

Aus dem Zentrum für Orthopädie und Unfallchirurgie  
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz  
und  
der Klinik für Unfallchirurgie und Orthopädie, Wiederherstellungs- und Handchirurgie,  
Verbrennungsmedizin  
des Bundeswehrzentralkrankenhauses Koblenz,  
Akademisches Lehrkrankenhaus der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Analyse der Schuss- und Explosionsverletzten des Bundeswehrzentralkrankenhauses  
Koblenz zu Verletzungsmuster, chirurgischem Versorgungskonzept, Infektiologie,  
Outcome und posttraumatischer Lebensqualität

Inauguraldissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades der  
Medizin  
der Universitätsmedizin  
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

vorgelegt von

Florian Janiak aus Jena

Mainz, 2020

Wissenschaftlicher Vorstand:

1. Gutachter:

2. Gutachter:

Tag der Promotion:

02.06.2021



## Inhaltsverzeichnis

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1.    | Einleitung und Ziel der Dissertation                     | 1  |
| 2.    | Literaturdiskussion                                      | 5  |
| 2.1   | Aktuelle Relevanz von Schuss- und Explosionsverletzungen | 5  |
| 2.2   | Pathophysiologie und Wundballistik                       | 6  |
| 2.2.1 | Pathophysiologie der Explosionsverletzung                | 6  |
| 2.2.2 | Wundballistik bei Schussverletzungen                     | 12 |
| 2.3   | Verletzungsmuster  | 14 |
| 2.3.1 | Grundlagen   | 14 |
| 2.3.2 | Zivile vs. militärische Verletzungsmuster                | 14 |
| 2.3.3 | Kopf, ZNS und Wirbelsäule                                | 15 |
| 2.3.4 | Thorax und Hals  | 16 |
| 2.3.5 | Abdomen und Retroperitoneum                              | 17 |
| 2.3.6 | Becken und Perineum                                      | 18 |
| 2.3.7 | Extremitäten   | 19 |
| 2.3.8 | Gefäßsystem und kritische Blutung                        | 20 |
| 2.3.9 | Verbrennungen  | 22 |
| 2.4   | Infektkomplikationen                                     | 22 |
| 2.5   | Mortalität   | 24 |
| 2.6   | Outcome und Lebensqualität                               | 25 |
| 2.7   | Damage control surgery im Einsatzszenario                | 27 |
| 3.    | Material und Methoden                                    | 30 |
| 3.1   | Studienkohorte   | 30 |
| 3.2   | Ethikvotum   | 31 |
| 3.3   | Datenschutz  | 31 |
| 3.4   | Datenerhebung und Datenverarbeitung                      | 32 |
| 3.4.1 | Datensatz und Parameter                                  | 32 |

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 3.4.2 | Datenerhebung zur Lebensqualität        | 34  |
| 3.5   | Statistische Datenverarbeitung          | 36  |
| 3.5.1 | Deskriptive Statistik                   | 36  |
| 3.5.2 | Testverfahren und grafische Darstellung | 36  |
| 4.    | Ergebnisse                              | 38  |
| 4.1   | Deskriptive Kollektivbeschreibung       | 38  |
| 4.2   | Verletzungsmechanismus                  | 41  |
| 4.3   | Verletzungscharakteristik               | 45  |
| 4.3.1 | Verletzungsmuster                       | 45  |
| 4.3.2 | Wund- und Frakturcharakteristik         | 51  |
| 4.4   | Damage control surgery                  | 54  |
| 4.5   | Chirurgische Sekundärversorgung         | 59  |
| 4.5.1 | Weichteilmanagement                     | 59  |
| 4.5.2 | Frakturversorgung                       | 60  |
| 4.5.3 | Rekonstruktive Chirurgie                | 62  |
| 4.6   | Komplikationen                          | 63  |
| 4.6.1 | Systemische Komplikationen              | 63  |
| 4.6.2 | Mikrobiologische Auswertung             | 64  |
| 4.7   | Funktionelles Outcome                   | 68  |
| 4.8   | Psychiatrische Komorbidität             | 70  |
| 4.9   | Posttraumatische Lebensqualität         | 72  |
| 5.    | Diskussion                              | 73  |
| 6.    | Zusammenfassung                         | 93  |
| 7.    | Studienlimitationen                     | 95  |
| 8.    | Danksagung                              | 97  |
| 9.    | Lebenslauf                              | 98  |
| 10.   | Anhang                                  | 100 |
| 10.1  | Fragebogen                              | 100 |
| 10.2  | Datenbank                               | 111 |



## Abkürzungsverzeichnis

|         |  |
|---------|--|
| AIS     | <i>Abbreviated Injury Score</i>  |
| AK      | <i>Awtomat Kalaschnikowa</i>   |
| ARDS    | <i>Acute Respiratory Distress Syndrom</i>                              |
| AVM     | <i>Anti Vehicle Mine</i>   |
| BLI     | <i>Blast Lung Injury</i>   |
| DCBI    | <i>Dismounted Complex Blast Injury</i>                                 |
| DCS     | <i>Damage Control Surgery</i>  |
| DGU     | <i>Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie</i>                       |
| DIC     | <i>Disseminierte intravasale Gerinnung</i>                             |
| DOW     | <i>Died of Wounds</i>  |
| EK      | <i>Erythrozytenkonzentrat</i>  |
| FFP     | <i>Fresh Frozen Plasma</i>   |
| FKE     | <i>Fremdkörperinsprengung</i>  |
| H&K     | <i>Heckler und Koch</i>  |
| ISAF    | <i>International Security Assistance Force, Afghanistan, 2001-2014</i> |
| J       | <i>Joule</i>   |
| JTTS    | <i>Joint Theatre Trauma System</i>                                     |
| KBE     | <i>Kolonie bildende Einheit</i>  |
| KIA     | <i>Killed in Action</i>  |
| KOF     | <i>Körperoberfläche</i>  |
| MANV    | <i>Massenanfall von Verletzten</i>                                     |
| MH      | <i>Mental Health</i>   |
| MOV     | <i>Multiorganversagen</i>  |
| NATO    | <i>North Atlantic Treaty Organization</i>                              |
| NSD     | <i>Non Survivable Deaths</i>   |
| OEF     | <i>Operation Enduring Freedom, Afghanistan, 2001-2014</i>              |
| OIF     | <i>Operation Iraqi Freedom, Irak, 2002-2011</i>                        |
| OR      | <i>Odds Ratio</i>  |
| PH      | <i>Physical Health</i>   |
| PRQoL   | <i>Patient Reportet Quality of Life</i>                                |
| PTSS-10 | <i>Post Traumatic Stress Scale -10</i>                                 |
| SD      | <i>Survivable Deaths</i>   |
| SF-36   | <i>Short Form 36</i>   |
| SHT     | <i>Schädel-Hirn-Trauma</i>   |
| TCCC    | <i>Tactical Combat Casualty Care</i>                                   |
| TDSC®   | <i>Terror and Desaster Surgical Care®</i>                              |
| TK      | <i>Thrombozytenkonzentrat</i>  |
| TXA     | <i>Tranexamsäure</i>   |

## Abbildungsverzeichnis:

|  |    |
|--|----|
| Abbildung 1: Inzidenz terroristischer Bombenanschläge [3] .....                  | 2  |
| Abbildung 2: Friedlander Kurve [18] .....  | 8  |
| Abbildung 3: Lungenkontusion durch primäre Explosionsverletzung [22].....        | 8  |
| Abbildung 4: Bilaterale Majoramputation durch primäre Explosionsverletzung ..... | 9  |
| Abbildung 5: Sekundäre Explosionsverletzung mit Penetrationsverletzungen .....   | 10 |
| Abbildung 6: Thermisches Explosionstrauma.....                                   | 10 |
| Abbildung 7: Wundkontamination bei Explosionsverletzungen.....                   | 11 |
| Abbildung 8: Datenerfassung mittels Microsoft Access .....                       | 32 |
| Abbildung 9: Physiologische Problematik nach "Berliner Definition" [191].....    | 33 |
| Abbildung 10: Datenbank "Red Cross Wound Classification " .....                  | 33 |
| Abbildung 11: Auswertungsmatrix SF-36.....                                       | 35 |
| Abbildung 12: Verteilung von Schuss- und Explosionsverletzungen .....            | 38 |
| Abbildung 13: Verteilung nach Einsatzverletzung, Konflikt und Unfall .....       | 39 |
| Abbildung 14: Verteilung nach Herkunftsland.....                                 | 40 |
| Abbildung 15: Behandlungszahlen 2003-2016 .....                                  | 40 |
| Abbildung 16: Verletzungsmechanismus Explosionsverletzungen .....                | 41 |
| Abbildung 17: Projektilkaliber Schussverletzungen .....                          | 42 |
| Abbildung 18: Verbrennung in % KOF.....  | 46 |
| Abbildung 19: Fremdkörpereinsprengung in % KOF .....                             | 46 |
| Abbildung 20: Verletzungsverteilung nach Körperregion.....                       | 49 |
| Abbildung 21: Schematische Verletzungsverteilung.....                            | 50 |
| Abbildung 22: Verteilung der Frakturanzahl pro Patient .....                     | 52 |
| Abbildung 23: Frakturverteilung.....   | 54 |
| Abbildung 24: DCS Eingriffe nach Körperregion.....                               | 56 |
| Abbildung 25: DCS absolute und relative Häufigkeit .....                         | 57 |
| Abbildung 26: DCS an Hals und Thorax.....  | 58 |
| Abbildung 27: Osteosynthese- und Weichteilkomplikationen .....                   | 61 |
| Abbildung 28: Keimspektrum.....  | 65 |
| Abbildung 29: Sensibilität und Keimnachweis .....                                | 66 |
| Abbildung 30: Verteilung des Sensibilitätsdefizites.....                         | 69 |
| Abbildung 31: Sensibilitätsdefizit nach Körperregion .....                       | 69 |
| Abbildung 32: Psychiatrische Mitbehandlung .....                                 | 70 |



|   |     |
|---|-----|
| Abbildung 33: Psychiatrische Behandlungsdauer.....                | 71  |
| Abbildung 34: Datenbank Verletzungsmuster.....                    | 111 |
| Abbildung 35: Datenbank Wundklassifikation und Infektiologie..... | 112 |
| Abbildung 36: Datenbank chirurgische Versorgung.....              | 112 |
| Abbildung 37: Datenbank Frakturmanagement und Outcome.....        | 113 |

#### Tabellenverzeichnis:

|   |    |
|---|----|
| Tabelle 1: Übersicht DCS Manöver .....                                  | 27 |
| Tabelle 2: Verletzungsmechanismus, Behandlungsdaten, Nationalität ..... | 43 |
| Tabelle 3: Verbrennung, Fremdkörper und Begleitverletzung .....         | 45 |
| Tabelle 4: Verletzungsmuster .....                                      | 48 |
| Tabelle 5: Red Cross Wound Classification.....                          | 51 |
| Tabelle 6: Verteilung der Frakturen .....                               | 53 |
| Tabelle 7: DCS Eingriffe nach Körperregion.....                         | 55 |
| Tabelle 8: DCS bei Extremitätenverletzung .....                         | 56 |
| Tabelle 9: Sekundäres Weichteilmanagement .....                         | 59 |
| Tabelle 10: Frakturversorgung.....                                      | 60 |
| Tabelle 11: Osteosynthese- und Weichteilkomplikationen.....             | 61 |
| Tabelle 12: Rekonstruktive Knochenchirurgie .....                       | 62 |
| Tabelle 13: Systemische Komplikationen .....                            | 63 |
| Tabelle 14: Verteilung der Keimnachweise.....                           | 64 |
| Tabelle 15: Behandlungsverlauf nach Resistenzlage .....                 | 67 |
| Tabelle 16: Funktionelles Outcome .....                                 | 68 |
| Tabelle 17: SF-36 und PTSS-10.....                                      | 72 |

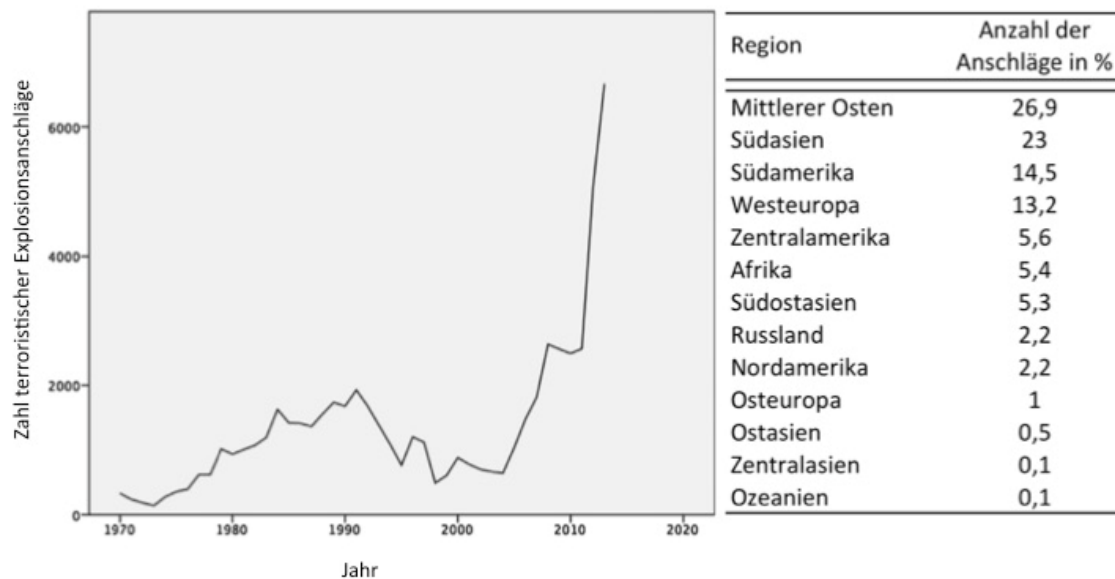
# 1. Einleitung und Ziel der Dissertation

Schuss- und Explosionsverletzungen sind seltene Verletzungsentitäten in Deutschland und Europa, gewinnen aber aufgrund der steigenden Bedrohungslage durch den internationalen Terrorismus und die sich abzeichnende, verstärkte Verantwortung der Bundeswehr im Einsatz in internationalen Krisenregionen zunehmend an Bedeutung. [1] Die Terrorszenarien der jüngeren Vergangenheit und modernen militärischen Konflikte zeichnen sich durch eine asymmetrische Bedrohungslage aus. In den Einsatzgebieten der Bundeswehr agieren terroristische Organisationen schwerpunktmäßig mit komplexen Angriffen. Hierbei werden zur Eröffnung des Angriffes häufig improvisierte Sprengsätze genutzt (improvised explosive device, IED), um den Gegner gezielt anzusprengen und ihn im Anschluss in ein Feuergefecht aus dem Hinterhalt zu verwickeln. Dieses taktische Vorgehen lässt sich zunehmend auch bei komplexer werdenden terroristischen Angriffen fernab der militärischen Krisenregionen unter zivilen Rahmenbedingungen insbesondere in Europa beobachten.

Die Maxime des Sanitätsdienstes der Bundeswehr ist die Versorgung der verwundeten Soldaten im Einsatz in internationalen Krisenregionen vom Moment der Verwundung an. Dabei ist ein Niveau sicherzustellen, das im Ergebnis einer Versorgung im Inland qualitativ äquivalent ist. Basierend auf diesem Anspruch hat sich ein chirurgisches Versorgungskonzept etabliert, welches in der prähospitalen Versorgung auf den Prinzipien der taktischen Verwundetenversorgung (tactical combat casualty care, TCCC ) und des PHTLS und im hospitalen Umfeld auf den Prinzipien des ATLS und der DCS basiert. Durch die Einsatzexpertise in bewaffneten, internationalen Konflikten haben sich tragfähige Konzepte zur Bewältigung eines hohen Verwundetenaufkommens im militärisch-taktischem Szenario (mass casualty, MASCAL) herauskristallisiert.

Aus Daten des Traumaregisters der deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU) konnten im Zeitraum 1993-2011 137 Patienten mit thermomechanischen Kombinationsverletzungen als Folge eines Explosionstraumas identifiziert werden. [1] Im Gegensatz dazu werden zivile Szenarien von Massenanfällen von Verletzten (MANV) mit Schuss- und Explosionsverletzungen im Rahmen von terroristischen

Angriffen immer wahrscheinlicher. So wurden 2015 insgesamt 151 EU-Bürger durch terroristische Anschläge getötet. [2] Der Großteil der Getöteten fiel dabei den Anschlägen in Paris vom 13.11.2015 zum Opfer. Die Dimension der asymmetrischen, terroristischen Bedrohung wurde hier eindrücklich durch die Komplexität des Angriffes als Kombination aus IED-Angriff und Schusswechseln verdeutlicht. [2]



**Abbildung 1: Inzidenz terroristischer Bombenanschläge [3]**

Eine flächige Expertise bezüglich des Managements eines MANV mit Schuss- und Explosionsverletzungen und die zielgerichtete chirurgische und taktisch geprägte Therapie existiert in der zivilen Traumatologie nur bedingt. Vor diesem Hintergrund setzt sich die DGU mit der zunehmenden Verantwortung bezüglich der medizinischen Versorgung bei MANV-Szenarien im Rahmen terroristischer Anschläge auseinander und stellte hierzu am 27.09.2016 während der Fachtagung „Terroranschläge – eine neue traumatologische Herausforderung“ ein 5-Punkte Programm zur Wahrnehmung dieser Verantwortung auf. Es wurde im Rahmen der zivil-militärischen Zusammenarbeit ein Kursmodul (terror and disaster surgical care, TDSC ®) erarbeitet und etabliert, um eine flächige Expertise im Umgang mit MANV Szenarien bei terroristischen Lagen zu schaffen. Das bestehende TraumaRegister DGU ® wird

durch ein Modul „Schuss- und Explosionsregister DGU ®“ erweitert, um prospektiv Evidenz erarbeiten zu können.

Im Vergleich zu Registerarbeiten anderer Nationen fehlt im Sanitätsdienst der Bundeswehr bis heute eine strukturierte Aufarbeitung der medizinischen Versorgung der Schuss- und Explosionsverletzten aus den Einsatzländern und aus dem zivilen Versorgungsumfeld der Bundeswehrkrankenhäuser. Durch langjährige Einsatzerfahrung auch in kampffexponierten Einsatzgebieten während der Missionen „Operation Iraqi Freedom (OIF, Irak, 2002-2011) und „Operation Enduring Freedom“ (OEF, Afghanistan, 2001-2014) konnten die militärmedizinischen Einsatzerfahrungen der amerikanischen und britischen Streitkräfte in großen Registerarbeiten (Joint Theatre Trauma System, JTTS- und United Kingdom Joint Theatre Trauma Registry, UK JTTR) mit hoher Evidenz aufgearbeitet werden.

Der qualitative Anspruch an die Versorgung der Soldaten und die zunehmende Verantwortung im Rahmen der zivil-militärischen Zusammenarbeit macht jedoch eine strukturierte Aufarbeitung der Behandlung dieser Verletzungsentität notwendig. Nur eine strukturierte Analyse kann die notwendige Evidenz schaffen, um die Versorgung der Patienten realistisch und selbstkritisch zu reflektieren, so stetig weiterzuentwickeln und zu verbessern und damit schlussendlich sowohl dem taktisch-medizinischem Selbstanspruch, als auch der zunehmenden Verantwortung im Rahmen der zivil-militärischen Zusammenarbeit gerecht zu werden.

Vor diesem Hintergrund ist die strukturierte, retrospektive Aufarbeitung der seit 2003 im Bundeswehrkrankenhaus versorgten Patienten mit Schuss- und Explosionsverletzungen ein Ziel dieser Arbeit. Schwerpunkte sollen hierbei auf Verletzungsmuster, chirurgischem Versorgungskonzept, Komplikationsspektrum und funktionellem Outcome liegen. Es sollen grundlegende Unterschiede zwischen den Subgruppen der Schuss- und Explosionsverletzten erarbeitet werden.

Die Behandlung von Schuss- und Explosionsverletzten erstreckt sich weit über die eigentliche Akutphase hinaus. Langzeitdaten zur Lebensqualität, wie sie vereinzelt für zivile Polytraumakohorten existieren, wurden bisher auf nationaler Ebene nicht erhoben. Zweiter Schwerpunkt dieser Arbeit ist die erstmalige Datenerhebung zur posttraumatischen Lebensqualität nach Schuss- und Explosionsverletzungen auf

nationaler Ebene. Mittels einer postalischen Befragung in Form eines Fragebogens, basierend auf dem short form 36 (SF-36) und der post traumatic stress scale -10 (PTSS-10), sollen Daten zur generellen Lebensqualität und zum posttraumatischen Stressniveau nach Schuss- und Explosionsverletzungen erhoben und analysiert werden. Die subjektive Lebensqualität stellt neben dem objektivierbaren, funktionellen Ergebnis einen wesentlichen Bestandteil des Behandlungsergebnisses dar. Die Analyse der Lebensqualität ist damit ebenfalls Teil einer kritischen Ergebnisanalyse der medizinischen Behandlung und dient damit dem weiteren Gewinn an Qualität und Expertise.

## **2. Literaturdiskussion**

### **2.1 Aktuelle Relevanz von Schuss- und Explosionsverletzungen**

Die globale und europäische Bedrohung durch terroristisch motivierte Anschläge steigt stetig. Im Jahr 2018 wurden von den EU-Mitgliedsstaaten 129 terroristischen Angriffe gemeldet. Den größten Anteil machen hier die Aktivitäten von Separatistengruppen und jihadistischen Gruppen aus. Bei 7 durchgeführten jihadistischen Terrorangriffen starben im Jahr 2018 insgesamt 13 EU-Bürger. [4] Eine Analyse der „Global Terrorism Database“ identifizierte im Zeitraum 1970 – 2014 insgesamt 58.095 terroristische Bombenanschläge weltweit. Über 60% aller Anschläge werden durch Selbstmordattentäter durchgeführt. In solch einem Szenario muss mit einem signifikant erhöhtem Anteil Getöteter gerechnet werden, wohingegen in einem Szenario mit ferngezündetem Sprengsatz eine massive Verschiebung des Verhältnisses aus Verletzten und Getöteten hin zu Verletzten mit hohem Verletztenaufkommen zu erwarten ist. [5] Terroranschläge im urbanen Raum sind in der Regel mit einem MANV-Szenario mit Schuss- oder Explosionsverletzten assoziiert. [3] Hierbei sind die Verletzungsmuster durch das Fehlen einer ballistischen Schutzausrüstung gekennzeichnet.

Die infrastrukturelle, taktische und medizinische Bewältigung derartiger Szenarien ist Schwerpunktthematik der sich zunehmend entwickelnden zivil-militärischen Zusammenarbeit. Das Kursmodul TDSC® ist dabei ein elementarer Schritt, die Einsatzerfahrungen und die Expertise des Sanitätsdienstes der Bundeswehr bei der Versorgung von Schuss- und Explosionsverletzten im MASCAL-Szenario in den zivil-medizinischen Sektor zu transferieren. Die DGU® etablierte ein Ergänzungsmodul „Schuss- und Explosionsverletzungen“ zum TraumaRegister DGU® um prospektiv Evidenz auf nationaler Ebene für die Versorgung dieser speziellen Verletzungsentitäten zu schaffen. [6]

Durch die asymmetrische Bedrohungslage in den Einsatzgebieten der Bundeswehr war und ist der Sanitätsdienst besonders im Rahmen des Auslandseinsatzes wieder zunehmend mit Schuss- und Explosionsverletzten konfrontiert. Die Bundeswehr verzeichnete während der Mission zwischen 2001 und 2014 über 300 Soldaten mit Schuss- und Explosionsverletzungen. Neben eigenen Soldaten werden kontinuierlich

Schuss- und Explosionsverletzte anderer Verbündeter, im Rahmen internationaler Koalitionen und politisch zugewiesene Patienten aus anderen Krisenregionen, durch den Sanitätsdienst der Bundeswehr in Deutschland behandelt.

Während des Einsatzes amerikanischer Streitkräfte im Irak und Afghanistan zwischen 2001 und 2011 waren Verletzungen durch Explosionstraumata (73,7 %) und Schussverletzungen (22,1 %) die häufigste Todesursache. [7] Soldaten mit einer Explosionsverletzung haben im Vergleich zu Schussverletzten einen höheren medianen ISS (20.54 vs. 9.23), sind häufiger polytraumatisiert und haben signifikant häufiger Verletzungen des Schädels, des Gesichtes, der Extremitäten und Verbrennungswunden. [8, 9] Die zunehmende Verbesserung der persönlichen Schutzausrüstung der Soldaten (Ballistischer Schutzhelm, Schutzbrille und Schutzweste) reduziert das Risiko penetrierende Kopf-, Thorax- und Abdominaltraumata zu erleiden signifikant. [7, 10]

## **2.2 Pathophysiologie und Wundballistik**

### **2.2.1 Pathophysiologie der Explosionsverletzung**

Explosionsverletzungen sind in der Regel komplexe, thermomechanische Kombinationsverletzungen. [11, 12] Die Verletzungsschwere ist dabei von der bei der Explosion freiwerdenden Energie, dem Abstand des Opfers zum Detonationszentrum, Umgebungsfaktoren (Ausbreitungsmedium, offener vs. geschlossener Raum) und dem Vorhandensein von Schutzfaktoren (Schutzbauten, ballistische Schutzausrüstung) abhängig. [13, 14] Bei Explosionen im offenen Raum nimmt die Verletzungsschwere mit Abstand vom Detonationszentrum exponentiell ab. [13] In geschlossenen Räumen (Häuser, Züge, U-Bahn-Tunnel) entstehen Brechungs- und Kumulationseffekte der Druckwelle an den Raumgrenzen. Hierdurch kann es zu mehreren auf den Verletzten einwirkenden Druckwellen kommen, die sogar an Energie zunehmen können. In geschlossenen Räumen gibt es demnach keine direkte Abhängigkeit zwischen Verletzungsschwere und Entfernung vom Detonationszentrum. [15]

Industrielle Sprengstoffe werden nach der Ausbreitungsgeschwindigkeit der Druckwelle als Korrelat der bei der Detonation freiwerdenden Energie in „high order“ (>1500 m/s) und „low order“ (<1500 m/s) Sprengstoffe unterteilt.

Im Rahmen terroristischer Angriffe und in den internationalen Krisenregionen kommen jedoch in erster Linie improvisiert selbstgebaute Sprengsätze zum Einsatz (IED, improvised explosive device). Hier ist die Masse und Art des verwendeten Sprengstoffes aufgrund der improvisierten Bauweise stets unklar. Daher kann für diese Sprengmittel keine klare Trennung in „high order“ und „low order“ explosives erfolgen.

Die Effekte der Explosion auf den menschlichen Körper lassen sich in zeitliche Phasen mit aufeinanderfolgenden biomechanischen Effekten und daraus resultierenden pathophysiologischen Korrelaten gliedern. In der Fachliteratur werden insgesamt fünf Verletzungsphasen definiert. [16, 17]

Die primäre Explosionsverletzung wird durch die von der Explosion ausgehende Druckwelle (blast wave) verursacht. Die blast wave setzt sich aus einer initialen hochenergetischen Schockwelle (shock wave) und dem nachfolgenden Explosionswind zusammen (blast wind). Die shock wave ist Resultat der plötzlichen exothermen Freisetzung von Energie bei der Umsetzung der IED. Durch die bei der Detonation entstehenden, massiven Druckunterschiede im direkten Umfeld schließt sich der shock wave der blast wind an, der sich, bezogen auf den atmosphärischen Luftdruck, aus einer hyperbaren und einer hypobaren Phase zusammensetzt. Die Druck-Zeit-Beziehung einer Explosion ist in der Friedlander-Kurve beschrieben.



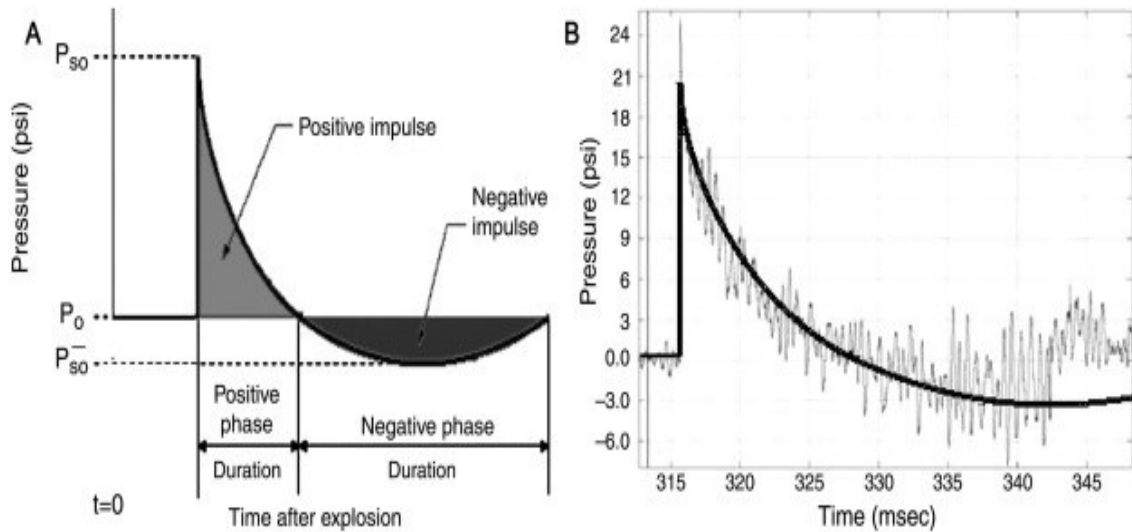


Abbildung 2: Friedlander Kurve [18]

Beim Auftreffen der blast wave auf den menschlichen Körper wird die Energie intrakorporal in Form von wellenförmigen Scherkräften fortgeleitet. [19] Durch die hierbei lokal konzentrierten Distorsionskräfte entstehen mikrovaskuläre Schäden mit dem pathophysiologischen Korrelat einer Gewebekontusion. Beim Übertritt der wellenartigen Scherkräfte zwischen ungleich dichten Geweben (z.B. Darmwand und gasgefülltem Darmlumen) werden Reflexionen, Kompressions- und Implosionseffekte verursacht, die zu Organperforationen, Lazerationen parenchymatöser Organe, Rupturen von Majorgefäßen und Amputationen führen können. [19-21]



Abbildung 3: Lungenkontusion durch primäre Explosionsverletzung [22]



**Abbildung 4: Bilaterale Majoramputation durch primäre Explosionsverletzung**

Die sekundäre Explosionsverletzung beschreibt Penetrationstraumata in Folge der Fragmentation des Sprengkörpers (Primärfragmente) und die durch die shock wave beschleunigten, mitgerissenen Elemente (Sekundärfragmente). [23] Abhängig von der Detonationsenergie werden die Fragmente mit Spitzengeschwindigkeiten von bis zu 1800 m/s radiär in den Raum beschleunigt. [24] Um die primäre Fragmentationswirkung zu verstärken, sind IED häufig mit zusätzlichen Kleinteilen, wie Schrauben oder Metallschrott, angereichert. Größe, Gewicht, Form und Taumelneigung beeinflussen die Flugeigenschaften der Fragmente und damit die Auftreffgeschwindigkeit und –fläche der Fragmente auf den Körper. Die beiden letztgenannten Faktoren und die Gewebebeschaffenheit definieren das Ausmaß der in das Gewebe transferierten, kinetischen Energie und damit zunächst die lokale Verletzungsschwere. [25]



**Abbildung 5: Sekundäre Explosionsverletzung mit Penetrationsverletzungen**

Die tertiäre Explosionsverletzung ist durch stumpfe Traumata charakterisiert. Die shock wave beschleunigt den Körper des Verwundeten selbst in den Raum. Das Aufschlagen des Opfers selbst auf die nächste solide Fläche, die Verletzung durch große, nicht penetrierende Sekundärfragmente und einstürzende Gebäude verursachen das gesamte Spektrum stumpfer Traumata. [13, 26]

Nach der initialen Schockwelle wird der Verwundete von einer thermischen Welle bestehend aus einem heißen Wind und von Feuer getroffen. Dieses thermische Trauma verursacht als quartäre Explosionsverletzung Verbrennungen, deren Ausprägung und Schwere von der Entfernung vom Detonationszentrum abhängig sind. [16, 27]



**Abbildung 6: Thermisches Explosionstrauma**

Die quintären Explosionsverletzungen beschreiben alle Arten zeitversetzter inflammatorischer und immunologischer Reaktionen auf das Explosionstrauma. [28] Beim Bau von IED kommen in der asymmetrischen Kriegsführung auch nukleare, biologische und chemische Kampfstoffe (Z. Bsp. Düngemittel) zum Einsatz. Diese Zusätze werden gezielt in die IED verbaut, um ein möglichst großes Komplikationsspektrum nach der initialen Verwundung zu erzeugen.

Weiterhin kommt es, sowohl bei den penetrierenden als auch bei den stumpfen Traumata mit ausgedehntem Gewebedefekt, zu einer obligaten Wundkontamination.



**Abbildung 7: Wundkontamination bei Explosionsverletzungen**

[29] Hier sind insbesondere bei Verwundungen im Rahmen bewaffneter Konflikte multi- und panresistente Erreger von höchster Relevanz und führen teilweise zu langwierigen septischen Wundkomplikationen. [17] Eine Besonderheit stellt unter diesem Aspekt der Selbstmordattentäter dar. Mit der Umsetzung des Sprengsatzes fragmentiert der Körper des Attentäters ebenfalls. Die damit aus menschlichen Geweben gebildeten Fragmente können potenziell bei Penetrationsverletzungen zur Übertragung von Infektionskrankheiten, wie HIV und Hepatitiden führen. Bisher konnte jedoch kein Nachweis einer tatsächlichen, auf diesem Weg übertragenen Infektion erbracht werden. [30]

### 2.2.2 Wundballistik bei Schussverletzungen

Projektile werden nach ihrer Mündungsfeuergeschwindigkeit ( $v_0$ ) in Hochgeschwindigkeits- ( $> 500$  m/s) und Niedriggeschwindigkeitsprojektile eingeteilt. Analog zu Explosionsverletzungen determiniert neben zahlreichen weiteren Faktoren die durch das Projektil in das Gewebe transferierte, kinetische Energie das Ausmaß der Gewebeschädigung sowie die Beschaffenheit des Treffergewebes selbst. Nach der in das Gewebe transferierten Energie werden ballistische Wunden in hoch- ( $> 1000$  J) und niedrigerenergetische ( $< 1000$  J) Wunden unterschieden. [31, 32] Grundlegend werden zwei Projektilarten unterschieden:

- Formstabile Geschosskonstruktionen, wie z. B. das durch die Haager Landkriegsordnung geforderte Vollmantelgeschosse im militärischen Kontext oder Vollgeschosse („Solids“), die von ihrem Aufbau her beim Auftreffen keine oder eine nur geringe Deformations- oder Zerlegungsbereitschaft aufweisen sollen
- Zerlegungs- und Deformationsgeschosse, bei denen die Konstruktion bewusst so ausgelegt ist, dass sich das Projektil nach dem Auftreffen entweder zerlegt und über multiple Fragmente die Gewebszerstörung potenziert oder durch ein Aufpilzen via Querschnittsvergrößerung die Wundwirkung massiv verstärkt (historischer Begriff: „dum-dum“-Geschosse).

