

Aus der  
Klinik und Poliklinik für Allgemein-, Viszeral-, Transplantations-, Gefäß- und  
Kinderchirurgie  
Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. C.-T. Germer

Klinische Implikationen zur Versorgung von  
Schockraumpatienten – eine retrospektive Fall-Kontroll-  
Studie zu Fraktur-assoziierten Gefäßverletzungen

## **INAUGURAL - DISSERTATION**

**zur Erlangung der Doktorwürde der  
Medizinischen Fakultät**

**der  
Julius-Maximilians-Universität Würzburg  
vorgelegt von**

Christina Schneemann  
**aus München**  
**Würzburg, Dezember 2020**



Referent: Priv.-Doz. Dr. med. Udo Lorenz

Koreferent: Prof. Dr. med. Nicolas Schlegel

Dekan: Prof. Dr. med. Matthias Frosch

Tag der mündlichen Prüfung: 07.12.2020

Die Promovendin ist Ärztin

***- Man sieht nur mit dem Herzen gut -***

**Der kleine Prinz  
Antoine De Saint-Exupéry**

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Epidemiologie	1
1.2	Epidemiologie von Gefäßverletzungen	2
1.3	Funktion des Schockraums	5
1.3.1	Struktur des Schockraums	5
1.3.2	Polytrauma	10
1.3.3	Schockraummanagement	13
1.3.4	Gerinnungsmanagement	16
1.3.5	Schockraum im ZOM des Universitätsklinikums Würzburg	19
1.4	Klassifikation von Gefäßverletzungen	20
1.4.1	Aufbau und Funktion der Gefäßwandschichten	20
1.4.2	Direkte Gefäßverletzungen	21
1.4.3	Indirektes Gefäßtrauma	25
1.5	Klinische Zeichen einer Gefäßverletzung	29
1.6	Diagnostik	31
1.6.1	Sonographie	31
1.6.2	Computertomographie / CT-Angiographie	33
1.6.3	Digitale Subtraktionsangiographie (DSA)	34
1.6.4	Trauma Score Systeme	35
1.7	Therapieprinzipien von Gefäßverletzungen	40
1.7.1	Erstversorgung	40
1.7.2	Behandlungsalgorithmus	41
1.7.3	Operative Therapie	44
1.7.4	Radiologisch interventionelle Therapieoptionen	48
1.7.5	Weitere Maßnahmen und Komplikationen	50
1.8	Ziele der Arbeit	54
2	Material und Methoden	56
2.2	Behandlungsalgorithmus am Klinikum der Universität Würzburg	56
2.3	Datenerhebung	57
2.4	Auswertung	59
2.5	Statistische Methoden	60
2.6	Grafiken und radiologische Abbildungen	61
3	Ergebnisse	63
3.1	Gesamtkollektiv	63
3.2	Gefäßchirurgische Notfälle	65
3.2.1	Trauma-assoziierte Verletzungen	66
3.2.2	Nicht Trauma-assoziierte Verletzungen	66
3.3	Fraktur-assoziierte Gefäßverletzungen	67
3.3.1	Geschlechterverteilung	67
3.3.2	Altersverteilung	68
3.3.3	Verletzungsmuster und deren Lokalisation	68
3.3.4	Therapie von Fraktur-assoziierten Gefäßverletzungen	72
3.3.5	Amputationen	74
3.3.6	Mortalität	75
3.4	Fall-Kontroll-Analyse	75
4	Diskussion	85
5	Zusammenfassung und Ausblick	96
6	Literaturverzeichnis	99
7	Anhang	113

# 1 Einleitung

## 1.1 Epidemiologie

Weltweit sind 10% der Todesfälle traumatisch bedingt. In der Altersgruppe zwischen 5 und 44 Jahren zählt das Trauma weltweit zu der führenden Todesursache. In Europa sterben jährlich etwa 1 Million Menschen an den Folgen eines Traumas. In Deutschland verstarben im Jahr 2015 9% der Traumapatienten an den Unfallfolgen im Akut-Krankenhaus. [1-4]

Durch die flächendeckende Implementierung des Konzepts „TraumaNetzwerk DGU“ der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU) und der verpflichtenden Dokumentation aller über den Schockraum aufgenommenen Patienten, kann seit den letzten Jahren ein detaillierter epidemiologischer Überblick über das Traumakollektiv gegeben werden. [5, 6] Im „TraumaNetzwerk DGU“ wurden im Jahr 2015 aus insgesamt 636 Kliniken die Daten von 39.346 im Schockraum aufgenommenen Patienten registriert. Als schwerverletzte Patienten kann das sogenannte Basis-Kollektiv gesehen werden, welches Leichtverletzte und Überlebende ohne Intensivtherapie nicht berücksichtigt. Im Jahr 2015 handelte es sich dabei um 32.338 Patienten und es konnte eine Letalität von 11,4% dokumentiert werden. [4]

„Die häufigste Todesursache in der Akutphase nach einem Trauma ist die nicht-kontrollierbare Blutung. Nahezu 40% aller Patienten, die in der Akutphase nach Trauma versterben, verbluten.“ [3]

Durch die schnelle Identifikation der Blutungsquelle und Kontrolle derselben kann der Blutverlust minimiert, die Gewebepfusion wiederhergestellt, ein hämodynamischer Schock verhindert und folglich der Patient gerettet werden. Zusätzlich ist die sich posttraumatisch entwickelnde Gerinnungsstörung für die unkontrollierte Blutungssituation mitverantwortlich und mit einer Erhöhung der Morbidität und Mortalität beim Schwerverletzten vergesellschaftet. [3] Nach Kleber et al. zählen Gefäßverletzungen mit einem hämorrhagischen Schock zu den häufigsten Gründen für einen traumatischen Herzkreislaufstillstand. Sie sind die zweithäufigste Ursache abwendbarer Todesfälle in der präklinischen

Phase. Die häufigste Ursache abwendbarer Todesfälle ist ein Spannungspneumothorax. [7-9]

Im Rahmen von Unfällen kommt es in 1-4% der Fälle zu interventionsbedürftigen Gefäßverletzungen, wobei deren genaue Prävalenz sehr unterschiedlich angegeben wird. [7, 10-12] Bei polytraumatisierten Patienten zählen Gefäßverletzungen mit einer Inzidenz von ca. 10% eher zu den selteneren, dennoch aber vital bedrohlichen Unfallfolgen. (Definition Polytrauma siehe 1.3.2) [7, 13-15] Davon sind in 70 bis 90 % der Fälle die Arterien der Extremitäten betroffen, häufig mit Beteiligung der begleitenden Venen. [7, 11, 13]

Heberer et al. zeigen, dass eine begleitende, periphere Gefäßverletzung doppelt so häufig bei einem polytraumatisierten Patienten, wie bei einer isolierten Extremitätenfraktur auftritt. [16]

„Zusätzlich liegen häufig schwere Begleitverletzungen der angrenzenden Weichteile, Nerven, Knochen und Organe vor.“ [7] Folglich handelt es sich um komplexe Schädigungen, welche mit einer hohen Morbidität, einem großen Amputationsrisiko und einer hohen allgemeinen Komplikationsrate einhergehen. [12]

Ziemann et al. weisen daraufhin, dass der Faktor Zeit und die diagnostischen Überlegungen bezüglich der Möglichkeit einer Gefäßverletzung für die Prognose kombinierter Verletzungsmuster entscheidend ist. Daten zur Versorgung von Polytraumapatienten mit gleichzeitiger Gefäßverletzung liegen hauptsächlich aus bewaffneten Konflikten vor. [10]

## **1.2 Epidemiologie von Gefäßverletzungen**

Die epidemiologischen Daten zu Gefäßverletzungen variieren weltweit und sind abhängig von der Geographie des Landes, der politischen Lage, dem sozioökonomischen Status und der Verletzungsart (militärische versus zivile Ursache). Untersuchungen sind aus diesem Grund nur bedingt übertragbar. In Deutschland gibt es, anders als in den skandinavischen Ländern und den USA, kein einheitliches Register, welches Gefäßverletzungen erfasst. Die

epidemiologischen Daten für Deutschland werden somit aus publizierten Zentrumsanalysen und *single center experiences* entnommen. [12, 13]

Laut Ruppert et al. sind Gefäßverletzungen in 2/3 der Fälle traumatischer Genese. [13] Traumatisch bedingte Gefäßverletzungen finden sich aufgrund des Verletzungsmechanismus (Verkehrsunfall, Arbeitsunfall mit Sturz aus großer Höhe, Verschüttungstrauma, Sportunfall) mehrheitlich bei Patienten im Alter zwischen 20 und 40 Jahren. Bei 95% der Gefäßverletzungen handelt es sich um ein direktes (penetrierendes oder stumpfes) Trauma. Nur ca. 5 % der Gefäßverletzungen werden durch ein indirektes Trauma verursacht.

Die häufigsten Gefäßverletzungen treten an den Extremitäten auf, wobei die untere Extremität zur Hälfte und die obere Extremität zu einem Drittel betroffen ist. Das am häufigsten betroffene Gefäß ist die Arteria femoralis. Offene periphere Gefäßverletzungen mit ausgeprägten Begleitverletzungen gehen häufig mit einer hohen Sterblichkeit noch an der Unfallstelle einher, während bei der geschlossenen Gefäßverletzung die kritische Gewebeischämie mit einem hohen Amputationsrisiko im Vordergrund steht. [11-13, 17, 18]

In Deutschland ereignen sich heutzutage die meisten peripheren Gefäßverletzungen im Rahmen von Verkehrs-, Arbeits- und Freizeitunfällen. 70% aller Gefäßverletzungen werden nach Billing et al. durch Verkehrsunfälle verursacht. Als Unfallmechanismus überwiegt das direkte, stumpfe Trauma. Hierbei treten auch immer wieder im Zusammenhang mit Luxationen Gefäßverletzungen auf. Bei bis zu 16% der Kniegelenkluxationen liegt eine Verletzung der Arteria poplitea vor. [12, 18] Laut Ruppert et al. ereignen sich in Mitteleuropa stumpfe und penetrierende (scharfe) Gefäßtraumata mit der gleichen Häufigkeit. [13]

In den USA und Afrika findet man zum Beispiel vermehrt penetrierende Gefäßtraumata durch Schuss-, Stich- und Hiebverletzungen. In den USA überwiegt diese Art von Läsion mit einer Häufigkeit von 70-90%. [12, 13, 18] Dies ist vermutlich auf den verfassungsrechtlich geschützten Waffenbesitz und soziokulturelle Unterschiede zurückzuführen. Dementsprechend lag die Rate schussbedingter Gefäßverletzungen in einer Studie aus Houston Texas bei 50%. [19, 20]

In den letzten Jahren ist jedoch auch einen deutlichen Anstieg der iatrogenen Gefäßverletzungen durch den vermehrten Einsatz endovaskulärer Monitoring-, Diagnose- und Therapieverfahren festzustellen. Iatrogene Gefäßverletzungen treten vor allem im Rahmen von Punktionstraumata, Tumorsektionen und orthopädischen, beziehungsweise unfallchirurgischen Eingriffen an großen Gelenken auf. Neuere Statistiken zeigen, dass etwa 40 bis 55% aller behandlungsbedürftigen Gefäßverletzungen iatrogen induziert sind. [7, 11-13, 18, 21] Laut Gabel et al. sind iatrogene Gefäßverletzungen mittlerweile deutlich häufiger als traumatisch bedingte Gefäßverletzungen. Im Zusammenhang mit offenen Frakturen fand man an der Universitätsklinik in Dresden über einen Zeitraum von 5 Jahren nur 9% aller Gefäßverletzungen vor. [15]

Sekundäre Komplikationen werden häufig im Bereich der unteren Extremität beobachtet. Dabei bringen besonders stumpfe Gefäßtraumata ein hohes Risiko für eine Amputation mit sich. In der Literatur wird eine Amputationsrate von 8 bis 24% angegeben. Besonders isolierte Verletzungen der Arteria poplitea ziehen höhere Amputationsraten nach sich. [12, 13, 18] Laut Gumbel et al. sind Risikofaktoren für eine Amputation stumpfe Gewalteinwirkung mit zu erwartenden großen Weichteilschäden und Hochgeschwindigkeitsgeschosse oder Schussverletzungen aus nächster Nähe. [12]

Durch die Minimierung des einwirkenden Zeitfaktors, welcher für den Extremitätenerhalt eine herausragende Bedeutung hat, konnte in den letzten Jahrzehnten eine deutliche Verbesserung des *Outcomes* erzielt werden. Unter dem *Outcome* versteht man in der Medizin das Endergebnis einer Therapiemaßnahme. [22] Im amerikanischen Bürgerkrieg führte jede Gefäßverletzung zu einer Amputation mit einer Mortalität von 10-40%, wohingegen in aktuellen Konflikten (Irak und Afghanistan) Amputationsraten von 3 bis 12% vorliegen. Durch die Einführung der boden- und luftgebundenen Rettung und damit dem schnelleren Transport konnte auch im Bereich der zivilen Unfälle eine Verringerung der Amputationsrate erzielt werden. „In modernen Traumazentren werden derzeit beim Eintreffen des Patienten nach etwa 1 Stunde Amputationsraten von unter 5% berichtet.“ [10]

## **1.3 Funktion des Schockraums**

### **1.3.1 Struktur des Schockraums**

Ein Schockraum ist definiert als ein spezieller Behandlungsraum innerhalb der Notaufnahme einer Klinik und dient der Erstversorgung schwerverletzter und polytraumatisierter Patienten. Somit kann die Diagnostik und Behandlung im Schockraum als Schnittstelle zwischen präklinischer und klinischer Versorgung gesehen werden. Er muss zu jeder Zeit mit einer personell und materiell qualifizierten Besetzung beziehungsweise Ausstattung zur Verfügung stehen. In einem überregionalen Traumazentrum muss es Kapazitäten für die gleichzeitige Behandlung von mindestens zwei Schwerverletzten geben. [5, 6, 23]

Der Schockraum selbst soll eine Größe von mindestens 25 m<sup>2</sup> aufweisen, um bei entsprechender Teamgröße ausreichend Arbeitsplatz für jede Einzelperson zu gewährleisten und eine freie Zugänglichkeit des zu untersuchenden Patienten von allen Seiten zu ermöglichen. Für die apparative Diagnostik muss im Schockraum entweder eine Bildgebung auf Basis von Sonographie und Röntgen oder eines dort installierten Computertomographen gegeben sein. [5, 6]

Innerhalb des Schockraums können bereits kleinere operative Maßnahmen bei vitaler Bedrohung (z.B. Spannungspneumothorax) durchgeführt werden. Ein Notfalloperationssaal sollte sich in unmittelbarer Nähe befinden, um die innerklinische Transportzeit zu minimieren und eine schnelle Durchführung von Notfalleingriffen zu gewährleisten zu können. [5, 24]

Entscheidend ist, dass ein kompetentes und eingespieltes Schockraumteam die Behandlung des schwerverletzten, beziehungsweise polytraumatisierten, Patienten übernimmt. Das Schockraumbasisteam besteht entsprechend der Versorgungsstufe im TraumaNetzwerk DGU aus 2 bis 4 Ärzten und 4-5 Pflegekräften. Zusätzlich ist ein/e radiologisch-technische Assistent/in Teil des Teams.

Die Hälfte der verantwortlichen unfallchirurgischen Ärzte muss mindestens den ATLS®-Kurs-Standard nachweisen.

Die teilnehmenden Kliniken am Projekt TraumaNetzwerk DGU [25-27] wurden basierend auf den Voraussetzungen der Kliniken kategorisiert in:

- Lokale Traumazentren (LTZ)
- Regionale Traumazentren (RTZ)
- Überregionale Traumazentren (ÜTZ)

„Die Größe eines Traumanetzwerks wird im Wesentlichen von den teilnehmenden Kliniken bestimmt. Grundvoraussetzung ist die Zusammenarbeit von mindestens 5 Kliniken unterschiedlicher Versorgungsstufen mit üblicherweise mindestens einem ÜTZ pro Netzwerk in einer geografisch zugeordneten Region.“ [27] Durch diese vernetzten Strukturen ist die Option der Verlegung in ein höhergeordnetes Traumazentrum stets gegeben. „Im Bedarfsfall können bei zu erwartenden langen Transportzeiten die Erstversorgung und vitale Stabilisierung zunächst in einer Einrichtung der Basisversorgung erfolgen, von wo aus die Verlegung in ein Krankenhaus einer höheren Versorgungsstufe vorgenommen werden kann.“ [25]

**Tabelle 1** Mitglieder des Schockraumbasisteam (in Abhängigkeit der Versorgungsstufe)

<b>Lokales Traumazentrum</b>	<b>Regionales Traumazentrum</b>	<b>Überregionales Traumazentrum</b>
1 FA für Orthopädie/ Unfallchirurgie oder Viszeralchirurgie oder Allgemeinchirurgie bzw. Weiterbildungsassistent (FA-Standard)	1 FA bzw. Weiterbildungsassistent für Orthopädie/ Unfallchirurgie (FA-Standard)	1 FA bzw. Weiterbildungsassistent für Orthopädie und Unfallchirurgie (FA-Standard)
1 FA für Anästhesiologie bzw. Weiterbildungsassistent (FA-Standard)	1 Weiterbildungsassistent in Orthopädie/ Unfallchirurgie oder in Viszeralchirurgie und/oder Allgemeinchirurgie	1 Weiterbildungsassistent in Orthopädie und Unfallchirurgie oder in Zusatzweiterbildung „Spezielle Unfallchirurgie“ oder Weiterbildungsassistent in Viszeralchirurgie oder Allgemeinchirurgie
	1 FA für Anästhesiologie bzw. Weiterbildungsassistent (FA-Standard)	1 FA für Anästhesiologie bzw. Weiterbildungsassistent (FA-Standard),
	1 FA für Radiologie bzw. Weiterbildungsassistent (FA-Standard)	1 FA für Radiologie bzw. Weiterbildungsassistent (FA-Standard)
2 Pflegekräfte Chirurgie	2 Pflegekräfte Chirurgie	2 Pflegekräfte Chirurgie
1 Pflegekraft Anästhesiologie	1 Pflegekraft Anästhesiologie	1 Pflegekraft Anästhesiologie
1 medizinisch-technische Radiologiefachkraft	1 medizinisch-technische Radiologiefachkraft	1 medizinisch-technische Radiologiefachkraft
		Transportdienst

Abhängig von der Versorgungsstufe des Krankenhauses variiert die Mitgliederzahl des erweiterten Schockraumteams, welches innerhalb von 20 Minuten anwesend sein muss, zwischen 4 bis 11, beziehungsweise 14 Ärzten. Das Schockraumteam soll je nach Verletzungsschwere und –ausmaß erweitert werden. [5, 6]

**Tabelle 2** Mitglieder des erweiterten Schockraumteams (in Abhängigkeit der Versorgungsstufe)

<b>Lokales Traumazentrum</b>	<b>Regionales Traumazentrum</b>	<b>Überregionales Traumazentrum</b>
FA für Orthopädie/ Unfallchirurgie mit Zusatzweiterbildungsqualifikation Spezielle Unfallchirurgie (OA)	FA für Orthopädie/ Unfallchirurgie mit Zusatzweiterbildungsqualifikation Spezielle Unfallchirurgie (OA)	FA für Orthopädie/ Unfallchirurgie mit Zusatzweiterbildungsqualifikation Spezielle Unfallchirurgie (OA) oder FA für Chirurgie mit Spezieller Unfallchirurgie (OA)
FA für Viszeralchirurgie oder Allgemeinchirurgie (OA)	FA für Viszeralchirurgie oder Allgemeinchirurgie (OA)	FA für Viszeralchirurgie oder Allgemeinchirurgie (OA)
FA für Anästhesiologie (OA)	FA für Anästhesiologie (OA)	FA für Anästhesiologie (OA)
FA für Radiologie (OA)	FA für Radiologie (OA)	FA für Radiologie (OA)
	FA für Neurochirurgie	FA für Neurochirurgie
	FA für Gefäßchirurgie	FA für Gefäßchirurgie
	Fakultativ: alle Disziplinen wie überregionales Traumazentrum	FA für Herz- und/oder Thoraxchirurgie
		FA für Mund-, Kiefer-, Gesichtschirurgie
		FA für HNO
		FA für Augenheilkunde
		FA für Urologie
		Fakultativ: FA für Gynäkologie, FA für Kinderchirurgie und Pädiatrie, FA mit Zusatzweiterbildung Handchirurgie

Bei folgenden Verletzungsmustern beziehungsweise zusätzlichen Kriterien soll laut der S3 Leitlinie für die Polytrauma/Schwerverletzten-Behandlung der DGU eine Schockraumteam-Aktivierung erfolgen [28] :

- systolischer Blutdruck unter 90 mmHg (altersadaptiert bei Kindern) nach Trauma
- Vorliegen von penetrierenden Verletzungen der Rumpf-Hals-Region
- Vorliegen von Schussverletzungen der Rumpf-Hals-Region
- GCS (*Glasgow Coma Scale*) < 9 nach Trauma
- Atemstörungen/Intubationspflicht nach Trauma
- Frakturen von > 2 proximalen Knochen
- instabile Thorax-Verletzungen
- Beckenfrakturen
- Amputationsverletzung proximal der Hände/Füße
- Verletzungen mit einhergehendem Querschnitt
- offene Schädelverletzungen
- Verbrennungen > 20 % und Grad  $\geq 2b$
- Sturz aus > 3m Höhe
- Verkehrsunfall mit
  - Frontalaufprall mit Intrusion von > 50-75cm
  - einer Geschwindigkeitsveränderung von  $\Delta > 30\text{km/h}$
  - Fußgänger-/Zweiradkollision
  - Tod eines Insassen
  - Ejektion eines Insassen

Treffen eines oder mehrere der oben genannten Alarmierungskriterien zu, wird das Schockraumteam über einen Sammelruf alarmiert. Das Schockraumbasisteam sollte sich bereits vor Eintreffen des angekündigten Patienten im Schockraum einfinden. Laut Krueger et al. ist es notwendig, dass aufgrund der Alarmierungskriterien eine Vielzahl der Patienten letztendlich „falsch“ eingestuft wird, um die Zahl derer zu minimieren, die trotz ihrer Verletzungsschwere zuerst nicht als polytraumatisiert beziehungsweise schwerverletzt erkannt werden. [5] Im Zweifel erfolgt die Aktivierung des Schockraums.

Es ist unabdingbar eine Schockraumleitung, den sogenannten *teamleader*, festzulegen, welche über alle Versorgungs- und Behandlungsabläufe informiert ist, diese nach Prioritäten ordnet und überwacht. Die Schockraumleitung kann entweder aus einer Einzelperson bestehen oder interdisziplinär erfolgen. [5, 6]

### 1.3.2 Polytrauma

Verletzungen mehrerer Körperregionen und Organe, wobei mindestens eine Verletzung oder die Kombination aus mehreren Verletzungen eine vitale Bedrohung darstellt, sind als Polytrauma definiert. Der menschliche Körper kann in 5 Körperregionen eingeteilt werden: Kopf, Hals, Rumpf, obere und untere Extremitäten.

Abzugrenzen vom Polytrauma sind Mehrfachverletzungen ohne vitale Bedrohung und Barytrauma, welche sich als schwere lebensbedrohliche Einzelverletzung definieren. [29]

*Trauma Score* Systeme dienen der Präzisierung des Schweregrades, zur prognostischen Einschätzung und als Voraussetzung für die Vergleichbarkeit von Therapieerfolgen. Bei einem *Injury Severity Score* (ISS) von  $\geq 16$  spricht man von einem Polytrauma. (Definition ISS siehe 1.6.4.3) Ein schweres Polytrauma liegt bei Werten  $\geq 25$  vor. [30-32]

In Deutschland überwiegen stumpfe Verletzungen zum Beispiel durch Verkehrsunfälle und Stürze aus großer Höhe. Penetrierende Verletzungen treten vergleichsweise selten auf. Das Verletzungsmuster ist abhängig vom Unfallmechanismus. [30]

Der polytraumatisierte Patient ist einerseits durch Blutverlust, Hypoxämie und Gewebeverletzungen bedroht und andererseits durch Angst- und Schmerzzustände stark beeinträchtigt. Hohe Blutverluste und schwere Gewebetraumatisierungen können unbehandelt zu einem traumatisch-hämorrhagischen Schock führen „und tragen zur Aktivierung humoraler und zellulärer Mediatorsysteme bei“. [30]

Das Polytrauma führt zu einem Ungleichgewicht zwischen Sauerstoffangebot und Sauerstoffbedarf und folglich zu einer Sauerstoffschuld, sowohl durch

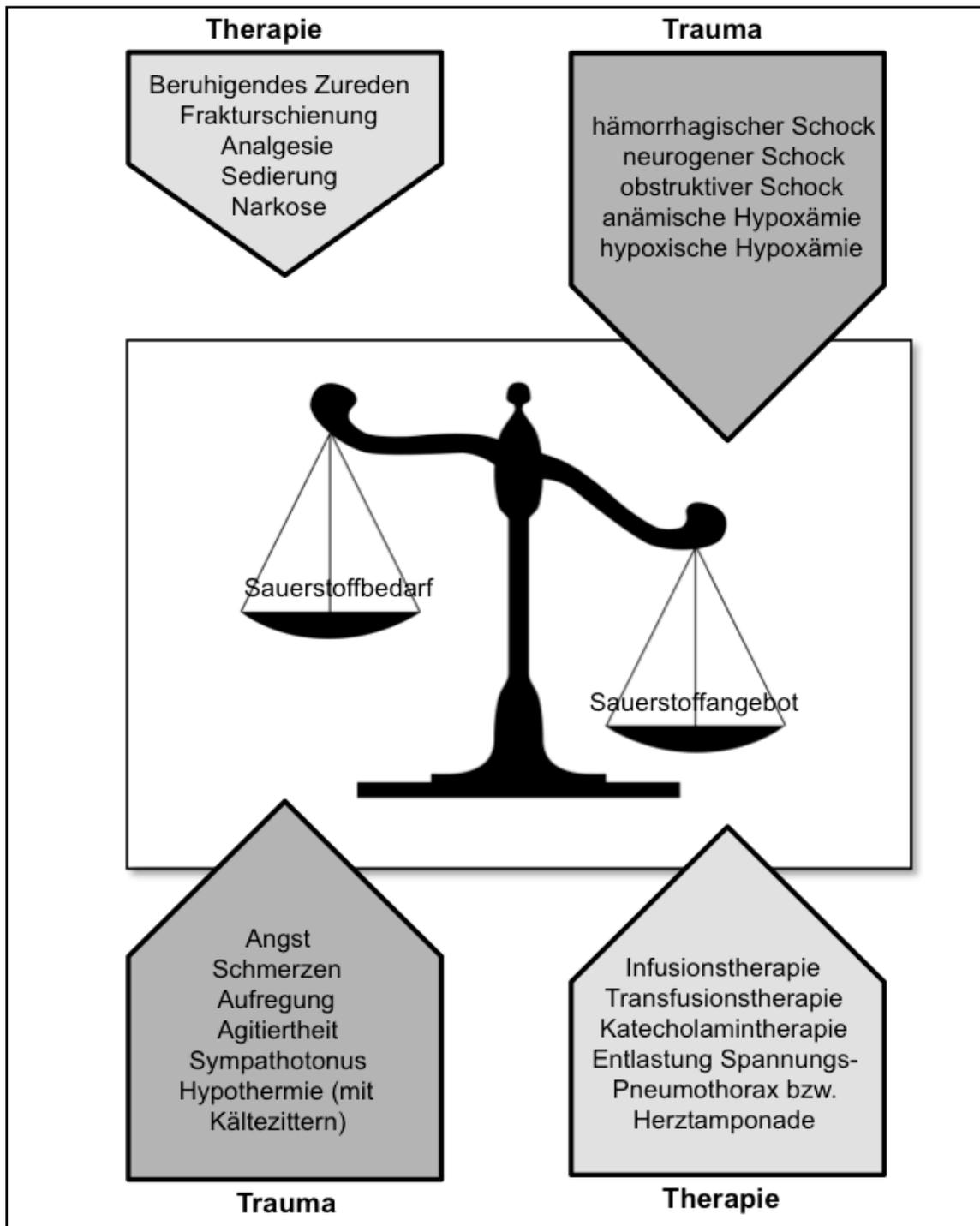
Abnahme des zellulären Sauerstoffangebots im Rahmen der Hypoxie, als auch den gesteigerten Bedarf im Zusammenhang mit der Sympathikus Aktivierung. (siehe Abbildung 1)

Die Sauerstoffschuld und das Postaggressionssyndrom gelten als wichtigste Ursache für das sich potentiell im Verlauf, zum Teil auch erst nach Tagen, entwickelnde Multiorganversagen.

Somit wird durch die Versorgung und Therapiemaßnahmen in der Akutphase, insbesondere in der so genannten *Golden Hour* - der ersten Stunde posttraumatisch - das *Outcome* der Patienten erheblich beeinflusst. [30, 31, 33]

Die Letalitätsursachen bei polytraumatisierten Patienten lassen sich nach Harrasser et al. anhand des zeitlichen Auftretens einteilen [29] :

- < 10 Minuten: Sofort-Tod durch massive Blutung (z.B. freie Aortenruptur), Schädel-Hirn-Trauma, Herzverletzung
- < 1 Stunde: Akut-Tod durch hämorrhagischen Schock, Lungenverletzung
- < 48 Stunden: Früher Tod durch prolongierten Schock, schwere Einzelverletzung
- 3 – 10 Tage: SIRS, Multiorgandysfunktion
- > 10 Tage: Multiorganversagen, Sepsis, Schädel-Hirn-Trauma



**Abbildung 1** Veränderungen des Sauerstoffbedarfs und Sauerstoffverbrauchs durch ein Polytrauma und die folgenden Therapiemaßnahmen. Durch das Trauma resultiert ein Ungleichgewicht zwischen Sauerstoffangebot und Sauerstoffbedarf. Die Abnahme des Angebots und die gleichzeitige Steigerung des Bedarfs führen zu einer Sauerstoffschuld. Wichtigstes Therapieziel ist die Wiederherstellung des Gleichgewichts. (modifiziert nach [30] mit freundlicher Genehmigung von Springer Nature – Springer Medizin, Der Anaesthesist, Ausgabe 47, Polytrauma Präklinische Erstversorgung und Schockraummanagement, Ziegenfuß, 1998, <https://doi.org/10.1007/s001010050579>)

### 1.3.3 Schockraummanagement

Bereits 1987 haben Tscherne und Schweiberer das Ziel einer optimalen Versorgung im Schockraum definiert. [34, 35] Beim Schockraummanagement stehen vor allem folgende Kompetenzen im Vordergrund :

- Rasches Erkennen der traumatischen Gesamtsituation
- Schnelle Diagnose der lebensbedrohlichen Verletzungen
- Richtige Prioritäten (*treat first what kills first*)

Durch die Komplexität und Kombinationsvielfalt der möglichen Verletzungsmuster bei schwerverletzten und polytraumatisierten Patienten steht das Schockraumteam immer wieder vor neuen Herausforderungen. Kein Schockraum gleicht dem anderen, daher ist es besonders wichtig, dass die Abläufe innerhalb der Schockraumversorgung festgelegten Algorithmen unterliegen. So erzielt man die Vermeidung von Fehlern und damit die Minimierung von negativen Behandlungsergebnissen. [5, 36]

Durch das Projekt „Trauma Netzwerk DGU“ wurden zwei bedeutende Elemente zur weiteren Verbesserung des Schockraummanagements eingeführt [36-38] :

- ATLS® (*advanced trauma life support*)
- Interdisziplinäre S3-Leitlinie Polytrauma/Schwerverletztenbehandlung

„ATLS® ist ein interdisziplinäres und internationales Konzept für ein standardisiertes, prioritätenorientiertes Schockraummanagement von Traumapatienten.“ [36] Dieses Konzept wurde 2003 erstmals in Deutschland etabliert und ist seit 2006 im Weißbuch „Schwerverletztenversorgung“ als Standard für die Schockraumversorgung festgelegt. Durch klare, einfache Strukturen stellt dieses Konzept eine gute Basis zur Behandlung schwerverletzter Patienten dar. Ziele des ATLS® sind die rasche, möglichst genaue Einschätzung des Patientenzustandes, das Feststellen vital bedrohlicher Verletzungen, die prioritätenorientierte Versorgung und die kritische Beurteilung, ob eine bestmögliche Versorgung gewährleistet ist oder ein Transfer in ein übergeordnetes Traumazentrum erwogen werden sollte. Es ist stets darauf zu achten, dass eine qualitativ hochwertige Versorgung

gewährleistet ist, der Faktor Zeit im Auge behalten wird und mögliche Sekundärschäden vermieden werden. [5, 36, 39]

„Die Behandlung unterscheidet zwei Phasen, den *primary survey*, bei dem alle unmittelbar lebensbedrohlichen Verletzungen und Zustände erkannt und behandelt werden sollen und den nachrangigen *secondary survey*, bei dem dann alle weiteren auch nicht lebensbedrohlichen Verletzungen diagnostiziert werden sollen.“ [5]

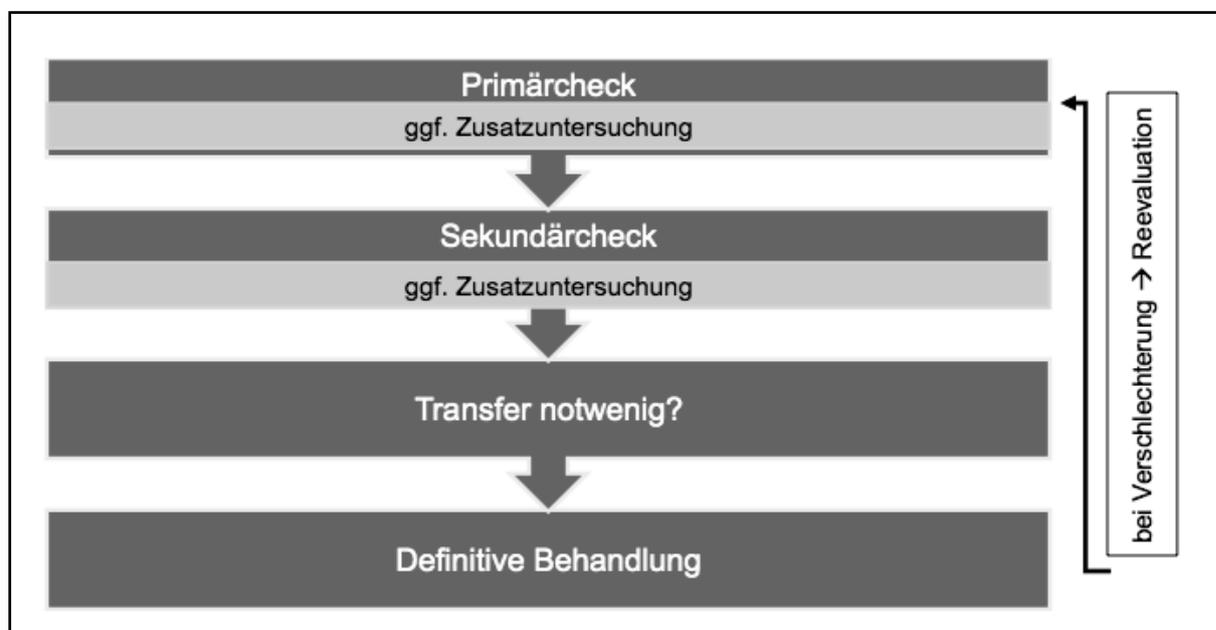
Im *Primary Survey* soll eine standardisierte Untersuchung des schwerverletzten Patienten/der schwerverletzten Patientin nach einem festgelegten Schema durchgeführt werden. Dadurch wird gewährleistet, dass lebensbedrohliche Verletzungen erkannt und umgehend behandelt werden. Es ist eine Priorisierung nach einem alphabetischen System von A bis E festgelegt. Hierbei ist die Priorisierung für alle Patienten identisch, wobei die einzelnen Untersuchungen auch parallel ablaufen können. Wichtig hierbei ist die teaminterne Weitergabe wichtiger Erkenntnisse.

