

Aus dem Institut für Rechtsmedizin
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Vorstand: Prof. Dr. med. Matthias Graw

Verletzungsmuster von PKW-Insassen – Sicherheitsgurt assoziierte Abdominalverletzungen

Dissertation

zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin

an der Medizinischen Fakultät der

Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Manuel Clemens Mayer

aus

Rosenheim

2024

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. Dipl.-Ing. Steffen Peldschus

Mitberichterstatter: Priv.-Doz. Dr. med. Christoph Linhart

Mitbetreuung durch die promovierte Mitarbeiterin: Dr. med. Sylvia Schick

Dekan: Prof. Dr. med. Thomas Gudermann

Tag der mündlichen Prüfung: 14.11.2024

Meiner Liebe gewidmet

Für Frizi

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	6
2. Material und Methoden.....	12
2.1.Statistische Betrachtung	12
2.1.1 Fallkollektiv.....	12
2.1.2 Datenerhebung und -extraktion.....	13
2.1.3 Datenaufbereitung	13
2.1.4 Datenauswertung und -präsentation	22
2.2. Einzelfallanalysen	23
3. Ergebnisse	25
3.1 Fallkollektiv.....	25
3.1.1 Unfallopfer und Sitzpositionen.....	25
3.1.2 Alter.....	26
3.1.3 Größe.....	27
3.1.4 Body-Mass-Index.....	29
3.1.5 Injury Severity Score.....	30
3.1.6 Todesursachen	32
3.1.7 Todeszeitpunkt.....	33
3.1.8 MAIS	34
3.1.9 MAIS (Körperregion) und Verletzungen in den Körperregionen	36
3.2 Einzelfallanalysen	51
3.2.1 Einzelfall 1	51
3.2.2 Einzelfall 2	57
3.2.3 Einzelfall 3	63
3.2.4 Einzelfall 4	71
3.2.5 Einzelfall 5	79
3.2.6 Einzelfall 6	87
3.2.7 Einzelfall 7	93
3.2.8 Einzelfall 8	99

4. Diskussion.....	106
4.1 Unfallopfer und Sitzpositionen.....	106
4.2 Alter.....	107
4.3 Größe und Body-Mass-Index.....	108
4.4 Injury Severity Score.....	109
4.5 Todesursachen und Todeszeitpunkte.....	110
4.6 MAIS und Körperregion(en) des MAIS	112
4.7 MAIS (Körperregion) und Verletzungen in den Körperregionen	113
4.8 Submarining/Beckengurtinteraktion.....	121
5. Zusammenfassung.....	125
Literaturverzeichnis.....	127
Abbildungsverzeichnis.....	133
Tabellenverzeichnis.....	134
Bildverzeichnis.....	135
Danksagung.....	136
Eidesstattliche Versicherung.....	137
Übereinstimmungserklärung.....	138

1. Einleitung

Im Jahr 2022 wurden laut statistischem Bundesamt 2 782 Unfallopfer im Straßenverkehr getötet. Davon waren knapp 51% (n=1 191) der Verkehrstoten Insassen oder Fahrer in einem Personenkraftwagen. Im Vergleich zum Vorjahr zeigte sich ein Anstieg aller Verkehrstoten um 9% bzw. 220 Menschen. Es verunglückten 7% mehr PKW-Insassen tödlich als im Vorjahr (Statistisches Bundesamt, 2023).

Trotz einer Erhöhung der Todesopfer zum Vorjahr ist der seit mehreren Jahrzehnten anhaltende Rückgang der tödlich verletzten Verkehrsunfallopfer anhand der Zahlen erkennbar. Das Jahr 2021 bildete einen neuen Tiefststand innerhalb der letzten 60 Jahre (Statistisches Bundesamt, 2022b). Es sind vielfältige Gründe zu nennen, die diese Entwicklung über die Jahrzehnte vorangetrieben haben. Die Einführung von Höchst- und Richtgeschwindigkeiten, sowie Promillegrenzen und die Gurtanlegepflicht seien hier nur exemplarisch genannt (Statistisches Bundesamt, 2022b).

Selbstverständlich ist auch eine stetig verbesserte medizinische Versorgung ein bedeutender Faktor. So konnte die Letalität polytraumatisierter Unfallopfer, die lebend in eine Klinik eingeliefert wurden, bereits im Zeitraum von 1993 bis 2005 von 22,8% auf 18,7% gesenkt werden (Ruchholtz et al., 2008). Aktuelle Zahlen des Trauma Register DGU® (TR-DGU) zeigen für polytraumatisierte Unfallopfer noch deutlich niedrigere Letalitätsraten von 8,3 % bzw. 7,4% (TraumaRegister DGU®, 2021, 2022).

Einen bedeutenden Beitrag leistet die Weiterentwicklung der Fahrzeugsicherheit. So konnte die Entwicklung verbesserter passiver Fahrsicherheitssysteme und Verbesserungen der Fahrzeugkonstruktion eine Reduktion der Verletzungsschwere bewirken (Richter et al., 2005).

Unbestritten ist der Sicherheitsgurt bis heute eine der effektivsten Einzelmaßnahmen für PKW-Insassen, um schwere oder tödliche Verletzungen im Straßenverkehr zu verhindern oder zumindest zu reduzieren (Kramer & Arnold, 2009). Mit Einführung der Gurtanlegepflicht konnte die Anlegequote auf ca. 90% erhöht und durch Verbesserungen der Gurtsysteme die teilweise erheblichen „Gurtverletzungen“ minimiert werden (Kramer, 2009).

Es wurde von Frakturen des Beckens durch zu lange Gurtpeitschen, Abdominalverletzungen durch ungünstige Gurtbefestigungen, Thorax- und Wirbelsäulenfrakturen durch ungünstige Gurtbandführung und geringe Elastizität des Gurtbandes berichtet (Niederer et al., 1977). Diese erlittenen Verletzungen scheinen durch damalige Gurtsysteme plausibel erklärbar. Weitere Faktoren wie die Sitzposition eines Unfallopfers oder die korrekte Gurtbandführung müssen in Bezug auf Gurt assoziierte Verletzungsmuster ebenso in Betracht gezogen werden. Insbesondere sind die korrekte Anlage des Sicherheitsgurtes, sowie eine richtige Sitzpositionierung für den effektiven Insassenschutz sicherheitsrelevant.

Im Allgemeinen wird unter dem korrekten Anlegen des Sicherheitsgurtes folgendes verstanden: Der Sicherheitsgurt soll möglichst eng am Körper ohne mehrschichtige, dicke Kleidung getragen werden. Dies soll die Bildung einer zusätzlichen Gurtlose verhindern, die im Zuge eines Anpralls den Verzögerungsweg zusätzlich verlängert. Zudem ist der Gurtverlauf entscheidend, der Schulterteil des Sicherheitsgurtes soll möglichst diagonal über den Thorax geführt werden und der Beckenteil soll unterhalb der Spina iliaca anterior superior engen Kontakt zum knöchernen Becken haben. Um eine möglichst effiziente Rückhaltung zu gewährleisten, ist eine aufrechte Sitzlehnenposition nötig wie es beispielhaft in Testprotokollen der Euro NCAP festgehalten ist (European New Car Assessment Programme, 2019).

Zur Durchführung von standardisierten Testverfahren u.a. im Bereich Fahrzeugzulassung und Insassensicherheit werden Crashtest-Dummys (auch anthropometrische Testpuppe genannt) verwendet. Es können mechanische Belastungen gemessen werden, die an einem menschlichen Körper Verletzungen auslösen würden (Schmitt et al., 2020a).

Seit Jahrzehnten ist die männliche 50-Perzentil-Testpuppe (175 cm/78 kg), generiert aus anthropometrischen Daten der 1960er Jahre, die Vorlage für die Entwicklung und Gestaltung von Sitzen, Gurtgeometrie und Airbags (Schmitt et al., 2020a). Seit 2015 wird von der European New Car Assessment Programme (Euro NCAP) auch mit der weiblichen 5-Perzentil-Testpuppe getestet, um verschiedene Verletzungsmechanismen durch anthropometrische Unterschiede besser erkennen zu können (Allgemeine Deutsche Automobil-Club e. V., 2020). Jedoch bleibt anzumerken, dass die weibliche 5-Perzentil-Testpuppe mit einer Körpergröße von 151,1 cm und 47,3 kg kaum die durchschnittliche weibliche Bevölkerung repräsentiert (Linder & Svedberg, 2019). Eine weibliche 50-Perzentil-Testpuppe gibt es bis heute nicht und in Deutschland wird aktuell ebenfalls nicht mit übergewichtigen Testpuppen getestet (Schmitt et al., 2020a).

In der Literatur finden sich Erkenntnisse, die eine Notwendigkeit von anthropometrisch unterschiedlichen Testmodellen für die Entwicklung und Verbesserung des Insassenschutzes aufzeigen:

Kent et. al (2010) konnten in einer Studie Unterschiede in der Kinematik zwischen normalgewichtigen und übergewichtigen menschlichen Körpern beim Gurt gesicherten Frontalanprall zeigen. Durch einen ungünstigen kinematischen Ablauf, der durch eine verzögerte Rückhaltung des knöchernen Beckens aufgrund vermehrten Fettgewebes bedingt ist, kommt es u.a. zu mehr Rippen- und Thoraxverletzungen sowie einem vergrößerten Verletzungsrisiko der unteren Extremität (R. W. Kent et al., 2010).

Zur Entwicklung und Verbesserung des Insassenschutzes sollten epidemiologische Veränderungen, wie zum Beispiel eine steigende Anzahl an übergewichtigen Personen, aber auch die gesamte

Diversität des Körperbaus innerhalb einer Bevölkerung berücksichtigt werden, was bis dato nur sehr eingeschränkt durchgeführt wird (Schmitt et al., 2020a).

Des Weiteren bleibt zu erwähnen, dass aktuelle Testbedingungen nur Standardsitzpositionen und eine korrekte Gurtbandführung abbilden.

Die Sitzposition und die Gurtbandführung des Sicherheitsgurtes ist in den jeweiligen Testprotokollen beispielsweise der Euro NCAP definiert und auf maximal mögliche Effektivität der Rückhaltesysteme in Zusammenarbeit mit Airbagsystemen ausgelegt. Es wird aktuell in einer den Herstellerangaben entsprechenden, aufrechten Sitzposition getestet (European New Car Assessment Programme, 2019).

Im Zuge von Straßenverkehrsunfällen, wird menschliches Fehlverhalten als häufigste Unfallursache genannt. Um diesen Risikofaktor weiter möglichst stark zu reduzieren, wird künftig neben einer soliden Aus- und Weiterbildung von Fahrzeugführern weiterhin die Unterstützung des Fahrzeuglenkers durch Fahrer-Assistenz-Systeme erforderlich sein (Kramer, 2009). Die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) bietet für verschiedene Automatisierungsstufen von Fahrzeugen eine systematische Übersicht und unterscheidet assistierte, automatisierte und autonome Fahrmodi (Bundesanstalt für Straßenwesen, 2021). Eine international vereinheitlichte Einteilung durch die Society of Automotive Engineers (SAE) teilt von Level 0 bis 5 ein. Ab Level 3 (Automatisierter Modus) können diese Fahrzeuge zeitweise selbstständig fahren und die Zulassung von Fahrzeugen mit diesem Automatisierungsgrad wurde in Deutschland im Jahr 2017 rechtlich ermöglicht. Ab diesem Level der Fahrzeugautomatisierung ist es für den Fahrzeuglenker möglich, fahrfremde Tätigkeiten während der Fahrt auszuführen (Bundesanstalt für Straßenwesen, 2021). Muss der Fahrzeuglenker nicht mehr dauerhaft selbst die Kontrolle über das Fahrzeug übernehmen und bieten entwickelte Innenraumkonzepte vielfältige Möglichkeiten, ist mit einer Veränderung der Sitzposition bzw. Sitzhaltung zu rechnen (Laakmann et al., 2019). Mit höheren Automatisierungsstufen wird sich die Fahrzeuglenkerumgebung durch Einfahren des Lenkrades und der Pedalerie zunehmend der eines heutigen Beifahrers angleichen (Kühn, 2018). Unter dieser Annahme erscheint es plausibel, dass vermehrt bequemere Sitzpositionen eingenommen werden, möglicherweise vergleichbar mit jetzigen Beifahrern oder Mitfahrern. Mit möglicher Veränderung der Standardsitzposition sollte die Anpassung passiver Sicherheitssysteme, vor allem des Sicherheitsgurtes diskutiert werden. Wie schon von Kühn et. al angenommen, könnten Verletzungsmuster von heutigen PKW-Insassen, die keine Fahrzeuglenker waren, als Orientierung für künftige Verletzungsmuster dienen (Kühn, 2018).

Mit dieser Auswertung soll eine Grundlage gegeben werden, um Verletzungsmuster von Fahrern ohne Fahrzeuglenkerumgebung besser nachvollziehen und analysieren zu können.

Kernpunkt dieser Arbeit bildeten gurtassoziierte Verletzungen insbesondere des Abdomens und deren Entstehungsmechanismus von Bei – oder Mitfahrern.

Die in dieser Arbeit gewählte männliche Form bezieht sich immer zugleich auf weibliche, männliche und diverse Personen. Auf eine Mehrfachbezeichnung wird zugunsten einer besseren Lesbarkeit verzichtet.

Grundlagen

Sicherheitsgurt: Funktion, Wirkweise und Risiken

Die Funktion und Wirkweise von Gurtsystemen soll hier ausschnittsweise nach Kramer (2009) dargestellt werden.

Die Wirkung eines Gurtsystems lässt sich als ein „Zurückhalten“ des Insassen im Zuge eines Fahrzeuganpralls beschreiben, um Kontakt des Insassen mit Teilen der Innenraumverkleidung zu vermeiden oder die Aufprallgeschwindigkeit im Falle einer Unvermeidbarkeit zu reduzieren.

Das Gurtband besteht aus einem Material mit 6-11% Dehnbarkeit und läuft von einem fixen Punkt -meist der Sitzkonstruktion- über einen Umlenkbeschlag (möglicherweise mit Höhenverstellung) an der B-Säule des Fahrzeugs zum Retraktor und ist dort auf einer Gurtspule aufgewickelt. Bei korrekter Gurnutzung wird das Gurtband vom Umlenkbeschlag quer über den Thorax des Insassen geführt und liegt nach Verriegelung der Schlosszunge eng am Becken unterhalb des Beckenkamms an. Es existieren verschiedene Gurtsysteme. Hier wird nur zum üblichen 3-Punkt-Automatikgurt Stellung genommen.

Der Sicherheitsgurt hat die Funktion, die Strecke, über die der Insasse am Dezelerationsvorgang des Fahrzeugs teilnimmt, zu maximieren, um Kräfteinleitungen zu generieren, die unterhalb der Belastungsgrenze des Körpers liegen und um einen Anprall an Innenraumbestandteilen zu verhindern.

Um einer möglichen Gurtbandlose entgegenzuwirken, die durch Gurtbanddehnung, Bekleidungs nachgiebigkeit und dem Filmspulen-Effekt entsteht, kommen Gurtstraffer zum Einsatz. Dadurch wird nicht nur die Gurtbandlänge verkürzt, sondern der Insasse nimmt früher an der Gurtwirkung teil, wodurch die auf den Körper wirkende Beschleunigung reduziert werden kann.

Um auf der anderen Seite Gurt induzierte Belastungsspitzen vor allem auf die Thoraxregion zu vermeiden, wird der Verzögerungsweg bei Überschreiten einer vordefinierten Gurtbandkraft durch Gurtkraftbegrenzer verlängert (Kramer, 2009; Kramer & Arnold, 2009).

Verletzungstyp/Verletzungskriterium/Verletzungstoleranz

Spricht man von Verletzungen, kann eine Unterscheidung nach Verletzungstyp vorgenommen werden. Es wird unterschieden nach Verletzungsverursachenden Mechanismen durch direkte Krafteinwirkung, indirekte Krafteinwirkung, Trägheitskräfte und Hyperextension und -flexion (Kramer, 2009).

Das Verletzungskriterium ist ein Wert, der eine Verknüpfung messbarer physikalischer Parameter (Beschleunigung, Kraft, Zeit usw.) mit dem erwarteten Risiko einer Verletzungsentstehung bildet. Als Verletzungstoleranz wird der Grenzwert bezeichnet, ab dem bei einer Belastung mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit eine Verletzung entsteht (Schmitt et al., 2020a). Zum besseren Verständnis der Mechanismen soll im Folgenden für die Körperregionen Thorax und Abdomen eine Übersicht erfolgen.

Thorax

Sowohl Kompression als auch visköse Belastungen und trägheitsbedingte Belastungen können Thoraxverletzungen verursachen und sind am häufigsten Ursache eines stumpfen Traumas. Der Combined Thoracic Index (CTI) ist ein Verletzungskriterium für frontale Thoraxbelastungen unter Airbag und Gurtnutzung. Er berücksichtigt sowohl Kompression als auch Beschleunigung. Eine Kompression des Thorax um 35 % führt in 25 % der Fälle zu einer Verletzung der Schwere AIS 4 oder mehr (Schmitt et al., 2020a).

Abdomen

Verletzungen der Bauchhöhle sind bei Verkehrsunfällen häufig stumpfe Traumata. Aus Mangel an Erkenntnissen zu Verletzungsmechanismen und großen interindividuellen Unterschieden, ist die gesamte Kenntnislage dürftig. Aktuell gibt es nur einen Grenzwert für die maximal auf das Abdomen wirkende Kraft im Seitenprallszenario als Verletzungskriterium. Für Fahrzeuginsassen wird neben Seitkollisionen eine Häufung abdomineller Verletzungen durch unsachgemäße Benutzung des Beckengurtes beschrieben (Schmitt et al., 2020a)

Submarining

Der Beckenteil des Sicherheitsgurts kann durch Verrutschen oder durch unsachgemäße Platzierung das Abdomen belasten. Für das Verrutschen des Beckengurts werden Kollisionen mit hohen Geschwindigkeitsänderungen genannt, wodurch das Becken unter dem Beckenteil des

Sicherheitsgurts durchrutscht und es zur Lasteinbringung durch den Beckengurt kommt (Schmitt et al., 2020a).

