlichen Versorgungsrealität bei Fällen mit führenden Gefäßtraumata in der Schwerverletztenversorgung.^{2, 80}

Um die Bedeutung vaskulärer Traumata (VT) bei Schwerverletzten besser einschätzen zu können, wurden retrospektiv Datensätze des TR-DGU (TraumaRegister DGU) aus den Jahren 2002-2012 analysiert (TR-DGU Projekt-ID 2013-011). Zielsetzung dieser Datenanalyse bestand darin, die Versorgungsrealität angemessen darzustellen und ungünstige Prognosefaktoren zu identifizieren. Dabei wurden zwei Subgruppen mit moderatem und schwerem VT untersucht, und die Datensätze wurden im Vergleich zu nicht Gefäßverletzten mit gleichem Injury Severity Score (ISS) hinsichtlich Morbidität, Mortalität sowie Verlaufs- und Prognoseparametern analysiert.^{2, 80}

Aufgrund der Diskrepanz zwischen der erwarteten (EM) und beobachteten Mortalität (OM) sowie einer insgesamt schlechteren Prognose bei Patienten mit VT im Rahmen der Schwerverletztenversorgung ergaben sich weitere Fragen. Diese Fragen konnten nicht angemessen behandelt werden, da das Gefäßtrauma bisher immer in Kombination mit anderen Verletzungen betrachtet wurde und daher keine klare Analyse ermöglichte. Um diese Fragen zu klären und eine vertiefte Interpretation zu ermöglichen, wurde eine neue Anfrage an das TraumaRegister DGU® (TR-DGU®) gestellt. Die nachfolgenden Daten zum Projekt mit der ID 2018-045 wurden freundlicherweise vom TR-DGU® zur Verfügung gestellt.²

3. Material und Methodik

3.1. Patientenkollektiv

Die untersuchten Daten entstammen aus dem 1993 gegründeten TraumaRegister DGU® (TR-DGU®), in dem aktuell 675 teilnehmende Kliniken aus insgesamt 9 Ländern jährlich mittlerweile über 40.000 Fälle dokumentieren. Neben 620 Kliniken aus der Bundesrepublik Deutschland sind die an der Datenerfassung beteiligten Länder mit 7 Kliniken aus Belgien, 3 aus Finnland, 4 aus Luxemburg, 3 aus den Niederlanden, 24 aus Österreich, 11 aus der Schweiz, 2 aus Slowenien und einer Klinik aus den Vereinigten Arabischen Emiraten im Jahresbericht 2018 des TraumaRegister DGU® (TR-DGU®) vertreten.⁴²

Die multizentrische Datenbank dient der anonymisierten und standardisierten Erfassung von Schwerverletzten. Die Daten werden hierfür in vier aufeinanderfolgenden Phasen erfasst: Phase A deckt den präklinischen Bereich ab, Phase B umfasst Schockraum und ggf. eine Operationsphase, Phase C bezieht sich auf die Intensivstation, und Phase D beschreibt die Entlassungsparameter.

In die Registerdatenbank werden Polytraumatisierte eingeschlossen, die über einen Schockraum ins Krankenhaus aufgenommen und anschließend auf der Intensiv- oder Intermediate-Care-Station behandelt werden, sowie jene, die mit Vitalzeichen in die Klinik gelangen, aber vor einer Aufnahme auf die Intensivstation bereits versterben.⁴⁴

Die Akademie der Unfallchirurgie GmbH (AUC), als Teil der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU), stellt die Infrastruktur für die Dokumentation, das Datenmanagement und die Analyse der Registerdaten bereit. Die wissenschaftliche Leitung übernimmt die Sektion für Notfall-, Intensivmedizin und Schwerverletztenversorgung der DGU (Sektion NIS). Die teilnehmenden Kliniken übermitteln ihre Daten anonymisiert über eine webbasierte Anwendung an eine zentrale Datenbank. Die wissenschaftlichen Auswertungen dieser Daten werden von der Sektion NIS nach einem Peer-Review-Verfahren genehmigt.⁸⁰

3.2. Studiendesign

Die Auswertung der Daten aus dem TraumaRegister DGU® wurde in zwei Phasen durchgeführt. In der ersten Phase, Auswertungsphase I, wurden die Registerdaten der Jahre 2002 bis 2012 herangezogen, um den Effekt von Gefäßtrauma (vascular trauma, VT) bei schwer verletzten Patienten systematisch zu untersuchen. Das Hauptziel bestand darin, die Relevanz dieser Gefäßverletzungen zu ermitteln und ungünstige Prognosefaktoren zu identifizieren.

Die untersuchten Datensätze wurden in zwei Subgruppen mit moderatem und schwerem VT aufgeteilt und anschließend mit nicht-gefäßverletzten Patienten verglichen, die einen ähnlichen ISS (Injury Severity Score) aufwiesen. Dabei wurden Morbidität, Mortalität sowie Verlaufs- und Prognoseparameter analysiert.⁸⁰

In der zweiten Phase, Auswertungsphase II, wurden die erweiterten Datensätze des TR-DGU® aus den Jahren 2008 bis 2017 analysiert. In dieser zusätzlichen Auswertung sollte die Bedeutung des Gefäßtraumas bei der Versorgung schwer verletzter Patienten durch die Identifizierung des "führenden Gefäßtraumas" in Abhängigkeit von Versorgungsstufen dargelegt werden.

3.2.1. Einschlusskriterien Auswertungsphase I (TR-DGU Projekt-ID 2013–011)

Die Einschlußkriterien dieser ersten Auswertungsphase wurden wie folgt definiert: die Patienten wurden primärversorgt, waren mindestens 16 Jahre alt, wiesen einen ISS (Injury Severity Score) von ≥ 16 auf und hatten kein isoliertes Schädel-Hirn-Trauma. Mithilfe der Abbreviated Injury Scale (AIS) wurden alle Patienten mit vaskulären Traumata (VT) identifiziert und anschließend nach Schweregrad in zwei Gruppen unterteilt: VT-1 umfasste Patienten mit einer leichten VT (AIS 1-2), während VT-2 Patienten mit einer relevanten VT ab einem Schweregrad von AIS 3 einschloss. Eine

Vergleichsgruppe wurde gebildet, bestehend aus Patienten ohne ein dokumentiertes VT (non-VT). Die Unterschiede zwischen den drei Gruppen wurden deskriptiv analysiert.

Als Verlaufparameter wurden Hypotonie (Blutdruck bei Aufnahme oder präklinisch ≤ 90 mmHg), die Anzahl der Erythrozytenkonzentrate (EK) und Volumenersatz, akutes Nierenversagen (ANV) und Multiorganversagen (MOV) (≥ 2 betroffene Organe) anhand eines SOFA-Scores (sepsis related organ failure)^{81, 82} (mit mehr als 2 Punkten, DGU-konform, Erhebungsbogen C) ermittelt. Weitere erfasste Daten waren die Anzahl der Tage auf der Intensivstation (ICU), die Anzahl der intubierten Tage (ITN), die Krankenhausliegedauer sowie die Frühmortalität (innerhalb von ≤ 24 Stunden) und die Krankenhausmortalität. Als wesentlicher Parameter zur Abschätzung des Mortalitätsrisikos wurde die Revised Injury Severity Classification II (RISC II) verwendet.³⁹

3.2.2. Einschlusskriterien Auswertungsphase II (TR-DGU Projekt-ID 2018-045)

Der erweiterte Datensatz aus dem TraumaRegister DGU® für den untersuchten Zeitraum zwischen 2008-2017 umfasst insgesamt 289.698 Fälle. Ausgeschlossen wurden alle Fälle mit einem maximalen AIS ≤ 2 (n=85.505), Kinder unter 16 Jahren bzw. Fälle mit unbekanntem Alter (n=5.864), alle behandelten Fälle aus nicht-deutschen Kliniken, sowie sämtliche Patienten (n=12.337) die innerhalb der ersten 48 Stunden in externe Kliniken, ohne dokumentiertes Outcome, frühverlegt wurden (\rightarrow Tab. 22). Somit wurden insgesamt 151.371 Fälle für die Auswertung im TR-DGU® einbezogen.

Einschlusskriterien in das TraumaRegister TR-DGU®
Primärversorgung in einem der teilnehmenden TraumaZentren DGU in der BRD
Injury Severity Score (ISS) ≥ 16
Maximum Abbreviated Injury Scale (MAIS) ≥ 3
Alter ≥ 16 Jahre
Kein isoliertes Schädel-Hirn-Trauma
Keine frühe Verlegung in externe Klinik (< 48 h)

Tabelle 18 - Einschlusskriterien des TraumaRegister (TR-DGU)

3.2.3. Studienparameter

Zur Einstufung der Verletzungsschwere wurde die Abbreviated Injury Scale (AIS) und der Injury Severity Score (ISS) verwendet. Die maximale AIS (MAIS) repräsentiert die höchste Punktzahl der Verletzungsschwere innerhalb eines Falls, den wir betrachten. $MAIS_{VT}$ steht entsprechend für die maximale Schwere des VT, sofern eines vorliegt, andernfalls wird der Wert als 0 (Non-VT) angegeben.

Der ISS wird zur Klassifizierung der Gesamtschwere des Traumas herangezogen und berücksichtigt alle AIS-Werte. Zur Abschätzung der Mortalität wurde der RISC-II-Score (Revised Injury Severity Score in seiner zweiten Revision) als Prognoseparameter verwendet.

3.3. Statistische Methoden

Die Daten wurden als Mittelwert \pm Standardabweichung (SD) sowie Interquartilbereiche (25. bis 75. Perzentil) dargestellt. Aufgrund der hohen Fallzahl in der Kontrollgruppe wurde keine formale statistische Testung durchgeführt, da die statistische Unsicherheit bei ca. 40.000 Fällen als vernachlässigbar gilt.

Für Vergleiche zwischen kleineren Schweregradgruppen kam der Chi-Quadrat-Test bei kategorialen Variablen und der Mann-Whitney-U-Test bei quantitativen Variablen zum Einsatz. Ein p-Wert von weniger als 0,05 wurde als statistisch signifikant betrachtet. Kategoriale Variablen wurden prozentual dargestellt, während für metrische Variablen der Mittelwert (MW) und die Standardabweichung (SD) berechnet wurden; bei Liege- und Beatmungsdauern wurde zusätzlich der Median angegeben.⁸⁰

Kontinuierliche Messungen wurden als Mittelwert mit Standardabweichung (SD) dargestellt. Bei verzerrten Verteilungen wurde zusätzlich der Median angegeben. Kategoriale Variablen werden mit Prozentsatz und Anzahl der Patienten dargestellt. Ein formaler statistischer Test wurde aufgrund der großen Anzahl von Variablen und der 4

Untergruppen vermieden, was zu dem Problem mehrerer Tests führen würde. Angesichts der großen Patientenzahl, insbesondere in der Kontrollgruppe mit mehr als 150.000 Fällen, sind klinisch relevante Unterschiede kaum durch Zufall erklärbar. Daher wurde für ausgewählte Ergebnisse ein 95%-Konfidenzintervall (CI) berechnet. Zudem kam eine logistische multivariate Regressionsanalyse zum Einsatz, bei der die Krankenhausmortalität als abhängige Variable genutzt wurde, um den Einfluss von Gefäßtraumata (VT) zu untersuchen. Zusätzlich zum RISC II-Score, der aus 13 Variablen besteht, wurden weitere unabhängige Faktoren berücksichtigt: die Art des Gefäßtraumas, die Versorgungsstufe des TraumaZentrums, luftgestützter Transport (RTH), die Gabe von Erythrozytenkonzentraten vor der Aufnahme auf die Intensivstation, der Typ des Gefäßtraumas (kein VT, isoliertes VT, führendes VT, begleitendes VT) und das Unfalljahr. Das Resultat dieser Analyse sind angepasste Odds Ratios (OR). Für jede kategoriale Variable wurde eine Referenzkategorie festgelegt, und für die übrigen Kategorien wurde ein OR mit einem 95%-Konfidenzintervall berechnet. Liegt in einer Kategorie das Sterberisiko über dem der Referenzgruppe, ist das $OR > 1$; ist das Risiko niedriger, ergibt sich ein $OR < 1$.²

Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mit dem Programm IBM SPSS Statistics-Software (Version 20 sowie 24; IBM Corporation, Somers, NY) durchgeführt, Diagramme und Graphiken teilweise mit Prism 8 (GraphPad Software, San Diego, CA, USA) bzw. Excel (Version 16.36 Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA).

Die vorliegende Arbeit steht in Übereinstimmung mit der Publikationsrichtlinie des TR-DGU und ist registriert unter der TR-DGU Projekt-ID 2013-011 sowie TR-DGU Projekt-ID 2018-045.⁸⁰

4. Ergebnisse

4.1. Ergebnisse der Auswertungsphase I (TR-DGU Projekt-ID 2013-011)

4.1.1. Bedeutung des Gefäßtraumas für die Schwerverletztenversorgung

In dieser ersten Auswertung wurden Datensätze analysiert, die den folgenden Einschlusskriterien entsprachen: Patienten im Alter von ≥ 16 Jahren mit einem Injury Severity Score (ISS) von ≥ 16 und ohne isoliertes Schädel-Hirn-Trauma, die primär versorgt wurden. Anhand der entsprechenden Abbreviated Injury Scale (AIS) Codes wurden alle Patienten mit vaskulären Traumata (VT) identifiziert und nach Schweregrad in zwei Gruppen eingeteilt: Patienten mit leichtem VT (AIS 1-2) wurden der VT-1 Gruppe zugeordnet, während Patienten mit relevantem VT ab einem Schweregrad von AIS 3 zur VT-2 Gruppe gehörten. Als Vergleichsgruppe dienten alle Patienten ohne dokumentiertes VT (non-VT). Die Unterschiede zwischen den drei Gruppen wurden deskriptiv analysiert.

Als Verlaufparameter wurden folgende Kriterien herangezogen: Hypotonie (Blutdruck bei Aufnahme bzw. präklinisch ≤ 90 mmHg), Anzahl der erhaltenen Erythrozytenkonzentrate (EK) und Volumenersatz. Das akute Nierenversagen (ANV) und das Multiorganversagen (MOV) (≥ 2 betroffene Organe) wurden anhand des SOFA-Scores ("sepsis related organ failure") ermittelt. Die Anzahl der Tage auf der Intensivstation (ICU), die Anzahl der intubierten Tage (ITN), die Krankenhausliegedauer sowie die Frühmortalität (≤ 24 Stunden) und die Krankenhausmortalität wurden ebenfalls erfasst. Als wesentlichen Parameter zur Abschätzung des Mortalitätsrisikos wurde die RISC II (Revised Injury Severity Classification II) verwendet.^{2, 39}

Von insgesamt 42.326 Fällen wiesen 2.961 Patienten (7%) ein vaskuläres Trauma (VT) auf, bei 2.437 Fällen wurde ein schweres VT mit einem AIS ≥ 3 diagnostiziert (5,8%). Im Vergleich zu Patienten ohne VT zeigten die Fälle mit schwerem VT eine höhere Inzidenz von Schockzuständen, eine 2- bis 3-fach höhere Gabe von Volumen und Erythrozyten, eine 60% höhere Rate an Multiorganversagen sowie eine doppelt so hohe

Krankenhausmortalität (33,8%). Die massiv erhöhte Frühsterblichkeit bei Fällen mit schwerem VT (8,0% vs. 25,2%) verdeutlicht die Bedrohung für Schwerverletzte, wenn ein relevantes VT bei vergleichbarem Gesamt-ISS (Injury Severity Score) vorliegt.

Von den insgesamt dokumentierten Gefäßverletzungen waren 2.709 arterielle VT (91,5%) und 252 venöse VT (8,5%). Die arteriellen VT waren hauptsächlich thorakal (34,8%, n=942), während die venösen VT vor allem im Bauchraum lokalisiert waren (80,6%, n=203). Von den arteriellen VT traten periphere VT (Extremitäten/Hals) häufiger auf (56,4%) als zentrale VT (thorakal/abdominal) (43,6%). Unter den peripheren arteriellen VT wurden 52,5% an der unteren Extremität und 27,1% an der oberen Extremität beobachtet, während 20,4% im Halsbereich lokalisiert waren. Bei den zentralen VT dominierten die thorakalen Verletzungen mit 74% gegenüber den abdominalen Verletzungen mit 26%.

87,8% der VT-Fälle (n=2.507) waren durch stumpfe Traumata verursacht, wobei Verkehrsunfälle 75,0% der Fälle ausmachten, wobei besonders Auto- und Motorradunfälle bevorzugt waren. Die Alters- und Geschlechtsverteilung der VT-Fälle entsprach dem Durchschnitt der TR-DGU Daten.²

Obwohl die VT nur eine kleine Gruppe mit einer Gesamtprävalenz von 7,0% (n=2.961) der ausgewerteten Datensätze darstellen, entfällt der größte Anteil auf schwere VT (VT-2 = 82,3%). Daraus folgt, dass bei VT die resultierende Verletzungsschwere im Vergleich zum Durchschnitt auch höher ist.

Der Zustand bei Eintreffen im Krankenhaus ist bei Patienten mit VT schlechter und beeinflusst den weiteren Verlauf. Bei VT-1 zeigten 29,6% bereits präklinisch und 22,9% in der Notaufnahme eine manifeste Hypotonie (Blutdruck ≤ 90 mmHg). Im Gegensatz dazu hatten nur 18,8% der non-VT-Patienten präklinisch und 14,3% in der Notaufnahme eine Hypotonie.

Diese ungünstige Ausgangssituation bei VT erklärt die hohe Gabe von kristalloidem Volumen und Erythrozytenkonzentraten (EK) bei den VT-Patienten, insbesondere bei VT-2, bei denen auch präklinische kristalloide Lösungen mit hohen Volumina und im Schockraum 6,2 EK substituiert wurden im Vergleich zu VT-1.

Die Komplikationsraten waren ebenfalls höher bei den VT-Patienten im Vergleich zu non-VT-Patienten. Bei non-VT entwickelten 31,7% ein Multiorganversagen (MOV) und 5,4% ein akutes Nierenversagen (ANV). Bei VT-1 waren es 41,6% mit MOV und 6,5% mit ANV, während bei VT-2 eine Rate von 51,1% für MOV und 13,3% für ANV zu verzeichnen war.^{2, 80}

Als zusätzliches Morbiditätskriterium ergab sich, dass die überlebenden Patienten mit VT längere Aufenthalte auf der Intensivstation (ICU) und insgesamt längere Krankenhausaufenthalte hatten, abhängig vom Schweregrad des VT.

Die (Früh-)Mortalität betrug insgesamt 9,0% (n=3.830) der Patienten innerhalb der ersten 24 Stunden. Im weiteren Verlauf verstarben zusätzlich weitere 3.051 Patienten, wodurch die Krankenhausmortalität im Durchschnitt bei 16,3% (n=6.881) lag.

In Bezug auf die Früh- und Krankenhausmortalität zeigten sich die VT-1-Patienten bereits im Nachteil gegenüber den non-VT-Patienten (9,7% vs. 8,0% und 16,4% vs. 15,2%). Die VT-2-Patienten waren von einer deutlich höheren Frühsterblichkeit (25,2%) und Krankenhausmortalität (33,8%) betroffen.⁸⁰

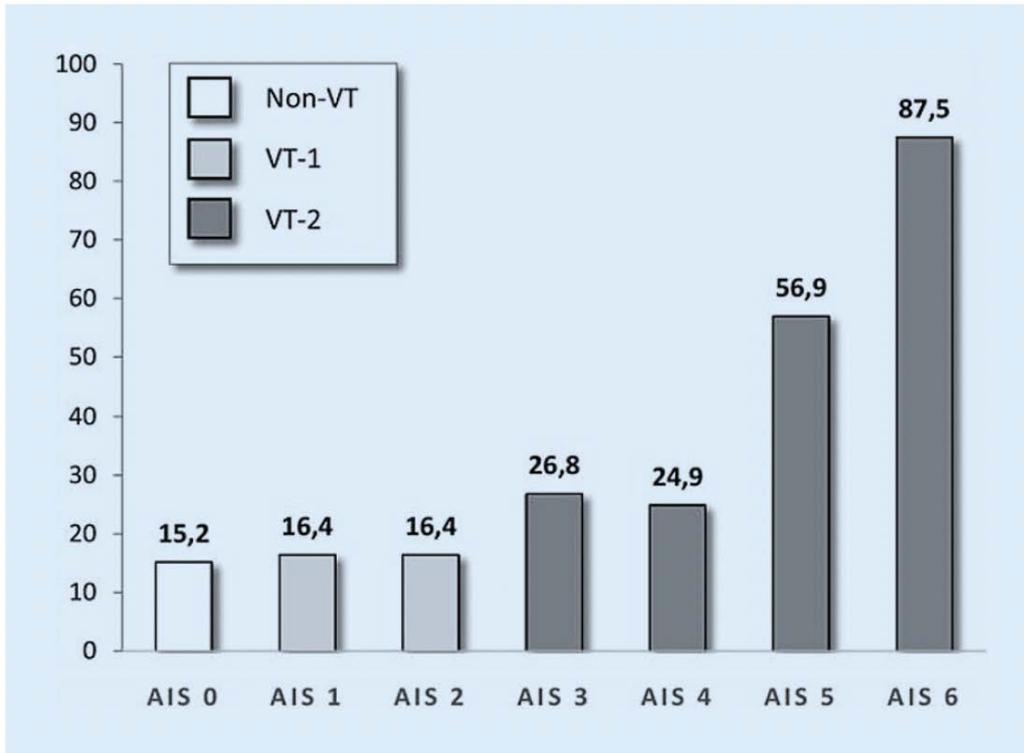


Abbildung 10 – Mortalität nach AIS des VT [%], aus Lech & Jerkku et al. ⁸⁰

AIS Abbreviated Injury Scale, non-VT Verletzungen ohne Gefäßbeteiligung, VT-1 moderate Gefäßtraumata, VT-2 schwere Gefäßtraumata

Die Mortalität nach Verletzungsschwere des VT kann anhand des AIS klar dargestellt werden. In Abb. 10 ist ersichtlich, dass die Mortalität mit zunehmendem Schweregrad des VT steigt. VT-0 entspricht dabei den Fällen ohne VT (Non-VT). Die hohe Frühmortalität bei VT-Patienten führte dazu, dass für die Darstellung der Liegedauern (siehe Abbildung 2) zwischen den überlebenden und den nicht überlebenden VT-Patienten unterschieden wurde.