- *Airway* – Sicherung der Atemwege
- *Breathing* – Sicherung der Atmung
- *Circulation* – Stoppen einer Blutung
- *Disability* – Neurologischer Status
- *Exposure/Environment* – Entkleiden des Patienten

Die einzelnen Punkte werden im Sinne einer Checkliste systematisch analysiert. Bei Vorliegen eines A-B-C-D-E Problems erfolgt die Ursachenforschung und adäquate Intervention. Anschließend erfolgt eine Überprüfung, ob das Problem erfolgreich behoben werden konnte. [5, 6, 36] Bei einer Verschlechterung des Patientenzustandes sollten sofort die Vitalfunktionen im Rahmen des *Primary Survey* erneut überprüft werden, um durch eine schnelle Ursachenklärung eine zeitnahe Behandlung zu ermöglichen. [36]

Nach der Stabilisierung des Patienten im Rahmen des *Primary Survey* folgt der *Secondary Survey* mit einer kompletten körperlichen Untersuchung von Kopf bis Fuß. Hierbei spielt neben der klinischen Untersuchung auch die

radiologische Bildgebung eine große Rolle, um relevante Verletzungen zu diagnostizieren.



**Abbildung 2** ATLS® (*advanced trauma life support*)-Konzept (modifiziert nach [36] mit freundlicher Genehmigung von Springer Nature – Springer Medizin, Der Chirurg, Ausgabe 84, Schockraummanagement Polytrauma, Bouillon et al., 2013, <https://doi.org/10.1007/s00104-013-2476-1>)

Die S3-Leitlinie Polytrauma/Schwerverletztenbehandlung der DGU wurde im Jahr 2011 erstmals veröffentlicht. Hierbei handelt es sich um eine interdisziplinäre Leitlinie, welche die 3 Versorgungsschritte Präklinik, Schockraumversorgung und erste Operationsphase berücksichtigt. An der Entwicklung dieser S3-Leitlinie waren 97 Autoren aus 11 Fachgesellschaften beteiligt.

Die S3-Leitlinie wird regelmäßig aktualisiert. In der Aktualisierung von 2017 gibt es 135 Schlüsselempfehlungen für die Schockraumversorgung. [5, 28, 36, 40]

Diese beiden Elemente, die S3-Leitlinie Polytrauma-/ Schwerverletztenbehandlung und der ATLS®, sollten in das lokale Schockraumprotokoll eingearbeitet werden. Ziel ist es, einen konkreten und klinikspezifischen Ablaufplan zu erstellen. Zur Optimierung des Schockraummanagements soll ein regelmäßiges Training im Rahmen von

Kursen und Fortbildungen erfolgen. Zusätzlich sollte auf eine regelmäßige Ausbildung und Einarbeitung neuer Mitarbeiter geachtet werden. [5, 6, 28, 36, 39]

#### **1.3.4 Gerinnungsmanagement**

Schwerverletzte Patienten erreichen die Klinik häufig mit erheblichen Einschränkungen der Gerinnung und schwerwiegende Blutungen stellen die häufigste Todesursache innerhalb der ersten Stunden dar. [5, 6, 36, 41-43] Laut Hußmann et al. entwickeln 20% der Patienten ein Multiorganversagen während des Klinikaufenthalts; weitere 20% durchleben eine Sepsis. [6] Durch Multiorganversagen, septische Krankheitsbilder und thrombembolische Ereignissen kommt es zu einer signifikanten Zunahme der Letalität polytraumatisierter Patienten. [6, 44] Aus pathologischer und klinischer Sicht ist ein schnelles und gezieltes Gerinnungsmanagement, vor dem Hintergrund der letalen Trias aus Koagulopathie, Azidose und Hypothermie, essentiell.

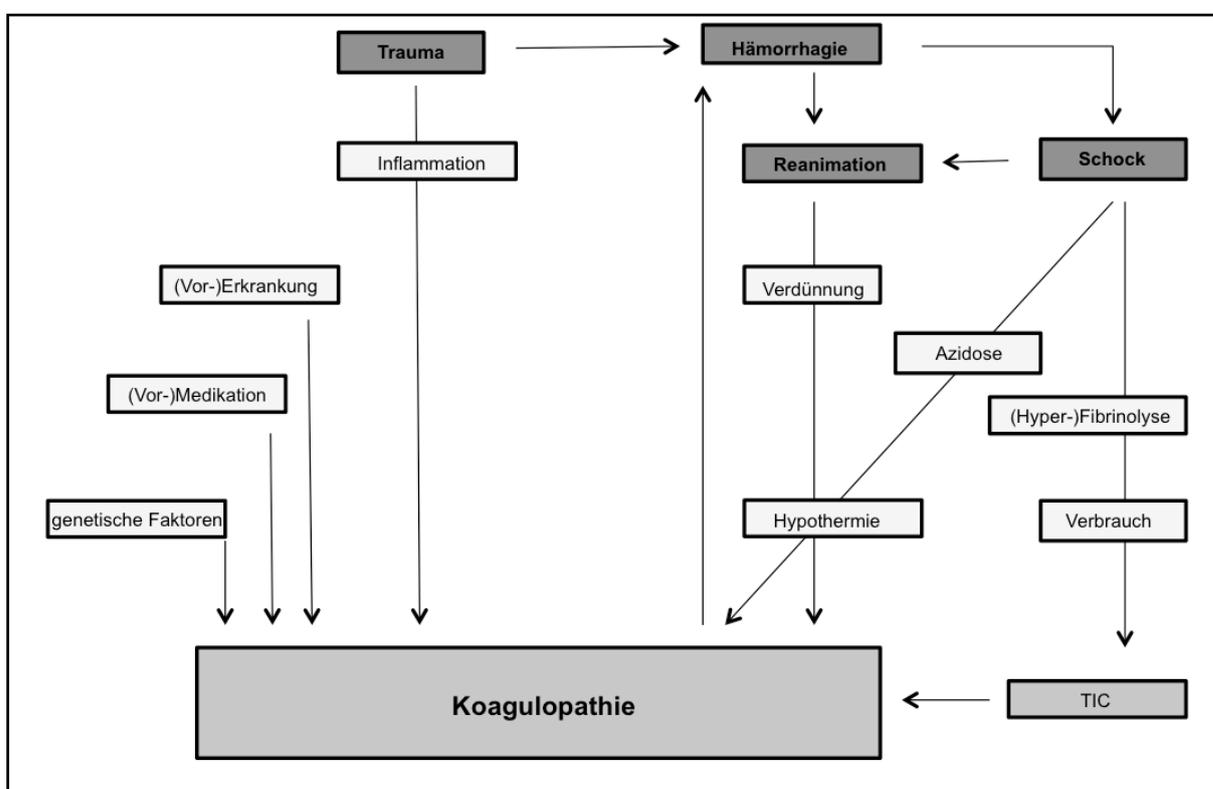
Die traumainduzierte Koagulopathie (TIK) muss laut S3-Leitlinie als eigenständiges Krankheitsbild gesehen werden. Die Modifizierung der S3-Leitlinie erfolgte nach Spahn et al. [45] Da sie deutlichen Einfluss auf das Überleben der Patienten hat, soll unmittelbar im Schockraum mit dem Gerinnungsmanagement begonnen werden. [5, 42]

Folgende sechs Faktoren sind laut Lier et al. für die traumainduzierte Koagulopathie verantwortlich [41]:

- Gewebeverletzung
- Schock
- Verdünnung
- Hypothermie
- Azidose
- Inflammation

Der Einfluss der einzelnen Faktoren auf die Gerinnung ist abhängig von der Verletzungsart, der Verletzungsschwere und auch den ungewollten Nebenwirkungen einer beginnenden Therapie. [41, 46]

„Eine TIK liegt bei ca. 30% der Polytraumapatienten bereits im Schockraum vor und muss von der disseminierten intravasalen Koagulopathie, die in der Frühphase des Traumas nicht vorliegt, differenziert werden.“ [5] Unter der disseminierten intravasalen Koagulopathie (DIC) versteht man einen lebensbedrohlichen Zustand. Durch eine übermäßig aktivierte Blutgerinnung im Blutgefäßsystem kommt es zu einem gesteigerten Verbrauch der Gerinnungsfaktoren und Thrombozyten mit resultierendem Mangel dieser Komponenten (Verbrauchskoagulopathie). Folglich kommt es zu einer erhöhten Blutungsneigung. [47-49]



**Abbildung 3** Einflussgrößen einer traumainduzierten Koagulopathie (TIC) (modifiziert nach [41] mit freundlicher Genehmigung von Springer Nature – Springer Medizin, Der Anaesthesist, Ausgabe 58, Gerinnungsmanagement bei der Polytraumaversorgung, Lier et al., 2009, <https://doi.org/10.1007/s00101-009-1595-z>)

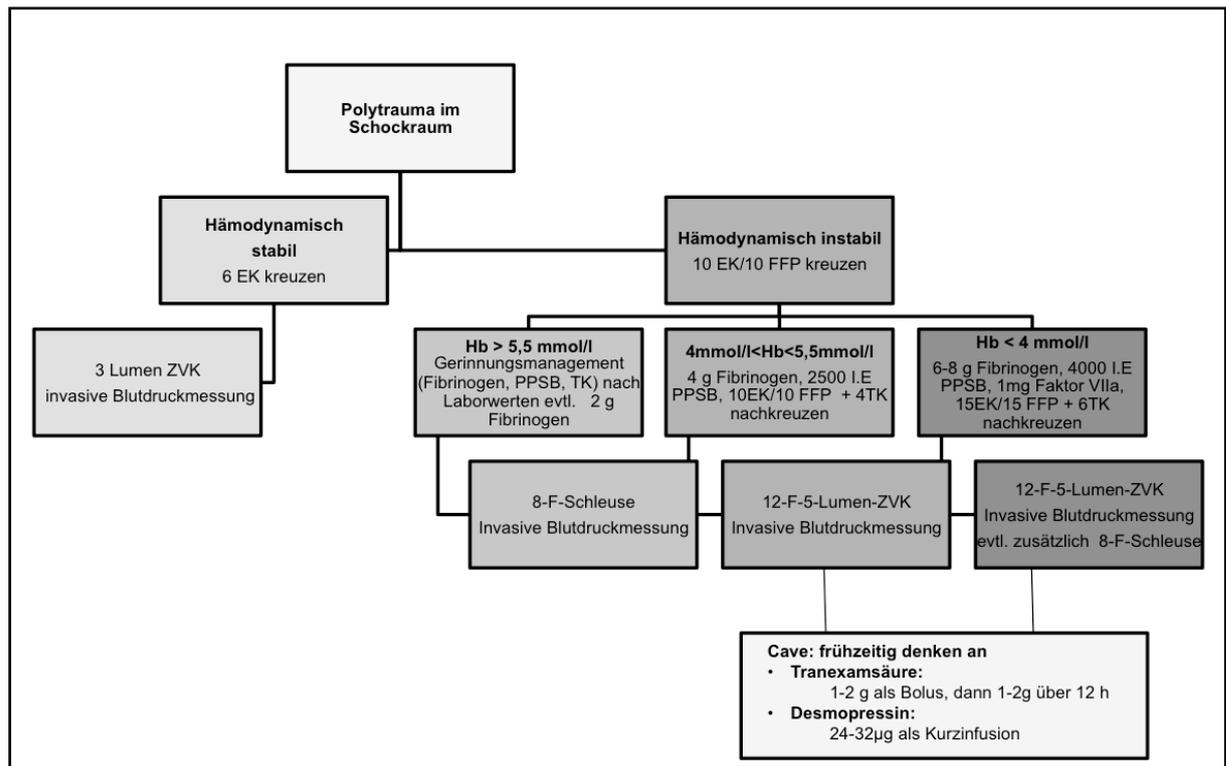
Nach Krueger et al. ist die Massenblutung wie folgt definiert [5] :

- $\geq 100\%$  des Blutvolumens innerhalb von 24 Stunden
- $\geq 50\%$  innerhalb von 3 Stunden
- 150ml/min oder 1,5ml/kg KG/min über 20 Minuten

Standardgerinnungstests sind für die frühzeitige Erkennung einer traumaassoziierten Koagulopathie innerhalb der Schockraumversorgung kaum hilfreich. Die Ergebnisse der Laborparameter liegen immer zeitversetzt vor und beschreiben einen bereits vergangenen Zustand. Aus diesem Grund ist die Wertung der Laborparameter kritisch zu betrachten. [5, 41, 42]

„Quick (Prothrominzeit/INR) und die partielle Thromboplastinzeit messen nur die Zeit bis zum Beginn einer Thrombusbildung, geben aber keine Auskunft über Stärke und Qualität des Thrombus. Des Weiteren werden die Messwerte unter standardisierten Parametern (37°, gepuffert, Kalziumüberschuss) im Labor gemessen, die aber die realen Bedingungen mit Hypothermie, Azidose, Hypokalzämie und Anämie nicht widerspiegeln.“ [5]

Es ist laut der Literatur bei Traumapatienten ein Zusammenhang zwischen dem initialen Hämoglobin-Wert und den Gerinnungsparametern auszumachen. Aktuell existiert keine Leitlinie zum Gerinnungsmanagement bei Polytrauma. [41-43, 50-55] Der Hämoglobin-Wert ist innerhalb von 1 bis 2 Minuten nach der Blutentnahme einer Blutgasanalyse verfügbar. Somit handelt es sich um eine schnelle, einfache und nahezu ubiquitär verfügbare Methode zur Gerinnungsüberprüfung. „Ein Hb-orientiertes bzw. –abgestuftes Vorgehen stellt einen neuen, zielgerichteten und pragmatischen Ansatz zur Optimierung der Gerinnung dar.“ [42] Hilbert et al. [42] stellen 2012 das *standard operating procedure* (siehe Abbildung 4) als ein an dem Hämoglobin-Wert orientierendes Gerinnungsmanagement vor.



**Abbildung 4** Gerinnungsmanagement anhand einer *standard operating procedure*. EK Erythrozytenkonzentrat, FFP *fresh frozen plasma*, Hb Hämoglobin, PPSB Prothrombinkonzentrat, TK Thrombozytenkonzentrat, ZVK zentraler Venenkatheter. Bei weiterbestehender Blutung nach ca. 30 min noch mal 2 g Fibrinogen und 3 mg Faktor VIIa (FV IIa). Alternativ, wenn auf PPSB verzichtet werden soll: 4–6 g Fibrinogen und Gabe von 6–8 mg FV IIa (90 µg/kgKG) (aus [42] mit freundlicher Genehmigung von Springer Nature – Springer Medizin, Der Anaesthetist, Ausgabe 61, Gerinnungsmanagement beim kreislaufinstabilen Polytraumapatienten, Hilbert et al., 2012, <https://doi.org/10.1007/s00101-012-2064-7>)

Die Grundlage eines effektiven Gerinnungsmanagements stellt jedoch die schnelle und konsequente chirurgische Blutstillung dar, welche durch kein Hämostatikum und keine hämostaseologische Intervention ersetzt werden kann. [36, 42]

### 1.3.5 Schockraum im ZOM des Universitätsklinikums Würzburg

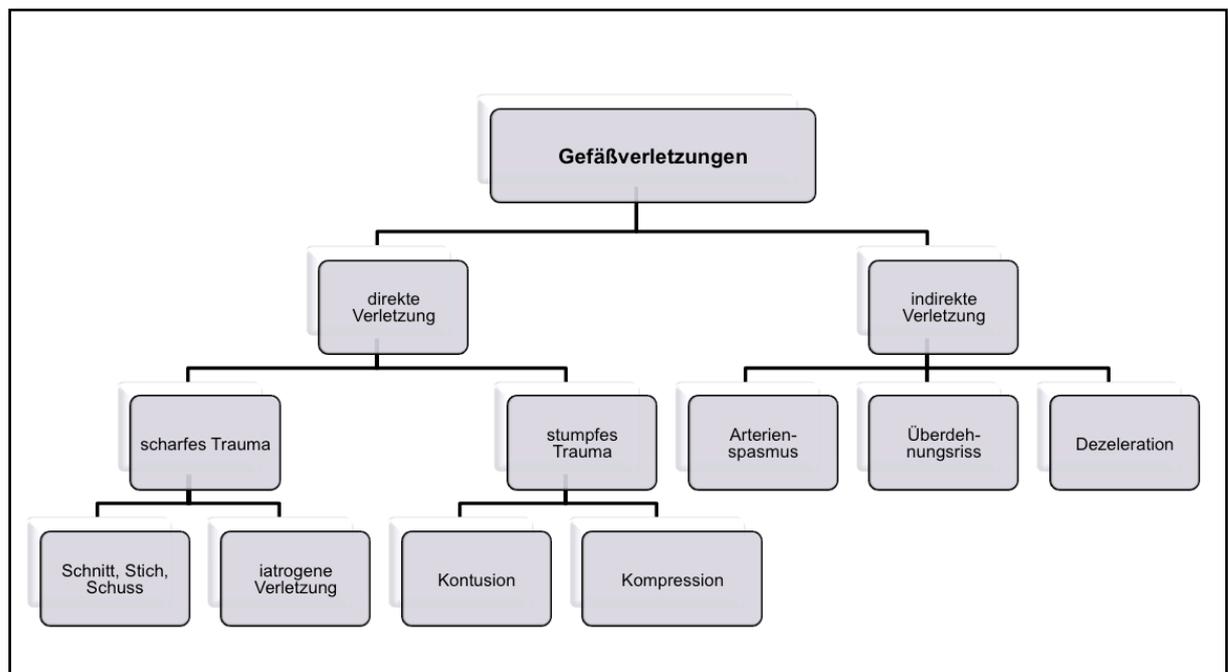
Das Universitätsklinikum Würzburg gehört als überregionales Traumazentrum zum Traumanetzwerk Nordbayern-Würzburg. Zu den wichtigsten Organisationsstrukturen gehört der Schockraum mit modernster Computertomographie zur Erstversorgung, in dem jährlich zwischen 700 und

800 Patienten behandelt werden. Davon können 100 bis 150 Patienten nach ISS als Polytrauma definiert werden.

Handlungsgrundlage für die primäre klinische Versorgung im Schockraum Würzburg sind die Prinzipien des *advanced trauma life support* (ATLS®). [56]

## 1.4 Klassifikation von Gefäßverletzungen

Gefäßverletzungen können durch direkte und indirekte Gewalteinwirkung verursacht werden.



**Abbildung 5** Klassifikation der Gefäßverletzungen (aus [3] mit freundlicher Genehmigung von Springer Nature - Springer Medizin, Gefäßschirurgie, Ausgabe 20, Traumatische Gefäßverletzungen, Bischoff et. al., 2015, <https://doi.org/10.1007/s00772-015-0006-9>)

### 1.4.1 Aufbau und Funktion der Gefäßwandschichten

Große Blutgefäße zeigen einen dreischichtigen Wandaufbau, wohingegen kleine Gefäße wie Venolen und Kapillaren nur aus einer Endothelzellschicht bestehen.

Von innen nach außen bestehen große Blutgefäße aus:

- Tunica intima (Intima): Endothel, Stratum subendotheliale und Membrana elastica interna
- Tunica media (Media): Muskelschicht und eventuell Membrana elastica externa
- Tunica adventitia/externa (Adventitia/Externa)

Die Tunica adventitia dient der Verankerung des Gefäßes in der Umgebung und führt Versorgungskomponenten des Gefäßes, wie Nerven-, Lymph- und Blutgefäße (Vasa vasorum), mit sich. Die Tunica media reguliert die Lumenweite und somit den Gefäßwiderstand (Hagen-Poiseuille-Gesetz). Die Tunica intima stellt eine Diffusionsbarriere dar und ist für die Synthese der Extrazellulärmatrix zuständig. Außerdem reguliert die Tunica intima die Gefäßweite, die Adhäsion, die Angiogenese mittels VEGF (*Vascular Endothelial Growth Factor*) und die Blutgerinnung. Das gesunde Gefäßendothel besitzt eine antithrombotische Wirkung und hemmt die Blutgerinnung zum Beispiel durch die Sekretion von Prostacyclin und Stickstoffmonoxid (NO). Verletztes Gefäßendothel fördert die Blutgerinnung beispielsweise durch die Sekretion des von-Willebrand-Faktors. [57, 58]

#### **1.4.2 Direkte Gefäßverletzungen**

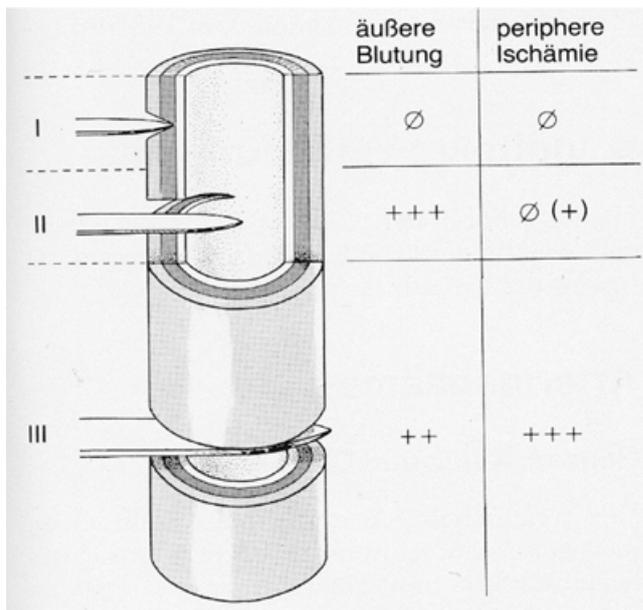
##### **Scharfes Gefäßtrauma**

Bei scharfen beziehungsweise penetrierenden Gefäßverletzungen verläuft die Schädigungsrichtung von außen nach innen, das heißt von der Adventitia zur Intima gerichtet. Dazu zählen Stich-, Schnitt- und Schussverletzungen. Als Leitsymptom findet sich beim Gefäßtrauma die arterielle Blutung ab einem Schweregrad von 2. [3, 10]

Mit 33 % ist das scharfe Gefäßtrauma laut Bischoff et al. (2015) das seltenere der direkten Gefäßverletzungen. [3]

Man unterscheidet entsprechend dem Verletzungsmuster 3 Schweregrade nach Linder und Vollmer [59] :

- Grad I: Es kommt zu einer Verletzung der äußeren Gefäßschicht: die Adventitia ist durchtrennt und eventuell ist auch die Media betroffen. Es resultiert keine Blutung oder Ischämie, da das Gefäßlumen nicht betroffen ist. Als Komplikation droht eine sekundäre Gefäßruptur oder die Entwicklung eines Aneurysmas. Meist wird diese Verletzung erst beim Auftreten von Spätkomplikationen entdeckt.
- Grad II: Hier kommt es zu einer spalt- oder lochförmigen Eröffnung des Gefäßlumens, wobei die Gefäßkontinuität noch erhalten ist. Klinisch zeigt sich diese Verletzung als Blutung mit eventueller peripherer Ischämie.
- Grad III: Das verletzte Gefäß wird vollständig durchtrennt. Im Vordergrund steht bei diesem Verletzungsgrad die Blutung. Je nach Lokalisation kann es zu einem erheblichen Blutverlust führen. Bei muskulären Arterien kann man regelmäßig nach spontanem Sistieren der Blutung eine periphere Ischämie beobachten.



**Abbildung 6** Schweregrad und Symptomatik der scharfen Arterienverletzung (aus [3] mit freundlicher Genehmigung von Springer Nature - Springer Medizin, Gefäßchirurgie, Ausgabe 20, Traumatische Gefäßverletzungen, Bischoff et al., 2015, <https://doi.org/10.1007/s00772-015-0006-9>)

Meist ist eine Versorgung der größtenteils lokalisierten Gefäßverletzungen mit einer direkten Naht ohne Gefäßersatz möglich. [3, 7, 10]

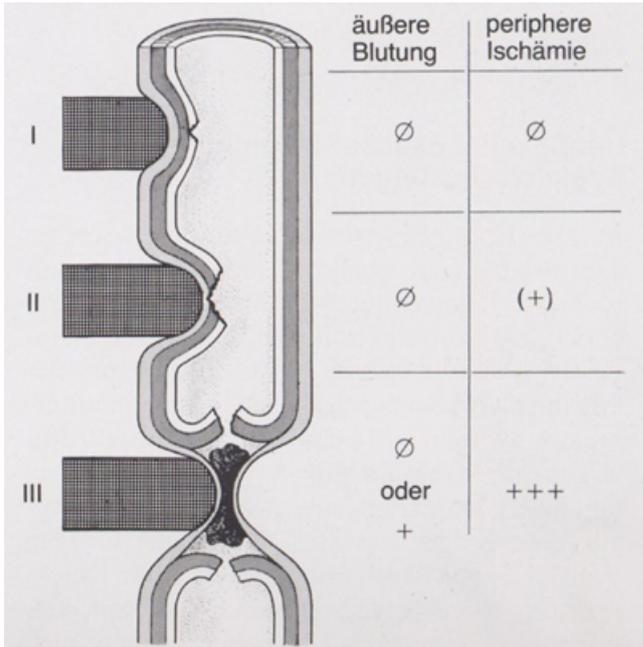
## Stumpfes Gefäßtrauma

Bei stumpfen Gefäßverletzungen verläuft die Schädigungsrichtung von innen nach außen, das heißt von der Intima über die Media hin zur Adventitia. Das Leitsymptom des stumpfen Gefäßtraumas ist folglich die periphere Ischämie.

Laut Bischoff et al. (2015) handelt es sich bei 62% der direkten Gefäßverletzungen um ein stumpfes Gefäßtrauma. [3]

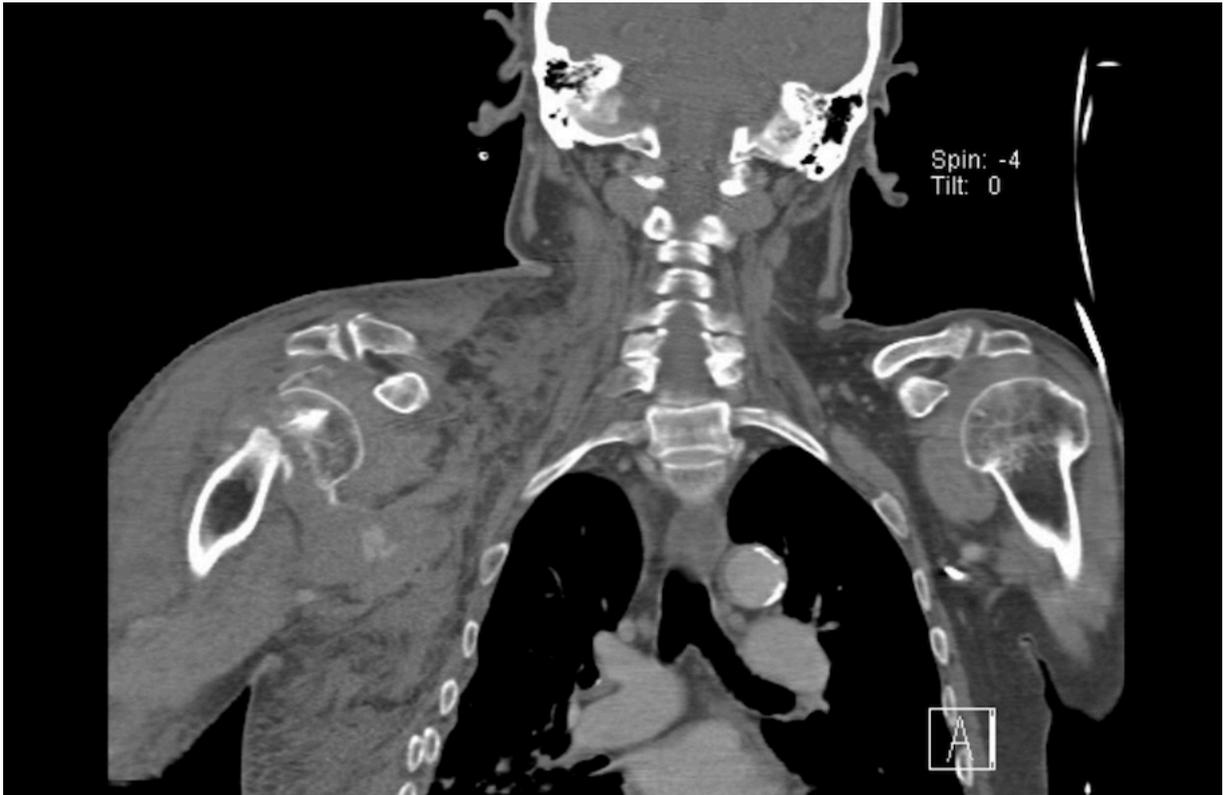
In Anlehnung an Sencert [60] lassen sich stumpfe Gefäßtraumen ebenfalls in drei Schweregrade einteilen:

- Grad I: Dieser Schweregrad ist definiert als Quetschung beziehungsweise Einriss der Intima. Er ist meist asymptomatisch und kann vor allem bei großen Gefäßen folgenlos ausheilen. Bei kleinkalibrigen Gefäßen kommt es mit einer größeren Wahrscheinlichkeit zu einer Thrombose mit anschließender peripherer Ischämie.
- Grad II: Hier kommt es zu einer zusätzlichen Schädigung der Media. Eine äußere Blutung ist nicht sichtbar. Es kann jedoch zu einer arteriellen Thrombose mit resultierender peripherer Ischämie kommen. Eine Dissektion im betroffenen Segment ist als Spätfolge möglich.
- Grad III: Nur noch ein äußerer Adventitiamantel bleibt unverletzt und verhindert die nach außen hin sichtbare Thrombose. Es besteht die Gefahr einer Thrombose beziehungsweise eines sekundären Aneurysma spurium. Unter einem Aneurysma spurium, auch Pseudoaneurysma genannt, versteht man das durch Perforation der Gefäßwand gebildete extravasale, pulsierende Hämatom, welches durch umliegende Strukturen, beziehungsweise gegebenenfalls die Adventitia begrenzt ist. [61, 62]



**Abbildung 7** Schweregrad und Symptomatik der stumpfen Arterienverletzung (aus [3] mit freundlicher Genehmigung von Springer Nature - Springer Medizin, Gefässchirurgie, Ausgabe 20, Traumatische Gefäßverletzungen, Bischoff et al., 2015, <https://doi.org/10.1007/s00772-015-0006-9>)

Da es beim stumpfen Gefäßtrauma zu keiner arteriellen Blutung kommt und eine nach außen kommunizierende Wunde fehlt, gehören die direkten, stumpfen Arterienverletzungen zu den am häufigsten übersehenen beziehungsweise verzögert erkannten Gefäßtraumen. Meist handelt es sich um eine längerstreckige Schädigung der Gefäßinnenwände, wodurch eine Versorgung mit einer direkten Gefäßnaht nicht möglich und ein Gefäßersatz notwendig ist. [3, 10]



**Abbildung 8** stumpfe Gefäßverletzung der A. und V. axillaris rechts im Rahmen einer subkapitalen Humerusluxationsfraktur. Operative Versorgung: Rekonstruktion der A. axillaris mittels End-zu-End-Anastomose und Venenpatchplastik (V. basilica), Naht der V. axillaris, Fasziotomie und Gilchrist-Verband (Bildquelle: Universitätsklinikum Würzburg Abteilung für Radiologie mit freundlicher Genehmigung von Prof. Dr. med. Bley)

### 1.4.3 Indirektes Gefäßtrauma

#### Traumatischer Arterienasmus

Dabei handelt es sich um einen traumatisch ausgelösten, umschriebenen Gefäßkrampf einer intakten Arterie. Diese Engstellung der arteriellen Gefäße tritt sehr selten auf und kann durch direkte Reizung der Wandmuskulatur hervorgerufen werden. Meist sind die Arterien der Extremitäten betroffen und es imponieren Blässe, Kälte und Pulslosigkeit.

Nach ungefähr 24 Stunden kommt es in der Regel zu einer spontanen folgenlosen Auflösung des Arterienasmus. [3, 63] Nichtsdestotrotz kann dieser eine fulminante Gewebhypoxie verursachen. Bei der Diagnose Arterienasmus handelt es sich um eine Ausschlussdiagnose: Es müssen alle morphologischen Gefäßverletzungen zuerst ausgeschlossen werden. [13]

## **Überdehnungsriß**

Zu einem Überdehnungsriß beziehungsweise einer Überdehnungsverletzung kommt es bei Gelenkverletzungen, hauptsächlich der großen Gelenke wie Hüft- oder Schultergelenk, oder bei erheblich dislozierten Frakturen. [63]

Diese Verletzungsmechanismen bewirken ein „Einreißen des Intimaschlauches bei erhaltenem Adventitiamantel“ (Verletzung Grad I/II, s. Abb. 7). [3]

## **Dezelerationstraumata**

Bei einem Dezelerationstrauma kommt es durch eine plötzliche Geschwindigkeitsveränderung zum Beispiel im Rahmen eines Auffahrunfalls „zu einer abrupten Massenverschiebung der intrathorakalen Organe vor allem in horizontaler oder vertikaler Richtung“. [3]

Die thorakale Aorta ist fast ausschließlich bei dieser Art der indirekten Verletzung betroffen und häufig liegen weitere schwere Begleitverletzungen wie beispielsweise eine Zwerchfell- oder Leberruptur vor.

Indirekte Aortenverletzungen durch ein Dezelerationstrauma finden sich zumeist (60-90%) an der Prädilektionsstelle, dem Aortenisthmusbereich distal des Abgangs der linken A. subclavia auf Höhe des Ligamentum botalli (Loco typico).