Die Lasteinbringung durch den Gurt kann als direkte Kompression bzw. Krafteinwirkung im Sinne des Entstehungsmechanismus begriffen werden.

2. Material und Methoden

2.1. Statistische Betrachtung

2.1.1 Fallkollektiv

Bei einem tödlichen Verkehrsunfall kann durch die zuständige Staatsanwaltschaft zur Klärung der genauen Todesursache eine gerichtsmedizinische Obduktion angeordnet werden. Als Grundlage für diese Arbeit wurden aus den Jahren 2010 bis 2017 alle bei einer Frontalkollision getöteten PKW-Insassen ausgewählt, die im Institut für Rechtsmedizin der LMU (IRM) obduziert wurden und zu denen alle weiteren Informationen vollständig vorlagen.

Es wurden die vorliegenden polizeilichen Verkehrsunfallanzeigen, technische und unfallanalytische Gutachten, von den jeweiligen Gutachtern angefertigten Bildaufnahmen, sowie die Obduktionsberichte genutzt.

Die ausgewählten PKW-Insassen waren angegurtete Mitfahrer auf dem Beifahrersitz oder auf den Plätzen im Fond links hinter dem Fahrer oder rechts hinter dem Beifahrer. Insassen, die auf dem Platz in der Mitte hinten oder in der Mitte vorne saßen, wurden ausgeschlossen, da insbesondere bei älteren Fahrzeugen auf diesen Sitzplatzpositionen oft nur eine Sicherung über einen Beckengurt gegeben ist. Alle ausgewählten Unfallopfer waren durch einen 3-Punkt-Sicherheitsgurt angegurtet. Ausgeschlossen wurden solche Unfallopfer, die bekanntermaßen nicht angegurtet waren oder bei denen es trotz fraglicher Angurtung zu einem Herausschleudern aus dem Fahrzeug kam. Ebenfalls wurde ein Überschlag des Fahrzeugs als Ausschlusskriterium festgelegt. Alle Unfallopfer unter 18 Jahren wurden ausgeschlossen, sowie solche, bei denen die durch den Unfallgutachter rekonstruierte Kollisionsgeschwindigkeit über 100km/h lag.

Es wurden Unfälle betrachtet, bei denen der Unfallmechanismus eine Frontalkollision mit einer Anstoßrichtung von 11 bis 1 Uhr war.

Unfallopfer, die Insassen in einem Fahrzeug waren, welches im Zuge der Kollision in Brand geraten war und die an den Folgen des Brandes verstorben waren, wurden ebenfalls ausgeschlossen.

Insgesamt konnten mit diesen angelegten Kriterien 31 getötete PKW-Insassen gefunden werden, zu denen alle notwendigen Informationen vollständig vorhanden waren, um eine detaillierte Auswertung durchführen zu können.

2.1.2 Datenerhebung und -extraktion

Es wurde mit Microsoft Office Excel eine Datenbank erstellt, in welche alle relevanten Informationen wie Art des Fahrzeugs, Sitzposition, Todesursache etc. pseudonymisiert aufgenommen wurden. In Kapitel 2.1.3 Datenaufbereitung werden alle Variablen erklärt und dargestellt.

Die Codierung der Einzelverletzungen aus den Obduktionsberichten nach Abbreviated Injury Scale 2015 AIS © erfolgte in Zusammenarbeit mit mehreren in der AIS-Codierung trainierten studentischen Hilfskräften. Alle Verletzungen, die in einen direkten Zusammenhang mit dem Unfallmechanismus gebracht werden konnten (ausgenommen wurden Verletzungen, die auf medizinische Maßnahmen oder Rettungsmaßnahmen zurückzuführen waren wie zum Beispiel Einstichstellen von Venenverweilkanülen, Operationszugänge oder Verletzungen des Brustkorbs, die durch eine kardiopulmonale Reanimation entstanden sind) wurden codiert und in einer Microsoft Excel Datenbank pseudonymisiert dem entsprechenden Unfall zugeführt. Somit wurden für jedes Unfallopfer alle Einzelverletzungen dokumentiert und als eigener Datensatz in Microsoft Excel überführt.

2.1.3 Datenaufbereitung

Personenbezogene Daten

Unfallopfer und Sitzpositionen

Die Sitzposition wurde den vorliegenden Akten oder Obduktionsprotokollen entnommen und als Beifahrer, Rücksitzinsasse links, und rechts dokumentiert. Das Geschlecht wurde als männlich, weiblich, weiblich schwanger (kein Fall im Kollektiv) und divers (kein Fall im Kollektiv) dokumentiert.

Alter

Das Gesamtkollektiv wurde in drei Altersgruppen geteilt, alle Personen unter 18 Jahren wurden ausgeschlossen. Somit bildet die erste Gruppe alle Unfallopfer von 18 Jahre bis 24 Jahre, die zweite Altersgruppe fasst alle Personen von 25 bis 64 Jahre zusammen. Eine weitere Gruppe bilden alle Personen über 65 Jahre, welche ebenfalls zusammengefasst wurden.

Größe

Die Körpergröße wurde dem Obduktionsbericht entnommen, in cm dokumentiert und wie in Tabelle 2 gruppiert.

Body-Mass-Index

Der BMI wurde aus Körpergröße und – gewicht, die aus den Obduktionsgutachten entnommen wurden, berechnet und nach Tabelle 1 gruppiert.

Tabelle 1 Klassifikation der Adipositas nach BMI (Modifiziert nach WHO 2000)

Kategorie	BMI kg/ m ²
Untergewicht	< 18,5
Normalgewicht	18,5-24,9
Übergewicht	>25
Präadipositas	25-29,9
Adipositas Grad I	30-34,9
Adipositas Grad II	35-39,9
Adipositas Grad III	>40

Medizinische Daten

AIS Codierung

Die Abbreviated Injury Scale AIS © ist ein international verwendetes Codiersystem zur objektiven Dokumentation von Einzelverletzungen inklusive einer Klassifizierung der Schwere dieser Einzelverletzungen. Die in den Obduktionsberichten dokumentierten Verletzungen des Fallkollektivs wurden alle nach der neuesten Version AIS© Abbreviated Injury Scale 2015 codiert.

Jeder Verletzungscode ist in sieben Einzelziffern nach dem Schema XXXXXX.X. gegliedert, wobei die ersten 6 Ziffern den „Unique numerical identifier“(UNI) bilden. In diesen ersten 6 Ziffern wird die Körperregion nach AIS, die Gewebeart (Gefäße, Nerven, Organe, Knochen etc), die genaue anatomische Struktur und die Verletzungsart (Schürfung, Quetschung, Risswunde, Fraktur) dargestellt.

Die erste Stelle des UNI entspricht der Kapitelnummer im Codebook (sh. AIS 2015 Abbreviated Injury Scale Dictionary) und beschreibt folgende Körperregionen:

1=Kopf/Schädel und Gehirn

2=Gesicht (enthält Auge und Ohr)

3=Hals

4=Thorax

5=Abdomen

6= Wirbelsäule

7=Obere Extremität

8=Untere Extremität, Becken und Gesäß

9=Äußeres (Haut) und thermische Verletzungen

0=Sonstige Trauma

Die zweite Ziffer beschreibt den Typ der anatomischen Struktur und wird wie folgt unterteilt:

1=ganzer Bereich

2=Gefäße

3=Nerven

4=Organe (inkl. Muskeln und Ligamente)

5=Skelett

6=Bewusstlosigkeit (nur im Kapitel Kopf)

7=Gelenke (nur in den Extremitätenkapiteln)

Die dritte und vierte Ziffer beschreibt die spezifische anatomische Struktur oder im Fall einer Verletzung der Körperregion 9, die spezifische Art der Verletzung (z.B. Haut-Schürfung, Haut-Aufreißung etc.).

Die fünfte und sechste Ziffer stellt die spezifische Verletzung dar.

Die siebte Ziffer gibt den Schweregrad der Verletzung an. Dieser wird wie folgt unterteilt:

1 minor-gering

2 moderate-mäßig

3 serious-ernsthaft

4 severe-schwer

5 critical-kritisch

6 maximal-maximal

9 unknown-unbekannt

Die Zahlen 1 bis 6 geben eine Verletzungsschwere in aufsteigender Reihenfolge an. Die Zahl 9 liegt bei Codes vor, die für Verletzungen angeboten werden, die auf Basis der vorliegenden Informationen nicht näher lokalisiert oder spezifiziert werden können.

Maximum abbreviated injury Scale (MAIS)

Der MAIS gibt als Zahlenwert von 1 bis 6 den höchsten AIS Schweregrad und somit die Schwere der schwersten Verletzung eines Patienten an (Association for the Advancement of Automotive Medicine, 2015).

Körperregion(en) des MAIS

Zusätzlich wurde dokumentiert in welcher Körperregion die schwerste Verletzung, die den MAIS bestimmt hat, vorlag. Haben mehrere Körperregionen Einzelverletzungen mit AIS Schweregraden in der Höhe des MAIS, wurden alle angegeben.

Die Körperregionen werden auf Basis der AIS Kapitel folgendermaßen definiert:

- Kopf (AIS Kapitel 1 – Kopf)
- Gesicht (AIS Kapitel 2 – Gesicht)
- Hals+HWS (AIS Kapitel 3 – Hals und aus Kapitel 6 der Teil HWS)
- Obere Extremität (AIS Kapitel 7 – Oberer Extremitäten)
- Thorax+BWS (AIS Kapitel 4 – Thorax und aus Kapitel 6 der Teil BWS)
- Abdomen+LWS (AIS Kapitel 5 – Abdomen und aus Kapitel 6 der Teil LWS)
- Untere Extremität (AIS Kapitel 8 – Untere Extremitäten)

Codes aus dem Kapitel 9 wurden nicht berücksichtigt.

MAIS(Körperregion)

Der jeweils höchste AIS Schweregrad aller Verletzungen innerhalb einer Körperregion wird als MAIS(Körperregion) z.B. MAIS(Kopf), MAIS(Gesicht), MAIS(Hals), MAIS(Obere Extremität), MAIS(Thorax), MAIS(Abdomen), MAIS(Untere Extremität) dokumentiert. Die Bezeichnungen für die Obere Extremität und die Untere Extremität wird mit OEX und UEX abgekürzt.

MAIS 3+ (Körperregion)

Zu jeder Körperregion wird dokumentiert, ob der MAIS(Körperregion) den Schweregrad 3 oder höher erreicht und als MAIS 3+ (Körperregion) (als dichotome ja/nein Variable) dokumentiert.

Verletzungen in den Körperregionen

Es wurden für jede untersuchte Körperregion die VerletzungsCodes nach Häufigkeiten präsentiert.

Für eine übersichtlichere Auswertung wurden alle EinzelCodes des Fallkollektivs auf die ersten vier Stellen reduziert und auf Personenebene aggregiert.

Injury Severity Score (ISS)

Um einen Überblick über die Verletzungsschwere bei mehrfach verletzten Unfallopfern zu erhalten, bietet das Codebook neben dem MAIS den „Injury Severity Score (ISS)“ an. Dieser errechnet sich, indem die jeweils höchsten AIS-Werte der drei am schwersten verletzten Körperregionen quadriert und anschließend addiert werden (AIS© 2015 Abbreviated Injury Scale Dictionary).

Die Körperregionen zur Berechnung des ISS unterteilen sich wie folgt:

1 Kopf/Hals + HWS

2 Gesicht

3 Thorax + BWS

4 Bauch /oder Beckenorgane + LWS

5 Extremitäten (/oder Beckengürtel)

6 Äußerlich (inklusive der entsprechenden Codes aus den Kapiteln 1-8)

Sollte in einer der Körperregionen ein AIS-Code 6 vergeben worden sein, wird unabhängig von den anderen Körperregionen ein ISS Wert von 75 festgelegt. Der Wertebereich des ISS liegt im Bereich von 1 bis 75 (AIS© 2015 Abbreviated Injury Scale Dictionary).

Sollte in einer ISS Region Codes mit einem AIS Schweregrad von 9 vergeben worden sein, wurden diese Einzelverletzungen für die Ermittlung der höchsten AIS-Werte der ISS Regionen ignoriert.

Todesursachen

Die Todesursachen wurden den gerichtsmedizinischen Obduktionsgutachten entnommen und in folgende Gruppen eingeteilt:

- Verbluten
- Thoraxtrauma
- Schädel-Hirn-Trauma, Asphyxie
- Schädel-Hirn-Trauma
- respiratorische Insuffizienz
- Polytrauma
- Mehrfachbruch der Halswirbelsäule
- Blutaspiration

In einem Obduktionsbericht wird zusammenfassend am Schluss eine Diagnose präsentiert, die meist die Todesursache darstellt. In unklaren Fällen, insbesondere wenn mehrere Verletzungen zum Tode hätten führen können, wird von den Obduzenten die am ehesten wahrscheinliche Todesursache angegeben.

Konnte den Obduktionsberichten die Zuordnung zu einer Todesursache nicht exakt entnommen werden und lagen mehrere potenziell tödliche Verletzungen vor, wurden diese unter dem Überbegriff Polytrauma zusammengefasst.

Innerhalb der gruppierten Todesursache „Polytrauma“ finden sich drei Fälle in denen ein Blutungsgeschehen als Todesursache mit in Betracht gezogen werden muss; die genaue Todesursache aber nicht weiter eingrenzbar blieb. In der Gruppe mit Todesursache „Verbluten“ wurden die MAIS der Körperregionen präsentiert, um die todesursächliche Blutungsquelle nachvollziehen zu können.

Todeszeitpunkt

Der Todeszeitpunkt konnte den Todesbescheinigungen bzw. den Obduktionsgutachten entnommen werden. Insgesamt wurden vier Gruppen gebildet. Die erste Gruppe umfasst alle Unfallopfer, die sofort am Unfallort verstarben. Die zweite Gruppe umfasst die Unfallopfer, die nicht sofort ihren Verletzungen erlagen, sondern innerhalb der ersten Stunde verstorben sind. Die nächste Gruppe bilden alle, die mehr als eine Stunde überlebten aber im Verlauf von 24 Stunden zu Tode kamen. Die vierte Gruppe, stellt die Unfallopfer dar, die im Zeitraum von 30 Tagen nach den ersten 24 Stunden verstorben sind.

Tabelle 2 gibt einen Überblick über alle betrachteten Variablen und deren Merkmalsausprägungen.

Tabelle 2 Variablen und Merkmalsausprägungen

Personenbezogene Daten:	
Sitzpositionen	Beifahrer; Insasse hinten rechts; Insasse hinten links
Geschlecht (es wurde nur nach männlich/weiblich unterschieden)	1=männlich 2= weiblich
Alter (Jahre) und gruppiert	18 bis <25; 25 bis <65; 65 und älter
Größe in cm und gruppiert	0-150; 150-159; 160-169; 170-179; 180 und größer
BMI (kg/ m ²) gruppiert	18,5-24,9; 25-29,9; 30-34,9; 35-39,9; 40 und höher
Medizinische Daten	
ISS, absolut und gruppiert	0-15,16-26,27-41,42-66,75
Todesursachen	Verbluten/ Thoraxtrauma, Schädel-Hirn-Trauma, Asphyxie -Schädel-Hirn-Trauma -respiratorische Insuffizienz -Polytrauma -Mehrfachbruch der Halswirbelsäule -Blutaspiration
Todeszeitpunkt	sofort;<1h; 1h bis 24h; 24h bis 30d
MAIS	1,2,3,4,5,6
MAIS (Kopf) MAIS (Gesicht) MAIS (Hals) MAIS (Obere Extremität) MAIS (Thorax) MAIS (Abdomen) MAIS (Untere Extremität)	1,2,3,4,5,6
Körperregion(en) des MAIS	Kopf, Gesicht, Hals, Obere Extremität, Thorax, Abdomen, Untere Extremität
MAIS 3+(Körperregion)	ja/nein

2.1.4 Datenauswertung und -präsentation

Die personenbezogenen und medizinischen Daten wurden zunächst für das Gesamtkollektiv deskriptiv ausgewertet. Die deskriptive Auswertung nach Häufigkeiten, sowie alle erstellten Tabellen und Graphiken wurde mit Microsoft Excel durchgeführt.

Häufigkeitsverteilungen wurden für kategoriale Variablen erstellt und ggf. als Text, Tabelle oder Diagramm dargestellt.

Median, Minimum und Maximum wurden für kontinuierliche Variablen präsentiert. Zusätzlich wurde noch ein nach Geschlechtern getrenntes Kastendiagramm erstellt, Minimum und Maximum bestimmt, sowie der Median berechnet.

Der Injury Severity Score wurde berechnet und sowohl absolut als auch gruppiert graphisch dargestellt, um einen Überblick über die Verletzungsschwere des Gesamtkollektivs zu erhalten. Die Todesursachen und Todeszeitpunkt wurden in Gruppen zusammengefasst und graphisch präsentiert.

Der MAIS wurde bestimmt und in Form eines Diagramms dargestellt. Es wurde für jede Körperregion nach den Kapiteln des AIS© 2015 Abbreviated Injury Scale Dictionary der MAIS Körperregion extrahiert, nach Häufigkeiten sortiert und in Form eines Diagramms dargestellt.

Zu jeder Körperregion wurden die auf vier Stellen reduzierten Verletzungen ausgezählt und tabellarisch nach Häufigkeiten dargestellt.

Die Darstellung aller MAIS3+ Anteile wurde als Schemazeichnung präsentiert und soll einen graphischen Überblick über alle MAIS 3+ verletzten Körperregionen des Gesamtkollektivs geben.

2.2. Einzelfallanalysen

Es wurde anhand weiterer Einschlusskriterien ein Einzelfallkollektiv aus dem Gesamtkollektiv erstellt, welches mithilfe der zur Verfügung stehenden Informationen detailliert aufgearbeitet wurde.