Weit verbreitet sind Militärpatronen in Handfeuerwaffen, wie z. B. 7,62 x 51 mm NATO, 5,56 x 45 mm NATO oder 7,62 x mm 39 Awtomat Kalaschnikowa („Kalaschnikow“, AK), besitzen Vollmantelgeschosse und sollen hier Schwerpunkt der weiteren ballistischen Betrachtungen sein. [32, 33]

Die Ausprägung der Verletzung folgt einer komplexen Interaktion zwischen Projektil und Gewebe. [33, 34] Der Transfer der kinetischen Energie des Projektils in das Gewebe führt zu einer direkten und irreversiblen Gewebeerstörung und erzeugt einen permanenten Schusskanal. Im Moment der Projektilpassage durch das Gewebe entstehen komplexe Kavitationseffekte, die einen temporären, reversiblen Schusskanal erzeugen. Das Destruktionspotential eines Projektils ist rechnerisch / physikalisch aus Masse und Auftreffgeschwindigkeit abzuleiten. Die Auftreffgeschwindigkeit des Projektils ist abhängig von Größe, Gewicht, Startgeschwindigkeit, Schussdistanz, Aufschlagwinkel und Flugeigenschaften (Form,

Spin, Taumelneigung, Deformation, Fragmentation,) des Projektils und definiert die in das Gewebe transferierten kinetischen Energie. Die Eigenschaften des penetrierten Gewebes (Dichte, Elastizität, Kohäsion und gewebespezifischer Penetrationswiderstand) kommen ebenfalls zum Tragen und erzeugen eine komplexe Projektil-Gewebeinteraktion, aus der das tatsächliche Ausmaß der Gewebedestruktion resultiert. [33-36] Der größte Teil der kinetischen Energie wird in thermische Energie umgewandelt, als Wärme abgegeben und / oder thermische Gewebläsionen entlang des Schusskanals verursachend. Bei aufgesetztem oder relativem Nahschuss kann es weiterhin zur direkten Einleitung des Gasjets der umgesetzten Treibladung in das Gewebe kommen. [37] Der Projektilspin bedingt die Rotationsstabilität des Projektils in der Flugbahn und vermindert die Taumelneigung. [38] Letztere wird im Wesentlichen dadurch generiert, dass das schwerere, hintere Teil des Geschosses im Flug den leichteren vorderen Teil „zu überholen“ versucht. Bei Auftreffen auf das Gewebe reduziert sich die Rotationsstabilität aufgrund des schlagartig steigenden Widerstandes plötzlich und das Projektil beginnt auf der ersten Strecke nach Eindringen in das Gewebe zu taumeln und sich zu überschlagen. Reicht die Auftrittsgeschwindigkeit aus, um einen Durchschuss zu erzeugen, ist daher der Ausschussschussdiameter regelmäßig größer als der des Einschusses, auch bei formstabilen Geschossen. Bleibt das Projektil im Gewebe stecken wurde die gesamte kinetische Energie in das Gewebe transferiert. [34, 38, 39] Bei der Gewebepassage treibt das Projektil abhängig von der kinetischen Energie einer Überdruckwelle vor sich her, die eine expansive, temporäre Wundhöhle erzeugt. Aufgrund der enormen Druckschwankungen innerhalb von Millisekunden entstehen an den Projektil-Gewebegrenzen Vakuummomente mit destruktivem Charakter. Diese Effekte bezeichnet man als Kavitation. [34] Die Ausprägung des Kavitationseffektes und damit das Ausmaß des temporären Schusskanals ist von der Eintrittsgeschwindigkeit des Projektils abhängig und wird ab Eintrittsgeschwindigkeiten von 600 m/s relevant. Die Kavitationseffekte erzeugen Vasospasmen, die zu Minderperfusion und konsekutiver Gewebhypoxie führen können. [40] Die Ruptur von Majorgefäßen und Frakturen sind als reine Folge der Kavitation ohne direkte Einwirkung von Projektil oder Projektilfragmenten sehr selten. [41]

Die temporäre Wundhöhle implodiert nach Passage des Projektils, schwingt mit kleiner werdender Amplitude nach und verbleibt in volumenreduzierter Form als permanente Wundhöhle. Diese Effekte sind ursächlich für deutlich über den Durchmesser des permanenten Schusskanals hinausgehende Gewebenekrosen und Kontusionseffekte. [34, 42-44] Gewebe mit wasserähnlicher oder höherer Dichte und geringerer Gewebeelastizität (Knochen, Leber, Gehirn, Blase, gefüllter Darm) werden durch die temporäre Kavitation in höherem Maße geschädigt als weniger dichte und elastischere Gewebe. [45] Projektile mit hoher Eintrittsgeschwindigkeit erzeugen weniger direkte Gewebeschädigung, aber dafür eine für die Verletzungsfolgen wesentlich relevanteren Kavitationseffekt. Die spindelförmig ausgebildete, temporäre Wundhöhle kann dabei das Projektilkaliber vielfach übersteigen. Dies kann zu einem verstärkten Taumeln und zu einem Überschlagen des Projektils im Schusskanal führen. [34, 46]

## **2.3 Verletzungsmuster**

### **2.3.1 Grundlagen**

Auch bei der Betrachtung von Schuss- und Explosionsverletzungen wird der Traumamechanismus grundlegend nach penetrierenden und stumpfen Traumata differenziert. Beide Traumamechanismen sind geeignet, direkte oder indirekte Perforationsverletzungen einzelner Organsysteme zu verursachen. [10] Die Explosionsverletzung ist durch ein vielschichtiges Verletzungsmuster als Folge einer thermomechanischen Kombinationsverletzung charakterisiert. Penetrationstraumata sind die führende Verletzungsentität in modernen bewaffneten Konflikten. In einer Kohortenanalyse aus OIF zeigten über 80% der Verwundeten Penetrationstraumata, die zum größten Teil durch eine Explosion verursacht wurden. Bei ca. 25% der Penetrationstraumata handelte es sich um genuine Schussverletzungen. [47]

### **2.3.2 Zivile vs. militärische Verletzungsmuster**

Moderne Schutzausrüstungen verschieben das Verletzungsmuster nachhaltig. Penetrationstraumata des Thorax und des Abdomens sind in bewaffneten, militärischen Konflikten seltener geworden. Hatten große Untersuchungszahlen aus

historischen, bewaffneten Konflikten bereits gezeigt, dass (bei überlebten) Kriegsverwundungen die Gliedmassenverletzung einen Anteil von etwa 2/3 ausmachen, kommt es zu einer weiteren Verschiebung im Verletzungsspektrum in Richtung der Extremitäten- und Kopf-Halsverletzungen. [5, 48, 49] Dabei treten intrazerebralen Verletzungen mit deutlich schnellerer, zeitlicher Dynamik ein, als bei zivilen Hochrasanztraumata des Schädels. [50]

Penetrierende Thoraxtraumata sind aufgrund der ballistischen Schutzausrüstung seltener geworden. [49] Bei Penetrationsverletzungen des Thorax sind die Eintrittswunden meist außerhalb der geschützten Körperoberfläche zu finden (lateraler Thorax, Axilla und Hals). Beim Fehlen von Schutzausrüstung in zivilen Terrorszenarien hingegen kommt es zu einer deutlichen Verschiebung des Verletzungsmusters hin zu penetrierenden Thoraxverletzungen. Die Häufigkeit von penetrierenden Thoraxtraumata ist hier deutlich höher und bei Explosionsverletzten mit bis zu 9% beschrieben. [49, 51] In zivilen Terrorszenarien erleiden circa 70 % der Opfer Verletzungen des Abdomens. Bei jedem dritten Opfer manifestieren sich Verletzungen der soliden Bauchorgane. [52] Verletzungen des knöchernen Beckenringes durch eine Explosionsverletzung sind im Vergleich zum „konventionellen“ Beckentrauma mit einem deutlich erhöhten Risiko für urogenitale Verletzungen assoziiert. [53]

### **2.3.3 Kopf, ZNS und Wirbelsäule**

Die Toleranz des Hirnparenchyms gegenüber Druckschwankungen ist sehr gering. Aufgrund des hohen Wassergehaltes des Hirnparenchyms und der damit verbundenen Inkompressibilität, sowie der räumlichen Begrenzung durch den rigiden Schädelknochen sind die Kavitationseffekte bei Projektilpassage und die Scherkräfte bei Passage der blast wave verheerend und führen in der Regel zu schweren Gewebedestruktion mit einem generalisierten Hirnödem und Blutungen. [54]

Während OIF ist die Explosionsverletzung der führende Verletzungsmechanismus für offene und penetrierende Verletzungen des Schädels gewesen. [55] Die Mortalität penetrierender Schädelverletzungen ist mit 87% sehr hoch. [56] Verletzungen der Wirbelsäule und des Rückenmarkes machen unabhängig vom Verletzungsmechanismus 12 % der Einsatzverletzungen aus. Patienten mit Schädel-



Hirn-Trauma (SHT) haben ein signifikant erhöhtes Risiko für simultane Verletzungen der zervikalen Wirbelsäule, Weichteilverletzungen des Gesichtes (89%) und Mittelgesichtsfrakturen (45%). [57, 58] Als Begleitverletzungen sind in der Literatur weiterhin Verletzungen des Ohres mit Innenohrverletzungen (20%), Trommelfellrupturen (8%) und Tinnitus, sowie Verletzungen des Auges mit perforierenden Bulbustraumata und Notwendigkeit einer Enukleation (54%) beschrieben. [59-62] 13% aller Soldaten mit Amputationsverletzungen durch eine Explosion zeigen assoziierte Wirbelkörperfrakturen. [63, 64]

In der Literatur ist für Explosionsverletzungen das gesamte Spektrum geschlossener SHT mit Hirnödemen und –kontusion, axonaler Schädigung und intrazerebraler Blutung beschrieben. [65-67] Fast jeder zweite Explosionsverletzte erleidet ein SHT unterschiedlichen Schweregrades. [58, 67, 68] In einer retrospektiven Analyse des JTTS wurde gezeigt, dass bei 56 % der Patienten mit Verletzungen der Wirbelsäule eine Explosionsverletzung als Verletzungsmechanismus zugrunde lag. [69]

Bei Schussverletzungen des Kopfes penetriert nicht jedes Projektil den knöchernen Schädel. Die Penetrationspotenz ist abhängig von den ballistischen Flugeigenschaften des Projektils und der Dicke der Kalotte. Projektil, die den Schädel penetrieren, haben in der Regel ausreichend kinetische Energie, um die gegenseitige Kalotte zu erreichen, diese im Sinne eines Ausschusses zu durchdringen oder in der Kalotte mit und ohne Frakturierung fixiert zu werden. [70, 71] Bei Penetration der Kalotte kann ein Projektil desintegrieren. Es kommt hierdurch zur intrazerebralen Streuung von Projektil- und Knochenfragmenten mit verheerender Gewebedestruktion. [72]

#### **2.3.4 Thorax und Hals**

Verletzungen des Halses sind häufig (11%) und gehen insbesondere bei Beteiligung der Halsgefäße mit einer hohen Mortalität von bis zu 41% einher. [73] Bei bis zu 20% der Patienten mit einem relevanten Thoraxtrauma sind Verletzungen der „cardiac box“ (Herz und herznahe Gefäße) beschrieben. [74] Verletzungen der „cardiac box“ gehen bei Beteiligung von Lunge und Herz ebenfalls mit einer hohen Letalität einher (12,5% und 22,5 %). [75]

Explosionsverletzungen des Thorax sind primär durch einen stumpfen Traumamechanismus gekennzeichnet. Beim Auftreffen der blast wave auf den Thorax entsteht ein diffuses und hochcharakteristisches, pulmonales Verletzungsmuster, dass in der Literatur als blast lung injury (BLI) zusammengefasst wird. Es zeigt sich eine Kontusionierung insbesondere des mediastinalen und costodiaphragmalen Lungenparenchyms. Zusätzlich kommt es zu parenchymatösen und pleuralen Lazerationen, die in dem Bild eines Pneumothorax, bei begleitender Gefäßverletzung eines Hämatothorax, mit oder ohne alveoläre Blutung oder Spannungskomponente münden. [49, 76] Die pulmonalen Parenchymschäden und die damit verbundene Schrankenstörung können Luftembolien mit zentraler Ischämie verursachen. Weiterhin konnte bei Patienten mit einer BLI eine disseminierte intravasale Gerinnung auch ohne hämorrhagischen Schock nachgewiesen werden. [77] Klinisch kann sich in der postakuten Phase ein acute respiratory distress syndrom (ARDS) manifestieren. [21]

In einer Kohortenanalyse aus OIF konnte gezeigt werden, dass lediglich bei ca. 17% aller Schussverletzungen ein penetrierendes Thoraxtrauma vorlag. [47, 49] In der Literatur gewinnt das „behind armour blunt trauma“ zunehmend an Bedeutung. Hier kommt es durch den Einschlag des Projektils auf der ballistischen Schutzweste und der Absorption und Umverteilung der kinetischen Projektilenergie zu einer temporären Verformung der ballistischen Schutzweste. [78] Diese verursacht stumpfe Thoraxtraumata mit Frakturierung des knöchernen Thorax, Lungenkontusion und -lazeration mit und ohne Pneumo- und/oder Hämatothorax und Kontusion und Lazeration der soliden Oberbauchorgane. [78, 79] Das Verletzungsmuster zeigt Parallelen zu zivilen, stumpfen Hochrasanztraumata und zur primären Explosionsverletzung des Thorax. Es sind vereinzelt Todesfälle durch ein derartiges Trauma beschrieben. [80, 81]

### **2.3.5 Abdomen und Retroperitoneum**

Kombinierte thorakoabdominelle Traumata sind häufig und gehen mit einer erhöhten Letalität einher. [49] Penetrierende Bauchtraumata manifestieren sich bei Vorhandensein einer ballistischen Schutzweste meistens caudal des Unterrandes der

Schutzausrüstung. [49, 82] Verletzungen und Blutungen des Retroperitoneums sind eine Rarität und überproportional häufig mit einer Beckenverletzung assoziiert. Am häufigsten zeigen sich parenchymatöse Nierenverletzungen (6 -21 %) und Blasenverletzungen (1%). [83, 84]

Bei Explosionsverletzungen verursacht die blast wave Rupturen der gasgefüllten Hohlorgane und ausgedehnte Kontusionen der parenchymatösen Organe. Primäre Wandrupturen manifestieren sich dabei am häufigsten im terminalen Ileum und im Zökum, parenchymatöse Verletzungen an Milz und Leber (23% und 20%). [49, 83, 85] Kontusionierte Darmabschnitte haben ein signifikant erhöhtes Risiko für eine Sekundärperforation mit entsprechendem, septischem Komplikationsspektrum. [86, 87]

Bei ca. 20% der Schussverletzten aus OIF zeigte sich eine penetrierende Schussverletzung des Abdomens. [47] Kreislaufrelevante Blutungen sind dabei am häufigsten Folge von Leber- und Milzverletzungen. Bei penetrierenden, abdominellen Schussverletzungen liegen nahezu immer (98%) Verletzungen der intraabdominellen Organe vor. [88] Daten zur dezidierten Beteiligung einzelner intra- und retroperitonealen Organe, sowie intraabdomineller Gefäße liegen für Schussverletzungen aktuell nicht vor.

### **2.3.6 Becken und Perineum**

Die Verletzung des Beckens ist eine der häufigsten Verletzungsentitäten bei einer Explosionsverletzung. 88% der Beckenverletzungen sind dabei als instabil (Becken-B/C-Verletzung) zu werten. [89, 90] Retrospektive Analysen aus dem JTTS bei Verwundeten mit Explosionsverletzung zeigten, dass 7,4% der Verwundeten Beckenfrakturen erlitten hatten. Penetrierende Beckentraumata sind insgesamt selten. Eine retrospektive Analyse aus dem UK JTTR identifizierte zwischen 2008 und 2011 lediglich 29 Patienten mit offenen Beckenverletzungen. [91]

Becken- und Perinealverletzungen zeigen eine signifikante Koinzidenz mit Amputationsverletzungen. Bis zu 30% der Verletzten mit Amputationsverletzungen weisen eine knöcherne Verletzung des Beckenringes auf. Eine signifikante Häufung von Beckenverletzungen besteht bei bilateralen Amputationen, sehr proximalen

Oberschenkelamputationen und gleichzeitigem Vorliegen einer stammnahen, kritischen Blutung in der Leistenregion. [90, 92, 93] Retrospektive Analysen aus Kohorten aus OIF und OEF haben gezeigt, dass 89% der externen Urogenitalverletzungen Folge einer Explosionsverletzung waren. Führend sind Verletzungen des Skrotums (39%), der Testes (36%), des Penis (20%) und der Urethra (5%). [94] Auch hier besteht eine signifikante Häufung von Kombinationsverletzung aus urogenitalen und Amputationsverletzungen. Jeder dritte Verwundete mit urogenitalen Verletzungen zeigte zusätzlich mindestens eine Majoramputation. [84] Die Kombination aus komplexen Extremitätentraumata mit bilateralen Amputationen, ausgeprägtem Trauma des äußeren Genitales, des Perineums und instabiler Beckenverletzungen werden in der englischen Literatur unter dem Begriff *dismounted complex blast injury* (DCBI) zusammengefasst. Die DCBI ist das häufigste Verletzungsmuster bei Verwundung abgessener Kräfte durch eine IED. [95]

Penetrierende Schussverletzungen des Beckens sind in der Regel Kombinationsverletzungen mit Beteiligung des knöchernen Beckenringes, der intrapelvin liegenden Organsysteme und der großen Beckengefäße. In den meisten Fällen sind die Iliakalgefäße betroffen und der durchschnittliche Blutverlust ist mit über 6 Litern lebensbedrohlich. [96, 97] In bis zu 50% der Fälle liegt parallel eine Verletzung der intraabdominellen Organe vor. [98] Bis zu 75 % der Projektile werden vom knöchernen Beckenring abgefangen und dringen nicht in das kleine Becken ein. [99]

### **2.3.7 Extremitäten**

Bis zu 80 % aller Einsatzverwundeten amerikanischen Soldaten erleiden muskuloskelettale Verletzungen. Muskuloskelettale Verletzungen treten im Rahmen einer Explosionsverletzung am häufigsten auf. [90, 100, 101] Mit ca. 70% sind IED der führende Verletzungsmechanismus, insbesondere bei Amputationsverletzungen. [89, 102] Die *blast wave* führt zu Majoramputationen, komplexen Frakturen und Weichteilverletzungen, teilweise mit desaströsem Gewebeverlust, schwerpunktmäßig an den unteren Extremitäten. [90, 102, 103] Insgesamt zeigen 68% aller Amputationsverletzten Monoamputationen. Mehrfachamputationen sind seltener (Zweifachamputationen 26%, Dreifachamputationen 4%, Vierfachamputationen <1%).

[104] Im Rahmen einer DCBI sind bei bis zu 25% der Verwundeten bilaterale untere Extremitätenamputationen und sehr häufig bilateral-transfemorale Amputationen beschrieben. [89, 105]

Bei Schussverletzungen zeigen sich abhängig von der Ausdehnung des temporären Schusskanales mikrovaskulären Schäden mit konsekutiver Gewebekontusion und Demarkation von Gewebenekrosen. [34] Trifft das Projektil oder das Fragment eine knöcherne Struktur, resultieren regelhaft komplexe Schussfrakturen, häufig in Verbindung mit einem ausgedehnten, chirurgisch relevanten Weichteilschaden. Die Frakturentitäten sind dabei vielfältig. Klassische Stückfrakturen mit mehreren Fragmenten und longitudinal verlaufenden Frakturlinien sind ebenso charakteristisch wie Spiralfrakturen mit ausgeprägter Trümmerkomponente und eingesprengten Knochenfragmenten oder Impressionsfrakturen mit kontralateraler Trümmerzone. [106-108] Ursächlich für die in der Regel ausgeprägte Zertrümmerung sind die Rigidität des Knochengewebes und Kavitationseffekte im nicht komprimierbaren Knochenmark. [109] Die so entstandene Trümmerfraktur ist regelhaft von einer ausgedehnten Weichteilverletzung gegebenenfalls mit Schädigung mikro- oder makrovaskulärer und neuronaler Strukturen umgeben. [110] Schussfrakturen mit Weichteildefekt sind obligat kontaminierte Verletzungen. [16]

Bei großem Gewebedefekt ist die einhergehende Rhabdomyolyse und das folgende akute Nierenversagen im Sinne eines Crush-Syndroms von hoher Relevanz in der postakuten Phase. Jeder vierte durch eine IED Verwundete entwickelt eine Rhabdomyolyse und bis zu 20 % der Verwundeten zeigen ein akutes Nierenversagen. [111]

### **2.3.8 Gefäßsystem und kritische Blutung**

In einer retrospektiven Analyse des JTTS wurden Verletzungsmuster gefallener und verwundeter Soldaten während OIF und OEF ausgewertet. Hier wiesen insgesamt 16% der Verwundeten Majorgefäßverletzungen auf, wobei die Verletzung in 69% die Folge einer Explosionsverletzung war und der Anteil nicht komprimierbarer, arterieller Blutungen bei 65% lag. [112] Eine retrospektive Analyse der Verwundeten aus dem Russland-Afghanistan-Konflikt zeigte, dass Gefäßverletzungen am häufigsten als

Begleitverletzungen einer komplexen Extremitätenverletzung auftraten und auch die Verletzungen großlumiger Venen von hoher Relevanz waren. [113]

87 % der im Einsatz gefallenen Soldaten versterben prähospital, davon 90% in Folge unkontrollierter Blutungen. 25 % versterben an potenziell überlebenden Verletzungen. Von diesen „potential survivors“ verstirbt ebenfalls der größte Teil an unkontrollierten Blutungen. In der Literatur werden Blutungen nach ihrer Lokalisation und Komprimierbarkeit in trunkal (nicht komprimierbar), junktional (bedingt komprimierbar) und peripher (komprimierbar) eingeteilt. [114] Die häufigste Blutungsquelle bei verstorbenen Soldaten ist mit 67% die nicht komprimierbare, trunkale Höhlenblutung. Ca. 5% aller Gefallenen aus OIF und OEF verstarben in Folge junktionaler Blutungen. [93, 114, 115] Abgesessene Kräfte zu Fuß haben ein signifikant erhöhtes Risiko kritische Extremitätenblutungen zu erleiden. [116]

Die Komplexität der kritischen Blutung mit der daraus folgenden systemischen Azidose, der Hypothermie und der traumainduzierten Koagulopathie ist als „lethal triad of trauma“ ausführlich in der Literatur beschrieben. [90, 117-119] Gefäßverletzungen mit kritischen Blutungen betreffen bei verwundeten Soldaten (potential survivors) am häufigsten die untere Extremität (49-75%), die obere Extremität (20,8-38%), gefolgt von Gefäßverletzungen im Kopf-Hals Bereich (7-17%) und thorakoabdominelle Gefäßverletzungen (3-13%). [115, 120-122] Daten aus dem UK JTTR zeigten, dass 16% aller Verwundeten insgesamt, signifikant häufiger nach Explosionsverletzungen massentransfundiert wurden (> 10 Einheiten Erythrozytenkonzentrat, EK). Im Schnitt erhielten massentransfundierte Verwundete 16 Einheiten EK, 15 Einheiten fresh frozen plasma (FFP) und 2 Einheiten Thrombozytenkonzentrat (TK). [89, 123]

Wang et al. beschreiben neben lokalen Effekten eine systemische Auswirkung der blast wave auf das Gefäßsystem. Es wird davon ausgegangen, dass die sich im Körper fortpflanzenden Stress- und Scherwellen maßgeblich am Integritätsverlust des Blutschranksystems beteiligt sind, in dessen Folge sich generalisierte Ödeme, Parenchymblutungen und Luftembolisationen entwickeln können. [124] Als seltene Komplikation von Schussfrakturen der Extremitäten mit begleitender Majorgefäßverletzung sind in der Literatur mit einer Inzidenz von bis zu 0,3% arterielle, thromboembolische Ereignisse und venöse Embolien mit Verschluss der

Pulmonalarterien nach intravaskulärer Endlage von Projektilfragmenten beschrieben. [125-127]

### **2.3.9 Verbrennungen**

Die Kombination aus muskuloskelettalen Verletzungen und Verbrennungen definiert den Begriff der thermomechanischen Kombinationsverletzung. [16] In einer Kohortenanalyse des UK JTTR konnte gezeigt werden, dass 5,8% aller Einsatzverwundeten Verbrennungen unterschiedlichen Schweregrades aufwiesen. Die durchschnittliche verbrannte Körperoberfläche betrug 5-6 %. Besondere Herausforderungen an die prähospitalen Versorgung stellen sich bei Verletzung und Verbrennung des Gesichtes und der Halsregion. 54,5% aller Verbrennungsverwundeten zeigten eine Beteiligung der Gesichts- und Halsweichteile. Verbrennungen des Gesichtes sind ein Prädiktor für eine hohe Gesamtverbrennungsfläche und höhere Verbrennungsgrade. [128-130] Bei Schussverletzungen ist eine begleitende Verbrennungsverletzung selten.

## **2.4 Infektkomplikationen**

Bei der Versorgung von Explosions- und Schussverletzungen mit ausgeprägtem Weichteilschaden sieht sich der Sanitätsdienst der Bundeswehr in den Auslandseinsätzen und im Rahmen internationaler, humanitärer Hilfe nicht nur mit für Mitteleuropa unüblichen Verletzungsmustern, sondern auch mit Infektkomplikationen durch multi- und teilweise panresistente Erregerstämme bei obligat kontaminierten Wundverhältnissen konfrontiert. [16] In den Krisenregionen herrscht eine durch flächige Resistenzen gekennzeichnete Bakterienflora vor. [131]

Die erste dokumentierte Erwähnung von kampfassoziierten Wundinfektionen und deren Behandlung reicht ca. 400 Jahre zurück. [132] Im Rahmen moderner bewaffneter Konflikte im Irak und Afghanistan erfährt dieses Thema eine Renaissance. Die Verschleppung des multiresistenten T-Stammes des *Acinetobacter baumannii* durch repatrierte Truppen aus den Einsatzgebieten OIF und OEF in das zivile Gesundheitssystem gilt als erwiesen. [133, 134] In der klinischen Betrachtung sind

Kontamination, Kolonisation und Infektion einer Wunde zu differenzieren. [30] Die chirurgische und systemische Sanierung von tiefen Gewebe- und Knocheninfektionen mit hoch- und teilweise panresistenten Erregern ist eine zentrale Herausforderung im Rahmen der chirurgischen Therapie ballistischer und thermomechanischer Verletzungen. [16, 135-137] Penetriert das Projektil Schutzrüstung und Haut, werden zuerst Bestandteile der Bekleidung und Ausrüstung, dann Hautpartikel mit der zugehörigen Hautflora entlang des ballistischen Kanals in das Gewebe transportiert. [138-140] Hinzu kommt die obligate Kontamination des Projektils an sich: Es darf nicht von einem sterilen Geschoss beim Auftreffen ausgegangen werden. [141, 142] Kommt es zum Durchschuss konnte gezeigt werden, dass Bakterienflora aus dem Bereich der Austrittswunde in Folge von Implusions- und Sogeffekten auch retrograd in den ballistischen Kanal gelangt. [143, 144]

Die Kontamination erfolgt im gesamten Raum der temporären Wundhöhle. Bei Projektilen mit hohem Kavitationseffekt kommt es zu einer entsprechend ausgeprägten Kontamination und häufigeren Infekt komplikationen. [145] Tian et al. konnten zeigen, dass die Erregerdichte im Schusskanal schon 24 Stunden nach der Verletzung das Niveau von  $10^5$  Bakterien/ ml erreicht. Die kritische Bakteriendichte zur Initiierung einer Infektion bei Präsenz eines inkorporierten Fremdkörpers liegt bei  $10^4$  Bakterien / ml. Bereits 100 koloniebildende Einheiten (KBE) eines Staphylococcus aureus auf einem inkorporierten Acrylnetz reichen z. B. aus, um eine Weichteilinfektion zu initiieren. [143, 146, 147]

Bei ballistischen und thermomechanischen Verletzungen sind Infektionsraten von 34% -48% beschrieben. [136, 137, 148] Schussfrakturen mit Trümmerkomponente zeigen eine signifikant höhere Rate an Komplikationen wie Wundinfektionen, Osteomyelitiden, Delayed- und Non-unions. [108]

Bei Extremitätenerhaltungsversuchen sind tiefe Weichteilinfektionen (73%) und Osteomyelitiden (55%) die führende Ursache für zweizeitige Amputationen. [149] Ramasamy et al. konnten zeigen, dass definitive Osteosyntheseverfahren nach Explosionsverletzungen des Beckens in bis zu 57% der Fälle mit septischer Revisionschirurgie, konsekutivem Osteosyntheseversagen und komplikationsbedingter Materialentfernung einhergingen. [91] Entsprechend galten intramedulläre Osteosyntheseverfahren an Röhrenknochen lange als obsolet, werden



aber in der aktuellen Literatur wieder zunehmend als sicheres Verfahren nach obligater und sicherer, chirurgischer Beherrschung des Infektes postuliert. [150, 151] Im Rahmen der prähospitalen Blutungskontrolle korreliert die Verwendung lokaler Hämostyptika nicht mit einer erhöhten Infektionsrate. Hingegen konnte bei der Verwendung von Tourniquets und bei Patienten, die während der chirurgischen Erstversorgung eine Fasziotomie im Bereich der unteren Extremität erfahren hatten, eine signifikante Häufung von Infektionskomplikationen nachgewiesen werden. [152]

Das chirurgische Debridement als obligater und essenzieller Teil der Infektionsprävention im Rahmen der DCS ist belegt. [16, 136, 153, 154] Je mehr Zeit zwischen Verwundung und erstem chirurgischen Debridement verstreicht, desto höher ist die Bakteriendichte in der Wunde und damit schlussendlich die Infektionswahrscheinlichkeit. [137, 153, 155] Die essenzielle Bedeutung der adjuvanten, systemischen Antibiotikatherapie mit einem Breitbandantibiotikum im Rahmen der Prävention von Osteomyelitiden und Weichteilinfektion ist hinreichend diskutiert und wird empfohlen. [136, 137, 156]

## **2.5 Mortalität**

Die kontinuierliche Verbesserung der persönlichen, ballistischen Schutzausrüstung, die Einführung der TCCC-basierten Erstversorgung Verwundeter durch trainiertes Fachpersonal und die Implementierung einer suffizienten Rettungskette tragen zur stetigen Senkung der prähospitalen Letalität im Rahmen moderner, bewaffneter Konflikte, wie auch im zivilen Kontext bei. [122, 157, 158] Die Implementierung der „golden trauma hour“ in den amerikanischen Streitkräften bewirkte eine signifikante Senkung der prähospitalen Sterblichkeit nach Verwundung bei einer Evakuierungszeit von weniger als 60 Minuten. [159] Generell ist die durchschnittliche Überlebenschance bei Verwundung im Kampfeinsatz auf ein historisch hohes Niveau von über 80% in OIF und OEF gestiegen. [160]

Die Literatur unterscheidet bei der statistischen Betrachtung der Mortalität im Kampfeinsatz die Termini „killed in action“ (KIA) und „died of wounds“ (DOW). KIA definiert Verwundete, die versterben bevor sie die medizinische Erstversorgungseinheit mit DCS-Kapazität erreichen. DOW bezeichnet die Verwundeten, die unmittelbar nach der chirurgischen Erstversorgung versterben.

Daten des JTTS zeigten eine zeitlich stabile Rate von 15-20% KIA in OIF und OEF. [160] Belmont et al. wiesen in einer retrospektiven Analyse eines stark kampffexponierten „U.S. brigade combat team“ eine Rate von 22,1% KIA nach. [161] KIA können in potenziell überlebbar („survivable deaths“, SD) und unvermeidbare Tode („non survivable deaths“, NSD) differenziert werden. Verletzungen des Schädels (42%), Fragmentation des Opfers (31%) und Verletzung des Thorax (21%) sind führende Todesursache unter den NSD. [7] Bis zu 90% der SD versterben in Folge von Gefäßverletzungen mit kritischen Blutungen. [88, 122, 162, 163] Die Einführung des Tourniquets als Standardtherapie bei kritischen Extremitätenblutungen hat die prähospitalen Sterblichkeit in Folge solcher Verletzungen signifikant gesenkt. [162] Die Anwendung lokaler Hämostyptika (z.B. QuikClot Z-Medica Corporation, Wallingford, CT) und der prähospitalen Einsatz von Tranexamsäure (TXA) haben weiterhin zur Verbesserung der prähospitalen Blutungskontrolle und zu einer Senkung der prähospitalen Mortalität geführt. [164, 165]

Keene et al. zeigten, dass 54 % der Patienten in einer DOW-Kohorte aus dem JTTS binnen 24 Stunden nach Verletzung versterben. Mit fast 50% ist in dieser Kohorte das schwere SHT die führende Todesursache, gefolgt von Amputationen und Beckenverletzungen mit hämorrhagischem Schock und Multiorganversagen (MOV). [158, 166]) Verwundete mit einer traumatischen, disseminierten, intravasalen Gerinnung (DIC) mit Massentransfusion haben ein 8,7-fach höheres Risiko innerhalb der ersten 24 Stunden nach Verwundung zu versterben als Patienten ohne Massentransfusion. [160]

## **2.6 Outcome und Lebensqualität**

Hurley et al. konnten klare Zusammenhänge zwischen einer erlittenen Explosionsverletzung und neuropsychiatrischen Langzeitfolgen aufzeigen. [67] So konnte gezeigt werden, dass in der Gruppe der Patienten mit neuropsychiatrischen Erkrankungen 59% eine Explosionsverletzung mit mindestens mittelgradigem SHT erlitten hatten. Auch bei isolierter Explosionsverletzung der Extremitäten gibt es eine Koinzidenz zur neuropsychiatrischen Erkrankungen. 51 % der Verwundeten dieser Kohorte beklagen in der Nachuntersuchung neuropsychiatrische Symptome

(Kopfschmerz, Schlafstörungen, Agitation). Die Chronifizierungsrate wird mit 30 % angegeben. [67] Baxter et al. konnten zeigen, dass Soldaten nach Explosionsverletzungen mit erlittenem SHT eine verminderte Hypophysenfunktion mit entsprechenden hormonellen Achsenstörungen aufwiesen. [167]

Patienten, die in Folge einer Explosionsverletzung ein mindestens mittelschweres SHT erlitten hatten, zeigten eine signifikant verminderte subjektive Qualität der visuellen Wahrnehmungsfähigkeit, als Patienten ohne SHT. [168] Eine Analyse des selbsteingeschätzten Gesundheitszustandes (patient reported quality of life, PRQoL) vor und nach Einsatzverwundung bei U.S. Soldaten konnte zeigen, dass insbesondere nach erlittenem SHT, eine signifikante Verschlechterung der PRQoL eingetreten war. [169] Die Analyse der während International Security Assistance Force (ISAF, Afghanistan, 2001-2014) in der Provinz Uruzgan verwundeten niederländischen Soldaten zeigte eine signifikant niedrigere PRQoL im Vergleich zu Schwerverletzten aus der Zivilbevölkerung. [170]

Die wissenschaftliche Auseinandersetzung mit der PRQoL nach erlittenem Polytrauma reicht bis 1990 zurück. [171] Die Datenlage zur Evaluation der Lebensqualität und des funktionellen Outcomes der Verwundeten mit rekonstruktiven Eingriffen am Bewegungsapparat ist spärlich und beschränkt sich auf Fallberichte und Kohortenanalysen mit geringer Fallzahl. [172] Tekin et al. konnten zeigen, dass Verwundete mit Rekonstruktion des Rückfußbereiches eine signifikant niedrigere PRQoL und eine höhere Schmerzsymptomatik hatten als die Vergleichsgruppe ohne Rückfußverletzung. [173] Im Vergleich zeigen Verwundete mit rekonstruiertem Rückfuß jedoch eine signifikant bessere PRQoL als Amputierte. [174] Patienten nach Majoramputationen haben keine erhöhte Inzidenz von PTSD und chronischer Schmerzen. [172] Patienten mit Extremitätenerhaltungsversuch haben eine höhere Zahl an Rehospitalisation und operativen Eingriffen, sowie eine höhere Komplikationsrate. [175] 3- 5 % der Erhaltungsversuche münden in einer zweizeitigen Amputation. Ursächlich hierfür sind nicht beherrschbare Weichteilinfektionen, Osteomyelitiden und fehlgeschlagene plastische Deckungen. [149, 176] Dabei ist die Komplikationsrate nach zweizeitiger Amputation im Vergleich zur Primäramputation signifikant höher. Harris et al. identifizierten persistierende Weichteilinfektionen

(34,2%) und Wundkomplikationen (13,4%) als führende Komplikationen nach zweizeitiger Amputation. [176]

## 2.7 Damage control surgery im Einsatzszenario

Die Prinzipien der damage control surgery (DCS) sind in der Versorgung auch des zivilen Polytraumas fest etabliert. Die Überlegenheit des DCS- Prinzips ist weitestgehend akzeptiert. [177, 178]

Auch in der Versorgung Verwundeter im Rahmen bewaffneter Konflikte ist die DCS als essentielle Versorgungsstrategie implementiert, wenngleich sich die Rahmenbedingungen im militärischen Umfeld durch Verletzungsentitäten, Infekt- und Komplikationsspektrum, eine mehrstufige, taktische Rettungskette und die teilweise transkontinentale Verwundetenevakuierung deutlich vom zivilen Umfeld unterscheiden. [150, 179] Nicht selten kommt es zu einem Anfall mehrerer Schwerverletzter, die durch den Einsatzchirurgen unter Berücksichtigung der Ressourcenlimitierung behandelt werden müssen. Um dies leisten zu können, ist die DCS die einzige umsetzbare Behandlungsstrategie. [88] Intention der DCS ist die konsequente Blutungs- und Kontaminationskontrolle mit ausreichender intensivmedizinischer Stabilisierung, um den Progress der „lethal trauma triad“ aufzuhalten. [16, 119, 180, 181]

Tabelle 1: Übersicht DCS Manöver

| Körperregion        | DCS Manöver   |
|---------------------|---|
| <b>Kopf/ Hals</b>   | Trepanation, Ventrikeldrainage, Mittelgesichtstabilisierung, chirurgischer Atemweg, Blutungskontrolle |
| <b>Thorax</b>       | Thoraxdrainage, Thorakotomie, Aorta-Clamping  |
| <b>Abdomen</b>      | Laparotomie, Packing, Laparostoma, Aorta-Clamping   |
| <b>Becken</b>       | Beckenfixateur, Packing   |
| <b>Extremitäten</b> | Amputation, Debridement, Fixateur externe, Kompartmentspaltung  |
| <b>Gefäßsystem</b>  | Blutungskontrolle, Revaskularisation  |

Bei penetrierenden Verletzungen des Körperstammes und hämodynamisch instabilem Patient sind die explorative Laparotomie und Thorakotomie, in Abhängigkeit vom Verletzungsmuster und hämodynamischer Stabilität, obligater Bestandteil der chirurgischen Erstversorgung nach dem DCS Prinzip. [29, 49, 182] Bograd et al. beschreiben in einer retrospektiven Analyse der Verletzten aus OIF und OEF die Häufigkeit einer DCS-Laparotomie mit 11%. [183]

Die explorative Medianlaparotomie ist das Vorgehen der Wahl bei Penetrationsverletzungen des Abdomens im Einsatzszenario. [49, 184] Eine weitere Herausforderung für den Einsatzchirurgen ist die Versorgung penetrierender Beckenverletzungen. Stammnahe Gefäßverletzungen mit kritischer Blutung, Verletzungen des Enddarmes, urogenitale Verletzungen, sowie die externe Frakturstabilisierung müssen bei offenen Beckenverletzungen in priorisierter Reihenfolge adressiert werden. [91, 181, 185] Die Kompetenz zur Beherrschung komplexer thermomechanischer oder ballistischer Extremitätenverletzungen ist essenziell. [16] Der erstversorgende Chirurg muss die Amputation gegen den Erhaltungsversuch abwägen, wobei beide chirurgische Verfahren im Sinne der DCS durchführbar sind. Grundlegend für die Abwägung der chirurgischen Vorgehensweise ist dabei die Evaluation der neurovaskulären Schädigung der Extremität und die taktische Gesamtsituation. [150, 186] Die externe Frakturstabilisierung ist in Anbetracht des Keimspektrums in den Einsatzländern, der obligaten Wundkontamination, sowie der Ressourcen- und Zeiteffizienz das Mittel der Wahl im Rahmen der DCS. [181, 187] Polytraumatisierte Patienten zeigen bei konsequenter Umsetzung externer Stabilisierungsverfahren eine signifikant niedrigere Gesamtmortalität und Transfusionsbedarf als Patienten mit definitiver, osteosynthetischer Primärversorgung. [188] Die primäre, intramedulläre Frakturversorgung bleibt obsolet, auch wenn diese Option einer Frakturversorgung aktuell wieder vermehrt als sicheres Verfahren im Einsatzszenario proklamiert wird. [150, 187] Mody et al. konnten zeigen, dass 40% der intramedullären Primärosteosynthesen infektionsbedingt revidiert werden mussten. Die Explosionsverletzung ist hier der schärfste Prädiktor für eine Infektionskomplikation bei intramedullärer Primärversorgung. [151]

Bei allen Erwägungen der DCS kann auch im Einsatzszenario eine definitive und rekonstruktive Versorgung, insbesondere landeseigener Koalitionskräfte und Zivilisten unter kritischster Berücksichtigung der taktischen Gesamtlage (Ressourcen, Feinddruck, Patientenzahl etc.), erwogen werden. Franke et. al konnten zeigen, dass abseits der notfallmäßigen, chirurgischen Erstversorgung auch unter den ressourcenlimitierten Einsatzumständen erfolgreich Weichteil- und Knochenrekonstruktionen bei komplexen Extremitätenverletzungen durchführbar sind. [189]

Ein weiterer zentraler Bestandteil der DCS ist die Versorgung von Verletzungen des Kopfes und der Halsweichteile. Schwerpunkte sind hierbei die triagierte Kontrolle kritischer Blutungen im Halsbereich und die definitive, chirurgische Atemwegssicherung. [190] DCS Manöver bei penetrierenden und geschlossenen Verletzungen des Neurocraniums beschränken sich auf eine großzügige dekomprimierende, gegebenenfalls bilaterale, osteoklastische Kraniotomie mit Blutungskontrolle und Debridement des Wundkanals, sowie Implementierung einer Ventrikeldrainage bei Blutungseinbruch in das Ventrikelsystem. [191] Der initiale GCS und der hämodynamische Status sind dabei die sensibelsten Prädiktoren für das Outcome penetrierender Verletzungen des Schädels. Blutungseinbruch in das Ventrikelsystem und bi- oder multilobäre Verletzungen sind Marker für ein schlechtes Outcome. [56] Bei einem initialen GCS von  $< 5$  mit entsprechend desaströsem intraoperativem oder radiologischem, intrakraniellm Befund sollte eine Therapielimitierung in die differentialtherapeutischen Überlegungen einbezogen werden. [192]

## 3. Material und Methoden

### 3.1 Studienkohorte

Mit Hilfe des Krankenhausinformationssystems (Nexus SAP®) und der abteilungsinternen Behandlungsdokumentation der Klinik für Unfallchirurgie und Orthopädie, Wiederherstellungs- und Handchirurgie, Verbrennungsmedizin des Bundeswehrzentralkrankenhauses Koblenz wurde das hauseigene Patientenkollektiv monozentrisch und retrospektiv beginnend am 01.01.2003 bis zum 30.09.2016 analysiert. Mit folgenden Suchbegriffen wurde das für die Studie relevante Patientenkollektiv identifiziert:

- Schussverletzung
- Schussfraktur
- gun shot wound
- blast injury
- Explosionsverletzung

Als Einschlusskriterien wurden die Verletzungsmuster „Schussverletzung“ und „Explosionsverletzung“ mit einem abbreviated injury score (AIS)  $\geq 2$  definiert. Hier konnten aus dem hauseigenen Patientenpool  $n=224$  potenzielle Studienpatienten identifiziert werden. Ausgeschlossen wurden Patienten ohne relevantes Verletzungsmuster oder unzureichender Behandlungsdokumentation, sowie kurzzeitig ambulant behandelte Patienten und Suizidenten mit isolierter Kopfschussverletzung. Die Kasuistiken wurden im Einzelnen und detailliert auf einen möglichen Studieneinschluss geprüft.  $N= 179$  Patienten konnten daraufhin in die Studie eingeschlossen und als Studienkohorte definiert werden.

Die Studienkohorte besteht dabei aus Soldaten, die im Einsatzszenario verwundet wurden, wie auch zivilen Patienten, die in Deutschland entsprechende Verletzungsmuster erlitten haben. Ebenso beinhaltet das Kollektiv Patienten, die im Rahmen internationaler und humanitärer Zusammenarbeit im Bundeswehrzentral-krankenhaus behandelt wurden und in auswärtigen, bewaffneten Konflikten verwundet wurden.

### **3.2 Ethikvotum**

Für die Studie mit retrospektiver Auswertung und postalischer Befragung wurde bei der Ethikkommission der Landesärztekammer Rheinland-Pfalz ein Ethikvotum beantragt. Mit Sitzungsbeschluss vom 14.12.2017 und unter der Bearbeitungsnummer 837.268.17 (1102) hat unsere Arbeitsgruppe ein zustimmendes Votum erhalten.

### **3.3 Datenschutz**

Vorbereitend auf die Datenerfassung wurde die Stellungnahme des Datenschutzbeauftragten des Bundeswehrzentralkrankenhauses Koblenz eingeholt. Die Patientendatenerfassung erfolgte pseudonymisiert. Die Datenauswertung erfolgte ausschließlich anonymisiert. Von Seiten des Datenschutzbeauftragten bestanden keine Einwände gegen die Durchführung der Studie.



## 3.4 Datenerhebung und Datenverarbeitung

### 3.4.1 Datensatz und Parameter

Zur Datenerfassung wurde mit Microsoft Access ® eine Datenbank programmiert. Bei der Datenbankenerfassung wurden die Patienten mittels fortlaufender Identifikationsnummer pseudonymisiert. Mit Hilfe der Datenbank wurden die einzelnen Patientenkasuistiken retrospektiv aufgearbeitet und strukturiert mittels 201 zu erhebender Variablen in die Datenbank eingepflegt.

In gruppierten Variablensets wurden zunächst Patientendaten, Daten zum Behandlungsverlauf, Verletzungsmechanismus, Verletzungsmuster und Wundcharakteristik erhoben. Die grundlegende Subgruppierung der Patienten erfolgte nach dem führenden Verletzungsmechanismus dichotom in Schuss- oder Explosionsverletzte.