In der Regel reißt die Aortenwand von innen nach außen. Bruch et al. [64] beschreiben folgende Varianten:

- ausschließlich intimaler Riss bei erhaltener Media
- zusätzliche Beteiligung der Media bei intakter Adventitia (inkomplette aortale Transsektion)
- Durchtrennung aller Gefäßwandschichten (aortale Transsektion)

Die Transsektion wird häufig auch als traumatische Aortenruptur bezeichnet. [64-66]

Bei einer sehr starken Dezeleration und Kompression des Thorax bei Verkehrsunfällen oder Stürzen aus großer Höhe kann es zu einer Ruptur der

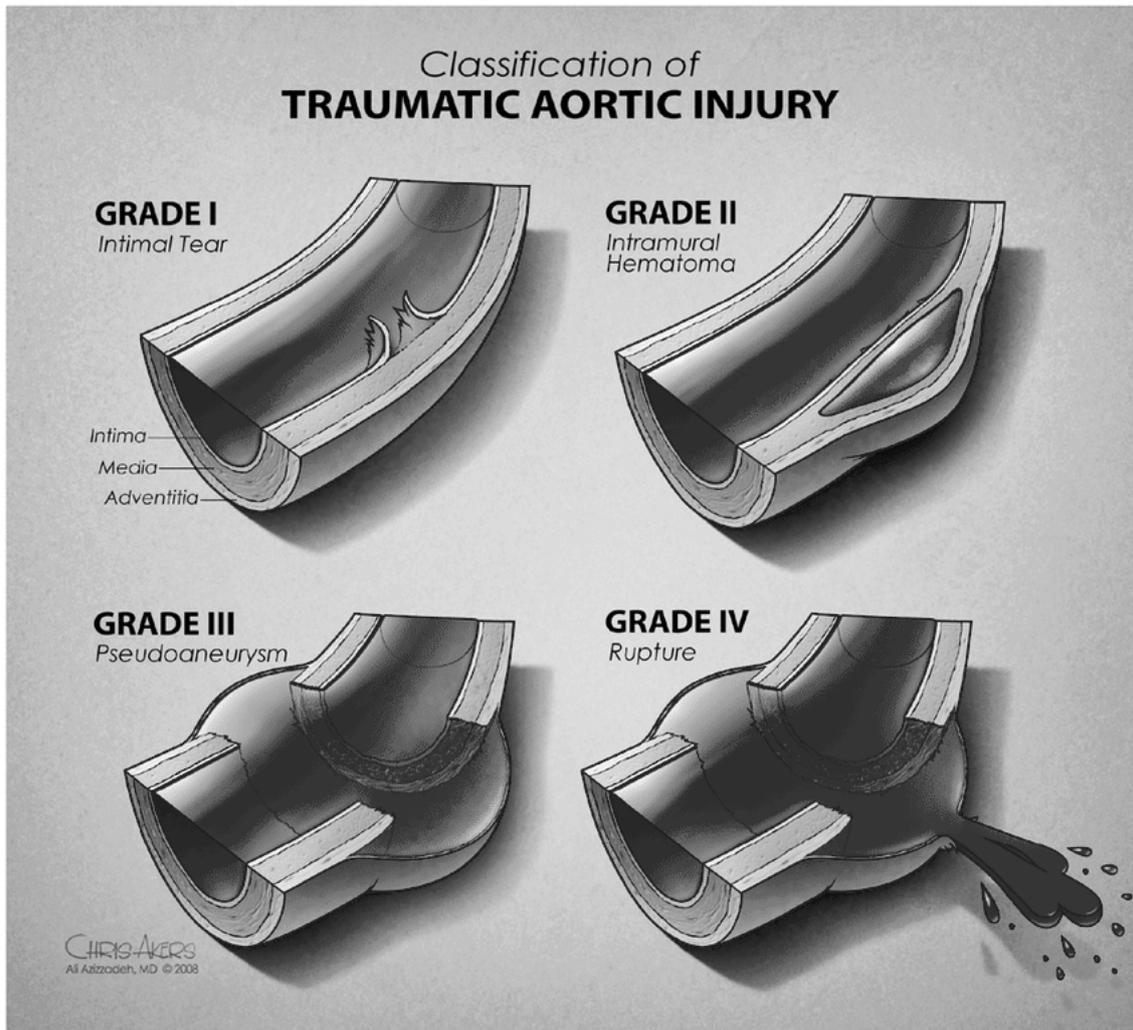
Aorta kommen. Es besteht eine hohe Letalität von ca. 70% und viele Betroffene versterben bereits am Unfallort. [3, 67, 68]

Nach Parmley et al. [69] wird der Schweregrad der Aortenruptur in sechs Grade eingeteilt:

- Grad 1: subintimale Einblutung
- Grad 2: Einriss der Intima mit subintimaler Einblutung
- Grad 3: Einriss der Media
- Grad 4: falsches Aneurysma
- Grad 5: kompletter Einriss der Aortenwand
- Grad 6: kompletter Einriss mit paraaortaler Blutung

Eine weitere Möglichkeit zur Einteilung traumatischer Aortenverletzungen ist die Vancouver Klassifikation [70] :

- Grad 1: Intimaverletzung mit Thrombus oder intramuralem Hämatom (< 1cm)
- Grad 2: Intimaverletzung mit Thrombus oder intramuralem Hämatom (< 2cm)
- Grad 3: Pseudoaneurysma (einfach oder komplex, kein Kontrastmittelaustritt)
- Grad 4: Kontrastmittelaustritt mit oder ohne Pseudoaneurysma



**Abbildung 9** Einteilung der traumatischen Aortenverletzung nach der Vancouver Klassifikation (aus [71] mit freundlicher Genehmigung von Springer Nature - Springer, Vienna, Surgical Management of Aortic Pathology. Stanger O., Pepper J., Svensson L. (eds), Kapitel: Blunt Thoracic Aortic Trauma, von Boutrous M.L., Afifi R.O., Azizzadeh A., Estrera A.L., 2019, [https://doi.org/10.1007/978-3-7091-4874-7\\_74](https://doi.org/10.1007/978-3-7091-4874-7_74))

Die klinische Diagnose einer akuten traumatischen Aortenverletzung ist schwierig. Äußere thorakale Verletzungszeichen, der Unfallhergang, Dyspnoe und Dysphagie, sowie Blutdruckdifferenzen zwischen beiden Armen oder den Armen und Beinen können laut Bischoff et al. hinweisend auf eine traumatische Aortenverletzung sein. [3, 7]

## 1.5 Klinische Zeichen einer Gefäßverletzung

Das klinische Bild einer Gefäßverletzung ist sehr variabel. Das Geheimnis der zügigen Diagnose einer Gefäßverletzung liegt darin, vor allem auch bei einem polytraumatisierten Patienten, an eine Gefäßbeteiligung zu denken. Frühzeitiges Erkennen einer Gefäßverletzung ist wichtig, um durch eine zeitnahe Intervention die Ischämiezeit beziehungsweise den Blutverlust zu minimieren.

Die klinische Untersuchung ist häufig in Zusammenschau mit der Anamnese des Unfallhergangs und der Verletzungskonstellation hinweisend auf das Vorhandensein einer Gefäßverletzung. [7, 13, 18, 72]

Nach Bischoff et al. stützt sich die klinische Untersuchung auf folgende Punkte [3] :

- Prellmarken
- Hautveränderungen durch penetrierende Fremdkörper
- Schmerzbedingte Funktionseinschränkungen und pathologische Skelettbeweglichkeit
- Örtliche oder allgemeine Blutungszeichen
- Hautfarbe (Blässe oder livide Verfärbung)
- Temperaturdifferenzen (kühle Extremität)
- Sensible und motorische Ausfälle oder Störungen
- Periphere Pulse
- Dyspnoe und Dysphagie
- Blutdruckdifferenzen

Die Diagnosefindung kann durch Vigilanzminderung (zum Beispiel bei einem Schädel-Hirn-Trauma), bei fehlender externer Blutung, beim polytraumatisierten Patienten, bei vorbestehender pAVK und bei niedrigem systemischen Blutdruck im Zusammenhang mit einem Schockzustand erschwert sein.

Es ist stets eine vollständige Entkleidung und komplette körperliche Untersuchung durchzuführen. [7, 18]

„Leitsymptome des Gefäßtraumas durch scharfe Gewalteinwirkung sind die starke, ggf. pulsierende Blutung und das Hämatom, bei stumpfen Verletzungen die periphere Ischämie.“ [11]

Bei der körperlichen Untersuchung ist eine offene, penetrierende Gefäßverletzung mit sichtbarer, unter Umständen pulsierender Blutung, meist eine Blickdiagnose. Schwellungen durch Hämatome, welche auch durch eine Blutung aus beschädigten Gefäßen bedingt sind, sind in der Regel druckdolent und gut lokalisierbar.

Die Diagnose kann allerdings auch erschwert sein, wenn sich nach einer Gefäßöffnung beziehungsweise Gefäßdurchtrennung das Gefäß kontrahiert und durch das Einrollen der Intima ein spontanes Sistieren der Blutung resultiert. Ebenfalls erschwert ist die Diagnosefindung im schweren Volumenmangelschock. [7, 11, 72]

Die klinische Einschätzung des Blutverlustes gilt als unzuverlässig. So werden oft kleine Blutverluste unterschätzt und große Blutverluste überschätzt. [73]

Direkte, stumpfe Gefäßverletzungen werden häufig aufgrund der fehlenden Blutungszeichen in der körperlichen Untersuchung zunächst übersehen. Es muss besonders auf die Zeichen einer Ischämie des versorgten Gewebes geachtet werden, die sogenannte Erfolgsorgan-Kontrolle. [18, 72]

Die klinischen Zeichen einer Extremitätenischämie werden nach Pratt als „6-P“-Zeichen zusammengefasst [74] :

- **Pain:** Schmerz
- **Pulselessness:** Pulslosigkeit
- **Paleness:** Blässe
- **Paraesthesia:** Sensibilitätsstörung
- **Paralysis:** Lähmung
- **Prostration:** Schock

„Ein palpabler Puls schließt eine weiter proximal gelegene Gefäßläsion, insbesondere eine Intimaläsion zwar keineswegs aus, ein fehlender oder abgeschwächt palpabler Puls gibt aber dennoch Hinweise über das Ausmaß der momentanen Ischämie.“ [11]

Als weitere Hinweise für das Vorliegen von peripheren Gefäßverletzungen unterscheiden wir sogenannte harte und weiche Zeichen. Abhängig von ihrer Präsenz werden unterschiedliche Behandlungswege eingeschlagen.

Zu den harten Zeichen gehören eine aktive, pulsierende Blutung, ein größtenprogradientes Hämatom, ein Pulsdefizit, Strömungsgeräusche und Ischämiezeichen. Das Vorliegen von harten Zeichen hat eine Sensitivität von 92 bis 95% für das Erkennen einer behandlungsdürftigen Verletzung. [12, 18]

Zu den sogenannten weichen Zeichen zählen eine stattgehabte Blutung, ein Hämatom, Begleitverletzungen, multiple Frakturen, ein ausgedehntes Weichteiltrauma, Verletzungen im Bereich der großen Blutgefäße, eine Hypotension unklarer Genese und ein *Ankle Brachial Index* (ABI) < 0,9.

„Die Inzidenz arterieller Gefäßverletzungen bei Patienten ohne sog. harte Zeichen wird mit 3-25% angegeben. Es muss davon ausgegangen werden, dass hiervon etwa 1-4% im weiteren Verlauf klinische Ischämiezeichen entwickeln.“ [12]

Die körperliche Untersuchung muss mit Hilfe einer weiteren apparativen Diagnostik ergänzt werden. In Zweifelsfällen sind eine laufende Beobachtung, vor allem aber engmaschige Verlaufskontrollen, wichtig. [72]

## **1.6 Diagnostik**

### **1.6.1 Sonographie**

Die Sonographie ist eine Untersuchungsmethode mit nahezu ubiquitärer Verfügbarkeit und wird auch im Rahmen der Schockraumversorgung eingesetzt. Hierbei können zunächst mittels der FAST- Sonographie (*focused abdominal sonogram for trauma*) intraabdominale Organverletzungen und Blutungen evaluiert werden. Die standardisierte Untersuchung konzentriert sich auf 4 Regionen, in denen sich nach einem Unfallereignis freie Flüssigkeit sammeln kann [75] :

- Morison-Pouch
- Koller-Pouch

- Excavatio rectouterina/ rectovesicalis
- Oberbauch-Querschnitt nach kranial: Perikard

Bei Verdacht auf eine Gefäßläsion ist die Durchführung einer Sonographie, welche als eine breit verfügbare, kostengünstige und risikoarme Methode gilt, durchaus neben der CT-Angiographie sinnvoll. Mittels Dopplersonographie können Informationen über Blutflussrichtung und -geschwindigkeit akustisch und graphisch dargestellt werden. Durch die, als diagnostisches Verfahren überlegene, farbkodierte Duplexsonographie können aufgrund der visuellen B-Bildinformation die Anatomie, die Morphologie und die Hämodynamik von Gefäßen noch besser beurteilt werden. Diese Untersuchungsmethoden zur Diagnostik von Gefäßveränderungen weisen in den Händen eines erfahrenen Untersuchers eine hohe Sensitivität und Spezifität auf, insbesondere zum Beispiel am Unterschenkel, wo die CT-Angiographie häufig an ihre Grenzen stößt. [76, 77]

Zusätzlich kann durch Dopplersonographie und Blutdruckmessung der ABI bestimmt werden. Der Knöchel-Arm-Index errechnet sich aus dem Quotienten des Blutdrucks am Unterschenkel und des Blutdrucks am Oberarm. Er dient zur Abschätzung des kardiovaskulären Risikos und bei Patienten mit peripherer arterieller Verschlusskrankheit (pAVK) zur Diagnose und Beurteilung der hämodynamischen Kompensation und zur Verlaufsbeurteilung.

Die Untersuchung ist schnell und kostengünstig. Der eigentlichen Untersuchung sollte eine 10- bis 15-minütige Ruhephase vorausgehen. Zur Durchführung wird eine Blutdruckmanschette am distalen Unterschenkel angebracht, die Arteria dorsalis pedis am Fußrücken mittels Dopplerstiftsonde aufgesucht und der Verschlussdruck gemessen. Auf identische Art und Weise wird der Verschlussdruck hinter dem Innenknöchel über der Arteria tibialis posterior gemessen. Dieser Wert wird in Relation zum systemischen Blutdruck gesetzt, welcher an der Arteria brachialis in üblicher Weise nach Riva-Rocci gemessen wird.

Werte  $\leq 0,9$  weisen auf eine hämodynamisch relevante periphere arterielle Verschlusskrankheit (pAVK) hin, Werte  $> 1,1$  gelten beispielsweise aufgrund einer ausgeprägten Mediasklerose als nur bedingt verwertbar. [76, 78]

### **1.6.2 Computertomographie / CT-Angiographie**

Die Ganzkörpercomputertomographie (Trauma-Spirale) gilt als Goldstandard in Deutschland zur Diagnostik des polytraumatisierten Patienten im Schockraum. Mehrzeilengeräte gewährleisten eine zeitlich hoch effiziente Aufzeichnung mit möglichst geringen Bewegungsartefakten. Durch die Diagnostik mittels Ganzkörpercomputertomographie konnte die Überlebensrate schwerverletzter Patienten verbessert werden. [79, 80]

Bei Verdacht auf eine Blutung bzw. Gefäßverletzung, welche im Rahmen eines Polytraumas vorliegen kann, ist die Gabe von jodhaltigem Kontrastmittel indiziert. Zuvor muss eine intrakranielle Blutung ausgeschlossen werden. Ein Kontrastmittelaustritt gilt als Zeichen einer Blutung. [56, 81]

Zusätzlich kann auch eine CT-Angiographie durchgeführt werden. Diese basiert auf einem Mehrzeilen-CT mit jodhaltigem Kontrastmittel und erlaubt innerhalb von wenigen Sekunden eine hoch auflösende, isotrope und dreidimensionale Darstellung der arteriellen und venösen Gefäße. [76] Nach Foster et al. 2006 können Gefäßverletzungen mit einer CT-Angiographie mit einer hohen Sensitivität als auch Spezifität nachgewiesen werden und es handelt sich somit um eine wichtige Untersuchungsmethode zur schnellen und sicheren Diagnosestellung. [82]



**Abbildung 10** CT Thorax/Abdomen mit Kontrastmittel: Aortendissektion (Bildquelle: Universitätsklinikum Würzburg Abteilung für Radiologie mit freundlicher Genehmigung von Prof. Dr. med. Bley)

### 1.6.3 Digitale Subtraktionsangiographie (DSA)

Die digitale Subtraktionsangiographie (DSA) ist ein invasives Verfahren zur Darstellung von Gefäßen (Angiographie). Diese Untersuchungsmethode erlaubt eine sehr hohe Auflösung der kontrastierten Gefäße ohne störende Hintergrundkontraste, da diese digital entfernt werden. Folglich bietet sie ein

hohes Maß an Detailinformationen und hat zusätzlich den Vorteil der direkten interventionellen endovaskulären Therapiemöglichkeit.

Als Kontrastmittel können jodhaltige Substanzen oder Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) verwendet werden.

Bei vorrangig diagnostischen Fragestellungen wird die digitale Subtraktionsangiographie vor allem aufgrund des höheren Zeitaufwandes in der Notfalldiagnostik durch die nicht-invasiven Verfahren wie Duplexsonographie und computertomographische Angiographie (CTA) ersetzt. [76, 83]

#### **1.6.4 Trauma Score Systeme**

*Trauma Score* Systeme ordnen der Verletzungsschwere einen Punktwert zu. Dieser Punktwert entsteht im Rahmen einer standardisierten, klinischen Beurteilung des Patientenzustandes anhand unterschiedlich gewichteter diagnostischer Parameter. [84] In der klinischen Diagnostik werden *Trauma Scores* mit dem Ziel eingesetzt, den Schweregrad eines Traumas zu klassifizieren, seinen Verlauf zu beurteilen, die weitere Behandlungsstrategie zu planen, eine möglichst zeitnahe Prognose zu erhalten sowie das Behandlungsergebnis zu erheben. [85] In dieser Arbeit soll insbesondere auf die *Score* Systeme eingegangen werden, die im Zusammenhang mit Gefäßverletzungen stehen. Es handelt sich sowohl um *Score* Systeme zur Beurteilung polytraumatisierter Patienten, als auch zur Abschätzung der Prognose/Letalität.

#### ***Glasgow Coma Scale (GCS)***

Die *Glasgow Coma Scale* ist ein von Teasdale und Jennet 1974 in Schottland entwickeltes, einfaches Bewertungsschema zur Abschätzung von Bewusstseinsstörungen bei einem Schädel-Hirn-Trauma. [86] Mittlerweile wird die *Glasgow Coma Scale* in der präklinischen Phase der Patientenversorgung, als auch im weiteren akutklinischen und intensivmedizinischen Verlauf verwendet, um durch Verlaufskontrollen des Patientenbefindens dieses zu dokumentieren und Verschlechterungen und drohende Komplikationen frühzeitig zu erkennen. [85]

Die *Glasgow Coma Scale* besteht aus den drei, unabhängig voneinander erhobenen Kategorien (siehe Tabelle 3):

- „Augen öffnen“,
- „motorische Reaktion“ und
- „verbale Reaktion“.

Für jede Kategorie werden separat Punkte vergeben und anschließend addiert. Die Gesamtpunktzahl kann zwischen minimal 3 (schwere Bewusstseinsstörung, komatös) und maximal 15 (keine Bewusstseinsstörung) variieren. Bei einem Punktwert von 8 oder weniger auf der *Glasgow Coma Scale* muss von einer schweren Funktionsstörung des Gehirns ausgegangen werden und sollte eine Schutzintubation erwogen werden. [85-87]

**Tabelle 3** Die *Glasgow Coma Scale* in der Fassung von 1977 nach Jennett u. Teasdale

Parameter	Reaktion	Punktwert
<b>Augenöffnen</b>		
	Spontan	4
	auf Ansprache	3
	auf Schmerzreiz	2
	keine Reaktion	1
<b>Motorische Reaktion</b>		
	auf Aufforderung	6
	gezielte Abwehrreaktion auf Schmerzreiz	5
	ungezielte Abwehrreaktion auf Schmerzreiz	4
	Beugesynergismen auf Schmerzreiz	3
	Strecksynergismen auf Schmerzreiz	2
	keine Reaktion	1
<b>Verbale Reaktion</b>		
	orientiert	5
	nicht vollständig orientiert	4
	inadäquate Antwort	3
	unverständliche Laute	2
	keine Reaktion	1
<b>Summe</b>		<b>3 bis 15</b>

### **Abbreviated Injury Scale (AIS)**

Die *Abbreviated Injury Scale* (AIS) wurde 1971 erstmals von der AAAM (*Association for Advancement of Automotive Medicine*) im *Journal of American Medical Association* veröffentlicht. Seitdem wurde die *Abbreviated Injury Scale* (AIS) mehrfach überarbeitet. [88, 89]

Sie ermöglicht dem Untersucher einerseits eine einfache numerische Methode, den Schweregrad einer Verletzung einzuordnen und zu vergleichen und andererseits eine standardisierte Beschreibung der Verletzungen abzugeben. [90]

Es handelt sich dabei um eine numerische Skala von 1 (geringgradige Verletzungsschwere) bis 6 (maximal, nach momentanem Stand der medizinischen Kunst nicht überlebar). Die Verletzungen werden für jede Körperregion (siehe Tabelle 4) einzeln ermittelt. [89, 90]

**Tabelle 4** Körperregionen der AIS – Klassifikation

<b>AIS - ID</b>	<b>Körperregion</b>
1	Kopf (ohne Gesicht und Gesichtsschädel)
2	Gesichtsschädel, Gesicht (einschließlich Augen und Ohren)
3	Hals (ohne Rückenmark)
4	Brustkorb
5	Bauchraum
6	Rückenmark
7	Arme (einschließlich Schulter)
8	Beine (einschließlich Hüfte und Beckenknochen)
9	äußere und andere Verletzungen

Die *Abbreviated Injury Scale* dient der Beschreibung einer Verletzung und ermöglicht keine prognostischen Aussagen über das *Outcome* eines Patienten. [88]

Die Systematik und Kodierung der *Abbreviated Injury Scale* (AIS) bildet die Grundlage des *Injury Severity Score* (ISS). [91]

### **Injury Severity Score (ISS)**

Der *Injury Severity Score* (ISS) von Baker et al. wurde 1974 entwickelt, um multiple Verletzungen in einem *Trauma Score* System darzustellen und die Einschränkungen der *Abbreviated Injury Scale* (AIS) zu kompensieren. [91]

Der *Injury Severity Score* (ISS) ist eine auf anatomischen Kenntnissen beruhende Ordinalskala mit Punktwerten zwischen 1 und 75.

Um den *Injury Severity Score* zu berechnen, wurden die 9 Körperregionen der *Abbreviated Injury Scale* in 6 Körperregionen zusammengefasst: Kopf/Hals, Gesicht, Thorax, Abdomen/Becken, Extremitäten/Beckengürtel und äußere Verletzungen. Jeder Körperregion werden nach dem Prinzip der *Abbreviated Injury Scale* Punktwerte zwischen 1 und 6 je nach Verletzungsschwere zugeordnet.

**Tabelle 5** Schweregradeinteilung der *Abbreviated Injury Scale* (AIS)

<b>AIS - Grad</b>	<b>Wertung der Verletzung</b>
1	geringgradig
2	mäßig
3	schwer
4	bedeutend, Überleben wahrscheinlich
5	kritisch, Überleben unsicher
6	maximal, nach momentanem Stand der med. Kunst nicht überlebbare

Der *Injury Severity Score* (ISS) wird als Summe der Quadrate der 3 höchsten AIS-Punktwerte und somit der 3 am schwersten verletzten Körperregionen berechnet. Werden einer Körperregion 6 Punkte zugeordnet, liegt eine letale Verletzung vor und der ISS ist automatisch 75. [90-92]

Mit Hilfe des *Injury Severity Score* (ISS) können sowohl Aussagen über die Mortalität, als auch andere *Outcome* Parameter, wie zum Beispiel die Krankenhausverweildauer getroffen werden. [90, 92] Bei einem *Injury Severity Score* (ISS) von  $\geq 16$  spricht man von einem Polytrauma und die prognostizierte Mortalität liegt bei 10%. [88]

### ***Revised Injury Severity Classification II (RISC II)***

Der *Revised Injury Severity Classification II* (RISC II) wurde 2014 vom Traumaregister der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie als Weiterentwicklung des RISC herausgegeben. Der *Revised Injury Severity Classification II* (RISC II) kommt zur Abschätzung der Prognose zum Einsatz. Insgesamt werden im *Revised Injury Severity Classification II* (RISC II) folgende Merkmale verwendet:

- Schwerste Verletzung
- 2. schwerste Verletzung
- Kopfverletzung
- Alter
- Lichtreaktion
- Pupillenweite
- Geschlecht
- ASA vor dem Unfall
- Mechanismus
- GCS (Motorik)
- Blutdruck bei Aufnahme
- Reanimation
- Gerinnung: INR
- Hämoglobin-Wert
- Azidose: Basendefizit

Die 3 Merkmale des Verletzungsmusters (schwerste Verletzung, 2. schwerste Verletzung und Kopfverletzung) werden als eine Variable zusammengefasst.

In der *Revised Injury Severity Classification II* hat sich der Umgang mit fehlenden Werten im Gegensatz zum RISC geändert.

Alter und Verletzungsmuster werden als Mindestanforderung im Rahmen der Prognoseabschätzung gesehen und müssen dokumentiert werden. Zusätzlich dokumentierte Variablen präzisieren die Prognose und fehlende Variablen haben keinen Einfluss auf die Prognose. [93, 94]

Nach Lefering et al. 2014 konnte die Qualität der *Score* Systeme zur Prognoseabschätzung mit dem RISC II im Gegensatz zum RISC und TRISS (*Trauma and Injury Severity Score*) verbessert werden. [93]

## 1.7 Therapieprinzipien von Gefäßverletzungen

### 1.7.1 Erstversorgung

Akute Blutungen bei Verletzungen der Extremitäten stellen eine vitale Bedrohung dar und sollten mit Priorität versorgt werden.

Die Erstversorgung, vor allem am Unfallort, konzentriert sich auf die Blutungskontrolle, die adäquate systemische Volumensubstitution, die Schockbekämpfung und das Vermeiden weiterer Schäden. Häufig wird auch im Zusammenhang mit Gefäßverletzungen das Prinzip *scoop and run* angewandt, bei dem der Rettungsdienst den Verletzten schnellstmöglich ins Krankenhaus bringt, da eine adäquate Versorgung am Unfallort nicht möglich ist und Zeitverzögerungen vermieden werden sollen. [95]

Laut Kleber et al. (2017) erfolgt die Blutungskontrolle prinzipiell nach einem Stufenschema mittels [7] :

- Manuelle Kompression auf Verletzungshöhe oder proximal (z.B. Druck in Leiste/Oberarm)
- Kompressionsverband
- Tourniquet und bei längerer Transportzeit über die
- Applikation von lokalen Hämotypika

Die Indikationsstellung zur Tourniquet sollte kritisch erfolgen, wenn andere Maßnahmen keine Wirkung zeigen und eine *life before limb* Situation besteht. Es kann zu sekundären Gefäß-, Muskel- und Nervenschäden kommen. [7, 11, 18]

Die korrekte Anlage muss überprüft und der Anlagezeitpunkt dokumentiert werden, „um kritische und übermäßig extremitätengefährdende Ischämiezeiten zu vermeiden“. [7]

Indikationen sind nach Kleber et al. [7]:

- Lebensgefährliche Blutung/multiple Blutungsquellen an einer Extremität
- Unmöglichkeit der Blutstillung durch andere Maßnahmen
- Nichterreichbarkeit der eigentlichen Verletzung (z.B. Einklemmung)
- Mehrere Extremitätenverletzungen mit bedrohlicher Kumulativblutung
- Schwere Blutung der Extremität bei gleichzeitig kritischem A-, B-, C-Problem
- Schwere Blutung an Extremitäten bei Zeitdruck unter Gefahrensituationen

Außerdem sollten die verletzten Extremitäten in anatomischer Position stabilisiert und Luxationen achsengerecht reponiert werden. Perforierende Gegenstände werden belassen und es erfolgt eine Stabilisierung für den Transport. [18, 96]

Es sollte möglichst zügig ein Transport in die nächstgelegene geeignete Klinik erfolgen, da am Unfallort keine suffiziente Versorgung einer Gefäßverletzung möglich ist. Die Wahl der Zielklinik ist entscheidend für eine erfolgreiche Behandlung des Patienten. Es ist die Einlieferung in ein überregionales Traumazentrum empfohlen. [7, 18]

### **1.7.2 Behandlungsalgorithmus**

Behandlungsalgorithmen zur Versorgung von Gefäßverletzungen werden in zahlreichen Studien beschrieben. [7, 11, 12, 18, 97]

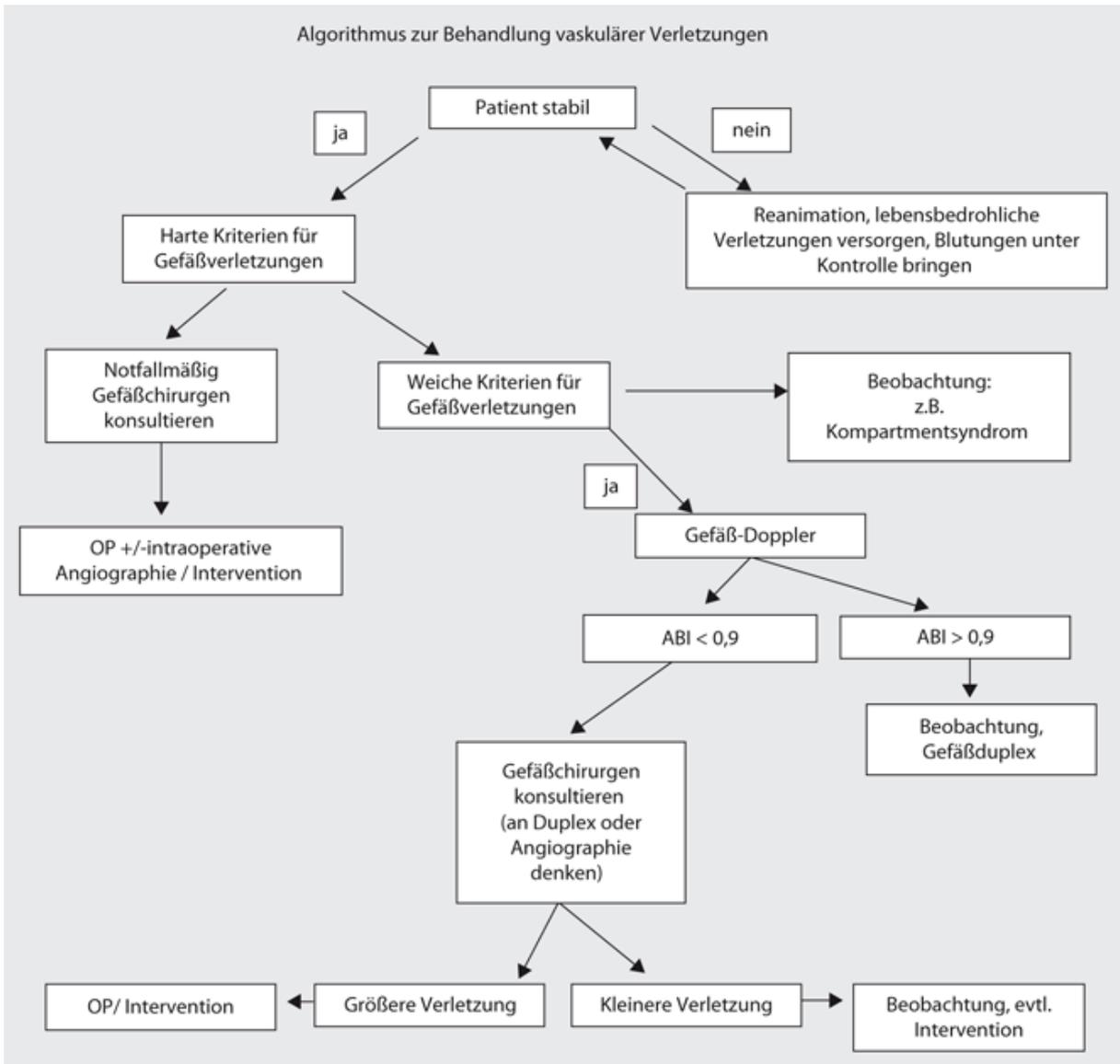
Initial wird nach ATLS-Prinzipien vorgegangen, um lebensbedrohliche Verletzungen frühestmöglich erkennen und behandeln zu können. Im Rahmen der sogenannten *primary survey* erfolgt eine strukturierte Untersuchung nach dem ABCDE-Schema. Hierzu zählen unter anderem ein vollständiger *Bodycheck* am entkleideten Patienten, sowie eine orientierende Abdomensonographie [98].

Grundsätzlich wird zwischen kreislaufstabilen und kreislaufinstabilen Patienten unterschieden. Bei kreislaufinstabilen Patienten muss eine adäquate

Schockbehandlung sofort eingeleitet werden. Weitere Diagnostik erfolgt erst im Anschluss an operative Blutstillung. [7, 12, 18]

Hämodynamisch stabile Patienten werden im Rahmen der *secondary survey* umfassend untersucht. Falls in der klinischen Untersuchung sogenannte harte Zeichen auffallen, muss spätestens dann ein Gefäßchirurg ohne Zeitverzögerung konsultiert werden. „Je früher dies erfolgt, desto effizienter und Zeit sparender kann der weitere diagnostische und therapeutische Ablauf optimiert werden. Die chirurgische Revision und ggf. Revaskularisation erfolgen so früh wie möglich, wenn harte Zeichen der Gefäßverletzung, eine therapierefraktäre Hypotension oder eine offensichtliche Extremitätenischämie vorliegen.“ [18] Ein CT mit Kontrastmittel sollte, wenn es die Kreislauftsituation zulässt, vor Intervention erfolgen.

Patienten mit weichen Kriterien werden nach einem anderen Algorithmus behandelt, da es sich hier um keine akut vital bedrohliche Gefäßverletzung handelt. Es wird ein kontrolliert abwartendes Verhalten angenommen, eine Dopplersonographie durchgeführt und gegebenenfalls der ABI bestimmt. Bei einem Knöchel-Arm-Index von  $> 0,9$  kann weiterhin das kontrolliert abwartende Verhalten beibehalten werden. Patienten mit einem Knöchel-Arm-Index von  $< 0,9$  sollten von einem Gefäßchirurgen gesehen werden und weiterer bildgebenden Diagnostik (Angiographie, CT-Angiographie, farbkodierte Duplexsonographie) zugeführt werden. Je nach Art der Gefäßläsion erfolgt eine konservative Therapie oder eine operative beziehungsweise radiologisch interventionelle Therapie. [12, 18]



**Abbildung 11** Behandlungsalgorithmus vaskulärer Notfälle (aus [18] mit freundlicher Genehmigung von Springer Nature – Springer Medizin, Trauma und Berufskrankheit, Ausgabe 11, Gefäßverletzungen, Billing et al., 2009, <https://doi.org/10.1007/s10039-009-1488-z>)

Allgemein richtet sich der Zeitpunkt der Versorgung von Gefäßverletzungen im Bereich der Extremitäten, vor allem bei polytraumatisierten Patienten, nach der Vitalgefährdung (*life before limb*).

Patienten mit traumatischen Mehrfachverletzungen werden nach dem *Damage Control* Prinzip versorgt. „*Damage Control* bedeutet eine chirurgische Behandlung von Polytraumapatienten mit dem Ziel der primären Blutstillung, Volumentherapie, Stabilisierung der Hämodynamik und anschließender

sequenzieller, prioritätenadaptierter, definitiver chirurgischer Therapie der einzelnen Verletzungen.“ [7]

Liegen als Begleitverletzungen Extremitätenfrakturen vor, sollte im Idealfall zunächst die primäre Osteosynthese, anschließend die Gefäßversorgung und abschließend die Weichteilversorgung erfolgen. „Die primäre Osteosynthese ist in der Regel zur Wiederherstellung von Lage, Achse und Rotation der Extremität erforderlich.“ [11]

Dabei darf das Zeitfenster der Ischämietoleranz von 4 bis 6 Stunden zur Wiederherstellung der Perfusion nicht überschritten werden. Danach steigt das Risiko für Amputationen und weitere Komplikationen. [7, 11, 12]

### **1.7.3 Operative Therapie**

Oberste Ziele der operativen Therapie einer Gefäßverletzung sind die Kontrolle des Blutverlustes und die zügige Wiederherstellung der Gewebepfusion durch Kontinuitätswiederherstellung. [12, 13]

Abhängig vom intraoperativen Befund kommen nach Gumbel et al. (2014) folgende Verfahren zum Einsatz [12] :

- Direkte Gefäßnähte
- Patchplastiken
- End-zu-End-Anastomosen
- Veneninterponate
- Alloplastischer Gefäßersatz
- Gegebenenfalls Anlage eines temporären intravaskulären Shunts (TIVS) bis zur definitiven Versorgung

Die operative Exploration der zu- und abführenden Gefäße erfolgt zunächst möglichst proximal und distal der eigentlichen Verletzungslokalisation. Das Gefäß wird präpariert, angeschlungen und geklemmt. Danach erfolgt das Debridement des Verletzungsareals und die Durchführung eines Fogarty-Manövers nach peripher und zentral, um gegebenenfalls intravasales Thrombusmaterial zu entfernen. Vor dem Ausklemmen sollte eine systemische Heparinisierung (5000 I.E. beziehungsweise 100 I.E. pro kg Körpergewicht),

falls keine Kontraindikationen bestehen, alternativ eine lokale Heparinisierung des Ein- und Ausstroms, erfolgen. [13, 18]

Scharfe Gefäßverletzungen lassen sich größtenteils durch eine direkte Gefäßnaht rekonstruieren. Der lokale Defekt muss inspiziert werden und ein Verlust von Gefäßwandteilen unbedingt vermieden werden. Als Nahtmaterial wird ein monophiler, nicht resorbierbarer Faden verwendet. Eine Einzelknopf- oder fortlaufende Nahttechnik wird je nach Ausmaß des Gefäßschadens angewandt.

Die spannungsfreie Rekonstruktion mit makroskopisch gesunden Gefäßenden ist eine wichtige Voraussetzung für eine erfolgreiche Versorgung. [11, 12]

„Liegen lokal morphologische Gefäßverhältnisse vor, die bei einer Direktnaht zu einer Kompromittierung des Gefäßquerschnitts und somit zu einer iatrogenen Stenose oder einem Verschluss der Arterie führen würden, ist immer eine Erweiterungspatchplastik vorzuziehen.“ [12] Die Patchplastik sollte das Gefäßlumen nur minimal erweitern. Es gilt Kalibersprünge zu vermeiden. Autologe Venenpatches sind allogenem Material vorzuziehen, da sie eine bessere postoperative Beherrschbarkeit von Infekten im Operationsgebiet nach offenen und/oder kontaminierten Verletzungen aufweisen.