Einschlusskriterien für Einzelfälle:

1. MAIS (Abdomen) und/oder MAIS (Thorax) ≥ 4
2. Anhand der Rekonstruktion kann davon ausgegangen werden, dass die Verletzungen durch den Beckengurt entstanden sind

Hierfür waren maßgeblich die unfallanalytischen und ggf. technischen Gutachten, die Polizeiberichte bzw. die Unfallanzeige, die vom Gutachter/der Polizei erstellten Fotos, die Obduktionsberichte und die vor der Obduktion angefertigten Übersichtsaufnahmen von Bedeutung.

Jede Einzelanalyse ist dreigeteilt in Ausgangsdaten, Analyseergebnis mit Rekonstruktion und Diskussion des gesamten Vorgangs inkl. Verletzungen.

Alle Verletzungen, die mutmaßlich im Zuge des Unfalls entstanden sind und die ursächlich oder mitursächlich für den Tod des Unfallopfers waren, wurden bei einer gerichtlichen Sektion im Institut für Rechtsmedizin der LMU München durch die Obduzenten festgestellt und dokumentiert.

Aus der Datenbank wurden die jeweiligen Verletzungen des Unfallopfers als vollständige Einzelcodes entnommen und in Tabellen den zugehörigen Einzelfällen zugeordnet. Da es keine deutsche Version der AIS© gibt, wurden zur besseren Lesbarkeit die Textpassagen übersetzt, gekürzt und ebenfalls in die Tabelle übernommen.

Das vor der Obduktion angefertigte Bildmaterial wurde über ein internes System zur Verfügung gestellt.

Das Bildmaterial der Unfallopfer wurde zur Veranschaulichung der äußeren Verletzungen, im Besonderen der für die Fragestellung relevanten Gurtmarken verwendet. Es werden jeweils nur die

Abbildungen der Torsi gezeigt, da vorrangig dort die durch die Gurtinteraktion entstandenen Hautmarken zu finden waren.

Es wurde für jeden Einzelfall ein nachvollziehbares Bild über den Vorgang des Unfalls erstellt. Informationen wie z.B. Gegebenheiten zum Unfallzeitpunkt, Sitzpositionen, Angurtung, Airbagauslösung, Geschwindigkeiten, Beschädigungen und technische Bewertung und die von den Obduzenten festgestellten und dokumentierten Verletzungen konnten der staatsanwaltlichen Ermittlungsakte entnommen werden.

Es wurden insgesamt acht Einzelfälle ausgewählt, zu denen die vollständige Dokumentation zur genauen Einzelfallanalyse vorlag. Zu den anderen Fällen lag entweder keine ausreichende Dokumentation vor oder es konnte nicht zweifelsfrei anhand der Rekonstruktion von einer Gurt assoziierten Verletzung ausgegangen werden. Einzelfall 1 wurde als Beispiel für einen korrekt angelegten Sicherheitsgurt aufbereitet.

Die folgenden sieben Einzelfälle geben einen Einblick, welche Verletzungen im Zuge einer Interaktion mit dem Sicherheitsgurt entstanden sein könnten und welche Mechanismen hierfür mutmaßlich eine Erklärung bieten.

In Zusammenarbeit mit der Abteilung für Biomechanik und Unfallforschung des Instituts für Rechtsmedizin der LMU wurden die Einzelfälle besprochen und in mehreren Terminen die Plausibilität der einzelnen Unfallrekonstruktionen und der Verletzungsmuster überprüft.

Besonderes Augenmerk lag auf Verletzungen, die durch eine Krafteinleitung des Sicherheitsgurts an unüblicher Stelle entstanden sein könnten.

Es sollte geklärt werden, wie es zur Verletzung durch den Sicherheitsgurt kommen konnte, welche Kräfte bzw. Mechanismen die Entstehung der Verletzung bewirkt haben und ob sich diese für die Erklärung der Verletzungsmuster eignen.

3. Ergebnisse

3.1 Fallkollektiv

3.1.1 Unfallopfer und Sitzpositionen

Abbildung 1 ist zu entnehmen, dass von 31 Unfallopfern insgesamt 21 Beifahrer im Kollektiv zu finden waren, die somit die größte Gruppe darstellen. Bei der Geschlechterverteilung war der Anteil der Frauen mit 24 (77,4%) deutlich größer. Lediglich sieben (22,6%) Unfallopfer waren männlich.

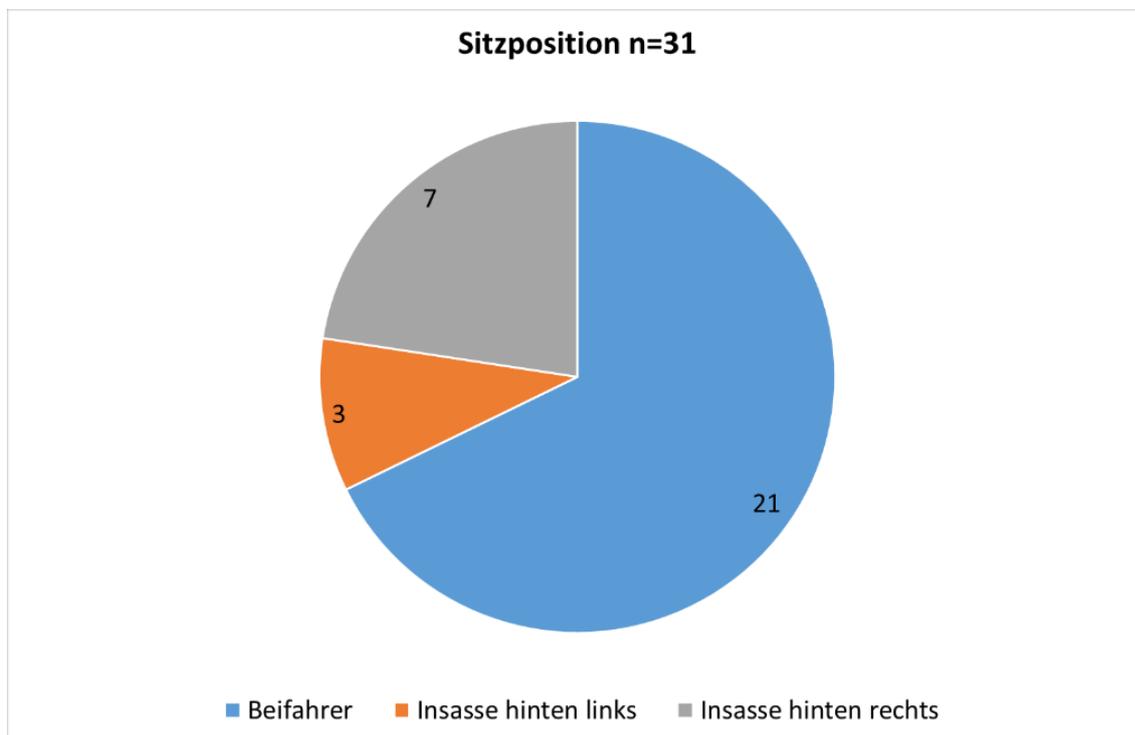


Abbildung 1 Häufigkeitsverteilung der Sitzposition im Fallkollektiv

3.1.2 Alter

Das jüngste Unfallopfer war 18 Jahre und das älteste Unfallopfer 80 Jahre alt. Der Median liegt bei 72 Jahren. 18 Unfallopfer (58%) können der Altersgruppe 65 Jahre und älter zugeordnet werden, siehe Abbildung 2.

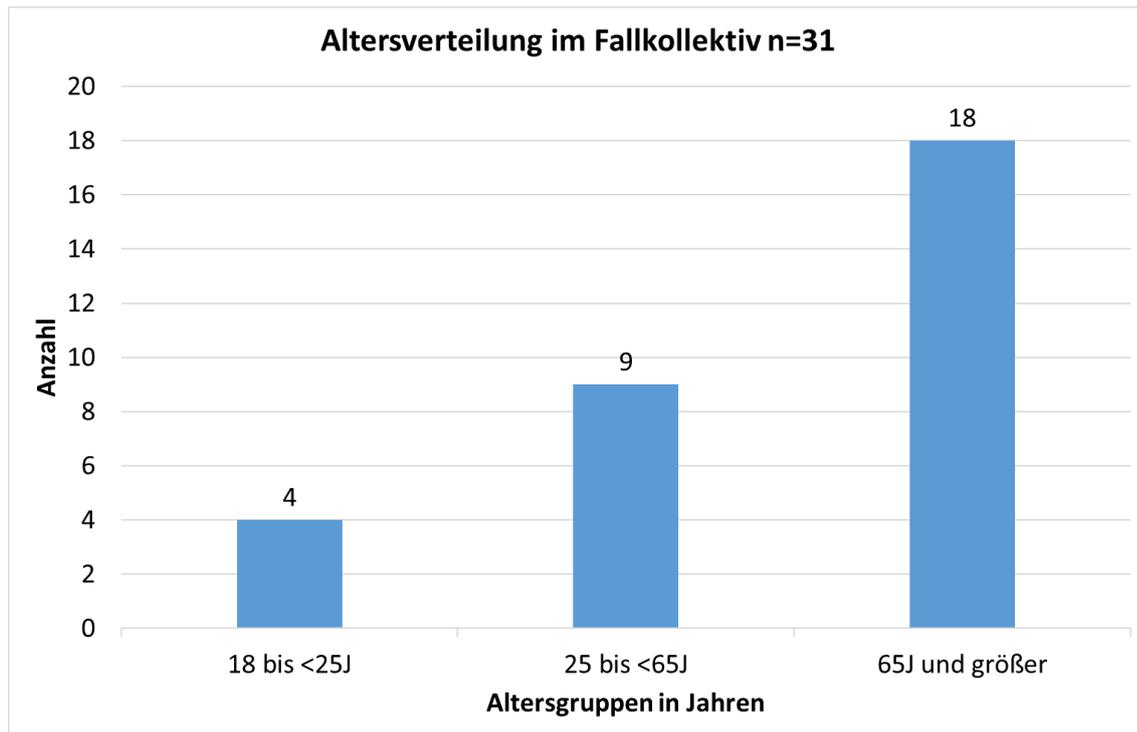


Abbildung 2 Häufigkeitsverteilung der Altersgruppen im Fallkollektiv

3.1.3 Größe

Im untersuchten Kollektiv können 61% (n=19) der Unfallopfer der Größengruppe 160-169 cm zugeordnet werden und stellen somit die größte Gruppe dar. Das Maximum wurde mit 185 cm und das Minimum mit 147 cm gemessen. Der Median wurde im Gesamtkollektiv mit 166cm berechnet. In Abbildung 3 sind die jeweiligen Gruppen graphisch dargestellt, 19% (n=6) sind unter 160 cm, wobei eine Person mit einer Körperlänger unter 150 cm gemessen wurde. Weitere 19 % (n=6) sind über 169 cm groß. Somit sind insgesamt gleich viele Personen über 169 cm bzw. unter 160 cm groß.

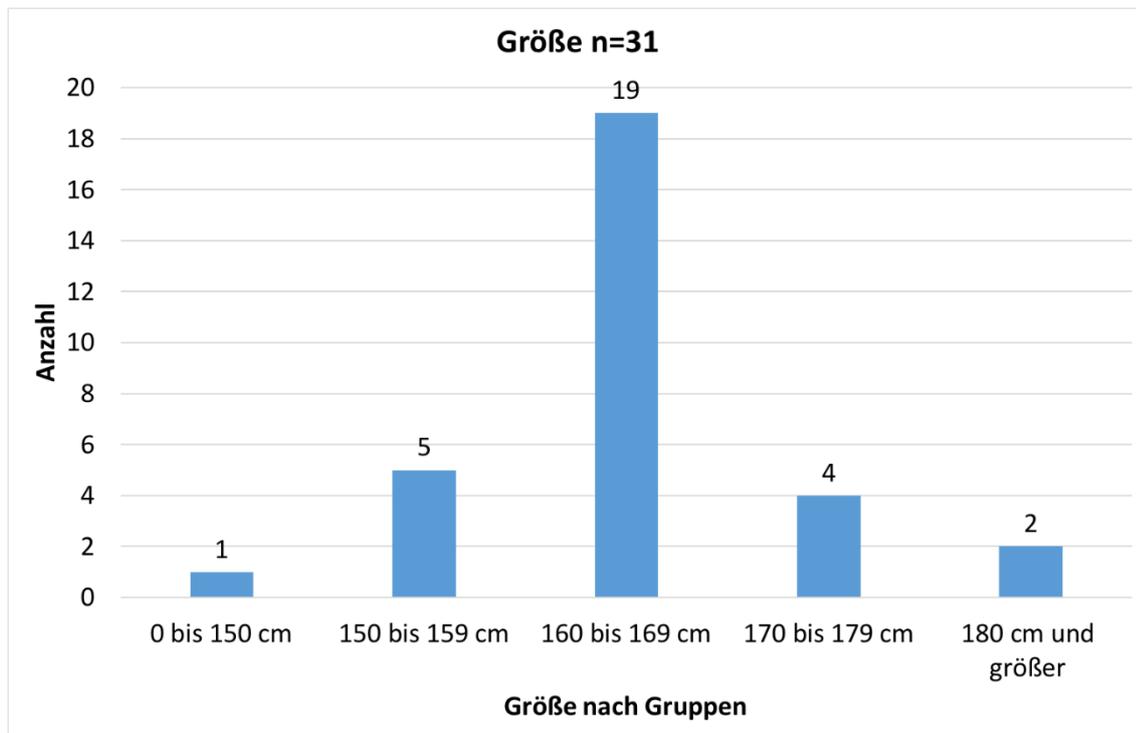


Abbildung 3 Häufigkeitsverteilung der Körpergröße (gruppiert) im Fallkollektiv

Abbildung 4 zeigt graphisch die Verteilung der Größe nach Geschlechtern aufgeteilt. Der Median liegt bei den Männern (n=7) bei 168 cm, die Spannweite reicht von 161 cm bis 185cm. Es sind 25 % der Männer größer als 180cm, 75 % sind kleiner als 180cm. Für die Frauen (n=24) errechnet sich ein Median von 163 cm, das Minimum lag bei 147 cm und das Maximum bei 175 cm.

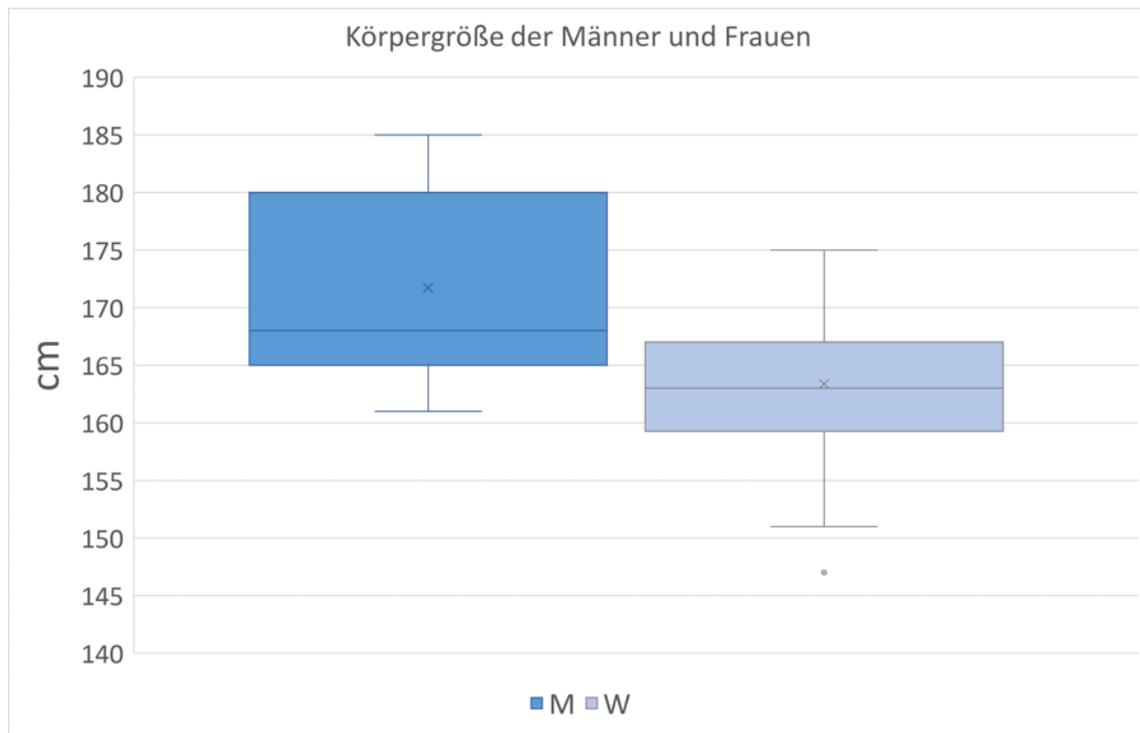


Abbildung 4 Körpergröße nach Geschlecht im Fallkollektiv

3.1.4 Body-Mass-Index

Abbildung 5 zeigt die Gruppierung der Body-Mass-Indices der Unfallopfer. Es zeigt sich, dass 71 % (n=22) einen BMI $\geq 25 \text{ kg/m}^2$ hatten und somit per definitionem übergewichtig oder adipös waren.