The screenshot shows the 'SExReg' data entry form. The form is titled 'SExReg' and features a logo on the left. The form is organized into sections:

- Patient Identification:** ID (text input), männlich (checkbox), klinikinterne ID (text input), weiblich (checkbox), Nationalität (dropdown), politisch zugewiesen (checkbox).
- Injury Mechanism:** Einsatzverletzung (checkbox), Unfall (checkbox), Kampfhandlung (checkbox), Monotrauma (checkbox), Mehrfachverletzung (checkbox), Explosion (checkbox), blast closed space (checkbox), blast open space (checkbox), Schuss (checkbox), Kaliber bei Schuss I (text input), Kaliber bei Schuss II (text input), Anamnese kurz (text input).
- Verletzungsmuster:** Schädel (checkbox), Wirbelsäule (checkbox), Obere Extremität (checkbox), Hand (checkbox), Hals/Thorax (checkbox), Becken (checkbox), Untere Extremität (checkbox), Fuß (checkbox), Abdomen (checkbox), Perineum/Genitale (checkbox).
- Localization:** Lokalisation nach AO I (text input), Lokalisation nach AO II (text input), Lokalisation nach AO III (text input).
- Other:** Tinnitus (checkbox), Trommelfellruptur (checkbox), Blast lung (checkbox), Reanimation im Rahmen der Erstversorgung (checkbox), Verbrennung (checkbox), Verbrennung KOF in % (text input), Fremdkörperinsprengungen (checkbox), FKE in % KOF (text input).

Abbildung 8: Datenerfassung mittels Microsoft Access

Die Definition des Polytraumas orientiert sich an der „Berliner Definition“, die das Polytrauma als die Verletzung von mindestens zwei Körperregionen mit mindestens einem korrelierenden physiologischen Problem definiert. [193]

**TABLE 3.** Prevalence of Five Selected Pathologic Conditions/ Ancillary Parameters Associated With Increased Postinjury Mortality

| Ancillary Variable/Parameter | Criteria  | Incidence | No. Patients    | Mortality | Odds Ratio |
|------------------------------|---|-----------|-----------------|-----------|------------|
| Age                          | ≥70 y   | 13.0%     | 3,661 of 28,071 | 38.0      | 2.99       |
| Unconsciousness              | GCS score ≤ 8   | 34.6%     | 9,232 of 26,657 | 38.3      | 4.17       |
| Hypotension                  | Systolic blood pressure ≤ 90 mm Hg, preclinical or on admission | 29.5%     | 7,955 of 26,923 | 35.3      | 4.90       |
| Acidosis                     | Base excess ≤ -6.0  | 24.9%     | 3,764 of 15,117 | 38.3      | 3.32       |
| Coagulopathy                 | PTT ≥ 40 s or INR ≥ 1.4   | 26.2%     | 6,316 of 24,143 | 38.4      | 5.81       |

Abbildung 9: Physiologische Problematik nach "Berliner Definition" [193]

Die Wundcharakteristik wurde nach der „Red Cross Wound Classification“ erfasst. [194]

**SExReg**

**RCWC**

Lähmung  Fraktur  einfache Fraktur  komplexe Fraktur  Verletzung vitaler Strukturen

Eintrittswunde in mm  Austrittswunde  Austrittswunde in mm

Wundhöhle  Wundhöhle < 3cm  Wundhöhle > 3cm  Fremdkörper in situ  >1 Fremdkörper in situ

Abbildung 10: Datenbank "Red Cross Wound Classification "

Weiterhin wurde die operative Erst- und Weiterversorgung betrachtet. Hierzu wurde die initiale Versorgung unter dem Aspekt der DCS analysiert. Zur Analyse der chirurgischen Weiterversorgung wurden Daten zu Weichteilmanagement, Frakturversorgung und rekonstruktiver Chirurgie erhoben.

Im dritten Teil wurden im Daten zu septischen Komplikationen, Infektmanagement und Erregerspektrum erhoben. Der letzte Teil befasst sich mit funktionellem Outcome und psychiatrischer Komorbidität.

### **3.4.2 Datenerhebung zur Lebensqualität**

Die n=179 Patienten der identifizierten Studienkohorte wurden erneut für einen möglichen Einschluss in die postalische Patientenbefragung zur posttraumatischen Lebensqualität im Sinne einer PRQoL-Befragung geprüft.

Patienten mit unzureichenden Kenntnissen in deutscher Sprache und politisch zugewiesene Patienten aus internationalen Konflikten wurden aus der Befragung ausgeschlossen. So wurde für die PRQoL-Befragung eine Studiensubkohorte von n=122 Patienten identifiziert.

Die Kontaktierung der Patienten erfolgte über ein freies Anschreiben, welches über das Studienvorhaben informierte. Die Patienten wurden simultan über die Rahmenbedingungen bezüglich des Datenschutzes, Pseudo- und Anonymisierung und Ziel der Befragung, sowie Verwendung der erhobenen Daten aufgeklärt. Mit diesem Schreiben erhielten die Patienten einen pseudonymisierten Fragebogen zur posttraumatischen Lebensqualität. Beigefügt war ein Formular zur Einverständniserklärung bezüglich der Weiterverarbeitung und Publikation der erhobenen Daten. Ein beiliegendes vorgefertigtes Antwortformular gab den Patienten weiterhin die Möglichkeit, aktiv einen Ausschluss aus der Befragung zu bewirken.

Der Fragebogen zur Erhebung der PRQoL-Daten nach Schuss- und Explosionsverletzungen besteht im Wesentlichen aus dem „Short form 36 Gesundheitsfragebogen- SF 36“ zur Evaluation der posttraumatischen Lebensqualität, dem PTSS-10 zur Evaluation des posttraumatischen, psychiatrischen Belastungsniveaus und wurde durch spezifische Fragen zu militärmedizinischen

Aspekten erweitert. [195] Die Validität des SF-36 zur Bewertung der posttraumatischen Lebensqualität und des PTSS-10 zur Bewertung des posttraumatischen Stressniveaus ist in der Literatur weitreichend belegt. [196-198] Die Auswertung des SF-36 Fragebogens erfolgt mittels Microsoft Excel®-basierter, standardisierter Auswertematrix. Grundlegend werden aus den Antworten der Befragten 9 Items errechnet, die jeweils einen Teilaspekt des Gesundheitszustandes widerspiegeln (Z. Bsp. „body pain“ für das subjektive Schmerzempfinden). Für jedes Item beträgt der Minimalwert 0 und der Maximalwert 100. Jedes Item lässt sich entweder zur Gruppe der „mental“ oder „physischen“ Gesundheit zuordnen. Entsprechen werden aus den jeweils gruppierten Items zwei Zwischenscores errechnet („mental health“ und „physical health“). Aus diesen Zwischenscores ergibt sich rechnerisch der SF-36-Summenscore.

| AQ                | AR            | AS        | AT             | AU       | AV                 | AW             | AX            | AY              | AZ              | BA            | BB               |
|-------------------|---------------|-----------|----------------|----------|--------------------|----------------|---------------|-----------------|-----------------|---------------|------------------|
| Scale             | Scale         | Scale     | Scale          | Scale    | Scale              | Scale          | Scale         |                 | Dimension       | Dimension     |                  |
| 1                 | 2             | 3         | 4              | 5        | 6                  | 7              | 8             |                 | A               | B             |                  |
| Physical Function | Role-Physical | Body Pain | General Health | Vitality | Social Functioning | Role Emotional | Mental Health | Reported Health | Physical Health | Mental Health | TOTAL SF36 Score |
|                   |               |           |                |          |                    |                |               |                 |                 |               |                  |
|                   |               |           |                |          |                    |                |               |                 |                 |               |                  |
|                   |               |           |                |          |                    |                |               |                 |                 |               |                  |
|                   |               |           |                |          |                    |                |               |                 |                 |               |                  |
|                   |               |           |                |          |                    |                |               |                 |                 |               |                  |
|                   |               |           |                |          |                    |                |               |                 |                 |               |                  |
|                   |               |           |                |          |                    |                |               |                 |                 |               |                  |
|                   |               |           |                |          |                    |                |               |                 |                 |               |                  |
|                   |               |           |                |          |                    |                |               |                 |                 |               |                  |

**Abbildung 11: Auswertematrix SF-36**

Der PTSS-10 score erhebt 10 Items zur Evaluation des subjektiven, posttraumatischen Belastungsniveaus. Jedes Item kann in einer Graduierung von 1-6 (nie – immer) entsprechend der subjektiven Symptommhäufigkeit beantwortet werden. Es resultiert ein Summenscore, der als Richtwert zur Einschätzung des posttraumatischen Belastungsniveaus dient und mit der Manifestation einer posttraumatischen Belastungsstörung korreliert. [199]

Von den  $n = 122$  zugestellten Fragebögen wurden 36 suffizient beantwortete an das Studienteam zurückgesendet. Die Rückläuferquote betrug 29,5%.

## **3.5 Statistische Datenverarbeitung**

### **3.5.1 Deskriptive Statistik**

Die statistische Datenverarbeitung erfolgte mit der statistischen Analysesoftware IBM SPSS Statistics ®. Die modulare Software erlaubte zunächst eine rein deskriptive Datenverarbeitung. Zur Darstellung wurden Säulen- und Kreisdiagramme, sowie Boxplots verwendet. Die grundlegende Datendeskription erfolgte in üblicher Weise mittels Mittelwert- und Medianbestimmung, Standardabweichung und Angabe von Minima, Maxima und Varianz.

Zur Auswertung attributiver und normalverteilter Daten wurde der t-Test für unabhängige Stichproben verwendet. Nicht normalverteilte Daten wurden mit dem nichtparametrischen Test nach Mann-Whitney-U ausgewertet. [200] Häufigkeitsverteilungen wurden mittels Kreuztabellen und der Signifikanztest  $\chi^2$  nach Pearson (Chi-Quadrat-Test oder Vierfeldertest) analysiert.

Als Schwelle für eine statistische Signifikanz wurde eine erwartete Häufigkeit von  $p < 0,05$  festgelegt. Als hochsignifikant wurden Verteilungen mit einer Signifikanz von  $p < 0,001$  definiert.

### **3.5.2 Testverfahren und grafische Darstellung**

#### **3.5.2.1 t-Test für ungebundene Stichproben**

Der t-Test für unabhängige und verbundene Stichproben testet, ob signifikante Unterschiede bei den Mittelwerten zu vergleichender Variablen vorliegen.

#### **3.5.2.2 Chi-Quadrat-Test**

Der Chi-Quadrat-Test kann Zusammenhänge in der Auftretungshäufigkeit von Variablen unterschiedlicher Ausprägung vergleichen und dient der Beurteilung der Homogenität der Stichprobe. Die Darstellung der Daten erfolgt mittels Vierfeldertafel.

In der Nullhypothese  $H_0$  wird die angenommene Verteilung zwischen der Variablen definiert. Das zweiseitige asymptotische Signifikanzniveau wird mit  $p < 0,05$  definiert.

### **3.5.2.3 Mann-Whitney-U-Test**

Der Mann-Whitney-U-Test dient der Beurteilung nicht normalverteilter Stichproben. Dieses Testverfahren kann prüfen, ob die zentrale Tendenz zweier unabhängiger Stichproben unterschiedlich ist. Der Test kommt zur Anwendung, wenn der t-Test als Alternativtest für die Beurteilung normalverteilter Stichproben nicht angewendet werden kann.

### **3.5.2.4 Boxplot**

Der Boxplot dient der Übersichtsdarstellung der Variablenverteilung. Die Darstellung der Verteilung erfolgt mittels 25%- und 75%-Perzentile und dem dazwischenliegenden Interquartilbereich. Ebenfalls werden Maximum, Minimum und Median abgebildet. Punktförmig werden Extremwerte abgebildet, die außerhalb des 1,5-fachen Interquartilenintervalles liegen.

## 4. Ergebnisse

### 4.1 Deskriptive Kollektivbeschreibung

In die Gesamtkohorte wurden n=179 Studienpatienten eingeschlossen. Der Verletzungsmechanismus verteilt sich auf n=78 Schussverletzungen und n=101 Explosionsverletzungen.

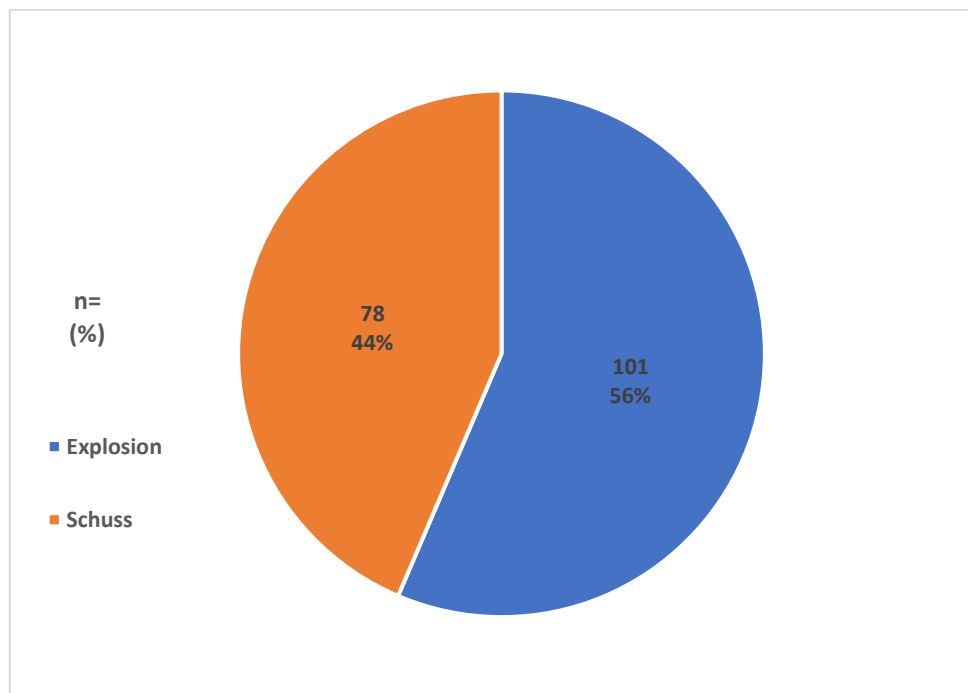
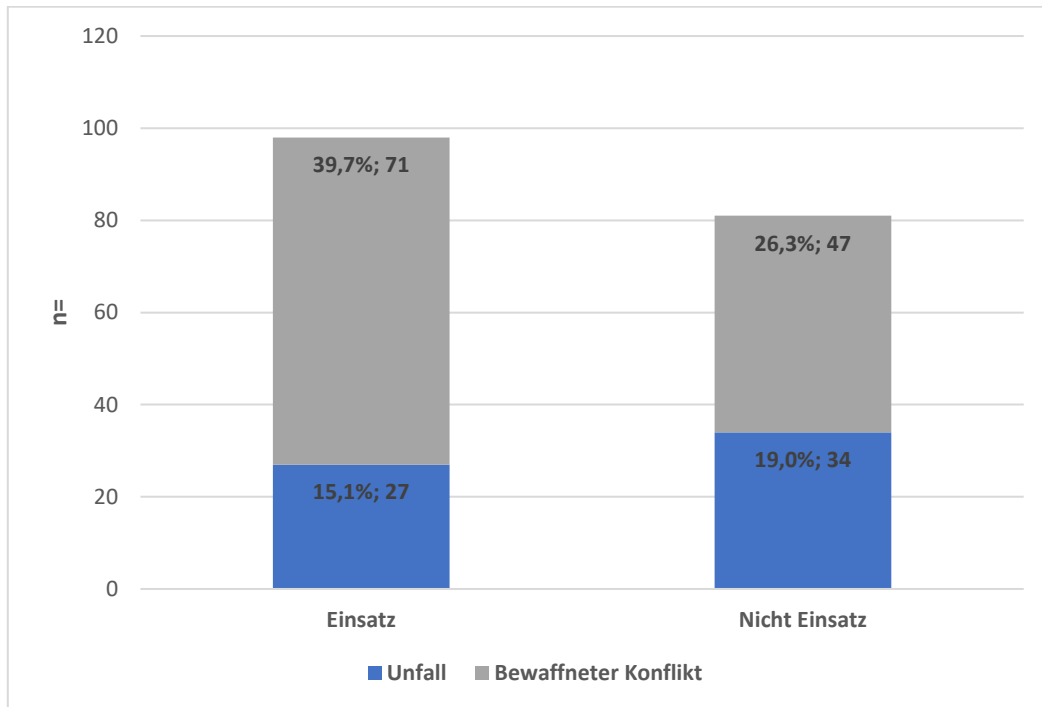


Abbildung 12: Verteilung von Schuss- und Explosionsverletzungen



**Abbildung 13: Verteilung nach Einsatzverletzung, Konflikt und Unfall**

Die Gesamtkohorte ist bezüglich der Verletzungsentstehung dichotom in unfallbedingte und konfliktassoziierte Verletzungen aufgeteilt. Nach räumlichem und zeitlichem Kontext der Verletzungsentstehung wird ebenfalls dichotom in Einsatz- und Nichteinsatzverletzung unterschieden. Hier ist in der Gesamtkohorte eine Verteilung von n=118 konfliktassoziierten Verletzungen zu n=61 unfallbedingten Verletzungen festzustellen. In der Gruppe der Einsatzverletzten (n=98) zeigt sich eine Verteilung von konfliktassoziierten Verwundungen mit n=71 zu unfallbedingten Verletzungen mit n=27. Eine signifikante Häufung von konfliktassoziierten Verletzungen weist diese Subgruppe nicht auf (p=0,06). In der Subgruppe der Nichteinsatzverletzten (n=81) haben n=47 Patienten ihre Verletzung in bewaffneten Auseinandersetzungen erlitten.



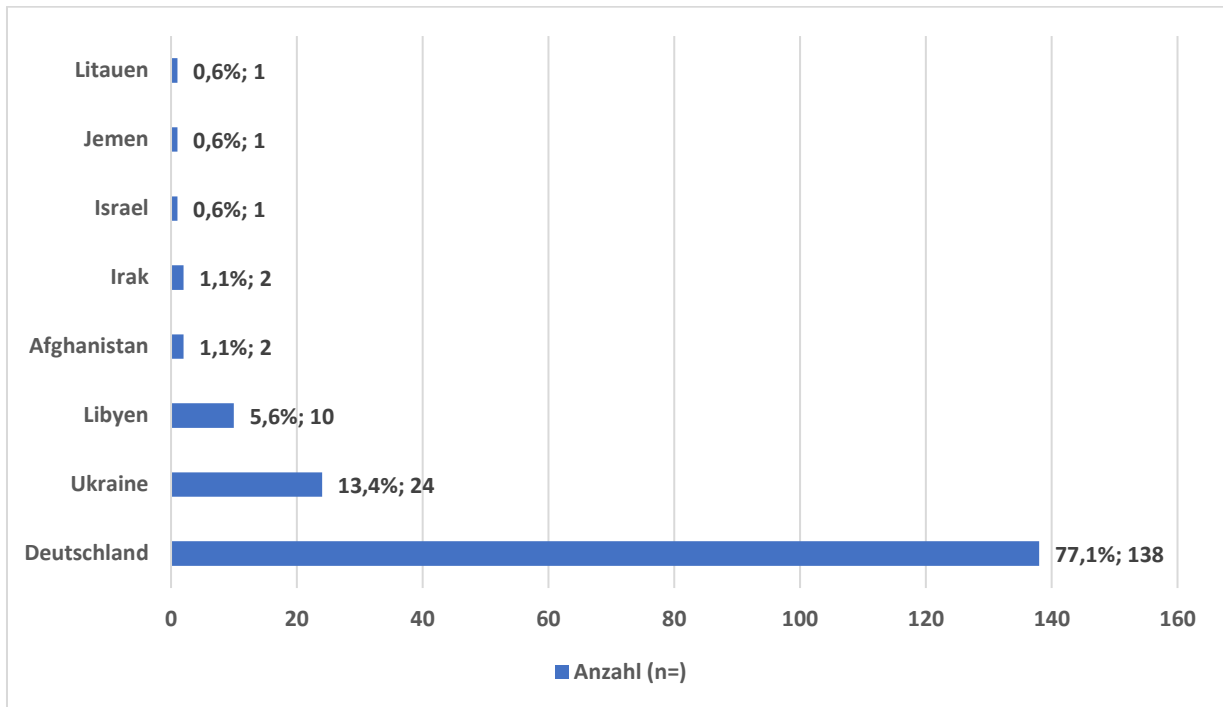


Abbildung 14: Verteilung nach Herkunftsland

Der größte Anteil der Studienkohorte ist deutscher Herkunft (n=138). Politisch zugewiesene Patienten aus der Ukraine (n= 24) und Libyen (n=9) stellen die zweithäufigsten Subgruppen dar.

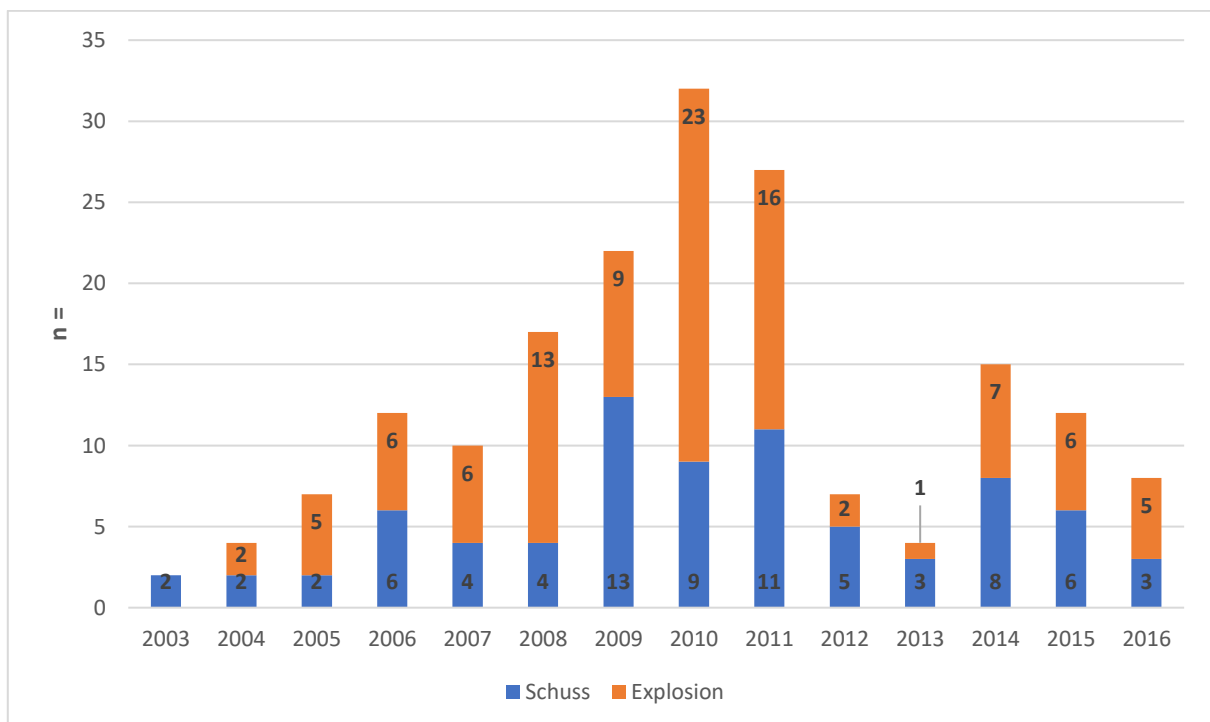


Abbildung 15: Behandlungszahlen 2003-2016

Die Abbildung zeigt chronologisch das Aufkommen der im Bundeswehrzentral Krankenhaus behandelten Verwundeten von 2003-2016. Hier zeigt sich ein erhöhtes Patientenaufkommen in den Jahren 2008-2011.

## 4.2 Verletzungsmechanismus

IED stellen die häufigste Ursache (n=45) für Explosionsverletzungen dar. Hierunter fallen n=5 IED in Form von Selbstmordattentätern und n=1 IED in Fahrzeugen. Den zweithäufigsten Verletzungsmechanismus stellen Granatexplosionen mit n=21 dar. In n=10 Fällen ist der Explosionsmechanismus unklar. Verletzungen durch klassische Minen (anti vehicle mine, AVM) sind selten.

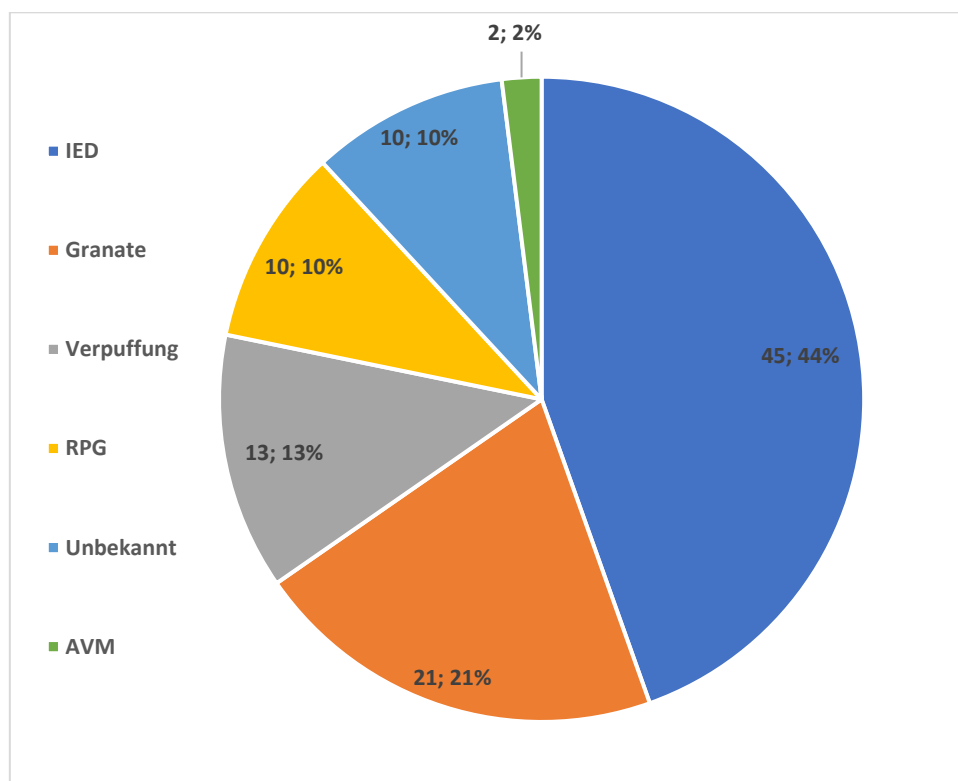
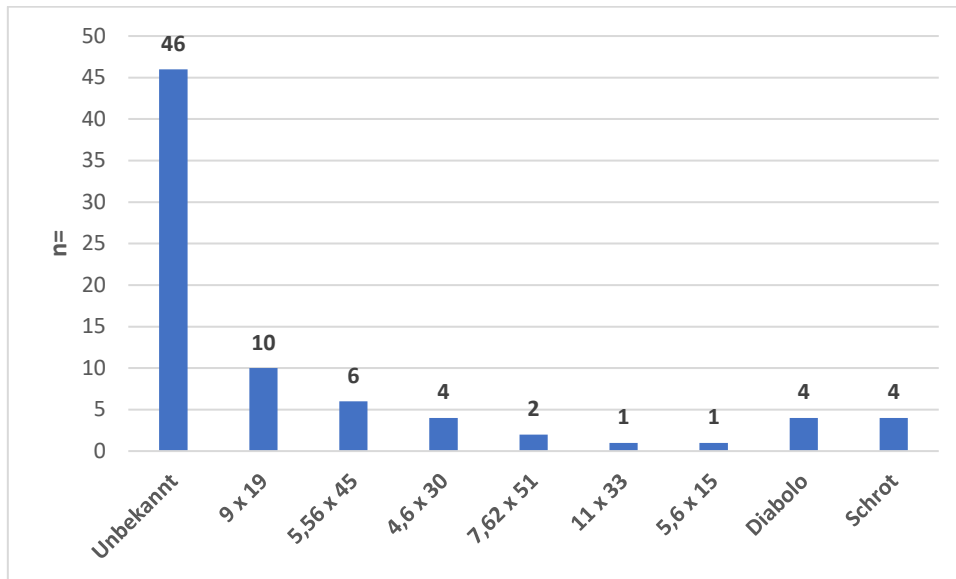


Abbildung 16: Verletzungsmechanismus Explosionsverletzungen



**Abbildung 17: Projektilkaliber Schussverletzungen**

Bei Schussverletzungen ist das verursachende Geschosskaliber in über der Hälfte der Fälle (n=46) unbekannt oder nicht dokumentiert. Zweit- und dritthäufigstes Kaliber stellen NATO- Standardkaliber dar (9x19 mm, 5,56x45 mm). Die Hälfte der Schussverletzungen (n=78) in der Subgruppe sind durch Unfälle mit Handfeuerwaffen (n=39) entstanden.

Tabelle 2: Verletzungsmechanismus, Behandlungsdaten, Nationalität

| Item  | Schuss<br>(n=78)    | Schuss<br>(%) | Explosion<br>(n=101) | Explosion<br>(%) | p      |
|---|---------------------|---------------|----------------------|------------------|--------|
| Polytrauma  | 14                  | 17,9%         | 56                   | 55,4%            | <0,001 |
| Einsatzverletzung                                 | 30                  | 38,5%         | 68                   | 67,3%            | <0,001 |
| Kampfhandlung                                     | 39                  | 50,0%         | 79                   | 78,2%            | <0,001 |
| Männlich  | 75                  | 96,2%         | 99                   | 98,0%            | 0,65   |
| Alter in Jahren<br>Median<br>(Min/Max)            | 30<br>(18,3 / 86,3) |               | 27,6<br>(3,3 / 70,1) |                  | 0,42   |
| MedEvac in d<br>Median<br>(Min/Max)               | 2<br>(1 / 10)       |               | 2<br>(0 / 13)        |                  | 0,74   |
| Behandlungsdauer<br>in d Median<br>(Min/Max)      | 18<br>(1 / 657)     |               | 22<br>(1 / 741)      |                  | 0,38   |
| Behandlungsdauer<br>BwZK in d Median<br>(Min/Max) | 15<br>(1 / 373)     |               | 18<br>(1 / 511)      |                  | 0,77   |
| Deutsch   | 59                  | 75,6%         | 79                   | 78,2%            | 0,72   |
| Politische<br>Zuweisung                           | 19                  | 24,4%         | 16                   | 15,8%            | 0,19   |

In der Gesamtkohorte waren n=70 Patienten polytraumatisiert. Es ist eine hochsignifikante Häufung in der Explosionsgruppe festzustellen ( $p < 0,001$ ). Mehr als jeder zweite Patient zeigte hier ein Polytrauma als Verletzungsmuster. N=98 Patienten der Gesamtkohorte und ein hochsignifikanter Teil der Explosionsverletzten ( $p < 0,001$ ) hatten die Verletzung im Rahmen eines Auslandseinsatzes der Bundeswehr erfahren. Die Verletzungen entstanden in n=118 Fällen im Rahmen von Kampfhandlungen mit hochsignifikanter Häufung in der Explosionsgruppe ( $p < 0,001$ ). Mit n=174 sind die Verwundeten fast ausschließlich männlichen Geschlechtes. Die Verletzten der

Gesamtpopulation sind zum Verwundungszeitpunkt median 27,8 (3,3/ 86,3) Jahre alt. In der Gesamtkohorte sind n=138 Patienten deutscher Nationalität. N=35 Patienten wurden im Rahmen internationaler politischer Zusammenarbeit vorwiegend aus der Ukraine und Libyen zur Behandlung zugewiesen.

Betrachtet man die Zeitspanne vom Verletzungszeitpunkt bis zur Repatriierung deutscher Kräfte (n=92) aus dem Einsatzland, so ergibt sich eine mediane Repatriierungszeit von 2 (1/ 13) Tagen. Die Gesamtbehandlungsdauer ergibt sich aus der Differenz der Daten für die Entlassung aus der stationären Behandlung und dem Verletzungsdatum. Die mediane Behandlungsdauer betrug 22 (1 / 741) Tage. Die Behandlungsdauer im Bundeswehrzentral Krankenhaus ergibt sich aus der Differenz der Daten für die Entlassung aus der stationären Behandlung und dem Datum des Behandlungsbeginns im Bundeswehrzentral Krankenhaus (Datum des MedEvacs und/oder Datum der stationären Aufnahme in das Bundeswehrzentral Krankenhaus). Die mediane Behandlungsdauer im Bundeswehrzentral Krankenhaus Koblenz betrug 18 (1/ 511) Tage.

## 4.3 Verletzungscharakteristik

### 4.3.1 Verletzungsmuster

In der Gesamtkohorte zeigten n= 28 Patienten Verbrennungen. Alle Patienten mit Verbrennungen hatten eine Explosionsverletzung erlitten. Von den Patienten mit Verbrennungen wiesen n=9 eine kumulierte verbrannte Körperoberfläche (KOF) von bis zu 5%, n=8 der Patienten jedoch auch Verbrennungen mit Beteiligung von mehr als 20% KOF auf.

**Tabelle 3: Verbrennung, Fremdkörper und Begleitverletzung**

| Item  | Schuss<br>(n=78) | Schuss<br>(%) | Explosion<br>(n=101) | Explosion<br>(%) | p                |
|---|------------------|---------------|----------------------|------------------|------------------|
| Verbrennung   | 0                |               | 28                   | 27,7%            | <b>&lt;0,001</b> |
| Verbrennung in % KOF<br>Median<br>(Min/Max)             |                  |               | 11,0%<br>(1 / 40)    |                  |                  |
| Fremdkörpereinsprengung                                 | 20               | 25,6%         | 44                   | 43,6%            | <b>0,02</b>      |
| Fremdkörpereinsprengung<br>in % KOF Median<br>(Min/Max) | 1,0%<br>(1 / 35) |               | 4,0%<br>(1 / 40)     |                  | <b>&lt;0,001</b> |
| Tinnitus  | 0                |               | 16                   | 15,8%            | <b>&lt;0,001</b> |
| Trommelfellruptur                                       | 0                |               | 25                   | 24,8%            | <b>&lt;0,001</b> |
| Blast lung  | 0                |               | 23                   | 22,8%            | <b>&lt;0,001</b> |
| Beatmungsdauer in d<br>Median<br>(Min/Max)              | 4<br>(1 / 23)    |               | 6<br>(1 / 69)        |                  | 0,47             |

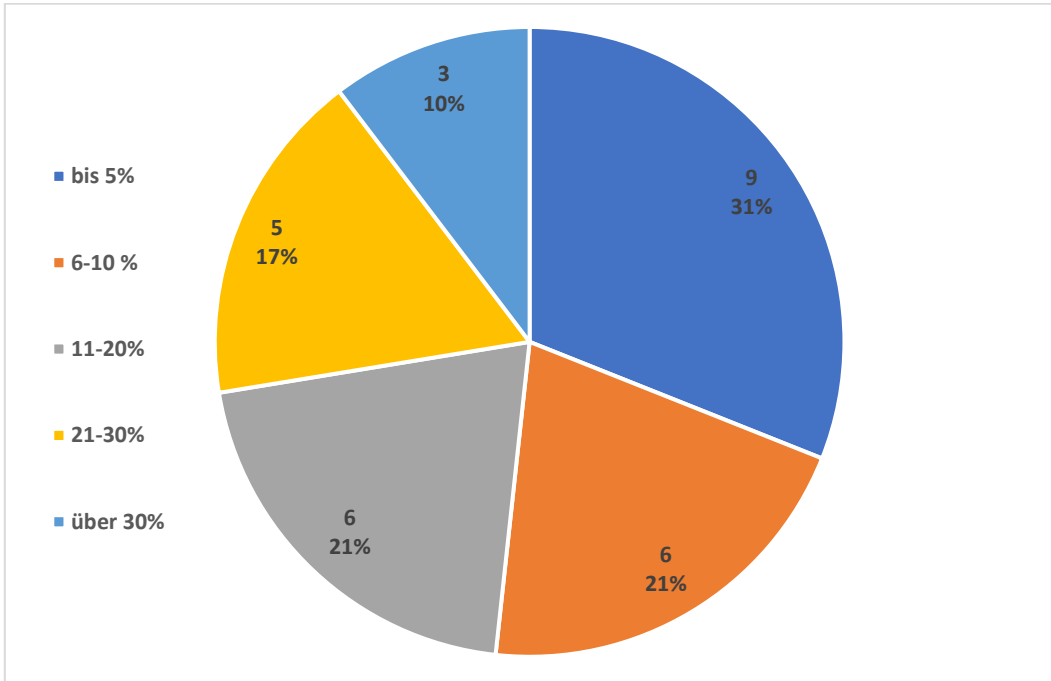


Abbildung 18: Verbrennung in % KOF

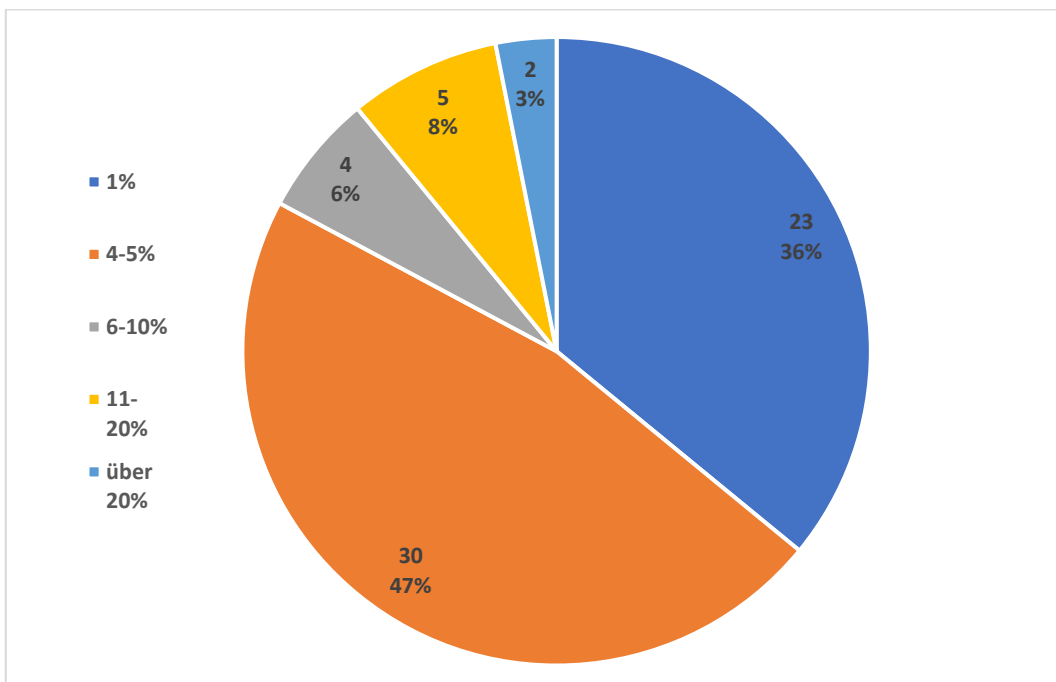


Abbildung 19: Fremdkörpereinsprengung in % KOF

In der Gesamtkohorte erlitten n=64 Patienten Fremdkörpereinsprengung (FKE). Der größte Teil der Patienten (n=53) hatte FKE auf einer kumulierten KOF von bis zu 5%. Eine signifikante Häufung ( $p=0,02$ ) von FKE zeigte sich mit n=44 in der Explosionsgruppe. Ebenso ist die mediane KOF mit FKE bei Explosionsverletzten mit 4,0 % (1% / 40%) KOF hochsignifikant ( $p<0,001$ ) höher als in der Schussgruppe (1% / 1% / 35%). Die mediane Fläche mit FKE in der Gesamtkohorte beträgt 3,0 % (1% / 40%) KOF.

Die mediane Beatmungsdauer in der Gesamtkohorte betrug 5,5 (1/ 69) Tage. In der Gesamtkohorte zeigten n=23 Patienten klinisch oder radiologisch das Bild einer BLI. Alle Patienten mit BLI hatten diese im Rahmen einer Explosionsverletzung erlitten ( $p<0,001$ ). Patienten mit dem klinischen und radiologischen Bild einer BLI zeigten mit 6,0 (0/ 69) Tagen eine hochsignifikant ( $p<0,001$ ) längere mediane Beatmungsdauer als Patienten ohne BLI (0 /0/ 40).