Der Indikationsbereich für End-zu-End-Anastomosen sind vollständige Transsektionen eines Gefäßes ohne einen langstreckigen Gefäßverlust. Erfahrungsgemäß ist ein Längenverlust von 2 bis 3 cm tolerabel. Hierbei werden die Gefäßenden leicht angeschrägt, wodurch eventuelle Stenosen ausgeglichen werden können. End-zu-End-Anastomosen sind der direkten Gefäßnaht überlegen, da sie auch nach Wunddébridement durchgeführt werden können.

Die Anlage eines Veneninterponats ist sinnvoll, wenn eine spannungsfreie Adaptation der Gefäßstümpfe nicht möglich ist, das Ausmaß der Gefäßverletzung zu groß ist oder eine langstreckige Dissektion besteht. Wann immer möglich sollten hier autologe Veneninterponate verwendet werden. Geeignet sind hierfür abhängig vom Verletzungsmuster die Vena saphena magna, die Vena saphena parva, die Vena femoralis superficialis oder die Vena

cephalica. Material von der kontralateralen unverletzten Extremität ist zu bevorzugen.

Bei mangelhafter Venenqualität wird ein alloplastischer Gefäßersatz angestrebt. Zur Auswahl als Gefäßprothese stehen die Dacron-Prothese, die ePTFE- (expandierte Polytetrafluoroethylen) Prothese oder bei potentiell kontaminierten Gebieten die Silberprothese.

Allgemein ist eine sichere Deckung der Anastomosenregion mit vitalem Weichteilgewebe für einen guten Wundheilungsprozess essentiell. [11-13, 18]

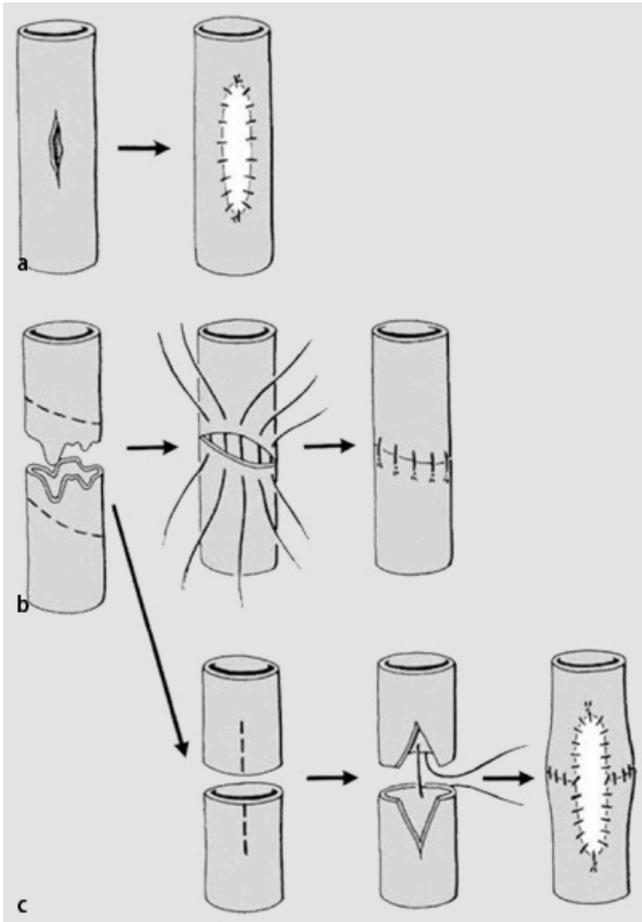
„Ist eine primäre definitive Gefäßrekonstruktion beim Schwerverletzten nicht möglich, sollte im Rahmen der *damage control surgery* zur Wiederherstellung der Gewebepfusion beim instabilen Patienten eine TIVS angelegt werden.“ [12]

Es sollte der größtmögliche Innendurchmesser verwendet werden, um einen Durchfluss zu gewährleisten und die Thrombosegefahr zu minimieren. Ziel dieses Verfahrens ist es, die Ischämiezeit zu verkürzen und sekundär die Gefäßrekonstruktion durchzuführen.

Bei der offenen Vorgehensweise muss eine intraoperative angiographische Darstellung der gesamten Extremität möglich sein. Es stehen nach Gumbel et al. (2014) dabei folgende Ziele im Vordergrund [12] :

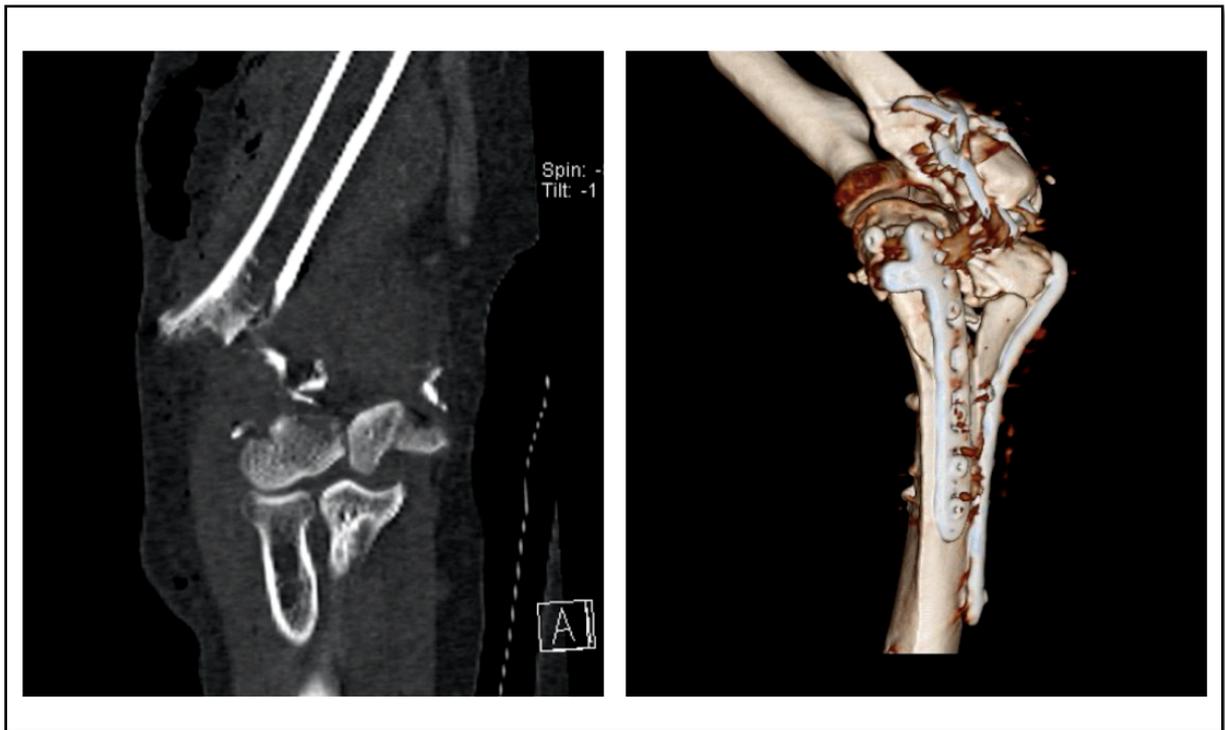
- Darstellung der genauen Lokalisation der Gefäße bei unübersichtlichem Situs
- Beurteilung des Ausmaßes der Verletzung
- Darstellung von Kollateralkreisläufen
- Detektion von Leckagen
- Forensische Dokumentation des Behandlungsergebnisses

Die intraoperativ angefertigte Angiographie zeigte in bis zu 16 % der Fälle die Notwendigkeit einer Revision der Gefäßversorgung. [99]



**Abbildung 12** Technik der operativen Versorgung kleinlumiger peripherer Arterien (aus [12] mit freundlicher Genehmigung von Springer Nature – Springer Medizin, Der Unfallchirurg, Ausgabe 117, Diagnostik und Management peripherer Gefäßverletzungen, Gümbel et al., 2014, <https://doi.org/10.1007/s00113-014-2560-0>)

- a. Venenstreifenplastik bei längs verlaufender Läsion
- b. End-zu-End-Rekonstruktion bei Gefäßabriss nach angeschrägter Resektion
- c. End-zu-End-Rekonstruktion und Erweiterung der Vorderwand durch Venenstreifenplastik (Van-Dongen-Technik)



**Abbildung 13 links:** 3c° offene distale intraartikuläre Humerustrümmerfraktur rechts mit traumatischer stumpfer Verletzung der A. brachialis auf Höhe des distalen Humerusschaftfragments III° nach Vollmar **rechts:** endgütige Versorgung mittels 1. Gefäßrekonstruktion mit Interponat und Patchplastik (V. saphena magna mit Entnahme Bein links) und 2. Interne Fixation des distalen Humerus mit DHP System (Bildquelle: Universitätsklinikum Würzburg Abteilung für Radiologie mit freundlicher Genehmigung von Prof. Dr. med. Bley)

#### 1.7.4 Radiologisch interventionelle Therapieoptionen

Neben der operativen Versorgung können Gefäßverletzungen auch mittels endovaskulärer Verfahren mit Hilfe von angiographischer Bildgebung und simultaner Intervention versorgt werden.

Diese Verfahren erscheinen besonders bei relativ umschriebenen Gefäßverletzungen und hämodynamischer Stabilität des Patienten hilfreich.

Es können im Rahmen der Gefäßinterventionen drei Vorgehensweisen unterschieden werden:

- Embolisation
- Coiling

- Endovaskuläre Stentimplantation (gecoverte Stents)

Bei Blutungen aus Gefäßen, welche für eine offen-chirurgische Therapie schwer zugänglich sind und bei denen mit einem großen zusätzlichen Zugangstrauma gerechnet werden muss, kann die Blutstillung durch selektive Angioembolisation oder Coiling erreicht werden. Der Verschluss des Gefäßes verhindert zudem den weiteren Blutverlust aus Kollateralgefäßen. Bei Gefäßverletzungen im Zusammenhang mit Beckenverletzungen wird diese Methode oft erfolgreich angewandt.

Endovaskuläre Stentimplantationen haben im Bereich der Therapie der peripheren Gefäßverletzungen einen eher geringen Stellenwert. Sie dienen vor allem der Behandlung von Gefäßverletzungen im Bereich der aortalen und iliakalen Gefäße. [7, 12, 13, 18]



**Abbildung 14** Coilembolisation der A. glutea superior, inferior und obturatoria (Bildquelle: Universitätsklinikum Würzburg Abteilung für Radiologie mit freundlicher Genehmigung von Prof. Dr. med. Bley)

## 1.7.5 Weitere Maßnahmen und Komplikationen

### Kompartmentsyndrom

Das Kompartmentsyndrom ist ein klinisches Krankheitsbild, welches mit traumatischen Gefäßverletzungen assoziiert ist. Es definiert einen Zustand, bei dem es durch einen erhöhten Gewebedruck innerhalb einer geschlossenen bindegewebigen Muskelloge zum Verlust der Kapillarfunktion und Beeinträchtigung der neuromuskulären Funktion kommt. Diese kapilläre Dysfunktion bewirkt eine Ödembildung innerhalb der Muskelloge. Es resultiert eine Erhöhung des Gewebedrucks über den Normalwert von  $< 10\text{mmHg}$  innerhalb der Muskelloge. [11, 13]

„Der Circulus vitiosus wird unterhalten, wenn der Flüssigkeitsdruck den venösen Drainagedruck übersteigt.“ [13]

Es kommt durch den erhöhten Gefäßwiderstand zu einer verminderten venösen Drainage, myoneuronalen Perfusion und arteriellen Durchblutung, und schließlich zum irreversiblen Gewebeuntergang. [11, 13]

Ursachen können laut Ruppert et al. (2004) ein direktes Trauma, eine Verminderung der kapillären Muskeldurchblutung, eine Gewebedruckerhöhung mit Reduktion des venösen Abtransports und die Reperfusion der ischämischen Muskulatur ( $> 4$  bis  $6$  Stunden) nach arterieller Rekonstruktion. [13]

Die Symptomatik des Kompartmentsyndroms ist gekennzeichnet durch eine schmerzhafte Schwellung und Verhärtung der betroffenen Muskelloge mit Schmerzintensivierung bei passiver Bewegung. Frühe Zeichen eines Kompartmentsyndroms sind Sensibilitätsstörungen und beginnende muskuläre Funktionsstörungen. In der Spätphase kommt es zu einem mangelnden Nachweis peripherer Pulse, Verlust der Dopplersignale und stark verlängerten kapillären Wiederauffüllung.

Es gibt keine prognostischen Anhalte, welche das Kompartmentsyndrom zuverlässig voraussagen können. Die Diagnose wird primär klinisch gestellt, kann jedoch auch durch die Messung des Kompartimentdrucks verifiziert werden, wenn diese die Therapie nicht verzögert. Hierzu wird eine sterile Sonde in die entsprechende Muskelloge eingebracht, welche den Perfusionsdruck

registriert. Bei einem Gewebedruck von  $> 30\text{mmHg}$  spricht man von einem manifesten Kompartmentsyndrom. Der Gewebedruck ist immer in Relation zum Perfusionsdruck zu beurteilen.

Die Indikation zur Fasziotomie sollte möglichst frühzeitig und großzügig gestellt werden. [11-13, 18]

Nach Gumbel et al. sollte eine Fasziotomie erfolgen bei [12] :

- Manifestem Kompartmentsyndrom und
- Prophylaktisch bei
  - Ischämiezeit  $> 4\text{-}6$  Stunden
  - Akuten Ischämiezeichen
  - Ausgeprägtem Weichteiltrauma
  - Kombinierten arteriellen und venösen Verletzungen
  - Starker intrakompartimenteller Blutung und
  - Erhöhtem intrakompartimentellem Druck

Häufig wird die Indikation zur Fasziotomie zu spät gestellt. Dies gilt es zu vermeiden, da die Entwicklung eines Kompartmentsyndroms mit der Gefährdung der Extremität einhergeht. Alternativ kann eine prophylaktische Fasziotomie im Rahmen der Revaskularisierung erfolgen.

## **Amputation**

Eine Notfallamputation muss eine Einzelfallentscheidung bleiben. Das Überleben des Patienten muss immer das primäre Ziel sein und vor dem Erhalt der Extremität stehen (*life before limb*). Aus diesem Grund muss bei einem instabilen Patienten mit ausgeprägtem ossären, neurologischen und vaskulären Verletzungsausmaß beziehungsweise einem massiven Weichteilschaden eine Amputation diskutiert werden. [12, 13]

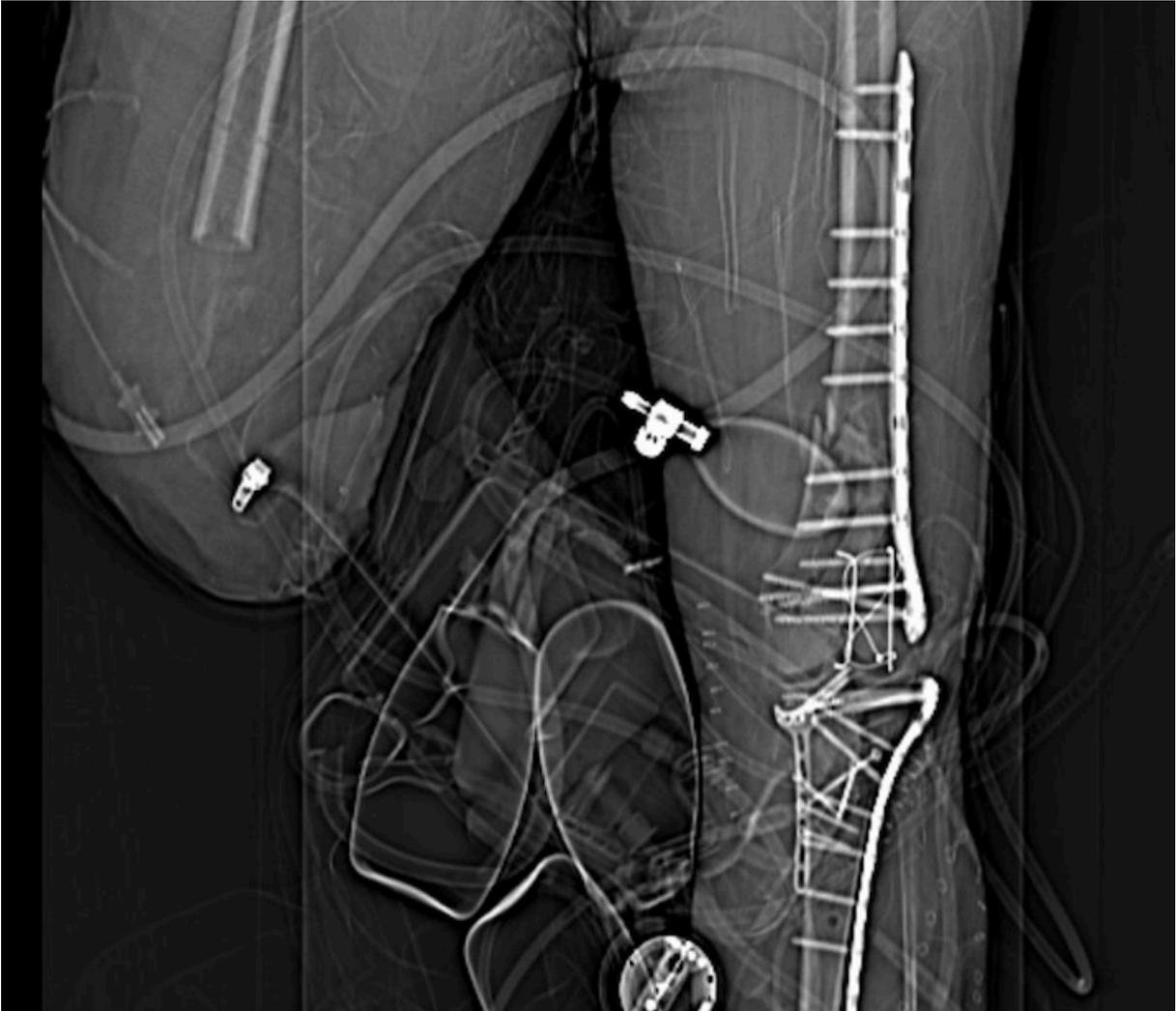
Nach Gumbel et al. besteht eine hohe Amputationsrate bei [12] :

- Gustilo – IIIC – Frakturen (drittgradig offene Fraktur mit schwerem Weichteilschaden und Gefäßverletzung)
- Durchtrennung von N. ischiadicus oder N. tibialis
- Hohem Patientenalter mit Komorbidität
- Multiplen Extremitätenfrakturen

- Großem Weichteiltrauma
- Ausgeprägter Wundkontamination

Vor einer Amputation sollte eine gründliche Fotodokumentation und Befundsicherung durch erfahrene Fachärzte erfolgen. Die Amputationsindikation sollte im interdisziplinären Rahmen diskutiert und gestellt werden. „In den meisten Fällen sollte zunächst eine Revaskularisation mit Frakturstabilisierung bis zur definitiven Entscheidung erfolgen.“ [12] Im Anschluss sollte dann in Abhängigkeit der Vitalparameter neu entschieden werden, da ein frustraner Erhaltungsversuch oder ein Reperfusionssyndrom zur Verschlechterung der Organfunktion beitragen kann. [13] Abhängig von der Verletzung und dem Traumamechanismus (penetrierend < stumpf) liegt die Amputationsrate nach Coleman et al. (2016) bei 9 bis 54%. [100] Fox et al. geben eine Amputationsrate nach scharfer Gewalteinwirkung mit 6% an. Bei Vorliegen einer Fraktur mit zusätzlichem Gefäßschaden wird von einer Amputationsrate von über 17% ausgegangen. [101]

In den letzten 25 Jahren konnten durch die Weiterentwicklung von diagnostischen, therapeutischen und operativen Verfahren die Amputationsraten deutlich verringert werden. [102]



**Abbildung 15** Zustand nach Oberschenkelamputation bei Sepsis nach operativen Frakturstabilisierung, sowie die Revaskularisierung des rechten Beines bei

- 1.) Abriss der A. poplitea, des Trunkus tibiofibularis und der A. tibialis anterior mit Begleitvenen, Decollement, Fasziotomie und Zerstörung Membrana interossea
- 2.) IIIIC°-ig offene Komplexverletzung /floating knee, dia- und metaphysär mehrfragmentäre, extraarterielle distale Femurfraktur
- 3.) Vollständig art. meta- und diaphysär mehrfragmentäre proximale Unterschenkelfraktur
- 4.) Distale Unterschenkelschaftfraktur
- 5.) Decollementverletzung des Unterschenkels, Abriss der A. poplitea , des Trunkus tibiofibularis und der A. tibialis anterior mit Begleitvenen, Zerstörung der Membrana interossea

(Bildquelle: Universitätsklinikum Würzburg Abteilung für Radiologie mit freundlicher Genehmigung von Prof. Dr. med. Bley)

## 1.8 Ziele der Arbeit

Die Ziele der retrospektiven Fall-Kontroll-Studie zu Fraktur-assoziierten Gefäßverletzungen waren die Evaluierung der klinischen Versorgungssituation an einem Notfallzentrum der Maximalversorgung und die Ableitung von klinischen Implikationen zur verbesserten Versorgung von Schockraum-Patienten.

Für die Benennung des untersuchten Patientenkollektivs erfolgte eine Phänotypisierung der Fallgruppe, die sich durch die Einschlusskriterien Erst- bzw. Zweitversorgung im Schockraum des Universitätsklinikums Würzburg und das Vorhandensein einer Fraktur-assoziierten Gefäßverletzung ergab. Die Phänotypisierung der Kontrollgruppe unterschied sich in einem Einschlusskriterium durch das alleinige Auftreten von Frakturen. Als Zweitversorgung war die Zuweisung aus peripheren Krankenhäusern in den Schockraum des Universitätsklinikums Würzburg zu verstehen.

Der Schwerpunkt der Arbeit lag auf der spezifischen Auswertung von diagnostischen und therapeutischen Schritten während der akutklinischen Versorgung am Unfallort und anschließend im Schockraum.

Für die Zielumsetzungen innerhalb der Arbeit waren nachfolgend aufgeführte thematisch ineinandergreifende Schwerpunkte zu erfüllen:

1. die Rekrutierung des Untersuchungs- beziehungsweise des Patientenkollektivs mit Fraktur-assoziierten Gefäßläsionen aus N=3689 kontinuierlichen Patienten mit Erst- und Zweitversorgung im Schockraum des Universitätsklinikums Würzburg zwischen 12/2005 und 12/2013 und nachfolgend
2. die vergleichende Gegenüberstellung dieses Patientenkollektivs mit einer homogenen Kontrollgruppe bestehend aus Patienten mit Frakturen ohne Gefäßbeteiligung zur Überprüfung folgender Hypothesen:
  - a. Eine Gefäßverletzung verschlechtert das *Outcome*.

- b. Das initiale Flüssigkeitsmanagement ist ein prognostischer Parameter für das Vorliegen einer Gefäßverletzung.
- c. Initiale Laborkontrollen sind ein weiterer prognostischer Parameter für das Vorhandensein einer Gefäßverletzung.
- d. *Trauma Score* Systemen eignen sich eine beteiligte Gefäßverletzung vorherzusagen.

Die Überprüfung aller Annahmen schaffte schlussendlich die Voraussetzung für

- 3. die Benennung von optimierten Handlungsalgorithmen in der klinischen Praxis, einschließlich der Aufgaben des Gefäßchirurgen bei der Versorgung polytraumatisierter Patienten im Schockraum.

## **2 Material und Methoden**

### **2.1 Patientenkollektiv und Studiendesign**

Insgesamt wurden die Daten von N=3689 Patienten mit Erst- und Zweitversorgung im Schockraum des Universitätsklinikums Würzburg zwischen 12/2005 und 12/2013 retrospektiv hinsichtlich Frakturen analysiert.

Ausgeschlossen waren Patienten, bei denen, trotz Fallnummer, keine Daten, zum Beispiel durch Fehlalarmierungen oder Änderung des Versorgungsmanagements, hinterlegt waren.

Sekundär wurden die Patienten mit Fraktur-assoziierten Gefäßverletzungen identifiziert, näher analysiert und abschließend einer Fall-Kontroll-Analyse zugeführt.

### **2.2 Behandlungsalgorithmus am Klinikum der Universität Würzburg**

Der Würzburger Schockraumalgorithmus basiert auf den ATLS © – Prinzipien (*Advanced Trauma Life Support*).

Die Notfallmeldung der Rettungsleitstelle wird über das Notfalltelefon der anästhesiologischen Intensivstation von einem Stationsarzt entgegengenommen. Dieser alarmiert das Versorgungsteam des Schockraums über den automatischen Funksammelruf. Die aus einem Facharzt der Anästhesie, der Chirurgie und der Radiologie bestehende „Führungsgruppe Schockraum“ trifft gemeinsam Entscheidungen. Bei Bedarf können weitere Ärzte unterschiedlicher Fachdisziplinen hinzugezogen werden.

Der Schockraumalgorithmus besteht aus drei Phasen:

- Reanimationsphase
- Diagnosephase
- Versorgungsphase

Unter Rücksichtnahme auf den Gesamtzustand des Patienten wird die weitere Diagnostik und die Therapie gemeinsam im Team abgestimmt. [56, 103, 104]

## **2.3 Datenerhebung**

### **Erste Analyse (Epidemiologie)**

Die Datenakquise erfolgte retrospektiv mithilfe der Fallnummern, anhand von Arztbriefen, Notarztprotokollen, Schockraumprotokollen, Operationsberichten, Labor- und radiologischen Befunden im SAP, der elektronischen Datenbank des Klinikums der Universität Würzburg. Die Datenerhebung erfolgte unter Anonymisierung von Namen und Geburtsdatum.

Die Dokumente wurden eingesehen und nach folgenden Merkmalen analysiert:

- Dokumentation des Unfallmechanismus
- Dokumentation der Verletzungen
- Dokumentation einer Extremitäten-Fraktur
- Dokumentation einer Gefäßverletzung
- Dokumentation der Durchführung einer DSA
- Dokumentation einer allgemeinchirurgischen Versorgung
- Dokumentation einer pädiatrischen/kinderchirurgischen Versorgung
- Dokumentation einer sonstigen medizinischen Versorgung

Durch diese Suchmerkmale konnten N=279 Patienten mit gefäßchirurgischem Interventionsbedarf detektiert werden.

Diese Gruppe von Patienten wurde weiter entsprechend der Art und Lokalisation der Gefäßverletzung in Trauma-assoziierte und nicht Trauma-assoziierte Gefäßverletzungen unterteilt. Innerhalb der Gruppe von Patienten mit gefäßchirurgischem Interventionsbedarf wurden N=68 Patienten mit Fraktur-assoziierten Gefäßverletzungen detektiert, welche in einer 2. Analyse genauer untersucht wurden.

### **Zweite Analyse (Fraktur-assoziierte Gefäßschäden)**

Zur Erfassung der Patienteninformationen wurden die Patientenakten der N=68 Patienten systematisch durchgesehen und anhand des folgenden umfangreichen Dokumentationsbogens analysiert:

### Patientendaten

- Alter
- Geschlecht

### Unfallanamnese

- Verletzungsmechanismus (stumpf, indirekt vs. scharf, direkt)
- Verletzungslokalisierung (Becken, Schultergürtel, obere und untere Extremität)
- *Trauma Scores*
  - GCS
  - ISS (entnommen aus dem Trauma-Register der DGU)
  - RISC II

### Notaufnahme

- Präklinisches Flüssigkeitsmanagement
- Initiales Labor (Hb, Quick, PTT, Fibrinogen, Lactat, Myoglobin, CKgesamt)
- Initialer Blutdruck

### Therapie und Verlauf

- Behandlungsmethode
- Anzahl an Operationen
- Tage auf der intensivmedizinischen Station
- Krankenhausverweildauer
- Amputationen
- Tod (24h-Mortalität und Gesamtmortalität)

Das präklinische Flüssigkeitsmanagement beschreibt die notwendige, intravenöse Flüssigkeitsgabe (kolloidale und kristalline Infusionen) zur Patientenstabilisierung durch den Notarzt in der Phase von der Unfallaufnahme am Unfallort bis zum Beginn der Schockraumversorgung.

Nach detaillierter Aktenarbeit wurden im Nachhinein N=4 Patienten mit Frakturen im Schulterbereich ausgeschlossen: Durch die ausgeprägten Verletzungen im Bereich des Plexus brachialis in Kombination mit Verletzungen der benachbarten Gefäße (Arteria/Vena subclavia und Arteria vertebralis) zeigte sich eine 100%ige Mortalität in den ersten 24h Stunden.

## **Kontrollgruppe**

Um die Endpunkte – einschließlich der Laborparameter – der Patienten zu vergleichen, wurde eine Kontrollgruppe von insgesamt N=60 Patienten mit Frakturen, jedoch ohne Gefäßverletzungen aus den initial eingeschlossenen N=3689 Schockraum-Patienten festgelegt.

Diese wurden ebenfalls nach dem oben beschriebenen Dokumentationsbogen (2.3) analysiert.

Für alle teilnehmenden Patienten konnten die notwendigen Daten, mit Ausnahme des präklinischen Flüssigkeitsmanagement und des initial gemessenen Blutdrucks, jeweils vollständig erhoben werden.

## **2.4 Auswertung**

Die Auswertung des in Excel© erstellten Dokumentationsbogens erfolgte nach verschiedenen Kriterien.

### **Erste Analyse (Epidemiologie)**

Durch die oben beschriebenen Suchmerkmale konnten N=279 Patienten mit gefäßchirurgischem Interventionsbedarf detektiert werden.

Es erfolgte die Klassifikation in gefäßchirurgisch-relevante Notfälle und in Fraktur-assoziierte Gefäßschäden.

Bei den gefäßchirurgischen Notfällen konnten Aussagen über den Entstehungsprozess der Gefäßverletzung (Trauma-assoziiert und nicht Trauma-assoziiert) getroffen, als auch mögliche Verletzungsmuster beschrieben werden.

Die Fraktur-assoziierten Gefäßschäden wurden nach Lokalisation (Beckenfrakturen, Frakturen der unteren Extremitäten, Frakturen der oberen Extremitäten) eingeteilt. Zudem erfolgte die Datenerhebung bezüglich

Versorgung der Gefäßverletzung (offen-chirurgisch vs. interventionell), Amputationsrate als auch 24h-Mortalität und Gesamtmortalität.

### **Retrospektive Fall-Kontroll-Studie**

Die retrospektive Fall-Kontroll-Studie ermöglichte den Vergleich der Endpunkte der N=64 Patienten mit Fraktur-assoziierten Gefäßverletzungen (Fallgruppe) mit den N=60 Patienten mit Frakturen ohne Gefäßbeteiligung (Kontrollgruppe).

Als Erstes erfolgte der Vergleich der Basischarakteristika (Geschlechterverteilung, Altersverteilung, Verletzungsmechanismus, Lokalisation der Verletzung, Auftreten von multiplen Frakturen).

Die Score Systeme, die im Schockraum abgenommene Laborparameter und das präklinische Flüssigkeitsmanagement wurden dokumentiert und gegenübergestellt. Hierbei konnte der ISS als einziges Score System bei allen Patientenfällen ermittelt werden.

Aufgrund der größtenteils fehlenden Dokumentation des initialen Blutdrucks erfolgte diesbezüglich keine Auswertung.

Der klinische Verlauf wurde einerseits durch das Gesamtüberleben, andererseits durch die Liegezeit auf der Intensivstation und die Gesamtliegezeit im Krankenhaus beschrieben. Ferner wurden durchgeführte Amputationen und die Anzahl der notwendigen Operationen dokumentiert.

### **2.5 Statistische Methoden**

Die erhobenen Daten wurden anonymisiert in eine elektronische Datenbank von Microsoft Excel© 2007/2010 übertragen und mittels Excel© und dem Programm R© statistisch ausgewertet.

Bei allen Parametern mit ordinalem und nominalem Skalenniveau wurden die absoluten Häufigkeiten angegeben.

Parameter quantitativer beziehungsweise metrischer Variablen wurden anhand von Mittelwert und Standardabweichung dargestellt und mittels Shapiro-Wilk Test auf Normalverteilung geprüft. Signifikante p-Werte ( $p < 0,05$ ) weisen auf

nicht normalverteilte Daten hin. Die Ergebnisse wurden tabellarisch oder als Diagramm dargestellt.

Die Signifikanzbestimmung erfolgte für den Vergleich von Häufigkeiten durch den Chi-Quadrat Test bei unverbundenen Stichproben. Bei unter 5 Fällen in den einzelnen Kategorien wurde der Exakte Test nach Fisher durchgeführt.

Normalverteilte Messwerte mit unterschiedlicher Varianz (Shapiro-Wilk  $p \geq 0,05$ ; Levene Test  $p \geq 0,05$ ) aus unverbundenen Stichproben (Gruppen) wurden mit Hilfe des Welch-Tests ausgewertet. Bei fehlender Normalverteilung (Shapiro-Wilk  $p < 0,05$ ) wurde der Mann-Whitney-U-Test (kurz U-Test) angewandt. Für den Vergleich von zwei verbundenen Stichproben ohne Normalverteilung kam der Wilcoxon Test zum Einsatz. Bei einem Signifikanzniveau von  $p < 0,05$  wurde eine statistische Signifikanz angenommen.

Mit Hilfe der linearen Regression konnten die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Messwerten dargestellt werden. Die Überlebenszeiten der multivariablen Modelle wurden durch die Cox Regression verglichen. Hierbei dient die Hazard-Ratio als deskriptives Maß zum Vergleich von Überlebenszeiten zwischen verschiedenen Gruppen. [105]

Zusammenfassend für Ausdrücke wie Einfluss, Zusammenhang und Unterschied wird der Begriff Effekt benutzt. Er ist Teil der Alternativhypothese bei einem statistischen Test. Es lässt sich zwar feststellen, ob ein Effekt vorhanden ist, nicht aber in welchem Ausmaß. [106]

Die Effektgröße spiegelt die Effektivität einer Behandlung oder Intervention wieder. Es erfolgt also nicht nur eine Beschreibung, sondern auch eine Quantifizierung der Wirksamkeit. „Die Effektgröße ist ein Indikator für die Bedeutsamkeit der Ergebnisse.“ [107]

## **2.6 Grafiken und radiologische Abbildungen**

Die Grafiken wurden mithilfe von Excel© erstellt. Zum Teil erfolgte zur übersichtlicheren Darstellung eine Zusammenfassung mehrere Grafiken aus Excel© zu einer Bilddatei.