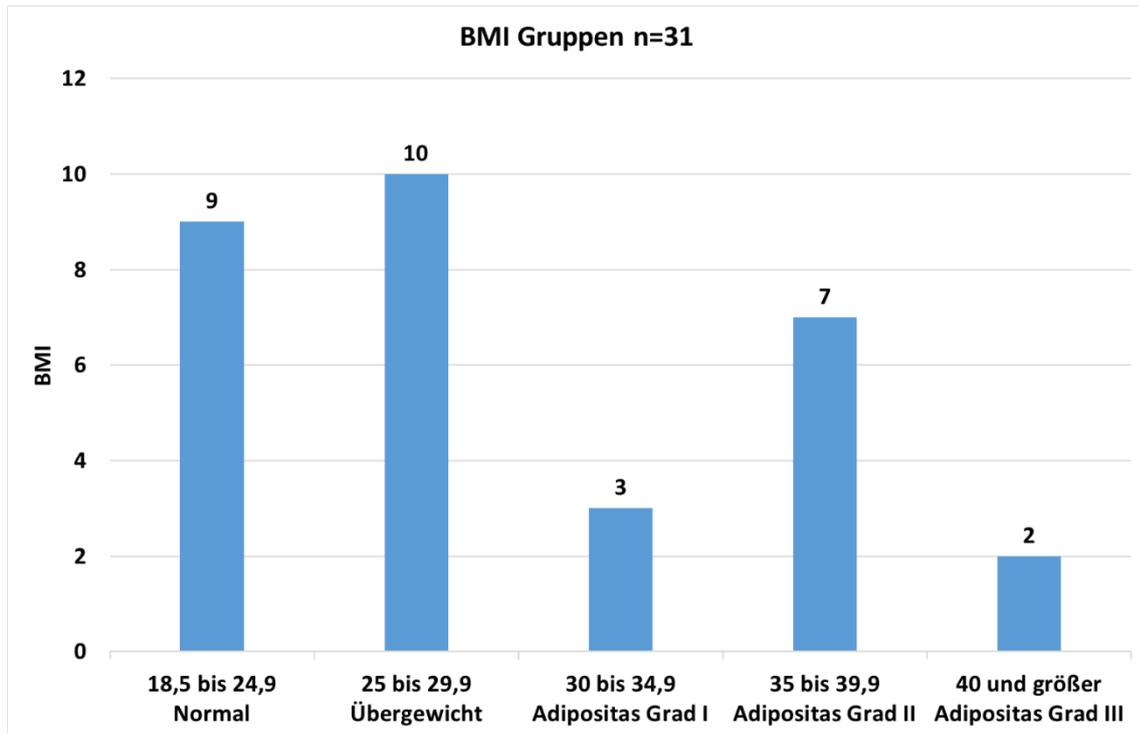


Abbildung 5 Häufigkeitsverteilung der Gewichtsklassen anhand des BMI (kg/m^2) im Fallkollektiv

3.1.5 Injury Severity Score

Abbildung 6 zeigt die Verteilung und die Häufigkeit der ISS-Werte in absoluten Zahlen, somit erhält man einen Überblick über die Verteilung der Verletzungsschwere des gesamten Kollektivs. Die Verletzungsschwere ist breit verteilt, die ISS Werte reichen von 11 bis 75, wobei das Maximum (9 Personen, 29%) am häufigsten bei einem ISS Wert von 75 auftritt, siehe Abbildung 6. Lediglich 6%(n=2) zeigten einen ISS≤16. Der Median wurde mit einem ISS Wert von 43 berechnet.

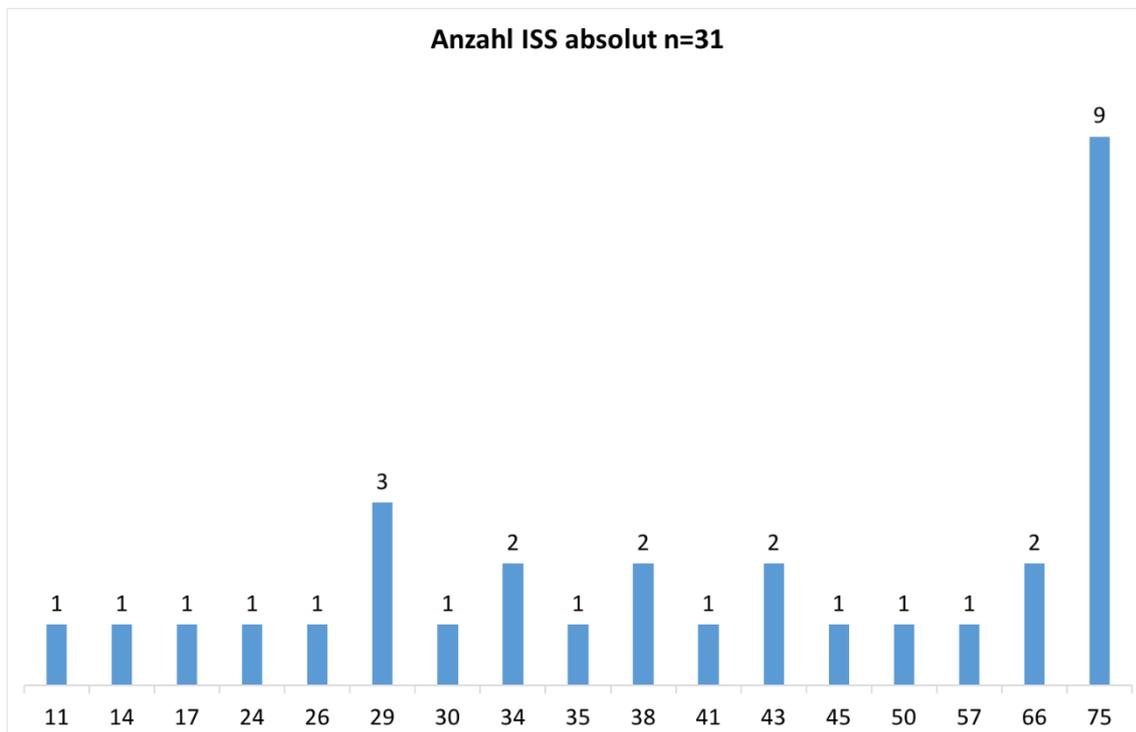


Abbildung 6 Absolute Häufigkeitsverteilung des ISS im Fallkollektiv

Die Verteilung der ISS Gruppen in Abbildung 7 zeigt, dass bei 84% (n=26) ein ISS Wert ≥ 27 vorlag und somit beim Großteil des untersuchten Kollektivs die Verletzungsschwere erheblich war.

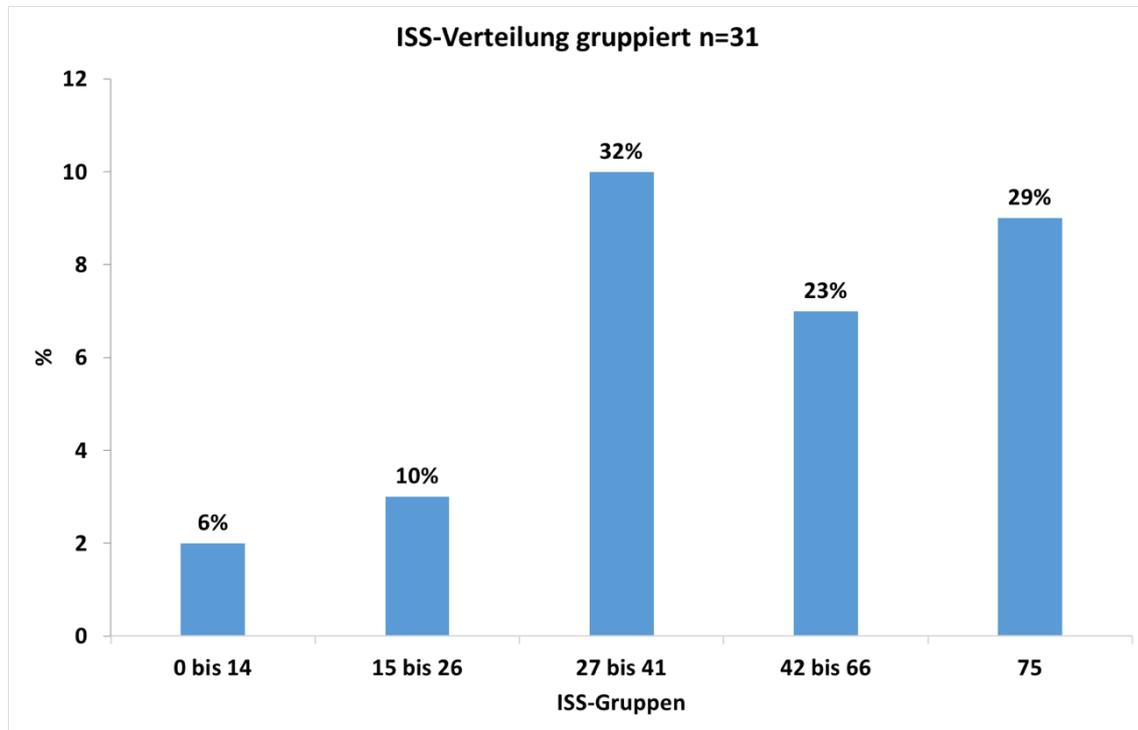


Abbildung 7 Häufigkeitsverteilung der ISS Gruppen im Fallkollektiv

3.1.6 Todesursachen

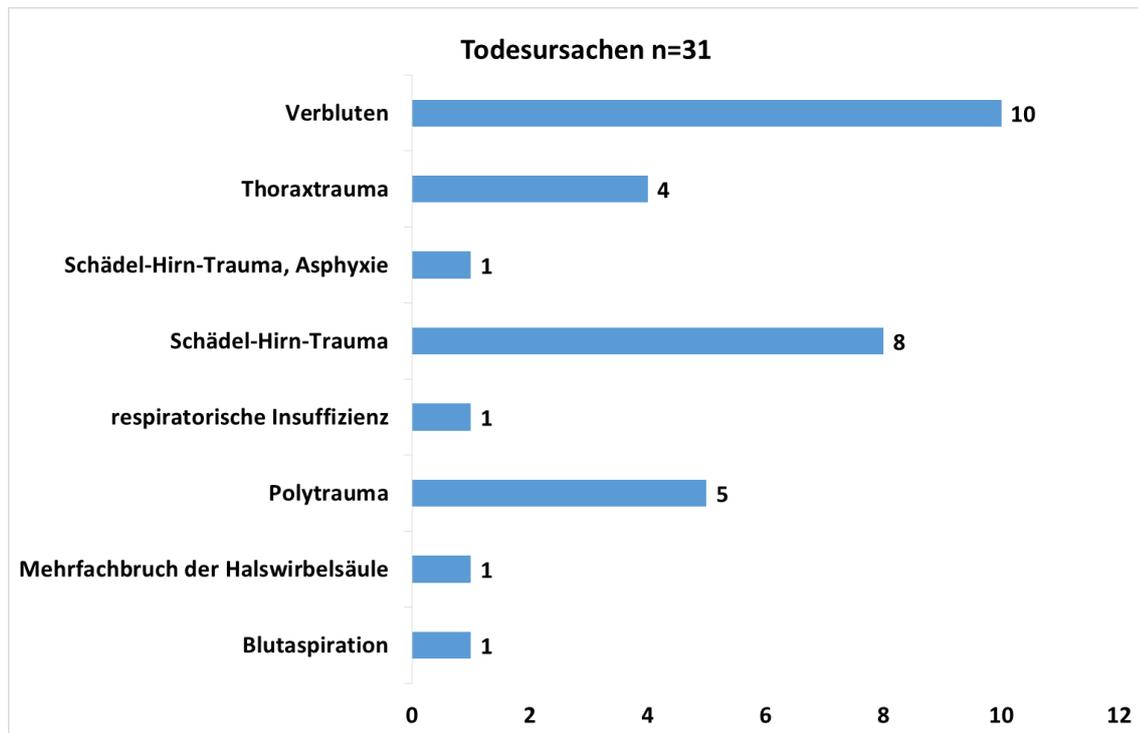


Abbildung 8 Häufigkeitsverteilung der Todesursachen im Fallkollektiv

In Abbildung 8 sind die verschiedenen Todesursachen des Fallkollektivs dargestellt. In zehn Fällen (32%) und damit am häufigsten verstarben die Unfallopfer an Verbluten. Die zweithäufigste Todesursache war mit acht Fällen (26%) ein Schädelhirntrauma, vier Unfallopfer (13%) verstarben an einem Thoraxtrauma und fünf Unfallopfer (16%) kamen durch ein Polytrauma zu Tode. In einem Fall führte ein initial bestehendes Schädelhirntrauma zu massivem Erbrechen infolgedessen eine Aspiration des Erbrochenen zum Ersticken führte, sowie in einem weiteren Fall führte eine Aspiration von Blut zum Tode. Ein Unfallopfer verstarb an den Folgen einer respiratorischen Insuffizienz, ursächlich war eine Bronchopneumonie als Folge einer stumpfen Gewalteinwirkung gegen den Brustkorb. In einem Fall erlitt das Unfallopfer mehrfache Frakturen der Halswirbelsäule mit todesursächlichen Quetschungen des Halsrückenmarks.

3.1.7 Todeszeitpunkt

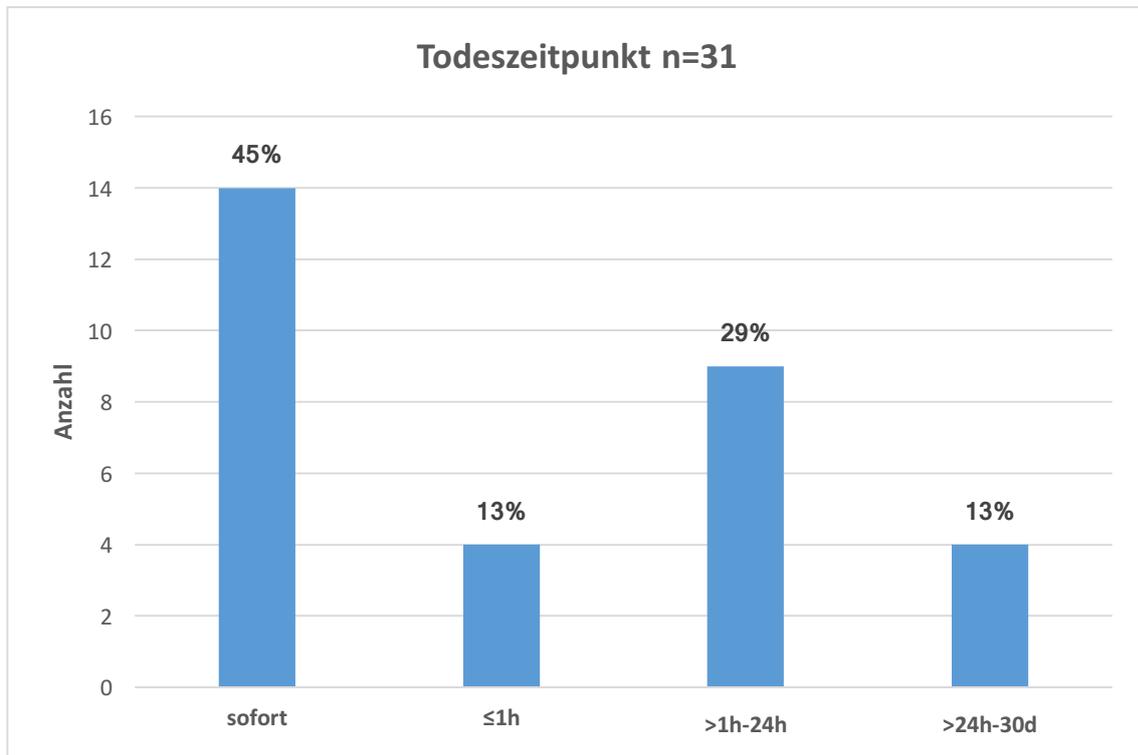


Abbildung 9 Häufigkeitsverteilung der Todeszeitpunkte im Fallkollektiv

Bei 58% (n=18) der Unfallopfer trat der Tod innerhalb der ersten Stunde ein, 45 % der Unfallopfer erlagen noch am Unfallort ihren Verletzungen. Zusammengefasst sind 87 % (n=27) der Unfallopfer innerhalb von 24 Stunden verstorben.

3.1.8 MAIS

Abbildung 10 ist die Verteilung des MAIS zu entnehmen. Auffallend ist, dass die Werte MAIS 1 und 2 nicht und der Wert 3 lediglich in 10% (n=3) der Fälle vergeben wurden. Somit wurden 90% (n=28) der Unfallopfer ein MAIS Schweregrad 4 (sehr schwer), MAIS Schweregrad 5 (kritisch) oder MAIS Schweregrad 6 (maximal) zugeordnet.

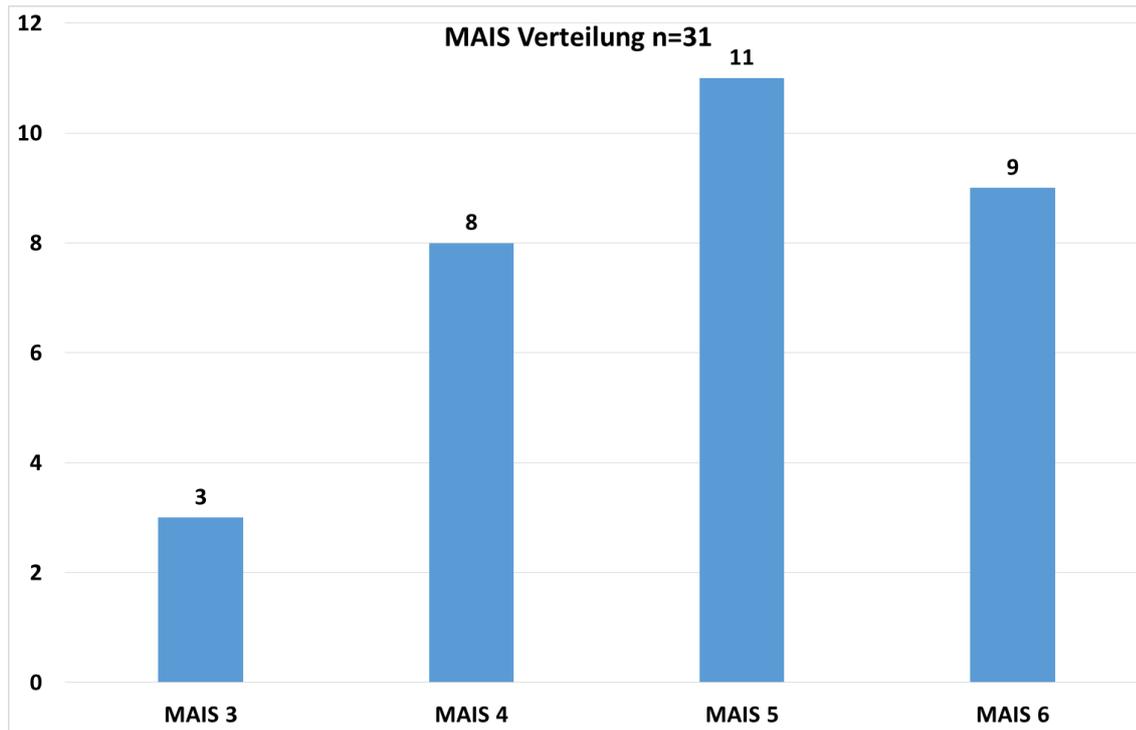


Abbildung 10 Häufigkeitsverteilung des MAIS des Fallkollektivs

Körperregion(en) des MAIS

In Abbildung 11 ist dargestellt, wie häufig eine definierte Körperregion am schwersten betroffen war. Es zeigt sich, dass sowohl Kopf (39%, n=12), Thorax (42%, n=13) und Abdomen (6%, n=2) am häufigsten allein von der insgesamt schwersten Verletzung betroffen waren. In 9% der Fälle (n=3) war die höchste Verletzungsschwere in zwei Körperregionen zu finden.