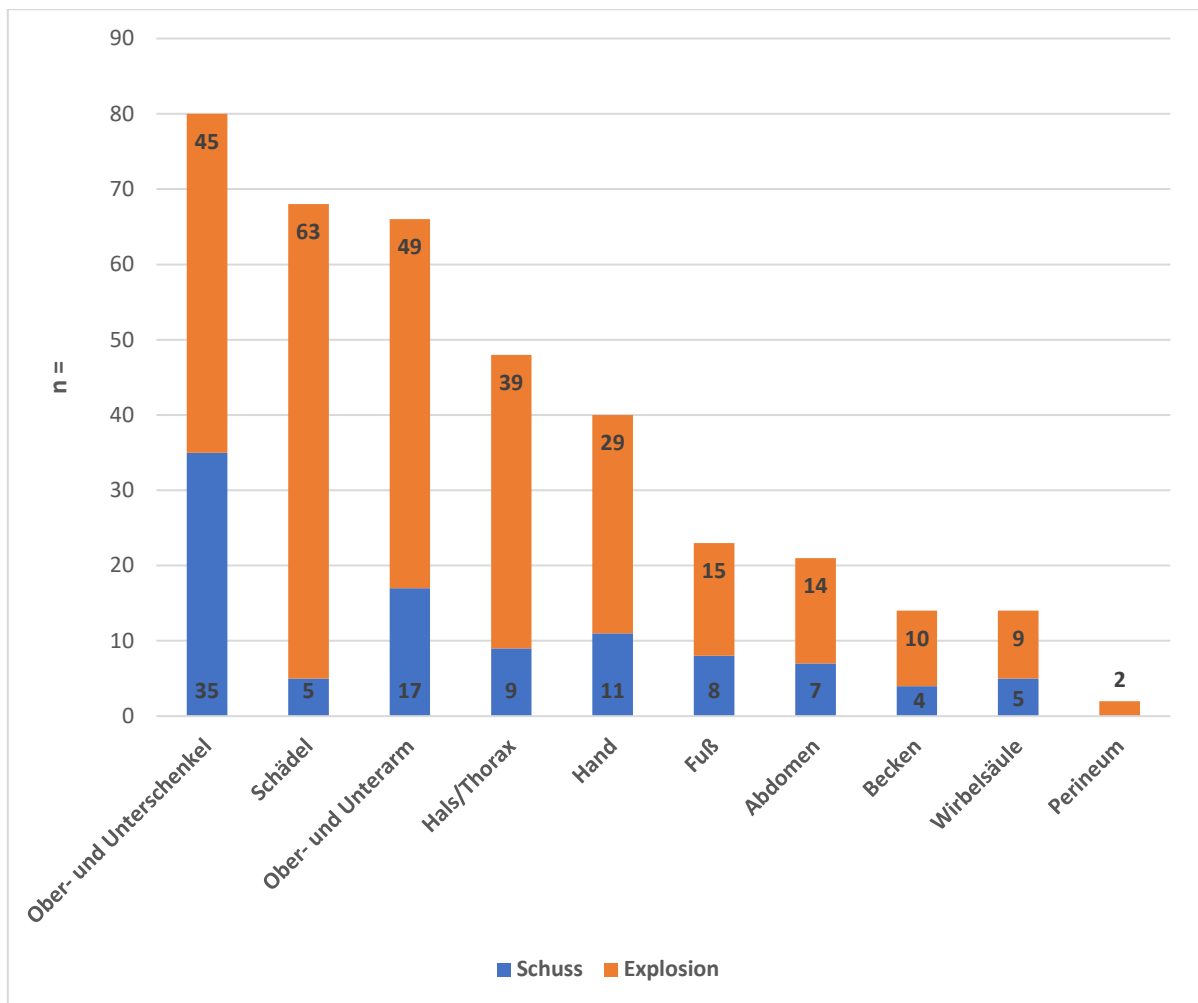
In der Subgruppe der Explosionsverletzungen hatten n=16 Patienten einen Tinnitus und n=25 Patienten eine Trommelfellruptur. In der Schussgruppe zeigten sich keine derartigen Begleitverletzungen.



Tabelle 4: Verletzungsmuster

| Item  | Schuss<br>(n=78) | Schuss<br>(%) | Explosion<br>(n=101) | Explosion<br>(%) | p                |
|---|------------------|---------------|----------------------|------------------|------------------|
| Anzahl Verletzungen                             | 101              |               | 275                  |                  |                  |
| Anzahl Verletzungen pro Patient Mittelwert (SD) | 2,2<br>(SD 0,9)  |               | 3,8<br>(SD 2,1)      |                  | <b>&lt;0,001</b> |
| Schädel   | 5                | 5,0%          | 63                   | 22,9%            | <b>&lt;0,001</b> |
| Hals/Thorax                                     | 9                | 8,9%          | 39                   | 14,2%            | <b>&lt;0,001</b> |
| Abdomen   | 7                | 6,9%          | 14                   | 5,1%             | 0,36             |
| Wirbelsäule                                     | 5                | 5,0%          | 9                    | 3,3%             | 0,59             |
| Becken  | 4                | 4,0%          | 10                   | 3,6%             | 0,28             |
| Obere Extremität                                | 17               | 16,8%         | 49                   | 17,8%            | <b>&lt;0,001</b> |
| Hand  | 11               | 10,9%         | 29                   | 10,5%            | 0,29             |
| Untere Extremität                               | 35               | 34,7%         | 45                   | 16,4%            | 1,00             |
| Fuß   | 8                | 7,9%          | 15                   | 5,5%             | 0,50             |
| Perineum  | 0                | 0,0%          | 2                    | 0,7%             | 0,51             |

In der Gesamtkohorte wurden insgesamt 376 Verletzungen erhoben. Explosionsverletzte haben mit insgesamt n=275 Verletzungen im Mittel 3,8 (SD 2,1) Verletzungen pro Patient und damit eine hochsignifikant ( $p < 0,001$ ) höhere Anzahl von Verletzungen als Schussverletzte (2,2 SD 0,9). In der Gesamtkohorte ist die Verletzung des Ober- und Unterschenkels am häufigsten, gefolgt von Verletzungen des Schädels und des Ober- und Unterarmes. Verletzungen des Schädels, des Ober- und Unterarmes und Thorax- und Halsverletzungen sind hochsignifikant ( $p < 0,001$ ) häufiger in der Explosionsgruppe.



**Abbildung 20: Verletzungsverteilung nach Körperregion**

In der Schussgruppe stellen Extremitätenverletzungen mit  $n=71$  von insgesamt  $n=101$  Verletzungen den klaren Verletzungsschwerpunkt dar. Eine ähnliche Verteilung zeigt sich in der Explosionsgruppe mit  $n=138$  von insgesamt  $n=275$  Verletzungen in dieser Subgruppe. Hier kommt als zweiter Verletzungsschwerpunkt das Schädeltrauma mit  $n=63$  hinzu. In der Schussgruppe ist die Verletzung des Schädels mit  $n=5$  äußerst selten. Suizidale, isolierte Kopfschussverletzungen wurden aus der Studie ausgeschlossen. Beckenverletzungen sind insgesamt mit  $n=14$  Verletzungen selten und mit  $n=10$  vermehrt bei den Explosionsverletzten zu finden.

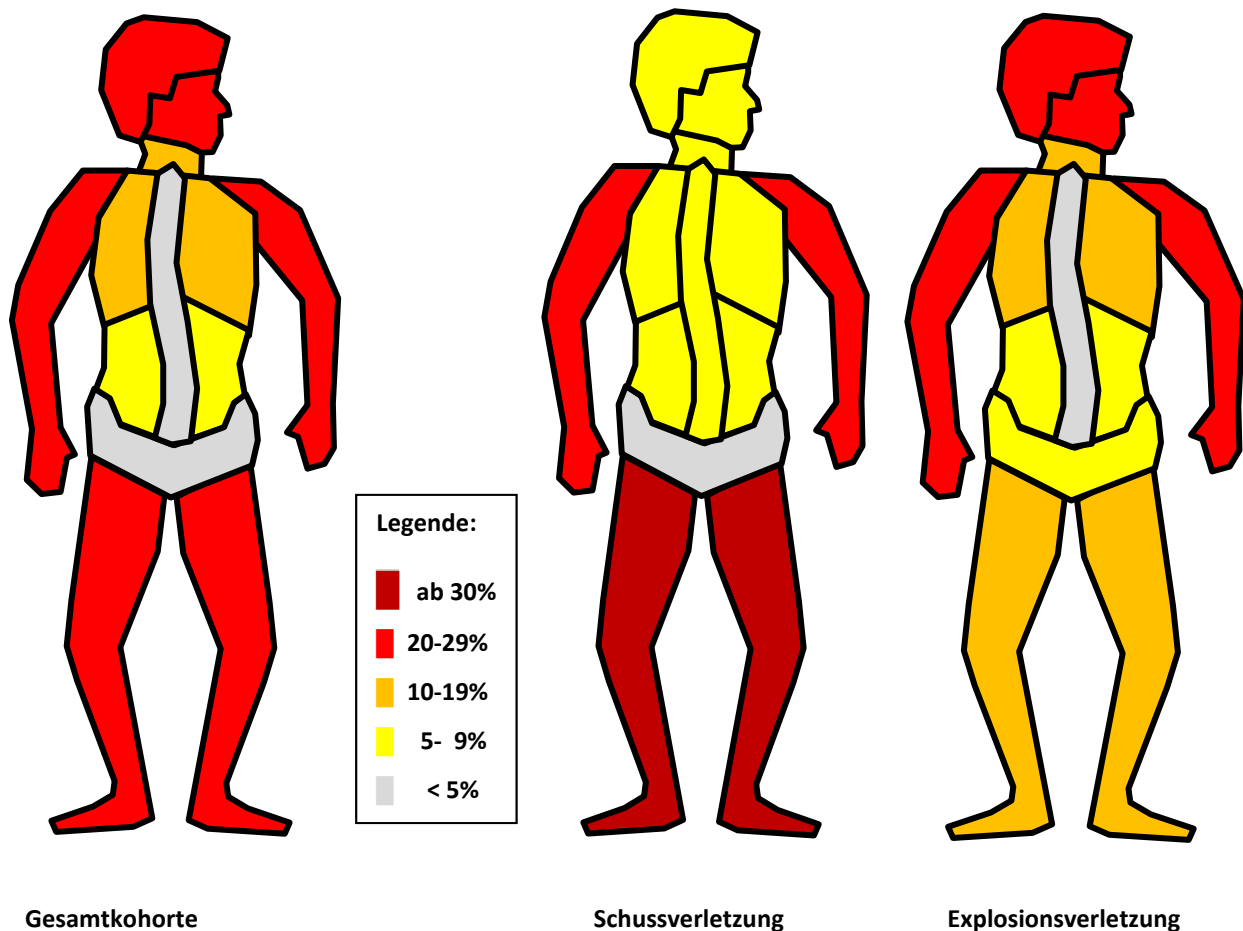


Abbildung 21: Schematische Verletzungsverteilung nach R. Lefering, TraumaRegister DGU [201]

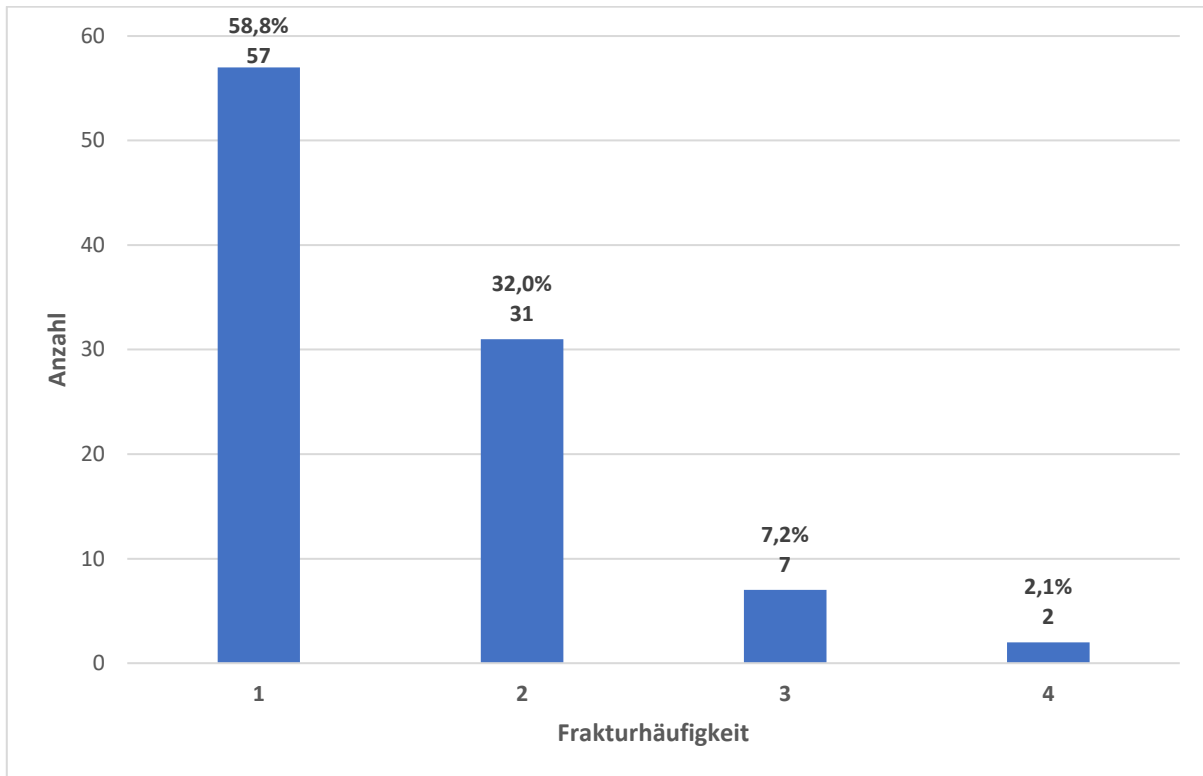
Abbildung 12 zeigt schematisiert die Verletzungsverteilung und -häufigkeit nach der verletzten Körperregion. Die Darstellung ist modifiziert nach dem „Traumamann DGU®“. [201] Die Schemata heben eindrücklich die Verletzungsschwerpunkte bei Schuss- und Explosionsverletzungen hervor. Bei Schussverletzungen dominieren Verletzungen der Extremitäten und Verletzungen des Thorax, Verletzungen des Abdomens und des Schädels sind selten. Bei Explosionsverletzungen zeigen sich schwerpunktmäßig Verletzungen des Schädels und der oberen Extremitäten. Verletzungen des Thorax und des Halses sind häufiger als bei Schussverletzungen.

### 4.3.2 Wund- und Frakturcharakteristik

Bei n= 83 Patienten der Gesamtkohorte zeigten sich mindestens ein, bei n= 62 mehr als ein in situ verbliebener Fremdkörper. Der mediane Durchmesser der größten Eintrittswunde bei n= 40 Patienten der Gesamtkohorte betrug 17,5 mm (3mm/ 200mm). Explosionsverletzungen haben mit einer medianen Eintrittswunde von 35,0mm (10mm / 150mm) eine tendenziell größere Eintrittswunde (p=0,07) als Schussverletzungen. Der Durchmesser der Austrittswunde ist in keinem Fall der Studienkohorte dokumentiert gewesen. In der Gesamtkohorte zeigten n= 97 Patienten Frakturen von denen ein hochsignifikanter Anteil (p<0,001) von n=81 als komplexe Fraktur zu klassifizieren waren. Bei n=59 Patienten zeigten sich Verletzungen vitaler Strukturen mit einer signifikanten Häufung (p=0,02) in der Explosionsgruppe.

Tabelle 5: Red Cross Wound Classification

| Item   | Schuss<br>(n=78)  | Schuss<br>(%) | Explosion<br>(n=101) | Explosion<br>(%) | p           |
|--|-------------------|---------------|----------------------|------------------|-------------|
| Fremdkörper in situ                          | 37                | 47,4%         | 46                   | 45,5%            | 0,88        |
| > 1 Fremdkörper in situ                      | 23                | 29,5%         | 39                   | 38,6%            | 0,21        |
| Größte Eintrittswunde in mm Median (Min/Max) | 12,0<br>(3 / 200) |               | 35,0<br>(10 / 150)   |                  | 0,07        |
| Fraktur                                      | 74                | 94,9%         | 83                   | 82,2%            | <b>0,01</b> |
| Komplexe Fraktur                             | 35                | 44,9%         | 42                   | 41,6%            | 0,76        |
| Frakturen pro Patient Median (Min/Max)       | 1,0<br>(0 / 2)    |               | 1,0<br>(0 / 4)       |                  | 0,97        |
| Verletzung vitaler Struktur                  | 18                | 23,1%         | 41                   | 40,6%            | <b>0,02</b> |
| Wundhöhle                                    | 24                | 30,8%         | 21                   | 20,8%            | 0,16        |



**Abbildung 22: Verteilung der Frakturanzahl pro Patient**

Insgesamt sind n=148 Frakturen bei n=97 Patienten erhoben. Von diesen Patienten wiesen n= 40 Patienten mehr als eine Fraktur auf. Eine signifikante Häufung ( $p=0,02$ ) mehrere Frakturen zeigte sich mit n=29 in der Explosionsgruppe.

Tabelle 6: Verteilung der Frakturen

| Item              | Schuss<br>(n=78) | Schuss<br>(%) | Explosion<br>(n=101) | Explosion<br>(%) | p                |
|-------------------|------------------|---------------|----------------------|------------------|------------------|
| Mehrere Frakturen | 11               | 14,1%         | 29                   | 28,7%            | <b>0,02</b>      |
| Oberarm           | 8                | 10,3%         | 7                    | 6,9%             | 0,43             |
| Unterarm          | 4                | 5,1%          | 14                   | 13,9%            | 0,07             |
| Hand              | 8                | 10,3%         | 6                    | 5,9%             | 0,17             |
| Oberschenkel      | 7                | 9,0%          | 8                    | 7,9%             | 0,51             |
| Unterschenkel     | 12               | 15,4%         | 15                   | 14,9%            | 0,32             |
| Fuß               | 4                | 5,1%          | 12                   | 11,9%            | 0,34             |
| Becken            | 1                | 1,3%          | 3                    | 3,0%             | 0,63             |
| Wirbelsäule       | 4                | 5,1%          | 6                    | 5,9%             | 1,00             |
| Thorax            | 3                | 3,8%          | 6                    | 5,9%             | 0,73             |
| Schädel           | 1                | 1,3%          | 19                   | 18,8%            | <b>&lt;0,001</b> |

Die häufigste Fraktur war mit n=27 am Unterschenkel festzustellen. Zweithäufigste Fraktur ist mit n=20 die knöcherne Verletzung des Schädels mit einer hochsignifikanten Häufung in der Explosionsgruppe ( $p < 0,001$ ). Insgesamt zeigt sich mit n= 107 Frakturen eine deutliche Häufung knöcherner Verletzungen an den Extremitäten. In der Detailbetrachtung ergeben sich, abgesehen von knöchernen Schädelverletzungen, keine signifikanten Unterschiede in der Verteilung der Frakturen nach Körperregionen zwischen Schuss- und Explosionsverletzten.

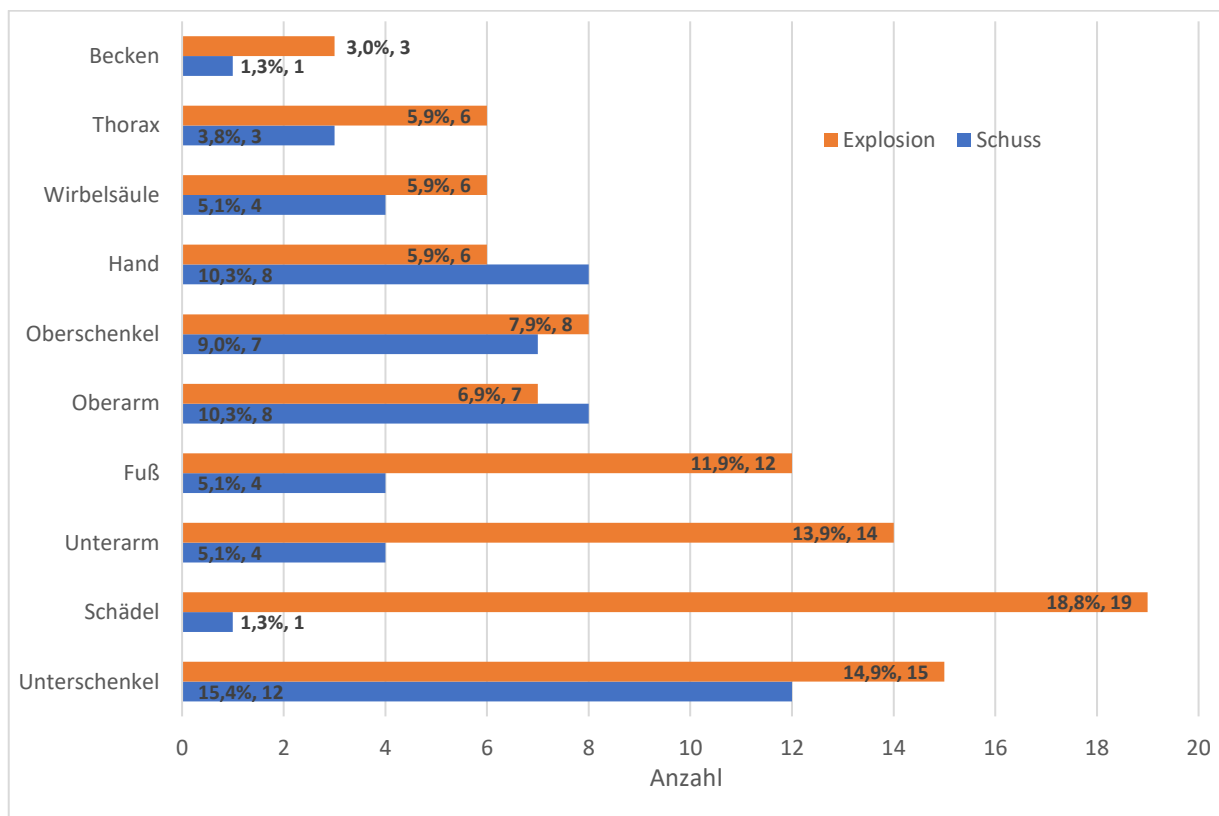


Abbildung 23: Frakturverteilung

#### 4.4 Damage control surgery

Bei n=105 Patienten der Studienkohorte wurden insgesamt n=167 DCS-Eingriffe durchgeführt. Nicht bei jeder Verletzung ist ein initialer chirurgischer Eingriff im Sinne des DCS Konzeptes notwendig. Bei 65,4 % der Schussverletzten und 53,5% der Explosionsverletzten wurden initiale DCS Eingriffe durchgeführt. Teilweise sind mehrere DCS Manöver am gleichen Patienten notwendig. Bei den Patienten der Explosionsgruppe wurden daher mit median 2,0 (1/ 4) DCS Eingriffen pro Patient signifikant mehr DCS Eingriffe pro Patient durchgeführt, als bei Schussverletzten (1/ 1/ 3). Von n=21 Patienten mit Verbrennungen benötigten n=8 Patienten einen operativen Eingriff durch eine Escharotomie. Alle Verbrennungspatienten, die eine Escharotomie erfuhren, waren Teil der Explosionsgruppe (p=0,01). Explosionsverletzte erfuhren weiterhin signifikant häufiger DCS Eingriffe an den Extremitäten (p=0,03) und am Schädel (p=0,01).

Tabelle 7: DCS Eingriffe nach Körperregion

| Item   | Schuss<br>(n=78) | Schuss<br>(%) | Explosion<br>(n=101) | Explosion<br>(%) | p=               |
|--|------------------|---------------|----------------------|------------------|------------------|
| DCS initial                                      | 51               | 65,4%         | 54                   | 53,5%            | 0,13             |
| DCS Eingriffe<br>Summe                           | 65               |               | 102                  |                  |                  |
| DCS Eingriffe pro<br>Patient Median<br>(Min/Max) | 1,0<br>(1 / 3)   |               | 2,0<br>(1 / 4)       |                  | <b>&lt;0,001</b> |
| DCS Escharatomie                                 | 0                |               | 8                    | 7,9%             | <b>0,01</b>      |
| DCS Abdomen                                      | 6                | 7,7%          | 7                    | 6,9%             | 1,00             |
| DCS Hals und Thorax                              | 5                | 6,4%          | 12                   | 11,9%            | 0,31             |
| DCS Gefäße                                       | 7                | 9,0%          | 19                   | 18,8%            | 0,86             |
| DCS Wirbelsäule                                  | 3                | 3,8%          | 3                    | 3,0%             | 1,00             |
| DCS Extremitäten                                 | 44               | 56,4%         | 40                   | 39,6%            | <b>0,03</b>      |
| DCS Schädel                                      | 0                | 0,0%          | 13                   | 12,9%            | <b>0,01</b>      |



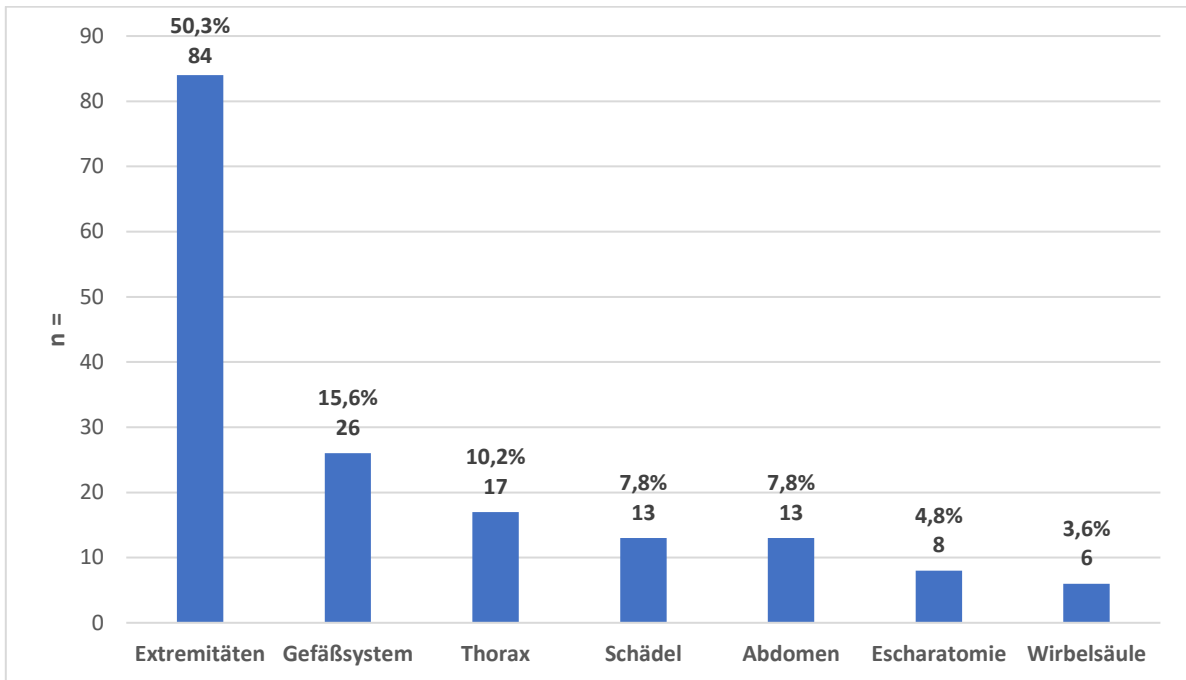
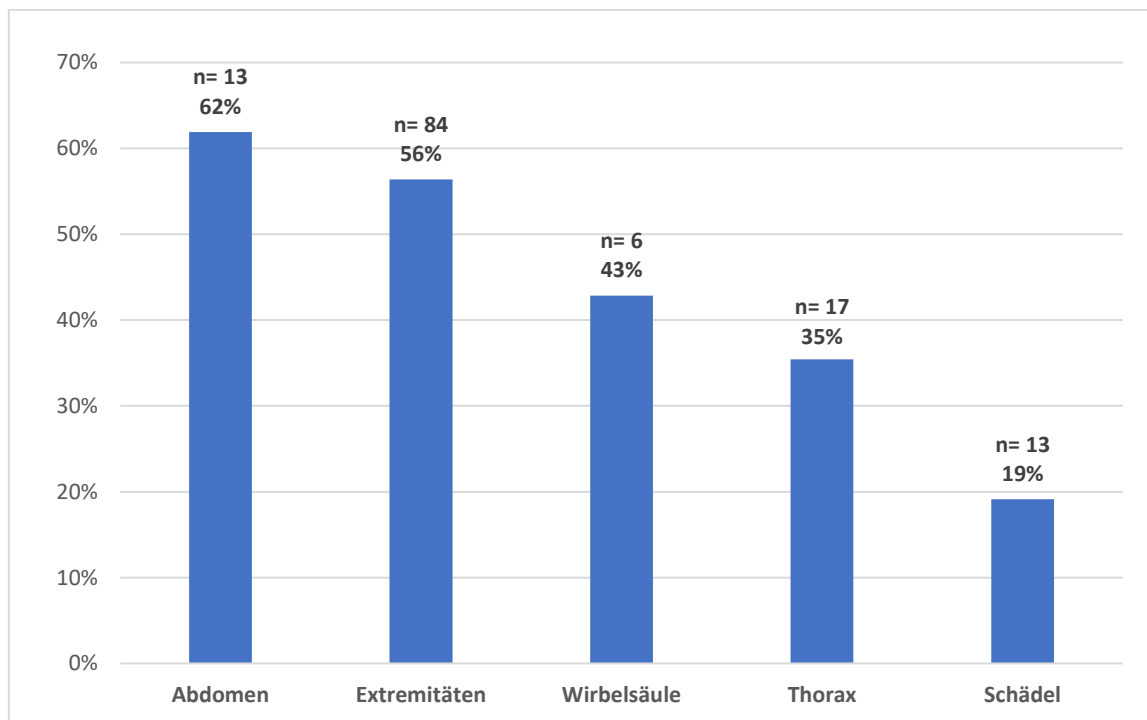


Abbildung 24: DCS Eingriffe nach Körperregion

Tabelle 8: DCS bei Extremitätenverletzung

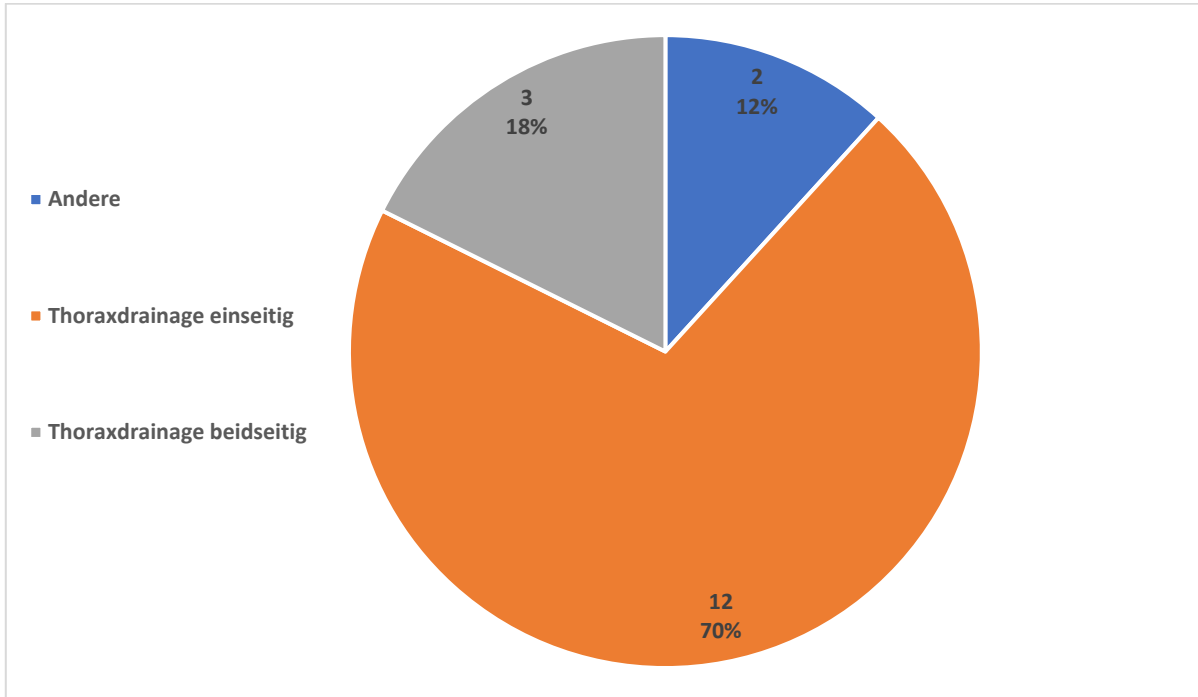
| Item                  | Schuss<br>(n=78) | Schuss<br>(%) | Explosion<br>(n=101) | Explosion<br>(%) | p           |
|-----------------------|------------------|---------------|----------------------|------------------|-------------|
| Primäre Amputation    | 2                | 2,6%          | 16                   | 15,8%            | <b>0,02</b> |
| Fixateur externe      | 26               | 33,3%         | 19                   | 18,8%            | <b>0,04</b> |
| Kompartmentspaltung   | 4                | 5,1%          | 9                    | 8,9%             | 0,40        |
| Debridement           | 65               | 83,3%         | 74                   | 73,3%            | 0,15        |
| Lavage                | 64               | 82,1%         | 66                   | 65,3%            | <b>0,02</b> |
| Vakuumtherapie        | 12               | 15,4%         | 16                   | 15,8%            | 1,00        |
| Offene Wundbehandlung | 28               | 35,9%         | 48                   | 47,5%            | 0,13        |
| Primärverschluss      | 34               | 43,6%         | 29                   | 28,7%            | <b>0,04</b> |

Insgesamt wurden bei n=82 Patienten DCS Eingriffe an den Extremitäten durchgeführt. Hierunter fallen n=16 Majoramputationen und n=2 Minoramputationen. Beide Minoramputationen erfolgten bei Schussverletzungen im Bereich der Hand. Explosionsverletzte erfuhren signifikant häufiger primäre Amputationen (p=0,02). Schussverletzte erhielten signifikant häufiger eine Fixateuranlage (p=0,04), eine Wundlavage (p=0,02) oder einen primären Wundverschluss (p=0,04). Schwerpunkt der DCS ist die Versorgung der Extremitätenverletzungen. Bei n=149 Patienten mit Extremitätenverletzungen wurden n=82 DCS-Eingriffe durchgeführt. Von n=26 DCS Eingriffen am Gefäßsystem entfielen n=21 auf Patienten mit Extremitätenverletzungen.



**Abbildung 25: DCS absolute und relative Häufigkeit**

Verletzungen des Abdomens (n=21) und der Wirbelsäule (n=21) sind in der Gesamtpopulation selten, bedurften aber in 62% und 43% der Fälle einen initialen DCS-Eingriff. Schädelverletzungen sind häufiger (n=68), erhielten jedoch nur in 19% der Fälle ein DCS Manöver. Extremitätenverletzungen sind die häufigste Verletzungsentität und bedurften in 56% der Fälle einen DCS-Eingriff.



**Abbildung 26: DCS an Hals und Thorax**

Bei n= 17 DCS- Eingriffen am Thorax und Hals handelt es sich bei n=12 um die Anlage einer einseitigen, bei n=3 um die Anlage einer beidseitigen Thoraxdrainage. Bei den übrigen n=2 Fällen erfolgte eine Blutungskontrolle nach Halsdurchschuss und eine Exploration eines tangentialen, thorakalen Schusskanals.

## 4.5 Chirurgische Sekundärversorgung

### 4.5.1 Weichteilmanagement

Die mediane Anzahl an notwendigen Operationen bis zur definitiven Weichteildeckung betrug 2,0. Die definitive Weichteildeckung konnte median nach 12,0 Tagen realisiert werden und dauert bei Patienten mit Explosionsverletzungen mit median 14,0 Tage tendenziell ( $p=0,20$ ) länger als bei Schussverletzten. Das initial avisierte, chirurgische Konzept zur plastischen Deckung des Weichteildefektes musste in  $n=19$  Fällen und signifikant häufiger ( $p=0,05$ ) in der Explosionsgruppe gewechselt werden. In  $n=56$  Fällen konnte nach erfolgter chirurgischer Wundkonditionierung ein Sekundärverschluss ohne plastische Deckung erreicht werden. Bei  $n=43$  Patienten wurde der Defekt mittels autologer Spalthaut gedeckt und hierbei in  $n=16$  Fällen durch das Aufbringen eines gitternetzartigen Milchsäurepolymers (Matriderm®, sorbion austria, Zwölfaxingen, Österreich)) vorbereitet. Bei  $n=21$  Patienten war eine lappenplastische Deckung notwendig. In  $n=24$  Fällen war keine definitive Weichteildeckung möglich, sodass der Wundverschluss mittels Wundheilung per secundam realisiert werden musste. In den Verfahren zur Weichteildeckung ergaben sich in der Subgruppenanalyse keine signifikanten Unterschiede.

Tabelle 9: Sekundäres Weichteilmanagement

| Item   | Schuss<br>(n=78) | Schuss<br>(%) | Explosion<br>(n=101) | Explosion<br>(%) | p           |
|--|------------------|---------------|----------------------|------------------|-------------|
| Wechsel initiales Weichteilkonzept                   | 4                | 5,1%          | 15                   | 14,9%            | <b>0,05</b> |
| MESH   | 17               | 21,8%         | 26                   | 25,7%            | 0,60        |
| Matriderm  | 7                | 9,0%          | 10                   | 9,9%             | 1,00        |
| Sekundärverschluss                                   | 27               | 34,6%         | 29                   | 28,7%            | 0,42        |
| Lappenplastik  | 9                | 11,5%         | 12                   | 11,9%            | 1,00        |
| Per secundam   | 11               | 14,1%         | 13                   | 12,9%            | 0,83        |
| Operationen bis Weichteilverschluss Median (Min/Max) | 2,0<br>(1 / 13)  |               | 2,0<br>(1 / 17)      |                  | 0,58        |
| d bis Weichteilverschluss Median (Min/Max)           | 7,0<br>(1 / 474) |               | 14,0<br>(1 / 302)    |                  | 0,20        |

#### 4.5.2 Frakturversorgung

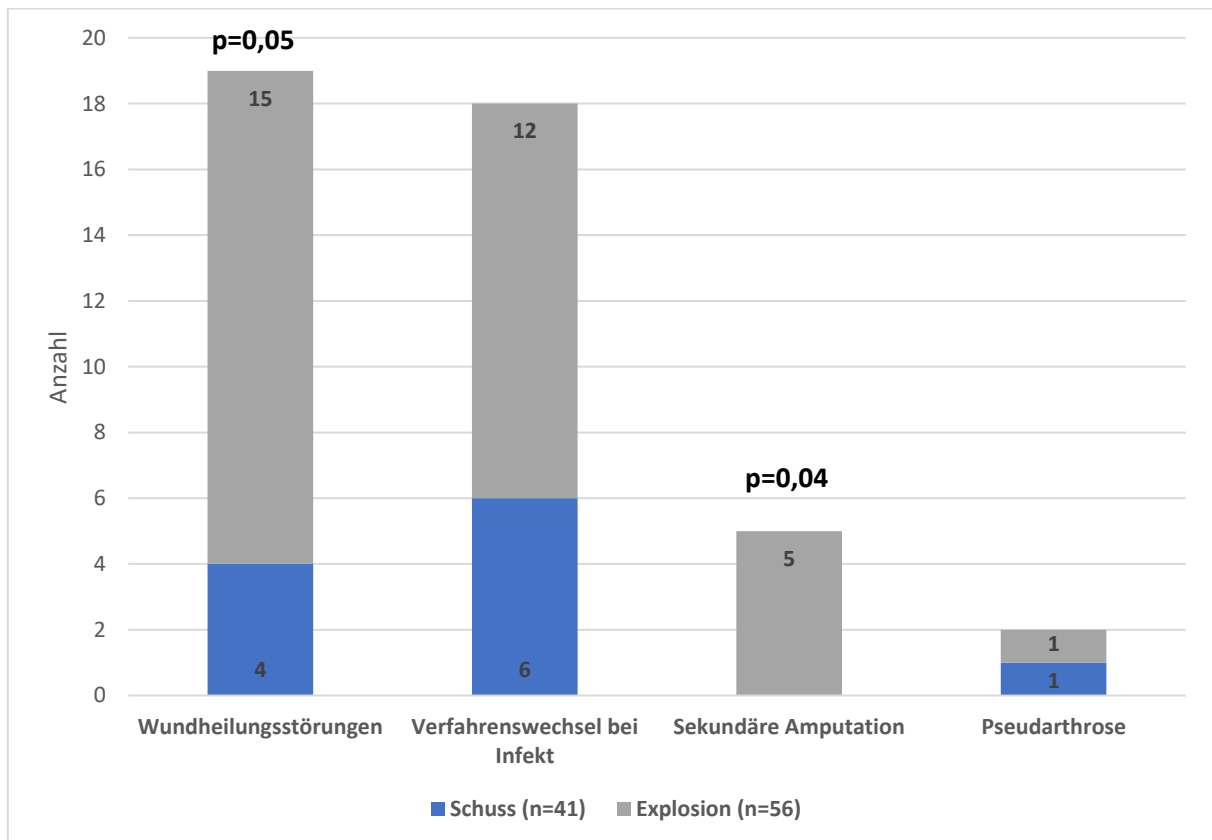
Bei n=14 Patienten konnte keine definitive Osteosynthese implementiert werden, sodass die Ausbehandlung im Fixateur externe erforderlich war. N=31 Patienten erhielten eine konservative Frakturbehandlung. Signifikante Verteilungsunterschiede ergaben sich in der Subgruppenanalyse abgesehen von der Zeitspanne bis zur Implementierung nicht.