Die radiologischen Beispielbilder wurden mithilfe der Fallnummern aus der Datenbank des Uniklinikums Würzburg entnommen. Alle Daten, welche Rückschlüsse auf die Patientenidentität zulassen, wurden unkenntlich gemacht.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Gesamtkollektiv

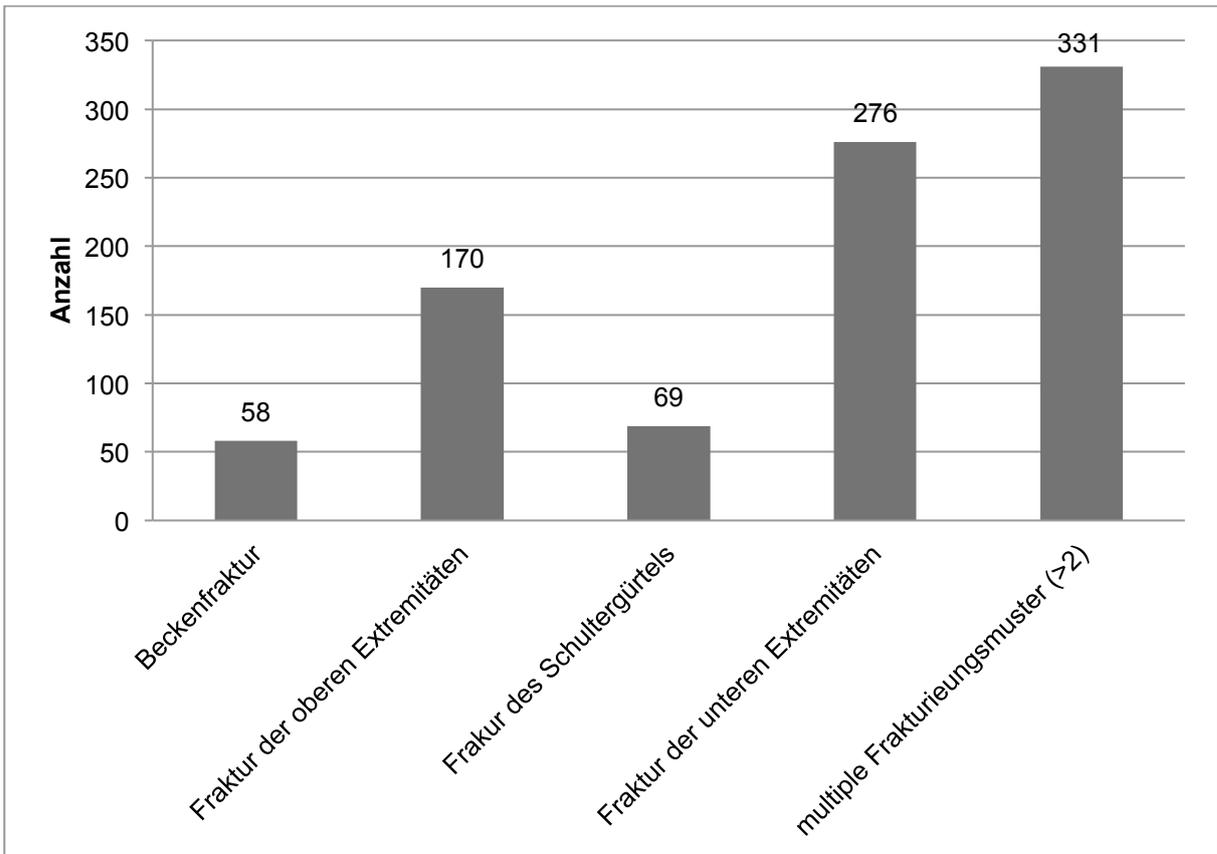
Im Zeitraum von Dezember 2005 bis Dezember 2013 wurden insgesamt N=3689 Patienten im Schockraum des Universitätsklinikums Würzburg behandelt.

Davon hatten N=175 Patienten (4,7%) ausschließlich Gefäßverletzungen entweder Trauma-assoziiert oder nicht Trauma-assoziiert.

Frakturen im Bereich der Extremitäten, des Beckens und des Schultergürtels, einschließlich der Klavikula und Skapula, waren bei N=904 Patienten (24,5%) dokumentiert. Bei N=331 Patienten (36,6%) zeigten sich zudem Mehrfachfrakturen ( $\geq 2$ ). Insgesamt konnten bei den N=904 Patienten 1.316 Frakturen der Extremitäten, des Beckens oder des Schultergürtels in dem obengenannten Zeitraum diagnostiziert werden:

- 242 Beckenfrakturen (18,4%)
- 377 Frakturen der oberen Extremitäten (28,6%)
- 528 Frakturen der unteren Extremitäten (40,1%)
- 169 Frakturen des Schultergürtels (12,8%).

Die Abbildung 16 zeigt die Verteilung der Frakturhäufigkeit und der Frakturlokalisierung. Die Patienten mit multiplen Frakturierungsmustern ( $>2$ ) wurden unabhängig von Frakturanzahl und Lokalisation zusammengefasst.

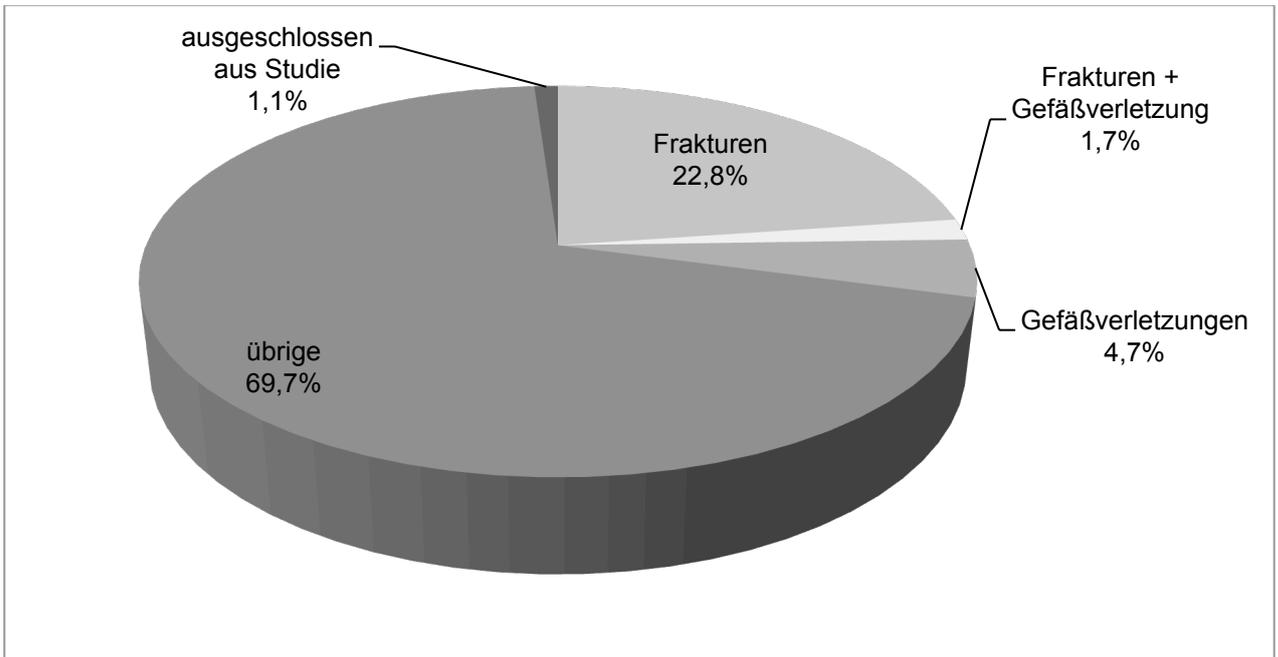


**Abbildung 16** Anzahl und Lokalisation der Frakturen: Die Patienten mit multiplen Frakturierungsmustern (>2) wurden unabhängig von Frakturanzahl und Lokalisation zusammengefasst.

Innerhalb des Patientenkollektivs mit Frakturen konnten insgesamt N=68 Patienten mit Fraktur-assoziierten Gefäßverletzungen detektiert werden. Von diesen N=68 Patienten erfüllten N=64 Patienten (1,7%) die Einschlusskriterien und wurden ausgewertet. N=4 Patienten mit Gefäßverletzungen im Zusammenhang mit Frakturen im Bereich des Schultergürtels wurden ausgeschlossen.

N=40 Patienten (1,1%) mit Gefäßverletzungen (N=36 im Kopf/Halsbereich und N=4 im Zusammenhang mit Frakturen im Bereich des Schultergürtels) wurden somit insgesamt aus der Studie ausgeschlossen.

Folglich war in rund 6,5% der Schockraumbehandlungen (N=239 Patienten) unmittelbar eine gefäßchirurgische Versorgung notwendig. (siehe Abbildung 17)



**Abbildung 17** Gesamtpatientenkollektiv: Im Zeitraum von Dezember 2005 bis Dezember 2013 wurden insgesamt 3.689 Patienten im Schockraum des Universitätsklinikums Würzburg behandelt.

### 3.2 Gefäßchirurgische Notfälle

Über den Zeitraum von Dezember 2005 bis Dezember 2013 konnten N=175 gefäßchirurgische Notfälle (4,7%) festgestellt werden, bei denen es sofortige gefäßchirurgische Behandlung erforderte. Darunter befanden sich N=67 Patienten (38%), welche Herz-Thorax-chirurgisch versorgt werden mussten. Dazu zählen beispielsweise Stanford Typ A und B Dissektionen sowie Aortenrupturen in loco typico.

Das rupturierte Aortenaneurysma war (N=46; 26%) der zweithäufigste gefäßchirurgische Notfall, gefolgt von der akuten Blutung (N=40; 23%), dem Aneurysma unterschiedlicher Genese und Lokalisation, das Aortenaneurysma ausgenommen, (N=12; 7%) und der Ischämie (N=10; 6%).

Diese gefäßchirurgischen Notfälle konnten weiter in Trauma-assoziierte Verletzungen (N=55; 31%) und nicht Trauma-assoziierte, spontan auftretende, Verletzungen (N=120; 69%) unterteilt werden.

### 3.2.1 Trauma-assoziierte Verletzungen

Trauma-assoziierte gefäßchirurgische Notfälle machten ungefähr ein Drittel aller gefäßchirurgischen Notfälle aus (N=55; 31%).

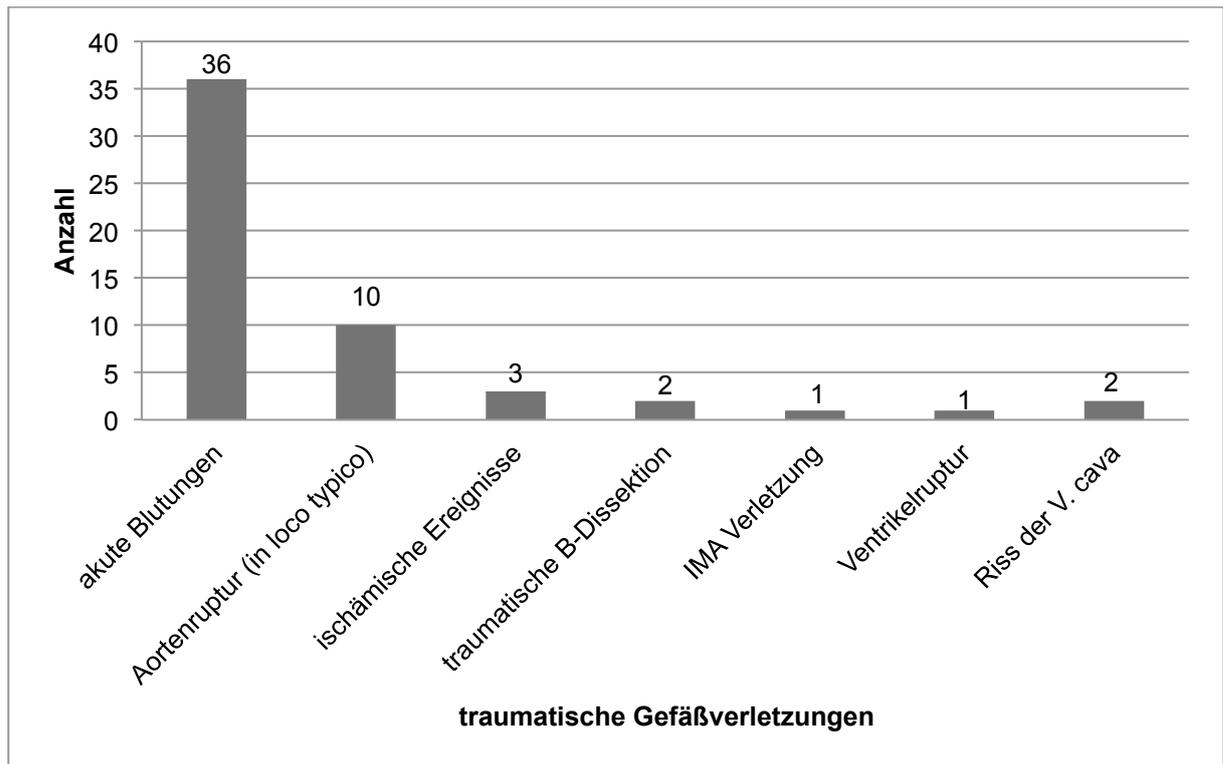
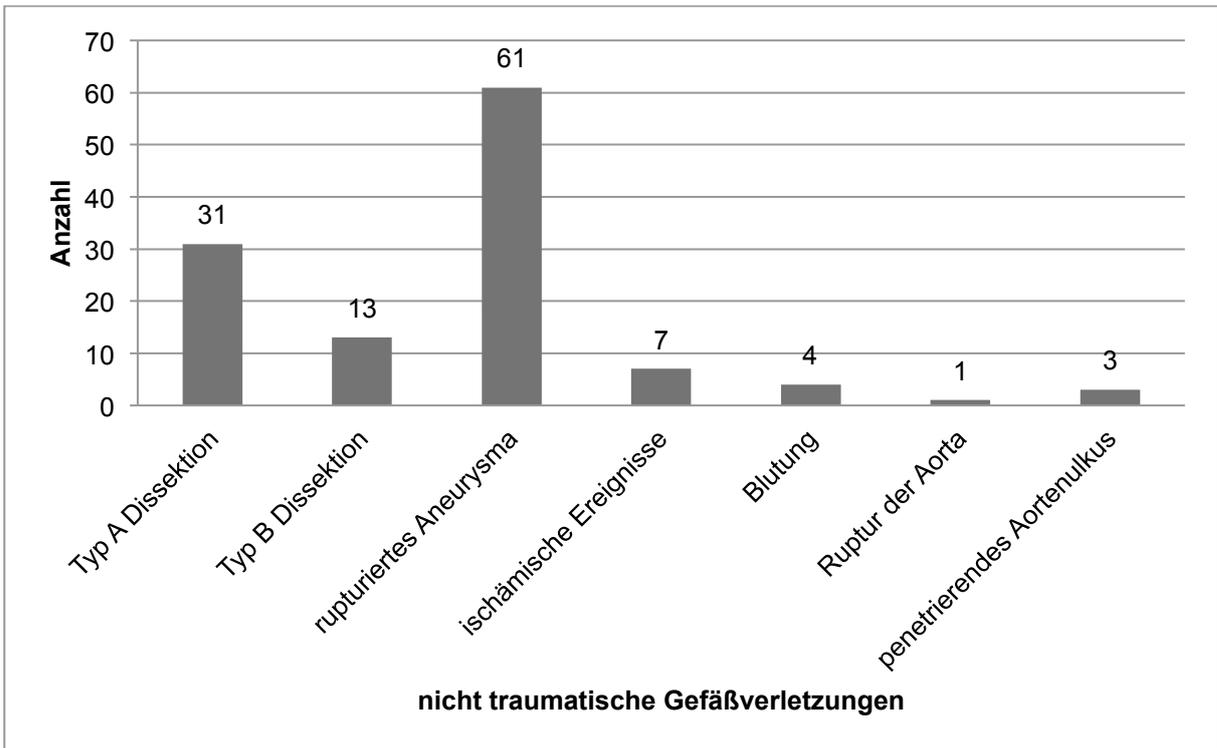


Abbildung 18 Übersicht über traumatische Gefäßverletzungen

### 3.2.2 Nicht Trauma-assoziierte Verletzungen

Nicht Trauma-assoziierte gefäßchirurgische Notfälle konnten auch als spontan auftretende gefäßchirurgische Notfälle bezeichnet werden.

Diese machten ungefähr zwei Drittel aller gefäßchirurgischen Notfälle aus (N=120; 69%).



**Abbildung 19** Übersicht über nicht Trauma-assoziierte Gefäßverletzungen

### 3.3 Fraktur-assoziierte Gefäßverletzungen

Über den Zeitraum von Dezember 2005 bis Dezember 2013 konnten N=64 Patienten (1,7%) mit Fraktur-assoziierten Gefäßverletzungen im Bereich der Extremitäten und im Beckenbereich detektiert werden.

#### 3.3.1 Geschlechterverteilung

Die Geschlechterverteilung des Patientenkollektivs zeigte einen deutlich höheren Anteil an männlichen Verletzten. Von N=64 Patienten mit Fraktur-assoziierten Gefäßverletzungen betrug der Anteil an männlichen Patienten 78% (N=50) im Vergleich zum Anteil an weiblichen Verletzten, welcher bei 22% (N=14) lag.

### 3.3.2 Altersverteilung

Das durchschnittliche Alter betrug 49 Jahre mit einer Standardabweichung von  $\pm 17,3$  Jahren. Die Altersverteilung ist der Abbildung 20 zu entnehmen, welche eine deutliche Mehrheit an Verletzten im mittleren Lebensalter, zwischen 25 und 65 Jahren, erkennen lässt.

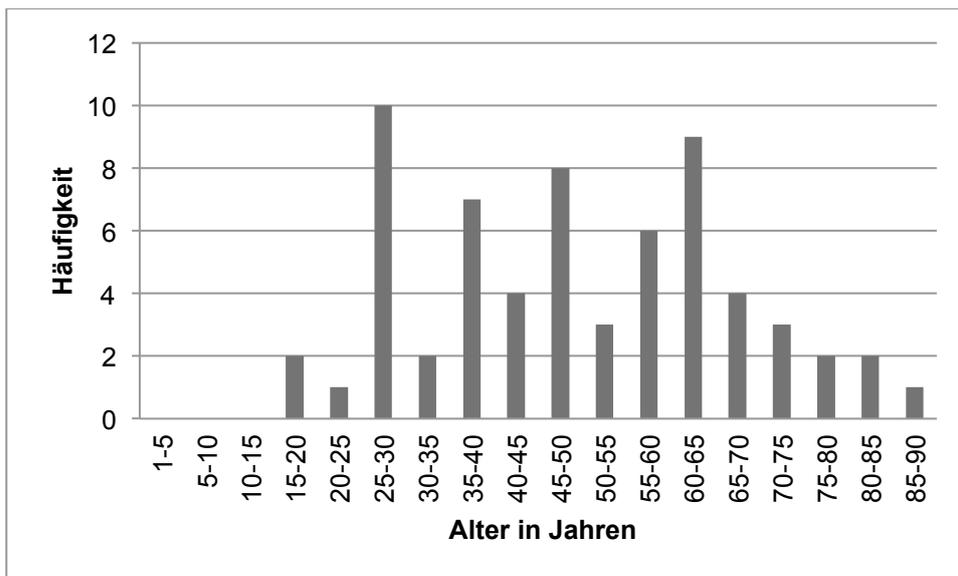


Abbildung 20 Altersverteilung

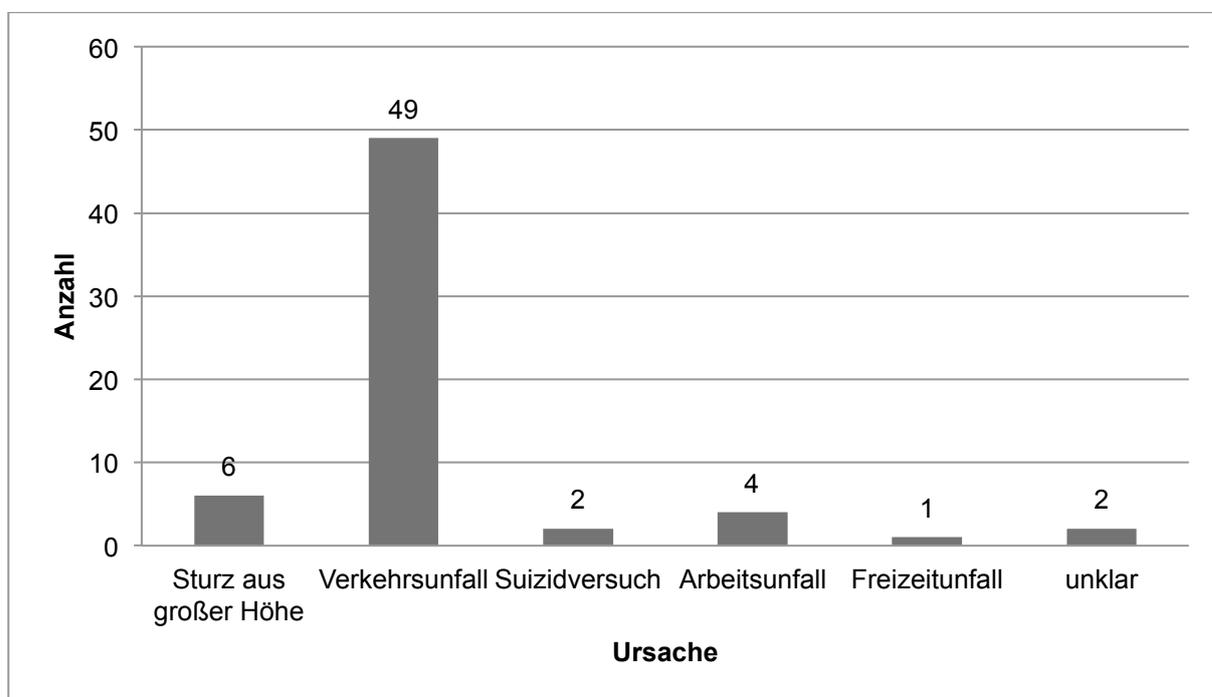
### 3.3.3 Verletzungsmuster und deren Lokalisation

#### Verletzungsmuster

Bei N=60 der Fraktur-assoziierten Gefäßverletzungen (94%) war der Gefäßschaden durch ein stumpfes, direktes Trauma verursacht. Mit 77% war der Verkehrsunfall als häufigste Verletzungsursache (N=49) festzuhalten. Weitere Verletzungsursachen sind in Abbildung 21 dargestellt.

N=4 (50%) der penetrierenden Gefäßverletzungen wurden durch äußere Gewalteinwirkung mittels Fräse oder Säge hervorgerufen. Die andere Hälfte der fraktur-assoziierten Gefäßverletzungen entstand durch innere Durchspießung bei offenen Frakturen.

Es konnte kein bestimmter Traumamechanismus mit dem Auftreten einer Fraktur-assoziierten Gefäßverletzung in Verbindung gebracht werden.

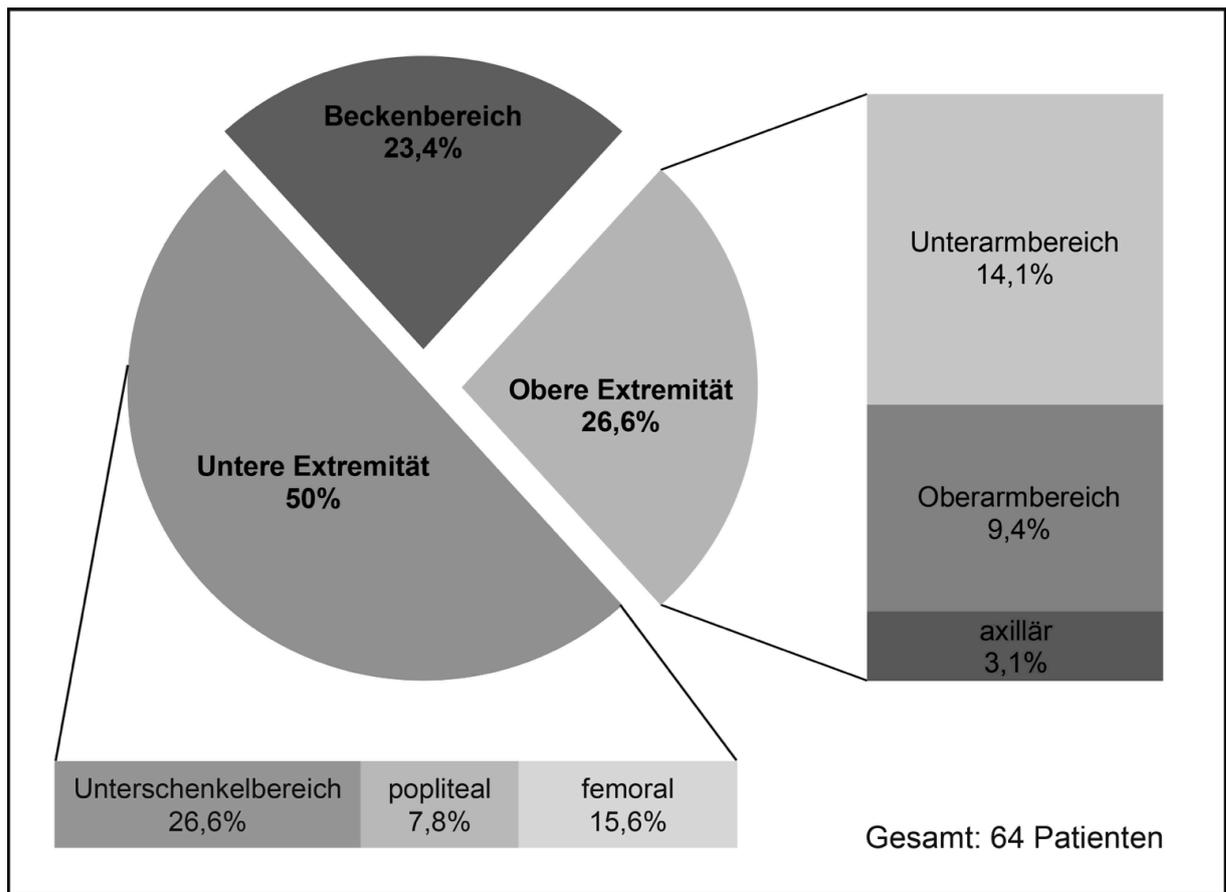


**Abbildung 21** Verletzungsursache der Fraktur-assoziierten Gefäßverletzungen

### **Lokalisation der Fraktur und zugehörigen Gefäßverletzung**

Die unteren Extremitäten und die zugehörigen Gefäße waren doppelt so oft betroffen, wie der Beckenbereich und die oberen Extremitäten. (Abbildung 22) Dennoch kam es bezogen auf die Verteilung der Frakturlokalisierung aller Patienten mit knöcherner Fraktur (N=904) zu einer vergleichbaren Inzidenz der Fraktur-assoziierten Gefäßverletzungen:

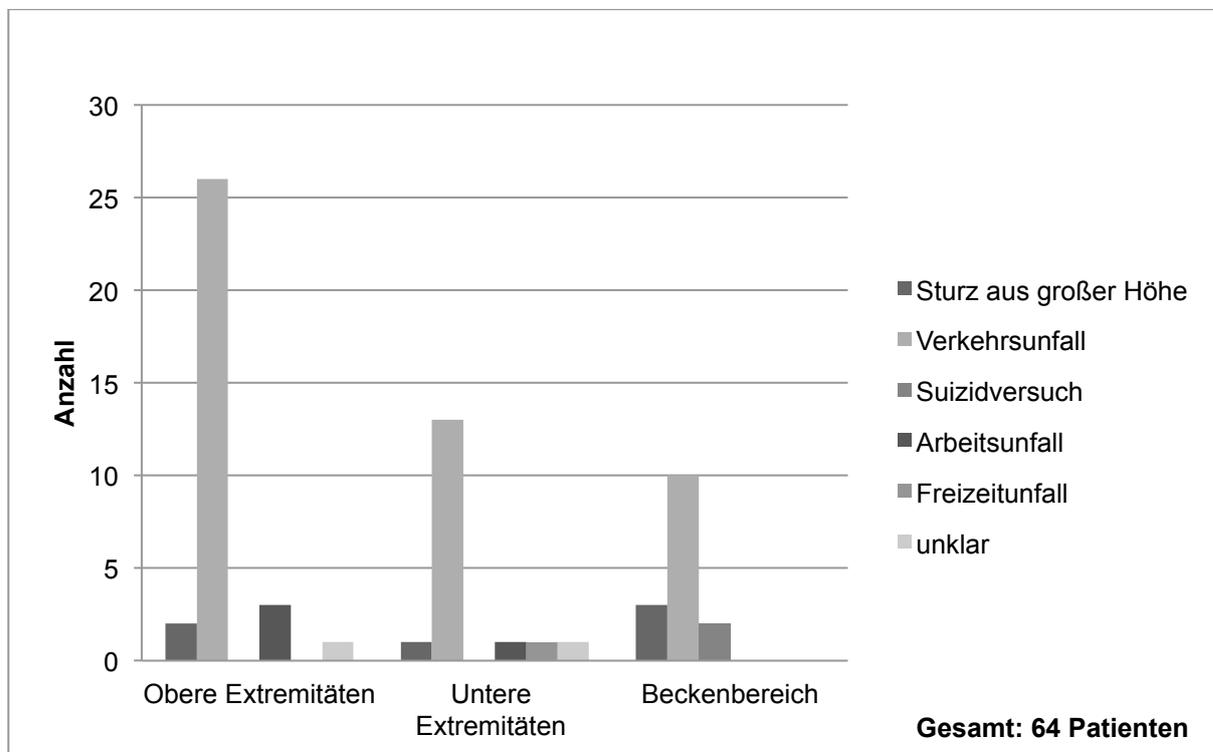
- 4,0% bei Frakturen der oberen Extremitäten
- 7,0% bei Frakturen im Beckenbereich
- 6,1% bei Frakturen der unteren Extremitäten



**Abbildung 22** Detaillierte Verletzungslokalisierung

Von den insgesamt N=64 Patienten mit Fraktur-assoziierten Gefäßschäden wurden N=32 Verletzungen der Gefäße im Bereich der unteren Extremitäten (N=17 im Unterschenkelbereich, N=5 popliteal und N=10 femoral), N=17 Verletzungen der Gefäße im Bereich der oberen Extremitäten (N=9 im Unterarmbereich, N=6 im Oberarmbereich und N=2 axillär) und N=15 Verletzungen der Gefäße im Bereich des Beckens festgestellt. Zu den Gefäßverletzungen im Beckenbereich zählen Verletzungen der Aorta, der Aa. lumbales, der Vena cava inferior, der Aa. gluteales, der Aa. obturatoriae, der Aa. iliacae und der Aa. pudendae. (Abbildung 22)

## Lokalisation der Gefäßverletzung im Zusammenhang zum Verletzungsmechanismus



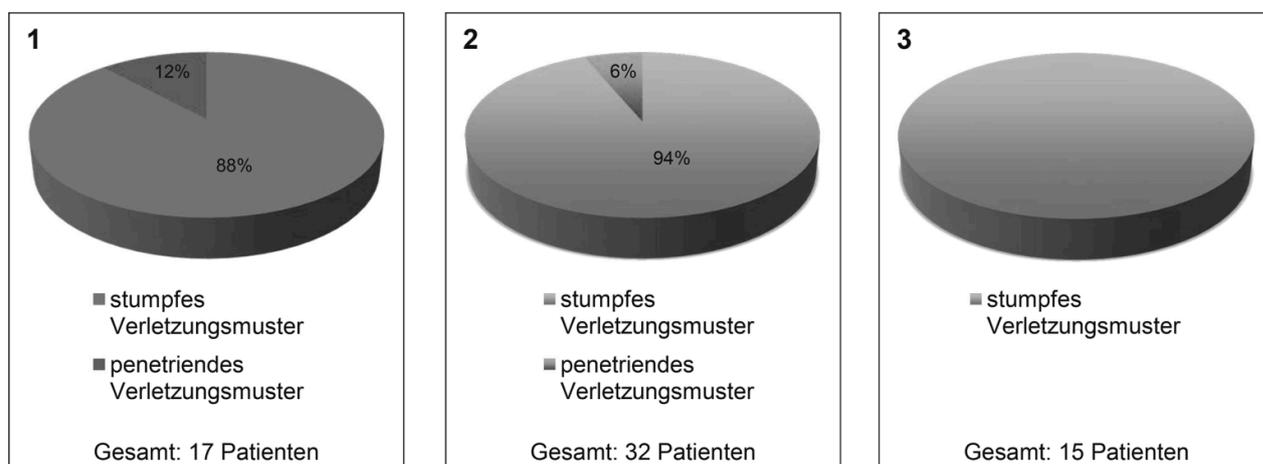
**Abbildung 23** Lokalisation der Gefäßverletzung im Zusammenhang zum Verletzungsmechanismus

Der häufigste Verletzungsmechanismus bei Gefäßverletzungen im Bereich der oberen Extremitäten war mit 76% der Verkehrsunfall (N=13). Stürze aus großer Höhe, Arbeitsunfälle, Freizeitunfälle und Verletzungen unklarer Ursache verursachten mit einer Wahrscheinlichkeit von jeweils ca. 6% eine Fraktur-assoziierte Gefäßverletzung (jeweils N=1).

Fraktur-assoziierte Gefäßverletzungen im Bereich der unteren Extremitäten waren zu 81,3 % durch Verkehrsunfälle (N=26), gefolgt von Arbeitsunfällen (N=3; 9,4%) und Stürzen aus großer Höhe (N=2; 6,3%) bedingt. Die Unfallursache bei einem Patienten (3,1%) war ungeklärt.

Gefäßverletzungen im Beckenbereich waren hauptsächlich (N=10; 67%) durch Verkehrsunfälle verursacht. Weitere Ursachen waren Stürze aus großer Höhe (N=3; 20%) und Suizidversuche (N=2; 13%). (Abbildung 23)

In Abbildung 24 wird deutlich, dass das stumpfe Verletzungsmuster, unabhängig von der Verletzungslokalisierung, überwiegt.

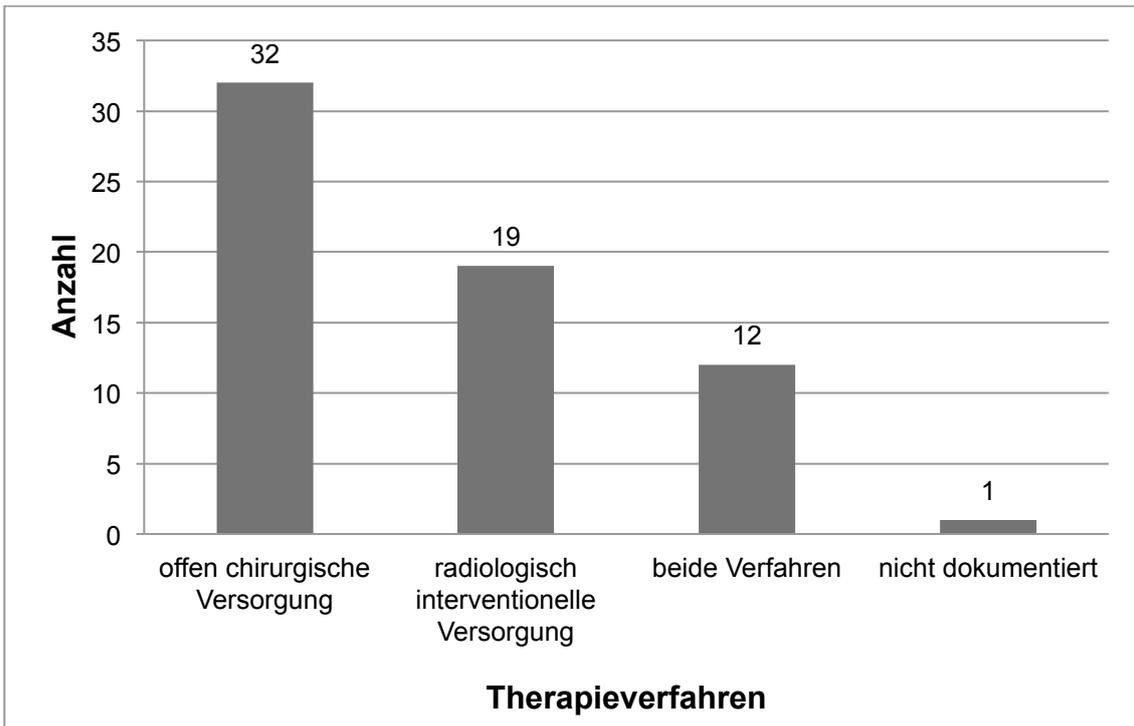


**Abbildung 24** Verletzungsmuster der N=64 Patienten mit Fraktur-assoziierten Gefäßverletzungen in Abhängigkeit von der Lokalisation:

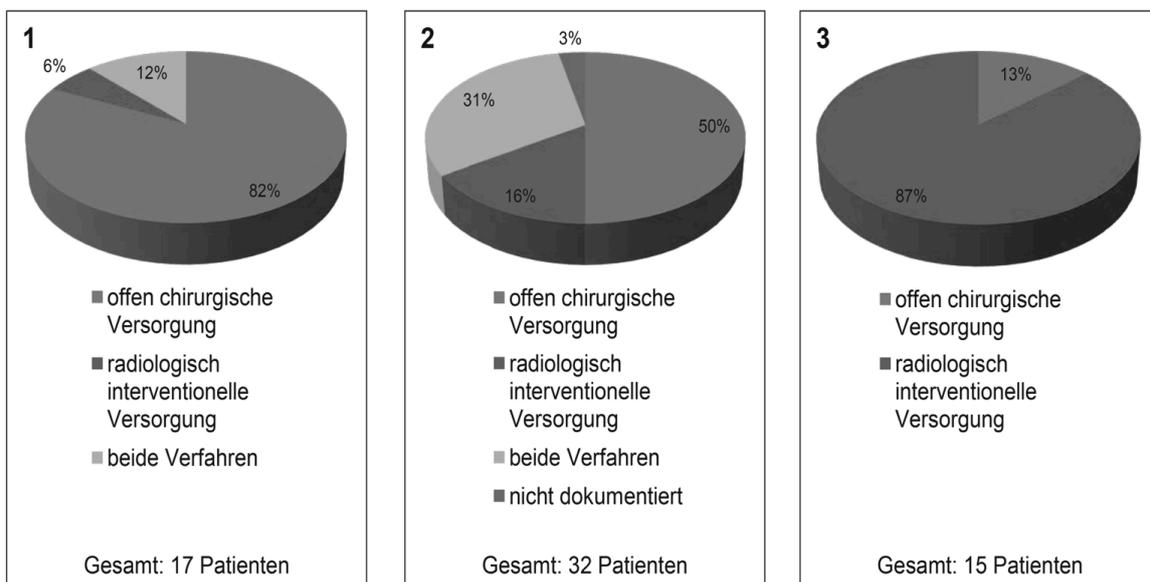
1. Obere Extremitäten
2. Untere Extremitäten
3. Beckenbereich

### 3.3.4 Therapie von Fraktur-assoziierten Gefäßverletzungen

Bei allen Patienten wurde nach Ausschluss einer zerebralen Blutung im nativen CT ein CT mit Kontrastmittel der jeweiligen Körperregion mit vermuteter Gefäßverletzung durchgeführt. Abhängig von der jeweiligen Behandlungsstrategie und bei hämodynamisch stabilem Zustand erfolgte die operative beziehungsweise interventionelle Versorgung der Gefäßverletzung. Teilweise wurde nach der operativen Versorgung eine angiographische Kontrolle mit der Möglichkeit einer Intervention durchgeführt.