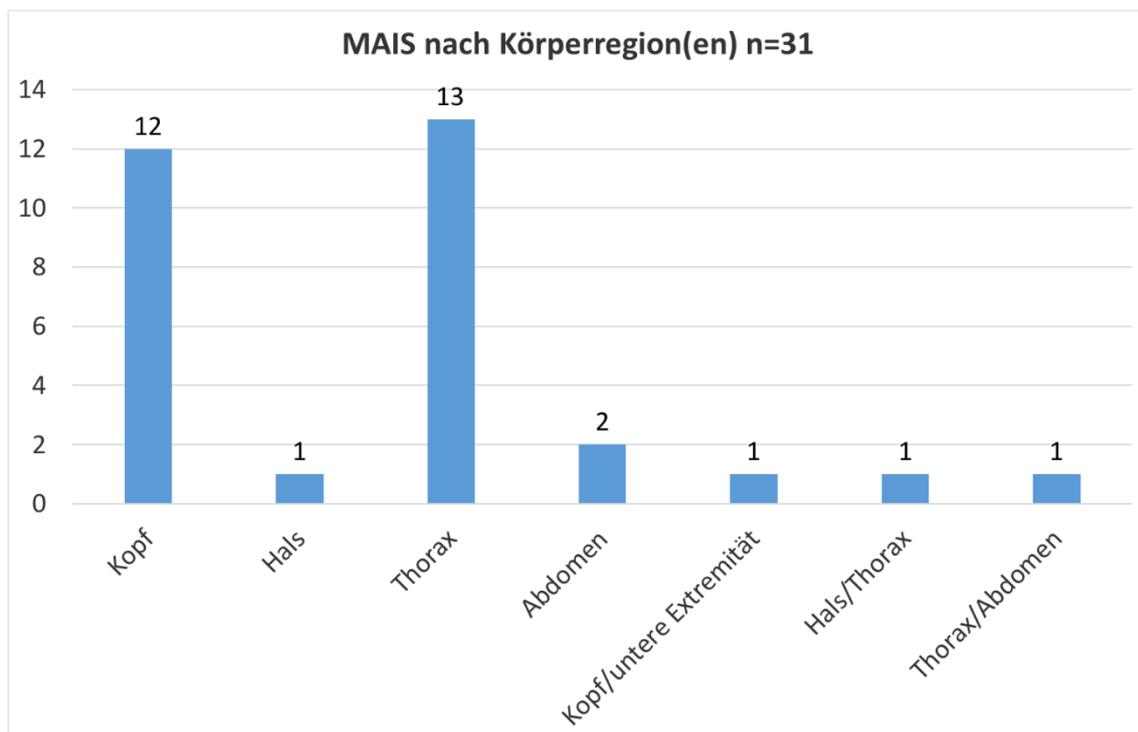


Abbildung 11 Häufigkeitsverteilung der Körperregion(en), in denen der MAIS vorlag

3.1.9 MAIS (Körperregion) und Verletzungen in den Körperregionen

MAIS(Kopf) und Verletzungen in der Körperregion Kopf

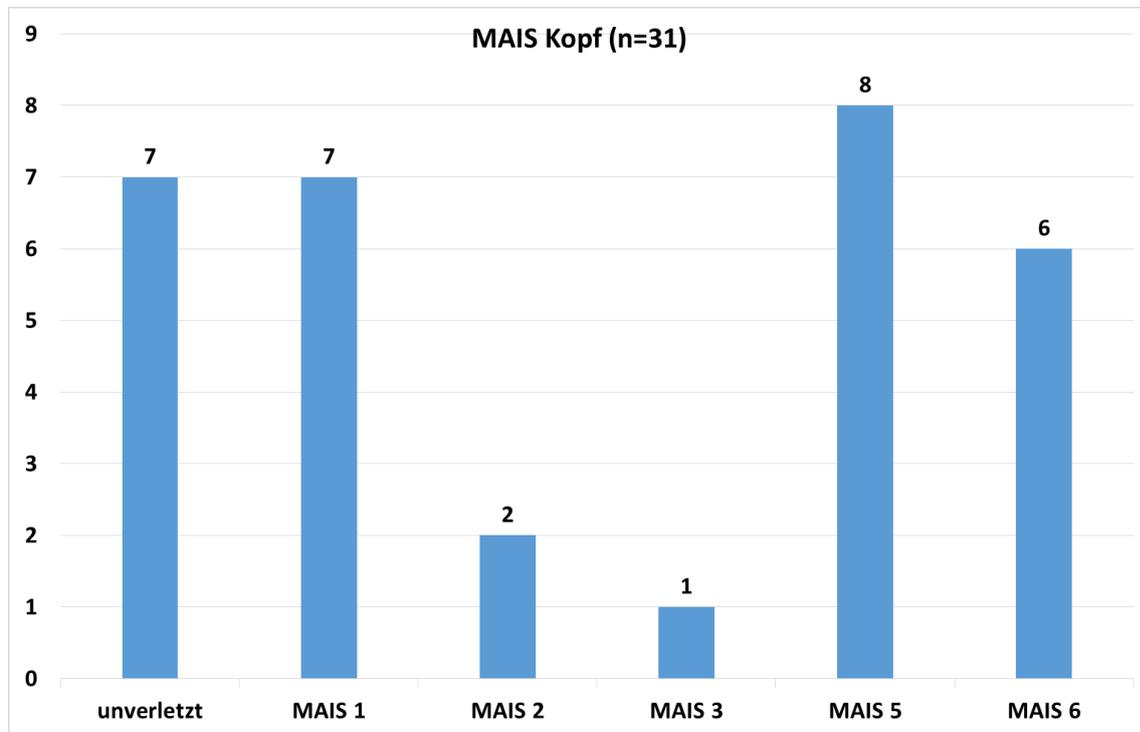


Abbildung 12 Häufigkeitsverteilung des MAIS(Kopf) im Fallkollektiv

In Abbildung 12 dargestellt sind die MAIS der Körperregion Kopf für das Fallkollektiv. Es zeigt sich, dass 45% (n=14) unverletzt bzw. gering verletzt am Kopf sind, wohingegen weitere 45 % (n=14) kritisch bis maximale Kopfverletzungen davontrugen. Lediglich 10 % wurde ein MAIS von 2 bzw. 3 zugeordnet, was einer Verletzungsschwere von mäßig bis schwer entspricht. 55 % waren am Kopf MAIS 2+ verletzt, die restlichen 45 % waren entweder unverletzt oder der MAIS für die Körperregion Kopf war Schweregrad 1.

In Tabelle 3 sind die jeweiligen Verletzungsgruppen der Körperregion Kopf abgebildet. Bei Verletzungen des Hirns, sind Großhirn und Hirnstamm am häufigsten betroffen. Die häufigste Verletzung am Kopf ist eine Kopfprellung.

Tabelle 3 Verteilung Einzelverletzungen Kopf des Fallkollektiv

AIS Code (4stellig)	Verletzte Struktur/Art der Verletzung	Anzahl	Prozent von n=31
1104	Kopfschwarte, Prellung/Hämatom	17	55%
1402	Hirnstamm	14	45%
1406	Großhirn	12	39%
1404	Kleinhirn	10	32%
1502	Schädelbasisfraktur	6	19%
1102	Haut, Schürfung	3	10%
1108	Haut, Taschenbildung	1	3%
1204	Verletzung A. basilaris	1	3%
1504	Hirnschädelfraktur	1	3%

MAIS(Gesicht) und Verletzungen der Körperregion Gesicht

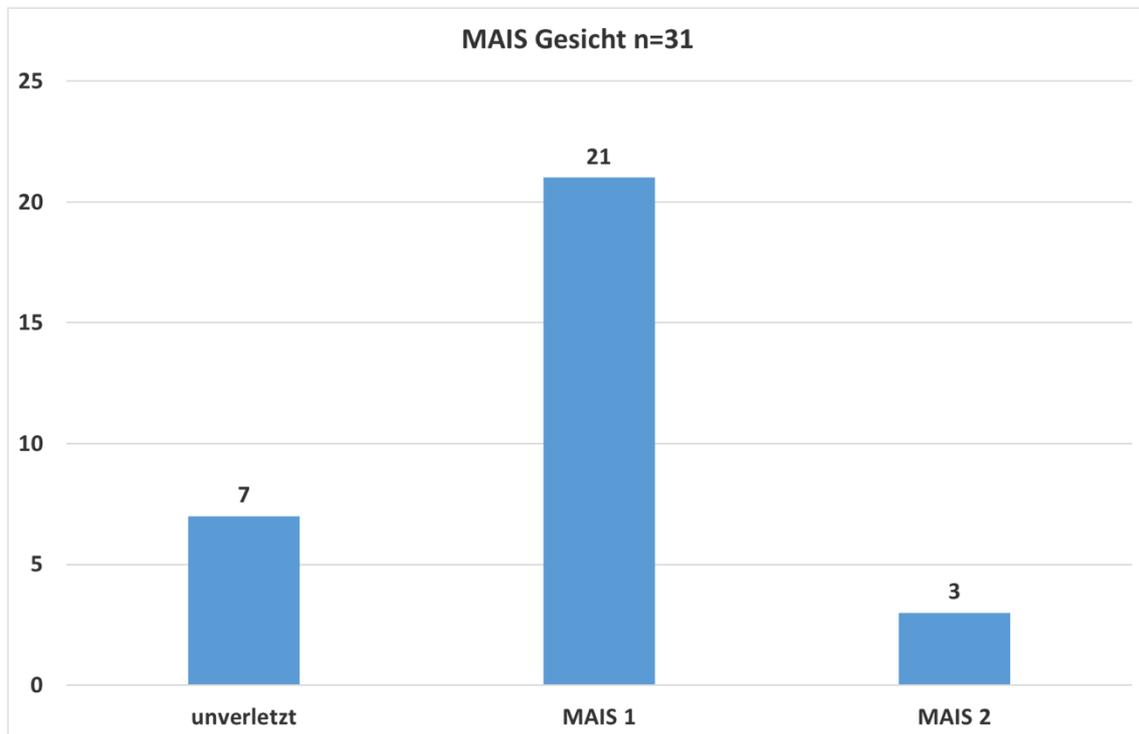


Abbildung 13 Häufigkeitsverteilung des MAIS(Gesicht) im Fallkollektiv

Abbildung 13 zeigt, dass die Körperregion Gesicht in diesem Fallkollektiv in 90% (n=28) der Fälle unverletzt bzw. gering verletzt ist. Nur 10 % (n=3) sind mäßig verletzt.

Tabelle 4 stellt die Verteilung der Verletzungen im Gesichtsbereich dar. Schwerwiegende Verletzungen sind im Gesichtsbereich nicht zu finden, hauptsächlich fanden sich Schürfungen und Hämatome.

Tabelle 4 Verteilung Einzelverletzungen Gesicht des Fallkollektiv

AIS Code (4stellig)	Verletzte Struktur/Art der Verletzung	Anzahl	Prozent von n=31
2102	Haut, Schürfung	14	45%
2104	Haut, Hämatom	13	42%
2430	Mundverletzung	8	26%
2434	Zungenverletzung	8	26%
2106	Haut/Unterhaut, Verletzung/Muskel	6	19%
2506	Unterkieferfraktur	3	10%
2108	Haut, Taschenbildung	2	6%
2508	Oberkieferfraktur	2	6%
2502	Alveolarkammfraktur	1	3%
2504	Gesichtsknochenfraktur	1	3%
2510	Verletzung der Nase	1	3%
2514	Verletzung der Zähne	1	3%

MAIS (Hals) und Verletzungen der Körperregion Hals

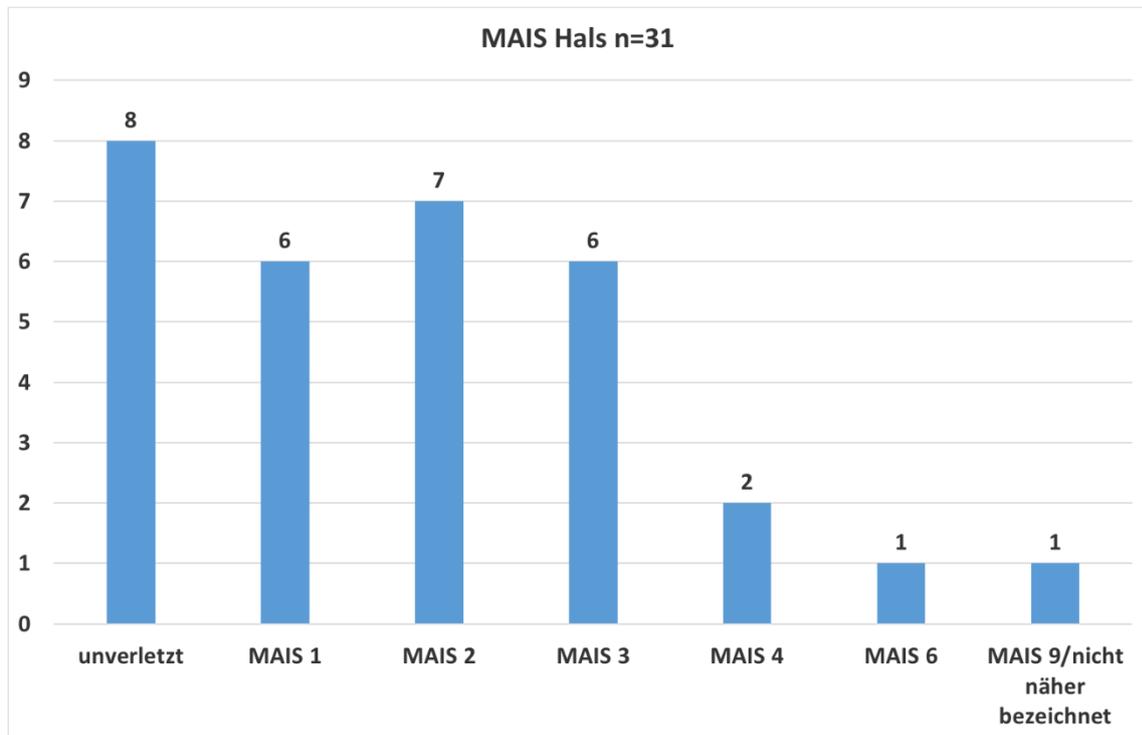


Abbildung 14 Häufigkeitsverteilung des MAIS(Hals) im Fallkollektiv

Die Verteilung der MAIS in der Körperregion Hals kann man Abbildung 14 entnehmen. Im Fallkollektiv wurden 68% (n=21) nicht oder nur mäßig bis gering am Hals verletzt. 28 % (n=9) der Unfallopfer waren MAIS 3+ verletzt. Bei einem Unfallopfer wurde ein MAIS(Hals) von 9 unbekannt vergeben.

Tabelle 5 Verteilung Einzelverletzungen Körperregion Hals des Fallkollektivs

AIS Code (4stellig)	Verletzte Struktur/Art der Verletzung	Anzahl	Prozent von n=31
6502	HWS Fraktur	10	32%
3104	Haut, Hämatom	9	29%
3102	Haut, Schürfung	6	19%
6102	Rückenmarksverletzung HWS	4	13%
3402	Verletzung Larynx	3	10%
6402	Band/Muskelverletzung HWS	3	10%
3502	Zungenbein Fraktur	2	6%
3108	Haut, Taschenbildung	1	3%
3202	Verletzung A. carotis int.	1	3%
3414	Verletzung Schilddrüse	1	3%

Tabelle 5 stellt die Verteilung der Einzelverletzungen der Körperregion Hals dar, wobei der größte Anteil mit 32% (n=10) aller Einzelverletzungen in dieser Körperregion auf Frakturen der Halswirbelsäule fällt.