Tabelle 10: Frakturversorgung

| Item                              | Schuss<br>(n=78) | Schuss<br>(%) | Explosion<br>(n=101) | Explosion<br>(%) | p           |
|-----------------------------------|------------------|---------------|----------------------|------------------|-------------|
| Fraktur                           | 41               | 52,6%         | 56                   | 55,4%            | 0,76        |
| Primäre ORIF                      | 19               | 24,4%         | 33                   | 32,7%            | 0,25        |
| Primäre Amputation                | 2                | 2,6%          | 16                   | 15,8%            | <b>0,01</b> |
| Rekonstruktive ORIF               | 15               | 19,2%         | 26                   | 25,7%            | 0,37        |
| Ausbehandlung in Fixateur         | 7                | 9,0%          | 7                    | 6,9%             | 0,78        |
| TEP Implantation                  | 1                | 1,3%          | 1                    | 1,0%             | 1,00        |
| Amputation sekundär               | 0                |               | 6                    | 5,9%             | <b>0,04</b> |
| Konservative<br>Frakturbehandlung | 13               | 16,7%         | 18                   | 17,8%            | 1,00        |

**Tabelle 11: Osteosynthese- und Weichteilkomplikationen**

| Item                         | Schuss (n=41) | Schuss (%) | Explosion (n=56) | Explosion (%) | p           |
|------------------------------|---------------|------------|------------------|---------------|-------------|
| Verfahrenswechsel bei Infekt | 6             | 14,6%      | 12               | 21,4%         | 0,46        |
| Wundheilungsstörungen        | 4             | 9,8%       | 15               | 26,8%         | <b>0,05</b> |
| Pseudarthrose                | 1             | 2,4%       | 1                | 1,8%          | 1           |
| Sekundäre Amputation         | 0             | 0,0%       | 5                | 8,9%          | <b>0,04</b> |



**Abbildung 27: Osteosynthese- und Weichteilkomplikationen**

Es erfolgte in n=45 Fällen die operative Revision der definitiven osteosynthetischen oder Weichteilversorgung. Hier zeigt sich in keiner der beiden Subgruppen eine signifikante Häufung. Eine signifikante Häufung ( $p=0,05$ ) von Wundheilungsstörungen zeigte sich in der Explosionsgruppe. Ebenso entfielen alle Patienten ( $p=0,04$ ) mit

frustranem Extremitätenerhaltungsversuch und der Notwendigkeit einer zweizeitigen Amputation auf die Explosionsgruppe.

### 4.5.3 Rekonstruktive Chirurgie

N=82 Patienten zeigten Frakturen der langen Röhrenknochen mit potenzieller Rekonstruktionsbedürftigkeit. Im Rahmen der rekonstruktiven Chirurgie war bei n=26 Patienten eine Segmentresektion notwendig. In n=10 Fällen erfolgte eine Kallusdistraction zum Längentransport oder zur Defektrekonstruktion. In n=5 Fällen konnte die Defektstrecke im Masquelet-Verfahren rekonstruiert werden. In n=25 Fällen erfolgte die Implantation autologer Spongiosa und in n=12 Fällen die Interposition eines autologen Knochentransplantates (autologer Fibulaspan oder corticospongiöser Beckenkammspan) in die Defektstrecke. Per Zentrifugation mit Thrombozyten angereichertes, autologes Plasma (GPS®) wurde zur Induktion der Konsolidierung in n=15 Fällen implementiert. In n=22 Fällen erfolgten rekonstruktive Eingriffe außerhalb des Bewegungsapparates, wie etwa Rekonstruktionen des Innenohres (Tympanoplastik, Cochleaimplantation) oder rekonstruktive Eingriffe am Schädeldach nach osteoklastischen Trepanationen.

Tabelle 12: Rekonstruktive Knochenchirurgie

| Item              | Schuss<br>(n=41) | Schuss<br>(%) | Explosion<br>(n=56) | Explosion<br>(%) | p    |
|-------------------|------------------|---------------|---------------------|------------------|------|
| Segmentresektion  | 10               | 24,4%         | 16                  | 28,6%            | 0,67 |
| GPS               | 9                | 22,0%         | 6                   | 10,7%            | 0,28 |
| Spongiosa         | 11               | 26,8%         | 14                  | 25,0%            | 1,00 |
| Interponat        | 6                | 14,6%         | 6                   | 10,7%            | 0,77 |
| Kallusdistraction | 4                | 9,8%          | 6                   | 10,7%            | 1,00 |
| Masquelet         | 3                | 7,3%          | 2                   | 3,6%             | 0,65 |
| Andere            | 7                | 17,1%         | 15                  | 26,8%            | 0,26 |

## 4.6 Komplikationen

### 4.6.1 Systemische Komplikationen

Bei n=44 Patienten sind schwere systemische Komplikationen im Laufe der Behandlung entstanden. Eine signifikante Häufung wies hier das Auftreten eines ARDS in der Explosionsgruppe auf ( $p=0,01$ ). Weiterhin zeigen Patienten nach Explosionsverletzungen tendenziell häufiger das klinische Bild einer Sepsis ( $p=0,30$ ), einer Pneumonie ( $p=0,13$ ) oder eines Multiorganversagens ( $p=0,23$ ). N=3 Patienten sind im Laufe der Behandlung verstorben. In der Studienkohorte beträgt die Mortalität 1,7%.

Tabelle 13: Systemische Komplikationen

| Item        | Schuss<br>(n=78) | Schuss<br>(%) | Explosion<br>(n=101) | Explosion<br>(%) | p           |
|-------------|------------------|---------------|----------------------|------------------|-------------|
| ARDS        | 2                | 2,6%          | 14                   | 13,9%            | <b>0,01</b> |
| Sepsis      | 2                | 2,6%          | 7                    | 6,9%             | 0,3         |
| MOV         | 1                | 1,3%          | 5                    | 5,0%             | 0,23        |
| Reanimation | 3                | 3,8%          | 3                    | 3,0%             | 1           |
| Pneumonie   | 0                |               | 4                    | 4,0%             | 0,13        |
| Tod         | 1                | 1,3%          | 2                    | 2,0%             | 1           |



#### 4.6.2 Mikrobiologische Auswertung

Bei n=179 Pat konnten im Rahmen der Behandlung n=103 Keimnachweise erbracht werden. Diese verteilen sich auf n=39 extravulnärer Oberflächenbesiedlungen, n=32 Wundkontaminationen ohne klinisches Korrelat einer Infektion und n=32 Keimnachweise bei klinisch vorliegender Wundinfektion. Damit stammen circa zwei Drittel (n=64) der Keimnachweise aus Wundabstrichen.

**Tabelle 14: Verteilung der Keimnachweise**

| Item                  | Schuss<br>(n=78) | Schuss<br>(%) | Explosion<br>(n=101) | Explosion<br>(%) | p    |
|-----------------------|------------------|---------------|----------------------|------------------|------|
| Keimnachweis          | 35               | 44,9%         | 46                   | 45,5%            | 1,00 |
| Keimnachweise absolut | 42               |               | 61                   |                  |      |
| Besiedelung           | 18               | 23,1%         | 21                   | 20,8%            | 0,72 |
| Kontamination         | 14               | 17,9%         | 18                   | 17,8%            | 1,00 |
| Infektion             | 10               | 12,8%         | 22                   | 21,8%            | 0,17 |
| Multiresistenter Keim | 22               | 28,2%         | 25                   | 24,8%            | 0,61 |

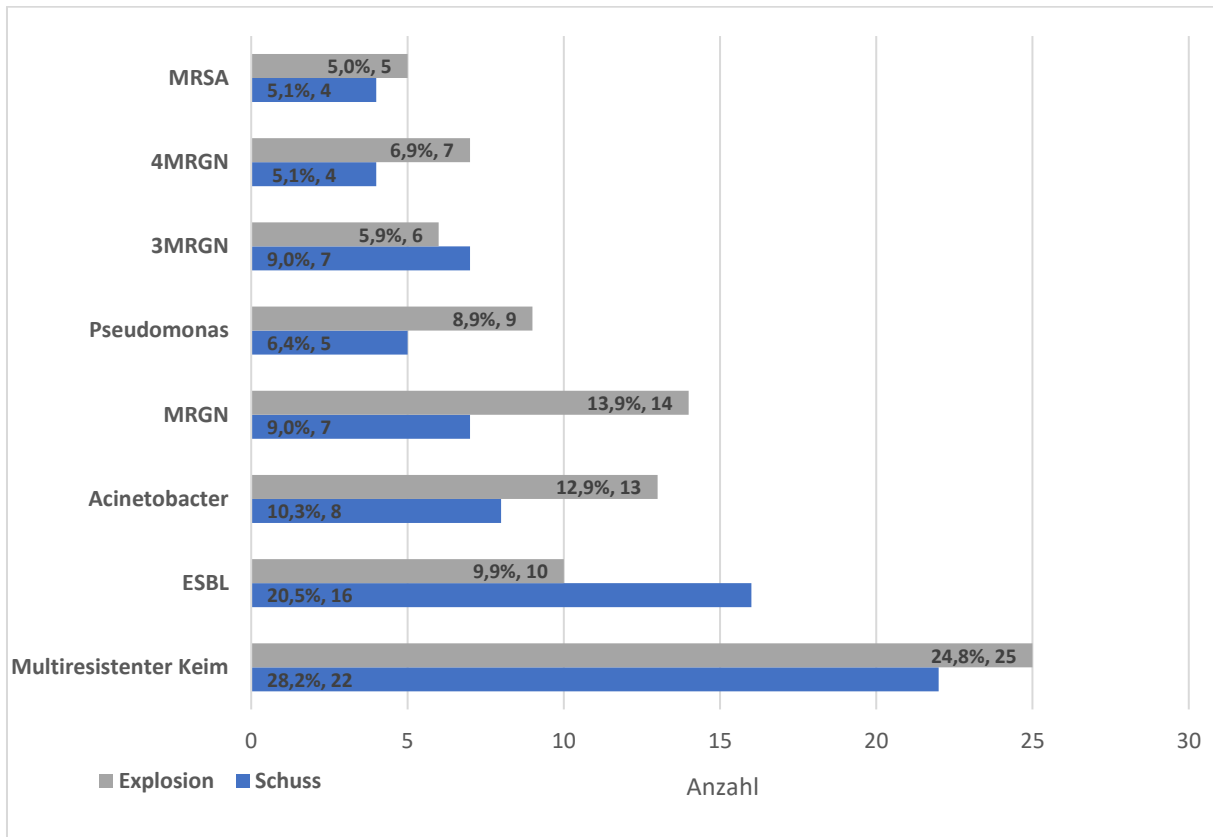
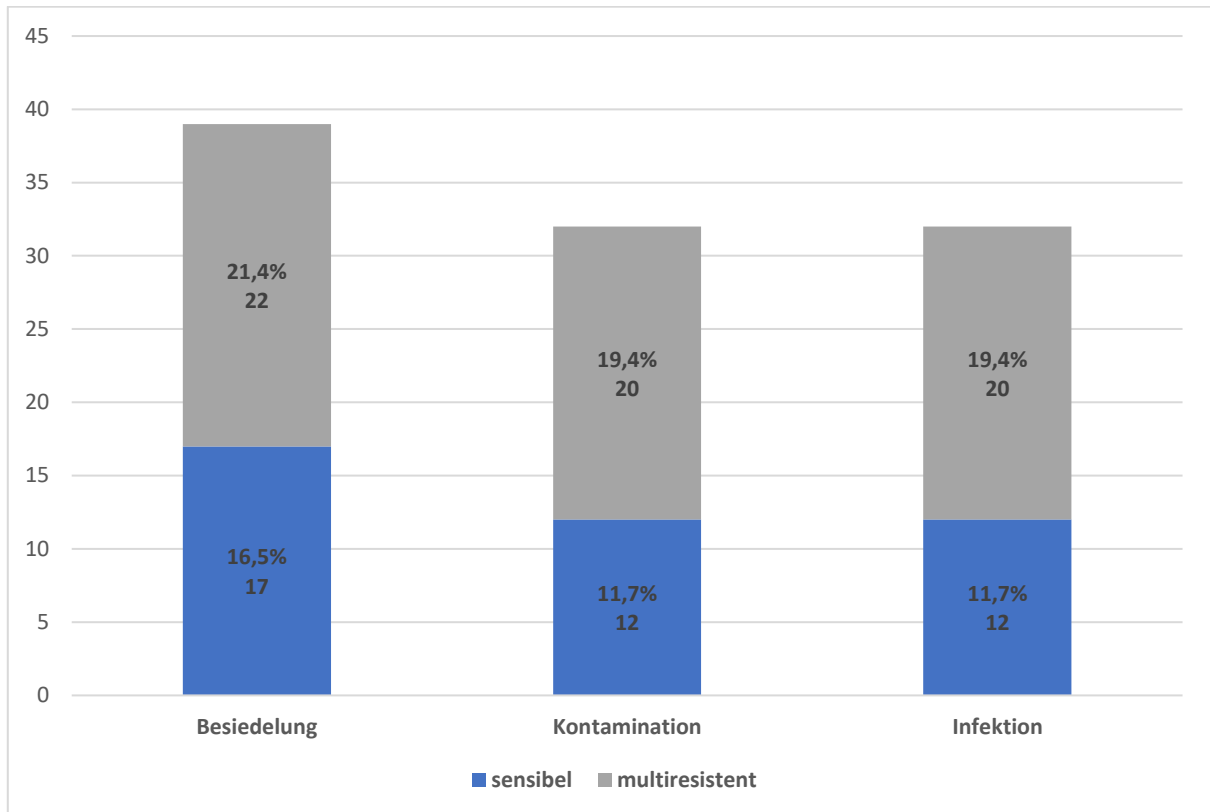


Abbildung 28: Keimspektrum

Die positiven Abstriche erbrachten in n=47 Fällen den Nachweis eines multiresistenten Erregers. Es konnten n=21 Acinetobacter baumannii und n=26 ESBL nachgewiesen werden. In der Gruppe der MRGN konnten n=13 3-MRGN und n=11 4-MRGN nachgewiesen werden.



**Abbildung 29: Sensibilität und Keimnachweis**

Aufgeteilt nach dem Resistenzspektrum zeigt sich bei Besiedelungen ( $p=0,01$ ), Kontamination ( $p=0,002$ ) und Infektionen ( $p<0,001$ ) eine teilweise hochsignifikante Häufung multiresistenter Keime. Abbildung 24 zeigt die Verteilung der insgesamt 103 positiven Keimnachweise nach dem Resistenzspektrum.

Tabelle 15: Behandlungsverlauf nach Resistenzlage

| Item   | Multiresistenter Erreger (n=47) | Multiresistenter Erreger (%) | Sensibler Erreger (n=34) | Sensibler Erreger (%) | p      |
|--|---------------------------------|------------------------------|--------------------------|-----------------------|--------|
| Operationen bis Weichteilverschluss Median (Min/Max) | 3,0<br>(1 / 14)                 |                              | 2,5<br>(1 / 7)           |                       | <0,001 |
| Tage bis Weichteilverschluss Median (Min/Max)        | 56,0<br>(5 / 202)               |                              | 6,5<br>(1 / 34)          |                       | <0,001 |
| Tage Behandlungsdauer Median (Min/Max)               | 75,0<br>(18 / 338)              |                              | 25,5<br>(8 / 82)         |                       | <0,001 |
| Lappenplastik  | 11                              | 23,4%                        | 4                        | 11,8%                 | 0,25   |
| Revision   | 22                              | 46,8%                        | 8                        | 23,5%                 | 0,04   |
| Verfahrenswechsel bei Infekt                         | 11                              | 23,4%                        | 5                        | 14,7%                 | 0,41   |
| Wundheilungsstörung                                  | 13                              | 27,7%                        | 4                        | 11,8%                 | 0,10   |
| Sekundäre Amputation                                 | 2                               | 4,3%                         | 2                        | 5,9%                  | 1,00   |
| Ausbehandlung im Fixateur                            | 10                              | 21,3%                        | 1                        | 2,9%                  | 0,21   |

Die Patienten mit nachgewiesenen multiresistenten Erregern bedürfen hochsignifikant ( $p < 0,001$ ) mehr Operationen und Tage bis zum definitiven Weichteilverschluss. Weiterhin ist die Revisionsrate bei Nachweis eines multiresistenten Erregers signifikant höher ( $p = 0,04$ ) als beim Nachweis eines sensiblen Erregers.

## 4.7 Funktionelles Outcome

In der Gesamtkohorte erlangten die Patienten nach median 32,5 Tagen (1 / 448) die Vollbelastbarkeit. Der überwiegende Teil der Gesamtkohorte erreicht als Behandlungsergebnis funktionell eine restitutio ad integrum (mehr als zwei Drittel bei beiden Verletzungsentitäten). Bei n= 59 Patienten persistieren sensomotorische (n=46) und/ oder biomechanische (n=13) Defizite. Es zeigten sich n=32 Patienten mit motorischen Paresen, n=40 Patienten mit Kraftminderung und n=16 Patienten mit Umfangsminderung an den Extremitäten. N=41 Patienten hatten ein persistierendes sensibles Defizit. Patienten mit Explosionsverletzungen haben signifikant häufiger ( $p=0,04$ ) biomechanischen Defizite. Bei allen diesen Patienten (n=13) mit verbliebenen biomechanischen Defiziten zeigt sich ein Längenverlust der betroffenen Extremität (n=13).

Tabelle 16: Funktionelles Outcome

| Item   | Schuss<br>(n=78)  | Schuss<br>(%) | Explosion<br>(n=101) | Explosion<br>(%) | p    |
|--|-------------------|---------------|----------------------|------------------|------|
| Zeit bis Vollbelastung in d<br>Median<br>(Min/Max) | 48,5<br>(1 / 448) |               | 31,0<br>(1 / 215)    |                  | 0,40 |
| Funktionelle Restitutio ad<br>integrum             | 58                | 74,4%         | 70                   | 69,3%            | 0,51 |
| Sensomotorisches Defizit                           | 20                | 25,6%         | 26                   | 25,7%            | 1,00 |
| Motorische Parese                                  | 16                | 20,5%         | 16                   | 15,8%            | 0,44 |
| Kraftminderung                                     | 19                | 24,4%         | 21                   | 20,8%            | 0,59 |
| Umfangsminderung                                   | 7                 | 9,0%          | 9                    | 8,9%             | 1,00 |
| Sensibilität                                       | 20                | 25,6%         | 21                   | 20,8%            | 0,48 |
| Biomechanisches Defizit                            | 2                 | 2,6%          | 11                   | 10,9%            | 0,04 |
| Längenverlust                                      | 1                 | 1,3%          | 6                    | 5,9%             | 0,04 |
| Rotationsfehler                                    | 0                 |               | 1                    | 1,0%             | 1,00 |

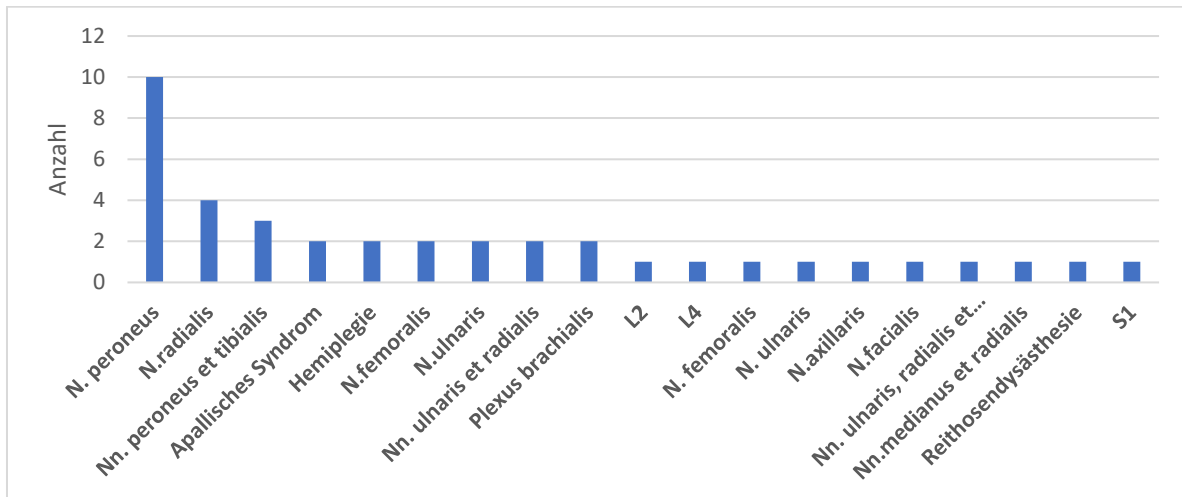


Abbildung 30: Verteilung des Sensibilitätsdefizites

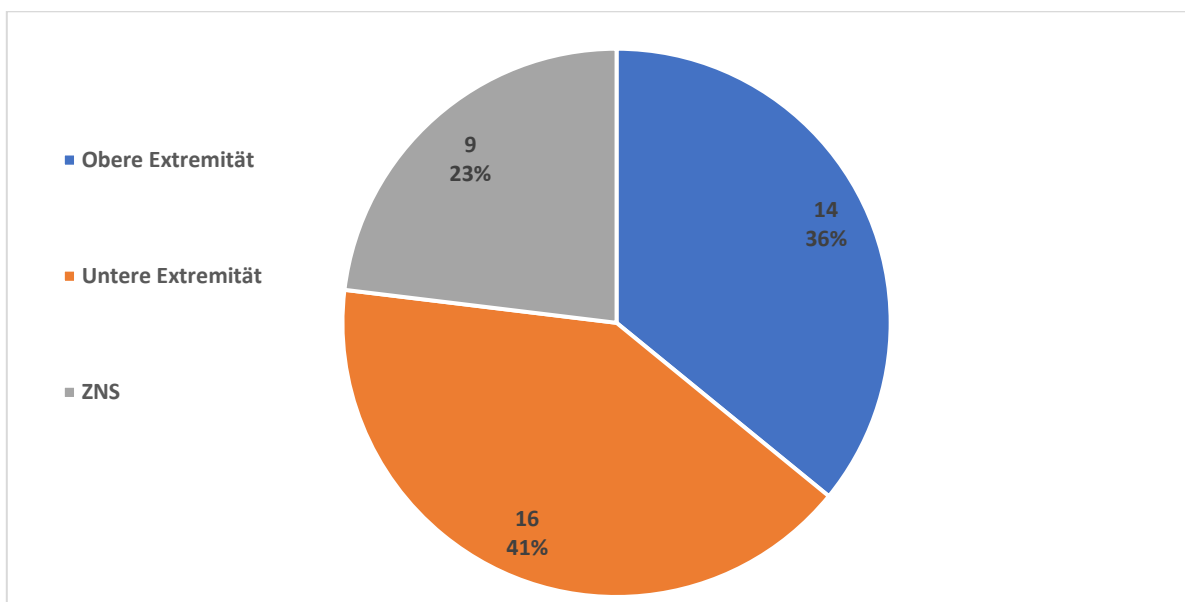


Abbildung 31: Sensibilitätsdefizit nach Körperregion

Das neurologische Defizit lässt sich am häufigsten dem N. peroneus zuordnen. Bei n=7 Patienten zeigten sich sensomotorische Defizite der Extremitäten im Versorgungsgebiet mehrerer peripherer Nerven. Gruppiert man die Defizite nach Körperregionen, so verteilen sich n=30 auf die Extremitäten und die übrigen n=9 auf zentralnervöse Defizite, wie Hemiplegien und Querschnittssyndrome.

## 4.8 Psychiatrische Komorbidität

In der Gesamtkohorte bedurften n=87 Patienten einer psychiatrischen Mitbehandlung während des Krankenhausaufenthaltes. Eine hochsignifikante Häufung ( $p < 0,001$ ) zeigt sich in der Gruppe der Explosionsverletzten (n=63) und in der Subgruppe der Einsatzverletzten (n=67). Im Median betrug die Behandlungsdauer 2,0 Monate (0 / 12).

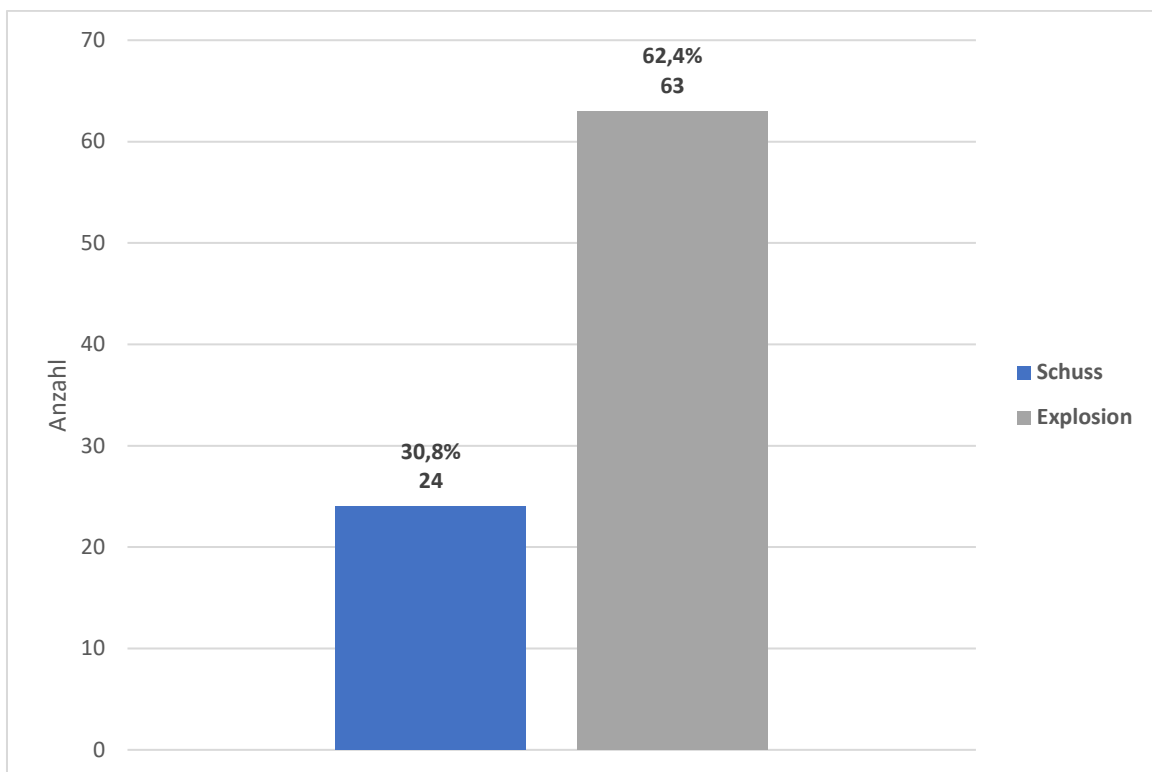


Abbildung 32: Psychiatrische Mitbehandlung

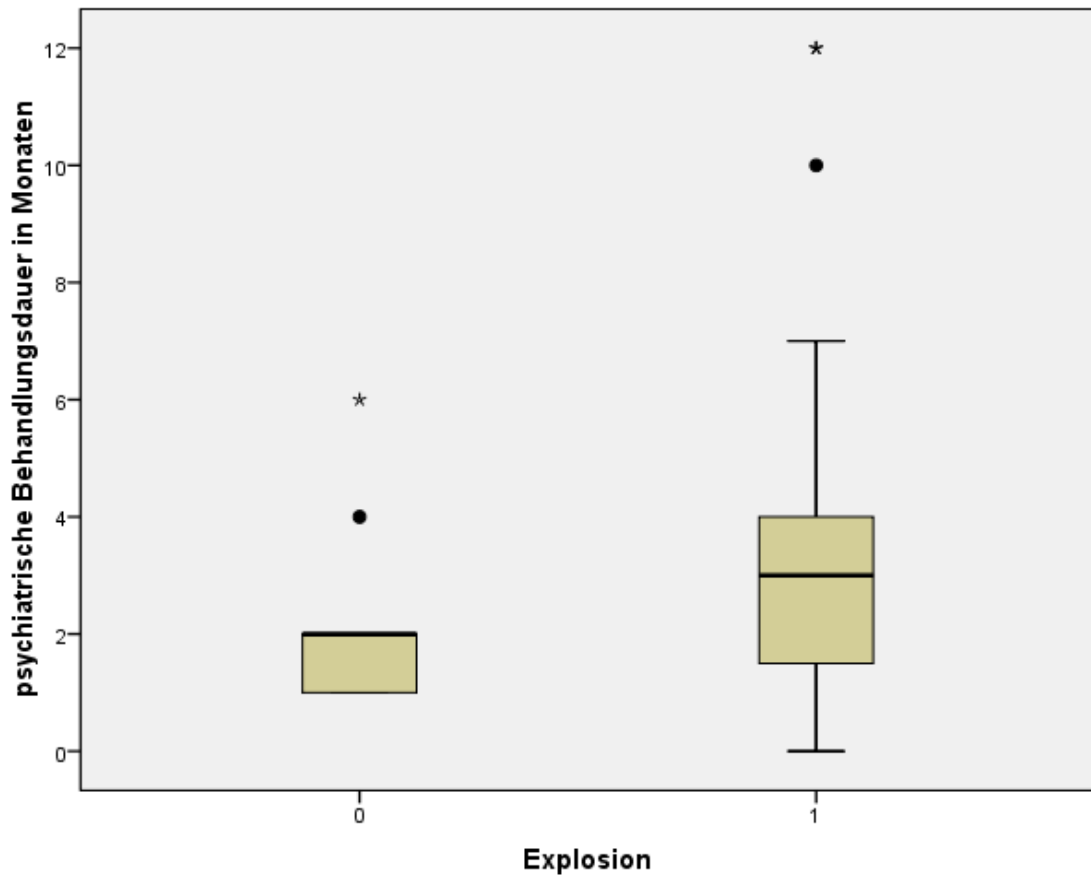


Abbildung 33: Psychiatrische Behandlungsdauer



## 4.9 Posttraumatische Lebensqualität

Der mediane follow-up Zeitraum zur Befragung entsprach 5,6 Jahre (0,9 / 11,7). In der Gesamtkohorte betrug die Physical Health (PH) median 62,5 (28 / 83) und der Mental Health (MH) median 65,5 (26 / 81). Explosionsverletzte haben einen tendenziell ( $p=0,07$ ) niedrigeren MH als Schussverletzte. Explosionsverletzte haben mit 50,0 einen signifikant ( $p=0,03$ ) niedrigeren Vitalitäts-Score als Schussverletzte. Der SF 63-Score betrug median 65,5 (27 / 79). Bei der Auswertung der PTSS-10-Scores zeigen Explosionsverletzte einen tendenziell ( $p=0,07$ ) höheren Score als Schussverletzte.

Patienten mit begleitendem SHT haben mit median 53,5 eine tendenziell ( $p=0,08$ ) geringere MH als Patienten ohne SHT (68,0). Bei der Betrachtung dieser Subgruppe bezüglich der PH ergaben sich keine signifikanten Unterschiede. Bei Patienten mit und ohne Verletzung der unteren Extremität ergaben sich keine signifikanten Unterschiede bezüglich der PH und MH.

Tabelle 17: SF-36 und PTSS-10

| Item                         | Schuss<br>(n=78)  | Explosion<br>(n=101) | Gesamt<br>(n=179) | p           |
|------------------------------|-------------------|----------------------|-------------------|-------------|
| Fragebogen beantwortet       | 16                | 20                   | 36                | 1,00        |
| SF-36 PH Median<br>(Min/Max) | 67,5<br>(35 / 83) | 62,0<br>(28 / 81)    | 62,5<br>(28 / 83) | 0,27        |
| SF-36 MH Median<br>(Min/Max) | 71,5<br>(27 / 81) | 57,5<br>(26 / 77)    | 65,5<br>(26 / 81) | <b>0,07</b> |
| SF-36 Median<br>(Min/Max)    | 68,5<br>(36 / 79) | 61,5<br>(27 / 76)    | 65,5<br>(27 / 79) | 0,15        |
| PTSS-10 Median<br>(Min/Max)  | 15,5<br>(10 / 36) | 23,5<br>(10 / 40)    | 20<br>(10 / 40)   | <b>0,07</b> |

## 5. Diskussion

Eine Kernfragestellung dieser Arbeit war, ob sich die Subgruppen der Schuss- und Explosionsverletzten hinsichtlich der Verletzungsentstehung und des Verletzungsmusters unterscheiden. In der Gesamtkohorte hatten 59% der Patienten ihre Verletzung im Rahmen von Explosionsverletzung erlitten. Das mediane Verletzungsalter war 27,8 Jahre (3,3 / 86,3) und der größte Teil der Verletzten waren männlichen Geschlechts. Das Gesamtkollektiv ist damit deutlich jünger als zum Beispiel das Basiskollektiv des Jahresberichtes des Schwerverletztenregisters der DGU® 2018 (52,5 Jahre). [201] Es konnte gezeigt werden, dass teilweise hochsignifikante Unterschiede in den Subgruppen der Schuss- und Explosionsverletzten bestehen. 50% der Schussverletzungen und 78% der Explosionsverletzungen sind im Rahmen bewaffneter Konflikte entstanden. In der Studienkohorte erleiden Explosionsverletzte ihre Verletzung signifikant häufiger ( $p < 0,001$ ) durch bewaffnete Konflikte im Rahmen von Auslandseinsätzen der Bundeswehr als durch Unfallereignisse. Bei Explosionsverletzungen weisen die Patienten hochsignifikant ( $p < 0,001$ ) häufiger eine Polytraumatisierung auf und haben mit durchschnittlich 3,8 (SD 2,1) Verletzungen pro Patient eine hochsignifikant ( $p < 0,001$ ) höhere Verletzungsdichte als Schussverletzte. Explosionsverletzte zeigen signifikant häufiger Verbrennungen ( $p < 0,001$ ), FKE ( $p = 0,02$ ) und Begleitverletzungen wie Trommelfellrupturen ( $p < 0,001$ ) und Tinnitus ( $p < 0,001$ ).

Beide Gruppen zeigen schwerpunktmäßig Verletzungen der Extremitäten, Explosionsverletzte jedoch hochsignifikant häufiger Verletzungen des Schädels ( $p < 0,001$ ) und des Thorax ( $p < 0,001$ ). Die differenzierte Betrachtung der gruppenspezifischen Verletzungsmuster unterstreicht analog zur Verteilung der Polytraumata den Charakter der Explosionsverletzung als systemisches, mehrdimensionales Ganzkörpertrauma, wohingegen Schussverletzte häufiger singuläre Verletzungen zeigen.

Die Stärke der Studie besteht darin, dass keine vergleichbaren Studien zu dem expliziten Verletzungsmuster Schuss- und Explosionsverletzungen in Deutschland existieren und hier auf eine vergleichsweise hohe Fallzahl an Schuss- und Explosionsverletzungen aus dem monozentrischen Patientenpool des Bundeswehr-

zentralkrankenhauses zurückgegriffen werden konnte. Die im Bundeswehrzentralkrankenhaus Koblenz behandelten Schuss- und Explosionsverletzten sind aufgrund der generellen Zusammensetzung der Patientenkohorte größtenteils Soldaten und die betrachteten Verletzungsmuster sind im zivilmedizinischen Umfeld in Deutschland selten. [1] Die Datenlage zu Schuss- und Explosionsverletzungen in Deutschland ist aufgrund des geringen Aufkommens spärlich. Kulla et al. konnten in einer nationalen Studie über einen Zeitraum von fast 20 Jahren lediglich n=137 Patienten mit Explosionsverletzungen und Bieler et al. in einem Zeitraum von 3 Jahren n=305 Schussverletzungen identifizieren. [1, 202] Beide Studien diskutieren eine zivile Patientenkohorte. Aktuelle, nationale Studien zu Schuss- und Explosionsverletzungen vor einem militärmedizinischen Gesichtspunkt fehlen bis heute.

In der Literatur werden bei Einsatzverletzten aus OIF und OEF Häufigkeiten der Polytraumatisierung von 27,1% -64,3% angegeben. [137, 153] Die Häufigkeit von Polytraumata in der Studie liegt mit 39% im Rahmen der in der Literatur beschriebenen Häufigkeiten. Große Kohortenstudien aus den vereinigten Staaten beschreiben bei Einsatzverletzten amerikanischen Soldaten einen Anteil von Explosionsverletzten von 48,3% - 87%. [7, 9, 159, 161] In dieser Studienkohorte beträgt der Anteil von Explosionsverletzten 59%. Der tendenziell höhere Anteil Explosionsverletzter in der amerikanischen Literatur wird von uns auf den vermehrten Einsatz von Bodentruppen durch die amerikanischen Streitkräfte und damit eine höhere Expositionswahrscheinlichkeit gegenüber IED-Angriffen und Landminen zurückgeführt. Das mediane Verletzungsalter ist in dieser Studienkohorte mit 27,8 Jahren (3,3 / 86,3) höher als in militärischen Vergleichskollektiven (24,4 -25 Jahre). [137, 159] Der Anteil von Polytraumata in der Explosionsgruppe (55,4%) deckt sich mit den zum Beispiel von Kulla et al. beschriebenen Daten (52,6%). [1, 153, 203] Mit durchschnittlich 3,8 (SD 2,1) Verletzungen pro Patient zeigen die Explosionsverletzten der Studienkohorte eine geringere Verletzungsdichte als in Vergleichskohorten beispielhaft von Fleming et al. (6,6). [204] Diesen Umstand führt der Autor ebenfalls auf den vermehrten Einsatz von Bodentruppen durch das US-Militär und die damit verbundene Häufigkeit von DCBI zurück. Bieler et al. beschreiben bei zivilen Schussverletzten eine schwerpunktmäßige Verletzung des Thorax (20%) und des

Kopfes (49,5%) hier mit häufig suizidalem Hintergrund und Ramasamy et. al konnten im militärchirurgischen Kontext zeigen, dass Schussverletzungen mit 41,5% schwerpunktmäßig an der unteren Extremität gefolgt von Thorax (24,4%) und Schädel (12,8%) zu finden sind. Die Daten dieser Arbeit bestätigen diesen Schwerpunkt. Auch hier liegt mit 41,0% der Verletzungsschwerpunkt der Schussverletzten bei der unteren Extremität. Eine wie von Ramasamy et al. beschriebene Häufung von Verletzung des Schädels und des Thorax bei Schussverletzungen bestätigen die Daten dieser Arbeit nicht. [205] Ursächlich hierfür kann unter Anderem der Ausschluss der suizidalen Kopfschussverletzungen aus dieser Studie sein. Lediglich 5% der Schussverletzten in der Studienkohorte zeigten eine Verletzung des Schädels und 9% eine Verletzung des Thorax. Dies wird übereinstimmend mit der Literatur auf die zunehmende Verbesserung und Effizienz der ballistischen Schutzausrüstung in bewaffneten Konflikten zurückgeführt. [7, 10]

Die Verletzungscharakteristik der Explosionskohorte deckt sich weitestgehend mit der Literatur. Hurley et al. beschreiben bei Patienten mit Explosionsverletzungen mit einer Häufigkeit von 47% das Schädeltrauma als führende Verletzungsentität. [67] In der hier untersuchten Explosionsgruppe erlitten 26% ein Schädeltrauma. Dennoch stellt das Schädeltrauma übereinstimmend mit der Literatur die häufigste Verletzungsentität in der Explosionsgruppe gefolgt von Verletzungen der oberen (25%) und unteren (19%) Extremität dar. In der Explosionsgruppe zeigt sich weiterhin eine hochsignifikante Häufung von Thoraxtraumata (16%) und BLI (22,8%) im Vergleich zur Schussgruppe. Die Häufigkeit in der Explosionsgruppe ist höher als die in der gängigen Literatur angegebenen Häufigkeiten des Thoraxtraumas (10%) und der BLI (6-11%) bei Explosionsverletzten. [76, 182]

Betrachtet man in dieser Studie die Verteilung des Verletzungsmusters der Schuss- und Explosionsgruppe, so bleibt festzustellen, dass bei Explosionsverletzungen immer mit dem Auftreten einer Polytraumatisierung gerechnet werden muss, wohingegen Schussverletzungen häufig singuläre Verletzungen einer Körperregion darstellen. Verletzungen der Körperhöhlen sind bei Schussverletzungen im militärischen Umfeld als Folge der modernisierten persönlichen Schutzausstattungen seltener geworden, beim Nichtvorhandensein von Schutzausstattung allerdings überproportional häufig. Bei Explosionsverletzungen muss übereinstimmend mit der Literatur mit dem Auftreten

schwerer Schädeltraumata und Thoraxtraumata gerechnet werden. [8, 67] Die Verletzungsschwerpunkte zu erkennen und in das Traumamanagement einfließen zu lassen ist die Herausforderung nicht nur für den Militärchirurgen, sondern im Rahmen der zunehmenden terroristischen Bedrohungslage auch für den zivilen Chirurgen ohne militärchirurgische Expertise.