**Abbildung 25** Verfahrenswahl zur Versorgung von Fraktur-assoziierten Gefäßverletzungen



**Abbildung 26** Therapieverfahren abhängig von der Lokalisation:

1. Obere Extremitäten, 2. Untere Extremitäten, 3. Beckenbereich

In der Abbildung 26 sind die Therapieverfahren der Gefäßverletzungen in Abhängigkeit zur Verletzungslokalisierung dargestellt. Gefäßverletzungen im Bereich der oberen und unteren Extremitäten werden hauptsächlich (N=30) offen chirurgisch versorgt, wohingegen Gefäßverletzungen im Beckenbereich eher eine Domäne der radiologisch interventionellen Versorgung sind.

Die offen chirurgische Versorgung im Bereich der oberen Extremitäten erfolgte bei N=7 Patienten (50%) mittels direkter Gefäßnaht, bei N=5 Patienten (36%) mittels Veneninterponat und bei N=2 Patienten (14%) mittels End-zu-End Anastomose.

Die Hälfte der Fraktur-assoziierten Gefäßschäden der unteren Extremitäten wurde offen chirurgisch durch einen Gefäßchirurgen versorgt. Das häufigste Verfahren hierbei war das Veneninterponat (N=6; 37,5%), gefolgt von der Venenpatchplastik (N=4; 25%), der direkten Gefäßnaht (n=2; 12,5%) und anderen Verfahren, wie der End-zu-End Anastomose, der Amputation, der Ligatur und der Umstechung (n=4; 25%). Fraktur-assoziierte Gefäßverletzungen im Beckenbereich werden mehrheitlich radiologisch interventionell versorgt. Das häufigste Verfahren hierbei war das Coiling (N=5; 38%). Bei N=4 Patienten (31%) kam die Cross-Over-Technik zum Einsatz. Ein geringer Anteil (n=2; 13%) wurde offen chirurgisch mittels direkter Gefäßnaht durch den Gefäßchirurgen versorgt.

### **3.3.5 Amputationen**

Zu Amputationen kam es ausschließlich bei Fraktur-assoziierten Gefäßverletzungen im Bereich der unteren Extremitäten. Es kam in einem Viertel der Fälle zu einer Amputation (N=8).

Bei den gesamten N=64 Patienten mit Fraktur-assoziierten Gefäßschäden wurde mit einer Häufigkeit von 12,5% (N=8) eine Amputation durchgeführt.

### 3.3.6 Mortalität

Es konnte eine Gesamtmortalität von 7,8% (N=5) festgestellt werden. Als mögliche Ursachen kamen craniocerebrale Verletzungen, Thoraxtraumata oder langwierige, komplizierte und/oder septische Krankheitsverläufe in Frage.

Bei Gefäßverletzungen im Beckenbereich wurde eine 24h Mortalität mit 13,3% (N=2) und Gesamtmortalität mit 20% (N=3) verzeichnet. Dies konnte jedoch nicht mit einem bestimmten Frakturtyp in Zusammenhang gebracht werden. (Abbildung 27)

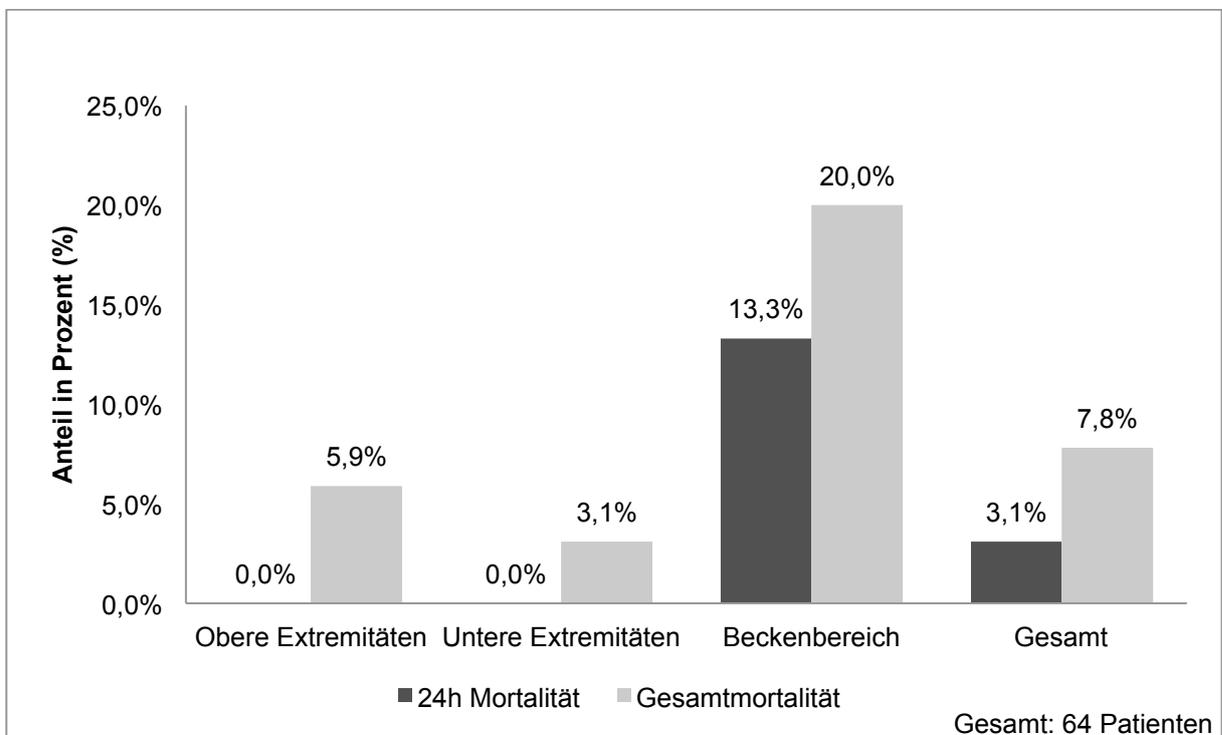
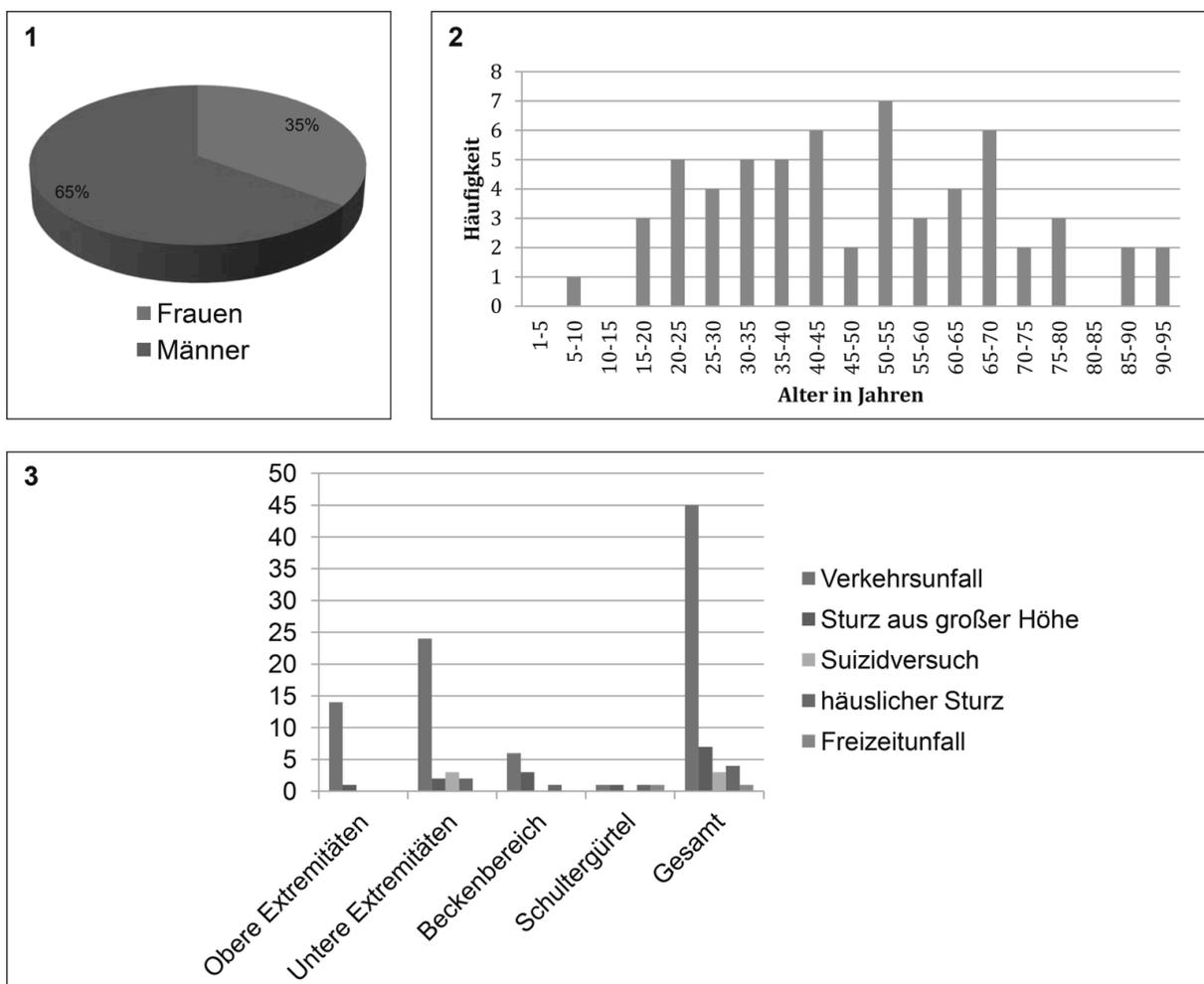


Abbildung 27 24h Mortalität und Gesamtmortalität

### 3.4 Fall-Kontroll-Analyse

Um die klinischen Implikationen der Fraktur-assoziierten Gefäßverletzungen weiter untersuchen zu können, wurde diese identifizierte Fallgruppe mit einer Kontrollgruppe, welche nur Frakturen ohne Gefäßbeteiligung aufwies, verglichen. Die Fallgruppe bestand aus den N=64 Patienten mit Fraktur-

assoziierten Gefäßschäden. Die Kontrollgruppe bestand aus N=60 Patienten mit Frakturen im Bereich der oberen und unteren Extremitäten und im Beckenbereich.



**Abbildung 28** Vorstellung der Kontrollgruppe (Gesamt: N=60 Patienten):  
1. Geschlechterverteilung, 2. Altersverteilung, 3. Verletzungsmechanismus und Lokalisation

In der Abbildung 28 sind die grundlegenden Informationen der Kontrollgruppe zusammengefasst. Alle Frakturen waren unabhängig von ihrer Lokalisation durch einen stumpfen Traumamechanismus verursacht worden (N=60). In der Tabelle 6 wurden die Basismerkmale der Fallgruppe (N=64) und der Kontrollgruppe (N=60) gegenübergestellt. Es besteht kein signifikanter Unterschied ( $p \geq 0,05$ ) zwischen den beiden Gruppen.

Multiplen Frakturen waren definiert als  $\geq 2$  Frakturen. Innerhalb der Patientengruppe mit Fraktur-assoziierten Gefäßverletzungen konnten multiple

Frakturen bei N=25 Fällen (39,1%) festgestellt werden. Multiple Frakturen waren in der Patientengruppe ohne zugehörige Gefäßbeteiligung vermehrt mit N=34 (56,7%) zu finden. Dies entsprach keinem statistisch signifikanten Unterschied.

Insgesamt ergaben sich somit keine statistisch signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Basis-Charakteristika beider Gruppen, was eine Gegenüberstellung erlaubt.

**Tabelle 6** Gegenüberstellung: Fallgruppe versus Kontrollgruppe

	<b>Frakturen + Gefäßverletzungen</b>	<b>Frakturen</b>	<b>p</b>
<b>Anzahl (n)</b>	64	60	
<b>Alter (in Jahren)</b>	49 ± 17,3	47 ± 20,6	0,72
<b>Geschlecht</b>	50m / 14w	39m / 21w	0,15
<b>Verletzungsmuster</b>	60 stumpf / 4 penetrierend	60 stumpf	0,12
<b>Häufigkeit multipler Frakturen</b>	39,1%	56,7%	0,072

### **Aussagekraft von *Trauma Score* Systemen zur Vorhersage von Gefäßverletzungen**

In Tabelle 7 wurden die einzelnen *Trauma Score* Systeme, bezogen auf die Fall- und die Kontrollgruppe gegenübergestellt. Es konnte gezeigt werden, dass sich die beiden Gruppen im Bezug auf die einzelnen *Trauma Score* Systeme nicht signifikant unterscheiden ( $p \geq 0,05$ ).

Die untersuchten *Trauma Score* Systeme, GCS (*Glasgow Coma Scale*), ISS (*Injury Severity Score*) und RISC II (*Revised Injury Severity Classification Score II*), konnten keine frühzeitigen Hinweise auf das Vorliegen einer zusätzlichen Fraktur-assoziierten Gefäßverletzung liefern.

**Tabelle 7** Prädiktion von Fraktur-assoziierten Gefäßverletzungen durch *Trauma Score* Systeme. Die mittleren Summenwerte ( $\pm$ SD) der *Trauma Scores* GCS, ISS und RISC II waren nicht geeignet Gefäßverletzungen vorherzusagen.

	<b>Frakturen + Gefäßverletzungen</b>	<b>Frakturen</b>	<b>Effektgröße</b>	<b>Effektform</b>	<b>Testform</b>	<b>p</b>
<b>GCS</b>	13.2 $\pm$ 3.3	13.3 $\pm$ 3.5	0	MD	U-Test	0,8
<b>ISS</b>	23.4 $\pm$ 13.8	22.7 $\pm$ 14.2	0	MD	U-Test	0,74
<b>RISC II</b>	81.5 $\pm$ 25.1	86.2 $\pm$ 23.1	-1,9	MD	U-Test	0,3

## Präklinisches Flüssigkeitsmanagement

Die Angaben zum präklinischen Flüssigkeitsmanagement waren bei den Fraktur-assoziierten Gefäßverletzungen in 36,7% der Fälle (N=23) dokumentiert. Bei der Gruppe mit Frakturen ohne Gefäßbeteiligung lag die Dokumentationsrate bei 49,3% (N=29). Durch die Analyse des präklinischen Flüssigkeitsmanagements konnte, unter diesen Prämissen, ein signifikant höherer Bedarf ( $p=0,03$ ) an Gesamtvolumen identifiziert werden.

**Tabelle 8** Mittlerer präklinischer Flüssigkeitsbedarf ( $\pm$  SD) innerhalb der Fall- und Kontrollgruppe

	<b>Fraktur-assoziierte Gefäßverletzungen</b>	<b>Frakturen</b>	<b>p</b>
<b>Kristalline Infusionen (ml)</b>	1000 $\pm$ 741	1000 $\pm$ 0	0,09
<b>Kolloide Infusionen (ml)</b>	500 $\pm$ 0	500 $\pm$ 0	0,64
<b>Gesamtvolumen (ml)</b>	1500 $\pm$ 1112	1000 $\pm$ 741	0,03

## Auswirkungen auf das Gerinnungssystem

Die Verfügbarkeit der dokumentierten Angaben zur initialen Blutentnahme (Gerinnungs- und Zerfallsparameter) ist in Tabelle 9 dargestellt. Die Tabelle 10 gibt einen Überblick über die Gerinnungsparameter der initialen Blutentnahme, sowie die zellulären Stress- und Zerfallsparameter und verdeutlicht die Auswirkung zusätzlicher Gefäßverletzungen auf die Blutzusammensetzung. Die Normalwerte waren definiert als: Hämoglobin 11.5 -16g/dl, Quick 70-120%, PTT

25-36s, Fibrinogen 1.6-4.0g/dl, Laktat <0.5mmol/l, Myoglobin <55yg/l und Creatinkinase (CK) <170U/l.

**Tabelle 9** Prozentuale Verfügbarkeit der ausgewerteten Laborparameter bei den Patienten mit und ohne Fraktur-assoziiertes Gefäßbeteiligung

Verfügbarkeit von Laborparametern in Prozent	Frakturen + Gefäßverletzungen	Frakturen
Haemoglobin	100%	100%
Quick (%)	96,9%	98,3%
PTT (s)	98,4%	98,3%
Fibrinogen (g/l)	85,9%	91,7%
Laktat (mmol/l)	95,3%	86,7%
Myoglobin (yg/l)	60,9%	86,7%
Creatininkinase (U/l)	100%	98,3%

**Tabelle 10** Auswirkungen auf das Gerinnungssystem der polytraumatisierten Patienten bei Blutentnahme im Schockraum. Die einzelnen Parameter sind als Mittelwert ( $\pm$ SD) dargestellt.

	Frakturen + Gefäßverletzungen	Frakturen	p
Haemoglobin (mg/dl)	9.95 $\pm$ 2.6	11.67 $\pm$ 2.6	<b>0.0004</b>
Quick (%)	59.2 $\pm$ 21.6	78 $\pm$ 19.3	<b>0.0002</b>
PTT (s)	41.9 $\pm$ 25.2	35.3 $\pm$ 20.7	<b>0.002</b>
Fibrinogen (g/l)	1.7 $\pm$ 0.9	2.2 $\pm$ 0.6	<b>0.003</b>
Laktat (mmol/l)	2.1 $\pm$ 1.2	1.8 $\pm$ 0.9	0.24
Myoglobin (yg/l)	1356 $\pm$ 1441	855 $\pm$ 856	0.24
Creatininkinase (U/l)	393 $\pm$ 316	372 $\pm$ 337	0.77

Fraktur-assoziierte Gefäßverletzungen und der damit verbundene Blutverlust in das umgebende Gewebe verschärften das initiale, klinische Erscheinungsbild deutlich. Der Hämoglobin-Wert, welcher als Surrogat-Parameter für Blutverlust gesehen werden kann, und der Quick-Wert, sowie die PTT (Partielle Thromboplastin Zeit), beides Laborparameter der plasmatischen Gerinnung,

waren signifikant verändert ( $p < 0,05$ ) und zeigten pathologische Werte in der Gruppe der Fraktur-assoziierten Gefäßschäden. Dementsprechend befanden sich die Fibrinogen-Werte im unteren Grenzbereich und waren ebenfalls signifikant verändert in der Gruppe der Fraktur-assoziierten Gefäßverletzungen. Die oben beschriebenen Auswirkungen waren signifikant verändert bei Verletzungen im Bereich der unteren Extremitäten. (siehe Tabelle 11)

Zelluläre Stress- und Zerfallparameter (Laktat, Myoglobin und Creatinkinase) waren in beiden Gruppen erheblich erhöht. Dennoch zeigte sich kein signifikanter Unterschied ( $p \geq 0,05$ ) zwischen beiden Gruppe. (Tabelle 10)

**Tabelle 11** Laborwerte und Gesamtvolumen der präklinischen Flüssigkeitsgabe bezogen auf die Verletzungslokalisation. Die einzelnen Parameter sind als Mittelwert ( $\pm$ SD) dargestellt.

<b>Hämoglobin (g/dl)</b>	<b>Frakturen plus Gefäßverletzungen</b>	<b>Frakturen</b>	<b>p</b>
gesamt	10.0 $\pm$ 2.6	11.6 $\pm$ 2.6	<b>0.0004</b>
obere Extremität	11.1 $\pm$ 2.0	11.4 $\pm$ 2.3	0.69
Beckenbereich	10.1 $\pm$ 2.9	11.1 $\pm$ 2.3	0.35
untere Extremität	9.3 $\pm$ 2.5	12.0 $\pm$ 2.9	<b>0.0002</b>
<b>Quick (%)</b>	<b>Frakturen plus Gefäßverletzungen</b>	<b>Frakturen</b>	<b>p</b>
gesamt	59.0 $\pm$ 25.2	78.0 $\pm$ 19.3	<b>0.0002</b>
obere Extremität	80.0 $\pm$ 19.3	79.0 $\pm$ 20.1	0.9
Beckenbereich	44.0 $\pm$ 15.6	65.0 $\pm$ 24.5	0.22
untere Extremität	58.0 $\pm$ 20.0	82.5 $\pm$ 14.1	<b>0.00005</b>
<b>PTT (s)</b>	<b>Frakturen plus Gefäßverletzungen</b>	<b>Frakturen</b>	<b>p</b>
gesamt	41.9 $\pm$ 21.0	35.3 $\pm$ 20.7	<b>0.002</b>
obere Extremität	30.3 $\pm$ 7.0	29.0 $\pm$ 6.0	0,42
Beckenbereich	58.7 $\pm$ 32.1	41.4 $\pm$ 18.6	0,07
untere Extremität	40.3 $\pm$ 13.7	33.0 $\pm$ 15.4	<b>0,03</b>
<b>Fibrinogen (g/l)</b>	<b>Frakturen plus Gefäßverletzungen</b>	<b>Frakturen</b>	<b>p</b>
gesamt	1.7 $\pm$ 0.9	2.2 $\pm$ 0.6	<b>0.003</b>
obere Extremität	2.3 $\pm$ 0.2	2.4 $\pm$ 0.7	0.68
Beckenbereich	1.1 $\pm$ 0.4	1.9 $\pm$ 1.0	0.07
untere Extremität	1.6 $\pm$ 0.9	2.2 $\pm$ 0.4	<b>0.02</b>
<b>Gesamtvolumen (ml)</b>	<b>Frakturen plus Gefäßverletzungen</b>	<b>Frakturen</b>	<b>p</b>
gesamt	1500 $\pm$ 1111	1000 $\pm$ 741	<b>0.03</b>
obere Extremität	1250 $\pm$ 0	1500 $\pm$ 741	0.86
Beckenbereich	1500 $\pm$ 1111	1000 $\pm$ 0	0.1
untere Extremität	2250 $\pm$ 1111	1125 $\pm$ 926	<b>0.02</b>

### **Zusammenhang von Gerinnungssystem und präklinischem Flüssigkeitsmanagement**

Es konnte ein inverser Zusammenhang zwischen dem verabreichten Flüssigkeitsvolumen bis zum Eintreffen im Schockraum und dem ersten

Hämoglobinwert, bestimmt zum Zeitpunkt der Aufnahme im Schockraum, festgestellt werden.

Die Gabe von 200 ml Flüssigkeit bewirkte einen Hämoglobin-Abfall um 1g/dl. Diese Auswirkung war in der Gruppe mit Fraktur-assoziierten Gefäßschäden etwa viermal so stark.

Der Fibrinogen-Abfall von 1g/l war mit einer Volumensubstitution von ungefähr 700ml assoziiert. Hier konnte kein statistisch signifikanter Unterschied innerhalb der beiden Gruppen festgestellt werden, dennoch zeigt die beobachtete Tendenz eine größere Auswirkung in der Gruppe mit zusätzlicher Gefäßverletzung.

**Tabelle 12** Zusammenhang des präklinischen Flüssigkeitsmanagements und den Parametern Hämoglobin und Fibrinogen

		<b>Effektgröße (ml)</b>	<b>p</b>
<b>Hämoglobin</b>	Gesamt	211.1	<b>0.0005</b>
	Frakturen + Gefäßverletzungen	316.3	<b>0.002</b>
	Frakturen	66.3	0.43
<b>Fibrinogen</b>	Gesamt	709.5	<b>0.01</b>
	Frakturen + Gefäßverletzungen	692.3	0.08
	Frakturen	330.5	0.13

### **Kurzzeit Follow-up: Krankenhausverweildauer, Intensivaufenthalt und Therapieverlauf**

Fraktur-assoziierte Gefäßschäden bedingten eine längere Krankenhausverweildauer und brachten einen längeren Aufenthalt auf der Intensivstation mit sich.

Es konnte gezeigt werden, dass sich die Fall- und Kontrollgruppe statistisch signifikant unterscheiden ( $p < 0,05$ ).

**Tabelle 13** mittlere Krankenhausverweil- und Intensivaufenthaltsdauer in Tagen ( $\pm$ SD)

(d=Tage, MD= mittlere Abweichung)

in Tagen (d)	Frakturen + Gefäßverletzungen	Frakturen	Effektgröße	Effektform	Testform	p
<b>Krankenhaus Aufenthalt</b>	36 $\pm$ 22.1	21.5 $\pm$ 13	12,5	MD	Wilcoxon Test	<b>0.00002</b>
<b>Intensiv Aufenthalt</b>	15 $\pm$ 14.8	7.2 $\pm$ 7.3	5,5	MD	Wilcoxon Test	<b>0.009</b>

Der Therapieverlauf Fraktur-assoziiertes Gefäßverletzungen war generell komplexer und zeitintensiver als der Therapieverlauf in der Kontrollgruppe (Tabelle 14).

Es lag ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen der Fall- und der Kontrollgruppe in Bezug auf die Anzahl der notwendigen Operation dahingehend vor, dass bei begleitenden Gefäßverletzungen eine höhere Anzahl an Revisionen nach der primären Blutstillung und Reposition notwendig waren. In der Gruppe mit Gefäßverletzungen waren im Mittel 6 (min.=0, max.=25) Operationen und in der Kontrollgruppe ohne Gefäßbeteiligung im Mittel 3 (min.=0, max.=9) Operationen notwendig ( $p < 0,05$ , Wilcoxon -Test).

Zudem war die Amputationsrate der unteren Extremitäten in der Gruppe mit Gefäßbeteiligung signifikant höher. Die Anzahl der Ober- und Unterschenkelamputationen war identisch (jeweils N=4). Zwei Amputationen waren traumatisch durch subtotale Amputationen oberhalb des Kniegelenks bedingt. Fünf wurden durch einen ausgeprägten Weichteilgewebeschaden bedingt und eine Amputation musste nach prolongierter Ischämie im Rahmen einer Beckenfraktur mit Verschluss der Arteria iliaca externa durchgeführt werden. Im Durchschnitt mussten die Patienten mit Amputationen 14 Mal (min.=4, max.=25) operiert werden.

Es wurden keine Amputationen im Bereich der oberen Extremitäten durchgeführt. Dennoch war das Weichteilgewebeschaden bei Gefäßverletzungen in beiden Körperregionen vergleichbar. In  $> 70\%$  der Fälle lag ein Weichteilgewebeschaden Grad III C nach Gustilo/Anderson vor.

Fasziotomien bei Kompartmentsyndrom mussten acht Mal im Bereich der unteren Extremitäten und einmal im Bereich der oberen Extremitäten

durchgeführt werden. Diese Fälle gingen nicht mit anschließend notwendigen Amputationen einher.

**Tabelle 14** Gegenüberstellung der mittleren Anzahl der Eingriffe, sowie der Amputationsrate bei Frakturen mit und ohne Gefäßbeteiligung (MD=mittlere Abweichung, OR=Odds Ratio)

	<b>Frakturen mit Gefäßverletzungen</b>	<b>Frakturen</b>	<b>Effektgröße</b>	<b>Effektform</b>	<b>Testform</b>	<b>p</b>
<b>Mittlere Eingriffsanzahl (min. – max.)</b>	6 (0-25)	2.9 (0-9)	2	MD	Wilcoxon Test	<b>0.000003</b>
<b>Amputationen des Beins</b>	N=8 (25.8 %)	-	8.32	OR	Fisher's exact	<b>0.03</b>

### Gesamtüberleben

Die Sterblichkeitsraten der Patienten mit knöchernen Frakturen (8,3%) und der Patienten mit zusätzlich assoziierten Gefäßverletzungen (7,9%) waren statistisch nicht signifikant unterschiedlich.

Als mögliche Ursachen kamen craniocerebrale Verletzungen, Thoraxtraumen oder langwierige, komplizierte und/oder septische Krankheitsverläufe in Frage.

**Tabelle 15** Gesamtüberleben (HR=Hazard Ratio)

	<b>Frakturen + Gefäßverletzungen</b>	<b>Frakturen</b>	<b>Effektgröße</b>	<b>Effektform</b>	<b>Testform</b>	<b>p</b>
<b>Überleben gesamt</b>	92,5%	91,3%	0.486	HR	Cox Regression	0.28

## 4 Diskussion

### Diskussion der Methoden

Die vorliegende Beobachtungsanalyse zu Fraktur-assoziierten Gefäßverletzungen am Universitätsklinikum Würzburg war eine kontinuierliche retrospektive Erhebung von Daten aus dem Versorgungsalltag („*real world data*“), aus einer homogenen Grundgesamtheit von Schockraumpatienten ohne primäre Selektionsmerkmale, entsprechend einer Fall-Kontroll-Studie.

Für die, in dieser Studie analysierten Patientendaten, bringt eine Fall-Kontroll-Studie besonders zwei Vorteile mit sich. Zum einen ist eine Fall-Kontroll-Studie bei selteneren Ergebnissen wesentlich effizienter als rein deskriptive Kohortenstudien, welche aufgrund der langen Untersuchungsdauer keine konstanten Untersuchungsbedingungen gewährleisten, und zum anderen erlaubt sie die kostengünstige Untersuchung mehrerer Faktoren in einer Studie.

Die Datenakquise erfolgte mit Hilfe der eindeutigen Patientenidentifikationsnummern, beziehungsweise mit Hilfe der Fallnummer aus der elektronischen Datenbank SAP des Klinikums der Universität Würzburg. Die vorliegenden Patientenidentifikationsnummern beziehungsweise Fallnummern waren, abgesehen von N=3, mit einem Schockraumfall korrelierend, sodass die Analyse nahezu aller in den Schockraum aufgenommenen Patienten möglich war.

Bei den Notarzt- und Schockraumprotokollen handelte es sich um handschriftliche, in die Datenbank eingepflegte Dokumente in unterschiedlicher Qualität und mit teilweise nicht identifizierbarer Schrift. Die Notarztprotokolle waren für N=23 Patienten mit Fraktur-assoziierten Gefäßverletzungen (36,7%) und für N=29 Patienten mit Frakturen ohne Gefäßbeteiligung verfügbar (49,3%). Infolgedessen war hier die Datenauswertung erschwert und führte gegebenenfalls zu Datenverlust.

Es wurden nur die Patienten mit schwerem Verletzungsmuster berücksichtigt, die über den Schockraum des Klinikums der Universität Würzburg

aufgenommen wurden. Patienten, die über die zentrale Notaufnahme kamen, wurden nicht in die Studie eingeschlossen. Vor diesem Hintergrund wurden potentielle Patienten mit Fraktur-assoziierten Gefäßverletzungen möglicherweise nicht erfasst und analysiert.

Ein weiterer Kritikpunkt der Methodik liegt in der Übertragung der erfassten Daten in eine elektronische Datenbank von Microsoft Excel©, da das Risiko der inkorrekten Datenübertragung durch Eingabefehler besteht. Durch mehrfache Kontrollen wurde dem entgegengewirkt.

Eine weitere mögliche Fehlerquelle liegt im Studiendesign, da bei retrospektiven Studien Daten evaluiert werden, welche bereits dokumentiert wurden, ohne die Möglichkeit, darauf Einfluss zu nehmen. Demzufolge kann es sich um eine nicht standardisierte Dokumentation handeln, welche im Umfang und der Detailgenauigkeit variiert und zum Teil unvollständige Angaben enthält. Solche Fehlerquellen und die Tatsache, dass man sich auf die Korrektheit der Angaben Dritter verlassen muss, stellen eine Schwachstelle retrospektiver Studien dar.

Außerdem kann bei einer retrospektiven Studie die Stichprobengröße und auch die Verteilung nicht beeinflusst werden, sodass innerhalb dieser Studie unterschiedlich große Untergruppen vorkommen. Im Bezug auf die statistischen Analysen ist die begrenzte Anzahl an Patienten innerhalb der einzelnen Untergruppen kritisch zu bewerten, da kleine Stichproben teilweise keinen statistisch signifikanten Effekt aufzeigen können und somit rein deskriptiv dargestellt werden.

Die durchgeführte Studie verfügt über keine Kenntnisse bezüglich der Langzeitergebnisse, da auf die Befragung der Patienten, zum Beispiel durch Telefoninterviews, verzichtet worden ist. Die Studie erlaubt somit keine Aussagen über mittel- bis langfristigen Nachbeobachtungen.

Es wurden Patienten mit Fraktur-assoziierten Gefäßverletzungen jeder Altersgruppe und Herkunft eingeschlossen und auch kein Unterschied bei der Ausprägung prognoserelevanter Faktoren, wie zum Beispiel Vorerkrankungen oder Anzahl und Schwere der Begleitverletzungen, gemacht. Folglich handelt

es sich bei dieser Studie um ein inhomogenes Patientenkollektiv. Daraus resultiert auch eine statistische Inhomogenität, welche jedoch die Komplexität der Fraktur-assoziierten Gefäßverletzungen widerspiegelt.

Besonders hervorzuheben ist die Auswahl und Vergleichbarkeit der Untersuchungspatienten und der Kontrollen. Das Klinikum der Universität Würzburg versorgt als überregionales Traumazentrum im TraumaNetzwerk DGU die gesamte Region Nordbayern. Im Traumanetzwerk Nordbayern sind mehrere zertifizierte Kliniken zusammengeschlossen, welche die Patientenversorgung der sowohl ländlichen als auch städtischen Regionen innerhalb Nordbayerns übernehmen. Es befindet keine Millionenstadt in der Region Nordbayern. [56, 108] Hierbei ist außerdem auf die geographische Nähe zu mehreren deutschen Autobahnen (A3, A6, A7 und A9) hinzuweisen. [109] Folglich kann davon ausgegangen werden, dass ein Vergleich dieses Patientenkollektivs mit anderen internationalen Studien aus Ländern mit stabilen sozioökonomischen Strukturen möglich ist.

Abschließend muss beim Vergleich aktueller Studien zu dieser Thematik berücksichtigt werden, dass das Versorgungssystem länderunterschiedlich gestaltet ist. Es können Unterschiede im Gesundheitssystem, im Rettungssystem und in der Größe des Einzugsgebietes eines Krankenhauses vorliegen.