MAIS (Obere Extremität) und Verletzungen der Körperregion Obere Extremität

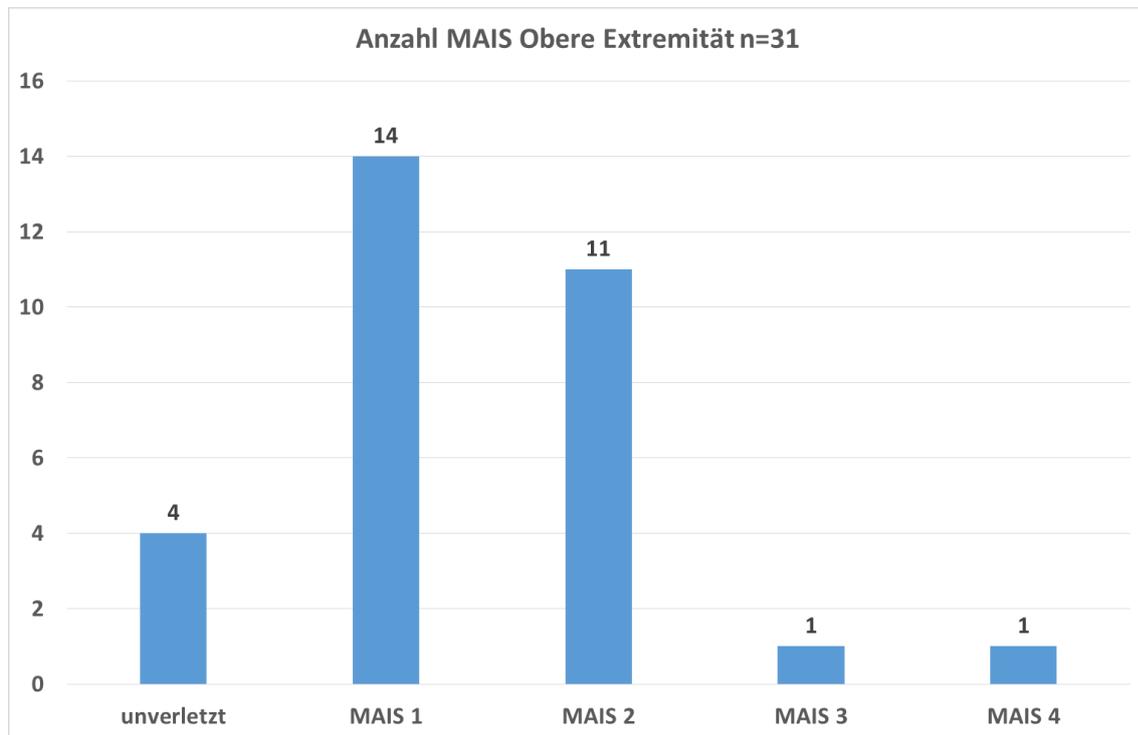


Abbildung 15 Häufigkeitsverteilung des MAIS(Obere Extremität) im Fallkollektiv

Die Verteilung der MAIS der Körperregion Obere Extremität zeigt in Abbildung 15 eine geringe bzw. mäßige Verletzungsschwere oder gar keine Verletzung in 93% (n=29) der Fälle. Lediglich 6% (n=2) erlitten eine schwere oder sehr schwere Verletzung im Bereich der oberen Extremität.

Tabelle 6 kann die Verteilung der Einzelverletzungen dieser Körperregion entnommen werden. Hauptsächlich finden sich Hämatome und Abschürfungen, sowie Frakturen des Schlüsselbeins.

Tabelle 6 Verteilung Einzelverletzungen Körperregion Obere Extremität des Fallkollektivs

AIS Code (4stellig)	Verletzte Struktur/Art der Verletzung	Anzahl	Prozent von n=31
7104	Haut, Hämatom	21	68%
7102	Haut, Schürfung	14	45%
7505	Schlüsselbeinfraktur	4	13%
7106	Aufreissungsverletzung Haut/Unterhaut/Muskel	3	10%
7108	Haut, Untertaschung	3	10%
7519	Unterarmfraktur	3	10%
7110	Amputation	2	6%
7511	Humerusfraktur	2	6%
7506	Schlüsselbeinschaftfraktur	1	3%
7523	Fraktur distaler Radius	1	3%
7532	Ulna Fraktur	1	3%
7707	Verletzung akromioclavicular Gelenk	1	3%
7710	Verletzung glenohumerales Gelenk	1	3%
7720	Verletzung Ellbogengelenk	1	3%

MAIS (Thorax) und Verletzungen der Körperregion Thorax

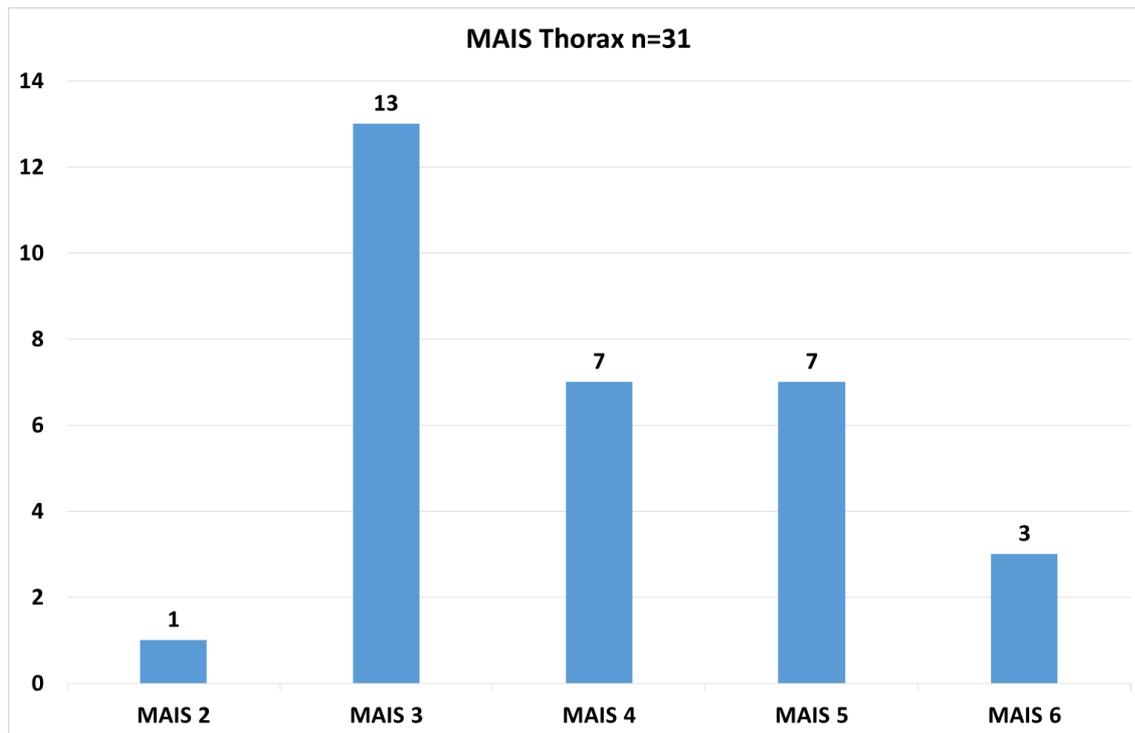


Abbildung 16 Häufigkeitsverteilung des MAIS (Thorax) im Fallkollektiv

Abbildung 16 zeigt die Häufigkeit des MAIS für die Körperregion Thorax. Es zeigt sich, dass kein Beteiligter unverletzt oder gering verletzt wurde, lediglich 3% (n=1) wurden mäßig schwer am Thorax verletzt. 42 % (n=13) trugen schwere thorakale Verletzungen davon, weitere 46% (n=14) wurden sehr schwer bis kritisch im Brustkorbbereich verletzt. Bei 10 % (n=3) der Unfallopfer waren die Verletzungen des Brustkorbs maximal.

Tabelle 7 Verteilung Einzelverletzungen Körperregion Thorax Fallkollektiv

AIS Code (4stellig)	Verletzte Struktur/Art der Verletzung	Anzahl	Prozent von n=31
4502	Fraktur Rippen	27	87%
4508	Fraktur Sternum	23	74%
4422	Hämatothorax	21	68%
4104	Haut, Hämatom	19	61%
4414	Verletzung Lungenparenchym	14	45%
4202	Verletzung A. thoracalis	10	32%
4416	Verletzung Pericard	9	29%
4410	Verletzung Herz (Myokard)	8	26%
4108	Haut, Taschenbildung	8	26%
4418	Verletzung Pleura	6	19%
4106	Aufreißungsverletzung Haut/Unterhaut/Muskel	6	19%
4102	Haut, Schürfung	6	19%
4406	Verletzung Diaphragma	5	16%
4212	Verletzung V. pulmonalis	5	16%
6504	BWS Fraktur	2	6%
4402	Verletzung distaler Bronchus	2	6%
4218	Verletzung V. cava	2	6%
6104	Rückenmarksverletzung Thorax	1	3%
4401	Verletzung Bronchus Hauptstamm	1	3%
4220	Verletzung Arterien des Thorax NFS	1	3%
4214	Verletzung A. subclavia	1	3%

Tabelle 7 zeigt die Verteilung der Einzelverletzungen im Bereich des Brustkorbs und zeigt, dass schwere Verletzungen wie Frakturen der Rippen 87%, sowie Sternumfrakturen 74 % und Blutungen in den Thorax 68 % häufig vorkommen.

MAIS (Abdomen) und Verletzungen der Körperregion Abdomen

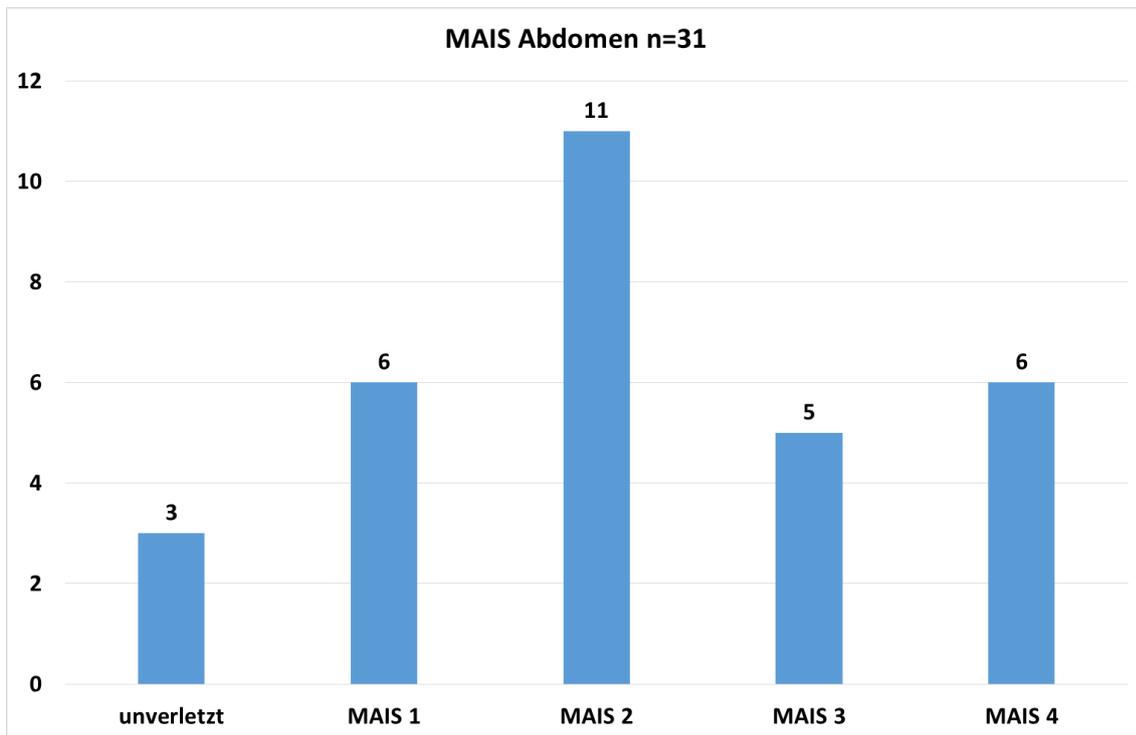


Abbildung 17 Häufigkeitsverteilung des MAIS (Abdomen) im Fallkollektiv

In Abbildung 17 dargestellt sind die MAIS der Körperregion Abdomen. 90% (n=28) der Unfallopfer wiesen Verletzungen unterschiedlichen Schweregrades im Abdomen auf, 10 % (n=3) aller Beteiligten konnte keine Verletzung im Bauchbereich zugeordnet werden und waren unverletzt. 54 % (n=17) der Verletzungen wurden mit einem MAIS im Abdomen von 1 und 2 codiert. 35 % (n=11) der Verletzten erlitten Verletzungen, die mit einem AIS des Schweregrades 3 oder 4, somit schwer bzw. sehr schwer codiert wurden.

Tabelle 8 Verteilung Einzelverletzungen Abdomen Fallkollektiv

AIS Code (4stellig)	Verletzte Struktur/Art der Verletzung	Anzahl	Prozent von n=31
5104	Haut, Hämatom	22	71%
5418	Verletzung Leber	14	45%
5102	Haut, Schürfung	10	32%
5420	Verletzung Mesenterium	9	29%
5108	Haut, Untertaschung	7	23%
5442	Verletzung Milz	7	23%
6506	LWS Fraktur	6	19%
5106	Haut, Aufreißung	5	16%
5416	Verletzung Niere	5	16%
5402	Verletzung Nebenniere	3	10%
5406	Verletzung Blase	3	10%
5202	Verletzung Aorta abdominalis	2	6%
5212	Verletzung V. cava	2	6%
5432	Verletzung Perineum	2	6%
5438	Retroperitoneale Blutung/Hämatom	2	6%
5444	Verletzung Magen	2	6%
5456	Verletzung Vulva	2	6%
5101	Ruptur M. rectus abdominis	1	3%
5206	Verletzung A. iliaca com.	1	3%
5214	Verletzung Arterien des Abdomens NFS	1	3%
5216	Verletzung Venen des Bauchraums NFS	1	3%
5408	Verletzung Colon	1	3%
5410	Verletzung Duodenum	1	3%
5414	Verletzung Jejunum/Ileum	1	3%
5440	Verletzung Scrotum	1	3%
5448	Verletzung Ureter	1	3%

Am häufigsten finden sich Hämatome mit 71% (n=22), sowie mit 45% (n=14) Verletzungen der Leber. Mesenteriale Verletzungen finden sich 29% (n=9), sowie 23% (n=7) Verletzungen der Milz.

MAIS (Untere Extremität) und Verletzungen der Körperregion Untere Extremität

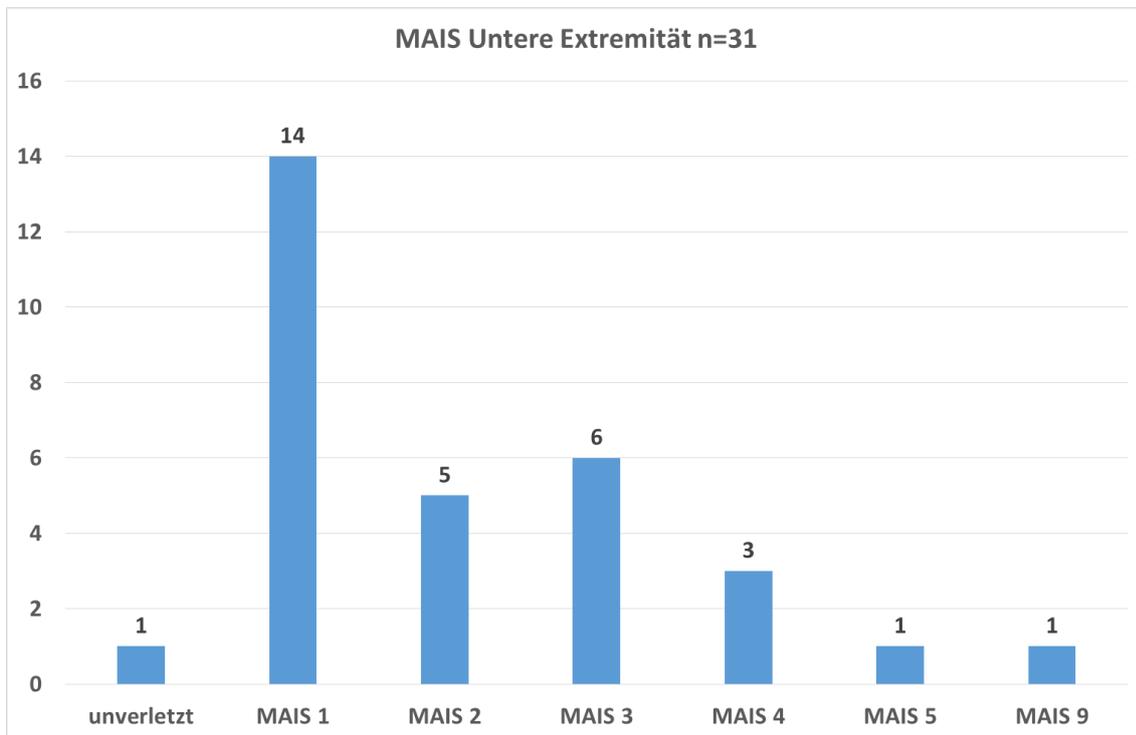


Abbildung 18 Häufigkeitsverteilung des MAIS (Untere Extremität) im Fallkollektiv

Die MAIS Werte (Untere Extremität) sind breit verteilt mit einer auffallenden Häufung des Schweregrads 1 (n=14). Somit kann Abbildung 18 entnommen werden, dass 64% (n=20) unverletzt bzw. mäßig bis gering im Bereich der unteren Extremität verletzt wurden. Schwere, sehr schwere und kritische Verletzungen konnten in 32% (n=10) der Fälle gefunden werden.

Tabelle 9 Verteilung Einzelverletzungen Untere Extremität Fallkollektiv

AIS Code (4stellig)	Verletzte Struktur/Art der Verletzung	Anzahl	Prozent von n=31
8104	Haut, Hämatom	25	81%
8102	Haut, Schürfung	14	45%
8106	Haut, Aufreißung	8	26%
8520	Fraktur Unterschenkel	7	23%
8561	Beckenringfraktur	7	23%
8108	Haut, Taschenbildung	4	13%
8530	Femurfraktur	2	6%
8532	Femurschaftfraktur	2	6%
8533	distale Femurfraktur	2	6%
8740	Kniegelenksverletzung	2	6%
8500	Fraktur untere Extremität	1	3%
8544	Fibulafraktur	1	3%
8562	Acetabulumfraktur	1	3%
9120	Brandverletzung NFS	1	3%

Hauptsächlich finden sich Hämatome und Schürfungen im Bereich der unteren Extremität, siehe Tabelle 9.