Die Studie sollte auf nationaler Ebene eine Aufarbeitung zur detaillierten Wund- und Frakturcharakteristik von Schuss- und Explosionsverletzten liefern, um den Vergleich in den Subgruppen führen und die Relevanz für das Management im militärchirurgischen Umfeld und im Rahmen terroristischer Bedrohungslagen ableiten zu können. Es zeigten sich in der differenzierten Betrachtung der Subgruppen signifikante Unterschiede in der Wund- und Frakturcharakteristik, die zwangsläufig Relevanz für das chirurgische Management haben.

Bei 59% der Schussverletzungen ist das Projektilkaliber unbekannt. Bei 21% der Patienten ist die Schussverletzung durch Hochgeschwindigkeitsgeschosse mit NATO-Standardkaliber verursacht. In der Explosionsgruppe sind 45% der Verletzungen durch IED verursacht. Explosionsverletzte zeigen einen tendenziell ( $p=0,07$ ) größeren, begleitenden Weichteilschaden und haben signifikant ( $p=0,02$ ) häufiger Verletzungen vitaler Strukturen als Schussverletzte. 59% aller Patienten zeigten Frakturen, wobei Explosionsverletzte signifikant ( $p=0,02$ ) häufiger mehrere Frakturen hatten als Schussverletzte. Die häufigste Frakturlokalisierung findet sich am Unterschenkel. Eine tendenzielle Häufung von Frakturen des Unterarmes zeigte sich in der Explosionsgruppe ( $p=0,07$ ). In der Gesamtkohorte entfallen 71% aller Frakturen auf die Extremitäten.

Gordon et al. haben in Ihren Arbeiten Weichteilverletzungen und Frakturen als häufigste Begleitverletzungen bei Explosionstraumata beschreiben können. [90] Belmont et al. haben gezeigt, dass Frakturen und Weichteilverletzungen signifikant häufiger durch Explosionsverletzungen (69%) als durch Schussverletzungen (20%) verursacht werden. [206] Akhavan-Sigari et al. konnten zeigen welche Relevanz begleitende Nervenverletzungen bei Schuss- und Explosionsverletzungen im Bereich der oberen Extremitäten haben und dass eine Häufung bei Patienten mit Explosionsverletzungen besteht. [207] Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen übereinstimmend mit der Literatur, dass Weichteil- und Nervenverletzungen, sowie

Frakturen als relevante Läsionsentitäten bei Schuss- und Explosionsverletzungen gehäuft auftreten und Explosionsverletzungen sich hier wiederum durch die Komplexität des Weichteilschadens und multiple Frakturierungen von Schussverletzungen abheben. Eine hohe Relevanz kommt hierbei komplexen Extremitätenverletzungen zu. In der Studienkohorte entfällt mit 71% aller Frakturen ein deutlich größerer Anteil auf die Extremitäten als z. B. in Vergleichskohorten von Owens et al., mit einem Anteil von 26%. [9] Daten zur detaillierten Analyse von Wund- und Frakturcharakteristik bei Schuss- und Explosionsverletzten existieren auf nationaler Ebene nicht. Insofern liefert diese Arbeit erstmals eine intensivere Betrachtung zur Beurteilung dieser Thematik. Aufgrund fehlender Datenlage auf nationaler Ebene ist die Diskussion nur im internationalen Kontext möglich.

Wir konnten zeigen, dass das Projektilkaliber bei Schussverletzungen in einem Großteil der Fälle unbekannt und daher für das chirurgische Management deutlich weniger relevant ist als das Wissen um die zu erwartenden Begleitverletzungen wie Weichteilverletzungen und Frakturen und Grundkenntnisse der Wundballistik. Bei der chirurgischen Versorgung muss der Fokus auf der Wunde und der zu erwartenden Wunddynamik und nicht auf dem verursachenden Projektil liegen. Für Explosionsverletzung belegt auch diese Studie die IED als zentralen Verletzungsursache. Dabei unterstreichen die Daten den mehrdimensionalen Charakter der Explosionsverletzung mit größerem Weichteilschaden und komplexerem Frakturbild.

Neben der Analyse der Verletzungsmuster und Wundcharakteristik war ein zentrales Anliegen der Studie, die chirurgische Primärversorgung und Relevanz der DCS bei Schuss- und Explosionsverletzungen aufzuarbeiten. Es konnte gezeigt werden, wo die chirurgischen Schwerpunkte im initialen Management von Schuss- und Explosionsverletzungen liegen und welche relevanten Unterschiede sich hieraus bezüglich des Managements bei Schuss- oder Explosionsverletzten ergeben.

59% der Patienten in der Gesamtkohorte erhielten mindestens einen Eingriff im Sinne des DCS-Konzeptes. Insgesamt wurden n=167 DCS-Eingriffe bei n=105 Patienten durchgeführt. Explosionsverletzte erhielten mit median 2,0 DCS-Eingriffen hochsignifikant ( $p < 0,001$ ) mehr DCS-Eingriffe pro Patient als Schussverletzte. Von den n=28 Patienten mit Verbrennungen erhielten 28% eine Escharatomie. Alle

Verbrennungspatienten waren Teil der Explosionsgruppe. Von den insgesamt n=167 DCS- Eingriffen wurden 49% an Extremitäten und diese signifikant häufiger ( $p=0,03$ ) bei Explosionsverletzten durchgeführt. Von den n=26 DCS Eingriffen am Gefäßsystem im Sinne lebensrettender, chirurgischer Blutstillung entfallen 81% ( $p<0,001$ ) auf Extremitätenverletzungen. Thoraxverletzungen konnten in 87% der Fälle (n=17) mit mindestens einer Thoraxdrainage adressiert werden. Verletzungen des Abdomens (n=21) und der Wirbelsäule (n=14) sind in der Gesamtkohorte selten, mussten aber in 62% und 43% der Fälle mittels DCS adressiert werden. Schädelverletzungen sind häufig (n=68), wurden nur in 19% der Fälle direkt operativ angegangen. Jeder zehnte Patient erhielt im Rahmen der DCS eine Amputation, bei signifikanter ( $p=0,02$ ) Häufung in der Explosionsgruppe. Bei jedem vierten Patienten wurde die Anlage eines Fixateur externe mit signifikanter ( $p=0,04$ ) Häufung in der Schussgruppe durchgeführt. 78% der Patienten erhielten im Rahmen der chirurgischen Erstversorgung ein Weichteildebridement.

In der aktuellen Literatur sind keine Angaben zur Häufigkeit der DCS in Gesamtkohorten wie Schuss- oder Explosionsverletzten zu finden. Die Arbeiten von Mamczak et al. oder Franks et al. behandeln markante Verletzungsmuster, wie die DCBI, ohne generalisierte Aussagen für die grundlegenden Verletzungsmuster zu treffen. [160, 208] Insofern liefert diese Arbeit erstmals einen Anhaltspunkt mit welcher Häufigkeit von DCS-Eingriffen generell bei Schuss- und Explosionsverletzungen gerechnet werden muss. Die hochsignifikante ( $p<0,001$ ) Häufigkeit der simultanen Durchführung mehrerer DCS-Eingriffe bei Explosionsverletzten steht im Einklang mit der in dieser Studie und in der Literatur aufgezeigten Häufung von Polytraumata in dieser Subgruppe. [7]

Die Arbeit zeigt eindrücklich welchen Stellenwert die Versorgung von kritischen Extremitätenverletzungen und hier explizit die chirurgische Blutungskontrolle im Rahmen der DCS hat. Bei 20% der Patienten, die initial DCS erfuhren, wurden Eingriffe zur lebensrettenden, chirurgischen Blutstillung an den Extremitäten durchgeführt. Damit liegt die Häufigkeit in der Studienkohorte deutlich höher als zum Beispiel von Hinck et al. mit 4,4 -7,0% beschrieben. [120] In der Gesamtkohorte erhielten 15% aller Patienten DCS Eingriffe zur akuten chirurgischen Blutungskontrolle. Die Literatur beschreibt Häufigkeiten von 12% und betont ebenfalls den Stellenwert der

chirurgischen Blutungskontrolle. [209] Die Ergebnisse der Arbeit liefern eindrücklich weitere Evidenz, um die hohe Relevanz der chirurgischen Blutungskontrolle explizit auch beim kombinierten Extremitätentrauma zu unterstreichen.

71% der Frakturen der Studienpopulation zeigten sich an den Extremitäten. Damit deckt sich die Häufigkeit von Frakturen mit der Literatur, wie etwa von Weintrob et al., die Frakturen mit einer Häufigkeit von 69% beschrieben haben. [137] Die hohe Relevanz externer Frakturstabilisierung an den Extremitäten deckt sich mit der Literatur, wie etwa der Arbeit von Mathieu et al. und Kalinterakis et al., die bei Schuss- und Explosionsverletzten klare Position zur externen Frakturstabilisierung als bevorzugtes Verfahren gegenüber definitiver osteosynthetischer Versorgung im Sinne der ETC zur Vermeidung des chirurgischen „second hit“ beziehen. [150, 181] Patienten mit Schussverletzungen bedürfen signifikant häufiger ( $p=0,03$ ) DCS-Eingriffen an den Extremitäten als Explosionsverletzte. 78% der Patienten in der Studienkohorte erhielten im Rahmen der chirurgischen Primärversorgung ein Wunddebridement. Das chirurgische Debridement ist damit übereinstimmend mit der Literatur essenzieller Bestandteil der chirurgischen Erstversorgung zur Prävention weiterer Kontamination im Sinne des DCS Konzeptes. [16, 154, 210, 211]

Bei 15% der Patienten wurde im Rahmen der DCS eine Majoramputation beim schweren Extremitätentrauma durchgeführt. Eine signifikante Häufung ( $p=0,02$ ) zeigte sich hier in der Explosionsgruppe übereinstimmend mit der Literatur. [206] In vergleichbarer Literatur sind Amputationsraten von 6-40% beschrieben. [89, 206, 209] 62% der primären Amputationen wurden simultan mit Eingriffen zur chirurgischen Blutungskontrolle durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Arbeit liefern weitere Belege für die Relevanz der Amputationschirurgie im Rahmen der DCS und für den Stellenwert der proximalen Blutungskontrolle. [212]

Wölfl et al. haben beschrieben, dass 85% aller penetrierenden Thoraxtraumata in der Phase der DCS mit der Implementierung einer Thoraxdrainage per Minithorakotomie ausreichend adressiert sind. [88] Horrocks et al. haben 2001 das „cover and drain“-Prinzip zur DCS bei penetrierenden Thoraxverletzungen beschrieben. [21] Die Ergebnisse dieser Studie belegen diese Ansicht auch für diese Kohorte der Schuss- und Explosionsverletzten. Hier konnte übereinstimmend mit der Literatur gezeigt



werden, dass bei 87% der Thoraxverletzungen die DCS mit der Implementierung mindestens einer Thoraxdrainage geleistet werden kann.

In der Studienkohorte entfielen lediglich 6% der Verletzungen auf das Abdomen, die jedoch in über der Hälfte der Fälle eines DCS- Eingriffes zur Blutungskontrolle oder Exploration bedurften. Smith et al. beschreiben die Häufigkeit von DCS- Eingriffen am Abdomen bei einsatzchirurgischen Kohorten mit 12%. [213]

Kotwal et al. beschreiben in einer retrospektiven Analyse einen Anteil von Patienten mit Verbrennungen von 1,9%. [159] In dieser Studienkohorte wiesen 19% der Patienten Verbrennungen auf. Der hohe Anteil von Verbrennungspatienten in der Studienkohorte wird hier auf die Vorselektion der Studienpopulation zurückgeführt, da die Kohorte monozentrisch aus einem Level-I-Traumazentrum mit expliziter Verbrennungsexpertise rekrutiert wurde. Die Studie zeigt, dass ca. ein Drittel der Patienten mit Verbrennungen einem DCS-Eingriff durch eine Escharatomie bedurften.

38% der Patienten in der Studienkohorte zeigen Verletzungen des Schädels mit einer hochsignifikanten ( $p < 0,001$ ) Häufung in der Explosionsgruppe. Diese Verletzungen bedürfen in der Studienpopulation in 19% der Fälle eines DCS- Eingriffes, wie einer osteoklastischen Trepanation, Ventrikeldrainage oder Debridement und Exploration bei penetrierenden Schädelverletzungen. Damit erhielten 7,3% der Patienten in der Studienkohorte einen DCS Eingriff am Schädel. Dagain et al. haben gezeigt, dass ca. 5,5% der Eingriffe im Einsatzszenario DCS-Eingriffe am Schädel waren und die Verletzung übereinstimmend mit den Daten dieser Studie mit 58% überproportional häufig durch Explosionsverletzungen verursacht war. [214]

Die Stärke der Studie besteht in der generalisierten Betrachtung der Schuss- und Explosionsverletzungen, ohne sich in individuelle Verletzungs- und Behandlungsdetails zu verästeln. So können mindestens auf nationaler Ebene erstmals fundierte Aussagen über eine monozentrisch in Deutschland behandelte Patientenkohorte beschrieben werden.

Betrachtet man die Daten und Ergebnisse zur chirurgischen Erstversorgung der Studienpatienten unter dem Aspekt der DCS, liefert die Studie übereinstimmend mit der Literatur weitere Evidenz für den komplexen Charakter der chirurgischen Erstversorgung bei Schuss- und Explosionsverletzungen. Die Studie konnte zeigen,

dass grundlegende chirurgische Fähigkeiten zur Bewältigung eines komplexen Extremitätentraumas insbesondere unter dem Aspekt chirurgischer, proximaler Blutungskontrolle, Expertise zur Behandlung komplexer Weichteilverletzungen und Verbrennungen, neurochirurgische Expertise und die DCS bei Abdominalverletzungen essenzielle und zu fördernde Fertigkeiten des Einsatzchirurgen sind. Auch für den zivilen Chirurgen gewinnt die Auseinandersetzung mit diesen Anforderungen im Kontext mit der zunehmenden terroristischen Bedrohung und zu erwartendem MANV-Szenarien mit Schuss- und Explosionsverletzungen zunehmend an Bedeutung.

Eine weitere Fragestellung der Studie beschäftigte sich mit der chirurgischen Sekundärversorgung der Schuss- und Explosionsverletzungen. Es sollte eine Evidenz zum Konzept der chirurgischen Weiterversorgung der Schuss- und Explosionsverletzungen hergeleitet werden, um hier im Kontext zur aktuellen Literatur vergleichend erörtern zu können, inwiefern die hier angewandten chirurgischen Algorithmen sich in den international Vorgestellten widerspiegeln, respektive worin sie, auch im Hinblick auf die Ergebnisqualität, abweichen.

Die hohe Relevanz des Weichteilmanagements ist in der Literatur hinreichend diskutiert. Belmont et al. konnten zeigen, dass 77% der Einsatzverwundeten amerikanischen Soldaten relevante Weichteilverletzungen häufig in Kombination mit Frakturen erlitten hatten. [137, 206] In der Studienkohorte wurde bei 78% der Patienten ein initiales Wunddebridement durchgeführt, sodass hier von einer vergleichbaren Häufigkeit von Weichteilverletzungen auszugehen ist. In der Gesamtkohorte konnten bei 35% der Weichteilverletzungen und signifikant häufiger bei Explosionsverletzten ( $p=0,04$ ) nach dem initialen Debridement der definitive Weichteilverschluss erfolgen. Bei 42% der Weichteilverletzungen musste aufgrund der Kontamination und der Wundkomplexität ein programmiertes Wundmanagement eingeleitet werden. Dieser hohe Anteil steht im Einklang mit dem in der Literatur empfohlenen Vorgehen zum Weichteilmanagement bei Schuss- und Explosionsverletzungen im Sinne eines aggressiven, initialen Debridements und folgendem programmierten Verschluss gegebenenfalls mit plastisch-rekonstruktiver Weichteildeckung. [100, 215] In 12% der Fälle musste eine lappenplastische Deckung zu definitiven Weichteildeckung erfolgen und bei 24% der Patienten konnte die Weichteildeckung mittels autologer Spalthaut realisiert werden. Die Ergebnisse der Studie stimmen mit den Empfehlungen

der Literatur überein. Godina et al. haben schon 1986 die bevorzugte Verwendung von mikrovaskularisierten, autologen Weichteiltransplantaten empfohlen. [216] Die Empfehlungen zur zeitnahen definitiven Weichteildeckung mittels autologer, lokaler oder freier Transplantate hält bis heute an. [217] Bei 11% der Patienten musste das avisierte Konzept zur Weichteildeckung komplikationsbedingt und signifikant häufiger ( $p=0,05$ ) in der Explosionsgruppe revidiert werden. Median waren zwei Operationen bis zum definitiven Weichteilverschluss notwendig der Weichteilverschluss erfolgte in der Studienkohorte nach median 12,0 Tagen. Vergleichbare Literatur beschreibt eine Zeitspanne von median 24 Tage bis zur definitiven lappenplastischen Deckung. [218] Bei 10% der Patienten musste das implementierte Verfahren zur Osteosynthese oder zur Weichteildeckung revidiert werden. Die Patienten der Explosionsgruppe zeigen signifikant häufiger ( $p=0,05$ ) revisionspflichtige Wundheilungsstörungen und erfuhren signifikant häufiger ( $p=0,04$ ) sekundäre Amputationen bei frustranem Extremitätenerhaltungsversuch. Brown et al. konnten eine Häufigkeit von Wundheilungsstörungen bei Einsatzverwundeten von 23,7% beschreiben. [219] In der Studienkohorte zeigte sich mit 11% eine deutlich niedrigere Häufigkeit revisionspflichtiger Wundheilungsstörungen. Übereinstimmend mit der Literatur ist die Explosionsverletzung jedoch ein signifikanter positiver Prädiktor für die Entwicklung von Wundheilungskomplikationen. [137, 203] Bei 3% der Patienten mit Extremitätenverletzungen zeigte sich im postakuten Verlauf die Notwendigkeit einer sekundären Amputation. In der Literatur werden Häufigkeiten für sekundäre Amputationen zwischen 3,9% und bis zu 30% angegeben. [220, 221] Die Studie erfasst lediglich sekundäre Amputationen bei frustranem Erhaltungsversuch. Nachamputationen wurden nicht explizit betrachtet.

In der Betrachtung der Sekundärversorgung zeigten sich erneut die Limitationen dieser Registerarbeit. Vergleichende Literatur widmet sich häufig speziellen Verletzungsmustern oder Behandlungsschwerpunkten. Allgemeingültige Reviews mit hohen Fallzahlen finden sich nur wenige, sodass hier der Vergleich zu den allgemein erfassten Daten dieser Arbeit erschwert wird.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Ergebnisse dieser Arbeit im Einklang mit der aktuellen, spezifischen Literatur stehen. Die Daten zeigen, der Literatur folgend, anschaulich wie komplex die sekundärchirurgische Versorgung von

Schuss- und Explosionsverletzungen ist. Obligate kontaminierte Kombinationsverletzungen von Weichteildefekten und Frakturen bedürfen zum einem eines konsequenten und radikalen Debridements im Rahmen der Erstversorgung, als auch eines konsequenten, programmierten Wundmanagements zur suffizienten Weichteildeckung als obligate Voraussetzung zur Implementierung definitiver Osteosynthesen bei rekonstruktiven Knocheneingriffen. Die Ergebnisse unterstreichen zustimmend zur Literatur den komplexen Charakter der ballistischen Weichteilverletzung als „developing wound“, die einer zeitlichen Dynamik unterliegt und in der Regel einer mehrzeitigen chirurgischen Therapie bedarf. [16, 189]

Die Studie sollte sich weiterhin mit der Frage beschäftigen, in welcher Art und Weise die rekonstruktive Knochenchirurgie in der Studienkohorte umgesetzt wurde und ob hier relevante Unterschiede in den Subgruppen bestanden. In der Gesamtkohorte zeigen sich bei n=82 Patienten Frakturen an den langen Röhrenknochen der oberen und unteren Extremität. Bei 50% dieser Patienten wurden rekonstruktive Osteosyntheseverfahren implementiert, und bei 15% war die Ausbehandlung im Fixateur externe notwendig. Mathieu et al. haben gezeigt, dass die Ausbehandlung in einem Fixateur externe einen gangbaren Weg darstellt. Der Implementierung einer definitiven, internen Osteosynthese kann, wenn möglich, der Vorzug gegeben werden, dies allerdings als Verfahrenswechsel nach sicherem Infektausschluss. Als einem primären Verfahren kann ihr bei den erheblichen Risikokomponenten der speziellen Verletzungsentität keine uneingeschränkte Empfehlung ausgesprochen werden. [222] Im Rahmen der lokalen Kontaminationskontrolle wurde bei 28% der Patienten mit Frakturen der Röhrenknochen eine Segmentresektionen durchgeführt. Die Häufigkeit deckt sich mit der Beschreibung in vergleichbaren Kollektiven wie etwa Schuss- und Explosionsverletzten aus der afghanischen Zivilbevölkerung. [223] Bei 13% der Patienten erfolgte die Interposition eines autologen Knochentransplantates und bei 28% die Defektauffüllung mittels autologer Spongiosa. Die Relevanz der Defektrekonstruktion mittels autologen Knochenmaterials ist in der Literatur hinlänglich insbesondere für die Rekonstruktion von Tibiafrakturen beschrieben. Karami et al. konnten hervorragende Rekonstruktionsergebnisse bei der Interposition von autologen Fibulatransplantaten bei Defektfrakturen der Tibia nach Einsatzverletzungen beschreiben. [224] Grubor et al. konnten in einer retrospektiven

Analyse den hohen Stellenwert der autologen Spongiosaplastik bei schuss- und explosionsassoziierten Defektfrakturen darstellen. [225] Insofern decken sich die Behandlungsgrundsätze der rekonstruktiven Knochenchirurgie in der monozentrischen Studienpopulation mit den Behandlungsempfehlungen der Literatur. Bei 21% der Patienten wurde eine Defektrekonstruktion mittels Kallusdistraktion oder Masquelet-Verfahren durchgeführt. Im zivilmedizinischen Setting ist der Stellenwert und die Relevanz des Masquelet-Verfahrens zur Rekonstruktion postinfektiöser und posttraumatischer Knochendefekte sowohl an der oberen als auch an der unteren Extremität ausführlich belegt. [226, 227 ] Bieler et al. konnten die Relevanz des Verfahrens 2014 im Rahmen von Schussfrakturen ebenfalls darlegen. [228] Die Weiterentwicklung der Expertise bezüglich des Masquelet-Verfahrens im Bundeswehrzentral Krankenhaus Koblenz zeigt sich in weiteren Arbeiten von Franke et al. und schlussendlich auch in den monozentrisch erhobenen Daten dieser Studie. [223] In der internationalen Literatur ist das Masquelet-Verfahren im militärmedizinischen Kontext ausführlich beschrieben und als probater Ansatz zur Rekonstruktion von Schuss- und Explosionsfrakturen etabliert. [229, 230] Die Kallusdistraktion ist in der Literatur ebenfalls als Möglichkeit zur Rekonstruktion bei Schuss- und Explosionsverletzungen beschrieben. [231, 232] Akgun et al. haben das Masquelet-Verfahren und die Kallusdistraktion mittels Ilizarov-Fixateurs als generell gleichwertige Verfahren mit individuellen und indikationsabhängigen Stärken beschrieben. [233] Die Ergebnisse dieser Studie stehen im Einklang mit dem Tenor der nationalen und internationalen Literatur und unterstreichen die Bedeutung des Masquelet-Verfahrens und der Kallusdistraktion in der septisch-rekonstruktiven Knochenchirurgie nach Schuss- und Explosionsverletzungen.

Per Zentrifugation thrombozytenangereichertes Plasma (GPS®) wurde in 18% der Fälle zur Osteoinduktion verwendet. Die Rolle des PRP zur Osteoinduktion ist in der Literatur hinreichend beschrieben. [234, 235] Bieler et al. konnten hier auch die Relevanz unter militärmedizinischen Aspekten bei der Konsolidierung von Schussfrakturen des Oberschenkels mit Defektzone darlegen. [228] Insofern unterstreichen die Ergebnisse dieser Arbeit fortführend die Rolle des PRP im Rahmen der Osteoinduktion bei Schuss- und Explosionsverletzungen.

Die Datenauswertung zur rekonstruktiven Knochenchirurgie ist durch den Grundcharakter der Registerarbeit limitiert. So sind detaillierte und individuelle Variablen, wie zum Beispiel die zu rekonstruierende Defektstrecke oder die eindeutige Zuordnung eines Rekonstruktionsverfahrens zu einer Frakturlokalisierung nicht erhoben. Grundsätzlich wären diese Daten aus dem vorhandenen Datenmaterial zu rekonstruieren. Hier sehen wir Potenzial für zukünftige Arbeiten zur Schaffung weiterer Evidenz zur rekonstruktiven Knochenchirurgie im militärmedizinischen Kontext. Trotz der limitierten Detailbetrachtungen liefert diese Arbeit jedoch weiter grundlegende Evidenz zu den Aspekten der rekonstruktiven Knochenchirurgie bei Schuss- und Explosionsverletzungen. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass die praktizierten Behandlungsansätze zur rekonstruktiven Chirurgie in der monozentrischen Studienkohorte im Einklang mit der aktuellen Evidenz und den Empfehlungen der Literatur stehen. In der Betrachtung der Subgruppenanalyse zeigten sich bei den knochenrekonstruktiven Verfahren keine signifikanten Unterschiede zwischen der Schuss- und Explosionsgruppe.

Eine weitere Kernfragestellung der Studie beschäftigte sich mit der obligaten Kontamination und dem mikrobiologischen Aspekt von Schuss- und Explosionsverletzungen. Hier stellte sich die Frage mit welchem Keimspektrum der Chirurg bei der Weiterversorgung von Schuss- und Explosionsverletzungen insbesondere im einsatzchirurgischen Kontext konfrontiert ist und welche Zusammenhänge zur rekonstruktiven und Komplikationschirurgie hier in der Studienkohorte abgeleitet werden können.

Bei  $n=81$  Patienten konnten insgesamt 103 Keimnachweise erbracht werden. Bei 58% der Patienten in der Gesamtkohorte und bei 83% der Patienten in der Subgruppe der politisch zugewiesenen Patienten konnte mindestens ein multiresistenter Keim nachgewiesen werden. Die Ergebnisse der Arbeit konnten hochsignifikant zeigen, welche Relevanz das Vorhandensein eines multiresistenten Keimnachweises für die chirurgische Behandlung hat. Patienten mit nachgewiesenen, multiresistenten Keimen bedürfen hochsignifikant ( $p<0,001$ ) mehr Operationen bis zur definitiven Weichteildeckung. Weiterhin konnten die Daten der Studie zeigen, dass bei Patienten mit einem multiresistenten Keimnachweis hochsignifikant ( $p<0,001$ ) häufiger eine radikale Kontaminationskontrolle mittels Segmentresektion durchgeführt wurde. In der

Studienkohorte wiesen 18 % der Patienten eine lokale Infektkomplikaion auf. Die Literatur beschreibt Infektionshäufigkeiten von 34% -36%. [136, 137] Die Häufigkeit in dieser Studienpopulation ist niedriger, aber übereinstimmend mit der Literatur höher als bei vergleichbaren, zivilen Traumakohorten (4,2%-15%). [137, 236, 237]

Die Keimnachweise verteilen sich zu ungefähr gleichen Teilen auf die Subgruppen Besiedelung, Kontamination und Infektion. Es zeigen sich in allen genannten Subgruppen eine teilweise hochsignifikante ( $p < 0,01$ ) Häufung multiresistenter Keime. Relevante Erregergruppen in der Betrachtung der Studienkohorte waren MRGN (44%), ESBL (25%) und Acinetobacter spp. (21%). Die Häufung von Acinetobacter spp. konnte von Godfrey et al. eindrücklich bei Amputationsverletzten aus amerikanischen Militäreinsätzen gezeigt werden. Hier konnte Acinetobacter bei 11% der Wundinfektionen nachgewiesen werden. [238] Auch Weintrob et al. konnten die Häufung von MRGN, ESBL und Acinetobacter spp. in der größten retrospektiven Analyse von Infektkomplikaionen amerikanischer Soldaten aus OEF und OIF zeigen. [137] Die Daten dieser Studie reihen sich bezüglich der Verteilung der Erregerstämme in die Literatur ein. Eine Detailbetrachtung der spezifischen Bakterien zu den expliziten Erregerstämmen ist im Rahmen der Studie nicht erfolgt. Ebenfalls wurden potenzielle Pilzinfektionen nicht erhoben, die in der Literatur als relevant im Kontext einsatzassoziierter Weichteilinfektionen beschrieben sind. [239]

Die Ergebnisse der Arbeit zeigen die Relevanz der Keimbesiedelung bei Patienten mit Schuss- und Explosionsverletzungen und unterstreichen den obligaten Kontaminationscharakter dieser Verletzungsentitäten nochmals neben den Ausführungen zur Wundkomplexität und den Herausforderungen der chirurgischen Behandlung. Die Arbeit konnte zeigen, dass keine signifikanten Unterschiede in der Verteilung von multiresistenten Erregern in den Subgruppen der Schuss- und Explosionsverletzten bestehen, aber das Vorhandensein eines multiresistenten Keimnachweises den chirurgischen Aufwand der Sekundärversorgung signifikant erhöht. Die Auswertung zur Segmentresektion bei Vorliegen eines multiresistenten Keimnachweises lässt den Schluss zu, dass nur ein radikal chirurgisches Vorgehen zur Kontaminations- und Infektionskontrolle eine der Heilung vorangestellte Infektsanierung gewährleisten kann. Die Literatur zeigt eindeutig die Relevanz des chirurgischen Debridements bei Schuss- und Explosionsverletzungen auf. [16, 160,

220, 240] Aus unserer Sicht ist weitere Evidenz basierend auf vergleichenden Studien zu unterschiedlichen operativen Ansätzen zur lokalen Kontaminationskontrolle notwendig, um klare Empfehlungen für ein Verfahren aussprechen zu können.

Betrachtet man die sekundären Komplikationen in der postakuten Behandlungsphase so zeigen sich signifikante Unterschiede in den Subgruppen der Schuss- und Explosionsverletzten. Als relevante systemische Komplikationen nach Schuss- und Explosionsverletzungen konnte diese Arbeit das ARDS (9%), die Sepsis (6%) und das Multiorganversagen (3%) darstellen. Die Mortalität in der Studienkohorte betrug 1,7%.

Explosionsverletzte zeigen signifikant ( $p=0,01$ ) häufiger ein ARDS als Schussverletzte. Hier zeigt sich wiederholt die Komplexität der Explosionsverletzung. Die primäre Manifestation der Explosionsverletzung als BLI und die hieraus resultierenden Sekundärkomplikationen bewerteten wir als essenziellen Bestandteil des systemischen Explosionstraumas. Trotz der Tatsache, dass in der Studienkohorte ähnlich wie beim zivilen Polytrauma 88% der interventionspflichtigen Thoraxtraumata lediglich mit der Implementierung einer Thoraxdrainage suffizient adressiert waren, zeigen die Daten, übereinstimmend mit der Literatur, dass die BLI mit einer hohen sekundären Morbidität einhergeht. [241] Weintrob et al. haben bei amerikanischen Verwundeten aus OEF und OIF als führende Komplikationen die Pneumonie (15%) und die Sepsis (4%) identifiziert. [137] Eine Unterscheidung von Pneumonie und ARDS hatte in dieser Studie nicht stattgefunden. Kumuliert zeigt sich in den Daten dieser Arbeit sowohl für ein ARDS (10%) und eine Pneumonie (2%), als auch für die Sepsis (6%) eine annähernd der Studie von Weintrob et al. vergleichbare Komplikationsrate. Die Ergebnisse dieser Arbeit konnten zeigen, dass signifikante Unterschiede in der sekundären Morbidität, insbesondere bei Explosionsverletzungen, bestanden. Weiterhin konnten die Ergebnisse die Relevanz des Nachweises eines multiresistenten Keimes für die chirurgische Sekundärversorgung unterstreichen.

Diese Studie sollte sich weiterhin mit der Frage auseinandersetzen, welches funktionelle Endergebnis die Patienten der Studienkohorte aufwiesen. Es stand zudem die Frage im Raum, ob und wo signifikante Unterschiede bezüglich des funktionellen Outcomes bei Schuss- und Explosionsverletzungen bestehen.



In der In der Gesamtkohorte konnten n=51 (28,5%) Patienten mit funktionellen Defiziten herausgearbeitet werden. Nach der Auswertung der Daten weisen 71,5% der Patienten der Gesamtkohorte eine funktionelle restitutio ad integrum als Behandlungsergebnis auf.

Patienten mit einer multiresistenten Keimbesiedelung (odds ratio, OR 4,7;  $p < 0,001$ ) und nach Polytraumatisierung (OR 2,0;  $p < 0,001$ ) erreichen signifikant seltener eine restitutio ad integrum. Die grundlegende Verletzungsentität dient nicht als signifikanter Vorhersagewert für das Behandlungsergebnis. Im Mittel konnten die Patienten nach 23,5 Tagen die Vollbelastung erreichen. Musste die definitive chirurgische Versorgung komplikationsbedingt revidiert werden, brauchten die Patienten mit median 67,0 tendenziell ( $p = 0,06$ ) länger.

Betrachtet man die vergleichende Literatur, zeigt sich eine begrenzte-Datenlage zum funktionellen Outcome nach speziellen Verletzungsmustern. Bieler et al. haben bereits 2014 angeregt, auf nationaler Ebene weitere Evidenz zur Bewertung des Langzeit-Outcomes von Schuss- und Explosionsverletzungen zu schaffen. [202] Abghari et al. konnten zeigen, dass Patienten mit Schuss- und Explosionsverletzungen der unteren Extremität ein signifikant schlechteres funktionelles Outcome haben, als Patienten mit anderen Verletzungen der unteren Extremität. [237] Das SHT im Rahmen von Explosionsverletzungen ist bezüglich des Outcomes gut aufgearbeitet. [67, 242, 243] Die Betrachtung dieser speziellen Verletzungsentität war nicht Schwerpunkt dieser Arbeit, könnte aber basierend auf dem jetzt zusammengetragenen Datenkollektiv separat aufgearbeitet werden. Bosse et al. konnten zeigen, dass Patienten mit Extremitätenerhaltungsversuch bei kritischen Extremitätenverletzungen im 2- Jahres-Follow- up keine signifikanten funktionellen Unterschiede zu primär amputierten Patienten aufweisen. [221] Auch hier ließe sich für zukünftige Betrachtungen aus den vorliegenden Daten dieser Arbeit eine Kohortenanalyse rekonstruieren.

Bei 26% (n=46) der Patienten persistierte nach Abschluss der Behandlung ein sensomotorisches Defizit ohne signifikante Häufung in der Subgruppe der Schuss- und Explosionsverletzten. Abghari et al. haben bei Schuss- oder Explosionsverletzungen an der unteren Extremität nur bei 1,2% der Patienten einen persistierenden Nervenschaden beschrieben. [237] Hier wurden allerdings nur Schussverletzungen mit Niedrigrasanzgeschossen eingeschlossen. Es ist davon auszugehen, dass der

deutlich höhere Anteil von Patienten mit persistierendem sensomotorischem Defizit in der Studienkohorte darauf zurückzuführen ist, dass Schussverletzungen im militärmedizinischen Setting in der Regel durch Hochrasanzgeschosse verursacht sind. Bei 77% der Patienten mit sensomotorischen Defiziten zeigte sich das Defizit im Bereich der Extremitäten und am häufigsten (22%) im Versorgungsgebiet des N. peroneus. Hier zeigt sich, übereinstimmend mit der in dieser Arbeit erhobenen Verletzungscharakteristik, die Relevanz der Extremitätenverletzungen auch für das funktionelle Outcome. Bei 7% der Patienten persistierte ein biomechanisches Defizit mit einer signifikanten ( $p=0,04$ ) Häufung in der Explosionsgruppe.

Die Betrachtung der funktionellen Ergebnisse in dieser Studie konnte einen weiteren Beitrag zur spärlichen Evidenz auf diesem Gebiet liefern: In der Literatur finden sich nur vereinzelt Arbeiten zum funktionellen Outcome. Diese befassen sich jedoch in der Regel mit einzelnen speziellen Verletzungsmustern, die in dieser Registerarbeit nicht detailliert aufgearbeitet sind. Insofern ist eine vergleichende Diskussion nur sehr begrenzt möglich. Hier zeigt sich jedoch auch die Stärke dieser Studie, die mindestens auf nationaler Ebene erstmals überhaupt eine Datenerhebung zum funktionellen Outcome bei Schuss- und Explosionsverletzungen durchgeführt hat.

Zusammenfassend konnten wir mit den Daten der Studie zeigen, dass auch bei komplexen Verletzungsentitäten, wie Schuss- und Explosionsverletzungen, eine hohe Chance auf vollständige Rehabilitation besteht, nachdem das initiale Trauma überlebt wurde. Hier drängt sich die Vermutung auf, dass dieser Umstand nicht zuletzt auch auf die Qualität der chirurgischen Initial- und Sekundärversorgung zurückzuführen ist. Bleibende Einschränkungen manifestieren sich meistens in Form von sensomotorischen Defiziten prädominant häufig an den Extremitäten. Weitere Studien zur Beurteilung des funktionellen Outcomes dieser speziellen Verletzungsentitäten sind dringend notwendig, um hier evidente Schlüsse für die Behandlungsqualität ziehen zu können.

Der Großteil dieser Arbeit befasst sich mit genereller Verletzungsstruktur, chirurgischen Management, Komplikationen und funktionellem Outcome bei Schuss- und Explosionsverletzungen. Das eigentliche Novum besteht aber in der erstmaligen Datenerhebung zur posttraumatischen Lebensqualität überhaupt in Deutschland bei diesen speziellen Verletzungsentitäten. Eine wesentliche Frage der Studie bestand

darin, zu unterscheiden, ob hinsichtlich der posttraumatischen Lebensqualität signifikante Unterschiede in der Subgruppenbetrachtung der Schuss- und Explosionsverletzten bestehen. Weiterhin stand die Frage im Raum, wie sich Patienten mit diesen Verletzungsentitäten hinsichtlich der Lebensqualität im Vergleich zu anderen Studienkohorten einordnen.

Die Rückläuferquote bei der in dieser Studie zu Grunde liegenden postalischen Befragung betrug 29,5%. Politisch zugewiesene Patienten, vor allem aus der Ukraine und aus Libyen, mussten u. a. aufgrund mangelnder Sprachkenntnissen aus der Befragung ausgeschlossen werden.

Die Ergebnisse dieser Arbeit konnten zeigen, dass bezüglich der physical health (PH) keine signifikanten Unterschiede in der Subgruppenbetrachtung der Schuss- und Explosionsverletzten bestanden. Mit einer medianen PH von 62,5 haben Schuss- und Explosionsverletzte im Vergleich zu anderen Patientengruppen, wie etwa chronische Wundpatienten (PH=39,1) eine deutlich bessere physische Gesundheit. [244] Mörsdorf et al. haben das weibliche Geschlecht, hohes Alter, niedrige soziale Herkunft und begleitendes SHT und Trauma der unteren Extremitäten als negative Prädiktoren für die posttraumatische Lebensqualität identifiziert. [245] Tendenziell ( $p=0,08$ ) zeigte sich auch in dieser Studienpopulation bei Patienten mit SHT (53,5) eine niedrigere MH als bei Patienten ohne (68,0), jedoch ohne signifikanten Einfluss auf die PH.

Auch die Verletzung der unteren Extremitäten wies keinen signifikanten Einfluss auf die PH und MH in der Studienpopulation nach und konnte in dieser Studie für Schuss- und Explosionsverletzungen nicht als negativer Prädiktor bestätigt werden. Der mediane Score zur MH liegt bei Explosionsverletzten mit 57,5 tendenziell ( $p=0,07$ ) niedriger als bei Schussverletzten mit 71,5. Dieses Ergebnis deckt sich mit den in dieser Arbeit erhobenen Daten hinsichtlich einer psychiatrischen Komorbidität. Explosionsverletzte zeigen nicht nur eine tendenziell niedrigere posttraumatische MH, sondern werden hochsignifikant häufiger ( $p<0,001$ ) im Rahmen des postakuten Krankenhausaufenthaltes psychiatrisch weiterbehandelt. Signifikante Unterschiede in der Behandlungsdauer zeigten sich jedoch nicht. Vergleicht man die posttraumatische mentale Gesundheit der Explosionsverletzten mit anderen Patientengruppen, so zeigt sich, dass Explosionsverletzte eine höhere MH aufweisen, als beispielsweise Patienten mit PTSD nach Kriegsgefangenschaft (39,9) oder geriatrische

Traumapatienten mit hohem fragility-Score (39,3). [246, 247] Die MH der Explosionsverletzten ist jedoch deutlich niedriger als bei Patienten mit Querschnittssymptomatik (76,0) oder Knochenmalignomen (76,6). [248, 249] In der Literatur findet sich wiederkehrend der cut-off Wert von MH  $\leq 56$  zur Identifikation von Patienten, denen eine posttraumatische Psychotherapie angeboten werden sollte. [250] Zieht man hier den Vergleich zur mentalen Gesundheit der Explosionsverletzten der Studienkohorte, so ist bei einer medianen MH von 57,5 davon auszugehen, dass bei einem relevanten Teil dieser Patienten, auch nach einem medianen follow-up-Zeitraum von 5,2 Jahren, psychiatrisch-psychologischer Therapiebedarf besteht.