Bei den überlebenden non-VT-, VT-1- und VT-2-Patienten stieg die Aufenthaltsdauer auf der Intensivstation (ICU-Dauer) von jeweils 11,6 Tagen über 14,6 Tage auf 17,4 Tage mit zunehmendem Schweregrad des VT. Die Gesamtverweildauer im Krankenhaus betrug für diese Gruppen 27,5 Tage, 35,2 Tage bzw. 40,7 Tage.^{2, 80}

Zusätzlich ist zu beachten, dass das klinische Ergebnis dieser überlebenden Patienten häufig mit einer schweren Behinderung assoziiert ist. Die Schwere der Verletzungen und

die damit verbundenen Komplikationen können langfristige Auswirkungen auf die Lebensqualität und die Funktionsfähigkeit der betroffenen Personen haben.

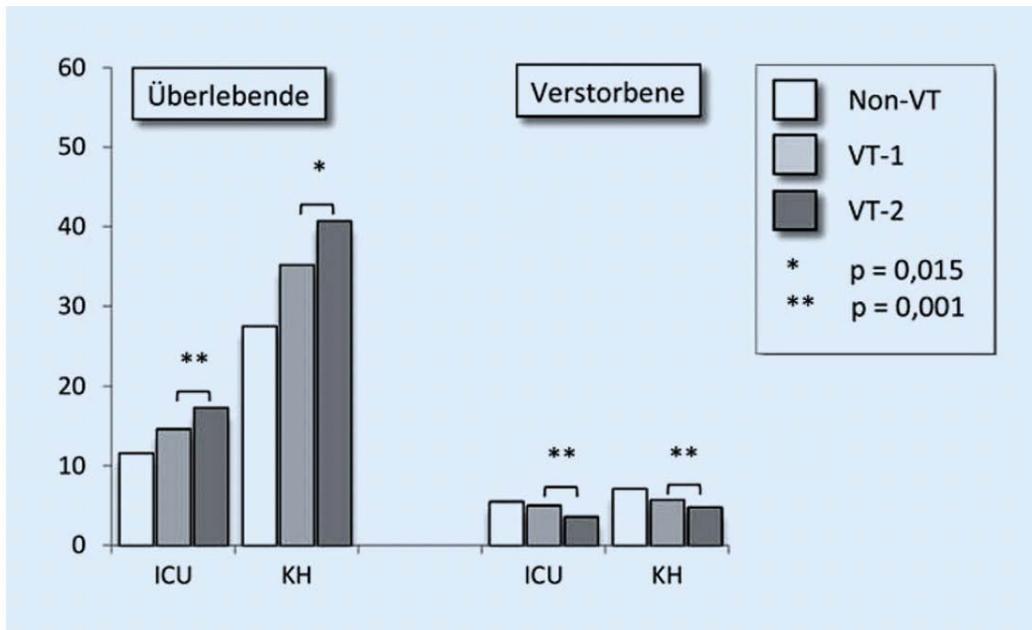


Abbildung 11 – Verweildauer [Tage] ohne frühe Weiterverlegung, aus Lech & Jerkku et al. ⁸⁰
 ICU intensive care unit, KH Normalstation, non-VT Traumata ohne Gefäßbeteiligung, VT-1 moderate Gefäßtraumata, VT-2 schwere Gefäßtraumata

Zusammenfassend zeigt sich, dass die Prävalenz von unfallbedingten Gefäßverletzungen (VT) bislang unterschätzt wurde. Laut einer Untersuchung von Billing et al. aus dem Jahr 2009 wurde der Anteil arterieller VT auf etwa 0,1 bis 0,2 % aller Schwerstverletzten beziffert. Dabei machten periphere VT rund 80 % der Fälle in Regionen mit geringem Gewaltaufkommen aus, die sich außerhalb von Kriegsgebieten und den USA befinden.

Obwohl die Prävalenz der VT mit 7,0 % (n=2.961) der untersuchten Fälle vergleichsweise gering ist, verdeutlicht die vorliegende Asuwertung ihre erhebliche Bedeutung. Besonders auffällig ist der große Anteil schwerer VT (VT-2), die 82,3 % aller VT-Fälle ausmachen. Der Anteil arterieller VT ist ebenfalls hervorzuheben: Mit 6,4 % (91,4 % aller VT-Fälle) liegt er deutlich über den bisher von Billing geschätzten Werten.

Wie zu erwarten war, treten VT überwiegend im Rahmen von Unfällen auf, insbesondere bei Verkehrs-, Sturz- und Sportunfällen, die gemeinsam einen Anteil von über 70 %

ausmachen.⁸³⁻⁸⁶ Diese Verteilung bestätigt sich auch in der vorliegenden Untersuchung. Interessanterweise zeigt sich bei PKW-Unfällen ein vergleichsweise geringerer Anteil schwerer VT (VT-2), was möglicherweise auf die verbesserte Fahrzeugsicherheit zurückzuführen ist.

Die Einschätzung der Prognose bei Gefäßverletzungen (VT) erscheint letztlich nicht hinreichend möglich. Bezüglich der erwarteten Mortalität (expected mortality, EM) zeigten die Gruppen ohne VT (16,1 %) sowie die VT-1-Kategorie (18,4 %) vergleichbare Risikoniveaus, die jeweils leicht über den tatsächlich festgestellten Sterberaten (observed mortality, OM) lagen. Mit zunehmendem Schweregrad der VT stieg jedoch die RISC-II-EM-Prognose deutlich an, wobei die VT-2-Gruppe mit 32,9 % das höchste Mortalitätsrisiko aufzeigten.

In Abb. 12 werden alle Verstorbenen nach VT entsprechend ihrem AIS dargestellt. Die Suche nach Faktoren, die das Risiko für einen protrahierten Schock bei VT beeinflussen, führte zu Identifizierung von Indikatoren, die per se die Prognose für Mortalität und Morbidität der VT verschlechtern. Insbesondere ein protrahierter hämorrhagischer Schock, der durch präklinisch nicht kontrollierbare oder okkulte Blutungen verursacht wird, stellt eine zusätzliche Herausforderung dar. Andere Autoren sehen dieses Problem ebenfalls als zentralen Aspekt und betonen, dass die initiale Diagnose und Einschätzung aufgrund fehlender klinischer Frühzeichen erschwert werden.^{76, 87}

Unabhängig von Volumen- und kardiozirkulatorischen Problemen tritt häufig im Verlauf eine traumainduzierte Koagulopathie (TIC) auf. Diese Gerinnungsstörung ist häufig maßgeblich für das Outcome in der weiteren Behandlung.^{88, 89} Die frühe Koagulopathie ist bei polytraumatisierten Patienten ein unabhängiger Prädiktor für Morbidität und Mortalität^{87, 89-91}, was mit einer vierfach erhöhten Gesamtmortalität und einer achtfach höheren Frühmortalität einhergeht.⁹¹

Des Weiteren wurden bereits bei allen VT-Patienten im Rahmen der Erstversorgung mehr Erythrozytenkonzentrate (EK) transfundiert als bei den non-VT-Patienten. Dies deutet auf

den erhöhten Blutverlust und die Schwere der Verletzungen bei VT-Patienten hin, was wiederum die Bedeutung einer frühzeitigen Erkennung und Behandlung von Blutungen und Koagulopathien unterstreicht.

Dieser Einsatz von EKs folgt wahrscheinlich der Strategie der Damage Control Resuscitation (DCR). Die Prinzipien der DCR, die aus militärmedizinischen Erfahrungen stammen, wurden auf die Behandlung von polytraumatisierten Patienten im zivilen Rettungswesen übertragen. Dabei stehen schnelle Blutstillung, Wiederherstellung eines adäquaten Blutvolumens und Behandlung von Koagulopathien zur definitiven Hämostase im Vordergrund.⁸⁹

Laut Cocchi et al. umfasst ein Standard-DCR-Set 6 Einheiten gefrorenes Frischplasma (FFP), 6 Thrombozytenkonzentrate und 10 Einheiten Gerinnungsfaktoren sowie mindestens 6 EKs.⁷⁶ Dies spiegelt sich teilweise bereits bei den VT-1 (4,2 EKs) und vor allem bei den VT-2 (6,2 EKs) wider. Die Infusionsmenge bei Gefäßtraumata hat eine besondere prognostische Bedeutung, wobei gängige Scores hier noch Schwächen zeigen.

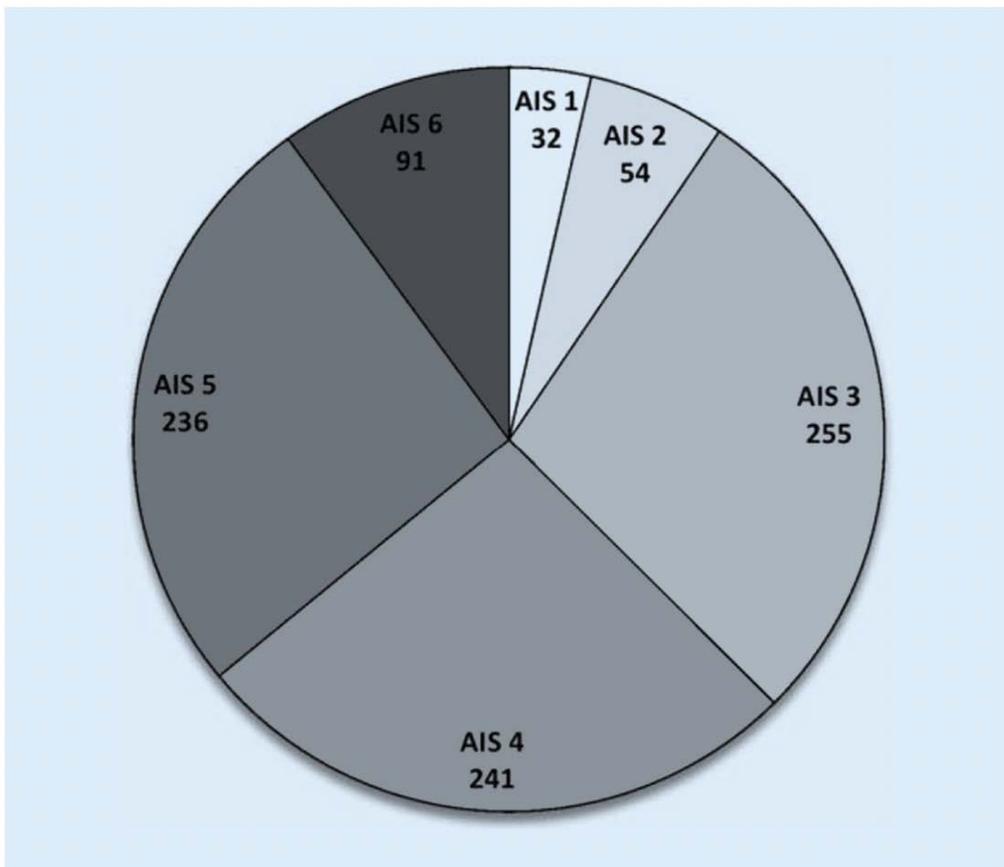


Abbildung 12 – Verstorbene nach AIS (Abbreviated Injury Scale) bei VT [n], aus Lech & Jerkku et al.⁸⁰

Bei der Untersuchung von VT stellen wir unabhängig von der Schwere der Verletzungen einen erhöhten Verbrauch von kristalloiden Lösungen fest. Präklinisch wurden bei VT-1 1521 ml und bei VT-2 1738 ml verabreicht, und diese Volumengabe steigerte sich bis zur Verlegung auf die Intensivstation auf bis zu 2936 ± 3119 ml (VT-1) bzw. 3028 ± 2879 ml (VT-2) im Schockraum.

Allerdings ergab eine vorherige Analyse des TR-DGU® einen Überlebensvorteil für Patienten mit einer geringeren präklinischen Volumengabe (< 1500 ml) von 22,7% im Vergleich zu 27,6% für Patienten mit höherer Volumengabe ($p < 0,01$) [31]. Es ist daher wichtig, den Mechanismus der Überinfusion zu diskutieren, der die Entwicklung des sogenannten "Tissue Injury Compartment" (TIC) und des Kreislaufversagens im Schock begünstigt.

Hussmann et al. berichteten zudem, dass eine höhere Volumengabe (> 3000 ml) mit einer erhöhten Mortalität einhergeht und einen gesteigerten Transfusionsbedarf sowie eine verminderte Gerinnungsfähigkeit (Quick 61% bei <1000 ml vs. 49,1% bei >3000 ml) zur Folge hat.⁹² Diese Faktoren könnten das erhöhte Risiko eines Multi Organ Versagen (MOV) erklären. Ähnlich zeigt sich auch bei VT eine deutliche Zunahme der Rate an MOV und eines akuten Nierenversagens (ANV) in Abhängigkeit von der verabreichten Volumengabe.

Dies erklärt, warum Patienten ohne Verwendung von kristallinen Lösungen (non-VT) mit gleicher Schwere der Verletzung schneller genesen. Eine grafische Darstellung der Verweildauer ist in Abb. 11 zu sehen.^{2, 80}

Die analysierten Daten zeigen deutlich eine hohe Frühsterblichkeit bei den VT-2-Patienten im Vergleich zu den VT-1- und non-VT-Patienten (25,2% vs. 9,7% vs. 8,0%). Darüber hinaus weisen die VT-Patienten im Vergleich zu den non-VT-Patienten eine höhere Gesamtsterblichkeit auf (36,3% vs. 17,3% vs. 15,7%; siehe Tabelle 19).

Gruppe	non-VT	VT-1	VT-2	Gesamt
Fallzahl	34.399	463	2056	36.918
RISC-I Prognose [%]	18,1	19,5	34,1	19,0
RISC-II Prognose [%]	16,1	18,4	32,9	17,1
Mortalität [%]	15,7	17,3	36,3	16,9
<i>non-VT</i> Polytraumata ohne Gefäßverletzung, <i>VT</i> Polytrauma mit Gefäßverletzung(en)				

Tabelle 19 – RISC-Prognosen (EM) und Mortalität (OM) primär Versorgter (keine Weiterverlegten)

Aus Lech & Jerkku et al. ⁸⁰

Bereits von Galindo et al. und Loh et al. wurde nachgewiesen, dass die Anzahl der Gefäßläsionen keinen Einfluss auf die Mortalität hat.^{93, 94}

Besonders auffällig ist die hohe Mortalität (26,8%, Abb. 10) bei den VT-Patienten mit AIS-3 im Vergleich zur eigentlich als "nicht lebensbedrohlich" eingestuften VT und der höheren Gefährdungsstufe AIS 4 (24,9%) und folgenden, die als "lebensbedrohlich" eingestuft werden. Die sprunghafte Zunahme der Mortalität bei der VT an dieser Grenze war bislang nicht bekannt, da es an Studien zu Gefäßverletzungen und fehlenden vaskulären Score-Systemen in Deutschland mangelte.⁸⁰

Bei non-VT-Patienten konnten Scores wie der ISS, APACHE II und TRISS die Mortalitätsrate recht genau vorhersagen. Loh et al. wiesen jedoch nach, dass diese Prognosemodelle bei den VT-Patienten nicht anwendbar waren.⁷⁷ Eine nachfolgende ROC-Analyse (Receiver Operating Characteristics) belegte die Unzuverlässigkeit und Ungenauigkeit dieser Scores speziell für VT-Patienten, wobei der ISS im Vergleich noch die besten Resultate zeigte.⁷⁷ In der TR-DGU® wurde daraufhin der seit 2014 entwickelte RISC II eingeführt, um eine verbesserte Prognoseabschätzung zu ermöglichen. Der ursprüngliche RISC I, der von 1993 bis 2000 genutzt wurde, führte in den letzten Jahren zu Abweichungen: Die beobachtete Mortalität lag etwa 1-2 % unter den vorhergesagten Werten. Dies deutete zwar auf einen Rückgang der Sterblichkeit der Verunfallten hin, reichte jedoch nicht für eine präzise und differenzierte Bewertung der Ergebnisse aus.^{80, 95, 96} Der RISC II basiert deshalb auf 13 spezifische Variablen, um eine optimierte und effiziente Prognoseeinschätzung zu gewährleisten.⁹⁷

Die Anwendung des RISC II-Scores führt bei VT-Patienten weiterhin zu einer leichten Prognoseunterschätzung: Bei non-VT- und VT-1-Patienten beträgt diese etwa 1 %. Bei VT-2-Patienten hingegen liegt die Unterschätzung deutlich höher, nämlich bei 3,4 % (siehe Tab. 19). Diese Abweichung gewinnt insbesondere an Bedeutung, wenn das Konfidenzintervall der beobachteten Mortalität einbezogen wird. Eine Differenz von 32,9 % (RISC II) verdeutlicht, dass ein p-Wert von $<0,05$ erreicht wurde, was darauf hinweist, dass diese Verletzungen signifikant häufiger tödlich verlaufen.⁸⁰

Die Ungenauigkeit der Trauma-Scores bei Gefäßverletzungen lässt sich vor allem auf deren einseitige Ausrichtung zurückführen. Anatomische Scores wie der ISS berücksichtigen beispielsweise keine physiologischen Parameter und können dadurch okkulte Blutungen leicht übersehen. Physiologische Scores wie der TRISS hingegen lassen bestimmte Indikatoren unberücksichtigt, die auf eine Hämorrhagie hinweisen könnten, wie etwa Blutdruck, Herzfrequenz, Base Excess oder Laktat.^{76, 93, 98, 99}

Obwohl der RISC II-Score neben dem GCS (Glasgow Coma Scale) auch Laborwerte (wie Base Excess und Laktat), indirekte Blutungszeichen ($RR_{sys} \leq 90$ mmHg, $Hb < 9$ mg/dL, EK-Anzahl > 9) sowie Vorerkrankungen einbezieht, zeigen relevante VT-Patienten in der Analyse ein schlechteres Outcome als erwartet. Dies verdeutlicht, dass der RISC II die prognostische Einschätzung von VT-Patienten nicht so zuverlässig erfassen kann wie die der non-VT-Patienten.

4.2. Ergebnisse der Auswertungsphase II (TR-DGU Projekt-ID 2018-045)

In unserer Auswertung eines zweiten, aktualisierten TR-DGU-Datensatzes für die Jahre 2008 bis 2017 wurden insgesamt 289.698 Fälle berücksichtigt. Aus der Analyse ausgeschlossen wurden:

- 36.048 Patienten aus nicht-deutschen Kliniken,
- 85.505 Patienten mit einem maximalen AIS ≤ 2 ,
- 5.864 Kinder unter 16 Jahren,
- 573 Patienten mit unbekanntem Alter,

- sowie 12.337 Patienten, die innerhalb der ersten 48 Stunden in ein weiterbehandelndes Zentrum frühverlegt wurden, da Outcome-Daten in diesen Fällen fehlten.

Damit wurden insgesamt 151.371 Fälle in die finale Auswertung des TR-DGU® eingeschlossen wurden (siehe Abb. 13).

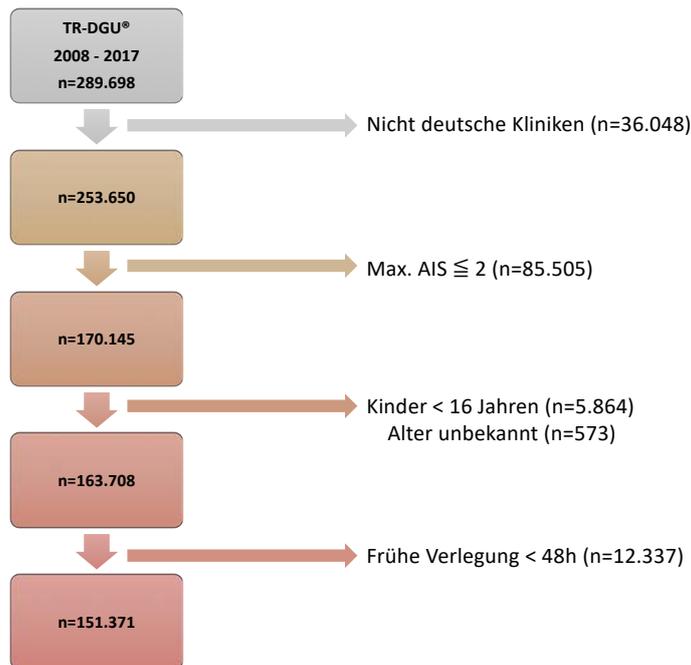


Abbildung 13 - Einschlusskriterien

In der Datenanalyse wurden insgesamt 289.698 Fälle aus dem TR-DGU® zwischen 2008 – 2017 erfasst. Ausgeschlossen wurden insgesamt 138.327 Fälle, davon 36.048 aus nicht deutschen Kliniken, 85.505 mit MAIS 0-2, 5.864 Kinder < 16 Jahren, 573 mit unbekanntem Alter und 12.337 Fälle, die innerhalb der ersten 48 Stunden in ein externes Krankenhaus verlegt worden waren, ohne im Register erfasstes Outcome.