Anteil MAIS 3+ der Körperregionen

Abbildung 19 sind alle MAIS 3+ Anteile für die unterschiedlichen Körperregionen zu entnehmen.

98% der Unfallopfer waren in der Körperregion Thorax mit einem MAIS 3+ verletzt, Kopf, Abdomen und untere Extremität folgen in absteigender Reihenfolge.

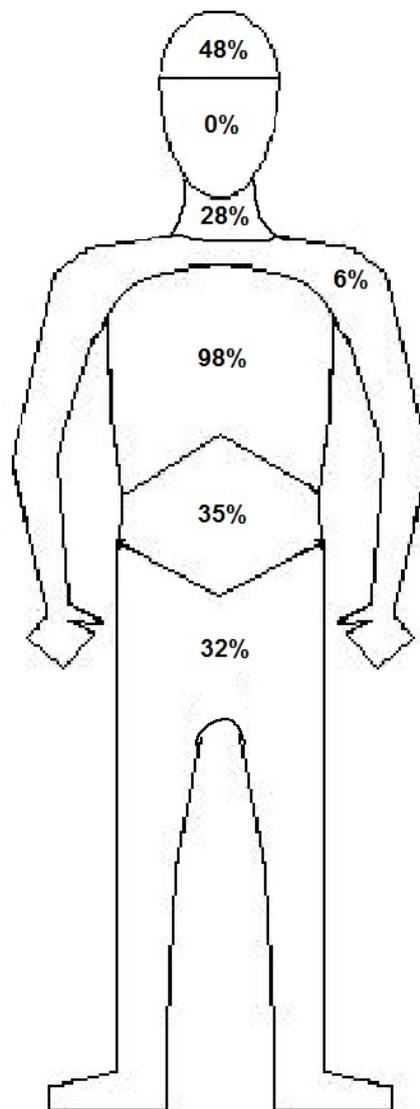


Abbildung 19 MAIS 3+ Anteil nach Körperregionen für das Fallkollektiv

3.2 Einzelfallanalysen

3.2.1 Einzelfall 1

3.2.1.1 Ausgangsdaten

Unfallvorgang

Im Zuge eines missglückten Überholmanövers kam es zur Frontalkollision zwischen dem PKW des Unfallverursachers und dem PKW (Ford Fusion/EZ 2008), in dem das Unfallopfer die Position hinten rechts hinter dem Beifahrer hatte. Die Insassin auf der Rücksitzbank rechts erlag noch am Unfallort ihren schwerwiegenden Verletzungen.

Beschädigungen und technische Bewertung

Es konnten für beide Fahrzeuge Deformationen festgestellt werden, die stimmig mit einem Frontalanprall mit nahezu 100 % Überdeckung in Einklang gebracht werden können. Die Fahrgastzelle blieb intakt.

Geschwindigkeiten

Für den Unfallverursacher wurde eine Kollisionsgeschwindigkeit von 65-85 km/h angegeben, sowie für das Fahrzeug des Unfallopfers im Bereich von 60-70 km/h.

Gurt

Eine Gurtsicherung des Unfallopfers konnte zweifelsfrei anhand des technischen Gutachtens und des Obduktionsberichts bestätigt werden. Die beschriebenen Gurtmarken aus dem Obduktionsbericht und dem verfügbaren Bildmaterial konnten einer Sitzposition hinten rechts zugeordnet werden.

Airbag

Keine Airbags auf den Rücksitzpositionen.

Obduktionsbericht

W, 80 Jahre, 168 cm, 80 kg; BMI 28,3 kg/m²

Diagnosen: Zerreißung lebenswichtiger innerer Organe, insbesondere des Herzens und der Krperhauptschlagader

Schwerste Verletzungen: Aufreißung Rückwand rechter Vorhof, Durchriss thorakale Aorta, Abriss V. cava inf.



Körperregion(en) MAIS: Thorax	
ISS: 30	
MAIS Kopf	-
MAIS Gesicht	-
MAIS Hals	-
MAIS Thorax	5
MAIS Abdomen	1
MAIS OEX	2
MAIS UEX	1

Bild 1 Einzelfall 1 Übersichtsaufnahme

Einzelverletzungen

Tabelle 10 Einzelverletzungen Einzelfall 1

AIS Code	AIS Code/Übersetzung	Obduktionsgutachten - Textauszüge
410402.1	Thorax, Hämatom	Im inneren unteren Quadranten der linken Brustdrüse in einem Bezirk von 8 x 6 cm eine blaugraue Verfärbung/Schürfungen
410202.1	Thorax, Hautschürfung	Im inneren unteren Quadranten der linken Brustdrüse in einem Bezirk von 8 x 6 cm eine blaugraue Verfärbung/Schürfungen
420210.5	Thorakale Aorta, Ruptur	Körperhauptschlagader am ausklingenden bogenförmigen Teil vollständig abgerissen, umgebende Dehnungsrisse
421204.3	Pulmonalvenen, Dehnungsrisse	Zahlreiche umblutete Dehnungsrisse an den Lungenvenen
421204.3	Pulmonalvenen, Dehnungsrisse	Zahlreiche umblutete Dehnungsrisse an den Lungenvenen
421204.3	Pulmonalvenen, Dehnungsrisse	Zahlreiche umblutete Dehnungsrisse an den Lungenvenen
421204.3	Pulmonalvenen, Dehnungsrisse	Zahlreiche umblutete Dehnungsrisse an den Lungenvenen
421806.4	V. cava inf., Ruptur	Die untere Hohlader abgerissen
441010.3	Herz, Einriss	Weiterer Riss unterhalb des ovalen Fensters von 3 cm Länge mit Umblutung
441013.5	Herz, Einriss Vorhof	An der Rückwand des rechten Herzvorhofes eine 4 cm lange Zerreißung, die Ränder kräftig eingeeblutet
441602.2	Perikard, Einriss	Der Herzbeutel ist über 10 cm linksseitig grob zerrissen
442200.3	Hämatothorax	Im Brustraum beidseits jeweils 50 ml flüssiges Blut
442200.3	Hämatothorax	Im Brustraum beidseits jeweils 50 ml flüssiges Blut
450203.3	Rippenfrakturen	Rechtsseitig Brüche der 1. bis 10. und linksseitig Brüche der 1. bis 12 Rippe, teils mit Durchspießungen
450804.2	Sternumfraktur	Brustbeinquerbruch zwischen dem Ansatz der 2. und 3. sowie der 3. und 4. Rippe mit kräftiger Umblutung
450804.2	Sternumfraktur	Brustbeinquerbruch zwischen dem Ansatz der 2. und 3. sowie der 3. und 4. Rippe mit kräftiger Umblutung
510402.1	Abdomen, Hämatom	In der Mitte eine breitstreifige, querverlaufende Hautverfärbung
510202.1	Abdomen, Hautschürfung	Seitlich des bandförmigen Hämatoms finden sich in diesem Hautbereich Schürfungen
710602.1	Obere Extremität, Hautrisse	An der rechten Schulter und in der rechten Schlüsselbeinregion finden sich blaue Verfärbungen, Einblutungen und insbesondere Dehnungsrisse
710602.1	Obere Extremität, Hautrisse	Risswunde an der Unterarmaußenseite links
750500.2	Clavicula, Fraktur	Schlüsselbeinbruch rechts
810402.1	Untere Extremität, Hämatom	Im unteren Drittel der Vorderseite des rechten Unterschenkels eine blaugraue Schwellung von 5 cm Durchmesser
810402.1	Untere Extremität, Hämatom	Lividverfärbung wie bei Einblutung in die Kniegelenk-vorderseite.
810202.1	Untere Extremität, Hautschürfung	In der Mitte rechter Unterschenkel eine 1 Cent Stück große Schürfung.
810402.1	Untere Extremität, Hämatom	Konfluente grobfleckige Blaugrauverfärbungen an der Außen- und Vorderseite des linken Unterschenkels.

3.2.1.2 Analyseergebnisse Einzelfall 1

Rekonstruktion

Sowohl dem Obduktionsbericht als auch dem verfügbaren Bildmaterial konnte entnommen werden, dass das Unfallopfer zweifelsfrei einen 3-Punkt-Sicherheitsgurt angelegt hatte. Die Lokalisation der Gurtmarken über den Spinae iliacae und die erlittene Fraktur der rechtsseitigen Clavicula zeigten, dass das Unfallopfer den Sicherheitsgurt korrekt angelegt hatte. Es fanden sich keine Verletzungen im Bauchraum bis auf die erwähnten Gurtmarken, ein Abrutschen des Gurtes bzw. eine Fehllage lag nicht vor.

Es fanden sich eindeutige Zeichen, die für eine heftige Rückhaltung sprechen. Hier sind im Besonderen die schweren Verletzungen herznaher Gefäße zu nennen, welche im Zuge einer heftigen Verzögerung durch eine effektive Rückhaltung ein typisches Dezelerationstrauma darstellen.

3.2.1.3 Diskussion Einzelfall 1

Der hier gezeigte Einzelfall soll als Musterbeispiel für eine korrekt angelegte Gurtsicherung dargestellt werden.

Auch wenn das Unfallopfer tödliche Verletzungen erlitt, kann zum Zeitpunkt des Unfalls von einem korrekt angelegten 3-Punkt-Sicherheitsgurt ausgegangen werden.

Auf der Übersichtsaufnahme sind klassische Gurtmarken erkennbar, die zu einer Sitzposition auf der rechten Seite eines Fahrzeugs passen, bei außen angeschlagenem Schultergurt wie im hier betrachteten Fahrzeug. Letztlich lässt sich anhand des Verlaufs der Gurtmarken lediglich die Sitzposition zwischen links und rechts unterscheiden, daher wird die Sitzposition mit den Angaben aus der polizeilichen Verkehrsunfallanzeige abgeglichen und bestätigt. Die Lokalisation der Gurtmarken präsentiert sich für den Schultergurt quer diagonal über den Brustkorb, von der Mitte des rechten Schlüsselbeins und weiter knapp unterhalb der linken Brustdrüse in Richtung des linken Beckenkamms. Die Zeichnung des Beckengurts lässt sich zwischen Bauchnabel und Schamhaargrenze im unteren Drittel mutmaßlich unterhalb der Spina iliaca anterior superior erkennen. Beschrieben werden solche Gurtmarken als bandartige Vertrocknungen und Einblutungen der Haut und Unterhaut durch Druck und tangentialer Bewegung des Sicherheitsgurts (Dettmeyer et al., 2019). Eine ähnliche Beschreibung der Gurtmarken ist dem Obduktionsbericht zu entnehmen, als bandartige Schürfwunden teilweise mit Einblutungen und Dehnungsrissen wurden diese Befunde dort festgehalten. Beidseitige Dehnungsrisse in den Leistenbeugen, können als Hinweis auf eine effiziente Rückhaltung durch den Beckengurt gesehen werden, wenn gurtbedingte Verletzungen der Abdominalregion fehlen. Der Gurt hat zwar einen knöchernen Angriffspunkt, eine leichte Scher- bzw. Rutschbewegung lässt sich aber nicht vermeiden. Diese wird verursacht durch die Trägheitsbewegung des gesamten Körpers bei gleichzeitigem Rückhalt des Beckens. Die auf das subkutane Fettgewebe wirkenden Schubbelastungen und die in der Hautebene wirkenden Zugbelastungen verursachen die sichtbaren Dehnungsrisse der Haut. Es ist für große Teile des Gurtverlaufs ein knöchernes Widerlager gegeben, wodurch eine effiziente Rückhaltung im Falle einer Frontalkollision ermöglicht wird.

Die durch den Gurt auf den Brustkorb und das Becken einwirkenden Kräfte können allerdings auch zu Verletzungen der genannten Strukturen führen.

Die schwersten Verletzungen mit einem MAIS 5 wurden im Bereich des Thorax gefunden. Rupturen des rechten Herzvorhofs, des Perikards sowie ein kompletter Abriss der thorakalen Aorta an loco

typico und der V. cava inf. können als Zeichen einer massiven Verzögerung im Sinne einer plötzlichen Abbremsung verstanden werden. Diese Art der Verletzungen finden sich bei Verkehrsunfällen häufig und stellen ein klassisches Dezelarationstrauma dar. Nach Creasy et al. (1997) sind die Hauptkräfte, die bei diesem Verletzungsmechanismus zu Schäden der aortalen Gefäße führen Scher- und Biegebeanspruchungen. Scherbewegungen kommen über eine unterschiedliche Relativbewegung des beweglichen Aortenbogens und der fixierten absteigenden Aorta zustande (Creasy et al., 1997). Ein weiterer möglicher Erklärungsansatz von Crass et al. (1990) stellt eine Druckkomponente auf aortale Strukturen, insbesondere des Isthmus zwischen knöcherner Thoraxvorderwand und Wirbelsäule in den Raum.

Verletzungen in Form von Mehrfachfrakturen der Rippen und Brüche des Sternums können zwanglos als Folge einer Krafteinwirkung durch den Brustgurt verstanden werden. Zu bedenken bleibt, dass es auch durch notfallmedizinische Maßnahmen wie zum Beispiel einer Herzdruckmassage ebenso zu Frakturen der Rippenstrukturen kommen kann. Da bei Reanimationsbedingten Frakturen im Besonderen die linke Seite und selten die Rippen 8 bis 12 betroffen sind, ist im vorliegenden Fall eher von Unfall bedingten Frakturen auszugehen (Bode & Joachim, 1987).

In allen anderen Körperregionen konnten entweder keine oder nur geringe bzw. mäßige Verletzungen gefunden werden. Somit lässt sich festhalten, dass die erlittenen und auch tödlichen Verletzungen durch eine Dezeleration verursacht wurden. Der Sicherheitsgurt soll die Wegstrecke, über die der Insasse am Dezelerationsvorgang teilnimmt, maximieren, um Krafteinleitungen zu generieren, die unterhalb der Belastungsgrenzen liegen (Kramer, 2009). Überschreiten die wirkenden Kräfte diese Grenze, d.h. muss der Körper zu stark verzögert werden, kann es zu Verletzungen kommen. Im vorliegenden Einzelfall scheint es aufgrund der Geschwindigkeiten der kollidierten Fahrzeuge und der damit einhergehenden heftigen Dezeleration/Verzögerung des Unfallopfers zu tödlichen Verletzungen gekommen zu sein.

3.2.2 Einzelfall 2

3.2.2.1 Ausgangsdaten

Unfallvorgang

Der Fahrzeuglenker steuerte einen mit insgesamt zwei Insassen besetzten PKW Mercedes A180 (BJ/EZ unbekannt) nach Überfahren eines Kreisverkehrs frontal gegen eine Hausmauer. Die Beifahrerin verstarb noch an der Unfallstelle.

Beschädigungen und technische Bewertung

Es konnten durch den Gutachter Beschädigungen am Fahrzeug festgestellt werden, die mit einem Frontalanprall in Einklang gebracht werden können. Die A-Säule und die Fahrgastzelle wiesen keine erkennbaren Verformungen auf.

Geschwindigkeiten

Die Kollisionsgeschwindigkeit wurde mit 45-50 km/h berechnet.

Gurt

Laut unfalltechnischem Gutachten war das Unfallfahrzeug sowohl auf der Fahrer- als auch auf der Beifahrerposition mit einem 3-Punkt-Automatik- Sicherheitsgurt mit Gurtstraffer ausgerüstet. Belastungsspuren an den Gurtschlosszungen beweisen eine Gurtsicherung für beide Sitzpositionen.

Airbag

Die Frontairbags wurden auf beiden Positionen vorne ausgelöst.