## **Diskussion der Ergebnisse und Einordnung der Hypothesen aus der Zielsetzung**

Traumatisch bedingte Gefäßverletzungen im Bereich der Extremitäten machen im westlichen Europa nur einen geringen Prozentsatz der Verletzungen aus, weshalb epidemiologische Daten hauptsächlich aus Metaanalysen entnommen werden können. [10, 12, 13, 18, 110, 111]

In Ländern mit höherer Kriminalität, größerer Gewaltbereitschaft, teilweise gelockertem Waffengesetzen und/ oder im Kriegszustand findet man größere Fallzahlen zu diesem Verletzungstyp. [10] Außerdem existieren in Ländern, wie

beispielsweise den USA oder Skandinavien, Register zur Erfassung von Gefäßverletzungen. [12, 112]

Fraktur-assoziierte Gefäßverletzungen kommen abhängig von regionalen und sozioökonomischen Strukturen mit einer Häufigkeit von 3 bis 9% im Rahmen von Frakturen vor. [4, 113-116]

Vergleichbar mit diesen Erhebungen wurden zwischen Dezember 2005 und Dezember 2013, N=64 Patienten (1,7%) mit Fraktur-assoziierten Gefäßverletzungen im Schockraum am Klinikum der Universität Würzburg versorgt.

Die Geschlechterverteilung des Patientenkollektives zeigt mit 78% einen höheren Anteil an männlichen Patienten. Die Tendenz dieser Geschlechterverteilung stimmt mit anderen publizierten Studien überein. [7, 10, 113, 114, 116, 117]

Das Patientendurchschnittsalter lag in dieser Studie bei 49 Jahren (von 19 bis 89 Jahren), der Großteil der aktuellen Studien berichtet von einem Durchschnittsalter zwischen 25 und 45 Jahren. [7, 10, 12, 18, 113, 116, 117]

In der retrospektiven Studie von Ockert et al. [117] zeigte sich beispielsweise ein Durchschnittsalter von 39,2 Jahren (11-72 Jahre) und ein Anteil männlicher Patienten von 83,3% (n=65). Bei Ziemann et al. [10] lag das durchschnittliche Patientenalter bei 46 Jahren (1-85 Jahre) und der Anteil männlicher Patienten bei 71% (n=32).

Die Anzahl der in dieser Analyse identifizierten Fälle von N=64 Patienten (1,7%) mit Fraktur-assoziierten Gefäßverletzungen ist mit den Fallzahlen aus anderen Studien über traumatische Gefäßverletzungen vergleichbar. Ziemann et al. [10] berichtete im Jahr 2015 über Gefäßverletzungen nach Extremitätentrauma bei N=45 Patienten und im selben Jahr erschien eine Arbeit von Weigert et al. [118] zu Gefäßverletzungen im überregionalen Traumazentrum mit 82 Patienten. Darüberhinaus veröffentlichten Ockert et al. 2002 [117] eine Studie zu Gefäßverletzungen nach Extremitätentrauma mit N=78 Patienten und Hauschild et al. [115] im Jahr 2012 eine Studie mit N=152 Patienten (3,0%) mit Gefäßverletzungen im Rahmen von Beckenfrakturen.

Ein Verkehrsunfall war in ca. 75% aller hier untersuchten Fälle die führende Ursache einer Verletzung mit Gefäßbeteiligung. Penetrierende Gefäßläsionen, verursacht durch Stich- und Schussverletzungen, nahmen in dieser Untersuchung nur einen geringen, beziehungsweise keinen, Stellenwert ein (N=2; 0,05%). Innerhalb Deutschlands liegt die Ursache von Gefäßverletzungen der Extremitäten hauptsächlich in Verkehrs- und Arbeitsunfällen. Außerdem lässt sich ein stetiger Anstieg der iatrogen verursachten Gefäßverletzungen beobachten. [12, 13, 18] „Iatrogen bedingte penetrierende Verletzungen, insbesondere solche, die durch arterielle Kanülen nach Osteosynthese oder Arthroskopie entstehen, können Blutungen, Pseudoaneurysmen, arteriovenöse Fisteln, Dissektionen oder thrombotische Okklusionen verursachen.“ [119] Die Tendenz der Ursachenverteilung stimmt mit anderen Studien überein. Jedoch kann das Patientenkollektiv dieser Studie nicht zum Vergleich iatrogenen Verletzungen herangezogen werden, da diese nicht über den Schockraum aufgenommen werden und nicht in die Studie eingeschlossen sind. Das Ergebnis dieser Studie unterscheidet sich von anderen internationalen Studien mit der Stichverletzung als häufigster Verletzungsmechanismus. [13, 18, 111] Gümbel et al. [12] berichten von 70-90% Schuss-, Stich- oder Hiebverletzungen in den USA als Ursache von Gefäßverletzungen und Ekim et al. [120] berichten von 53% Stichverletzungen.

In dieser Arbeit waren die unteren Extremitäten mit 50% am häufigsten betroffen, gefolgt von den oberen Extremitäten mit 27% und dem Beckenbereich mit 23%. Eine genauere Lokalisation der Verletzungen der einzelnen Gefäße wurde innerhalb dieser Studie nicht vorgenommen. Die Häufigkeitsverteilung ähnelt der Häufigkeitsverteilung von anderen Studien. In der Studie von Ziemann et al. [10] zeigten 60% der Patienten eine Gefäßverletzung im Bereich der unteren sowie 38% im Bereich der oberen Extremität. Bei Ockert et al. [117] konnten in 46,2% der Fälle Gefäßverletzungen im Bereich der oberen Extremität und in 53,8% der Fälle Gefäßverletzungen im Bereich der unteren Extremität gefunden werden.

Brockmann et al. untersuchten 2011 in einer Studie das Unfallrisiko von SUV (*Sports Utility Vehicle*). Bei einem Verkehrsunfall mit einem PKW und einem

SUV besteht ein höheres Risiko für den PKW-Insassen getötet oder schwer verletzt zu werden. Unter angegurteten Fahrern fand man ca. 20 % der PKW-Fahrer mit Verletzungen nach AIS 3+ und ca. 5 % der SUV-Fahrer mit Verletzungen nach AIS 3+. Durch die steilere und höhere Front eines SUV haben Fußgänger eine erhöhte Verletzungsgefahr für Beine und Becken. [121] Die initialen klinischen Symptome konnten in dieser retrospektiven Studie nicht erfasst werden, da sie nicht standardisiert dokumentiert wurden. Dennoch kann festgehalten werden, dass durch den Schockraumalgorithmus des Klinikums der Universität Würzburg und insbesondere mit Hilfe der Kontrastmittelgesteuerten Computertomographie alle Patienten mit Fraktur-assoziierten Gefäßschäden direkt identifiziert und zeitnah behandelt werden konnten, sodass es keine Ischämie bedingten Amputationen gab. Bei allen Patienten mit Gefäßverletzungen wurde eine primäre operative und/oder interventionelle Versorgung innerhalb der ersten 24 Stunden durchgeführt. Trotzdem sollte, vor allem bei jungen Patienten, die hohe Strahlenbelastung bei der Entscheidung notwendiger medizinischer Diagnostik berücksichtigt werden. [122, 123]

Die Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Gefäßchirurgie weisen nachdrücklich daraufhin, dass nur in dringlichen Notfällen auf die Spiral-CT-Angiographie zurückgegriffen und die primäre Diagnostik mittels klinischer Untersuchung und gegebenenfalls ergänzender Duplexsonographie durchgeführt werden sollte. [124] Dies ist jedoch, vor allem im Beckenbereich, als kritisch und nicht mehr zeitgemäß zu werten, da gerade hier eine signifikant erhöhte Mortalität ein zeitnahes Handeln erfordert (Abbildung 27).

Die Indikation zum operativen und/oder interventionellen Therapieverfahren wurde nach der klinischen und apparativen Diagnostik im interdisziplinären Dialog gestellt. Hierbei wurden die Gefäßläsionen in der Regel nach der primären Frakturstabilisierung, jedoch vor anderen behandlungsbedürftigen Verletzungen versorgt, um eine schnelle Revaskularisation und möglichst kurze Ischämiezeit zu gewährleisten.

In diesem Patientenkollektiv erfolgte bei der Mehrzahl der Patienten eine ortho-chirurgische Versorgung, bevorzugt mittels Gefäßnaht, Venenpatchplastik oder

Veneninterponat (Abbildung 25 und 26). In vielen weiteren Studien ist das häufigste Therapieverfahren ebenfalls das Veneninterponat und die primäre Gefäßnaht. [10, 117, 125] Alloplastisches Prothesenmaterial sollte wegen des Risikos der Protheseninfektion nur in Ausnahmefällen verwendet werden. Im untersuchten Patientenkollektiv konnte nach Auswertung aller OP-Protokolle auf einen alloplastischen Gefäßersatz verzichtet werden. Dahingehend berichtete Ziemann et al. [10] bei N=3 Fällen (7%) von der Verwendung alloplastischen Prothesenmaterials zur Gefäßversorgung.

Über die letzten Jahrzehnte konnten die chirurgischen und technischen Möglichkeiten weiterentwickelt und optimiert werden, sowie durch minimal-invasive Techniken ergänzt werden, sodass durch die unterschiedlichsten Verfahren eine individuelle Gefäßversorgung möglich ist. Es konnte eine statistisch signifikante Verbesserung im Bezug auf die Überlebensraten und den Erhalt von Gliedmaßen erzielt werden. Hierbei spielen auch das Verwenden von sterilem Verbandsmaterial, die Optimierung des Patiententransportes und die Verwendung von Antibiotika eine entscheidende Rolle. [7, 10, 126, 127] Besonders interventionelle Verfahren haben sich in den letzten Jahren weiterentwickelt. Sie zählen zum Standard in der Behandlung von Gefäßverletzungen, wie zum Beispiel die Embolisation bei Blutungen im Beckenbereich oder der Implantation eines Stentgrafts bei aortalen Aneurysmen oder Transsektionen. [18, 115, 128, 129] Bei der Versorgung von offenen Frakturen mit möglicher Kontamination und massivem Gewebsverlust ist autologes Prothesenmaterial klar zu bevorzugen. [11-13, 130, 131]

Die Auswahl der N=60 Patienten für die Kontrollgruppe erfolgte randomisiert aus der Grundgesamtheit, den N=3689 Schockraumpatienten. Auswahlkriterium war das Vorhandensein einer Fraktur im Bereich der Extremitäten, beziehungsweise des Beckens. Lediglich die Anzahl der auszuwählenden Patienten war festgelegt.

Bei der Kontrollgruppe handelte es sich, wie bei der Patientengruppe mit Fraktur-assoziierten Gefäßverletzungen (Fallgruppe), um ein inhomogenes

Patientenkollektiv. Die Datengewinnung erfolgte nach den gleichen Prinzipien, wie bei der Patientengruppe mit Fraktur-assoziierten Gefäßverletzungen.

Beide Gruppen zeigten keinen statistisch relevanten Unterschied in den Grundcharakteristika und der Verfügbarkeit der jeweiligen Daten (Tabelle 6).

Bei der Gegenüberstellung der unterschiedlichen *Trauma Score* Systeme, GCS, ISS und RISC II, konnte gezeigt werden, dass kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Patientengruppen bestand.

In den untersuchten *Trauma Score* Systemen spiegelten sich zusätzliche Gefäßverletzungen nicht durch höhere Punktwerte wider. Somit lieferten die einzelnen *Trauma Scores* im hier analysierten Kollektiv keinen direkten oder indirekten Hinweis auf das Vorliegen einer Gefäßverletzung.

Diese Hypothese sollte durch weitere Studien mit größeren Stichproben bestärkt werden, um gegebenenfalls auch statistisch signifikante Ergebnisse bezüglich eines bestimmten *Trauma Scores* zu erhalten. Gegebenenfalls sollte auch an der Entwicklung eines, auf die Detektion von Gefäßverletzungen spezialisierten, *Trauma Score* gearbeitet werden. Der Studienlage nach, wird das Ausmaß und die Schwere von Gefäßverletzung in den aktuellen, spezifischen *Trauma Score* Systemen nicht ausreichend dargestellt und die Mortalität durch Gefäßverletzungen unterschätzt. Basierend auf der Literaturrecherche existiert aktuell kein, für Gefäßverletzungen spezifischer, *Trauma Score*. [132-134]

Erstmals konnte in dieser Studie die Auswirkung zusätzlicher Gefäßverletzungen beim polytraumatisierten Patienten auf die, beim Eintreffen im Schockraum abgenommenen, Laborparameter gezeigt werden. Niedrige Hämoglobin-Werte und ein derangiertes Gerinnungssystem (Quick-Wert erniedrigt; PTT verlängert) waren außerdem mit einem erhöhten präklinischen Flüssigkeitsbedarf assoziiert. Dieses Flüssigkeitsmanagement war notwendig, um einen sicheren Patiententransport in den Schockraum des Klinikums der Universität Würzburg zu gewährleisten. Dementsprechend muss hier auch ein Verdünnungseffekt mit berücksichtigt werden.

Die Angaben zum präklinischen Flüssigkeitsmanagement wurden den Notarzt- und Schockraumprotokollen entnommen und standen in 36,7% der Fälle für die Patienten mit Fraktur-assoziierten Gefäßverletzungen und in 49,3% der Fälle für die Patienten mit Frakturen zur Verfügung. Vor diesem Hintergrund konnten mögliche Auswirkungen einer zusätzlichen Gefäßbeteiligung auf das präklinische Gerinnungsmanagement nicht ausreichend beurteilt werden und die getätigte Aussage ist kritisch zu betrachten.

Dennoch sollte man bei initial niedrigen Hämoglobin-Werten und verhältnismäßig großem präklinischen Flüssigkeitsbedarf an eine Gefäßbeteiligung denken und diese auch ausführlich abklären. Ein Hämoglobin-Abfall von 1g/dl kann durch 200ml Flüssigkeit bedingt werden. Dieser Effekt ist bei zusätzlichen Gefäßverletzungen etwa viermal so stark ausgeprägt. Die Zusammenschau von initialem Hämoglobin-Wert in Beziehung zum Flüssigkeitsbedarf ist höchst suggestiv für eine Gefäßverletzung. Bei vergleichbaren Hämoglobin-Werten erhöht ein vermehrter Flüssigkeitsbedarf die Wahrscheinlichkeit für eine Gefäßverletzung.

Außerdem sollten bei nachgewiesenen Gefäßverletzungen frühzeitige Bluttransfusionen und die Gabe von Fibrinogen- und PPSB-Präparaten erfolgen, um das *Outcome* der Patienten zu verbessern. Die traumainduzierte Koagulopathie (TIK) gilt als eine schwere Komorbidität und geht mit einer erhöhten Mortalität einher. Im Einzelfall kann auch die Gabe einzelner Gerinnungsfaktoren erwogen werden. [6, 41-43, 135]

Diese Hypothesen sollten durch weitere Studien mit größeren Stichproben bestärkt werden. Hierbei sollte insbesondere auf eine verbesserte Dokumentation des präklinischen Flüssigkeitsmanagements Wert gelegt werden, um die gemachten Hypothesen zu unterstützen. Des Weiteren wäre eine detaillierte Darstellung des Gerinnungsmanagement bei zusätzlicher Gefäßverletzung wünschenswert. Zusätzlich muss der initiale Blutdruck und Katecholaminbedarf berücksichtigt werden.

Bei der Gegenüberstellung der beiden Patientengruppen bezüglich des Therapie- und Krankheitsverlaufs konnte gezeigt werden, dass zusätzliche

Gefäßverletzungen den Zustand der Patienten verschärfen und einen langwierigeren und komplizierteren Krankheitsverlauf mit sich bringen. Zusätzliche Gefäßverletzungen gehen mit längeren Krankenhausverweildauern, längeren Liegezeiten auf der Intensivstation und einer größeren Anzahl an Folgeoperationen einher.

Diese Hypothese sollte durch weitere Studien mit größeren Stichproben belegt werden. Gegebenenfalls kann auch im Rahmen einer prospektiven Studie der Therapie- und Krankheitsverlauf bei zusätzlicher Gefäßbeteiligung mit Hilfe standardisierter Dokumentation analysiert werden.

Innerhalb des Patientenkollektivs kam es ausschließlich bei Fraktur-assoziierten Gefäßverletzungen der unteren Extremitäten (N=8; 25%) zu Amputationen. Bezogen auf die N=64 Patienten mit Fraktur-assoziierten Gefäßschäden entspricht das einer Häufigkeit von 12,5%. Zwei Amputationen waren traumatisch durch subtotale Amputationen oberhalb des Kniegelenks bedingt. Fünf wurden durch einen ausgeprägten Weichteilschaden bedingt und eine Amputation musste nach zu langer Ischämie im Rahmen einer Beckenfraktur mit Verschluss der Arteria iliaca externa durchgeführt werden. Im Durchschnitt mussten die Patienten mit Amputationen 14 Mal operiert werden. Fasziotomien bei Kompartmentsyndrom mussten acht Mal im Bereich der unteren Extremitäten und einmal im Bereich der oberen Extremitäten durchgeführt werden. Diese Fälle gingen nicht mit anschließend notwendigen Amputationen einher.

Innerhalb der Kontrollgruppe mussten keine Amputationen durchgeführt werden.

Die Amputationsrate dieser retrospektiven Studie ist mit den Ergebnissen anderer Studien vergleichbar. Ziemann et al. [10] geben eine Amputationsrate von 4,4% (N=2) bei ihrem Patientengut von N=45 Patienten und eine Häufigkeit der notwendigen Kompartmentspaltung von 44% (N=20). In der Studie von Weigert et al.[118] zu Gefäßverletzungen im überregionalen Traumazentrum ist eine Amputationsrate von 15% (9 von 59) dokumentiert. Als Hauptursache wird

hier der einhergehenden Weichteilschaden, mit zum Teil massiver Kontamination und nachfolgender Infektion, angegeben.

Dennoch gibt es auch andere Studien, die eine Amputationsrate von bis zu 33% und höher bei Patienten mit Mehrfachverletzungen, penetrierendem Trauma, verlängerter Ischämiezeit und Koagulopathie beschreiben. [136]

Im Allgemeinen geht man in Deutschland von geringeren Amputationsraten aus, da hierzulande großer Wert auf eine schnelle Versorgung gelegt wird und kurze Zeitintervalle zwischen Transport, Klinikaufnahme und operativer Versorgung liegen sollen. Diese Zeitintervalle konnten für dieses Patientenkollektiv nicht ermittelt werden. Das Traumaregister der DGU dokumentierte in den Jahren 2004 bis 2013 ein durchschnittliches Zeitintervall von 84 Minuten. [94]

In dieser Studie zeigte sich ein Gesamtüberleben innerhalb beider Patientengruppen von größer als 90%. Es bestand kein statistisch signifikanter Unterschied ( $p=0,12$ ) bei der Sterblichkeitsrate der Patienten mit knöchernen Frakturen (8,3%) und denen mit zusätzlich assoziierten Gefäßverletzungen (7,9%).

Als mögliche Ursachen kamen Schädel-Hirn-Traumata, Thoraxtraumata oder langwierige, komplizierte und/oder septische Krankheitsverläufe in Frage.

Die Mortalität dieser Studie ist vergleichbar mit der Mortalität anderer Studien. [10, 118, 137] Weigert et al. [118] geben beispielsweise eine Sterblichkeitsrate von 10,9% an.

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Fraktur-assoziierte Gefäßverletzungen sind seltene, aber potentiell lebensbedrohliche Unfallfolgen. In Deutschland zählt der Verkehrsunfall zu der häufigsten Verletzungsursache. Durch komplexe Verletzungsmuster stellen die Fraktur-assoziierten Gefäßverletzungen eine gefäßchirurgische Notfallsituation dar und erfordern hohe Expertise seitens des behandelnden, multidisziplinären Schockraumteams.

Die vorgelegte retrospektive Studie untersuchte anhand von Patientendaten des Schockraums des Universitätsklinikums Würzburg, das Management von Patienten mit Fraktur-assoziierten Gefäßverletzungen im Extremitäten- und Beckenbereich. Insbesondere wurden Aussagen über Diagnostik, Therapie und *Outcome* gewonnen.

Es wurden Daten von N=64 Patienten mit Fraktur-assoziierten Gefäßverletzungen im Bereich der Extremitäten und des Beckens in einem Zeitraum von 8 Jahren, von Dezember 2005 bis Dezember 2013, ausgewertet. Diese Daten wurden mit Patientendaten von N=60 Patienten mit Frakturen im Bereich der Extremitäten und des Beckens ohne Gefäßbeteiligung verglichen.

Überwiegend waren Männern im mittleren Erwachsenenalter mit durchschnittlich 49 Jahren betroffen. Der häufigste Verletzungsmechanismus war mit 77% der Verkehrsunfall, gefolgt vom Sturz aus großer Höhe mit 9%. Gefäßläsionen lagen in 50% der Fälle im Bereich der unteren Extremitäten (N=17 im Unterschenkelbereich, N=10 femoral und N=5 popliteal), in 27% der Fälle im Bereich der oberen Extremitäten (N=9 im Unterarmbereich, N=6 im Oberarmbereich und N=2 axillär) und in 23% der Fälle im Beckenbereich vor.

Die klinische Untersuchung erfolgte nach den ATLS - Prinzipien und es wurde bei allen N=64 Patienten mit Fraktur-assoziierten Gefäßverletzungen eine CT-Untersuchung mit Kontrastmittel durchgeführt. Die Indikation zur radiologisch interventionellen und/oder offen-chirurgischen Behandlung wurde multidisziplinär gestellt. Im Beckenbereich (87%) wurden radiologisch interventionelle Verfahren zur Blutungskontrolle bevorzugt eingesetzt, dahingegen wurden Gefäßverletzungen im Bereich der unteren (50%) und oberen (82%) Extremitäten meist offen-chirurgisch versorgt. Zum Teil kamen

beide Verfahren zum Einsatz (untere Extremitäten: 31%; obere Extremitäten: 12%). Amputationen wurden ausschließlich bei Fraktur-assoziierten Gefäßverletzungen im Bereich der unteren Extremitäten durchgeführt (N=8; 12,5%).

Zusätzliche Gefäßverletzungen bedeuteten allgemein einen längeren und komplizierteren Krankheitsverlauf mit längeren Krankenhausverweildauern, längeren Liegezeiten auf der Intensivstation und einer höheren Rate an notwendigen Revisionen. Dennoch zeigte sich innerhalb beider Patientengruppen ein Gesamtüberleben von größer als 90%.

Das Auftreten von Fraktur-assoziierten Gefäßverletzungen im Bereich der Extremitäten und besonders im Beckenbereich hat einerseits eine Auswirkung auf den Patientenzustand, als auch andererseits einen Einfluss auf die Behandlungsstrategie der Ärzte.

Eine schnelle Diagnose, eine frühzeitige Behandlung und unterstützende Maßnahmen sind entscheidend für das *Outcome* der Patienten. Patienten mit traumatischen Frakturen benötigen vor dem Hintergrund einer potentiellen Gefäßverletzung eine ausführliche klinische Untersuchung. Billing et al. [18] und Kleber et al. [7] wiesen darauf hin, dass überhaupt eine Gefäßverletzung in Erwägung zu ziehen der wichtigste Erfolgsparameter zur Diagnosestellung sei. Ein Rückschluss auf eine zusätzliche Gefäßverletzung kann bereits aus dem Unfallmechanismus gezogen werden. Bei penetrierendem Unfallmechanismus, Verkehrsunfällen, besonders dem Hochrasanztrauma, und bei Gelenkluxationen sollte stets an die potentielle Gefäßläsion gedacht werden. Zusätzliche Hinweise können große Blutverluste, bis hin zum hypovolämischen Schock, sensible und motorische Defizite als auch Unterschiede in der Hautdurchblutung sein. [7, 12, 18]

Gefäßverletzungen unterscheiden sich stark von anderen Verletzungen des Körpers. Ein stumpfes Trauma im Bereich der unteren Extremität kann beispielsweise einerseits zu einer scharfen Verletzung der Arterie durch ein Knochenfragment als auch andererseits zu einem stumpfen Gefäßtrauma durch Überdehnung führen. [59, 60] Die Gefäßverletzung zeigt sich dann entweder

als Blutung oder als Ischämie, ein Phänomen, welches am besten für suprakondyläre Humerusfrakturen als auch Knie Traumata untersucht ist. [138, 139]

In dieser retrospektiven Analyse konnte gezeigt werden, dass die unterschiedlichsten *Trauma Score* Systeme (GCS; ISS; RISC I) keine Hinweise auf das zusätzliche Vorliegen einer Gefäßverletzung liefern. Die Entwicklung eines *Trauma Score* Systems zur Detektion von Gefäßverletzungen ist aufgrund der Komplexität und Variabilität von Gefäßverletzungen kompliziert.

Des Weiteren konnten erstmals die klinischen Auswirkungen einer zusätzlichen Gefäßverletzung auf das präklinische Flüssigkeitsmanagement und das Gerinnungssystem gezeigt werden. So könnten ein präklinisch erhöhter Flüssigkeitsbedarf und veränderte Gerinnungsparameter im Eingangslabor erste Hinweise auf eine zusätzliche Gefäßverletzung geben. Frühzeitige Bluttransfusionen sollten erwogen werden.

Es konnte in dieser Studie kein spezieller Verletzungsmechanismus für das Auftreten von Gefäßverletzungen definiert werden.

In der Tat muss mit einer Gefäßverletzung unabhängig von der Frakturlokalisierung, dem Verletzungsausmaß und dem protokollierten *Trauma Score* gerechnet werden. Beim geringsten Verdacht auf eine Gefäßverletzung sollte der Gefäßchirurg/ die Gefäßchirurgin als Experte innerhalb der Schockraumversorgung hinzugezogen werden.

## 6 Literaturverzeichnis

1. Murray, C.J. and A.D. Lopez, *Mortality by cause for eight regions of the world: Global Burden of Disease Study*. Lancet, 1997. **349**(9061): p. 1269-76.
2. Krug, E.G., G.K. Sharma, and R. Lozano, *The global burden of injuries*. Am J Public Health, 2000. **90**(4): p. 523-6.
3. Bischoff, G. and K.H. Orend, *Traumatische Gefäßverletzungen*. Gefässchirurgie, 2015. **20**(3): p. 225-242.
4. Trauma Register, D.G.U., *Jahresbericht 2016, Sektion Intensiv-Notfallmedizin, Schwerverletztenversorgung (NIS) der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU) und Akademie der Unfallchirurgie GmbH (AUC)*. 2016.
5. Krueger, A., et al., *Schockraummanagement*. Der Chirurg, 2013. **84**(5): p. 437-450.
6. Hußmann, B., C. Waydhas, and S. Lendemans, *Schockraummanagement beim Schwer- und Schwereverletzten*. Medizinische Klinik - Intensivmedizin und Notfallmedizin, 2012. **107**(3): p. 217-229.
7. Kleber, C., et al., *Akute Gefäßverletzungen bei Traumapatienten*. Gefässchirurgie, 2017. **22**(4): p. 250-260.
8. Kleber, C., et al., *Trauma-related preventable deaths in Berlin 2010: need to change prehospital management strategies and trauma management education*. World J Surg, 2013. **37**(5): p. 1154-61.
9. Kleber, C., et al., *Requirement for a structured algorithm in cardiac arrest following major trauma: epidemiology, management errors, and preventability of traumatic deaths in Berlin*. Resuscitation, 2014. **85**(3): p. 405-10.
10. Ziemann, C., et al., *Traumatische Gefäßverletzungen*. Gefässchirurgie, 2015. **20**(5): p. 358-364.

11. Weidenhagen, R. and R. Kopp, *Periphere traumatische Gefäßverletzungen*, in *Chirurgie Basisweiterbildung: In 100 Schritten durch den Common Trunk*, K.-W. Jauch, et al., Editors. 2013, Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Heidelberg. p. 471-478.
12. Gümbel, D., et al., *Diagnostik und Management peripherer Gefäßverletzungen*. *Der Unfallchirurg*, 2014. **117**(5): p. 445-460.
13. Ruppert, V., et al., *Gefäßverletzungen an den Extremitäten*. *Der Chirurg*, 2004. **75**(12): p. 1229-1240.
14. Mavrogenis, A.F., et al., *Vascular Injury in Orthopedic Trauma*. *Orthopedics*, 2016. **39**(4): p. 249-59.
15. Gabel, G., et al., *[Arterial injuries combined with open fractures--management and therapy]*. *Zentralbl Chir*, 2009. **134**(4): p. 292-7.
16. Heberer, G., et al., *Vascular injuries in polytrauma*. *World J Surg*, 1983. **7**(1): p. 68-79.
17. Markgraf, E., et al., *[Traumatic peripheral vascular injuries]*. *Unfallchirurg*, 1998. **101**(7): p. 508-19.
18. Billing, A., et al., *Gefäßverletzungen*. *Trauma und Berufskrankheit*, 2009. **11**(2): p. 64-73.
19. Mattox, K.L., et al., *Five thousand seven hundred sixty cardiovascular injuries in 4459 patients. Epidemiologic evolution 1958 to 1987*. *Ann Surg*, 1989. **209**(6): p. 698-705; discussion 706-7.
20. Ludwig Malte, R.J., Ruppert Volker, *Gefäßmedizin in Klinik und Praxis: Leitlinienorientierte Angiologie, Gefäßchirurgie und interventionelle Radiologie*. 2 ed. 2010: Georg Thieme Verlag.
21. Gisswold, M.E., et al., *Iatrogenic arterial injury is an increasingly important cause of arterial trauma*. *Am J Surg*, 2004. **187**(5): p. 590-2; discussion 592-3.

22. Ina Kopp, W.M.I., Wilfried Lorenz, *8. Rundbrief: Die zentrale Rolle von Outcome in Leitlinien und Disease-Management Programmen*. AWMF online, 2003.
23. Frink, M., et al., *Polytrauma und Schockraummanagement*. Dtsch Arztebl International, 2017. **114**(29-30): p. 497-503.
24. Hilbert, P., et al., *Der Schockraum – Diagnostik-, Therapie- und Managementzentrale*. Notfall + Rettungsmedizin, 2006. **9**(6): p. 547-552.
25. Schneppendahl, J., et al., *Verlegungsrealität schwerverletzter Patienten in Deutschland*. Der Unfallchirurg, 2012. **115**(8): p. 717-724.
26. Ruchholtz, S., et al., *TraumaNetzwerk DGU® und TraumaRegister DGU®*. Der Chirurg, 2013. **84**(9): p. 730-738.
27. Frink, M., et al., *Das Projekt TraumaNetzwerk DGU®*. Der Unfallchirurg, 2013. **116**(1): p. 61-73.
28. Unfallchirurgie, D.G.f.r., *S3-Leitlinie Polytrauma / Schwerverletzten-Behandlung*. AWMF Register-Nr. 012/019, 2017.
29. Norbert Harrasser, R.d.v.E.-R., Peter Biberthaler, *Facharztwissen Orthopädie Unfallchirurgie*. 2016.
30. Ziegenfuß, T., *PolytraumaPräklinische Erstversorgung und Schocktraumamanagement*. Der Anaesthesist, 1998. **47**(5): p. 415-431.
31. Krestan, C.R. and C. Herold, *Polytrauma*. Der Radiologe, 2014. **54**(9): p. 859-860.
32. *PolytraumaLeitlinie für die Unfallchirurgische Diagnostik und Therapie*. Der Unfallchirurg, 2001. **104**(9): p. 902-912.
33. Wutzler, S., et al., *Pathophysiologie des Polytraumas*. Der Chirurg, 2013. **84**(9): p. 753-758.

34. Tscherne, H., et al., *[Degree of severity and priorities in multiple injuries]*. Chirur, 1987. **58**(10): p. 631-40.
35. Schweiberer, L., et al., *[Polytrauma--treatment by the staged diagnostic and therapeutic plan]*. Unfallchirurg, 1987. **90**(12): p. 529-38.
36. Bouillon, B., et al., *Schockraummanagement Polytrauma*. Der Chirurg, 2013. **84**(9): p. 745-752.
37. Ruchholtz, S., C.A. Kühne, and H. Siebert, *Das Traumanetzwerk der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie*. Der Unfallchirurg, 2007. **110**(4): p. 373-380.
38. Mand, C., et al., *TraumaNetzwerk DGU®*. Trauma und Berufskrankheit, 2012. **14**(3): p. 257-262.
39. Münzberg, M., et al., *Sechs Jahre Advanced Trauma Life Support (ATLS) in Deutschland*. Der Unfallchirurg, 2010. **113**(7): p. 561-567.
40. Lendemans, S., S. Ruchholtz, and S. German Society of Trauma, *[S3 guideline on treatment of polytrauma/severe injuries. Trauma room care]*. Unfallchirurg, 2012. **115**(1): p. 14-21.
41. Lier, H., H. Krep, and H. Schöch, *Gerinnungsmanagement bei der Polytraumaversorgung*. Der Anaesthesist, 2009. **58**(10): p. 1010.
42. Hilbert, P., et al., *Gerinnungsmanagement beim kreislaufinstabilen Polytraumapatienten*. Der Anaesthesist, 2012. **61**(8): p. 703-710.
43. Hilbert, P., et al., *Schockraumhämoglobin*. Der Unfallchirurg, 2015. **118**(7): p. 601-606.
44. Lendemans, S., et al., *[Clinical course and prognostic significance of immunological and functional parameters after severe trauma]*. Unfallchirurg, 2004. **107**(3): p. 203-10.

45. Spahn, D.R., et al., *Management of bleeding and coagulopathy following major trauma: an updated European guideline*. Crit Care, 2013. **17**(2): p. R76.
46. Hess, J.R., et al., *The coagulopathy of trauma: a review of mechanisms*. J Trauma, 2008. **65**(4): p. 748-54.
47. Wada, H., T. Matsumoto, and Y. Yamashita, *Diagnosis and treatment of disseminated intravascular coagulation (DIC) according to four DIC guidelines*. Journal of Intensive Care, 2014. **2**(1): p. 15.
48. *Disseminated Intravascular Coagulation (DIC)*, in *Encyclopedia of Immunotoxicology*, H.-W. Vohr, Editor. 2016, Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Heidelberg. p. 279-279.
49. *Disseminierte intravasale Koagulopathie (DIC): Diagnose- und Therapiealgorithmus*, in *Kompendium der klinischen Transfusionsmedizin: Sichere Anwendung von Blutkomponenten*. 2010, Springer Vienna: Vienna. p. 77-77.
50. Yucel, N., et al., *Trauma Associated Severe Hemorrhage (TASH)-Score: probability of mass transfusion as surrogate for life threatening hemorrhage after multiple trauma*. J Trauma, 2006. **60**(6): p. 1228-36; discussion 1236-7.
51. Maegele, M., et al., *Early coagulopathy in multiple injury: an analysis from the German Trauma Registry on 8724 patients*. Injury, 2007. **38**(3): p. 298-304.
52. Maegele, M., et al., *Revalidation and update of the TASH-Score: a scoring system to predict the probability for massive transfusion as a surrogate for life-threatening haemorrhage after severe injury*. Vox Sang, 2011. **100**(2): p. 231-8.
53. Lam, S.W., et al., *Evaluation of hematological parameters on admission for the prediction of 7-day in-hospital mortality in a large trauma cohort*. Clin Chem Lab Med, 2011. **49**(3): p. 493-9.

54. Hussmann, B., et al., [*Lethality and outcome in multiple injured patients after severe abdominal and pelvic trauma. Influence of preclinical volume replacement - an analysis of 604 patients from the trauma registry of the DGU*]. Unfallchirurg, 2011. **114**(8): p. 705-12.
55. Hussmann, B., et al., *Influence of prehospital volume replacement on outcome in polytraumatized children*. Crit Care, 2012. **16**(5): p. R201.
56. o.V. *Polytrauma- Sprechstunde*. 2016 20.07.2017]; Available from: <http://www.chirurgie2.ukw.de/sprechstunden/polytrauma-sprechstunde.html>.
57. Delvos, U. and G. Müller-Berghaus, *Die Bedeutung des Endothels der Gefäßwand für die Aufrechterhaltung der Hämostase*. Klinische Wochenschrift, 1985. **63**(24): p. 1237-1246.
58. Aumüller, G., et al., *1.5 Feinbau und Funktion der Blutgefäße*, in *Anatomie*. 2014, Georg Thieme Verlag: Stuttgart.
59. Vollmar, J. and F. Linder, [*the Current Status of Treatment of Arterial Injuries and Their Sequelae*]. Chirurg, 1965. **36**: p. 55-63.
60. Larcan, A. and G. Fieve, [*Louis Sencert, vascular surgeon (1878-1924)*]. J Mal Vasc, 1986. **11 Suppl B**: p. 68-74.
61. Larena-Avellaneda, A., et al., *Iatrogene Verletzungen an den Zugangsgefäßen für intravaskuläre Prozeduren*. Gefässchirurgie, 2017. **22**(4): p. 261-270.
62. Horn, M., et al., *Behandlung des persistierenden Aneurysma spurium aus gefäßchirurgischer Perspektive*. Gefässchirurgie, 2012. **17**(5): p. 366-373.
63. Häring Rudolf, Z.H., *Lehrbuch Chirurgie: mit Repititorium*. 1986: Walter de Gruyter.