4.3. Identifikation des isolierten, des führenden und des begleitenden VT

Von allen in der gesamten Datenbank (n=151.371) registrierten VT mit $MAIS_{VT} \geq 1$ (n = 7,116) wurden nur diejenigen berücksichtigt, die als relevante VT (definiert als $MAIS_{VT} \geq 2$) klassifiziert wurden (Tab. 20). 88,3% aller VT konnten als relevante VT identifiziert werden (n=6.283 Fälle). Die relevanten VT wurden daraufhin in drei Gruppen unterteilt: isolierte VT (n = 488), führende VT (n = 1.652) und begleitende

VT (n = 4.143). Die Kontrollgruppe umfasste insgesamt 145.088 Fälle, die sich aus allen nicht vaskulären Schwerstverletzten (non-VT) mit MAIS 3-6 zusammensetzten. Somit wurde für alle VT- und alle non-VT-Gruppen eine Gesamtbewertung der Verletzungsschwere von einem globalen MAIS ≥ 2 gewährt.

$MAIS_{VT} \geq 3 + MAIS_{\text{aller non-VT}} < 2 \rightarrow$ isolierte Gefäßverletzung
$MAIS_{VT} = X + MAIS_{\text{aller non-VT}} (X - 1 \text{ oder weniger}) \rightarrow$ führende Gefäßverletzung
$MAIS_{VT} = X + MAIS_{\text{aller non-VT}} (X + 1 \text{ oder mehr}) \rightarrow$ begleitende Gefäßverletzung

Tabelle 20 – Einteilung isoliertes, führendes und begleitendes Gefäßtrauma (VT).

MAIS maximale Abbreviated Injury Scale

Aus mathematischer Sicht handelt es sich bei den isolierten VT und den non-VT um AIS-Gruppen mit unterschiedlicher Verletzungsschwere bezüglich des Gefäßtraumas. Die führenden VT und begleitenden VT hingegen stellen Fälle mit einer gegensätzlichen Zusammensetzung von Gefäßverletzungen und anderen Verletzungen für alle Schweregrade dar.²

		MAIS _{aller non-VT}							
		n=	0	1	2	3	4	5	6
MAIS _{VT}	0					75553	38293	29457	952
	1					587	138	103	5
	2					477	234	219	19
	3	210	56	298	851	464	503	32	
	4	102	45	177	677	450	572	30	
	5	56	4	32	134	201	262	23	
	6	14	1	6	19	43	65	7	

Tabelle 21 - Stratifizierung der VT-Subgruppen (aus Jerkku et al.²)

Die Subgruppe der isolierten VT (rot, n= 488) zeichnen sich durch einen hohen $MAIS_{VT} \geq 3$ mit einem niedrigen $MAIS_{\text{aller non-VT}} < 2$ aus. Die Subgruppe der führenden VT (gelb, n=1.652) ist definiert als $MAIS_{VT} = X + MAIS_{\text{aller non-VT}} (X - 1 \text{ oder weniger})$. Bei den begleitenden VT (grün, n=4.143) entspricht der $MAIS_{VT}$ weitgehend dem $MAIS_{\text{aller non-VT}} (X + 1 \text{ oder mehr})$

AIS, Abbreviated Injury Scale; $MAIS_{VT}$, maximaler AIS (aller Gefäßverletzungen), $MAIS_{\text{non-VT}}$, maximaler AIS (aller Nicht-Gefäßverletzungen); VT, Gefäßtrauma

Zur Identifikation der Subgruppe der führenden VT mit gleichzeitig schweren non-VT-Verletzungen wurden 1.570 Fälle ausgewählt, bei denen der MAIS für VT und non-VT vergleichbare Werte aufwies. Diese Fälle wurden der Gruppe der begleitenden VT zugeordnet (siehe Tab. 21, diagonale Zahlenreihe in Fettdruck). Dies ist besonders relevant, da die begleitende VT einen erheblichen Einfluss auf den Trauma-Score ausübt und dadurch zu einer erhöhten Mortalität beiträgt.²

4.4. Zuweisung nach Versorgungsstufe

Die Einteilung der Patienten in geschichtete Subgruppen, basierend auf begleitenden, führenden und isolierten Gefäßverletzungen (VT), ermöglicht eine Analyse der Zuweisungen in die jeweiligen TraumaZentren (→ Abb. 14, Tab. 22). Von den Patienten mit begleitender VT wurden 81,5 % (n=3.377) primär in einem überregionalem TraumaZentrum (ÜTZ) zugewiesen, 16,0 % (n=663) in ein regionales (RTZ) und 2,5 % (n=103) in ein lokales TraumaZentrum (LTZ). Bei Patienten mit führender VT (n=1.271) war ebenfalls das ÜTZ die häufigste Zuweisung (76,9 %), jedoch wurden anteilig auch mehr von ihnen in ein RTZ (17,6 %, n=290) und LTZ (5,5 %, n=91) transportiert. Bei den isolierten VTs wurden 69,5 % der Betroffenen primär einem ÜTZ (n=339) zugeordnet, während 24,0 % (n=117) in ein RTZ und 6,6 % (n=32) in ein LTZ verlegt wurden (Tab. 22). Von den schwerstverletzten Patienten ohne VT wurde der Großteil (63,8 %, n=92.610) ebenfalls primär einem ÜTZ zugewiesen, gefolgt von RTZ (27,5 %, n=39.879) und LTZ (8,7 %, n=12.599). Dabei werden spätere Verlegungen in der Grafik (Abb. 14) nicht berücksichtigt, sondern im Folgenden erläutert. Insgesamt zeigt sich, dass ein größerer Anteil von Polytraumatisierten mit VT, insbesondere solche mit führenden oder isolierten Gefäßverletzungen, primär ohnehin den maximalversorgenden TraumaZentren (ÜTZ) zugewiesen wird.²

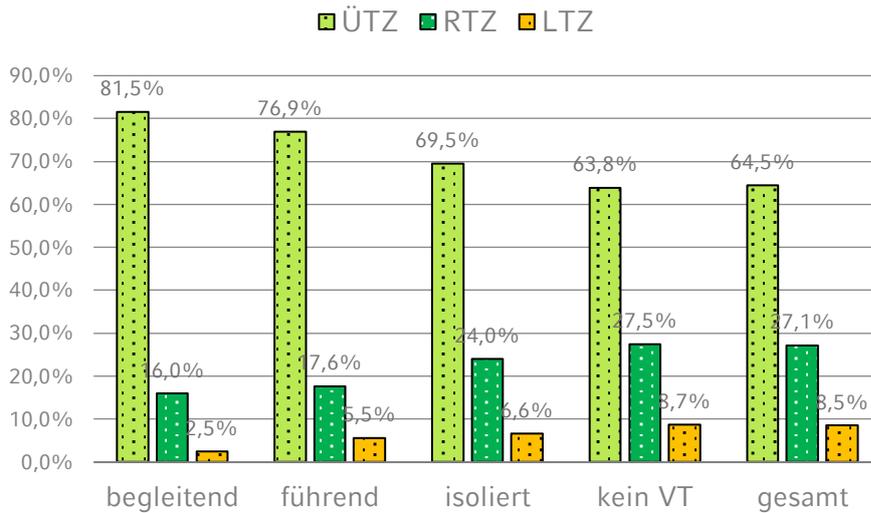


Abbildung 14 - Zuweisung von begleitenden, führenden oder isolierten Gefäßverletzungen nach TraumaZentrum

		kein VT	isoliertes VT	führendes VT	begleitendes VT	gesamt
ÜTZ	n	92.610	339	1.271	3.377	97.597
	[%]	63.8%	69.5%	76.9%	81.5%	64.5%
RTZ	n	39.879	117	290	663	40.949
	[%]	27.5%	24.0%	17.6%	16.0%	27.1%
LTZ	n	12.599	32	91	103	12.825
	[%]	8.7%	6.6%	5.5%	2.5%	8.5%
gesamt	n	145.088	488	1.652	4.143	151.371

Tabelle 22 - Verteilung der Subgruppen auf die unterschiedlichen Versorgungsstufen

VT, Gefäßtrauma; ÜTZ, Überregionales TraumaZentrum DGU; RTZ, Regionales TraumaZentrum DGU; LTZ, Lokales TraumaZentrum DGU

4.5. Boden-/Luftgebundener Transport

61,3 % der schwerstverletzten Patienten mit begleitendem VT (n=2.185) wurden zur Erstversorgung mittels Rettungswagen (RTW) oder Notarzt-Einsatzfahrzeug (NEF), in das primäre TraumaZentrum verbracht. Die übrigen 38,7 % (n=1.377) wurden luftgebunden mit einem Rettungshubschrauber (RTH) der Schockraumversorgung zugeführt. Polytraumatisierte mit einem führenden VT bzw. einem isolierten VT wurden in 64,1 % bzw. 70,6 % der Fälle per RTW / NEF transportiert. In 35,9 % bzw. 29,4 % der Fälle kam

die Luftrettung zum Einsatz. Bei den Unfallopfern ohne VT waren es 77,1 % (n=96.794) bzw. 22,9 % (n=28.711) der Fälle (→ Abb. 15, Tab. 23).²

		kein VT	isoliertes VT	führendes VT	begleitendes VT	gesamt
boden- gebunden	n	96.794	312	877	2.185	100.168
	[%]	77.1%	70.6%	64.1%	61.3%	76.5%
RTH	n	28.711	130	492	1.377	30.710
	[%]	22.9%	29.4%	35.9%	38.7%	23.5%
gesamt	n	125.505	442	1.369	3.562	130.878

Tabelle 23 - Verteilung der Subgruppen nach Transportart (boden- versus luftgebunden)

VT, Gefäßtrauma; RTH, Rettungshubschrauber; ÜTZ, Überregionales TraumaZentrum DGU; RTZ, Regionales TraumaZentrum DGU; LTZ, Lokales TraumaZentrum DGU

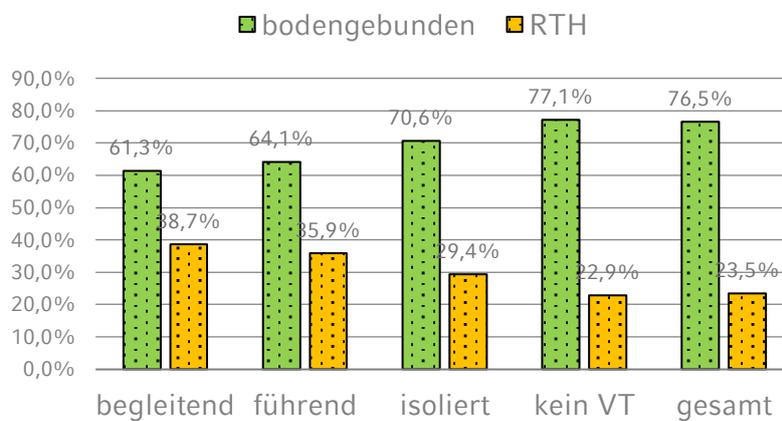


Abbildung 15 - Transportart von begleitenden, führenden oder isolierten Gefäßverletzungen

VT, Gefäßtrauma, RTH, Rettungshubschrauber

4.6. Mortalität und Überleben in Abhängigkeit der Versorgungsstufe

4.6.1. Mortalität nach Versorgungsstufe

Im Zeitraum von 2008 bis 2017 wurden insgesamt 151.371 Patienten in die Studie eingeschlossen, von denen 20.479 (13,5 %) verstarben. Die Mortalität verteilte sich wie folgt: In Überregionalen Traumazentren (ÜTZ) lag sie bei 15,0 % (14.617 Patienten), in Regionalen Traumazentren (RTZ) bei 11,6 % (4.754 Patienten) und in Lokalen Traumazentren (LTZ) bei 8,6 % (1.108 Patienten) (siehe Abb. 16).

Bei den Patienten ohne Gefäßverletzungen (n = 18.834) wurde eine Mortalität von 13,0 % festgestellt. Nach Versorgungsstufen zeigte sich folgendes Bild: In ÜTZ lag die Sterblichkeit bei 14,4 % (13.371 Patienten), in RTZ bei 11,1 % (4.437 Patienten) und in LTZ bei 8,1 % (1.026 Patienten).

Die Gesamtsterblichkeit der Verunfallten mit begleitendem VT lag bei 27,9 % (n = 1.157). Je nach Versorgungsstufe betrug die Mortalität in Überregionalen Traumazentren (ÜTZ) 27,2 % (n = 917), in Regionalen Traumazentren (RTZ) 30,3 % (n = 201) und in Lokalen Traumazentren (LTZ) 37,9 % (n = 39).

Bei den Schwerstverletzten mit einem führenden VT lag die Gesamtmortalität bei 24,1 % (n = 398). Innerhalb dieser Gruppe verstarben 22,7 % (n = 289) in ÜTZ, 26,9 % (n = 78) in RTZ und 34,1 % (n = 31) in LTZ (siehe Tabelle 24).²

			überlebt	verstorben	gesamt
kein VT	ÜTZ	n	79.239	13.371	92.610
		[%]	85,6%	14,4%	100,0%
	RTZ	n	35.442	4.437	39.879
		[%]	88,9%	11,1%	100,0%
	LTZ	n	11.573	1.026	12.599
		[%]	91,9%	8,1%	100,0%
	gesamt	n	126.254	18.834	145.088
		[%]	87,0%	13,0%	100,0%
isoliertes VT	ÜTZ	n	299	40	339
		[%]	88,2%	11,8%	100,0%
	RTZ	n	79	38	117
		[%]	67,5%	32,5%	100,0%
	LTZ	n	20	12	32
		[%]	62,5%	37,5%	100,0%
	gesamt	n	398	90	488
		[%]	81,6%	18,4%	100,0%
führendes VT	ÜTZ	n	982	289	1.271
		[%]	77,3%	22,7%	100,0%
	RTZ	n	212	78	290
		[%]	73,1%	26,9%	100,0%
	LTZ	n	60	31	91
		[%]	65,9%	34,1%	100,00%
	gesamt	n	1.254	398	1.652
		[%]	75,9%	24,1%	100,0%
begleitendes VT	ÜTZ	n	2.460	917	3.377
		[%]	72,8%	27,2%	100,0%
	RTZ	n	462	201	663
		[%]	69,7%	30,3%	100,0%
	LTZ	n	64	39	103
		[%]	62,1%	37,9%	100,0%
	gesamt	n	2.986	1.157	4.143
		[%]	72,1%	27,9%	100,0%
Gesamt	ÜTZ	n	82.980	14.617	97.597
		[%]	85,0%	15,0%	100,0%
	RTZ	n	36.195	4.754	40.949
		[%]	88,4%	11,6%	100,0%

	LTZ	n	11.717	1.108	12.825
		[%]	91,4%	8,6%	100,0%
gesamt		n	130.892	20.479	151.371
		[%]	86,5%	13,5%	100,0%

Tabelle 24 - Überleben/Mortalität nach Versorgungsstufe in Abhängigkeit des Gefäßtraumas

VT, Gefäßtrauma; ÜTZ, Überregionales TraumaZentrum DGU; RTZ, Regionales TraumaZentrum DGU; LTZ, Lokales TraumaZentrum DGU

Insgesamt 90 Patienten mit einem isolierten VT (18,4%) verstarben in einem der primären TraumaZentren. Davon starben 40 Verunfallte mit einem führenden VT in einem ÜTZ (11,8%), 38 Patienten in einem RTZ (32,5%) und 12 Patienten in einem LTZ (37,5%).

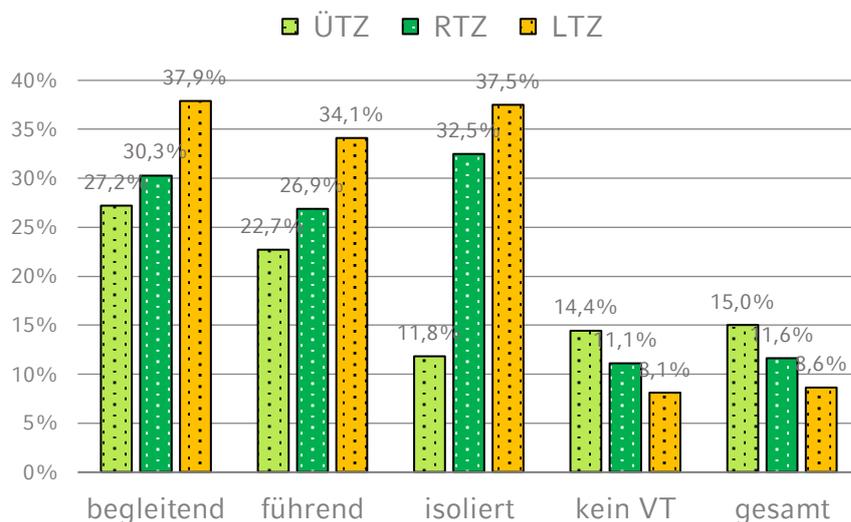


Abbildung 16 – Beobachtete Mortalität bei begleitender, führender und isolierter Gefäßverletzung nach

Traumazentrum [%]. ÜTZ überregionales TraumaZentrum DGU, RTZ regionales TraumaZentrum DGU,

LTZ lokales TraumaZentrum DGU

4.6.2. Überleben nach Versorgungsstufe

Entsprechend stellen sich die Raten des Überlebens in Abhängigkeit der Versorgungsstufen dar. Das Gesamtüberleben lag bei 86,5% (n=130.892). Der Anteil an Überlebenden ohne ein nachgewiesenes VT (n=126.254) lag bei 87,0%. In Abhängigkeit

der Versorgungsstufen lag die Überlebensrate der Patienten ohne VT im ÜTZ bei 85,6% (n=79.239), bei 88,9% (35.442) im RTZ und bei 91,9% (n=11.573) im LTZ (→ Abb. 17).

Patienten mit einem begleitendem VT überlebten in 72,8% (n=2.460) der Fälle im ÜTZ, 69,7% (n=462) im RTZ und 62,1% (n=64) im LTZ. Schwerstverletzte mit einem führenden VT zeigten Überlebensraten von 77,3% (n=982) im ÜTZ, 73,1% (n=212) im RTZ und 65,9% (n=60) im LTZ.

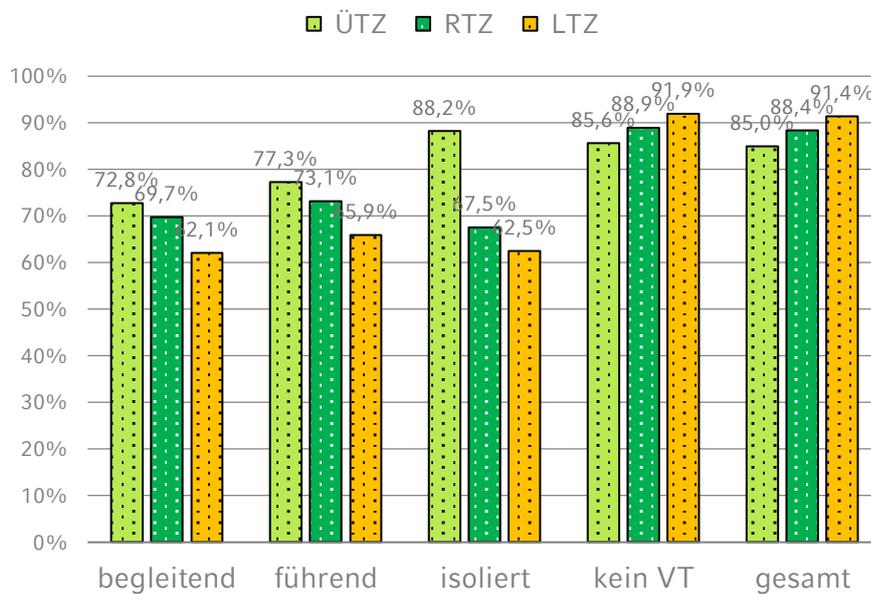


Abbildung 17 - Überleben bei begleitender, führender und isolierter Gefäßverletzung nach TraumaZentrum (%)

4.7. Ergebnisse der Subgruppenanalyse

Aus einer Subgruppenanalyse des Datensatzes ergeben sich die unter → Tab. 25 zusammengefassten demographischen und präklinischen Daten, sowie die relevanten klinischen Parameter und Komplikations- bzw. Mortalitätsraten.

Nach einer detaillierten Analyse der Subgruppen im Datensatz ergeben sich die demografischen und präklinischen Informationen, sowie relevante klinische Parameter und Raten von Komplikationen bzw. Mortalität, die in Tabelle 25 zusammengefasst sind.