In der gängigen Literatur findet die PTSS-10-Skala hinreichende Anwendung zur Beurteilung der Manifestation einer posttraumatischen Belastungsstörung. [251] Die Ergebnisse dieser Arbeit konnten zeigen, dass Explosionsverletzte mit einem PTSS-10-Score von median 23,5 einen tendenziell ( $p=0,07$ ) höheren Score haben als Schussverletzte. Schade et al. proklamieren einen cut-off-Wert von  $\geq 36$ , um die Verdachtsdiagnose PTSD zu stellen. [252] Damit liegt der mediane PTSS-10-Score der Studienkohorte und auch in den Subgruppen unter diesem cut-off. Fast jeder fünfte Patient (17%) der Studienkohorte hatte jedoch einen PTSS-10-Score von  $\geq 36$ . Damit ist bei diesen Patienten, den Empfehlungen von Schade et al. folgend, zumindest die Verdachtsdiagnose einer PTSD zu stellen. In der Literatur sind PTSD-Prävalenzen von 10,8 -20,1% bei einsatzexponierten Kohorten beschrieben. [253, 254] Auch wenn die Fallzahl der Befragung keine Aussagen zur Häufigkeit und Signifikanz der PTSD in der Studienkohorte zulässt und die Diagnose einer PTSD eine multifaktorielle ist und nicht an einem einzelnen Score festgemacht werden kann, so ist anzunehmen, dass bei einer Befragung mit entsprechend hoher Fallzahl eine mit der Literatur deckungsgleiche und auch signifikante Häufung von PTSD bei Schuss- und Explosionsverletzten zu erheben wäre.

19% der befragten Patienten wurden nach Ihrer Behandlung im Bundeswehrzentral Krankenhaus in weiterführenden Einrichtungen wegen ihrer Verletzung weiterbehandelt, jedoch nur in einem Fall erneut operiert. Dies lässt die Konklusion zu, dass die zur Behandlung dieser speziellen Verletzungen erforderlichen operativen Fähigkeiten einschl. der rekonstruktiven Verfahren in der hier behandelnden Klinik hinreichend abgebildet sind.

Betrachtet man zusammenfassend die Ergebnisse zur posttraumatischen Lebensqualität, so konnte gezeigt werden, dass bezüglich der PH keine signifikanten Unterschiede zwischen Schuss- und Explosionsverletzten bestehen. Explosionsverletzte weisen jedoch eine tendenziell niedrigere MH auf als Schussverletzte. Im Vergleich zu anderen Studienkohorten konnte gezeigt werden, dass Schuss- und Explosionsverletzte eine vergleichsweise niedrigere MH haben als Kohorten mit vermeintlich niedriger MH, wie Malignom- oder Querschnittspatienten. Wenngleich auch bezüglich des posttraumatischen Stressniveaus keine signifikanten Unterschiede in den Subgruppen bestehen, bleibt festzuhalten, dass fast jeder fünfte Befragte einen pathologischen PTSS-10-Score aufwies und zu erwarten ist, dass sich dieses Erscheinungsbild bei ausreichender Fallzahl signifikant bestätigen würde.

## 6. Zusammenfassung

Es konnte gezeigt werden, dass sich Schuss- und Explosionsverletzung bezüglich Verletzungsentstehung und Verletzungsmuster signifikant unterscheiden. Die Patienten der Studienkohorte sind signifikant jünger als das Basiskollektiv des TraumaRegisters DGU® von 2018. Übereinstimmend mit der Literatur hatten Explosionsverletzte ihre Verletzung signifikant häufiger im Rahmen von Kampfhandlungen erlitten, zeigten signifikant häufiger eine Polytraumatisierung, hatten signifikant mehr Verletzungen pro Patient und hatten signifikant häufiger Begleitverletzungen wie Verbrennungen, FKE und Trommelfellrupturen. Beide Subgruppen zeigten schwerpunktmäßig Verletzungen der Extremitäten, Explosionsverletzte zusätzlich signifikant häufiger Verletzungen des Schädels und des Thorax. Hier decken sich die Ergebnisse bezüglich der Verletzungsverteilungen mit der gängigen Literatur. Ebenfalls konnten die Ergebnisse dieser Arbeit übereinstimmend mit der Literatur die hohe Relevanz der BLI im Rahmen von Explosionsverletzungen insbesondere auch hinsichtlich sekundärer, systemischer Komplikationen unterstreichen. Es konnte analog zur Literatur gezeigt werden, dass die häufigste Ursache für Explosionsverletzungen die IED ist. Übereinstimmend mit der Literatur konnte nachgewiesen werden, dass Explosionsverletzte eine signifikant komplexere Wundcharakteristik aufweisen als Schussverletzte. Explosionsverletzte zeigen einen größeren Weichteilschaden, haben häufiger Begleitverletzung vitaler Leitstrukturen und mehrfache Frakturen. Wie andere Autoren in vergleichbaren Arbeiten publiziert haben, konnten auch die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass Explosionsverletzte aufgrund des komplexeren Verletzungsmusters im Rahmen der DCS signifikant häufiger Amputationen und mehr DCS-Manöver pro Patient erfuhren. Die Ergebnisse konnten übereinstimmend mit der Literatur den hohen Stellenwert der chirurgischen Blutungskontrolle, des Weichteildebridements und der externen Frakturstabilisierung darstellen. Trotz der signifikanten Häufung von Schädeltraumata in der Explosionsgruppe konnte gezeigt werden, dass diese Verletzungen nur selten eines DCS-Manövers bedurften. Analog zur gängigen Literatur konnte dargestellt werden, dass schwere Thoraxtrauma in der DCS-Phase in den allermeisten Fällen suffizient mit der Implementierung mindestens einer Thoraxdrainage adressiert werden konnten. Die Ergebnisse der Arbeit konnten übereinstimmend mit der Literatur

zeigen wie herausfordernd und zeitaufwändig die rekonstruktiv-chirurgische Weiterbehandlung bei Schuss- und Explosionsverletzungen ist. Explosionsverletzte weisen signifikant häufiger revisionspflichtige Wundheilungsstörungen auf und erfuhren häufiger sekundäre Amputationen. Es konnte dargestellt werden, dass z. B. die Segmentresektion mit Kallusdistraktion, das Masquelet-Verfahren und die Verwendung von PRP bei Schuss- und Explosionsverletzungen übereinstimmend mit der Literatur ein breites Spektrum der rekonstruktiven Knochenchirurgie abfordert. Die Daten dieser Arbeit konnten übereinstimmend mit der relevanten Literatur nachweisen zeigen, welche Relevanz die Kontamination von Schuss- und Explosionsverletzungen mit multiresistenten Keimen besitzt. Beim Vorliegen eines multiresistenten Keimnachweises in der Wunde sind signifikant mehr Operationen und Tage bis zur definitiven Weichteildeckung und zur Implementierung einer definitiven Osteosynthese notwendig. Die Arbeit konnte darlegen, dass trotz der Komplexität der behandelten Verletzungsentitäten nach Überleben des initialen Traumas eine hohe Chance auf eine vollständige, funktionelle Genesung besteht und eine Polytraumatisierung und das Vorhandensein eines multiresistenten Keimnachweises negative Prädiktoren für das funktionelle Outcome darstellen. Erstmals auf nationaler Ebene liefert diese Arbeit Evidenz zur posttraumatischen Lebensqualität nach Schuss- und Explosionsverletzungen. Es konnte übereinstimmend mit der Literatur aufgezeigt werden, dass Patienten mit Schuss- und Explosionsverletzungen eine niedrigere posttraumatische MH haben, als etwa Studienkohorten mit Malignomerkrankungen oder Querschnittspatienten. Explosionspatienten haben eine tendenziell niedrigere posttraumatische MH und wurden signifikant häufiger im Rahmen des postakuten stationären Aufenthaltes psychiatrisch behandelt als Schussverletzte. Es konnte ebenfalls in Übereinstimmung mit der Literatur das Schädelhirntrauma als negativer Prädiktor für die posttraumatische MH für Explosionspatienten bestätigt werden und es wurde verdeutlicht, dass auch nach einem medianen follow-up von 5,2 Jahren fast jeder fünfte Patient der Studienkohorte einen PTSD-suspekten PTSS-10-Score aufwies.

## 7. Studienlimitationen

Grundlegend ist diese Arbeit durch den Charakter retrospektiver Registerarbeiten limitiert. Anteile des Patientenklientels sind durch den monozentrischen Studienansatz limitiert. Der Großteil der Einsatzverletzten im Betrachtungszeitraum wurde im Bundeswehrzentral Krankenhaus Koblenz behandelt. Teilweise sind die erhobenen Datensätze fragmentarisch aus der Aktenlage zu rekonstruieren. Weiterhin ist die generelle Vergleichbarkeit der Ergebnisse dieser Arbeit insoweit erschwert, als dass sich Referenzliteratur und -arbeiten oft mit Detailfragen expliziter Verletzungsmuster auseinandersetzen und weniger - wie hier den Fokus auf eine generelle Betrachtung zweier Traumaentitäten legen. Rückblicken schränkt die konsequent dichotome Teilung des Datensatzes in Schuss- und Explosionsverletzungen die Vergleichbarkeit ein. In der aktuellen Literatur hat sich zunehmend die Einteilung in penetrierende oder stumpfe Traumata im Kontext von Schuss- und Explosionsverletzungen durchgesetzt. Auf diese Weise können auch Kombinationstraumata suffizient abgebildet werden. Für zukünftige Arbeiten ist eine Orientierung an dieser grundlegenden Kategorisierung sicher zweckmäßig.

Bei der Datenerfassung zur Wundcharakteristik muss erwähnt werden, dass die vorliegenden Daten aus den Behandlungsdokumentation der Studienpatienten insbesondere hier teilweise sehr lückenhaft und schwer zu rekonstruieren waren und so für die Detailbetrachtungen teilweise nur geringe Fallzahlen diskutiert werden können als die Gesamtkohorte hergäbe. Ebenso verhält es sich mit der Nachbetrachtung der funktionellen Ergebnisse.

Bei der Auswertung der Daten zur DCS haben sich klare Limitationen gezeigt. So sind die einzelnen DCS-Manöver im Datenregister nicht detailliert aufgeschlüsselt, sondern schlussendlich nur korrelierend der verletzten Körperregion zugeordnet. Weiterhin zeigen sich im Vergleich insbesondere zur amerikanischen Leitliteratur zur DCS im Einsatzszenario die Nachteile der heterogenen Studienkohorte durch den Anteil von Zivilpatienten und den hieraus resultierenden Abweichungen sowohl in der Verteilung des Verletzungsmusters, als auch bei der chirurgischen Erstversorgung im Rahmen der DCS.



Die vergleichende Datenauswertung zu mikrobiologischen und infektiologischen Aspekten ist ebenfalls durch den Charakter der Registerarbeit limitiert. Nicht jeder Patient der Studienkohorte hat Abstriche zur mikrobiologischen Aufarbeitung erhalten. Aus dem Einsatz repatriierte Soldaten und politisch zugewiesene Patienten werden im Bundeswehrzentral Krankenhaus Koblenz routinemäßig mikrobiologisch aufgearbeitet. Dies gilt nicht für behandelte Patienten mit Schuss- und Explosionsverletzten aus dem zivilen Umfeld. Hier geben die Ergebnisse der Arbeit aufgrund der nachgewiesenen Relevanz der mikrobiologischen Kontamination von Schuss- und Explosionsverletzten Anlass, zukünftig ein Konzept zur standardisierten, mikrobiologischen Aufarbeitung dieser Verletzungsentitäten zu erarbeiten, um hier mittelfristig auch Evidenz basierend auf höheren Fallzahlen erbringen zu können.

Die Auswertung der Datenerhebung zur posttraumatischen Lebensqualität zeigte an mehreren Punkten Limitationen auf. Die Rückläuferquote ist mit 29,5% im Vergleich zu anderen Studienprotokollen niedriger. Dillman et al. haben zur maximalen Steigerung der Antwortquote ein stufenweises Vorgehen mit insgesamt vierfacher Kontaktaufnahme empfohlen. [255] Die Patienten dieser Kohorte wurden lediglich einmalig mit gleichzeitiger Zusendung des Fragebogens kontaktiert, um hier juristische und insbesondere auch pietätbezogene Grenzen zu wahren. Die Ergebnisse sind weiterhin durch den subjektiven Grundcharakter des Patientenselbstreportes limitiert. Zudem ist die Vergleichbarkeit durch teilweise fehlende Standardisierung, wie zum Beispiel bei der follow-up-Zeit, eingeschränkt, was dem insgesamt retrospektiven Charakter der gesamten Arbeit geschuldet ist.

Die Befragung zur Weiterbehandlung der postalisch befragten Patienten nach Abschluss der Behandlung im Bundeswehrzentral Krankenhaus ist limitiert, da im Fragebogen die Art und Weise der externen Weiterbehandlung nicht aufgeschlüsselt ist. Da es sich hier in erster Linie nicht um chirurgische Versorgung handelt, ist zu vermuten, dass die Weiterbehandlung, insbesondere in Anbetracht der dargelegten psychiatrischen Komorbidität, vorrangig auf dem Gebiet der psychiatrischen Traumabewältigung und der rehabilitativen Medizin stattgefunden hatte.

## **8. Danksagung**

## **9. Lebenslauf**



## 10. Anhang

### 10.1 Fragebogen

1. Wie würden Sie Ihren momentanen Gesundheitszustand im Allgemeinen beschreiben (bitte kreuzen Sie nur eine Antwort an)?

|               |   |
|---------------|---|
| Ausgezeichnet | 1 |
| Sehr gut      | 2 |
| Gut           | 3 |
| Weniger gut   | 4 |
| Schlecht      | 5 |

2. Wie würden Sie Ihren derzeitigen Gesundheitszustand im Vergleich zum vergangenen Jahr beschreiben (bitte kreuzen Sie nur eine Antwort an)?

|   |   |
|---|---|
| Derzeit viel besser als vor einem Jahr      | 1 |
| Derzeit etwas besser als vor einem Jahr     | 2 |
| Etwa so wie vor einem Jahr                  | 3 |
| Derzeit etwas schlechter als vor einem Jahr | 4 |
| Derzeit viel schlechter als vor einem Jahr  | 5 |

3. Im Folgenden sind einige Tätigkeiten beschrieben, die Sie vielleicht an einem normalen Tag ausüben. Sind Sie durch Ihren derzeitigen Gesundheitszustand bei diesen Tätigkeiten eingeschränkt? Wenn ja, wie stark?

(Bitte kreuzen Sie in jeder Zeile nur eine Zahl an)

| Tätigkeiten   | Ja, stark eingeschränkt | Ja, etwas eingeschränkt | Nein, überhaupt nicht eingeschränkt |
|---|-------------------------|-------------------------|-------------------------------------|
| a.) anstrengende Tätigkeiten, z.B. schnell laufen, schwere Gegenstände heben, anstrengenden Sport treiben | 1                       | 2                       | 3                                   |
| b.) mittelschwere Tätigkeiten, z.B. einen Tisch verschieben, staubsaugen, kegeln, Golf spielen            | 1                       | 2                       | 3                                   |
| c.) Einkaufstaschen heben oder tragen   | 1                       | 2                       | 3                                   |
| d.) mehrere Treppenabsätze steigen  | 1                       | 2                       | 3                                   |
| e.) einen Treppenabsatz steigen   | 1                       | 2                       | 3                                   |
| f.) sich beugen, knien, bücken  | 1                       | 2                       | 3                                   |
| g.) mehr als 1 Kilometer zu Fuß gehen   | 1                       | 2                       | 3                                   |
| h.) mehrere Straßenkreuzungen weit zu Fuß gehen   | 1                       | 2                       | 3                                   |
| i.) eine Straßenkreuzung weit zu Fuß gehen  | 1                       | 2                       | 3                                   |
| j.) sich baden oder anziehen  | 1                       | 2                       | 3                                   |

4. Hatten Sie in den vergangenen 4 Wochen aufgrund Ihrer **körperlichen** Gesundheit irgendwelche Schwierigkeiten bei der Arbeit oder anderen alltäglichen Tätigkeiten im Beruf bzw. zu Hause? (Bitte kreuzen Sie in jeder Zeile nur eine Zahl an)

| <b>Schwierigkeiten</b>   | <b>Ja</b> | <b>Nein</b> |
|--|-----------|-------------|
| a.) Ich konnte nicht so lange wie<br>üblich tätig sein   | 1         | 2           |
| b.) Ich habe weniger geschafft<br>als ich wollte   | 1         | 2           |
| c.) Ich konnte nur bestimmte<br>Dinge tun  | 1         | 2           |
| d.) Ich hatte Schwierigkeiten bei<br>der Ausführung (z.B. ich musste mich<br>besonders anstrengen) | 1         | 2           |

5. Hatten Sie in den vergangenen 4 Wochen aufgrund **seelischer** Probleme irgendwelche Schwierigkeiten bei der Arbeit oder anderen alltäglichen Tätigkeiten im Beruf bzw. zu Hause (z.B., weil Sie sich niedergeschlagen oder ängstlich fühlten)?

| <b>Schwierigkeiten</b>                                    | <b>Ja</b> | <b>Nein</b> |
|---|-----------|-------------|
| a.) Ich konnte nicht so lange wie<br>üblich tätig sein    | 1         | 2           |
| b.) Ich habe weniger geschafft<br>als ich wollte          | 1         | 2           |
| c.) Ich konnte nicht so sorgfältig<br>wie üblich arbeiten | 1         | 2           |

6. Wie sehr haben Ihre körperliche Gesundheit oder seelischen Probleme in den vergangenen 4 Wochen Ihre normalen Kontakte zu Familienangehörigen, Freunden, Nachbarn oder zum Bekanntenkreis beeinträchtigt (bitte kreuzen Sie nur eine Antwort an)?

|                 |   |
|-----------------|---|
| Überhaupt nicht | 1 |
| Etwas           | 2 |
| Mäßig           | 3 |
| Ziemlich        | 4 |
| Sehr            | 5 |

7. Wie stark waren Ihre Schmerzen in den vergangenen 4 Wochen (bitte kreuzen Sie nur eine Antwort an)?

|                           |   |
|---------------------------|---|
| Ich hatte keine Schmerzen | 1 |
| Sehr leicht               | 2 |
| Leicht                    | 3 |
| Mäßig                     | 4 |
| Stark                     | 5 |
| Sehr stark                | 6 |



8. Inwieweit haben die Schmerzen Sie in den vergangenen 4 Wochen bei der Ausübung Ihrer Alltagstätigkeiten zu Hause und im Beruf behindert (bitte kreuzen Sie nur eine Antwort an)?

- Überhaupt nicht      1
- Ein wenig              2
- Mäßig                  3
- Ziemlich               4
- Sehr                     5

9. In diesen Fragen geht es darum, wie Sie sich fühlen und wie es Ihnen in den vergangenen 4 Wochen gegangen ist. (Bitte kreuzen Sie in jeder Zeile die Zahl an, die Ihrem Befinden am ehesten entspricht).

Wie oft waren Sie in den vergangenen 4 Wochen...

| <b>Befinden</b>  | <b>Immer</b> | <b>Meistens</b> | <b>Ziemlich oft</b> | <b>Manchmal</b> | <b>Selten</b> | <b>Nie</b> |
|--|--------------|-----------------|---------------------|-----------------|---------------|------------|
| a.) ...voller Schwung  | 1            | 2               | 3                   | 4               | 5             | 6          |
| b.) ...sehr nervös   | 1            | 2               | 3                   | 4               | 5             | 6          |
| c.)...so niedergeschlagen,<br>dass Sie nichts<br>aufheitern konnte ? | 1            | 2               | 3                   | 4               | 5             | 6          |
| d.) ...ruhig und gelassen  | 1            | 2               | 3                   | 4               | 5             | 6          |

|                                 |   |   |   |   |   |   |
|---------------------------------|---|---|---|---|---|---|
| e.) ...voller Energie?          | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| f.) ...entmutigt und<br>traurig | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| g.) ...erschöpft                | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| h.) ... glücklich               | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| i.) ...müde                     | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |

10. Inwieweit trifft jede der folgenden Aussagen auf Sie zu (Bitte kreuzen Sie in jeder Zeile nur eine Zahl an)?

| <b>Aussage</b>   | <b>Trifft ganz zu</b> | <b>Trifft weitgehend zu</b> | <b>Weiß nicht</b> | <b>Trifft weitgehend nicht zu</b> | <b>Trifft überhaupt nicht zu</b> |
|--|-----------------------|-----------------------------|-------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| a.) Ich scheine etwas leichter als andere krank zu werden  | 1                     | 2                           | 3                 | 4                                 | 5                                |
| b.) Ich bin genauso gesund wie alle anderen, die ich kenne | 1                     | 2                           | 3                 | 4                                 | 5                                |
| c.) Ich erwarte, dass meine Gesundheit nachlässt           | 1                     | 2                           | 3                 | 4                                 | 5                                |
| d.) Ich erfreue mich ausgezeichneter Gesundheit            | 1                     | 2                           | 3                 | 4                                 | 5                                |

11. Wie würden Sie Ihren derzeitigen Gesundheitszustand beschreiben (bitte kreuzen Sie nur eine Antwort an)?

- Sehr gut
- Gut
- Mittelmäßig
- Schlecht
- Sehr schlecht

12. Im Folgenden finden Sie eine Reihe von Aussagen. Bitte Kreuzen (X) Sie in jeder Reihe an, ob diese für Sie zutrifft oder nicht.

|   | Ja | Nein |
|---|----|------|
| Ich bin andauernd müde                                      | 0  | 0    |
| Ich habe nachts Schmerzen                                   | 0  | 0    |
| Ich fühle mich niedergeschlagen                             | 0  | 0    |
| Ich habe unerträgliche Schmerzen                            | 0  | 0    |
| Ich nehme Tabletten, um schlafen zu können                  | 0  | 0    |
| Ich habe vergessen, wie es ist Freude zu empfinden          | 0  | 0    |
| Ich fühle mich gereizt                                      | 0  | 0    |
| Ich finde es schmerzhaft, meine Körperposition zu verändern | 0  | 0    |
| Ich fühle mich einsam                                       | 0  | 0    |
| Ich kann mich nur innerhalb des Hauses bewegen              | 0  | 0    |

|  |   |   |
|--|---|---|
| Es fällt mir schwer mich zu bücken   | 0 | 0 |
| Alles strengt mich an  | 0 | 0 |
| Ich wache in den frühen Morgenstunden auf  | 0 | 0 |
| Ich kann überhaupt nicht gehen   | 0 | 0 |
| Es fällt mir schwer, zu anderen Menschen Kontakt aufzunehmen                                       | 0 | 0 |
| Die Tage ziehen sich   | 0 | 0 |
| Ich habe Schwierigkeiten Treppen hinauf- und hinunterzugehen                                       | 0 | 0 |
| Es fällt mir schwer nach Gegenständen zu greifen   | 0 | 0 |
| Ich habe Schmerzen beim Gehen  | 0 | 0 |
| Mir reißt derzeit oft der Geduldfaden  | 0 | 0 |
| Ich fühle, dass ich niemandem nahestehe  | 0 | 0 |
| Ich liege nachts die meiste Zeit wach  | 0 | 0 |
| Ich habe das Gefühl, die Kontrolle zu verlieren  | 0 | 0 |
| Ich habe Schmerzen, wenn ich stehe   | 0 | 0 |
| Es fällt mir schwer mich selbst anzuziehen   | 0 | 0 |
| Meine Energie lässt schnell nach   | 0 | 0 |
| Es fällt mir schwer lange zu stehen (z.B. am Spülbecken oder<br>an der Bushaltestelle)             | 0 | 0 |
| Ich habe andauernd Schmerzen   | 0 | 0 |
| Ich brauche lange zum Einschlafen  | 0 | 0 |
| Ich habe das Gefühl für andere Menschen eine Last zu sein  | 0 | 0 |
| Sorgen halten mich nachts wach   | 0 | 0 |
| Ich fühle, dass das Leben nicht lebenswert ist   | 0 | 0 |
| Ich schlafe nachts schlecht  | 0 | 0 |
| Es fällt mir schwer mit anderen Menschen auszukommen   | 0 | 0 |
| Ich brauche Hilfe, wenn ich mich außer Haus bewegen will<br>(Stock oder jemanden, der mich stützt) | 0 | 0 |

|   |   |   |
|---|---|---|
| Ich habe Schmerzen, wenn ich Treppen hinauf- und hinuntergehe | 0 | 0 |
| Ich wache deprimiert auf                                      | 0 | 0 |
| Ich habe Schmerzen, wenn ich sitze                            | 0 | 0 |

13. Wurden Sie nach der Entlassung aus dem Bundeswehrzentral Krankenhaus Koblenz bezüglich Ihrer Schuss. - oder Explosionsverletzung noch einmal in einer anderen Klinik behandelt?

Ja                       Nein

13. Wurden Sie nach der Entlassung aus dem Bundeswehrzentral Krankenhaus Koblenz bezüglich Ihrer Schuss. - oder Explosionsverletzung noch einmal in einer anderen Klinik operiert? Wenn ja, wie oft?

Nein                       Ja  ..... mal

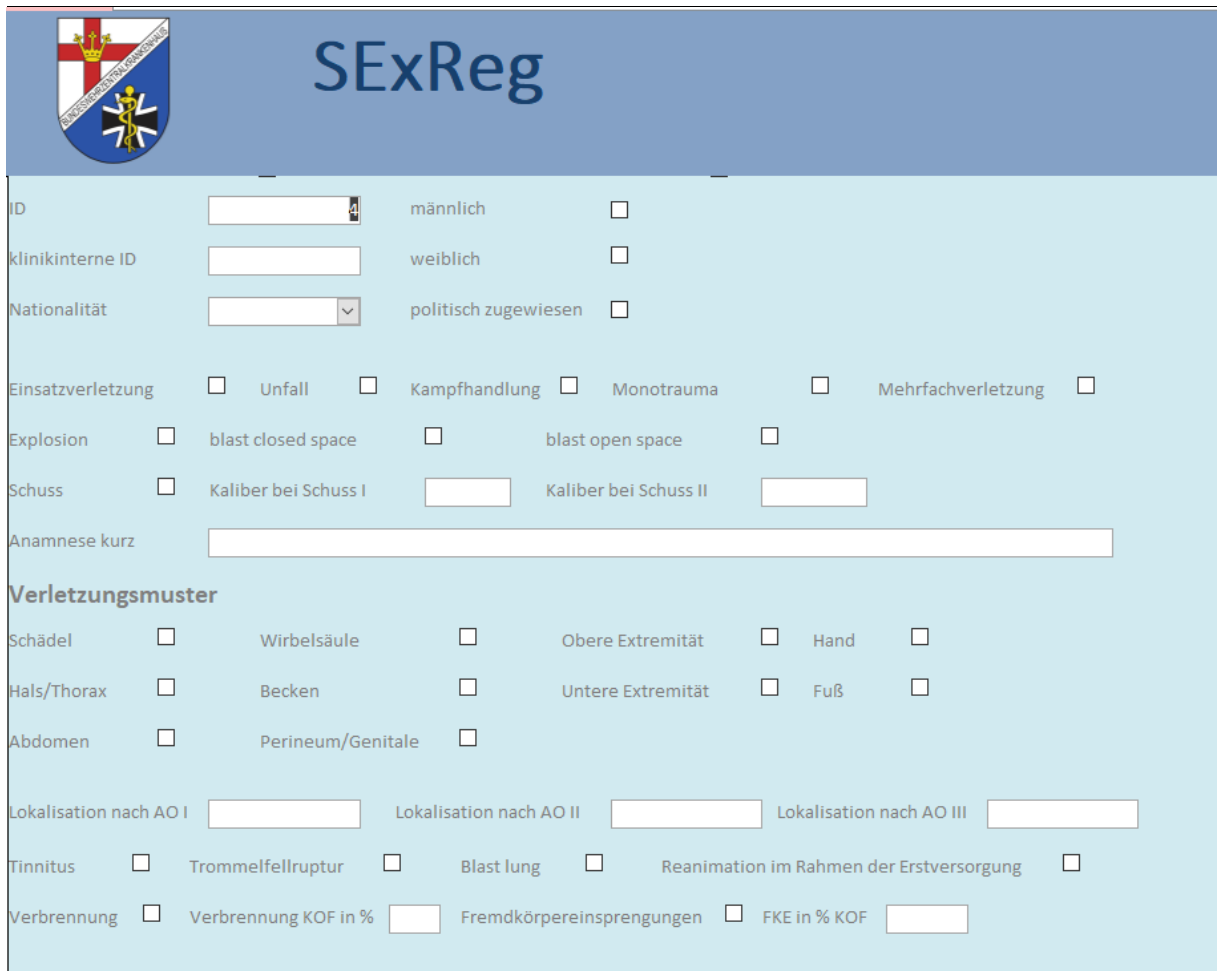
14. Bitte kreuzen Sie in der unten gegebenen Skala die auf Sie zutreffende Häufigkeit Aussage an.

In letzter Zeit habe ich Probleme .....

| Aussage   | Nie | Selten | Manchmal | Oft | Meistens | Immer |
|---|-----|--------|----------|-----|----------|-------|
| a.) ...die Nacht durch zu schlafen.   | 1   | 2      | 3        | 4   | 5        | 6     |
| b.) ...mit Alpträume vom Unfall   | 1   | 2      | 3        | 4   | 5        | 6     |
| c.) ...mit schlechter Stimmung und/oder Traurigkeit.                              | 1   | 2      | 3        | 4   | 5        | 6     |
| d.) ...mit Schreckhaftigkeit und Angst bei plötzlichen Geräuschen oder Bewegungen | 1   | 2      | 3        | 4   | 5        | 6     |
| e.) ...weil ich mich zurückziehe und lieber für mich allein bin.                  | 1   | 2      | 3        | 4   | 5        | 6     |
| f.) ... weil ich gereizt bin und oft überreagiere                                 | 1   | 2      | 3        | 4   | 5        | 6     |
| g.) ... mit Stimmungsschwankungen   | 1   | 2      | 3        | 4   | 5        | 6     |

|  |   |   |   |   |   |   |
|--|---|---|---|---|---|---|
| h.) ... mit Schuldgefühlen und Selbstvorwürfen                   | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| i.) Mit Angst vor Orten die mich an den Unfall/Einsatz erinnern. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| j.) ... mit Muskelverspannungen                                  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |

## 10.2 Datenbank



The image shows a screenshot of the SExReg database interface. At the top left is a logo featuring a red cross on a white shield with a blue border, and a caduceus below it. To the right of the logo, the text "SExReg" is displayed in a large, blue, sans-serif font. Below the header, the form is organized into several sections. The first section contains input fields for "ID", "klinikerne ID", and "Nationalität", followed by checkboxes for "männlich", "weiblich", and "politisch zugewiesen". The second section, "Einsatzverletzung", includes checkboxes for "Unfall", "Kampfhandlung", "Monotrauma", and "Mehrfachverletzung", along with "Explosion" and "Schuss" options, each with sub-options for "blast closed space" and "blast open space". The "Schuss" section also includes input fields for "Kaliber bei Schuss I" and "Kaliber bei Schuss II". A long text input field is labeled "Anamnese kurz". The third section, "Verletzungsmuster", lists various body parts with checkboxes: "Schädel", "Hals/Thorax", "Abdomen", "Wirbelsäule", "Becken", "Perineum/Genitale", "Obere Extremität", "Hand", "Untere Extremität", and "Fuß". The fourth section contains three input fields for "Lokalisation nach AO I", "Lokalisation nach AO II", and "Lokalisation nach AO III". The final section includes checkboxes for "Tinnitus", "Trommelfellruptur", "Blast lung", and "Reanimation im Rahmen der Erstversorgung", as well as "Verbrennung" and "Fremdkörpereinsprengungen", each with associated percentage input fields.

Abbildung 34: Datenbank Verletzungsmuster



Abbildung 35: Datenbank Wundklassifikation und Infektiologie

Abbildung 36: Datenbank chirurgische Versorgung



# SExReg

Primärversorgung kurz

| Frakturmanagement  | Rekonstruktion v. Knochendefekten          | Komplikationen   |
|--|--|--|
| Definitive Osteosynthese <input type="checkbox"/>                        | Segmentresektion <input type="checkbox"/>  | Pseudarthrose <input type="checkbox"/>                       |
| Definitive Osteosynthese wann <input style="width: 100px;" type="text"/> | Kallusdistraktion <input type="checkbox"/> | Revision der definitiven Versorgung <input type="checkbox"/> |
| Ausbehandlung Fixateur externe <input type="checkbox"/>                  | Masquelet <input type="checkbox"/>         | Verfahrenswechsel bei Infekt <input type="checkbox"/>        |
| Platte <input type="checkbox"/>  | Fibulaspan <input type="checkbox"/>        | Wundheilungsstörung <input type="checkbox"/>                 |
| Nagel <input type="checkbox"/>   | GPS <input type="checkbox"/>               | Amputation im Verlauf <input type="checkbox"/>               |
| Schraube <input type="checkbox"/>  | Spongiosa <input type="checkbox"/>         |  |
| Ab wann Vollbelastung <input style="width: 100px;" type="text"/>         |  |  |

Sekundärversorgung kurz

Rekonstruktive Chirurgie  Warum  Was

### Outcome

|   |  |   |
|---|--|---|
| Restitutio ad integrum <input type="checkbox"/>           | Längenverlust <input type="checkbox"/>                         | psychiatrische Mitbehandlung während Krankenhausaufenthalt <input type="checkbox"/>   |
| persistierendes Funktionsdefizit <input type="checkbox"/> | Längenverlust in cm <input style="width: 50px;" type="text"/>  | psychiatrische Behandlungsdauer in Monaten <input style="width: 100px;" type="text"/> |
| verbliebende Lähmung <input type="checkbox"/>             | Achsabweichung <input type="checkbox"/>                        | aktuell noch psychiatrische Behandlung <input type="checkbox"/>                       |
| Sensibilitätsdefizit <input type="checkbox"/>             | Achsabweichung in ° <input style="width: 50px;" type="text"/>  | WdB <input style="width: 80px;" type="text"/>   |
| Wo <input style="width: 100px;" type="text"/>             | Rotationsfehler <input type="checkbox"/>                       | GdB <input style="width: 80px;" type="text"/>   |
| Umfangsminderung <input type="checkbox"/>                 | Rotationsfehler in ° <input style="width: 50px;" type="text"/> | MdE <input style="width: 80px;" type="text"/>   |
| Kraftminderung <input type="checkbox"/>                   |  |   |

**Abbildung 37: Datenbank Frakturmanagement und Outcome**

## 11. Literaturverzeichnis

1. Kulla, M., et al., *Zivile Explosionstraumata – ein unterschätztes Problem?: Ergebnisse einer retrospektiven Analyse aus dem TraumaRegister DGU®*. Unfallchirurg, 2016. **119**: p. 843-853.
2. Europol, *TE-SAT 2016*. 2016: p. 1-60.
3. Edwards, D.S., et al., *40 years of terrorist bombings-A meta-analysis of the casualty and injury profile*. Injury, 2016. **47**: p. 646-652.
4. Europol, *European Union Terrorism Situation and Trend Report 2019*. 2019.
5. Breeze, J., et al., *Demonstrating the effectiveness of body armour: a pilot prospective computerised surface wound mapping trial performed at the Role 3 hospital in Afghanistan*. Journal of the Royal Army Medical Corps, 2015. **161**: p. 36-41.
6. Bieler, D., et al., *Schuss-und ExplosionsRegister (SExReg)*. Notfall+ Rettungsmedizin, 2018. **21**(4): p. 289-295.
7. Eastridge, et al., *Death on the battlefield (2001-2011): implications for the future of combat casualty care*. The journal of trauma and acute care surgery, 2012. **73**: p. S431-7.
8. Popivanov, G., et al., *A modern combat trauma*. Journal of the Royal Army Medical Corps, 2014. **160**: p. 52-55.
9. Owens, B.D., et al., *Combat Wounds in Operation Iraqi Freedom and Operation Enduring Freedom*. The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care, 2008. **64**: p. 295-299.
10. GÜsGEN, C., et al., *Besonderheiten und Versorgung penetrierender Verletzungen am Beispiel von Schuss- und Explosionsopfern ohne ballistischen Körperschutz in Afghanistan (2009-2013)*. Zentralblatt für Chirurgie - Zeitschrift für Allgemeine, Viszeral- und Gefäßchirurgie, 2017. **142**: p. 386-394.
11. Bieler, D., et al., *Current Strategies for the Treatment of Blast Injuries to the Extremities*. RTO of NATO: A Survey of Blast Injury across the Full Landscape of Military Science, 2011: p. 1-17.
12. Bieler, D., et al., *Terrorist attacks: common injuries and initial surgical management*. Eur J Trauma Emerg Surg, 2020.
13. Champion, H.R., J.B. Holcomb, and L.A. Young, *Injuries from explosions: physics, biophysics, pathology, and required research focus*. The Journal of trauma, 2009. **66**: p. 1468-1477; discussion 1477.
14. Gusgen, C., et al., *[Terrorist attack trauma - an individual entity of polytrauma : A 10-year update]*. Chirurg, 2017. **88**(10): p. 821-829.
15. Leibovici, D., O.N. Gofrit, and C.M. Stein, *Blast Injuries: Bus Versus Open-Air Bombings--A Comparative Study of Injuries in Survivors of Open-Air Versus Confined-Space Explosions*. The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care, 1996. **41**: p. 1030-1035.
16. Kollig, E., et al., *Current Strategies for the Treatment of Blast Injuries to the Extremities*. NATO Halifax conference, 2011: p. 1-16.
17. Kluger, Y., et al., *The quinary pattern of blast injury*. American journal of disaster medicine, 2007. **2**: p. 21-25.
18. Ning, Y.-L. and Y.-G. Zhou, *Shock tubes and blast injury modeling*. Chinese Journal of Traumatology, 2015. **18**(4): p. 187-193.
19. Cullis, I.G., *Blast Waves and How They Interact With*. 2001: p. 16-26.

20. Cooper, G.J. and D.E.M. Taylor, *Biophysics of Impact Injury to the Chest and Abdomen* G. J R Army Med Corps, 1989. **135**: p. 58-67.
21. Horrocks, C.L., *Blast Injuries : Biophysics , Pathophysiology and*. 2001: p. 28-40.
22. Johnston, A.M. and M. Ballard, *Primary Blast Lung Injury*. American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, 2015. **191**(12): p. 1462-1463.
23. DuBose, J., D.S. Plurad, and P.M. Rhee, *Blast Injuries*, in *Penetrating Trauma: A Practical Guide on Operative Technique and Peri-Operative Management*, G.C. Velmahos, E. Degiannis, and D. Doll, Editors. 2012, Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Heidelberg. p. 503-510.
24. Plurad, D.S., *Blast injury*. Military medicine, 2011. **176**: p. 276-82.
25. Weil, Y.A., R. Mosheiff, and M. Liebergall, *Blast and Penetrating Fragment Injuries to the Extremities*. Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons, 2006. **14**.
26. Depalma, R.G., et al., *Blast injuries*. The New England journal of medicine, 2005. **352**: p. 2651-2653; author reply 2651-2653.
27. Wolf, S.E., et al., *Comparison between civilian burns and combat burns from Operation Iraqi Freedom and Operation Enduring Freedom*. Annals of surgery, 2006. **243**: p. 786-792; discussion 792-795.
28. Patel, H.D.L., et al., *Human body projectiles implantation in victims of suicide bombings and implications for health and emergency care providers: The 7/7 experience*. Annals of the Royal College of Surgeons of England, 2012. **94**: p. 313-317.
29. Franke, A., et al., *The first aid and hospital treatment of gunshot and blast injuries*. Deutsches Arzteblatt International, 2017. **114**: p. 237-243.
30. Hutley, E.J. and A.D. Green, *Infection in wounds of conflict - old lessons and new challenges*. Journal of the Royal Army Medical Corps, 2009. **155**: p. 315-319.
31. Gugala, Z. and R.W. Lindsey, *Classification of gunshot injuries in civilians*. Clinical orthopaedics and related research, 2003: p. 65-81.
32. Hill, P.F., D.P. Edwards, and G.W. Bowyer, *Small fragment wounds: biophysics, pathophysiology and principles of management*. Journal of the Royal Army Medical Corps, 2001. **147**: p. 41-51.
33. Stefanopoulos, P.K., et al., *Wound ballistics of firearm-related injuries—Part 1: Missile characteristics and mechanisms of soft tissue wounding*. International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, 2014. **43**: p. 1445-1458.
34. Pollak, S., *Wound Ballistics: basics and applications*. 2012.
35. Bartlett, C.S., et al., *Ballistics and gunshot wounds: effects on musculoskeletal tissues*. The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons, 2000. **8**: p. 21-36.
36. Rozen, N. and I. Dudkiewicz, *Wound Ballistics and Tissue Damage*. 2011: p. 21-33.
37. Fackler, M.L., *Wound ballistics, round 3*. Annals of emergency medicine, 1985. **14**: p. 936-8.
38. Stefanopoulos, P.K., et al., *Gunshot wounds: A review of ballistics related to penetrating trauma*. Journal of Acute Disease, 2014. **3**: p. 178-185.
39. Bellamy, R., *Conventional warfare : ballistic, blast, and burn injuries*. 1991.
40. Fackler, M.L., et al., *Open wound drainage versus wound excision in treating the modern assault rifle wound*. Surgery, 1989. **105**: p. 576-84.