64. Bruch, L., et al., *Endovaskuläre Therapie der stumpfen traumatischen thorakalen Aortentranssektion*. Trauma und Berufskrankheit, 2008. **10**(3): p. 178.
65. Hainer, C., et al., *Stumpfe traumatische Aortenverletzung*. Der Anaesthesist, 2008. **57**(3): p. 262-268.
66. Gabriele A. Krombach, A.H.M., *Radiologische Diagnostik Abdomen und Thorax: Bildinterpretation unter Berücksichtigung anatom. Landmarken u. klin. Symptome*. 2015: Georg Thieme Verlag.
67. Ziegenfuß, T., *Traumatologische Notfälle*, in *Notfallmedizin*. 2017, Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Heidelberg. p. 419-460.
68. Mühling, B., *Stumpfes und penetrierendes Thoraxtrauma*. Der Chirurg, 2017.
69. Parmley, L.F., et al., *Nonpenetrating traumatic injury of the aorta*. Circulation, 1958. **17**(6): p. 1086-101.
70. Forcillo, J., et al., *Outcomes of Traumatic Aortic Injury in a Primary Open Surgical Approach Paradigm*. Trauma Mon, 2015. **20**(2): p. e18198.
71. Boutrous, M.L., et al., *Blunt Thoracic Aortic Trauma*, in *Surgical Management of Aortic Pathology: Current Fundamentals for the Clinical Management of Aortic Disease*, O.H. Stanger, J.R. Pepper, and L.G. Svensson, Editors. 2019, Springer Vienna: Vienna. p. 1039-1048.
72. Niedermeier, H.P., *Gefäßverletzungen an den Extremitäten*. Gefässchirurgie, 2002. **7**(4): p. 229-232.
73. Frank, M., et al., *Proper estimation of blood loss on scene of trauma: tool or tale?* J Trauma, 2010. **69**(5): p. 1191-5.
74. Pratt, G.H. and E. Krahl, *Surgical therapy for the occluded artery*. Am J Surg, 1954. **87**(5): p. 722-9.

75. Grechenig, W., et al., *Sonographie beim Traumapatienten im Schockraum — prinzipielle Überlegungen zur Untersuchungstechnik*. European Surgery, 2002. **34**(2): p. 48.
76. Debus. and Gross-Fengels, *Operative und interventionelle Gefäßmedizin*. 2012: Springer Verlag
77. Horng, A., M. Reiser, and D.-A. Clevert, *Aktuelle Entwicklungen in der vaskulären Sonographie*. Der Radiologe, 2009. **49**(11): p. 998.
78. Diehm, C., et al., *Stellenwert des Knöchel-Arm-Index (ABI) in der Prävention kardiovaskulärer Erkrankungen*. Herz Kardiovaskuläre Erkrankungen, 2007. **32**(5): p. 404-409.
79. Ernstberger, A., et al., *Computertomographie bei Polytrauma*. Trauma und Berufskrankheit, 2017. **19**(1): p. 57-63.
80. Huber-Wagner, S., *[Impact on outcome of whole-body computed tomography during resuscitation of major trauma patients]*. Zentralbl Chir, 2012. **137**(3): p. 270-3.
81. Vogelsang, H.E., et al., *Polytrauma*. Trauma und Berufskrankheit, 2010. **12**(2): p. 176-182.
82. Foster, B.R., S.W. Anderson, and J.A. Soto, *CT angiography of extremity trauma*. Tech Vasc Interv Radiol, 2006. **9**(4): p. 156-66.
83. Reiser M, K.F., Debus J, *Duale Reihe Radiologie*. Vol. 3. . 2011: Thieme.
84. Fleig, V., et al., *[Scoring systems in intensive care medicine : principles, models, application and limits]*. Anaesthesist, 2011. **60**(10): p. 963-74.
85. Lackner, C.K., et al., *Anwenderperformanz und-variabilität der Glasgow-Koma-Skala*. Notfall & Rettungsmedizin, 2002. **5**(3): p. 173-185.
86. Teasdale, G. and B. Jennett, *Assessment of coma and impaired consciousness. A practical scale*. Lancet, 1974. **2**(7872): p. 81-4.

87. Bein, T. and K. Taeger, *[Score systems in emergency medicine]*. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther*, 1993. **28**(4): p. 222-7.
88. Chawda, M.N., et al., *Predicting outcome after multiple trauma: which scoring system?* *Injury*, 2004. **35**(4): p. 347-58.
89. Haasper, C., et al., *[The Abbreviated Injury Scale (AIS). Options and problems in application]*. *Unfallchirurg*, 2010. **113**(5): p. 366-72.
90. Linn, S., *The injury severity score--importance and uses*. *Ann Epidemiol*, 1995. **5**(6): p. 440-6.
91. Baker, S.P., et al., *The injury severity score: a method for describing patients with multiple injuries and evaluating emergency care*. *J Trauma*, 1974. **14**(3): p. 187-96.
92. Stevenson, M., et al., *An overview of the injury severity score and the new injury severity score*. *Inj Prev*, 2001. **7**(1): p. 10-3.
93. Lefering, R., et al., *Update of the trauma risk adjustment model of the TraumaRegister DGU: the Revised Injury Severity Classification, version II*. *Crit Care*, 2014. **18**(5): p. 476.
94. TraumaRegister, D.G.U., *Jahresbericht 2014, Sektion Intensiv-Notfallmedizin, Schwerverletztenversorgung (NIS) der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU) und Akademie der Unfallchirurgie GmbH (AUC)*. 2014.
95. Smith, R.M. and A.K. Conn, *Prehospital care - scoop and run or stay and play?* *Injury*, 2009. **40 Suppl 4**: p. S23-6.
96. Kleber, C., T. Lindner, and H.J. Bail, *Erstversorgung von Frakturen und Luxationen*. *Notfall + Rettungsmedizin*, 2009. **12**(7): p. 551-560.
97. Franz, R.W., et al., *A 5-year review of management of lower extremity arterial injuries at an urban level I trauma center*. (1097-6809 (Electronic)).

98. Armstrong, T.A., et al., *Observation of the radiative decay  $J/\psi \rightarrow e^+e^- \gamma$* . Phys Rev D Part Fields, 1996. **54**(11): p. 7067-7070.
99. Bishara, R.A., et al., *Improved results in the treatment of civilian vascular injuries associated with fractures and dislocations*. J Vasc Surg, 1986. **3**(5): p. 707-11.
100. Coleman, J.J., et al., *Arterial Injuries Associated with Blunt Fractures in the Lower Extremity*. Am Surg, 2016. **82**(9): p. 820-4.
101. Fox, N., et al., *Evaluation and management of penetrating lower extremity arterial trauma: an Eastern Association for the Surgery of Trauma practice management guideline*. J Trauma Acute Care Surg, 2012. **73**(5 Suppl 4): p. S315-20.
102. Fochtmann, A., et al., *Third degree open fractures and traumatic sub-/total amputations of the upper extremity: Outcome and relevance of the Mangled Extremity Severity Score*. Orthop Traumatol Surg Res, 2016. **102**(6): p. 785-90.
103. Wurmb, T., et al., *Schockraumaufnahme schwerverletzter oder kritisch kranker Patienten*. Der Unfallchirurg, 2014. **117**(3): p. 242-248.
104. Wurmb, T., et al., *Der Würzburger Schockraumalgorithmus*. Der Anaesthesist, 2005. **54**(8): p. 763-772.
105. Zwiener, I., M. Blettner, and G. Hommel, *Überlebenszeitanalyse*. Deutsches Ärzteblatt International, 2011. **108**(10): p. 163-9.
106. 28.09.2017]; Available from: <https://www.medistat.de/glossar/prinzip-statistischer-hypothesentests/effekt/>.
107. Linda, R. *Effektgröße, Effektstärke und Effektmaß*. 28.09.2017]; Available from: <http://lindaregber.com/effekt-berechnen-interpretieren/>.

108. o.V. *Das moderne Gesundheitszentrum ZOM/ZIM*. 2014 [20.07.2017]; Available from: <http://www.ukw.de/aktuelles/zom-zim.html>.
109. o.V. *Übersichtskarte Deutschland - Autobahnen in Deutschland 2012* [03.09.2017]; Available from: [https://www.bkg.bund.de/SharedDocs/Downloads/BKG/DE/Downloads-Karten/Downloads-Wussten-Sie-Schon/Deutschland-Autobahn-2012.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.bkg.bund.de/SharedDocs/Downloads/BKG/DE/Downloads-Karten/Downloads-Wussten-Sie-Schon/Deutschland-Autobahn-2012.pdf?__blob=publicationFile&v=1).
110. Perkins, Z.B., et al., *Meta-analysis of prognostic factors for amputation following surgical repair of lower extremity vascular trauma*. *Br J Surg*, 2015. **102**(5): p. 436-50.
111. Fingerhut, A., et al., *The European experience with vascular injuries*. *Surg Clin North Am*, 2002. **82**(1): p. 175-88.
112. DuBose, J.J., et al., *The American Association for the Surgery of Trauma PROspective Observational Vascular Injury Treatment (PROOVIT) registry: multicenter data on modern vascular injury diagnosis, management, and outcomes*. *J Trauma Acute Care Surg*, 2015. **78**(2): p. 215-22; discussion 222-3.
113. Rozycki, G.S., et al., *Blunt vascular trauma in the extremity: diagnosis, management, and outcome*. *J Trauma*, 2003. **55**(5): p. 814-24.
114. Poyhonen, R., et al., *Non-iatrogenic civilian vascular trauma in a well-defined geographical region in Finland*. *Eur J Trauma Emerg Surg*, 2015. **41**(5): p. 545-9.
115. Hauschild, O., et al., *Angioembolization for pelvic hemorrhage control: results from the German pelvic injury register*. *J Trauma Acute Care Surg*, 2012. **73**(3): p. 679-84.
116. Galyfos, G., et al., *Iatrogenic and non-iatrogenic arterial injuries in an urban level I trauma center in Greece*. *Int Angiol*, 2016. **35**(5): p. 526-30.

117. Ockert, S., et al., [*Vascular injuries after extremity trauma*]. Zentralbl Chir, 2002. **127**(8): p. 689-93.
118. Weigert, N., et al., *Gefäßverletzungen im überregionalen Traumazentrum*. Trauma und Berufskrankheit, 2015. **17**(3): p. 189-198.
119. Knapsis, A.S., Hubert; Wagenhäuser, Markus, *Traumatische Gefäßverletzungen*. Allgemein- und Viszeralchirurgie up2date, 2019: p. 207 - 222.
120. Ekim, H. and M. Tuncer, *Management of traumatic brachial artery injuries: a report on 49 patients*. Ann Saudi Med, 2009. **29**(2): p. 105-9.
121. Brockmann, S., *Sport Utility Vehicles (SUV) im Unfallgeschehen*. Unfallforschung der Versicherer (UDV), 2011.
122. Seamon, M.J., et al., *A prospective validation of a current practice: the detection of extremity vascular injury with CT angiography*. J Trauma, 2009. **67**(2): p. 238-43; discussion 243-4.
123. Linder, F., et al., *Routine whole body CT of high energy trauma patients leads to excessive radiation exposure*. Scand J Trauma Resusc Emerg Med, 2016. **24**: p. 7.
124. Gefäßverletzungen, D.G.f.r.G.ß.u.G.ß., *Leitlinie zu Diagnostik und Therapie in der Gefäßchirurgie*. . 2014: Springer Berlin Heidelberg.
125. Cakir, O., et al., *Treatment of vascular injuries associated with limb fractures*. Ann R Coll Surg Engl, 2005. **87**(5): p. 348-52.
126. De, B.M. and F.A. Simeone, *Battle injuries of the arteries in World War II; an analysis of 2,471 cases*. Ann Surg, 1946. **123**: p. 534-79.
127. Barr, J., K.J. Cherry, and N.M. Rich, *Vascular Surgery in World War II: The Shift to Repairing Arteries*. Ann Surg, 2016. **263**(3): p. 615-20.

128. Serra, R., et al., *Endovascular repair for acute traumatic transection of the descending thoracic aorta: experience of a single centre with a 12-years follow up*. J Cardiothorac Surg, 2015. **10**: p. 171.
129. Lustenberger, T., et al., *The role of angio-embolization in the acute treatment concept of severe pelvic ring injuries*. Injury, 2015. **46 Suppl 4**: p. S33-8.
130. Scott, A.R., et al., *Endovascular management of traumatic peripheral arterial injuries*. J Surg Res, 2015. **199**(2): p. 557-63.
131. Scalea, T.M., et al., *Western Trauma Association critical decisions in trauma: management of the mangled extremity*. J Trauma Acute Care Surg, 2012. **72**(1): p. 86-93.
132. Lech, L., et al., *[Relevance of Vascular Trauma in Trauma Care - Impact on Clinical Course and Mortality]*. Zentralbl Chir, 2016. **141**(5): p. 526-532.
133. Sousa, A.N., et al., *[Trauma scores in the management of polytrauma patients: which one and what for?]*. Acta Med Port, 2011. **24**(6): p. 943-50.
134. Loh, S.A., et al., *Existing trauma and critical care scoring systems underestimate mortality among vascular trauma patients*. Journal of Vascular Surgery, 2011. **53**(2): p. 359-366.
135. Ramsey, M.T., et al., *A prospective study of platelet function in trauma patients*. J Trauma Acute Care Surg, 2016. **80**(5): p. 726-32; discussion 732-3.
136. Fox, C.J., et al., *Popliteal artery repair in massively transfused military trauma casualties: a pursuit to save life and limb*. J Trauma, 2010. **69 Suppl 1**: p. S123-34.
137. Franz, R.W., et al., *A 5-year review of management of lower extremity arterial injuries at an urban level I trauma center*. J Vasc Surg, 2011. **53**(6): p. 1604-10.

138. Wegmann, H., et al., *The impact of arterial vessel injuries associated with pediatric supracondylar humeral fractures*. J Trauma Acute Care Surg, 2014. **77**(2): p. 381-5.

139. Parker, S., et al., *Knee dislocation and vascular injury: 4 year experience at a UK Major Trauma Centre and vascular hub*. Injury, 2016. **47**(3): p. 752-6.

## 7 Anhang

### 7.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Veränderungen des Sauerstoffbedarfs und Sauerstoffverbrauchs durch ein Polytrauma und die folgenden Therapiemaßnahmen.....	12
Abbildung 2 ATLS® ( <i>advanced trauma life support</i> )-Konzept.....	15
Abbildung 3 Einflussgrößen einer traumainduzierten Koagulopathie (TIC).....	17
Abbildung 4 Gerinnungsmanagement anhand einer <i>standard operating procedure</i> . .....	19
Abbildung 5 Klassifikation der Gefäßverletzungen .....	20
Abbildung 6 Schweregrad und Symptomatik der scharfen Arterienverletzung .....	22
Abbildung 7 Schweregrad und Symptomatik der stumpfen Arterienverletzung .....	24
Abbildung 8 stumpfe Gefäßverletzung der A. und V. axillaris rechts im Rahmen einer subkapitalen Humerusluxationsfraktur .....	25
Abbildung 9 Einteilung der traumatischen Aortenverletzung nach der Vancouver Klassifikation.....	28
Abbildung 10 CT Thorax/Abdomen mit Kontrastmittel: Aortendissektion .....	34
Abbildung 11 Behandlungsalgorithmus vaskulärer Notfälle .....	43
Abbildung 12 Technik der operativen Versorgung kleinlumiger peripherer Arterien .....	47
Abbildung 13 links: 3c° offene distale intraartikuläre Humerustrümmerfraktur rechts mit traumatischer stumpfer Verletzung der A. brachialis auf Höhe des distalen Humerusschaftfragments III° nach Vollmar rechts: endgütige Versorgung mittels 1. Gefäßrekonstruktion mit Interponat und Patchplastik (V. saphena magna mit Entnahme Bein links) und 2. Interne Fixation des distalen Humerus mit DHP System.....	48
Abbildung 14 Coilembolisation der A. glutea superior, inferior und obturatoria .....	49
Abbildung 15 Zustand nach Oberschenkelamputation .....	53
Abbildung 16 Anzahl und Lokalisation der Frakturen. ....	64

Abbildung 17 Gesamtpatientenkollektiv.....	65
Abbildung 18 Übersicht über traumatische Gefäßverletzungen .....	66
Abbildung 19 Übersicht über nicht Trauma-assoziierte Gefäßverletzungen .....	67
Abbildung 20 Altersverteilung .....	68
Abbildung 21 Verletzungsursache der Fraktur-assoziierten Gefäßverletzungen .....	69
Abbildung 22 Detaillierte Verletzungslokalisierung .....	70
Abbildung 23 Lokalisation der Gefäßverletzung im Zusammenhang zum Verletzungsmechanismus .....	71
Abbildung 24 Verletzungsmuster der N=64 Patienten mit Fraktur-assoziierten Gefäßverletzungen in Abhängigkeit von der Lokalisation .....	72
Abbildung 25 Verfahrenswahl zur Versorgung von Fraktur-assoziierten Gefäßverletzungen .....	73
Abbildung 26 Therapieverfahren abhängig von der Lokalisation .....	73
Abbildung 27 24h Mortalität und Gesamtmortalität.....	75
Abbildung 28 Vorstellung der Kontrollgruppe .....	76

## 7.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Mitglieder des Schockraumbasisteam	7
Tabelle 2 Mitglieder des erweiterten Schockraumteams	8
Tabelle 3 Die <i>Glasgow Coma Scale</i> in der Fassung von 1977 nach Jennett u. Teasdale	36
Tabelle 4 Körperregionen der AIS – Klassifikation	37
Tabelle 5 Schweregradeinteilung der <i>Abbreviated Injury Scale</i> (AIS)	38
Tabelle 6 Gegenüberstellung: Fallgruppe versus Kontrollgruppe	77
Tabelle 7 Prädiktion von Fraktur-assoziierten Gefäßverletzungen durch <i>Trauma Score</i> Systeme	78
Tabelle 8 Mittlerer präklinischer Flüssigkeitsbedarf ( $\pm$ SD) innerhalb der Fall- und Kontrollgruppe	78
Tabelle 9 Prozentuale Verfügbarkeit der ausgewerteten Laborparameter bei den Patienten mit und ohne Fraktur-assoziiertes Gefäßbeteiligung	79
Tabelle 10 Auswirkungen auf das Gerinnungssystem der polytraumatisierten Patienten bei Blutentnahme im Schockraum	79
Tabelle 11 Laborwerte und Gesamtvolumen der präklinischen Flüssigkeitsgabe bezogen auf die Verletzungslokalisation	81
Tabelle 12 Zusammenhang des präklinischen Flüssigkeitsmanagements und den Parametern Hämoglobin und Fibrinogen	82
Tabelle 13 mittlere Krankenhausverweil- und Intensivaufenthaltsdauer in Tagen	83
Tabelle 14 Gegenüberstellung der mittleren Anzahl der Eingriffe, sowie der Amputationsrate bei Frakturen mit und ohne Gefäßbeteiligung	84
Tabelle 15 Gesamtüberleben	84

### 7.3 Abkürzungsverzeichnis

A	Autobahn
A.	Arteria
Aa.	Arteriae
AAAM	Association of Advancement of Automotive Medicine
ABI	Ankle Brachial Index
AIS	Abbreviated Injury Scale
ASA	American Society of Anesthesiologists
ATLS	Advanced Trauma Life Support
bzw.	beziehungsweise
CK	Creatinkinase
cm	Zentimeter
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
CT	Computertomographie bzw. Computertomograph
CTA	computertomographische Angiographie
d	Tag/-e
DGU	Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie
DHP	distale Humerusplatte
DIC	Disseminierte intravasale Koagulopathie
DSA	Digitale Subtraktionsangiographie
EK	Erythrozytenkonzentrat
ePTFE	expandierter Polytetrafluoroethylen
et al.	et alii
FA	Facharzt bzw. Fachärztin
FAST	Focused Abdominal Sonogram for Trauma
FFP	Fresh frozen plasma
FV IIa	Faktor IIa
g	Gramm
g/dl	Gramm pro Deziliter
g/l	Gramm pro Liter
GCS	Glasgow Coma Scale

ggf.	gegebenenfalls
h	Stunde/-n
Hb	Hämoglobin
HR	Hazard Ratio
I.E.	Injektionseinheiten
IMA	Arteria thoracica interna
INR	International Normalized Ratio
ISS	Injury Severity Score
kg	Kilogramm
km/h	Kilometer pro Stunde
LTZ	lokale Traumazentren
m	Meter
m <sup>2</sup>	Quadratmeter
MD	mittlere Abweichung
mg	Milligramm
ml	Milliliter
ml/kg KG/min	Milliliter pro Kilogramm Körpergewicht pro Minute
ml/min	Milliliter pro Minute
mmHg	Millimeter Quecksilbersäule
mmol/l	Milimol pro Liter
MW	Mittelwert
n	Anzahl der Merkmalsausprägung
NO	Stickstoffmonoxid
OA	Oberarzt bzw. Oberärztin
OE	Fraktur der oberen Extremitäten
OP	Operation
OR	Odds Ratio
p	p-Wert
pAVK	peripherer arterieller Verschlusskrankheit
PKW	Personenkraftwagen
PPSB	Prothrombinkonzentrat
PTT	Partielle Thromboplastinzeit

RISC II	Revised Injury Severity Classification II
RTZ	regionale Traumazentren
s	Sekunde/-n
s. Abb.	Siehe Abbildung
s. Tab.	siehe Tabelle
SAP	Systeme, Anwendungen und Produkte in der Datenverarbeitung
SD	Standardabweichung
SG	Fraktur des Schultergürtels
SIRS	Systemic Inflammatory Response Syndrome
SUV	Sports Utility Vehicle
TIK	Traumainduzierte Koagulopathie
TIVS	temporärer intravaskulärer Shunt
TK	Thrombozytenkonzentrat
TRISS	Trauma and Injury Severity Score
UE	Fraktur der unteren Extremitäten
USA	United States of America
ÜTZ	überregionale Traumazentren
V.	Vena
VEGF	Vascular Endothelial Growth Factor
z.B.	zum Beispiel
ZOM	Zentrum für operative Medizin
ZVK	Zentraler Venenkatheter
µg	Mikrogramm
µg/kgKG	Mikrogramm pro Kilogramm Körpergewicht

#### 7.4 Kongress-Vortrag und Veröffentlichungen

23.03.2017            Vortrag auf dem 134. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Chirurgie, 21. bis 24.März 2017 , ICM München  
Sitzung: Management des vaskulären Traumas  
(Vorsitzende: Thomas Schmandra und Roushanak Shayesteh-Kheslat)

12/2018            "Clinical implications of fracture-associated vascular damage in extremity and pelvic trauma" Gilbert et al. BMC Musculoskeletal Disorders (2018) 19:404  
<https://doi.org/10.1186/s12891-018-2333-y>

Diese Dissertation dient als Grundlage eines Manuskripts, welches bei mehreren chirurgischen Journals zur Publikation eingereicht wurde.

## 7.5 Lizenzen zur Verwendung von Abbildungen

### Lizenzen zur Verwendung von Abbildungen des Springer Nature Verlags

This Agreement between Miss. Christina Schneemann ("You") and Springer Nature ("Springer Nature") consists of your license details and the terms and conditions provided by Springer Nature and Copyright Clearance Center.

License Number	4881490867981
License date	Aug 03, 2020
Licensed Content Publisher	Springer Nature
Licensed Content Publication	Der Unfallchirurg
Licensed Content Title	Diagnostik und Management peripherer Gefäßverletzungen
Licensed Content Author	Dr. D. Gümbel et al
Licensed Content Date	May 17, 2014
Type of Use	Thesis/Dissertation
Requestor type	academic/university or research institute
Format	print and electronic
Portion	figures/tables/illustrations
Number of figures/tables/illustrations	1
Will you be translating?	no
Circulation/distribution	50000 or greater
Author of this Springer Nature content	no
Title	Klinische Implikationen zur Versorgung von Schockraumpatienten – eine retrospektive Fall-Kontroll-Studie zu Fraktur-assoziierten Gefäßverletzungen
Institution name	Universität Würzburg - Klinik und Poliklinik für Allgemein-, Viszeral-, Transplantations-, Gefäß- und Kinderchirurgie
Expected presentation date	Aug 2020
Portions	Abb. 6
Requestor Location	Miss. Christina Schneemann Dorotheenstraße 23 Hamburg, 22301 Germany Attn: Miss. Christina Schneemann

This Agreement between Miss. Christina Schneemann ("You") and Springer Nature ("Springer Nature") consists of your license details and the terms and conditions provided by Springer Nature and Copyright Clearance Center.

License Number	4881491068582
License date	Aug 03, 2020
Licensed Content Publisher	Springer Nature
Licensed Content Publication	Springer eBook
Licensed Content Title	Blunt Thoracic Aortic Trauma
Licensed Content Author	Mina L. Boutrous, Rana O. Afifi, Ali Azizzadeh et al
Licensed Content Date	Jan 1, 2019
Type of Use	Thesis/Dissertation
Requestor type	academic/university or research institute
Format	print and electronic
Portion	figures/tables/illustrations
Number of figures/tables/illustrations	1
Will you be translating?	no
Circulation/distribution	50000 or greater
Author of this Springer Nature content	no
Title	Klinische Implikationen zur Versorgung von Schockraumpatienten – eine retrospektive Fall-Kontroll-Studie zu Fraktur-assoziierten Gefäßverletzungen
Institution name	Universität Würzburg - Klinik und Poliklinik für Allgemein-, Viszeral-, Transplantations-, Gefäß- und Kinderchirurgie
Expected presentation date	Aug 2020
Portions	Figure 1
Requestor Location	Miss. Christina Schneemann Dorotheenstraße 23 Hamburg, 22301 Germany Attn: Miss. Christina Schneemann

This Agreement between Miss. Christina Schneemann ("You") and Springer Nature ("Springer Nature") consists of your license details and the terms and conditions provided by Springer Nature and Copyright Clearance Center.

License Number	4881500061367
License date	Aug 03, 2020
Licensed Content Publisher	Springer Nature
Licensed Content Publication	Der Anaesthetist
Licensed Content Title	Gerinnungsmanagement bei der Polytraumaversorgung
Licensed Content Author	Dr. H. Lier et al
Licensed Content Date	Oct 10, 2009
Type of Use	Thesis/Dissertation
Requestor type	academic/university or research institute
Format	print and electronic
Portion	figures/tables/illustrations
Number of figures/tables/illustrations	1
Will you be translating?	no
Circulation/distribution	50000 or greater
Author of this Springer Nature content	no

Title	Klinische Implikationen zur Versorgung von Schockraumpatienten – eine retrospektive Fall-Kontroll-Studie zu Fraktur-assoziierten Gefäßverletzungen
-------	--

Institution name	Universität Würzburg - Klinik und Poliklinik für Allgemein-, Viszeral-, Transplantations-, Gefäß- und Kinderchirurgie
------------------	---

Expected presentation date	Aug 2020
Portions	Abb. 3

Requestor Location	Miss. Christina Schneemann Dorotheenstraße 23 Hamburg, 22301 Germany Attn: Miss. Christina Schneemann
--------------------	---

This Agreement between Miss. Christina Schneemann ("You") and Springer Nature ("Springer Nature") consists of your license details and the terms and conditions provided by Springer Nature and Copyright Clearance Center.

License Number	4881500221309
License date	Aug 03, 2020
Licensed Content Publisher	Springer Nature
Licensed Content Publication	Der Anaesthesist
Licensed Content Title	Polytrauma Präklinische Erstversorgung und Schocktraumamanagement
Licensed Content Author	T. Ziegenfuß
Licensed Content Date	Jan 1, 1998
Type of Use	Thesis/Dissertation
Requestor type	academic/university or research institute
Format	print and electronic
Portion	figures/tables/illustrations
Number of figures/tables/illustrations	1
Will you be translating?	no
Circulation/distribution	50000 or greater
Author of this Springer Nature content	no
Title	Klinische Implikationen zur Versorgung von Schockraumpatienten – eine retrospektive Fall-Kontroll-Studie zu Fraktur-assoziierten Gefäßverletzungen
Institution name	Universität Würzburg - Klinik und Poliklinik für Allgemein-, Viszeral-, Transplantations-, Gefäß- und Kinderchirurgie
Expected presentation date	Aug 2020
Portions	Abb. 2
Requestor Location	Miss. Christina Schneemann Dorotheenstraße 23 Hamburg, 22301 Germany Attn: Miss. Christina Schneemann

This Agreement between Miss. Christina Schneemann ("You") and Springer Nature ("Springer Nature") consists of your license details and the terms and conditions provided by Springer Nature and Copyright Clearance Center.

License Number	4881500696091
License date	Aug 03, 2020
Licensed Content Publisher	Springer Nature
Licensed Content Publication	Der Chirurg
Licensed Content Title	Schockraummanagement Polytrauma
Licensed Content Author	Prof. Dr. B. Bouillon et al
Licensed Content Date	Aug 28, 2013
Type of Use	Thesis/Dissertation
Requestor type	academic/university or research institute
Format	print and electronic
Portion	figures/tables/illustrations
Number of figures/tables/illustrations	1
Will you be translating?	no
Circulation/distribution	50000 or greater
Author of this Springer Nature content	no
Title	Klinische Implikationen zur Versorgung von Schockraumpatienten – eine retrospektive Fall-Kontroll-Studie zu Fraktur-assoziierten Gefäßverletzungen
Institution name	Universität Würzburg - Klinik und Poliklinik für Allgemein-, Viszeral-, Transplantations-, Gefäß- und Kinderchirurgie
Expected presentation date	Aug 2020
Portions	Abb.1
Requestor Location	Miss. Christina Schneemann Dorotheenstraße 23 Hamburg, 22301 Germany Attn: Miss. Christina Schneemann

This Agreement between Miss. Christina Schneemann ("You") and Springer Nature ("Springer Nature") consists of your license details and the terms and conditions provided by Springer Nature and Copyright Clearance Center.

License Number	4881500866102
License date	Aug 03, 2020
Licensed Content Publisher	Springer Nature
Licensed Content Publication	Trauma und Berufskrankheit
Licensed Content Title	Gefäßverletzungen
Licensed Content Author	Prof. Dr. A. Billing et al
Licensed Content Date	Jun 7, 2009
Type of Use	Thesis/Dissertation
Requestor type	academic/university or research institute
Format	print and electronic
Portion	figures/tables/illustrations
Number of figures/tables/illustrations	1
Will you be translating?	no
Circulation/distribution	50000 or greater
Author of this Springer Nature content	no
Title	Klinische Implikationen zur Versorgung von Schockraumpatienten – eine retrospektive Fall-Kontroll-Studie zu Fraktur-assoziierten Gefäßverletzungen
Institution name	Universität Würzburg - Klinik und Poliklinik für Allgemein-, Viszeral-, Transplantations-, Gefäß- und Kinderchirurgie
Expected presentation date	Aug 2020
Portions	Abb. 2
Requestor Location	Miss. Christina Schneemann Dorotheenstraße 23 Hamburg, 22301 Germany Attn: Miss. Christina Schneemann

This Agreement between Miss. Christina Schneemann ("You") and Springer Nature ("Springer Nature") consists of your license details and the terms and conditions provided by Springer Nature and Copyright Clearance Center.

License Number	4881501000604
License date	Aug 03, 2020
Licensed Content Publisher	Springer Nature
Licensed Content Publication	Gefässchirurgie
Licensed Content Title	Traumatische Gefäßverletzungen
Licensed Content Author	Prof. Dr. G. Bischoff et al
Licensed Content Date	Apr 28, 2015
Type of Use	Thesis/Dissertation
Requestor type	academic/university or research institute
Format	print and electronic
Portion	figures/tables/illustrations
Number of figures/tables/illustrations	3
Will you be translating?	no
Circulation/distribution	50000 or greater
Author of this Springer Nature content	no
Title	Klinische Implikationen zur Versorgung von Schockraumpatienten – eine retrospektive Fall-Kontroll-Studie zu Fraktur-assoziierten Gefäßverletzungen
Institution name	Universität Würzburg - Klinik und Poliklinik für Allgemein-, Viszeral-, Transplantations-, Gefäß- und Kinderchirurgie
Expected presentation date	Aug 2020
Portions	Abb. 1, Abb. 2, Abb. 4
Requestor Location	Miss. Christina Schneemann Dorotheenstraße 23 Hamburg, 22301 Germany Attn: Miss. Christina Schneemann

This Agreement between Miss. Christina Schneemann ("You") and Springer Nature ("Springer Nature") consists of your license details and the terms and conditions provided by Springer Nature and Copyright Clearance Center.

License Number	4881501118549
License date	Aug 03, 2020
Licensed Content Publisher	Springer Nature
Licensed Content Publication	Der Anaesthetist
Licensed Content Title	Gerinnungsmanagement beim kreislaufinstabilen Polytraumapatienten
Licensed Content Author	Dr. P. Hilbert D.E.A.A. et al
Licensed Content Date	Aug 1, 2012
Type of Use	Thesis/Dissertation
Requestor type	academic/university or research institute
Format	print and electronic
Portion	figures/tables/illustrations
Number of figures/tables/illustrations	1
Will you be translating?	no
Circulation/distribution	50000 or greater
Author of this Springer Nature content	no
Title	Klinische Implikationen zur Versorgung von Schockraumpatienten – eine retrospektive Fall-Kontroll-Studie zu Fraktur-assoziierten Gefäßverletzungen
Institution name	Universität Würzburg - Klinik und Poliklinik für Allgemein-, Viszeral-, Transplantations-, Gefäß- und Kinderchirurgie
Expected presentation date	Aug 2020
Portions	Abb. 2
Requestor Location	Miss. Christina Schneemann Dorotheenstraße 23 Hamburg, 22301 Germany Attn: Miss. Christina Schneemann

## **Lizenzen zur Verwendung von radiologischen Abbildungen**

Sehr geehrte Frau Schneemann,

Herzlichen Dank für Ihre e-mail.

Selbstverständlich bin ich damit einverstanden, dass Sie unter Einhaltung der geltenden Regelungen die genannten Bilder in Ihrer Dissertationsschrift aufnehmen.

Mit freundlichen Grüßen  
Thorsten Bley

Prof. Dr. med. Th. Bley

Direktor des Instituts für Diagnostische  
und Interventionelle Radiologie  
des Universitätsklinikums Würzburg  
Oberdürrbacher Strasse 6  
D-97080 Würzburg

Tel: +49-931-201-34000  
Fax: +49-931-201-634001  
email: bley\_t@ukw.de

## **Danksagung**

Ich bedanke mich bei allen, deren Hilfe und Unterstützung zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben:

Herrn Prof. Dr. med. Germer, Herrn Prof. Dr. med. Schlegel und Herrn PD Dr. med. Lorenz danke ich dafür, dass Sie es mir ermöglicht haben, diese Dissertation am Institut für Allgemein-, Viszeral-, Transplantations-, Gefäß- und Kinderchirurgie durchzuführen.

Mein allergrößter Dank gilt meinem Betreuer Dr. med. Albert Busch. Jederzeit konnte ich mich mit Fragestellungen an ihn wenden und seine aufmunternden Worte haben einen entscheidenden Teil zur Entstehung dieser Arbeit beigetragen. Insbesondere danke ich ihm für die wiederholte Durchsicht meiner Dissertation, die Unterstützung bei meinem Vortrag auf dem 134. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Chirurgie 2017 in München und seine konstruktiven Kritik.

Des Weiteren bedanke ich mich bei Herrn Dr. med. Fabian Gilbert für die engagierte Unterstützung und Herrn Alexander Multerer für seinen Input im Bezug auf Design und Layout.

Abschließend danke ich meiner Familie und meinen Freunden für die bedingungslose Unterstützung und Liebe, sowie meinem amerikanischen Gastvater Dr. Paul Davis, MD für das Legen des Grundsteins.