Die Prävalenz von vaskulären Traumata (VT) beträgt insgesamt 4,2% (n=6.283)

unabhängig von den Subgruppen. Andererseits liegt die Gruppe der Verletzten ohne VT mit einer Prävalenz von 95,8% (n=145.088) vor.

Bezüglich des Alters zeigen die Subgruppen der VT (isoliertes VT, führendes VT, begleitendes VT) Durchschnittsalter von 49,3 (\pm 20,2), 48,4 (\pm 20,2) bzw. 46,6 (\pm 19,7), während das Durchschnittsalter der Patienten ohne VT bei 53,3 (\pm 21,1) Jahren liegt.

Der durchschnittliche ISS (Injury Severity Score) in der Gruppe der Verletzten ohne VT beträgt 21,2 (\pm 11,2), während er in den VT-Subgruppen bei 15,4 (\pm 12,0), 29,5 (\pm 16,9) und 33,0 (\pm 16,7) liegt.

Die Gesamtprävalenz der VT aller Subgruppen zusammengefasst beträgt 4,2 % (n=6.283), während 95,8 % (n=145.088) der Schwerstverletzten kein VT aufwiesen. Das Durchschnittsalter der VT-Subgruppen war mit 49,3 (\pm 20,2), 48,4 (\pm 20,2) und 46,6 (\pm 19,7) Jahren niedriger als das Durchschnittsalter der Patienten ohne VT, das bei 53,3 (\pm 21,1) Jahren lag. Es zeigte sich ein durchschnittlicher ISS für die Gruppe ohne VT von 21,2 (\pm 11,2), während er in den VT-Subgruppen bei 15,4 (\pm 12,0), 29,5 (\pm 16,9) und 33,0 (\pm 16,7) lag.²

Die Auswertung zeigt, dass bei allen VT-Untergruppen ein systolischer Blutdruck von \leq 90 mmHg sowohl präklinisch als auch bei Eintreffen im Schockraum wesentlich öfter festgestellt wurde als bei Patienten ohne VT (siehe Tab. 25). Daraus resultierte ein bereits präklinisch größerer Volumenbedarf (Kristalloide und Erythrozytenkonzentrate, EKs) in den VT-Subgruppen: die durchschnittlich infundierte Menge lag bei 1.164 ml, 1.234 ml und 1.333 ml, im Vergleich zu 810 ml in der Gruppe ohne VT. Auch gab es in den VT-Subgruppen einen deutlich höheren Verbrauch an Erythrozytenkonzentraten bis zur Aufnahme auf die Intensivstation (1,5 EKs bei 31,6 % der Fälle mit isoliertem VT; 2,9 EKs bei 40,2 % der Fälle mit führendem VT und 4,1 EKs bei 44,1 % der Fälle bei begleitendem VT) im Gegensatz zum durchschnittlichen EK-Bedarf in der Gruppe ohne VT bei lediglich 0,5 EKs und 9,4 %.²

Darüber hinaus zeigte sich in der Gruppe der Schwerstverletzten mit führendem VT eine deutlich höhere Rate an Multiorganversagen bzw. Nierenversagen (35,1 % bzw. 8,2 %), im Vergleich zu den Nicht-Gefäßverletzten (23,8 % bzw. 4,0 %).²

	kein VT	isoliertes VT	führendes VT	begleitendes VT
Prävalenz [%]	145.088 (95.8%)	488 (0.3%)	1.652 (1.1%)	4.143 (2.7%)
Geschlecht männlich [%]	102.079 (70.5%)	379 (77.8%)	1.249 (75.7%)	3.100 (75.1%)
Alter Jahre	53.3 (± 21.1)	49.3 (± 20.2)	48.4 (± 20.2)	46.6 (± 19.7)
Injury Severity Score (ISS)	21.2 (± 11.2)	15.4 (± 12.0)	29.5 (± 16.9)	33.0 (± 16.7)
präklin. RR ≤ 90 mmHg [%]	12.371 (10.8%)	119 (30.1%)	356 (29.4%)	1.024 (32.5%)
Notaufn. RR ≤ 90 mmHg [%]	11.526 (8.7%)	118 (27.4%)	424 (28.6%)	1.166 (30.6%)
präklin. Volumen [ml]	810 (± 626)	1.164 (± 771)	1.234 (± 930)	1.333 (± 922)
Pat. mit EK-Gabe bis ICU [%]	13.521 (9.4%)	149 (31.6%)	653 (40.2%)	1.808 (44.1%)
Anzahl EK bis ICU [n]	0.5 (± 2.6)	1.5 (± 3.1)	2.9 (± 6.7)	4.1 (± 8.1)
MOV [%]	16.230 (23.8%)	35 (14.2%)	306 (35.1%)	1.202 (49.9%)
ANV [%]	2.738 (4.0%)	8 (3.3%)	71 (8.2%)	286 (11.9%)
Frühmortalität [%]	8.547 (5.9%)	77 (15.8%)	291 (17.6%)	740 (17.9%)
Krankenhausmortalität [%]	18.834 (13.0%)	90 (18.4%)	398 (24.1%)	1.157 (27.9%)
Level 1 - ÜTZ	9.261 (63.8%)	339 (69.5%)	1.271 (76.9%)	3.377 (81.5%)
Level 2 – RTZ	39.879 (27.5%)	117 (24.0 %)	290 (17.6%)	663 (16.0 %)
Level 3 - LTZ	12.599 (8.7%)	32 (6.6%)	91 (5.5%)	103 (2.5%)
Transportart (RTH) [%]	28.711 (22.9%)	130 (29.4%)	492 (35.9%)	1.377 (387%)

Tabelle 25 - Ergebnisse aus der Subgruppenanalyse

VT, Gefäßtrauma; RR, systolischer Blutdruck; EK, Erythrozytenkonzentrat; ICU, Intensiv Care Unit (Intensivstation); MOV, Multiorganversagen; ANV, akutes Nierenversagen; ÜTZ, Überregionales TraumaZentrum DGU; RTZ, Regionales TraumaZentrum DGU; LTZ, Lokales TraumaZentrum DGU; RTH, Rettungshubschrauber

Die durchschnittliche klinisch/stationäre Behandlungsdauer für Schwerstverletzte ohne VT lag bei 18,2 Tage, während die Verweildauer bei isoliertem VT auf 20,8 Tage, bei führendem VT auf 24,1 Tage und bei begleitendem VT auf 26,9 Tage anstieg. Dies verdeutlicht den eindeutigen Trend, dass ein VT zu einer deutlich längeren Verweildauer im Krankenhaus führt (→ Tabelle 26).

		Alter [Jahre]	ISS	KH-Liege-dauer [Tage]
kein VT	Mittelwert	52,89	21,01	18,17
	Std.-Abweichung	21,136	11,295	18,267
	n	129.851	129.851	129.825
	Median	53,0	18,0	13,0
isoliertes VT	Mittelwert	48,74	15,24	20,81
	Std.-Abweichung	19,985	11,987	21,040
	n	453	453	453
	Median	49,0	10,0	15,0
führendes VT	Mittelwert	48,68	29,35	24,14
	Std.-Abweichung	19,955	17,219	25,698
	n	1.412	1.412	1.412
	Median	48,0	25,0	17,0
begleitendes VT	Mittelwert	46,59	32,76	26,90
	Std.-Abweichung	19,670	16,816	28,305
	n	3.676	3.676	3.676
	Median	46,0	29,0	20,0
gesamt	Mittelwert	52,66	21,39	18,48
	Std.-Abweichung	21,111	11,749	18,776
	n	135.392	135.392	135.366
	Median	53,0	18,0	14,0

Tabelle 26 – Krankenhaus-Liegedauer in Tagen

VT, Gefäßtrauma; RR, systolischer Blutdruck; EK, Erythrozytenkonzentrat; ICU, Intensiv Care Unit (Intensivstation); MOV, Multiorganversagen; ANV, akutes Nierenversagen; ÜTZ, Überregionales TraumaZentrum DGU; RTZ, Regionales TraumaZentrum DGU; LTZ, Lokales TraumaZentrum DGU; RTH, Rettungshubschrauber

4.7.1. Injury Severity Score in Abhängigkeit der Gefäßverletzungen

Der ISS basiert auf dem AIS-Scoresystem. Ein Punktwert ≥ 16 kennzeichnet einen Schwerverletzten (\rightarrow Tab. 5). In Abhängigkeit der Subgruppen lässt sich ein deutlich erhöhter Anteil Schwerverletzter mit einem ISS ≥ 16 für das begleitende bzw. führende VT im Vergleich zu den erkennen.

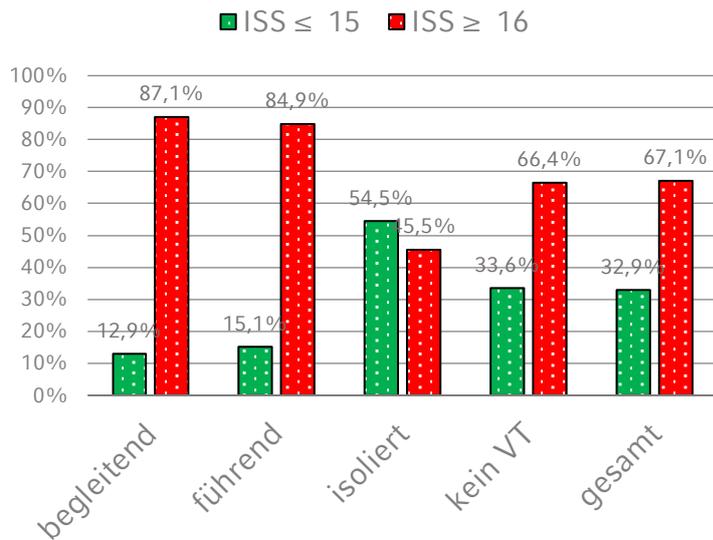


Abbildung 18 - Begleitende, führende oder isolierte Gefäßverletzungen mit ISS ≤ 15 bzw. ISS ≥ 16.

		kein VT	isoliertes VT	führendes VT	begleitendes VT	gesamt
ISS ≤ 15	n	48.771	266	250	535	49.822
	[%]	33.6%	54.5%	15.1%	12.9%	32.9%
ISS ≥ 16	n	96.317	222	1.402	3.608	101.549
	[%]	66.4%	45.5%	84.9%	87.1%	67.1%
gesamt	n	145.088	488	1.652	4.143	151.371

Tabelle 27 - Injury Severity Score (ISS) in Abhängigkeit des Gefäßtraumas

VT, Gefäßtrauma; ÜTZ, Überregionales TraumaZentrum DGU; RTZ, Regionales TraumaZentrum DGU; LTZ, Lokales TraumaZentrum DGU

4.7.2. Verletzungsschwere nach Körperregionen

Zur Bewertung der Verletzungsschwere nach Körperregionen, wurden die jeweiligen AIS ≥ 3 in den unterschiedlichen Subgruppen betrachtet (→ Abb. 19, Tab. 28). Hier fiel auf, dass der Anteil an Thoraxverletzungen mit einem AIS ≥ 3 in der Gruppe der isolierten VT mit 85,7% im Vergleich deutlich über den thorakalen Verletzungen mit AIS ≤ 2 der Subgruppe lag. Dies weist auf einen hohen Anteil an schweren Thoraxtraumata mit isoliertem VT hin. Es ist davon auszugehen, dass es sich hierbei vor allem um traumatische Transektionen bzw. Aortenrupturen handelt, die insbesondere im Rahmen eines Hochrasanztraumas auftreten können.

		kein VT	isoliertes VT	führendes VT	begleitendes VT	gesamt
AIS ≤ 2 Kopf	n	81.866	427	1.198	2.229	85.720
	[%]	56.4%	87.5%	72.5%	53.8%	56.6%
AIS ≥ 3 Kopf	n	63.222	61	454	1.914	65.651
	[%]	43.6%	12.5%	27.5%	46.2%	43.4%
AIS ≤ 2 Thorax	n	70.135	70	891	2.675	73.771
	[%]	48.3%	14.3%	53.9%	64.6%	48.7%
AIS ≥ 3 Thorax	n	74.953	418	761	1.468	77.600
	[%]	51.7%	85.7%	46.1%	35.4%	51.3%
AIS ≤ 2 Abdomen	n	128.203	430	1.207	2.952	132.792
	[%]	88.4%	88.1%	73.1%	71.3%	87.7%
AIS ≥ 3 Abdomen	n	16.885	58	445	1.191	18.579
	[%]	11.6%	11.9%	26.9%	28.7%	12.3%
AIS ≤ 2 Extremität	n	43.395	304	846	2.447	46.992
	[%]	29.9%	62.3%	51.2%	59.1%	31.0%
AIS ≥ 3 Extremität	n	101.693	184	806	1.696	104.379
	[%]	70.1%	37.7%	48.8%	40.9%	69.0%
gesamt	n	145.088	488	1.652	4.143	151.371

Tabelle 28 - Abbreviated Injury Scale (AIS) nach Körperregionen in Abhängigkeit des Gefäßtraumas

VT, Gefäßtrauma; ÜTZ, Überregionales TraumaZentrum DGU; RTZ, Regionales TraumaZentrum DGU; LTZ, Lokales TraumaZentrum DGU

Verletzungen des Abdomens mit einem AIS ≥ 3 treten vor allem in den Subgruppen des begleitenden VT bzw. führenden VT (35,4% bzw. 26,9%) auf.

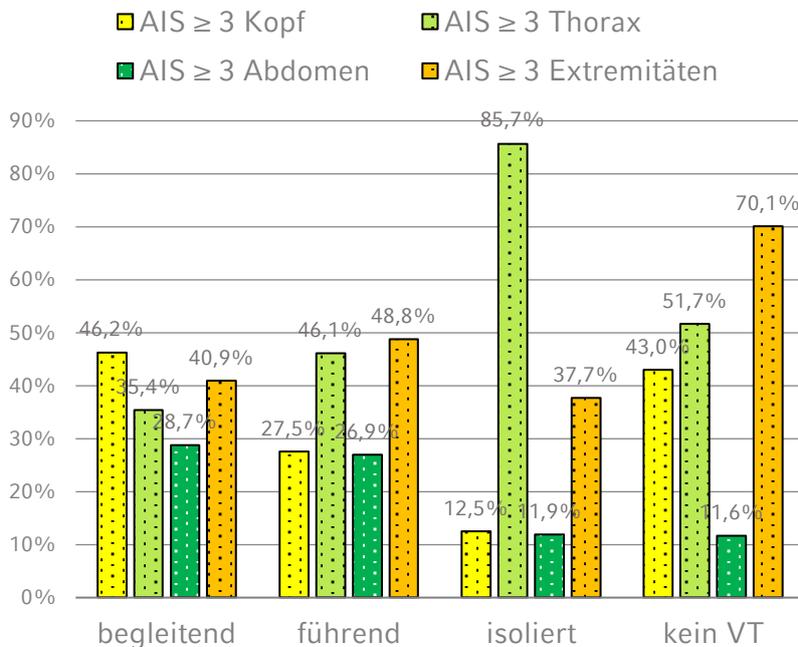


Abbildung 19 - AIS ≥ 3 Verletzungsschwere nach Körperregionen von begleitenden, führenden oder isolierten Gefäßverletzungen im Vergleich zu AIS ≤ 2 Verletzungen der jeweiligen Subgruppen

Schwere Kopfverletzungen mit AIS ≥ 3 weisen häufig begleitende VT (46,2%) wie z.B. Epidural- bzw. Subduralhämatome auf, schwere Verletzungen mit isolierten VT hingegen sind selten (12,5%).

4.7.3. Maximaler Abbreviated Injury Scale für Gefäßverletzungen (MAIS_{VT})

Die Subgruppe der isolierten VT ist mit 0,3% (n=488) im Vergleich zu der Gesamtkohorte (n=151.371) sehr klein. Der Anteil an führenden VT bzw. begleitenden VT liegt bei 1,1% (n=1.652) bzw. 2,7%. (n=4.143). In der Gruppe der isolierten VT weisen 54,5% eine Gefäßverletzung mit einem MAIS_{VT} von 3, die restlichen 45,5% fallen auf die schweren VT mit MAIS_{VT} 4-6. In der Subgruppe der führenden VT liegt der Anteil an schwersten Gefäßverletzungen mit MAIS_{VT} 4-6 bei 82,0%, bei den begleitenden VT lediglich bei 32,5% (→ Tab. 29).

		kein VT	isoliertes VT	führendes VT	begleitendes VT	gesamt
MAIS _{VT} 0	n	144.255	0	0	0	144.255
	[%]	99.4%	0.0%	0.0%	0.0%	95.3%
MAIS _{VT} 1	n	833	0	0	0	833
	[%]	0.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.6%
MAIS _{VT} 2	n	0	0	0	949	949
	[%]	0.0%	0.0%	0.0%	22.9%	0.6%
MAIS _{VT} 3	n	0	266	298	1.850	2.414
	[%]	0.0%	54.5%	18.0%	44.7%	1.6%
MAIS _{VT} 4	n	0	147	854	1.052	2.053
	[%]	0.0%	30.1%	51.7%	25.4%	1.4%
MAIS _{VT} 5	n	0	60	367	285	712
	[%]	0.0%	12.3%	22.2%	6.9%	0.5%
MAIS _{VT} 6	n	0	15	133	7	155
	[%]	0.0%	3.1%	8.1%	0.2%	0.1%
gesamt	n	145.088	488	1.652	4.143	151.371
	[%]	95.8%	0.3%	1.1%	2.7%	100%

Tabelle 29 - Maximaler Abbreviated Injury Scale (MAIS) bezogen auf Gefäßverletzungen in Abhängigkeit des Gefäßtraumas

MAIS_{VT}, maximaler AIS Grad bezogen auf Gefäßverletzungen; VT, Gefäßtrauma; ÜTZ, Überregionales TraumaZentrum DGU; RTZ, Regionales TraumaZentrum DGU; LTZ, Lokales TraumaZentrum DGU

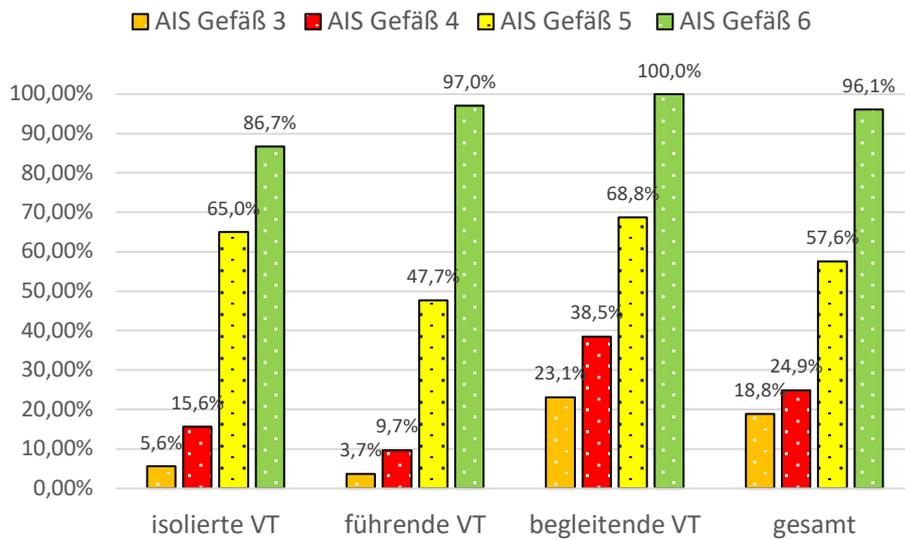


Abbildung 20 - Mortalität nach MAIS_{VT} in den Subgruppen der begleitenden, führenden oder isolierten Gefäßverletzungen sowie insgesamt

Es lässt sich aus der Analyse erwartungsgemäß schlussfolgern, dass die schweren AIS_{VT}-Verletzungen (MAIS_{VT} 4-6) mit einer hohen Mortalitätsrate einhergehen. Es versterben insgesamt 96,1% aller VT mit einem MAIS_{VT} von 6 und immerhin noch 57,6% aller Patienten mit einem MAIS_{VT} von 5. In den einzelnen Subgruppen zeigt sich ein ähnlicher Trend. Die Mortalitätsrate innerhalb sämtlicher Subgruppen korreliert also mit steigendem MAIS_{VT} (→ Abb. 20, Tab.30).