41. Maiden, N., *Ballistics reviews: mechanisms of bullet wound trauma*. Forensic Science, Medicine, and Pathology, 2009. **5**: p. 204-209.
42. Scott, R., *Pathology of injuries caused by high-velocity missiles*. Clinics in laboratory medicine, 1983. **3**: p. 273-94.
43. Tsokos, M., *Forensic pathology reviews*. 2008.
44. Breeze, J., et al., *Determining the wounding effects of ballistic projectiles to inform future injury models: a systematic review*. Journal of the Royal Army Medical Corps, 2014. **160**: p. 273-8.
45. Jourdan, P. and R. Jancovici, *War injuries of the thorax. Aggressors and wound ballistics*. Journal de chirurgie, 1990. **127**: p. 68-75.
46. Russell, R., et al., *Ballistic Injury*. BMJ, 2014. **348**: p. bmj.g1143-bmj.g1143.
47. Ramasamy, A., et al., *Penetrating missile injuries during the Iraqi insurgency*. Annals of the Royal College of Surgeons of England, 2009. **91**: p. 551-558.
48. Peleg, K., et al., *Does body armor protect from firearm injuries?* Journal of the American College of Surgeons, 2006. **202**: p. 643-8.
49. GÜsgen, C., et al., *Characteristics and Treatment Strategies for Penetrating Injuries on the Example of Gunshot and Blast Victims without Ballistic Body Armour in Afghanistan (2009 - 2013)*. Zentralbl Chir, 2017. **142**(4): p. 386-394.
50. Ling, G.S.F., P. Rhee, and J.M. Ecklund, *Surgical innovations arising from the Iraq and Afghanistan wars*. Annual review of medicine, 2010. **61**: p. 457-468.
51. Bala, M., et al., *The Pattern of Thoracic Trauma After Suicide Terrorist Bombing Attacks*. The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care, 2010. **69**: p. 1022-1029.
52. Bala, M., et al., *Abdominal Trauma After Terrorist Bombing Attacks Exhibits a Unique Pattern of Injury*. Annals of Surgery, 2008. **248**: p. 303-309.
53. Durrant, J.J., et al., *Pelvic fracture-related urethral and bladder injury*. Journal of the Royal Army Medical Corps, 2013: p. i32-9.
54. Oehmichen, M., C. Meissner, and H.G. König, *Brain Injury After Gunshot Wounding: Morphometric Analysis of Cell Destruction Caused by Temporary Cavitation*. Journal of Neurotrauma, 2000. **17**: p. 155-162.
55. Bell, R.S., et al., *Military Traumatic Brain and Spinal Column Injury: A 5-Year Study of the Impact Blast and Other Military Grade Weaponry on the Central Nervous System*. The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care, 2009. **66**: p. S104-S111.
56. Hofbauer, M., et al., *Predictive factors influencing the outcome after gunshot injuries to the head-a retrospective cohort study*. Journal of Trauma, 2010. **69**: p. 770-775.
57. Taddeo, J., M. Devine, and V.C. McAlister, *Cervical spine injury in dismounted improvised explosive device trauma*. Canadian journal of surgery. Journal canadien de chirurgie, 2015. **58**: p. S104-7.
58. Breeze, J., et al., *Maxillofacial injuries in military personnel treated at the Royal Centre for Defence Medicine June 2001 to December 2007*. British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, 2010. **48**: p. 613-616.
59. Darley, D.S. and R.M. Kellman, *Otologic considerations of blast injury*. Disaster medicine and public health preparedness, 2010. **4**: p. 145-52.
60. Dougherty, A.L., et al., *Blast-related ear injuries among U.S. military personnel*. Journal of rehabilitation research and development, 2013. **50**: p. 893-904.
61. Thach, A.B., et al., *Severe eye injuries in the war in Iraq, 2003-2005*. Ophthalmology, 2008. **115**: p. 377-82.

62. Mader, T.H., et al., *Ocular war injuries of the Iraqi Insurgency, January-September 2004*. *Ophthalmology*, 2006. **113**: p. 97-104.
63. Schoenfeld, A.J., J.C. Dunn, and P.J. Belmont, *Pelvic, spinal and extremity wounds among combat-specific personnel serving in Iraq and Afghanistan (2003–2011): A new paradigm in military musculoskeletal medicine*. *Injury*, 2013. **44**: p. 1866-1870.
64. Bevevino, A.J., et al., *Incidence and morbidity of concomitant spine fractures in combat-related amputees*. *The Spine Journal*, 2014. **14**: p. 646-650.
65. Levi, L., et al., *Wartime neurosurgical experience in Lebanon, 1982-85. II: Closed craniocerebral injuries*. *Israel journal of medical sciences*, 1990. **26**: p. 555-8.
66. Schwartz, I., et al., *Cognitive and functional outcomes of terror victims who suffered from traumatic brain injury*. *Brain injury*, 2008. **22**: p. 255-63.
67. Hurley, R.a., et al., *Blast-Related Traumatic Brain Injury: What Is Known?* *Clinical Neuroscience*, 2012: p. 2-6.
68. Hicks, R.R., et al., *Neurological effects of blast injury*. *The Journal of trauma*, 2010. **68**: p. 1257-63.
69. Blair, J.A., et al., *Spinal Column Injuries Among Americans in the Global War on Terrorism*. *The Journal of Bone & Joint Surgery*, 2012. **94**: p. e135.
70. Jandial, R., et al., *Ballistics for the Neurosurgeon*. *Neurosurgery*, 2008. **62**: p. 472-480.
71. DiMaio, V.J.M. and D.J. DiMaio, *Forensic pathology*. 2001: p. 121-156.
72. Finnie, J.W., *Forensic Pathology of Traumatic Brain Injury*. *Veterinary Pathology*, 2016. **53**: p. 962-978.
73. Breeze, J., et al., *Mortality and morbidity from combat neck injury*. *The Journal of Trauma Injury Infection and Critical Care*, 2012. **72**: p. 969-974.
74. de Lesquen, H., et al., *Challenges in war-related thoracic injury faced by French military surgeons in Afghanistan (2009-2013)*. *Injury*, 2016. **47**(9): p. 1939-44.
75. Arora, M.M., et al., *Pattern of Fatal Injuries in Counter Terrorist Operations: An Innovative Analysis through Embalming Services*. *Medical journal, Armed Forces India*, 2009. **65**: p. 103-7.
76. Scott, T.E., et al., *Primary blast lung injury-A review*, in *British Journal of Anaesthesia*. 2017, Oxford University Press. p. 311-316.
77. Melzer, C., M.M.D. Hersch, and D. Fischer, *Coagulation Associated with Blast respiratory of the*. 2015.
78. Prat, N., et al., *Intrathoracic pressure impulse predicts pulmonary contusion volume in ballistic blunt thoracic trauma*. *The Journal of trauma*, 2010. **69**: p. 749-55.
79. Roberts, J.C., et al., *Assessing Behind Armor Blunt Trauma in Accordance With the National Institute of Justice Standard for Personal Body Armor Protection Using Finite Element Modeling*. *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care*, 2007. **62**: p. 1127-1133.
80. Cannon, L., *Behind armour blunt trauma--an emerging problem*. *J R Army Med Corps*, 2001. **147**(1): p. 87-96.
81. Carr, D.J., I. Horsfall, and C. Malbon, *Is behind armour blunt trauma a real threat to users of body armour? A systematic review*. *J R Army Med Corps*, 2016. **162**(1): p. 8-11.

82. Düsel, W., et al., *Penetrieren des Bauchtrauma aus der Sicht der Bundeswehr*. Der Chirurg; Zeitschrift für alle Gebiete der operativen Medizen, 2005. **76**: p. 935-44.
83. Wani, I., et al., *Spectrum of abdominal organ injury in a primary blast type*. World Journal of Emergency Surgery, 2009. **4**: p. 46.
84. Nnamani, N.S., et al., *Genitourinary injuries and extremity amputation in Operations Enduring Freedom and Iraqi Freedom: Early findings from the Trauma Outcomes and Urogenital Health (TOUGH) project*. The journal of trauma and acute care surgery, 2016. **81**: p. S95-S99.
85. Owers, C., J.L. Morgan, and J.P. Garner, *Abdominal trauma in primary blast injury*. The British journal of surgery, 2011. **98**: p. 168-79.
86. Ignjatović, D., *Blast injuries of the intestines in abdominal injuries*. Vojnosanitetski preglad, 1994. **51**: p. 3-12.
87. Cripps, N.P.J. and G.J. Cooper, *Risk of late perforation in intestinal contusions caused by explosive blast*. British Journal of Surgery, 1997. **84**: p. 1298-1303.
88. Wölfl, C.G., et al., „ *Stop the bleeding !*“ – „ *Damage control surgery* “ vs . *definitive Versorgung*. Trauma und Berufskrankheit, 2009. **11**: p. 183-191.
89. Oh, J.S., et al., *Dismounted Blast Injuries in Patients Treated at a Role 3 Military Hospital in Afghanistan: Patterns of Injury and Mortality*. Military medicine, 2016. **181**: p. 1069-74.
90. Gordon, W., et al., *High Bilateral Amputations and Dismounted Complex Blast Injury (DCBI)*. Mil Med, 2018. **183**(suppl\_2): p. 118-122.
91. Ramasamy, A., et al., *The open blast pelvis: The significant burden of management*. The Bone & Joint Journal, 2012. **94-B**: p. 829-835.
92. Cross, A.M., et al., *The incidence of pelvic fractures with traumatic lower limb amputation in modern warfare due to improvised explosive devices*. Journal of the Royal Naval Medical Service, 2014. **100**: p. 152-6.
93. Walker, N.M., W. Eardley, and J.C. Clasper, *UK combat-related pelvic junctional vascular injuries 2008–2011: Implications for future intervention*. Injury, 2014. **45**: p. 1585-1589.
94. Banti, M., et al., *Improvised explosive device–related lower genitourinary trauma in current overseas combat operations*. Journal of Trauma and Acute Care Surgery, 2016. **80**: p. 131-134.
95. Cannon, J.W., et al., *Dismounted Complex Blast Injuries: A Comprehensive Review of the Modern Combat Experience*. Journal of the American College of Surgeons, 2016. **223**: p. 652-664.e8.
96. Doll, D., et al., *Penetrierende beckenverletzung*. Chirurg, 2006. **77**: p. 770-780.
97. Sriussadaporn, S., *Abdominopelvic vascular injuries*. Journal of the Medical Association of Thailand = Chotmaihet thangkaet, 2000. **83**: p. 13-20.
98. Pons, F., S. Rigal, and C. Dupeyron, *Abdomino-pelvic-gluteal war injuries. Principles of treatment*. Annales d'urologie, 1997. **31**: p. 294-302.
99. Salzano, A., et al., *CT findings in fire arm injuries of the pelvis. Personal experience*. La Radiologia medica, 2000. **100**: p. 310-3.
100. Ebrahimi, A., et al., *Early Reconstructions of Complex Lower Extremity Battlefield Soft Tissue Wounds*. World J Plast Surg, 2017. **6**(3): p. 332-342.
101. Rozen, N. and I. Dudkiewicz, *Armed Conflict Injuries to the Extremities*. Armed Conflict Injuries to the Extremities, 2011: p. 21-34.

102. Belmont, P.J., Jr., et al., *The nature and incidence of musculoskeletal combat wounds in Iraq and Afghanistan (2005-2009)*. J Orthop Trauma, 2013. **27**(5): p. e107-13.
103. Hull, J.B. and G.J. Cooper, *Pattern and mechanism of traumatic amputation by explosive blast*. The Journal of trauma, 1996. **40**: p. S198-205.
104. Godfrey, B.W., et al., *Patients with multiple traumatic amputations: An analysis of operation enduring freedom joint theatre trauma registry data*. Injury, 2016.
105. Penn-Barwell, J.G., et al., *Acute bilateral leg amputation following combat injury in UK servicemen*. Injury, 2014. **45**: p. 1105-1110.
106. Hollerman, J.J. and M.L. Fackler, *Gunshot wounds: Radiology and wound ballistics*. Emergency Radiology, 1995. **2**: p. 171-192.
107. Rose, S.C., C.K. Fujisaki, and E.E. Moore, *Incomplete fractures associated with penetrating trauma: etiology, appearance, and natural history*. The Journal of trauma, 1988. **28**: p. 106-9.
108. Leffers, D. and R.W. Chandler, *Tibial fractures associated with civilian gunshot injuries*. The Journal of trauma, 1985. **25**: p. 1059-64.
109. Huelke, D.F., L.J. Buege, and J.H. Harger, *Bone fractures produced by high velocity impacts*. American Journal of Anatomy, 1967. **120**: p. 123-131.
110. Bowyer, G.W. and N.D. Rossiter, *Management of gunshot wounds of the limbs*. The Journal of bone and joint surgery. British volume, 1997. **79**: p. 1031-6.
111. Elterman, J., et al., *Rhabdomyolysis and acute kidney injury in the injured war fighter*. The journal of trauma and acute care surgery, 2015. **79**: p. S171-4.
112. Dunn, J.C., et al., *Vascular Injuries in Combat-Specific Soldiers during Operation Iraqi Freedom and Operation Enduring Freedom*. Annals of Vascular Surgery, 2016. **35**: p. 30-37.
113. Brusov, P.G. and V.K. Nikolenko, *Experience of Treating Gunshot Wounds of Large Vessels in Afghanistan*. World Journal of Surgery, 2005. **29**: p. S25-S29.
114. Eastridge, B.J., et al., *Death on the battlefield (2001–2011)*. Journal of Trauma and Acute Care Surgery, 2012. **73**: p. S431-S437.
115. Sharrock, A.E., et al., *Combat vascular injury: Influence of mechanism of injury on outcome*. Injury, 2019. **50**(1): p. 125-130.
116. Singleton, J.A.G., et al., *Identifying future 'unexpected' survivors: a retrospective cohort study of fatal injury patterns in victims of improvised explosive devices*. BMJ open, 2013. **3**.
117. Malgras, B., et al., *Damage control: Concept and implementation*. J Visc Surg, 2017. **154 Suppl 1**: p. S19-s29.
118. Sherren, P.B., et al., *Lethal triad in severe burns*. Burns, 2014. **40**: p. 1492-1496.
119. Mitra, B., et al., *Trauma patients with the 'triad of death'*. Emergency Medicine Journal, 2012. **29**: p. 622-625.
120. Hinck, D., F. Gatzka, and E.S. Debus, *Surgical combat treatment of vascular injuries to the extremities: American experiences from Iraq and Afghanistan*, in *Gefasschirurgie*. 2011, Springer Verlag. p. 93-99.
121. Sharrock, A.E., et al., *Management and outcome of 597 wartime penetrating lower extremity arterial injuries from an international military cohort*. J Vasc Surg, 2019. **70**(1): p. 224-232.
122. Butler, F.K., *TCCC Updates: Two Decades of Saving Lives on the Battlefield: Tactical Combat Casualty Care Turns 20*. Journal of special operations



- medicine : a peer reviewed journal for SOF medical professionals, 2017. **17**: p. 166-172.
123. Jansen, J.O., et al., *Changes in blood transfusion practices in the UK role 3 medical treatment facility in Afghanistan, 2008-2011*. Transfusion Medicine, 2014. **24**: p. 154-161.
  124. Wang, J.-M. and J. Chen, *Damage of vascular endothelial barrier induced by explosive blast and its clinical significance*. Chinese journal of traumatology = Zhonghua chuang shang za zhi, 2016. **19**: p. 125-8.
  125. Michelassi, F., et al., *Bullet emboli to the systemic and venous circulation*. Surgery, 1990. **107**: p. 239-45.
  126. Bining, H.J.S., et al., *Venous bullet embolism to the right ventricle*. The British Journal of Radiology, 2007. **80**: p. e296-e298.
  127. Yamanari, M.G.I., et al., *Bullet embolism of pulmonary artery: a case report*. Radiologia brasileira, 2014. **47**: p. 128-30.
  128. Foster, M.A., J. Moledina, and S.L.A. Jeffery, *Epidemiology of U.K. Military Burns*. Journal of Burn Care & Research, 2011. **32**: p. 415-420.
  129. Johnson, B.W., et al., *Combat-Related Facial Burns: Analysis of Strategic Pitfalls*. Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, 2015. **73**: p. 106-111.
  130. Page, F., et al., *Epidemiology of U.K. Military Burns 2008–2013*. Journal of Burn Care & Research, 2017. **38**: p. e269-e276.
  131. Häslér, R., et al., *The antibiotic resistome and microbiota landscape of refugees from Syria, Iraq and Afghanistan in Germany*. Microbiome, 2018. **6**(1): p. 37.
  132. Kinch, K.J. and J.C. Clasper, *A brief history of war amputation*. J R Army Med Corps, 2011. **157**(4): p. 374-80.
  133. Murray, C.K., M.K. Hinkle, and H.C. Yun, *History of Infections Associated With Combat-Related Injuries*. The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care, 2008. **64**: p. S221-S231.
  134. Murray, C.K., *Infectious disease complications of combat-related injuries*. Crit Care Med, 2008. **36**(7 Suppl): p. S358-64.
  135. Korzinek, K., *War injuries of the extremities*. Der Unfallchirurg, 1993. **96**: p. 242-7.
  136. Tribble, D.R., et al., *After the Battlefield: Infectious Complications among Wounded Warriors in the Trauma Infectious Disease Outcomes Study*. Mil Med, 2019. **184**(Supplement\_2): p. 18-25.
  137. Weintrob, A.C., et al., *Early Infections Complicating the Care of Combat Casualties from Iraq and Afghanistan*. Surg Infect (Larchmt), 2018. **19**(3): p. 286-297.
  138. Journée, C., R. Guy, and R. Piedelievre, *Les projectiles, vecteurs de microbes*. Ann Med Leg, 1930.
  139. Grosse Perdekamp, M., et al., *Tissue defect at the gunshot entrance wound: what happens to the skin?* International journal of legal medicine, 2005. **119**: p. 217-22.
  140. Ryan, J.M., et al., *Field surgery on a future conventional battlefield: strategy and wound management*. Annals of the Royal College of Surgeons of England, 1991. **73**: p. 13-20.
  141. Wolf, A.W., et al., *Autosterilization in low-velocity bullets*. J Trauma, 1978. **18**(1): p. 63.
  142. Smith, O.B.C., *The Contaminating Potential of Bullets Fired Through Intermediate Targets*. Military Medicine, 1989. **154**(3): p. 147-150.

143. Tian, H.M., et al., *Quantitative bacteriological study of the wound track*. The Journal of trauma, 1988. **28**: p. S215-6.
144. Tian, H.M., et al., *Primary bacterial contamination of wound track*. Acta chirurgica Scandinavica. Supplementum, 1982. **508**: p. 265-9.
145. Prat, N.J., et al., *Wound ballistics and blast injuries*. J Visc Surg, 2017. **154 Suppl 1**: p. S9-s12.
146. Elek, S.D., *Experimental staphylococcal infections in the skin of man*. Annals of the New York Academy of Sciences, 1956. **65**: p. 85-90.
147. Zimmerli, W., et al., *Pathogenesis of foreign body infection: description and characteristics of an animal model*. The Journal of infectious diseases, 1982. **146**: p. 487-97.
148. Hinsley, D.E., S.L. Phillips, and J.S. Clasper, *Ballistic fractures during the 2003 Gulf conflict--early prognosis and high complication rate*. Journal of the Royal Army Medical Corps, 2006. **152**: p. 96-101.
149. Huh, J., et al., *Infectious complications and soft tissue injury contribute to late amputation after severe lower extremity trauma*. The Journal of Trauma, 2011. **71**: p. S47-51.
150. Kalinterakis, G., et al., *The evolution and impact of the "damage control orthopedics" paradigm in combat surgery: a review*. Eur J Orthop Surg Traumatol, 2019. **29**(3): p. 501-508.
151. Mody, R.M., et al., *Infectious Complications of Damage Control Orthopedics in War Trauma*. The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care, 2009. **67**: p. 758-761.
152. Brown, K.V., C.K. Murray, and J.C. Clasper, *Infectious complications of combat-related mangled extremity injuries in the British military*. The Journal of trauma, 2010. **69 Suppl 1**: p. S109-15.
153. Stewart, L., et al., *Combat-Related Extremity Wounds: Injury Factors Predicting Early Onset Infections*. Mil Med, 2019. **184**(Suppl 1): p. 83-91.
154. Cai, Y.L., et al., *Military Trauma and Surgical Procedures in Conflict Area: A Review for the Utilization of Forward Surgical Team*. Mil Med, 2018. **183**(3-4): p. e97-e106.
155. Dahlgren, B., et al., *Bacteriological findings in the first 12 hours following experimental missile trauma*. Acta chirurgica Scandinavica, 1981. **147**: p. 513-8.
156. Hill, P.F. and P.E. Watkins, *The prevention of experimental osteomyelitis in a model of gunshot fracture in the pig*. European Journal of Orthopaedic Surgery and Traumatology, 2001. **11**: p. 237-241.
157. Butler, F.K., *Tactical Combat Casualty Care: Update 2009*. The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care, 2010. **69**: p. S10-S13.
158. Keene, D.D., et al., *Died of wounds: a mortality review*. Journal of the Royal Army Medical Corps, 2016. **162**: p. 355-360.
159. Kotwal, R.S., et al., *A Review of Casualties Transported to Role 2 Medical Treatment Facilities in Afghanistan*. Mil Med, 2018. **183**(suppl\_1): p. 134-145.
160. Franks, F., *DISMOUNTED COMPLEX BLAST INJURY REPORT OF THE ARMY DISMOUNTED COMPLEX BLAST INJURY TASK FORCE*. Journal of Surgical Orthopaedic Advances, 2011. **21**: p. 2-7.
161. Belmont, P.J., et al., *Incidence and epidemiology of combat injuries sustained during "the surge" portion of operation Iraqi Freedom by a U.S. Army brigade combat team*. The Journal of trauma, 2010. **68**: p. 204-10.

162. Beekley, A.C., et al., *Prehospital tourniquet use in Operation Iraqi Freedom: effect on hemorrhage control and outcomes*. The Journal of trauma, 2008. **64**: p. S28-S37; discussion S37.
163. Gawande, A., E. Tuesday, and O. Enduring, *Casualties of War — Military Care for the Wounded from Iraq*. 2004: p. 2471-2475.
164. Rhee, P., et al., *QuikClot Use in Trauma for Hemorrhage Control: Case Series of 103 Documented Uses*. The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care, 2008. **64**: p. 1093-1099.
165. Morrison, J.J., et al., *Military Application of Tranexamic Acid in Trauma Emergency Resuscitation (MATTERS) Study*. Archives of surgery (Chicago, Ill. : 1960), 2012. **147**: p. 113-9.
166. Brown, K.V., et al., *Predicting the need for early amputation in ballistic mangled extremity injuries*. The Journal of trauma, 2009. **66**: p. S93-S97; discussion S97-S98.
167. Baxter, D., et al., *Pituitary dysfunction after blast traumatic brain injury*. Annals of Neurology, 2013. **74**: p. 527-536.
168. Lemke, S., et al., *Visual Quality of Life in Veterans With Blast-Induced Traumatic Brain Injury*. JAMA Ophthalmology, 2013. **131**: p. 1602.
169. Heltemes, K.J., et al., *Blast-related mild traumatic brain injury is associated with a decline in self-rated health amongst US military personnel*. Injury, 2012. **43**: p. 1990-1995.
170. Haerkens, M.H.T.M., E.C.T.H. Tan, and E. Lely, *Injured soldiers and their quality of life*. Nederlands tijdschrift voor geneeskunde, 2012. **155**: p. A5360.
171. Holbrook, T.L., et al., *Outcome after major trauma: 12-month and 18-month follow-up results from the Trauma Recovery Project*. J Trauma, 1999. **46**(5): p. 765-71; discussion 771-3.
172. Melcer, T., et al., *A Comparison of Four-Year Health Outcomes following Combat Amputation and Limb Salvage*. PLOS ONE, 2017. **12**: p. e0170569.
173. Tekin, L., et al., *Quality of Life and Functionality of Patients With Heel Reconstruction After Landmine Explosions*. PM&R, 2013. **5**: p. 591-595.
174. Demiralp, B., et al., *Amputation versus functional reconstruction in the management of complex hind foot injuries caused by land-mine explosions: a long-term retrospective comparison*. European Journal of Orthopaedic Surgery & Traumatology, 2014. **24**: p. 621-626.
175. Busse, J.W., et al., *Complex Limb Salvage or Early Amputation for Severe Lower-Limb Injury: A Meta-Analysis of Observational Studies*. Journal of Orthopaedic Trauma, 2007. **21**: p. 70-76.
176. Harris, A.M., et al., *Complications Following Limb-Threatening Lower Extremity Trauma*. Journal of Orthopaedic Trauma, 2009. **23**: p. 1-6.
177. Pham, T. and J. Hsu, *Damage control in the injured patient*. International Journal of Critical Illness and Injury Science, 2011. **1**: p. 66.
178. Boel, T., J.G. Hillingsø, and L.B. Svendsen, *Damage control surgery--a survey of a Cochrane review*. Ugeskrift for læger, 2011. **173**: p. 1291-3.
179. Blackburne, L.H., *Combat damage control surgery*. Critical Care Medicine, 2008. **36**: p. S304-S310.
180. Mathieu, L., et al., *Surgical management of combat-related upper extremity injuries*. Chir Main, 2014. **33**(3): p. 174-82.

181. Mathieu, L., et al., *Damage control orthopaedics in the context of battlefield injuries: the use of temporary external fixation on combat trauma soldiers*. Orthop Traumatol Surg Res, 2011. **97**(8): p. 852-9.
182. Sziklavari, Z. and T.F. Molnar, *Blast injures to the thorax*, in *Journal of Thoracic Disease*. 2019, AME Publishing Company. p. S167-S171.
183. Bograd, B., et al., *Use of damage control and the open abdomen in combat*. The American surgeon, 2013. **79**: p. 747-53.
184. Ball, C.G., *Damage control surgery*. Current Opinion in Critical Care, 2015. **21**: p. 538-543.
185. Arthurs, Z., et al., *The use of damage-control principles for penetrating pelvic battlefield trauma*. The American Journal of Surgery, 2006. **191**: p. 604-609.
186. Barros D'Sa, A.A., *Complex vascular and orthopaedic limb injuries*. The Journal of bone and joint surgery. British volume, 1992. **74**: p. 176-8.
187. Grosset, A., et al., *Risk factors and failures in the management of limb injuries in combat casualties*. Int Orthop, 2019. **43**(12): p. 2671-2680.
188. Taeger, G., et al., *Damage control orthopedics in patients with multiple injuries is effective, time saving, and safe*. The Journal of trauma, 2005. **59**: p. 409-16; discussion 417.
189. Franke, A., et al., *The First Aid and Hospital Treatment of Gunshot and Blast Injuries*. Dtsch Arztebl Int, 2017. **114**(14): p. 237-243.
190. Stevens, J.R. and J. Brennan, *Management and reconstruction of blast wounds of the head and neck*. Current Opinion in Otolaryngology & Head and Neck Surgery, 2016. **24**: p. 426-432.
191. Wang, E.W. and J.H. Huang, *Understanding and treating blast traumatic brain injury in the combat theater*. Neurological Research, 2013. **35**: p. 285-289.
192. Rosenfeld, J.V., R.S. Bell, and R. Armonda, *Current Concepts in Penetrating and Blast Injury to the Central Nervous System*. World Journal of Surgery, 2015. **39**: p. 1352-1362.
193. Pape, H.C., 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**(5): p. 780-786.
194. Coupland, R.M., I. Committee, and R. Cross, *The Red Cross Classification of War Wounds : The E . X . C . F . V . M . Scoring System*. 1992: p. 910-917.
195. Morfeld, M., I. Kirchberger, and M. Bullinger, *SF-36 Fragebogen zum Gesundheitszustand: Deutsche Version des Short Form-36 Health Survey*. 2011.
196. von Steinbuechel, N., et al., *Differences in Health-Related Quality of Life after Traumatic Brain Injury between varying Patient Groups: Sensitivity of a Disease Specific (QOLIBRI) and a Generic (SF-36) Instrument*. J Neurotrauma, 2019.
197. van Bekkum, S., et al., *Long-Term Quality of Life after Free Flap Upper Extremity Reconstruction for Traumatic Injuries*. J Reconstr Microsurg, 2019.
198. Reitan, I., L.B. Dahlin, and H.E. Rosberg, *Patient-reported quality of life and hand disability in elderly patients after a traumatic hand injury - a retrospective study*. Health Qual Life Outcomes, 2019. **17**(1): p. 148.
199. Schüffel, W., B. Schade, and T. Schunk, *A Brief Inventory to investigate Stress-Reactions: Posttraumatic Symptom Scale (PTSS-10) by Raphael, Lundin and Weisaeth*. 1996.

200. du Prel, J.-B., et al., *Choosing statistical tests: part 12 of a series on evaluation of scientific publications*. Deutsches Arzteblatt international, 2010. **107**: p. 343-8.
201. Lefering, R. and C. Höfer, *Jahresbericht 2018 - TraumaRegister DGU®*. 2018, Sektion Notfall- & Intensivmedizin & Schwerverletztenversorgung der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie
202. Bieler, D., et al., *Schuss- und Stichverletzungen in Deutschland – Epidemiologie und Outcome: Eine Analyse aus dem TraumaRegister DGU®*. Unfallchirurg, 2014. **117**: p. 995-1004.
203. Tribble, D.R., et al., *Epidemiology of Trauma-Related Infections among a Combat Casualty Cohort after Initial Hospitalization: The Trauma Infectious Disease Outcomes Study*. Surg Infect (Larchmt), 2018. **19**(5): p. 494-503.
204. Fleming, M., et al., *Dismounted complex blast injuries: patterns of injuries and resource utilization associated with the multiple extremity amputee*. Journal of surgical orthopaedic advances, 2012. **21**: p. 32-7.
205. Ramasamy, a., et al., *Blast mines: physics, injury mechanisms and vehicle protection*. Journal of the Royal Army Medical Corps, 2009. **155**: p. 258-64.
206. Belmont, P.J., et al., *The Nature and Incidence of Musculoskeletal Combat Wounds in Iraq and Afghanistan (2005–2009)*. Journal of Orthopaedic Trauma, 2013. **27**: p. e107-e113.
207. Akhavan-Sigari, R., et al., *Study of Radial Nerve Injury Caused By Gunshot Wounds and Explosive Injuries among Iraqi Soldiers*. Open Access Maced J Med Sci, 2018. **6**(9): p. 1622-1626.
208. Mamczak, C.N. and E.a. Elster, *Complex dismantled IED blast injuries: the initial management of bilateral lower extremity amputations with and without pelvic and perineal involvement*. Journal of surgical orthopaedic advances, 2012. **21**: p. 8-14.
209. Engelhardt, M., et al., *[Management of Vascular Trauma in Military Conflicts and Terrorist Attacks]*. Zentralbl Chir, 2018. **143**(5): p. 466-474.
210. Riddez, L., *Wounds of war in the civilian sector: principles of treatment and pitfalls to avoid*. Eur J Trauma Emerg Surg, 2014. **40**(4): p. 461-8.
211. Balazs, G.C., et al., *Blurred front lines: triage and initial management of blast injuries*. Curr Rev Musculoskelet Med, 2015. **8**(3): p. 304-11.
212. DuBose, J., et al., *Bilateral internal iliac artery ligation as a damage control approach in massive retroperitoneal bleeding after pelvic fracture*. J Trauma, 2010. **69**(6): p. 1507-14.
213. Smith, I.M., et al., *A prospective observational study of abdominal injury management in contemporary military operations: damage control laparotomy is associated with high survivability and low rates of fecal diversion*. Ann Surg, 2015. **261**(4): p. 765-73.
214. Dagain, A., et al., *Acute neurosurgical management of traumatic brain injury and spinal cord injury in French armed forces during deployment*. Neurosurg Focus, 2018. **45**(6): p. E9.
215. Saldanha, V., et al., *Wartime Soft Tissue Coverage Techniques for the Deployed Surgeon*. Mil Med, 2018. **183**(9-10): p. e247-e254.
216. Godina, M., *Early microsurgical reconstruction of complex trauma of the extremities*. Plast Reconstr Surg, 1986. **78**(3): p. 285-92.

217. Sabino, J.M., J. Slater, and I.L. Valerio, *Plastic Surgery Challenges in War Wounded I: Flap-Based Extremity Reconstruction*. *Adv Wound Care* (New Rochelle), 2016. **5**(9): p. 403-411.
218. Valerio, I.L., et al., *From battleside to stateside: the reconstructive journey of our wounded warriors*. *Ann Plast Surg*, 2014. **72 Suppl 1**: p. S38-45.
219. Brown, T.S., et al., *Inflammatory response is associated with critical colonization in combat wounds*. *Surg Infect (Larchmt)*, 2011. **12**(5): p. 351-7.
220. Penn-Barwell, J.G., et al., *Aggressive soft tissue infections and amputation in military trauma patients*. *J R Nav Med Serv*, 2012. **98**(2): p. 14-8.
221. Bosse, M.J., et al., *An analysis of outcomes of reconstruction or amputation after leg-threatening injuries*. *N Engl J Med*, 2002. **347**(24): p. 1924-31.
222. Mathieu, L., et al., *Temporary and definitive external fixation of war injuries: use of a French dedicated fixator*. *Int Orthop*, 2014. **38**(8): p. 1569-76.
223. Franke, A., et al., *Management of Soft-Tissue and Bone Defects in a Local Population: Plastic and Reconstructive Surgery in a Deployed Military Setting*. *Military medicine*, 2017. **182**: p. e2010-e2020.
224. Karami, R.A., et al., *Reconstruction of composite leg defects post-war injury*. *Int Orthop*, 2019. **43**(12): p. 2681-2690.
225. Grubor, P., et al., *Treatment of Bone Defects in War Wounds: Retrospective Study*. *Med Arch*, 2015. **69**(4): p. 260-4.
226. Walker, M., B. Sharareh, and S.A. Mitchell, *Masquelet Reconstruction for Posttraumatic Segmental Bone Defects in the Forearm*. *J Hand Surg Am*, 2019. **44**(4): p. 342.e1-342.e8.
227. Masquelet, A., et al., *Bone Repair Using the Masquelet Technique*. *J Bone Joint Surg Am*, 2019. **101**(11): p. 1024-1036.
228. Bieler, D., et al., *Masquelet technique for reconstruction of osseous defects in a gunshot fracture of the proximal thigh--a case study*. *Mil Med*, 2014. **179**(9): p. e1053-8.
229. Ley, P., R.A. Gosselin, and R. Villar, *Erratum: The Masquelet induced-membrane technique: an option for a tertiary-referral conflict setting*. *J Surg Case Rep*, 2019. **2019**(7): p. rjz232.
230. Mathieu, L., et al., *Masquelet technique for open tibia fractures in a military setting*. *Eur J Trauma Emerg Surg*, 2019.
231. Fakhri, R.M., et al., *Decision-making algorithm for sequential treatment of diaphyseal bone gaps in war-wounded patients in the Middle East*. *Int Orthop*, 2019. **43**(12): p. 2653-2659.
232. Bumbasirevic, M., et al., *War-related infected tibial nonunion with bone and soft-tissue loss treated with bone transport using the Ilizarov method*. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2010. **130**(6): p. 739-49.
233. Akgun, U., U. Canbek, and N.H. Aydogan, *Masquelet technique versus Ilizarov bone transport for reconstruction of lower extremity bone defects following posttraumatic osteomyelitis*. *Injury*, 2018. **49**(3): p. 738.
234. Lee, D.H., et al., *Bone marrow aspirate concentrate and platelet-rich plasma enhanced bone healing in distraction osteogenesis of the tibia*. *Clin Orthop Relat Res*, 2014. **472**(12): p. 3789-97.
235. Verboket, R., et al., *Autologous cell-based therapy for treatment of large bone defects: from bench to bedside*. *Eur J Trauma Emerg Surg*, 2018. **44**(5): p. 649-665.

236. Yun, H.C., et al., *Infectious complications of noncombat trauma patients provided care at a military trauma center*. *Mil Med*, 2010. **175**(5): p. 317-23.
237. Abghari, M., et al., *Outcomes Following Low-Energy Civilian Gunshot Wound Trauma to the Lower Extremities: Results of a Standard Protocol at an Urban Trauma Center*. *Iowa Orthop J*, 2015. **35**: p. 65-9.
238. Godfrey, B.W., et al., *Patients with multiple traumatic amputations: An analysis of operation enduring freedom joint theatre trauma registry data*. *Injury*, 2017. **48**(1): p. 75-79.
239. Warkentien, T., et al., *Invasive mold infections following combat-related injuries*. *Clin Infect Dis*, 2012. **55**(11): p. 1441-9.
240. Baechler, M.F., et al., *Soft tissue management of war wounds to the foot and ankle*. *Foot Ankle Clin*, 2010. **15**(1): p. 113-38.
241. Lichte, P., et al., *Chest trauma from a surgical perspective*. *Unfallchirurg*, 2018. **121**(5): p. 403-412.
242. Mac Donald, C.L., et al., *Early Clinical Predictors of 5-Year Outcome After Concussive Blast Traumatic Brain Injury*. *JAMA Neurol*, 2017. **74**(7): p. 821-829.
243. Mac Donald, C.L., et al., *Association Between 5-Year Clinical Outcome in Patients With Nonmedically Evacuated Mild Blast Traumatic Brain Injury and Clinical Measures Collected Within 7 Days Postinjury in Combat*. *JAMA Netw Open*, 2019. **2**(1): p. e186676.
244. Izadi, M., et al., *Health-related quality of life in patients with chronic wounds before and after treatment with medical ozone*. *Medicine (Baltimore)*, 2018. **97**(48): p. e12505.
245. Mörsdorf, P., et al., *[Quality of life after multiple trauma]*. *Der Chirurg; Zeitschrift Fur Alle Gebiete Der Operativen Medizin*, 2014. **85**(3): p. 208.
246. Jukic, M., et al., *Health-Related Quality of Life of Ex-Prisoners of War Affected by Posttraumatic Stress Disorder 25 Years After Captivity*. *Psychiatr Danub*, 2019. **31**(2): p. 189-200.
247. Santino, C., et al., *Prospective evaluation of health-related quality of life in geriatric trauma patients*. *Surgery*, 2019. **166**(3): p. 403-407.
248. Zurcher, C., H. Tough, and C. Fekete, *Mental health in individuals with spinal cord injury: The role of socioeconomic conditions and social relationships*. *PLoS One*, 2019. **14**(2): p. e0206069.
249. Holzer, L.A., et al., *Body image, self-esteem, and quality of life in patients with primary malignant bone tumors*. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2019.
250. Wahlbeck, K., et al., *European Pact for Mental Health and Wellbeing*. *Psychiatrie*, 2010: p. 74-80.
251. Raphael, B., T. Lundin, and L. Weisaeth, *A research method for the study of psychological and psychiatric aspects of disaster*. *Acta Psychiatr Scand Suppl*, 1989. **353**: p. 1-75.
252. Schade, B. and W. Schüffel, *Untersuchung zu Belastungen und Streßreaktionen von Sanitätspersonal im humanitären Hilfseinsatz in Kambodscha*, in *Friedensengel im Kampfanzug? Zu Theorie und Praxis militärischer UN-Einsätze*, G.-M. Meyer, Editor. 1996, VS Verlag für Sozialwissenschaften: Wiesbaden. p. 153-191.
253. Magruder, K., et al., *Prevalence of Posttraumatic Stress Disorder in Vietnam-Era Women Veterans: The Health of Vietnam-Era Women's Study (HealthVIEWS)*. *JAMA Psychiatry*, 2015. **72**(11): p. 1127-34.

254. Mota, N.P., et al., *Posttraumatic stress symptom courses in U.S. military veterans: A seven-year, nationally representative, prospective cohort study*. J Psychiatr Res, 2019. **119**: p. 23-31.
255. Dillman, D.A., *Mail and Internet surveys: The tailored design method--2007 Update with new Internet, visual, and mixed-mode guide*. 2011: John Wiley & Sons.