			Max-VT AIS 0	Max-VT AIS 1	Max-VT AIS 2	Max-VT AIS 3	Max-VT AIS 4	Max-VT AIS 5	Max-VT AIS 6	gesamt	
Kein VT	überlebt	n	125.499	755						126.254	
		[%]	87,0%	90,6%						87,0%	
	verstorben	n	18.756	78							18.834
		[%]	13,0%	9,4%							13,0%
	gesamt	n	144.255	833							145.088
		[%]	100,0%	100,0%							100,0%
isoliertes VT	überlebt	n				251	124	21	2	398	
		[%]				94,4%	84,4%	35,0%	13,3%	81,6%	
	verstorben	n				15	23	39	13	90	
		[%]				5,6%	15,6%	65,0%	86,7%	18,4%	
	gesamt	n				266	147	60	15	488	
		[%]				100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	
führendes VT	überlebt	n				287	771	192	4	1.254	
		[%]				96,3%	90,3%	52,3%	3,0%	75,9%	
	verstorben	n				11	83	175	129	398	
		[%]				3,7%	9,7%	47,7%	97,0%	24,1%	
	gesamt	n				298	854	367	133	1.652	
		[%]				100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	
begleitendes VT	überlebt	n			827	1.423	647	89	0	2.986	
		[%]			87,1%	76,9%	61,5%	31,2%	0,0%	72,1%	
	verstorben	n			122	427	405	196	7	1.157	

		[%]			12,9%	23,1%	38,5%	68,8%	100,0%	27,9%
	gesamt	n			949	1.850	1.052	285	7	4.143
		[%]			100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
gesamt	überlebt	n	125.499	755	827	1.961	1.542	302	6	130.892
		[%]	87,0%	90,6%	87,1%	81,2%	75,1%	42,4%	3,9%	86,5%
	verstorben	n	18.756	78	122	453	511	410	149	20.479
		[%]	13,0%	9,4%	12,9%	18,8%	24,9%	57,6%	96,1%	13,5%
	gesamt	n	144.255	833	949	2.414	2.053	712	155	151.371
		[%]	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Tabelle 30 - Mortalität bezogen auf Max. AIS der Gefäßverletzungen in Abhängigkeit des Gefäßtraumas.

AIS, Abbreviated Injury Scale; VT, Gefäßtrauma

4.7.4. Unfallhergang in Abhängigkeit des Gefäßtraumas

Der Unfallmechanismus ist ein wichtiger Aspekt zur Einschätzung der Verletzungsschwere. Hochrasanztraumata bieten ein breites Spektrum an Verletzungen mit Beteiligung multipler Körperregionen. Insbesondere die Verkehrsunfälle (VU) mit dem PKW oder dem Motorrad führen häufig zu schweren Verletzungen.

		kein VT	isoliertes VT	führendes VT	begleitendes VT	gesamt
VU Auto	n	30.281	46	499	1.050	31.876
	[%]	21.4%	10.1%	30.7%	25.8%	21.6%
VU Motorrad	n	18.499	47	330	981	19.857
	[%]	13.1%	10.3%	20.3%	24.1%	13.4%
VU Fahrrad	n	12.043	13	69	221	12.346
	[%]	8.5%	2.8%	4.3%	5.4%	8.4%
VU Fußgänger	n	8.623	32	112	373	9.140
	[%]	6.1%	7.0%	6.9%	9.1%	6.2%
Sturz > 3m	n	23.155	9	182	456	23.802
	[%]	16.3%	2.0%	11.2%	11.2%	16.1%
Sturz < 3m	n	34.996	36	116	257	35.405
	[%]	24.7%	7.9%	7.1%	6.3%	23.9%
sonstige	n	14.083	274	315	739	15.411
	[%]	9.9%	60.0%	19.4%	18.1%	10.4%
gesamt	n	141.680	457	1.623	4.077	147.837

Tabelle 31 - Unfallhergang in Abhängigkeit des Gefäßtraumas

VT, Gefäßtrauma; ÜTZ, Überregionales TraumaZentrum DGU; RTZ, Regionales TraumaZentrum DGU; LTZ, Lokales TraumaZentrum DGU

In der Gruppe der Patienten ohne VT kamen neben den VU mit PKW (21,4%) vor allem Stürze aus unter 3 Metern Höhe (24,7%) am häufigsten vor. In den beiden Subgruppen begleitendes und führendes VT war der häufigste Unfallmechanismus ein VU mit einem

PKW (25,8% bzw. 30,7%). Bei den isolierten VT waren in 60,0% der Fälle sonstige Verletzungen (z.B. Stichverletzungen) ursächlich (→ Abb. 21; Tab. 31).

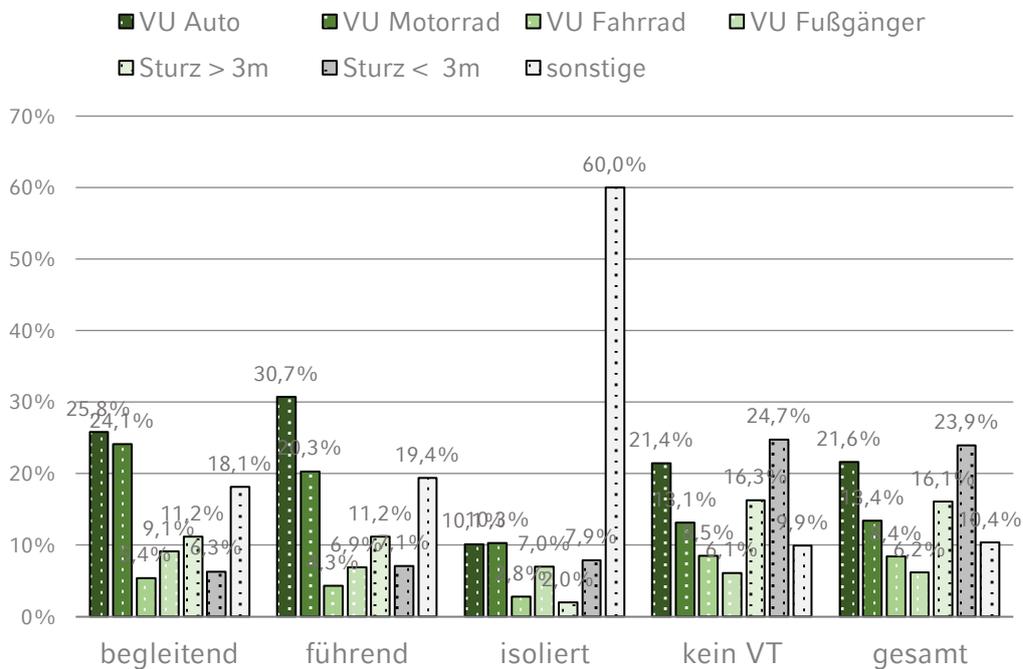


Abbildung 21 - Unfallhergang in Abhängigkeit des Gefäßtraumas

VT, Gefäßtrauma; ÜTZ, Überregionales TraumaZentrum DGU; RTZ, Regionales TraumaZentrum DGU; LTZ, Lokales TraumaZentrum DGU

4.8. Prognoseabschätzung

4.8.1. Multivariate Analyse der Mortalität

In der multivariaten Analyse wurde die Mortalität in Bezug auf verschiedene unabhängige Variablen wie des RISC II Scores (Alter, NISS, Kopfverletzung, schwere Beckenverletzung, Glasgow Coma Scale, partielle Thromboplastinzeit PTT, base excess, Herzstillstand und indirekte Anzeichen von Blutungen wie Schock, Massentransfusion und niedriger Hämoglobinspiegel, Pupillengröße und -reagibilität), der Versorgungsstufe (ÜTZ als Referenz), Transportart (boden- vs. luftgebunden), der Art des Gefäßtraumas (isoliertes VT, führendes VT, begleitendes VT), sowie dem Bedarf an EKs (vor ICU), berechnet (→ Tab. 32). Bei dem RISC II Score handelt es sich um eine Kombination aus

13 Prädiktoren, die alle nachweislich prognostisch relevant sind, so dass hieraus eine hohe Signifikanz resultiert (OR: 0,385; 95%CI: 0,381 – 0,391; $p < 0,001$).

	Standardfehler	p-Wert	Regressionskoeffizient	Odds Ratio	95% Konfidenzintervall	
					unterer Wert	oberer Wert
RISC II Score	0.007	< 0.001	- 0.953	0.385	0.381	0.391
RTZ relativ zu ÜTZ	0.028	0.984	-0.001	0.999	0.947	1.055
LTZ relativ zu ÜTZ	0.046	0.013	- 0.113	0.893	0.816	0.976
luftgebundener Transport (RTH)	0.028	< 0.001	- 0.203	0.816	0.772	0.963
isoliertes VT	0.197	0.704	0.075	1.078	0.732	1.587
führendes VT	0.096	0.003	0.287	1.333	1.103	1.610
begleitendes VT	0.059	0.872	0.010	1.010	0.899	1.134
EK-Gabe	0.261	< 0.001	0.261	1.298	1.223	1.378

Tabelle 32 - Multivarianzanalyse Mortalität in Abhängigkeit des Gefäßtraumas

ÜTZ, Überregionales TraumaZentrum DGU; RTZ, Regionales TraumaZentrum DGU; LTZ, Lokales TraumaZentrum DGU; RTH, Rettungshubschrauber; VT, Gefäßtrauma; EK, Erythrozytenkonzentrat.

Die Mortalität zeigt sich in den LTZ relativ zu der Referenz ÜTZ, etwas niedriger (OR: 0,893; 95%CI: 0,816 – 0,976; $p = 0,013$), wenn auch nicht sehr deutlich. Es kann sich dabei auch um einen Selektionseffekt handeln, da hier der Notarzt präklinisch möglicherweise die Verletzungsschwere richtig eingeschätzt hat und die kritischen Fälle primär direkt in ein ÜTZ transportiert wurden.

Der luftgebundene Transport mittels RTH zeigt gegenüber dem bodengebundenen Transport einen signifikanten Vorteil (OR: 0,816; 95%CI: 0,772 – 0,963); $p < 0,001$). Der negative Einfluss der Gefäßverletzung auf die Mortalität gilt insbesondere für das führende VT. Hier errechnet sich eine Odds Ratio von 1,333 ($p = 0,003$), somit ist das führende VT ein prognostisch ungünstiger Faktor für das Überleben.

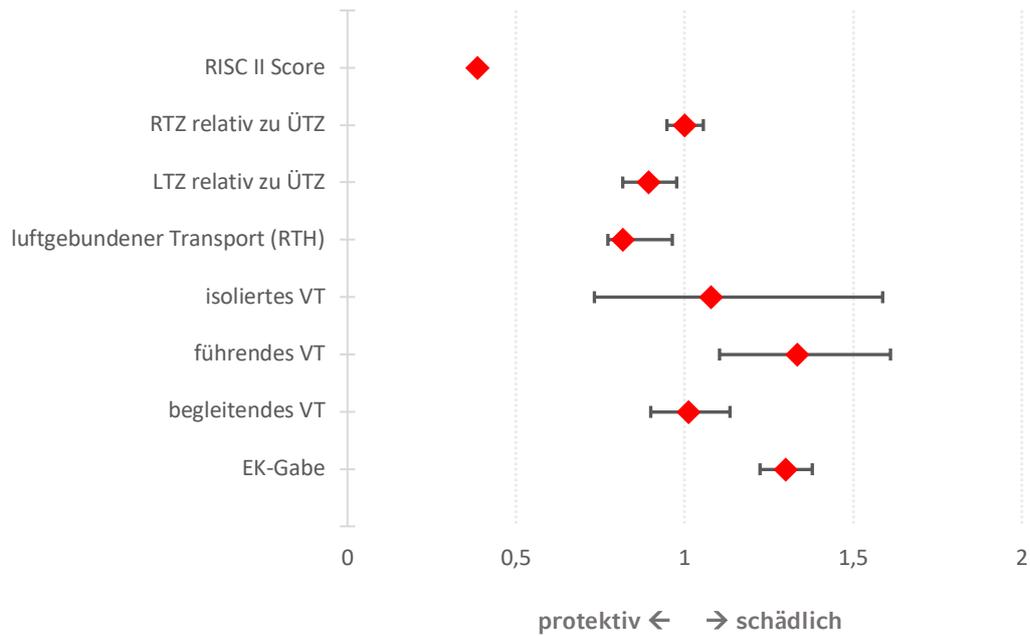


Abbildung 22 - Forest Plot - Odds Ratio und 95%Konfidenzintervall der Mortalität in Bezug auf verschiedene unabhängige Faktoren

RISC II, Revised Injury Severity Classification Version II; ÜTZ, Überregionales TraumaZentrum DGU; RTZ, Regionales TraumaZentrum DGU; LTZ, Lokales TraumaZentrum DGU; VT, Gefäßtrauma; EK, Erythrozytenkonzentrat

	Standardfehler	p-Wert	Regressionskoeffizient	Odds Ratio	95% Konfidenzintervall	
					unterer Wert	oberer Wert
RISC II Score	0.024	< 0.001	- 0.819	0.441	0.421	0.462
RTZ relativ zu ÜTZ	0.119	0.007	-0.319	1.375	1.090	1.735
LTZ relativ zu ÜTZ	0.225	0.036	- 0.471	1.602	1.032	2.488
luftgebundener Transport (RTH)	0.097	0.010	- 0.249	0.780	0.645	0.942
EK-Gabe	0.092	0.015	0.224	1.251	1.045	1.497

Tabelle 33 - Multivarianzanalyse Mortalität in Abhängigkeit des Gefäßtraumas

ÜTZ, Überregionales TraumaZentrum DGU; RTZ, Regionales TraumaZentrum DGU; LTZ, Lokales TraumaZentrum DGU; RTH, Rettungshubschrauber; VT, Gefäßtrauma; EK, Erythrozytenkonzentrat.

Bei den führenden VT handelt es sich in der Regel um sehr schwere Gefäßverletzungen, die somit auch lebensbedrohlich sind. Das Vorliegen von Gefäßverletzungen korreliert

auch mit einem signifikant erhöhten EK-Verbrauch (OR: 1,298; 95%CI: 1,223 – 1,378); $p < 0,001$).

Das sinkende Versorgungsniveau in den LTZ und RTZ ist mit einem steigenden Mortalitätsrisiko für Patienten mit VT verbunden, verglichen mit der Referenzgruppe der ÜTZ (siehe Abb. 24). Diese erhöhten Risiken werden durch statistische Analysen in der aktuellen Auswertung in Abb. 23 bestätigt.

Im Gegensatz dazu zeigt sich bei den Patienten ohne Gefäßtrauma (Non-VT) ein ausgezeichnetes Ergebnis in Bezug auf die Versorgungsqualität in der Realität der Schwerverletztenversorgung (siehe Abb. 24).

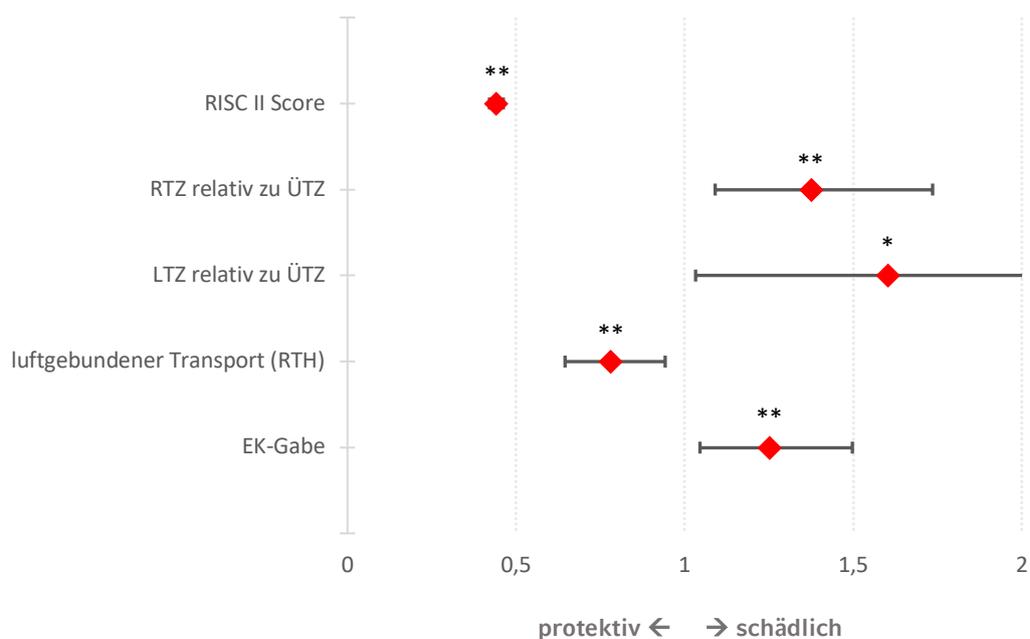


Abbildung 23 - Forest-Plot – Darstellung der Odds Ratio (OR) und deren 95%-Konfidenzintervall (CI) zur Analyse des Mortalitätsrisikos in Abhängigkeit von verschiedenen unabhängigen Faktoren. Ein OR-Wert größer als 1 deutet auf ein erhöhtes Mortalitätsrisiko im Vergleich zur Kontrollgruppe hin, während ein OR-Wert kleiner als 1 auf ein verringertes Risiko hinweist. Die horizontalen Linien repräsentieren das jeweilige Konfidenzintervall. Signifikanzniveau: ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$. Daten basieren auf dem TR-DGU-Projekt mit der ID 2018-045.²

RISC II, Revised Injury Severity Classification version II; ÜTZ, Überregionales TraumaZentrum DGU; RTZ, Regionales TraumaZentrum DGU; LTZ, Lokales TraumaZentrum DGU; VT, Gefäßtrauma; EK, Erythrozytenkonzentrat

4.8.2. RISC-II – erwartete versus beobachtete Letalität

In dem o.g. multivariaten Modell wurde der Effekt der Versorgungsstufen sowie der Effekt der VT dargestellt. Es erscheint hier diskussionswürdig, warum die LTZ im Vergleich zu den ÜTZ besser abschneiden. Dies erklärt sich am ehesten aufgrund einer effizienten präklinischen Einschätzung und Selektion des Rettungsdienstes im Sinne eines Selektionseffekts. Es kommt somit primär zu einer Zuweisung eines Schwerstverletzten mit VT an ein höherversorgendes ÜTZ. Damit verbunden nimmt auch der Effekt des boden- bzw. luftgebunden Transports, Einfluss auf das Zentrumsbezogene Outcome, da der RTH primär die Schwerstverletzten aus den LTZ und RTZ an das ÜTZ weiterleitet oder der Notarzt sich primär für eine Verlegung in ein ÜTZ entschieden hat.

Ein direkter Vergleich der Mortalität zwischen der Gruppe der Verunfallten mit VT und der Gruppe ohne VT (n = 129.851) ist aufgrund der erheblich ungleichen Gruppengrößen nicht aussagekräftig. Um die erwartete Mortalität (Expected Mortality, EM) mit der beobachteten Mortalität (Observed Mortality, OM) vergleichen zu können, findet hier deshalb der RISC II Score Anwendung. Hier zeigt sich, dass die beobachtete Mortalität in der Gruppe ohne VT in allen Versorgungsstufen weitgehend gleichmäßig verteilt ist und der durch den RISC II Score zu erwartenden Mortalität entspricht (→ Tab. 34).²

		kein VT	isoliertes VT	führendes VT	begleitendes VT
ÜTZ	beobachtete Mortalität	14.4	11.8	22.7	27.2
	erwartete Mortalität	14.4	11.6	20.2	27.1
RTZ	beobachtete Mortalität	11.1	32.5	26.9	30.3
	erwartete Mortalität	11.0	24.7	22.3	25.8
LTZ	beobachtete Mortalität	8.1	37.5	43.1	37.9
	erwartete Mortalität	8.2	28.4	27.9	30.9

Tabelle 34 - Beobachtete versus erwartete Mortalität (= RISC II Prognose) in den jeweiligen Subgruppen bezogen auf die Versorgungsstufe des jeweiligen TraumaZentrums.

VT, Gefäßtrauma; ÜTZ, Überregionales TraumaZentrum DGU; RTZ, Regionales TraumaZentrum DGU; LTZ, Lokales TraumaZentrum DGU

In der Subgruppe der isolierten VT entsprechen sich die beobachtete versus erwartete Mortalität im ÜTZ (11,8 vs. 11,6). In den RTZ hingegen liegt die beobachtete Mortalität bereits deutlich über der erwarteten Sterblichkeit (32,5 vs. 24,7), in den LTZ fällt die OM deutlich höher aus als von RISC II prognostiziert (37,5 vs. 28,4). Besonders ausgeprägt ist dieser Effekt in der Untergruppe der führenden VTs mit Erstversorgung in den LTZ. Hier zeigt sich, dass die RISC-Prognose signifikant unter der beobachteten Mortalität liegt (43,1 vs. 27,9) (siehe Abbildung 24).

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass alle VT insbesondere in den RTZ und LTZ eine deutlich höhere Mortalität aufweisen als erwartet. Bei den Patienten ohne VT ergeben sich keine Unterschiede in den Versorgungstufen.

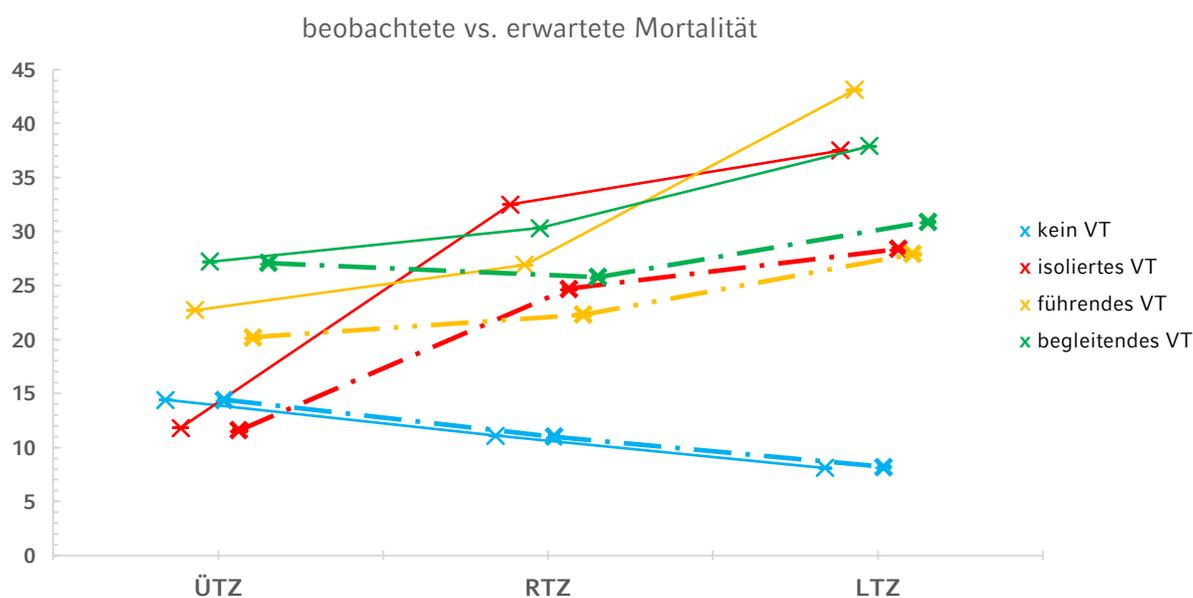


Abbildung 24 - Beobachtete (OM) versus erwartete Mortalität (EM, RISC-II-Prognose). Subgruppen bezogen auf die Versorgungsstufe des primär versorgenden Traumazentrums (aus Jerkku et al.²)

ÜTZ, überregionales TraumaZentrum DGU; RTZ regionales TraumaZentrum DGU; LTZ lokales TraumaZentrum DGU; durchgezogen = OM; gestrichelt = EM (RISC-II-Prognose); VT, Gefäßtrauma, Daten aus dem TR-DGU Projekt-ID 2018-045

4.8.3. Verhältnis der beobachteten Mortalität (non-VT / VT) zu ihrem RISC II

Zuweisungs- und Zentrums-bezogenen Faktoren bedingen sich gegenseitig und haben einen maßgeblichen Einfluss auf das Ergebnis, daher wird in dieser Untersuchung nun die Differenz (Δ Delta) zwischen der erwarteten und beobachteten Sterblichkeitsrate herangezogen, um die Ergebnisse bezüglich VT / non-VT zu interpretieren. Nach der zweiten Überarbeitung des RISC ergab die RISC II mit 13 prognostisch bedeutsamen Parametern wie beispielsweise Alter, NISS (New Injury Severity Score), Kopfverletzung, PTT (Partial Thromboplastin Time), Basenüberschuss und anderen eine gesteigerte Zuverlässigkeit bei der Prognosebewertung. Dies wird durch die hohe Signifikanz des RISC II ($p < 0,001$; OR 95% CI 0,385) belegt.

Für den RISC II-Vergleich wurden lediglich die Daten der primär aufgenommenen Patienten eingeschlossen, da für die sekundär zuverlegten und früh weiterverlegten Patienten keine Outcome-Daten im TraumaRegister erfasst wurden.

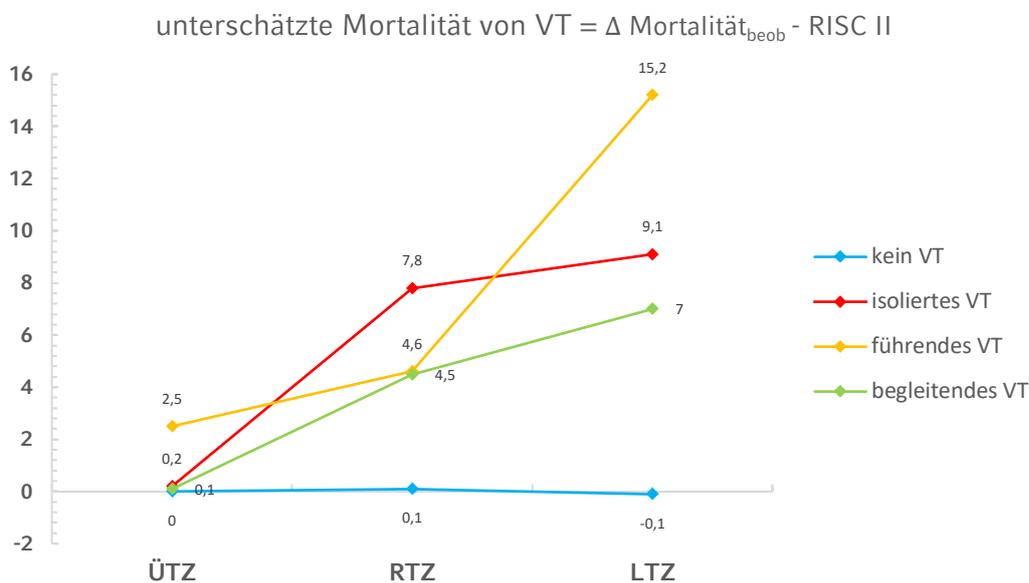


Abbildung 25 - Unterschätzte Mortalität von VT = Δ Mortalität_{t_{beob}} - Δ Mortalität_{t_{erwart}} (auf Basis der RISC II-Prognose) in den jeweiligen Subgruppen bezogen auf die Versorgungsstufe des jeweiligen TraumaZentrums.

VT, Gefäßtrauma; ÜTZ, Überregionales TraumaZentrum DGU; RTZ, Regionales TraumaZentrum DGU; LTZ, Lokales TraumaZentrum DGU

In der Darstellung der RISC II-Prognose gegenüber der beobachteten Mortalität in den Subgruppen, war das schlechtere Überleben der VT in den niedrigversorgenden TraumaZentren (RTZ, LTZ), trotz der bereits ungünstigen RISC II-Prognose in den ÜTZ, immer noch bemerkenswert (→ Tab. 35).

		kein VT	isoliertes VT	führendes VT	begleitendes VT	gesamt
RISC II		12,649	15,868	22,252	27,899	13,174
überlebt	n	112.993	370	1.049	2.609	117.021
	[%]	87.0%	81.7%	74.3%	71.0%	86.4%
verstorben	n	16.858	83	363	1.067	18.371
	[%]	13.0%	18.3%	25.7%	29.0%	13.6%
gesamt	n	129.851	453	1.412	3.676	135.392

Tabelle 35 - RISC II Prognose und Überleben/Mortalität in Abhängigkeit des Gefäßtraumas (nur primäre Patienten für den RISC II Vergleich).

VT, Gefäßtrauma

Im Gegensatz dazu zeigt die Grafik für die Non-VT-Fälle eine lineare negative Korrelation von erwarteter RISC II-Prognose und beobachteten Mortalität (Abb. 25). Auf den ersten Blick deutet dies auf einen vorteilhaften Einfluss auf das Überleben der Non-VT in den niedrig versorgenden TraumaZentren und einen negativen Effekt auf das Überleben der VT-Fälle hin, da die beobachtete Mortalität in den stratifizierten VT-Subgruppen sogar deutlich über die RISC II-Prognose hinaus ansteigen.

5. Diskussion

Eine detaillierte Analyse zeigt die besondere Relevanz der Unterschätzung erst bei Betrachtung des Konfidenzintervalls der beobachteten Mortalität. Mit einem 95%-Konfidenzintervall und einer davon abweichenden Schätzung von 32,9% (RISC II) wird deutlich, dass ein p-Wert $< 0,05$ vorliegt, was auf eine signifikant höhere Mortalitätsrate bei diesen Verletzungen hinweist. Die Ungenauigkeit der Trauma-Scores bei VT lässt sich auf mehrere Faktoren zurückführen. Einerseits ist die Einseitigkeit dieser Diagnostik problematisch: Anatomische Scores wie der ISS, die physiologische Parameter nicht berücksichtigen, übersehen leicht okkulte Blutungen. Andererseits ignorieren physiologische Scores wie TRISS wichtige Hinweise auf Hämorrhagien, etwa Blutdruck, Herzfrequenz, Base Excess oder Laktatwerte.^{76, 77, 80, 98, 99}

Auch wenn der RISC II zusätzliche Faktoren wie das GCS, Laborwerte (BE, Laktat), indirekte Anzeichen von Blutverlust ($RR_{sys} \leq 90$ mmHg, $Hb < 9$ g/dL, EK-Anzahl > 9) und Vorerkrankungen in die Prognose einbezieht, zeigt die Studie schlechtere Outcomes für relevante VT als erwartet. Diese Ergebnisse verdeutlichen, dass auch RISC II für die Einschätzung der vitalen Bedrohung, insbesondere bei schweren VT, nicht ausreichend geeignet ist. Die Registerdaten zeigen eine unerwartet ungünstige Prognose der VT unter den Schwerstverletzten, was langfristig zu einer differenzierten Bewertung im Hinblick auf gefäßmedizinische Aspekte und Standards im Rahmen der Erstversorgung von Polytraumatisierten führen sollte.⁸⁰

5.1. Das führende Gefäßtrauma

Anhand der Ergebnisse dieser Untersuchung konnte belegt werden, dass Schwerstverletzte mit Gefäßverletzungen (VT), einer Hochrisikokonstellation unterliegen. Standards für das präklinische und klinische Management in der Schwerstverletztenversorgung sowie die Zentrumszuweisung (Transportart, Versorgungsstufe) von Polytraumatisierten mit VT stellen entscheidende Faktoren in

dieser VT-Studie dar und sind Gegenstand weiterer wissenschaftlicher Studien.^{64, 86, 100}

Mit dem Ziel, eine stetige Prozess- und Strukturoptimierung in der Schwerstverletztenversorgung zu etablieren, sollen die erhobenen Ergebnisse aus dem TR-DGU, eine vorsichtige Interpretation zulassen. Hierfür müssen einige Kernfragen beantwortet werden:

Gibt es neue Erkenntnisse in der Versorgung von Schwerstverletzten mit VT in Bezug auf die Zentrumszuweisung nach Versorgungsstufe?

Der Einfluss der primären Zuweisung von Gefäßverletzten auf das Outcome konnte in dieser Studie eindeutig nachgewiesen werden. Obgleich die Interpretation der Ergebnisse eine Reihe von Einschränkungen aufweist, lässt sich eine eindeutige Aussage über den einflussnehmenden Effekt der primären Zuweisungsprozesse (präklinische Einschätzung, Transportart, verfügbare Versorgungskapazitäten) treffen. Da die Stratifizierung der VT-Subgruppen willkürlich erfolgt, müssen die erhobenen Daten mit ihren spezifischen Einflussfaktoren transparent dargestellt werden.

- A) Begleitende VT: Wie die Zusammensetzung von ISS und MAIS_{non-VT} von ≥ 3 in Tab. 27 und 29 veranschaulicht, klassifiziert sich diese Subgruppe bereits durch ihre höhere Verletzungsschwere der non-VT-Verletzungen (Kopf / Rumpf betroffen) mit einem primär schlechteren RISC II und Outcome, ohne dass ein (relevantes) Gefäßtrauma maßgeblich die Gesamtverletzungsschwere berücksichtigt wird. Es scheint von Nachteil zu sein, wenn bei einem Schwerstverletzten mit MAIS_{nonVT} ≥ 3 , zusätzlich ein VT vorliegt und eine zeitnahe und fachgerechte vaskuläre oder endovaskuläre Behandlung an einem niedrigversorgenden TraumaZentrum nicht gewährleistet werden kann. Bei den hohen Raten an frühzeitigen Verlegungen aus den LTZ bzw. RTZ in ein ÜTZ, kann durch den zusätzlichen Transport von höherem Stress für den Schwerstverletzten ausgegangen werden. Der Aspekt eines sog. „second hit“ mit erhöhter sekundärer Mortalität muss an dieser Stelle diskutiert werden. Wie aus der

Subgruppenanalyse hervorgeht, betrug die Frühverlegungsrate bei VT bei 41%, während 27% aller non-VT sekundär einer höheren Versorgungsstufe zugewiesen werden mussten. Die Gesamt-Frühverlegungsrate (<48 Stunden) aller TraumaZentren der Stufen 1 bis 3 betrug gemäß dem Jahresbericht 2018 TR-DGU, 1,0% in den ÜTZ, 12,0% in den RTZ bzw. 22,0% in den LTZ.⁴²

- B) Führende VT: Die Kombination aus ISS und MAIS_{VT} von ≥ 3 zeigt, dass sich diese Subgruppe offensichtlich durch eine höhere VT-Verletzungsschwere (Kopf / Rumpf betroffen) mit einer schlechteren RISC II-Prognose kennzeichnet und stets eine spezialisierte vaskuläre bzw. endovaskuläre Versorgung des TraumaZentrums voraussetzt. Bei diesen Fällen mit führendem VT, die durch ein relevantes weiteres non-VT erschwert wird, führt eine frühe Weiterverlegung selbst unter stabilen Kreislaufbedingungen mindestens zu einem ähnlich hohem Mortalitätsrisiko, wie bei den begleitenden VT.
- C) Isolierte VT: Die Daten zeigen einen hohen Anteil an thorakalen (Aorten)-Verletzungen unter den isolierten VT. Insbesondere die thorakalen aortalen Verletzungen fallen heutzutage zweifellos in den Aufgabenbereich erfahrener endovaskulärer Teams, wie der Literatur zu stumpfen Aortenverletzungen zu entnehmen ist.^{79, 100-103} Daher ist eine primäre Zuweisung eines isolierten VT mit Thoraxverletzung bis AIS 3 in ein LTZ, an dem kein spezialisierter Gefäßdienst bereitgestellt werden muss und im Einzelfall auch kein sofort verfügbarer Radiologe vor Ort (Teleradiologie) zur Verfügung steht, diskussionswürdig. Gleiches gilt auch für das RTZ: in der Bundesrepublik Deutschland kann noch nicht garantiert werden, dass jeder Gefäßdienst / Gefäßchirurg eine (thorakale) endovaskuläre Aortenreparatur ((T)EVAR) anbieten kann. Selbst wenn das TraumaZentrum über eine Abteilung für Gefäßchirurgie verfügt, sind möglicherweise nicht alle erforderlichen Infrastrukturen / Endoprothesen (Konsignationslager) rund um die Uhr verfügbar. Taghavi et al. haben in einer aktuellen, US-amerikanischen Studie

herausgehoben, dass sowohl die fachliche Expertise als auch die Fallzahlen der behandelnden TraumaZentren für das Outcome von VT von großer Bedeutung sind¹⁰⁴. Vor diesem Hintergrund stellt sich auch die Versorgung traumatischer Beckengefäßläsionen und unkontrollierte Blutungen am Übergang vom Körperstamm zu den oberen oder unteren Extremitäten kritisch dar.^{105, 106}

5.2. Welche Ergebnisse helfen bei der Interpretation der Registerdaten zur VT-Versorgung?

Für die Interpretation der Registerdaten müssen sowohl die Subgruppen wie auch die wechselseitigen Einflussfaktoren stets mit einbezogen werden. Wie bereits im Ergebnisteil aufgeführt, zeigen VT einen höheren ISS und weisen auch in den verletzten Körperregionen eine höhere Verletzungsschwere auf. Schwere VT sollten zwar, wann immer möglich, primär in einem ÜTZ mit entsprechender gefäßchirurgischer Infrastruktur versorgt werden, zeigen dennoch eine höhere Mortalität, bei allerdings primär bereits ungünstiger RISC II-Prognose aufgrund ihrer höheren Verletzungsschwere. Es handelt sich hierbei um einen nicht bewertbaren Zentrumseffekt. Bei vergleichender Betrachtung der TraumaZentren mit niedriger Versorgungsstufe, zeigt sich jedoch, dass das Ergebnis der ÜTZ besser ausfällt, sogar günstiger als die erwartete RISC II-Prognose, da die LTZ und RTZ von der Gruppe der Schwerstverletzten verschont bleiben. Die non-VT erzielen in den LTZ ein besseres Ergebnis als in den höherversorgenden Zentren und selbst die RTZ weisen noch eine niedrigere Mortalität auf als die ÜTZ. Dies erklärt sich dadurch, dass diesen TraumaZentren meist die leichteren bzw. insgesamt weniger kritisch verletzten Patienten zugewiesen werden, im Vergleich zu den ÜTZ (→ Abb. 26) Das negative Delta aus beobachteter Mortalität und RISC II-Prognose ist vorwiegend in den TraumaZentren mit niedrigen Fallzahlen pro Jahr zu beobachten und müsste statistisch gesehen, allen Fällen mit schlechtem Outcome aus den niedrigen Versorgungsstufen gegenübergestellt werden. Dies lässt sich anhand der Ergebnisse Subgruppenanalyse erklären. Wie in Abb. 16 dargestellt, weisen alle VT-Subgruppen eine bis zu viermal höhere beobachtete Mortalität in den

niedrigversorgenden TraumaZentren (LTZ und RTZ) auf. Es kann hier also nicht alleine die primäre Zuweisung für den hohen Anteil an VT mit schlechterem Überleben verantwortlich sein, die in den LTZ beobachtet wird. Selbst nach Korrektur der RISC II-Prognose, zeigt sich lediglich in der Gruppe der non-VT ein besseres Überleben. Dieses Phänomen ist wiederum am besten durch einen sog. Zentrumseffekt zu erklären. Die stärkste Auswirkung dieses Effekts wird in den ÜTZ beobachtet, aufgrund ihrer primär negativen Fallselektion. Es zeigt sich, dass die meisten schwerverletzten Fälle zwar primär ihrer entsprechenden Versorgungsstufe korrekt zugewiesen werden, zudem aber auch eine hohe Rate an sekundären Zuverlegungen aus den niedrigversorgenden Zentren zu beobachten ist, die wiederum zu einer negativen Selektion führt.

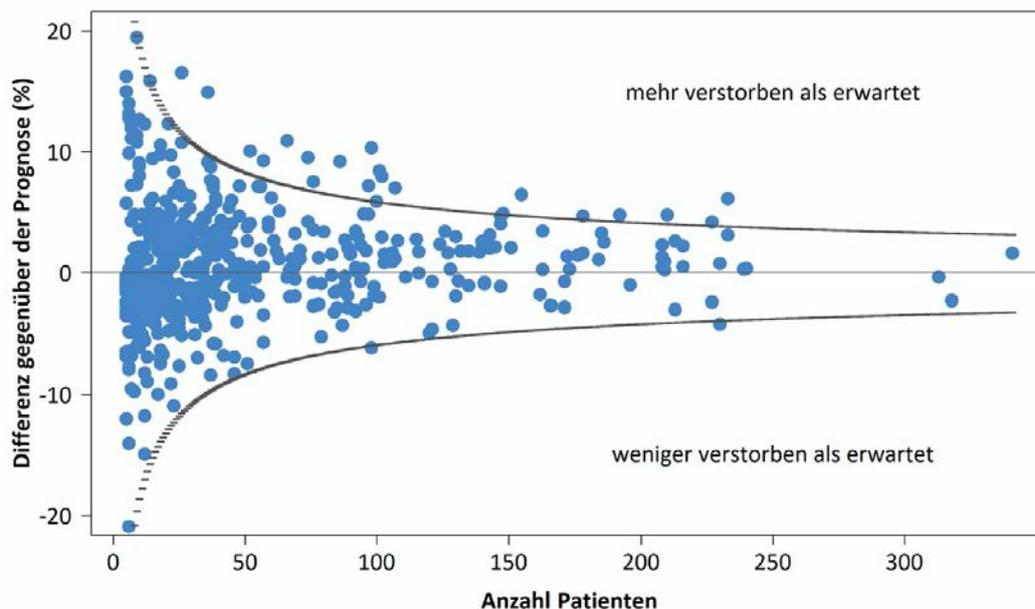


Abbildung 26 - Differenz zwischen Letalität und Letalitätsprognose (RISC II) aller am TR-DGU teilnehmenden Kliniken mit mehr als 5 Fällen für das Jahr 2018 (Quelle: TR-DGU-Jahresbericht 2019). Das Delta der Mortalität und die RISC II-Prognose werden für jedes TraumaZentrum mit seiner jeweiligen jährlichen Fallzahl angezeigt. Die schwarzen Linien repräsentieren das 95% -Konfidenzintervall. Krankenhäuser mit weniger als 5 Fälle/Jahr werden wegen statistischer Unsicherheit ausgeschlossen.

Neben den beiden Hauptfaktoren, dem Trauma- und dem Zentrumseffekt, die die Allokation und das daraus resultierende Outcome beeinflussen, gibt es noch drei weitere Nebenfaktoren, die weiterhin mit dem Zuweisungseffekt einhergehen:

Eine kleine, aber relevante Gruppe von falsch- und unterdiagnostizierten VT-Fällen wirkt sich ungünstig auf die Gesamt-VT-Subgruppe aus. Diese Fälle können vor allem den RTZ aber auch den LTZ zugeordnet werden und zeigen eine um mindestens 20% höhere Mortalität bei unbeabsichtigter Fehlzweisung, z.B. für thorakale VT (traumatische Transsektionen). Dies lässt sich am besten unter dem Begriff eines sog. Triageeffekts beschreiben.

Die primäre Entscheidung am Unfallort für einen luftgebundenen Transport ergibt sich meist aus der, durch den Notarzt eingeschätzten Verletzungsschwere und geht meist mit einer Zuweisung in ein höherversorgendes TraumaZentrum einher (Transporteffekt). Auch ein sog. Verlegungseffekt lässt sich in diesem Zusammenhang beobachten. Trotz fehlender Daten der früh weiterverlegten Fälle (<48 Stunden), ist in dieser Patientengruppe von schweren VT mit schlechter RISC II-Prognose auszugehen, da die niedrigversorgenden TraumaZentren mangels Versorgungsmöglichkeiten, eine Weiterverlegung in ein übergeordnetes TraumaZentrum trotz erhöhten Transportrisikos in Erwägung ziehen. Verlängerte Prozesszeiten verschlechtern nachweislich das Outcome und führen somit sekundär zu einer Erhöhung der Mortalitätsrate der ÜTZ.

5.3. Die Schwerstverletztenversorgung in der BRD - ist ein internationaler Vergleich sinnvoll?

Im Jahr 2019 beteiligten sich ca. 660 zertifizierte TraumaZentren in Deutschland, Österreich, der Schweiz, den Niederlanden, Belgien und Luxemburg an der Initiative TraumaNetzwerk der DGU. Trotz der gegebenen Unterschieden in Bezug auf strukturelle, geografische, soziale und viele andere Faktoren, scheint es dennoch international eine Vergleichbarkeit der Systeme innerhalb Europas und auch mit den USA zu geben: diese internationalen Unterschiede spiegeln die individuelle Vielfalt wider, die sich in den einzelnen nationalen Versorgungssystemen dieser Länder entwickelt haben.^{52, 54, 107-109}

Mit dem Fokus auf die Zuweisungsprozesse und die Standards der TraumaZentren in der Versorgung von Schwerstverletzten mit Gefäßtrauma (VT), soll zunächst das deutsche und das US-amerikanische System verglichen werden. Die in Deutschland etablierten

Triageprozesse wurden ausführlich erläutert und scheinen dem US-amerikanischen System sehr ähnlich zu sein. Die Rettungszeit vom Unfallort bis zum TraumaZentrum mit höchster Versorgungsstufe, entsprechendem einem höheren ISS, schwankt zwischen 20 und 40 Minuten in städtischen Ballungsräumen und bis zu 60 Minuten in ländlichen Gebieten. Diese Prozesszeiten haben sich weder in Europa noch in den USA im Laufe der Zeit geändert.^{54, 108} Ein wesentlicher Unterschied liegt allerdings in den Unfallmechanismen der VT, die in vielen Regionen der USA aufgrund der Waffengesetzgebung deutlich mehr penetrierende Traumata (Schussverletzungen) aufweisen, in Deutschland wiederum viele Hochransanztraumata durch fehlende Geschwindigkeitsbeschränkungen (Autobahn) mit mehr stumpfen Verletzungen einhergehen¹¹⁰. Insgesamt führt aber der Anteil an Verkehrsunfällen weltweit immer noch die Unfallstatistik und die damit verbundenen Todesraten an.

Im Fokus liegen die identifizierten und bewerteten Einflussfaktoren, die das sekundäre Outcome von VT bestimmen. Es ist zu diskutieren, ob diese Definitionen beizubehalten sind, aber sie unterstützen die Etablierung einer Versorgungsstruktur durch einen modifizierbaren Algorithmus. Für den Zentrumseffekt, den Traumaeffekt und ihre Koeffizienten Untertriage-, Transport- und Zuweisungseffekt kann es nützlich sein, die gemeinsamen Einflussfaktoren darzustellen, um eine objektive Interpretation zu ermöglichen. Der Zentrums-, Trauma- und der Transporteffekt werden jeweils durch die primäre Zuweisung gesteuert. Untertriage- und Verlegungseffekte werden durch erweiterte Prozessalgorithmen und weiterbildende Schulungen wirksam kontrolliert. Weitere wissenschaftliche Studien anhand der Registerdaten des TR-DGU sind erforderlich, um diese ersten Erkenntnisse zu validieren und neue Konzepte in der Versorgung von VT zu etablieren. Insbesondere eine Auswertung der sekundär Frühverlegten könnten weitere Rückschlüsse auf das Outcome der VT und neue Versorgungsstandards ergeben.

6. Zusammenfassung

Das Endergebnis dieser Untersuchung fasst einige Details zur Notfallversorgung von Gefäßverletzten zusammen und hinterlässt uns ein detailliertes Arbeitsprogramm.

Die Auswertung der stratifizierten VT-Subgruppen belegt den prognostisch vorteilhaften Effekt eines schnellen luftgebundenen Transports, was darauf hindeutet, dass die TraumaZentren der höchsten Versorgungsstufe (ÜTZ) primär ausgewählt werden. Gerade die führenden und begleitenden VT erfordern eine spezialisierte gefäßchirurgische Behandlung. Daneben müssen zentrale Gefäßverletzungen von isolierten VT häufig mittels endovaskulären Operationstechniken versorgt werden. Aus diesem Grund, sollten schwer Gefäßverletzte die als solche identifiziert werden, oder auch nur bei Verdacht, idealerweise primär einem überregionalen Traumazentrum (ÜTZ) zugewiesen werden.²

Dies bedingt unter Umständen einen deutlichen Mehraufwand in der Koordination der Erstversorgung und gezielten Zuweisung von VT in die jeweiligen ÜTZ. In diesen Zentrumskliniken müssten dafür ggf. noch mehr personelle Ressourcen und Bettenkapazitäten verfügbar gemacht werden können. Die außerordentlichen Herausforderungen in Zeiten der COVID-19-Pandemie haben eindrücklich bewiesen, wie effektiv deutsche Zentren unter Nutzung lokaler und nationaler Koordinierungsstrukturen wie dem DIVI-Register (Deutsche Interdisziplinäre Union für Intensiv- und Notfallversorgung), zeitnah und bedarfsgerecht zusätzliche Kapazitäten generieren konnten. Ähnlich könnte die Bereitstellung eines gefäßchirurgischen Intensivbetts für Aorten- oder Gefäßnotfälle, analog den bereits weitgehend etablierten „Polytraumabetten“ in den maximalversorgenden Kliniken, eine Optimierung in der Versorgungslage von VT, insbesondere von Verletzten mit zentralen VT, darstellen.²

Regionale Traumazentren sollten weiterhin flexibel entscheiden können, inwieweit sie den aktualisierten Empfehlungen aus dem Weißbuch der Schwerverletztenversorgung nachkommen können, um den hochspezifischen Anforderungen in der Erst- und Versorgung von VT gerecht zu werden.

Entscheidend für eine effiziente, flächendeckende Schwerstverletztenversorgung ist die präklinische Einschätzung und Triage durch die Versorgungseinheiten des jeweiligen TraumaNetzwerkes.²

Neben weiterer, notwendigen wissenschaftlichen Untersuchung zu Zuweisungsprozesse, Evaluation und Analyse von Registerdaten, sollte auch eine vereinheitlichte Dokumentation über sekundär weiterverlegte Patienten priorisiert werden.

Eine zentrale Rolle spielt zudem die Sensibilisierung des Rettungsdienst- und Klinikpersonals hinsichtlich der spezifischen Versorgungsprozesse bei Gefäßverletzungen. Diese sollte durch ein Mehrangebot an Schulungen und gezielten Trainings gesteigert werden können. Die präklinische Beurteilung hat maßgeblichen Einfluss auf die Prognose, insbesondere bei schwerem Schock, penetrierenden Verletzungen, stumpfen Traumata, Hochrasanztraumata oder Stürzen aus großer Höhe, wobei potenzielle Gefäßverletzungen immer in die Entscheidungs- und Triageprozesse einbezogen werden sollten. Die enge, interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen der Deutschen Gesellschaft für Gefäßchirurgie (DGG) und der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU) hat durch Organisation gemeinsamer Gremien und Arbeitsgruppen im zivilen und militärischen Bereich bereits grundlegende Fortschritte bei der Entwicklung der S3-Richtlinie Polytrauma schaffen können. Dies könnte perspektivisch Grundlage für die Entwicklung neuer (Gefäß-)Trauma-Scores und Versorgungsalgorithmen werden.²

7. Limitationen der vorliegenden Studie

Eine retrospektive Untersuchung von Datensätzen aus umfangreichen Registern, wie sie in dieser vorliegenden Studie durchgeführt wurde, verdeutlicht zwangsläufig gewisse Beschränkungen. Aufgrund der Tatsache, dass die Behandlung von schwer verletzten Patienten, insbesondere in präklinischen Situationen am Unfallort oder im Schockraum,

unter extremen Bedingungen und mit zeitlichen Einschränkungen erfolgt, können sich Lücken in der Dokumentation und unvollständige Datensätze ergeben.

Durch umfangreiche Plausibilitätsprüfungen in der Datenerfassungssoftware der TR-DGU konnten größere Inkongruenzen der Datensätze vermieden werden. Allerdings war es nicht möglich, die Vollständigkeit der Falldokumentation für jedes einzelne Krankenhaus zu überprüfen. Ebenso konnte keine Verknüpfung der Datensätze für Patienten hergestellt werden, die zunächst in einem kleineren TraumaZentrum behandelt und anschließend in ein höherversorgendes Zentrum verlegt wurden. Daher liegen für diese weiterverlegten Fälle keine Ergebnisse zur Beurteilung des Behandlungsergebnisses vor. Trotz dieser isolierten Datenlücken beeinflussen sie weder die statistische Validität noch die hohe Relevanz der gewonnenen Erkenntnisse und Schlussfolgerungen, insbesondere aufgrund der großen Anzahl von eingeschlossenen Fällen.

8. Literaturverzeichnis

Literaturverzeichnis

1. Aschenbrenner I and Biberthaler P. Polytrauma - DGU Patienteninformation, https://www.dgu-online.de/fileadmin/migrated/content/uploads/DGU_Patienteninformation_Polytrauma_f_01.pdf (2012).
2. Jerkku T, Tsilimparis N and Banafsche R. [Vascular injury-An underestimated entity?]. *Gefasschirurgie* 2022; 27: 156-169. 2022/05/03. DOI: 10.1007/s00772-022-00892-3.
3. Lefering R, Nienaber U and Paffrath T. [What is a seriously injured person? : Differentiated view of the severity of the injuries in a trauma patient]. *Unfallchirurg* 2017; 120: 898-901. 2017/09/13. DOI: 10.1007/s00113-017-0409-z.
4. Lefering R. *Abschätzung der Gesamtzahl Schwerstverletzter in Folge von Straßenverkehrsunfällen in Deutschland*. 2010. Bundesanstalt für Straßenwesen BAST.
5. Pape HC, Lefering R, Butcher N, et al. The definition of polytrauma revisited: An international consensus process and proposal of the new 'Berlin definition'. *J Trauma Acute Care Surg* 2014; 77: 780-786. 2014/12/11. DOI: 10.1097/TA.0000000000000453.
6. Paffrath T, Lefering R, Flohe S, et al. How to define severely injured patients? -- an Injury Severity Score (ISS) based approach alone is not sufficient. *Injury* 2014; 45 Suppl 3: S64-69. 2014/10/07. DOI: 10.1016/j.injury.2014.08.020.
7. Oestern HJ, Tscherne H, Sturm J, et al. [Classification of the severity of injury]. *Unfallchirurg* 1985; 88: 465-472. 1985/11/01.
8. Commission E. 2018 road safety statistics: what is behind the figures? : European Commission, 2019.
9. (Destatis) SB. *Unfälle von Frauen und Männern im Straßenverkehr - 2017*. 12/14/2018 2018.
10. Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie/German Society for Trauma S. S3 – Leitlinie Polytrauma / Schwerverletzten-Behandlung. In: Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie/German Society for Trauma S, (ed.). *AWMF Register-Nr 012/019*. 2016.

11. Foltin E and Stockinger A. [Effects of injury pattern on the predictability of 4 multiple trauma scores. Presentation of a method for identifying artifacts]. *Unfallchirurg* 1999; 102: 98-109. 1999/03/31. DOI: 10.1007/s001130050380.
12. Champion HR. Trauma scoring. *Scand J Surg* 2002; 91: 12-22. 2002/06/22. DOI: 10.1177/145749690209100104.
13. States JD and al. e. Rating the severity of tissue damage. I. The abbreviated scale. *Jama* 1971; 215: 277-280. 1971/01/11. DOI: 10.1001/jama.1971.03180150059012.
14. Haasper C, Junge M, Ernstberger A, et al. [The Abbreviated Injury Scale (AIS). Options and problems in application]. *Unfallchirurg* 2010; 113: 366-372. 2010/04/09. DOI: 10.1007/s00113-010-1778-8.
15. Baker SP, O'Neill B, Haddon W, Jr., et al. The injury severity score: a method for describing patients with multiple injuries and evaluating emergency care. *J Trauma* 1974; 14: 187-196. 1974/03/01.
16. Linn S. The injury severity score--importance and uses. *Ann Epidemiol* 1995; 5: 440-446. 1995/11/01. DOI: 10.1016/1047-2797(95)00059-3.
17. Osler T, Baker SP and Long W. A modification of the injury severity score that both improves accuracy and simplifies scoring. *J Trauma* 1997; 43: 922-925; discussion 925-926. 1998/01/07. DOI: 10.1097/00005373-199712000-00009.
18. Brenneman FD, Boulanger BR, McLellan BA, et al. Measuring injury severity: time for a change? *J Trauma* 1998; 44: 580-582. 1998/04/29. DOI: 10.1097/00005373-199804000-00003.
19. Harwood PJ, Giannoudis PV, Probst C, et al. Which AIS based scoring system is the best predictor of outcome in orthopaedic blunt trauma patients? *J Trauma* 2006; 60: 334-340. 2006/03/02. DOI: 10.1097/01.ta.0000197148.86271.13.
20. Meredith JW, Evans G, Kilgo PD, et al. A comparison of the abilities of nine scoring algorithms in predicting mortality. *J Trauma* 2002; 53: 621-628; discussion 628-629. 2002/10/24. DOI: 10.1097/00005373-200210000-00001.
21. Teasdale G and Jennett B. Assessment of coma and impaired consciousness. A practical scale. *Lancet* 1974; 2: 81-84. 1974/07/13. DOI: 10.1016/s0140-6736(74)91639-0.

22. Teasdale G, Maas A, Lecky F, et al. The Glasgow Coma Scale at 40 years: standing the test of time. *Lancet Neurol* 2014; 13: 844-854. 2014/07/18. DOI: 10.1016/S1474-4422(14)70120-6.
23. Ross SE, Leipold C, Terregino C, et al. Efficacy of the motor component of the Glasgow Coma Scale in trauma triage. *J Trauma* 1998; 45: 42-44. 1998/07/29. DOI: 10.1097/00005373-199807000-00008.
24. Teoh LS, Gowardman JR, Larsen PD, et al. Glasgow Coma Scale: variation in mortality among permutations of specific total scores. *Intensive Care Med* 2000; 26: 157-161. 2000/04/28. DOI: 10.1007/s001340050039.
25. Jagger J, Jane JA and Rimel R. The Glasgow coma scale: to sum or not to sum? *Lancet* 1983; 2: 97. 1983/07/09. DOI: 10.1016/s0140-6736(83)90074-0.
26. Price T, Miller L and deScossa M. The Glasgow Coma Scale in intensive care: a study. *Nurs Crit Care* 2000; 5: 170-173. 2001/03/10.
27. Zimmerman JE, Kramer AA, McNair DS, et al. Acute Physiology and Chronic Health Evaluation (APACHE) IV: hospital mortality assessment for today's critically ill patients. *Crit Care Med* 2006; 34: 1297-1310. 2006/03/17. DOI: 10.1097/01.CCM.0000215112.84523.F0.
28. Knaus WA, Zimmerman JE, Wagner DP, et al. APACHE-acute physiology and chronic health evaluation: a physiologically based classification system. *Crit Care Med* 1981; 9: 591-597. 1981/08/01. DOI: 10.1097/00003246-198108000-00008.
29. Knaus WA, Draper EA, Wagner DP, et al. APACHE II: a severity of disease classification system. *Crit Care Med* 1985; 13: 818-829. 1985/10/01.
30. Knaus WA, Wagner DP, Draper EA, et al. The APACHE III prognostic system. Risk prediction of hospital mortality for critically ill hospitalized adults. *Chest* 1991; 100: 1619-1636. 1991/12/01. DOI: 10.1378/chest.100.6.1619.
31. Andruszkow H, Pape HC, Sellei R, et al. [Prognosis of polytraumatized patients: estimates in the shock room and intensive care station]. *Unfallchirurg* 2013; 116: 451-464. 2013/05/04. DOI: 10.1007/s00113-012-2343-4.
32. Chawda MN, Hildebrand F, Pape HC, et al. Predicting outcome after multiple trauma: which scoring system? *Injury* 2004; 35: 347-358. 2004/03/24. DOI: 10.1016/S0020-1383(03)00140-2.

33. Champion HR, Sacco WJ, Carnazzo AJ, et al. Trauma score. *Crit Care Med* 1981; 9: 672-676. 1981/09/01. DOI: 10.1097/00003246-198109000-00015.
34. Champion HR, Sacco WJ, Copes WS, et al. A revision of the Trauma Score. *J Trauma* 1989; 29: 623-629. 1989/05/01. DOI: 10.1097/00005373-198905000-00017.
35. Offner PJ, Jurkovich GJ, Gurney J, et al. Revision of TRISS for intubated patients. *J Trauma* 1992; 32: 32-35. 1992/01/01. DOI: 10.1097/00005373-199201000-00007.
36. Oestern HJ and Kabus K. [The classification of the severely and multiply injured - what has been established?]. *Chirurg* 1997; 68: 1059-1065. 1998/03/28. DOI: 10.1007/s001040050323.
37. Boyd CR, Tolson MA and Copes WS. Evaluating trauma care: the TRISS method. Trauma Score and the Injury Severity Score. *J Trauma* 1987; 27: 370-378. 1987/04/01.
38. Eichelberger MR, Champion HR, Sacco WJ, et al. Pediatric coefficients for TRISS analysis. *J Trauma* 1993; 34: 319-322. 1993/03/01. DOI: 10.1097/00005373-199303000-00001.
39. Lefering R. Development and validation of the revised injury severity classification score for severely injured patients. *Eur J Trauma Emerg Surg* 2009; 35: 437-447. 2009/10/01. DOI: 10.1007/s00068-009-9122-0.
40. Lefering R, Huber-Wagner S, Nienaber U, et al. Update of the trauma risk adjustment model of the TraumaRegister DGU: the Revised Injury Severity Classification, version II. *Crit Care* 2014; 18: 476. 2014/11/15. DOI: 10.1186/s13054-014-0476-2.
41. Trentzsch H, Maegele M, Nienaber U, et al. [The TraumaRegister DGU(R) dataset, its development over 25 years and advances in the care of severely injured patients]. *Unfallchirurg* 2018; 121: 794-801. 2018/09/19. DOI: 10.1007/s00113-018-0555-y.
42. Lefering R, Höfer C, Huber-Wagner S, et al. *Jahresbericht 2018 - TraumaRegister DGU*. 2018.
43. Debus F, Ruchholtz S, Lefering R, et al. TraumaNetzwerk und TraumaRegister DGU. *Management des Schwerverletzten*. Pape, H. Hildebrand, F. Ruchholtz, S., 2017, pp.21-28.

44. (DGU) DGfUeV. *Weißbuch Schwerverletztenversorgung - Empfehlungen zur Struktur, Organisation, Ausstattung sowie Förderung von Qualität und Sicherheit in der Schwerverletztenversorgung in der Bundesrepublik Deutschland*. 2019.
45. Clarke JR, Trooskin SZ, Doshi PJ, et al. Time to laparotomy for intra-abdominal bleeding from trauma does affect survival for delays up to 90 minutes. *J Trauma* 2002; 52: 420-425. 2002/03/20. DOI: 10.1097/00005373-200203000-00002.
46. Frezza EE and Mezgebe H. Is 30 minutes the golden period to perform emergency room thorotomy (ERT) in penetrating chest injuries? *J Cardiovasc Surg (Torino)* 1999; 40: 147-151. 1999/04/30.
47. Martin RS, Kilgo PD, Miller PR, et al. Injury-associated hypothermia: an analysis of the 2004 National Trauma Data Bank. *Shock* 2005; 24: 114-118. 2005/07/27. DOI: 10.1097/01.shk.0000169726.25189.b1.
48. Frink M, Probst C, Hildebrand F, et al. [The influence of transportation mode on mortality in polytraumatized patients. An analysis based on the German Trauma Registry]. *Unfallchirurg* 2007; 110: 334-340. 2007/01/16. DOI: 10.1007/s00113-006-1222-2.
49. Brathwaite CE, Rosko M, McDowell R, et al. A critical analysis of on-scene helicopter transport on survival in a statewide trauma system. *J Trauma* 1998; 45: 140-144; discussion 144-146. 1998/07/29. DOI: 10.1097/00005373-199807000-00029.
50. Cunningham P, Rutledge R, Baker CC, et al. A comparison of the association of helicopter and ground ambulance transport with the outcome of injury in trauma patients transported from the scene. *J Trauma* 1997; 43: 940-946. 1998/01/07. DOI: 10.1097/00005373-199712000-00013.
51. Brazier J, Nicholl J and Snooks H. The cost and effectiveness of the London Helicopter Emergency Medical Service. *J Health Serv Res Policy* 1996; 1: 232-237. 1996/09/04. DOI: 10.1177/135581969600100409.
52. Esposito TJ, Maier RV, Rivara FP, et al. The impact of variation in trauma care times: urban versus rural. *Prehosp Disaster Med* 1995; 10: 161-166; discussion 166-167. 1995/06/07. DOI: 10.1017/s1049023x00041947.
53. Gervin AS and Fischer RP. The importance of prompt transport of salvage of patients with penetrating heart wounds. *J Trauma* 1982; 22: 443-448. 1982/06/01. DOI: 10.1097/00005373-198206000-00001.

54. Feero S, Hedges JR, Simmons E, et al. Does out-of-hospital EMS time affect trauma survival? *Am J Emerg Med* 1995; 13: 133-135. 1995/03/01. DOI: 10.1016/0735-6757(95)90078-0.
55. Pepe PE, Wyatt CH, Bickell WH, et al. The relationship between total prehospital time and outcome in hypotensive victims of penetrating injuries. *Ann Emerg Med* 1987; 16: 293-297. 1987/03/01. DOI: 10.1016/s0196-0644(87)80174-9.
56. van Olden GD, van Vugt AB, Biert J, et al. Trauma resuscitation time. *Injury* 2003; 34: 191-195. 2003/03/08. DOI: 10.1016/s0020-1383(02)00202-4.
57. Harmsen AM, Giannakopoulos GF, Moerbeek PR, et al. The influence of prehospital time on trauma patients outcome: a systematic review. *Injury* 2015; 46: 602-609. 2015/01/30. DOI: 10.1016/j.injury.2015.01.008.
58. MacLeod J, Lynn M, McKenney MG, et al. Predictors of mortality in trauma patients. *Am Surg* 2004; 70: 805-810. 2004/10/16.
59. Kortmann H, Huf R and Heberer G. Vascular injuries in polytrauma. *Langenbecks Arch Surg* 1986; 369: 850-851.
60. Hupp T and Eisele R. Traumatic injuries to the extremities including bone and blood vessel damage: priorities, triage and interdisciplinary management. *Gefasschirurgie* 2002; 7: 202-207.
61. DuBose JJ, Savage SA, Fabian TC, et al. The American Association for the Surgery of Trauma PROspective Observational Vascular Injury Treatment (PROOVIT) registry: multicenter data on modern vascular injury diagnosis, management, and outcomes. *J Trauma Acute Care Surg* 2015; 78: 215-222; discussion 222-213. 2015/03/11. DOI: 10.1097/TA.0000000000000520.
62. Gabel G, Pyrc J, Hinterseher I, et al. [Arterial injuries combined with open fractures--management and therapy]. *Zentralbl Chir* 2009; 134: 292-297. 2009/08/19. DOI: 10.1055/s-0029-1224526.
63. Mavrogenis AF, Panagopoulos GN, Kokkalis ZT, et al. Vascular Injury in Orthopedic Trauma. *Orthopedics* 2016; 39: 249-259. 2016/06/21. DOI: 10.3928/01477447-20160610-06.

64. Ziemann C, Schuld J, Müller SG, et al. Traumatic vascular injuries - Single center experience at the University Hospital of Saarland over a period of 12 years. *Gefässchirurgie* 2015; 20: 358–364.
65. Kleber C, Held C, Geßlein M, et al. Akute Gefäßverletzungen bei Traumapatienten - Unfallchirurgische Strategien in der Primärversorgung. *Gefässchirurgie* 2017; 22:250–260. DOI: 10.1007/s00772-017-0283-6.
66. Heuer M, Hussmann B, Kaiser GM, et al. Abdominal vascular trauma in 760 severely injured patients. *Eur J Trauma Emerg Surg* 2013; 39: 47-55. 2013/02/01. DOI: 10.1007/s00068-012-0234-6.
67. Kleber C, Giesecke MT, Tsokos M, et al. Trauma-related preventable deaths in Berlin 2010: need to change prehospital management strategies and trauma management education. *World J Surg* 2013; 37: 1154-1161. 2013/02/23. DOI: 10.1007/s00268-013-1964-2.
68. Kleber C, Giesecke MT, Lindner T, et al. Requirement for a structured algorithm in cardiac arrest following major trauma: epidemiology, management errors, and preventability of traumatic deaths in Berlin. *Resuscitation* 2014; 85: 405-410. 2013/11/30. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2013.11.009.
69. Inaba K, Aksoy H, Seamon MJ, et al. Multicenter evaluation of temporary intravascular shunt use in vascular trauma. *J Trauma Acute Care Surg* 2016; 80: 359-364; discussion 364-355. 2015/12/30. DOI: 10.1097/TA.0000000000000949.
70. Kisat M, Morrison JJ, Hashmi ZG, et al. Epidemiology and outcomes of non-compressible torso hemorrhage. *J Surg Res* 2013; 184: 414-421. 2013/07/09. DOI: 10.1016/j.jss.2013.05.099.
71. Brenner ML, Moore LJ, DuBose JJ, et al. A clinical series of resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta for hemorrhage control and resuscitation. *J Trauma Acute Care Surg* 2013; 75: 506-511. 2013/10/04. DOI: 10.1097/TA.0b013e31829e5416.
72. DuBose JJ, Scalea TM, Brenner M, et al. The AAST prospective Aortic Occlusion for Resuscitation in Trauma and Acute Care Surgery (AORTA) registry: Data on contemporary utilization and outcomes of aortic occlusion and resuscitative balloon occlusion of the aorta (REBOA). *J Trauma Acute Care Surg* 2016; 81: 409-419. 2016/04/07. DOI: 10.1097/TA.0000000000001079.

73. Moore LJ, Martin CD, Harvin JA, et al. Resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta for control of noncompressible truncal hemorrhage in the abdomen and pelvis. *Am J Surg* 2016; 212: 1222-1230. 2017/03/28. DOI: 10.1016/j.amjsurg.2016.09.027.
74. Inoue J, Shiraishi A, Yoshiyuki A, et al. Resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta might be dangerous in patients with severe torso trauma: A propensity score analysis. *J Trauma Acute Care Surg* 2016; 80: 559-566; discussion 566-557. 2016/01/26. DOI: 10.1097/TA.0000000000000968.
75. Knapp J, Bernhard M, Haltmeier T, et al. [Resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta : Option for incompressible trunk bleeding?]. *Anaesthetist* 2018; 67: 280-292. 2018/03/07. DOI: 10.1007/s00101-018-0418-5.
76. Cocchi MN, Kimlin E, Walsh M, et al. Identification and resuscitation of the trauma patient in shock. *Emerg Med Clin North Am* 2007; 25: 623-642, vii. 2007/09/11. DOI: 10.1016/j.emc.2007.06.001.
77. Loh SA, Rockman CB, Chung C, et al. Existing trauma and critical care scoring systems underestimate mortality among vascular trauma patients. *J Vasc Surg* 2011; 53: 359-366. 2010/10/19. DOI: 10.1016/j.jvs.2010.08.074.
78. Eun JC, Bronsert M, Hansen K, et al. Vascular injury is associated with increased mortality in winter sports trauma. *Ann Vasc Surg* 2015; 29: 109-113. 2014/12/03. DOI: 10.1016/j.avsg.2014.10.003.
79. Demetriades D. Blunt thoracic aortic injuries: crossing the Rubicon. *J Am Coll Surg* 2012; 214: 247-259. 2012/01/24. DOI: 10.1016/j.jamcollsurg.2011.11.015.
80. Lech L, Jerkku T, Kanz KG, et al. [Relevance of Vascular Trauma in Trauma Care - Impact on Clinical Course and Mortality]. *Zentralbl Chir* 2016; 141: 526-532. DOI: 10.1055/s-0042-106087.
81. Vincent JL, de Mendonca A, Cantraine F, et al. Use of the SOFA score to assess the incidence of organ dysfunction/failure in intensive care units: results of a multicenter, prospective study. Working group on "sepsis-related problems" of the European Society of Intensive Care Medicine. *Crit Care Med* 1998; 26: 1793-1800. 1998/11/21.
82. Ferreira FL, Bota DP, Bross A, et al. Serial evaluation of the SOFA score to predict outcome in critically ill patients. *JAMA* 2001; 286: 1754-1758. 2001/10/12.

83. Ziemann C, Schuld J, Müller SG, et al. Traumatische Gefäßverletzungen - Single-Center-Erfahrung am Universitätsklinikum des Saarlandes über einen Zeitraum von 12 Jahren. *Gefässchirurgie* 2015; 20:358–364. DOI: 10.1007/s00772-015-0056-z.
84. Billing A, Karl T, Hoffmann R, et al. Vascular injuries - State-of-the-art concepts in diagnosis and treatment. *Trauma und Berufskrankheit* 2009; 11: 64–73.
85. Elias K, Willy C and Engelhardt M. [How much competence in emergency vascular surgery does a modern trauma surgeon need?: experiences regarding deployment as a military surgeon]. *Unfallchirurg* 2010; 113: 122-126. 2010/01/29. DOI: 10.1007/s00113-010-1740-9.
86. Niedermeier HP. Gefäßverletzungen an den Extremitäten. *Gefässchirurgie* 2002; 7:229-232.
87. Brohi K, Cohen MJ, Ganter MT, et al. Acute coagulopathy of trauma: hypoperfusion induces systemic anticoagulation and hyperfibrinolysis. *J Trauma* 2008; 64: 1211-1217; discussion 1217. 2008/05/13. DOI: 10.1097/TA.0b013e318169cd3c.
88. Flohe S and Nast-Kolb D. [Surgical management of life-threatening injuries]. *Unfallchirurg* 2009; 112: 854-859. 2009/09/17. DOI: 10.1007/s00113-009-1680-4.
89. Winkelmann M and Wilhelmi M. [Prehospital resuscitation of patients with multiple injuries]. *Unfallchirurg* 2014; 117: 99-104. 2014/01/31. DOI: 10.1007/s00113-013-2487-x.
90. MacLeod JB, Lynn M, McKenney MG, et al. Early coagulopathy predicts mortality in trauma. *J Trauma* 2003; 55: 39-44. 2003/07/12. DOI: 10.1097/01.TA.0000075338.21177.EF.
91. Maegele M, Lefering R, Yucel N, et al. Early coagulopathy in multiple injury: an analysis from the German Trauma Registry on 8724 patients. *Injury* 2007; 38: 298-304. 2007/01/12. DOI: 10.1016/j.injury.2006.10.003.
92. Hussmann B, Taeger G, Lefering R, et al. [Lethality and outcome in multiple injured patients after severe abdominal and pelvic trauma. Influence of preclinical volume replacement - an analysis of 604 patients from the trauma registry of the DGU]. *Unfallchirurg* 2011; 114: 705-712. 2010/12/15. DOI: 10.1007/s00113-010-1842-4.

93. Loh SA. Existing trauma and critical care scoring systems underestimate mortality among vascular trauma patients. *J Vasc Surg* 2011; 53:359–366. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2010.08.074>.
94. Galindo RM and Workman CR. Vascular trauma at a military level II trauma center(1). *Curr Surg* 2000; 57: 615-618. 2000/12/20. DOI: 10.1016/s0149-7944(00)00393-7.
95. Ruchholtz S, Lefering R, Paffrath T, et al. Reduction in mortality of severely injured patients in Germany. *Dtsch Arztebl Int* 2008; 105: 225-231. 2008/03/01. DOI: 10.3238/arztebl.2008.0225.
96. Hilbert P, Lefering R and Stuttmann R. Trauma care in Germany: major differences in case fatality rates between centers. *Dtsch Arztebl Int* 2010; 107: 463-469. 2010/07/21. DOI: 10.3238/arztebl.2010.0463.
97. Nast-Kolb D, Ruchholtz S and Oestern HJ. Das Traumaregister der Arbeitsgemeinschaft Polytrauma der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie. *Notfall + Rettungsmedizin* 2000; 3:147-150.
98. Abramson D, Scalea TM, Hitchcock R, et al. Lactate clearance and survival following injury. *J Trauma* 1993; 35: 584-588; discussion 588-589. 1993/10/01. DOI: 10.1097/00005373-199310000-00014.
99. Husain FA, Martin MJ, Mullenix PS, et al. Serum lactate and base deficit as predictors of mortality and morbidity. *Am J Surg* 2003; 185: 485-491. 2003/05/03. DOI: 10.1016/s0002-9610(03)00044-8.
100. Gombert A, Barbati ME, Storck M, et al. Treatment of blunt thoracic aortic injury in Germany-Assessment of the TraumaRegister DGU(R). *PLoS One* 2017; 12: e0171837. 2017/03/28. DOI: 10.1371/journal.pone.0171837.
101. Kuhne CA, Ruchholtz S, Voggenreiter G, et al. [Traumatic aortic injuries in severely injured patients]. *Unfallchirurg* 2005; 108: 279-287. 2005/04/28. DOI: 10.1007/s00113-004-0890-z.
102. Branco BC, Musonza T, Long MA, et al. Survival trends after inferior vena cava and aortic injuries in the United States. *J Vasc Surg* 2018; 68: 1880-1888. 2018/11/27. DOI: 10.1016/j.jvs.2018.04.033.

103. Glaser JD and Kalapatapu VR. Endovascular Therapy of Vascular Trauma-Current Options and Review of the Literature. *Vasc Endovascular Surg* 2019; 53: 477-487. 2019/04/18. DOI: 10.1177/1538574419844073.
104. Taghavi S, Jones G, Duchesne J, et al. Impact of trauma center volume on major vascular injury: An analysis of the National Trauma Data Bank (NTDB). *Am J Surg* 2020 2020/02/18. DOI: 10.1016/j.amjsurg.2020.01.026.
105. Cestero RF, Plurad D, Green D, et al. Iliac artery injuries and pelvic fractures: a national trauma database analysis of associated injuries and outcomes. *J Trauma* 2009; 67: 715-718. 2009/10/13. DOI: 10.1097/TA.0b013e3181af6e88.
106. Hinck DC, Wipper S and Debus ES. [Hemostyptics for treatment of junctional vascular injuries : Management of traumatic vascular injuries at the transition from trunk to extremities]. *Unfallchirurg* 2018; 121: 530-536. 2018/03/29. DOI: 10.1007/s00113-018-0483-x.
107. Biewener A, Aschenbrenner U, Rammelt S, et al. Impact of helicopter transport and hospital level on mortality of polytrauma patients. *J Trauma* 2004; 56: 94-98. 2004/01/30. DOI: 10.1097/01.TA.0000061883.92194.50.
108. Timm A, Maegele M, Lefering R, et al. Pre-hospital rescue times and actions in severe trauma. A comparison between two trauma systems: Germany and the Netherlands. *Injury* 2014; 45 Suppl 3: S43-52. 2014/10/07. DOI: 10.1016/j.injury.2014.08.017.
109. Dijkink S, van der Wilden GM, Krijnen P, et al. Polytrauma patients in the Netherlands and the USA: A bi-institutional comparison of processes and outcomes of care. *Injury* 2018; 49: 104-109. 2017/10/17. DOI: 10.1016/j.injury.2017.10.021.
110. Sturm JA, Pape HC and Dienstknecht T. Trauma care in Germany: an inclusive system. *Clin Orthop Relat Res* 2013; 471: 2912-2923. 2013/05/02. DOI: 10.1007/s11999-013-2967-x.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich all jenen danken, die mich auf dem Weg zur Fertigstellung dieser Dissertation unterstützt und begleitet haben.

Mein besonderer Dank gilt zunächst meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr. med. Jens Werner, für seine wertvolle Unterstützung, sein Vertrauen und die wegweisenden Impulse während der gesamten Promotionszeit. Ebenso danke ich meinem Betreuer und langjährigen Mentor, Herrn Dr. med. Ramin Banafsche, für seine fachliche Expertise, seine konstruktive Kritik und seine stetige Ermutigung. Ich bin ihm außerordentlich dankbar, für seine kontinuierliche Begleitung und Unterstützung bei der Durchführung dieser Arbeit.

Ein weiterer Dank geht an Herrn Prof. Rolf Lefering vom Institut für Forschung in der operativen Medizin (IFOM) der Universität Witten-Herdecke für seine Anregungen und die methodische Unterstützung, die maßgeblich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Zuletzt möchte ich meiner Frau Martina und meinen Kindern Philomena, Noel und Tizian von Herzen danken. Ohne ihre Geduld, ihr Verständnis und ihre unermüdliche Unterstützung wäre es mir nicht möglich gewesen, dieses Projekt zu realisieren. Ihr seid die wichtigste Stütze in meinem Leben, und ich widme Euch diese Arbeit in tiefster Dankbarkeit.



LUDWIG-
MAXIMILIANS-
UNIVERSITÄT
MÜNCHEN

Dekanat Medizinische Fakultät
Promotionsbüro



Eidesstattliche Versicherung

Jerkku, Thomas Bo Han

Name, Vorname

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Titel

Das führende Gefäßtrauma in der Schwerstverletztenversorgung

-

Einfluss auf Outcome und Prognose

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.

Straubing, 14.10.2024

Ort, Datum

Thomas Bo Han Jerkku

Unterschrift Thomas Bo Han Jerkku



LUDWIG-
MAXIMILIANS-
UNIVERSITÄT
MÜNCHEN

Dekanat Medizinische Fakultät
Promotionsbüro



Erklärung zur Übereinstimmung der gebundenen Ausgabe der Dissertation mit der elektronischen Fassung

Jerkku, Thomas Bo Han

Name, Vorname

Hiermit erkläre ich, dass die elektronische Version der eingereichten Dissertation mit dem Titel:

Das führende Gefäßtrauma in der Schwerstverletztenversorgung

-

Einfluss auf Outcome und Prognose

in Inhalt und Formatierung mit den gedruckten und gebundenen Exemplaren übereinstimmt.

Straubing, 14.10.2024

Ort, Datum

Thomas Bo Han Jerkku

Unterschrift Thomas Bo Han Jerkku

Publikationsliste

1. Meinel FG, Haack M, Weidenhagen R, Hellbach K, Rottenkolber M, Armbruster M, **Jerkku T**, Thierfelder KM, Plum JL, Koeppel TA, Rubin GD, Sommer WH. *Effect of endoleaks on changes in aortoiliac volume after endovascular repair for abdominal aortic aneurysm*. Clin Hemorheol Microcirc. 2016 Mar 14.
2. Lech L, **Jerkku T**, Kanz KG, Wierer M, Mutschler W, Koeppel TA, Lefering R, Banafsche R. *Relevance of Vascular Trauma in Trauma Care – Impact on Clinical Course and Mortality*. Zentralbl Chir. 2016 May 13.
3. Luehr M, Etz CD, Berezowski M, Nozdrzykowski M, **Jerkku T**, Peterss S, Borger MA, Czerny M, Banafsche R, Pichlmaier MA, Beyersdorf F, Hagl C, Schmidt A, Rylski B. *Outcomes after thoracic endovascular aortic repair with overstenting of the left subclavian artery*. The Annals of Thoracic Surgery (2018), doi: <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2018.10.051>.
4. Fiorucci B, Banafsche R, **Jerkku T**, Pichlmaier M, Kölbel T, Rantner B, Tsilimparis N. *Das thorakale Aortenaneurysma - Diagnostik und Behandlungsstrategien*. Dtsch Med Wochenschr 2019; 144: 1-6
5. Kapetanios D, Banafsche R, **Jerkku T**, Spanos K, Hoffmann U, Fiorucci B, Rantner B, Tsilimparis N. *Current evidence on aortic remodeling after EVAR*. J Cardiovasc Surg (Torino). 2019 Apr;60(2):186-190. doi: 10.23736/S0021-9509.19.10878-6. Epub 2019 Jan 28. PMID: 30698372.
6. **Jerkku T**, Mohammed WM, Kapetanios D, Czihal M, Tsilimparis N, Banafsche R. *Extension of Iliac Branch Device Repair Into the Superior Gluteal Artery Is a Safe and Effective Maneuver*. Ann Vasc Surg. 2020 Jan;62:195-205. doi: 10.1016/j.avsg.2019.06.013. Epub 2019 Aug 23. PMID: 31449941.
7. Banafsche R, **Jerkku T**, Tsilimparis N. *What the ILIACS Registry Can Tell Us About the Future. Perspectives of Endovascular Aortoiliac Occlusive Disease Treatment, Commentary, Vol. 26(5) 633-636 published online first August 30, 2019, JEVT*
8. Konstantinou N, Antonopoulos CN, **Jerkku T**, Banafsche R, Kölbel T, Fiorucci B, Tsilimparis N. *Systematic review and meta-analysis of published studies on endovascular repair of thoracoabdominal aortic aneurysms with the t-Branch off-the-shelf multibranched endograft*. J Vasc Surg. 2020 Aug;72(2):716-725.e1. doi: 10.1016/j.jvs.2020.01.049. Epub 2020 Apr 1. PMID: 32247700.
9. Mehmedovic A, Konstantinou N, **Jerkku T**, Pichlmaier M, Kölbel T, Banafsche R, Tsilimparis N. *Aortenaneurysma: Fenestrierte/gebranchte (T)EVAR. Die komplette Endovaskuläre Therapie?* Zentralbl Chir 2020; 145(05): 432-437 DOI: 10.1055/a-1186-2554

10. **Jerkkü T**, Tsilimparis N, Banafsche R. *Die Gefäßverletzung – eine unterschätzte Entität?* Gefäßchirurgie 27, 156–169 (2022). <https://doi.org/10.1007/s00772-022-00892-3>