Obduktionsbericht Beifahrerin

W, 73 Jahre, 167cm, 67kg; BMI 24 kg/m²

Diagnosen: Schweres stumpfes Brustkorbtrauma, sowie Bauchtrauma

Schwerste Verletzungen: Aufreißung des Herzens in Höhe der Vorhöfe, Rippenserienfrakturen, Leber und Milzzerreißen

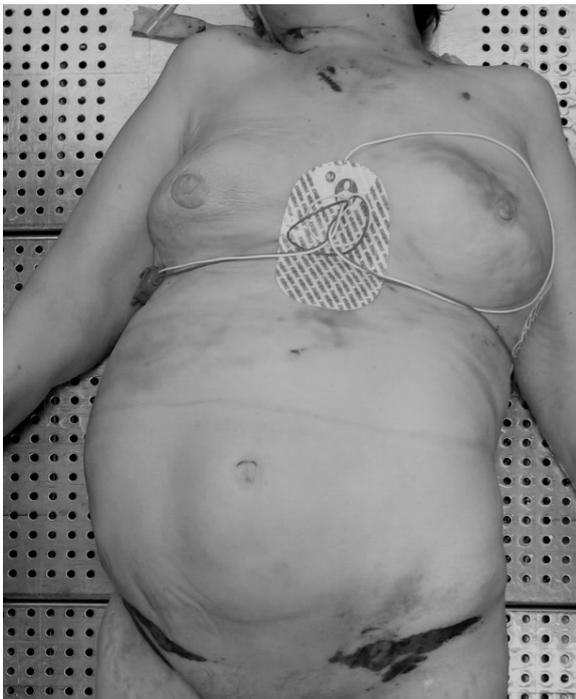


Bild 2 Einzelfall 2 Übersichtsaufnahme

Körperregion(en) MAIS: Thorax	
ISS: 45	
MAIS Kopf	1
MAIS Gesicht	-
MAIS Hals	2
MAIS Thorax	5
MAIS Abdomen	4
MAIS OEX	2
MAIS UEX	1

Einzelverletzungen

Tabelle 11 Einzelverletzungen Einzelfall 2

AIS Code	AIS Code/Übersetzung	Obduktionsgutachten - Textauszüge
110402.1	Kopfprellung	Die Kopfschwarte mit zwei Einblutungen
110402.1	Kopfprellung	In der Kopfschwarte der zentralen Stirnregion mit Einblutung (0,5cm)
340208.3	Larynxfraktur	Das obere rechte Kehlkopfhorn gebrochen
650216.2	Halswirbelkörperfraktur	An der Wirbelsäule finden sich Frakturen des 7. Halswirbelkörpers klaffend
410802.1	Taschenbildung Haut/Unterhaut Thorax	Zentral über dem Brustbein zeigt sich eine Taschenbildung unter der Gurtmarke im Unterhautfettgewebe
420208.4	Verletzung Aorta thoracalis	Oberhalb der Klappenebene der Aortenklappe eine quer gestellte 2 cm messende Aufreißung der Aorta
421206.5	Verletzung V. pulmonalis	Links ist die obere Lungenvene komplett abgerissen
441013.5	Verletzung Herz (Myokard)	Zwischen beiden Vorhöfen findet sich eine klaffende Aufreißung auf einer Höhe von 3 cm
441451.4	Verletzung Lungenparenchym	Im Bereich der Lungenunterlappen (rechts > links) vorderseitig tiefgreifende Parenchymverletzungen
441602.2	Verletzung Perikard	Der Herzbeutel rechtsseitig breit aufgerissen
442200.3	Hämatothorax	In der rechten Brusthöhle ca. 200 ml mit Fettaugen belegtes flüssiges Blut
442205.3	Hämatopneumothorax	In der linken Brusthöhle finden sich 200 ml mit Fettaugen belegtes flüssiges Blut, Luftbrust linksseitig
450214.5	Rippenfrakturen	re: Rippen 1 bis 12 gebrochen; 6 bis 12 direkt am Wirbelsäulenansatz frakturiert. li: Rippen 1 bis 11 mehrfach frakturiert
450804.2	Sternumfraktur	Sternum zentral vielfach gebrochen
650416.2	Brustwirbelkörperfraktur	Fraktur 12. Brustwirbelkörper klaffend
510804.2	Taschenbildung Haut/Unterhaut Abdomen	In der zentralen Mittel-/Unterbauchregion zeigt sich eine großflächige Taschenbildung, Hautunterminierung (50cm)
510402.1	Abdomen, Hämatom	Im Oberbauch zentral und auf die rechte seitliche Flankenregion ziehend findet sich eine streifig-rötliche Hautverfärbung mit einer Gesamtlänge 42 cm und einer Höhe von bis zu 6 cm, offenbar weitere Gurtmarke
510202.1	Abdomen, Schürfung	In beiden Leistenregionen honiggelbe annähernd quer gestellte Hautvertrocknungsbezirke, von je ca. 16:4 cm
541826.4	Verletzung Leber	Oberfläche/Rückseite des linken Leberlappens zeigen sich tiefgreifende Zerstörungen des Gewebes
544224.3	Verletzung Milz	Die Milz mit zahlreichen teils oberflächlichen, teils auch tiefgreifenden Verletzungen
752311.2	Fraktur distaler Radius	Das Handgelenk rechtsseitig in deutlicher Fehlstellung. Der Speichenkopf zertrümmert
810402.1	Hämatom	An der Innenseite des rechten Knies Hämatom mit einer Breite von 6 cm und einer Höhe von 5 cm
810402.1	Hämatom	An der Streckseite des linken Unterschenkels ein Hämatom 0,8 x 0,3 cm

3.2.2.2 Analyseergebnisse Einzelfall 2

Rekonstruktion

Im dargestellten Fall fanden sich starke Hinweise, die für ein Submariningphänomen sprechen: Gurtmarken der Oberbauchregion, Leber und Milzrupturen, eine Fraktur des 12. Brustwirbels, Taschenbildung in der Unterbauchregion, sowie Dehnungsrisse der Leistengegend. Verletzungen thorakaler Strukturen wie Aorta thoracalis, Vena pulmonalis, Perikard und Myokard können auch im Zuge einer Beckengurteinwirkung beim Submarining entstehen, sind aber auch typische Verletzungen die durch starke Dezelerationsvorgänge ohne Beckengurtinteraktion entstehen.

Dies bedeutet, dass die Insassin mutmaßlich unter dem korrekt angelegten Beckengurt hindurchrutschte (Taschenbildung Unterbauch, Dehnungsrisse über den Leisten), der Beckengurt im Bauchraum/Rippenbogen (Gurtmarke) zu einer starken Rückhaltung (Fraktur BWK 12) führte und direkten Druck auf die Bauchorgane ausübte (Leber- und Milzruptur). Durch die intraabdominelle Druckerhöhung im Zusammenhang mit der Abbremsung auch durch den Schultergurt kam es zu den Abrissen der thorakalen Strukturen.

3.2.2.3 Diskussion Einzelfall 2

Es konnten klar definierte Gurtmarken am Thorax, wie sie zum Beispiel als Beifahrer bei einer Frontalkollision entstehen, nachgewiesen werden. Soweit beurteilbar lässt sich bzgl. der Krafteinwirkung des Brustgurtes ableiten, dass dieser mutmaßlich an richtiger Stelle lag und dort auch eine effiziente Rückhaltung der Insassin ermöglichte. In der Körperregion Thorax ist der MAIS mit einem Schweregrad von 5 angegeben, welches einer kritischen Verletzungsschwere entspricht. Tabelle 11 sind alle Einzelverletzungen des Unfallopfers zu entnehmen. Hier zeigen sich mehrfache Frakturen des Sternums und der Rippen, teils auch in mehreren Ebenen. Zwar beschreibt Kramer (2009) unterschiedliche Arten von Rippenfrakturen unterteilt nach Verletzungsmechanik, jedoch lassen sich die Verletzungen am knöchernen Thorax nicht mehr eindeutig einem Mechanismus zuordnen, da es auch bei einer längeren kardiopulmonalen Reanimation zu erheblichen Verletzungen des Brustkorbs kommen kann. Mutmaßlich dominiert bei diesem Mechanismus eine Verletzung der linksseitigen Rippen (Bode & Joachim, 1987). Ob nun die Rippenstück- und Serienfrakturen durch die Krafteinleitung des Brustgurtes oder die Thoraxkompression entstanden sind, dürfte sich letztlich nicht mit Sicherheit klären lassen. Frakturen einzelner Wirbelkörper können durch eine Hyperflexion um den Beckengurt im Zuge eines Submarinings oder durch eine Kombination aus Flexion und Kompression aufgrund starker Krafteinwirkung über den Schultergurt bedingt sein (Schmitt et al., 2020a).

Die beschriebenen Verletzungen der Brustorgane, beispielhaft ein quer verlaufender Einriss der Aorta knapp oberhalb der Klappenebene, lässt sich mit einer Krafteinbringung durch Strukturen des Sicherheitsgurts in Einklang bringen. Für verschiedene Abschnitte der thorakalen Aorta werden unterschiedliche Mechanismen diskutiert. Einrisse der Aorta ascendens kurz über der Klappenebene werden mit Torsionsbewegung der Aorta in Verbindung gebracht, welche durch eine Verlagerung des Herzens während der Krafteinwirkung ausgelöst wird und somit einer typischen Dezelerationsverletzung entspricht. Auch wird ein sogenannter Wasserhammer Effekt postuliert, der durch plötzliche intraaortale Druckspitzen Verletzungen der Aorta auslösen soll (Creasy et al., 1997).

Die schwersten Verletzungen im Bauchraum waren in den Oberbauchorganen, der Leber und der Milz, zu finden. In Bild 2 lässt sich knapp unterhalb des Rippenbogens eine bandförmige Verfärbung, ähnlich dem typischen Muster einer Gurtmarke erkennen. Diese Lokalisation ist für einen korrekt angelegten Sicherheitsgurt untypisch.

Die typische Lokalisation einer Bauchgurtmarke ist der Bereich unterhalb der Cristae iliacae zwischen den Spinae iliacae anteriores superiores.

Geht man von einem ursprünglich korrekt angelegten Gurt aus, könnte man nun schlussfolgern, dass der Beckengurt im Verlauf der Rückhaltung bzw. Krafteinleitung vom knöchernen Teil des Beckens und somit vom festen Widerlager abgerutscht ist.

Hautaufreißungen wie sie in der Übersichtsaufnahme zu sehen sind, wurden bereits als Hinweis auf einen korrekt liegenden Gurt genannt. Durch die Trägheitsbewegung des gesamten Körpers bei zumindest anfänglicher Rückhaltung des Beckens, kommt es durch Schub- und Zugbelastungen auf Haut und Unterhautfettgewebe zu Hauteinrissen. Somit können uns diese Verletzungen einen Hinweis liefern, dass der Sicherheitsgurt am Becken zumindest primär an richtiger Stelle angelegt war und Kontakt zum knöchernen Becken hatte. Aufgrund des gefundenen Verletzungsmusters und der sichtbaren Gurtmarken, ist davon auszugehen, dass der Beckengurt über die Cristae iliacae abrutschen konnte und unterhalb des Rippenbogens von einem weiteren Abgleiten gehindert wurde. Es ist ersichtlich, dass es dort zu einer massiven Krafteinleitung Richtung dorso/kranial und somit in Richtung Oberbauchorgane gekommen ist. Die Verletzungen der Oberbauchorgane könnten anhand dieses Ablaufs erklärt werden.

Es gibt mehrere Erklärungsansätze wie es zu diesem Phänomen kommen konnte. Submarining entsteht durch ein Abrutschen des Bauchgurtes vom knöchernen Becken in Richtung Weichteilregion des Abdomens. Eine veränderte Rücksitzlehne im Sinne eines vergrößerten Neigungswinkels ist ein Risikofaktor für Submarining (Rawska et al., 2020).

Rawska et al. (2020) postulieren insbesondere für Insassen mit kleiner Körpergröße und geneigter Sitzlehne ein deutlich erhöhtes Risiko, ein Submarining zu erleiden. Aus den polizeilichen und staatsanwaltlichen Akten lässt sich keine veränderte Position der Rückenlehne nachweisen. Mutmaßlich wurde zwar der gesamte Sitz zur Bergung der Verunfallten nach hinten bewegt, allerdings finden sich keine Anhaltspunkte, dass unmittelbar vor dem Kollisionszeitpunkt die Rückenlehne weiter nach hinten geneigt war. Im gezeigten Fall ist aufgrund der Dehnungsriss in beiden Leistenbeugen von einer initialen Lage des Beckengurtes am knöchernen Becken auszugehen. Möglicherweise lag der Beckengurt zu locker am knöchernen Teil des Beckens an oder die Neigung des Unfallopfers im Sitz war ursächlich für ein Abrutschen in den Bauchraum.

3.2.3 Einzelfall 3

3.2.3.1 Ausgangsdaten

Unfallvorgang

Gezeigt wird eine Frontalkollision zwischen einem Porsche Boxter S Cabrio (Fahrer) und einem Opel Astra (Fahrer und Beifahrerin), wobei das im Verlauf verstorbene Unfallopfer, Insassin im Fahrzeug Opel Astra (BJ/EZ unbekannt) war. Durch ein nach links gerichtetes Lenkmanöver auf die Fahrspur des entgegenkommenden Opel Astra kam es zur Frontalkollision der beiden Fahrzeuge. Die Beifahrerin verstarb noch am selben Tag trotz intensivmedizinischer Behandlung.

Dem vorliegenden Unfallanalytischen Gutachten war für das Fahrzeug des Unfallopfers nur wenig Information zu entnehmen, da das Augenmerk auf dem Unfallverursacher lag.

Beschädigungen und technische Bewertung

Durch den Gutachter konnten Beschädigungen festgestellt werden, die sich mit einem Frontalanprall in Einklang bringen lassen. In diesem Fall ist die Fahrgastzelle ebenso wie die A-Säule unversehrt.

Geschwindigkeiten

Dem Gutachten konnte entnommen werden, dass aufgrund fehlender Dokumentation der PKW-Endpositionen eine exakte Geschwindigkeitsbetrachtung nicht möglich war und die Geschwindigkeitsbetrachtung somit nur in groben Grenzen erfolgen konnte.

Es wurde durch den Gutachter von einer vergleichbaren Höhe der Kollisionsgeschwindigkeiten für beide Fahrzeuge ausgegangen und dieser Bereich auf 40-60 km/h festgelegt.

Gurt

Dem technischen Gutachten war keine detaillierte Auflistung der Fahrzeugsicherheitsausstattung für das KFZ Opel Astra zu entnehmen. Auch gab es keine dokumentierten technischen Nachweise über die Benutzung der Gurtsicherung. In der polizeilichen Verkehrsunfallanzeige war für alle Beteiligten Insassen beider Fahrzeuge die Nutzung der Gurtsicherung als Feststellung vermerkt.

Airbag

Auch diese Information war nicht im technischen Gutachten dokumentiert. Auf den vorhandenen Bildern in der staatsanwaltlichen Ermittlungsakte war der Innenraum nicht abgebildet.

Obduktionsbericht Beifahrerin

W, 66 Jahre, 162cm, 69kg, BMI 26 kg/m²

Diagnosen: Polytrauma, führend abdominell

Schwerste Verletzungen: Einriss der Bauchaorta, Abriss der Beckenarterie



Bild 3 Einzelfall 3 Übersichtsaufnahme

Körperregion(en) MAIS: Abdomen	
ISS: 34	
MAIS Kopf	3
MAIS Gesicht	1
MAIS Hals	1
MAIS Thorax	3
MAIS Abdomen	4
MAIS OEX	1
MAIS UEX	1

Einzelverletzungen

Tabelle 12 Einzelverletzungen Einzelfall 3

AIS Code	AIS Code/Übersetzung	Obduktionsgutachten/Textauszüge
110402.1	Kopfprellung	Die Kopfschwarte mit einer geringen sulzigen Unterblutung von 4-6 cm im Bereich der rechten Scheitelhöhe
140651.3	Subdurales Hämatom	Fleckförmiger Unterblutung der harten Hirnhaut im rechtsseitigen Scheitelpol, Durchmesser 5 cm
210402.1	Hämatome im Gesicht	An der linken Augenbraue sprenkelförmige, rötlich-livide Einblutungen, Einblutungen auch im Bereich der li. Wange
243099.1	Hämatome Lippe	An der Umschlagsfalte die Oberlippe zentral mit fleckförmigen Einblutungen
310202.1	Hautschürfung Halsbereich	Rechtsseitige Halsvorder- und Unterseite bis zur linken Brustdrüse hin streifige Rötungen/Vertrocknungen
410402.1	Hämatom Thorax	Im Bereich der li. Brustseite in eine flächige, rund 20 cm lange und bis zu 8 cm breite Einblutung übergehend
410402.1	Hämatom Thorax	Die gesamte li. Außenseite von der Brustwandregion bis zum großen Rollhügel, bräunlich-livide verfärbt
441410.3	Hämatom/Lungenzerrung	Zerrungsblutungen beidseits am Hilus, keine perforierenden Verletzungen
441602.2	Verletzung Perikard	Der Herzbeutel rechtsseitig aufgerissen
442200.3	Hämatothorax	In beiden Brusthöhlen ca. 150 ml rot-bräunliche Flüssigkeit, deutlich dünner als Blut
442200.3	Hämatothorax	In beiden Brusthöhlen ca. 150 ml rot-bräunliche Flüssigkeit, deutlich dünner als Blut
450203.3	Rippenfrakturen	Brustkorb regelwidrig beweglich, Frakturen der Rippen 1 und 2 rechts paravertebral, links Rippen 1 bis 12
450804.2	Sternumfraktur	Das Brustbein zwischen den Ansätzen der Rippen 3 und 4 quer frakturiert
510402.1	Hämatom Abdomen	Über dem Nabel eine quer verlaufende Einblutung. Marke vom re. Schulterpunkt über die li. Brust, vom li. zum re. Becken, wie bei Tragen eines Gurtes
510402.1	Hämatom Abdomen	Die linke Außenseite von der Brustwandregion bis zum großen Rollhügel reichend, flächig bräunlich-livide verfärbt und geschwollen
520206.4	Verletzung Aorta abdominalis	Die Bauchschlagader knapp oberhalb der Gabelungsstelle mit einem 2/3 des Umfangs ausmachenden Einriss der Wandung
520608.4	Verletzung A. iliaca	Kompletter Abriss der linken Beckenarterie knapp nach der Gabelungsstelle, auch hier massive Unterblutung der Weichteile
540610.2	Einblutung Harnblase	Die Harnblasenschleimhaut blass, mit kleinfleckigen Einblutungen
542024.3	Verletzung Darmgekröse Einriss/Blutung	Gekröse des Darms mehrfach eingerissen und eingeblutet

650605.3	Verletzung Zwischenwirbelscheibe	Die Wirbelsäule zwischen LWK 3 und 4 regelwidrig beweglich, hier die Weichteile größtenteils durchtrennt, die Zwischenwirbelscheibe eingerissen
650620.1	Fraktur Querfortsatz LWK 4	Die Querfortsätze rechtsseitig an LWK 4 und 5 abgebrochen, ebenfalls eingeklebt.
650620.1	Fraktur Querfortsatz LWK 5	Die Querfortsätze rechtsseitig an LWK 4 und 5 abgebrochen, ebenfalls eingeklebt
710202.1	Schürfung Schulterbereich	Vom rechten Schulterpunkt über die rechtsseitige Halsvorder- und Unterseite bis zur linken Brustdrüse hin streifige Rötungen und Verlocknungen
710402.1	Hämatom Hand	Rechtsseitig flächige Einblutung im Verlauf des I. und II. Strahls über die gesamte Handrückseite
710802.1	Taschenbildung Schulterbereich	Im Bereich der linken Schulterregion, unter der bandartigen Einblutung, eine Taschenbildung
772099.1	Fraktur Ellbogengelenk	Der Arm im Ellenbogenbereich regelwidrig beweglich, nach dorsal zu überstrecken. Beim Betasten hier leichtes Knochenknirschen
810402.1	Hämatom untere Extremität	Blasse Blaulividverfärbung der li. Kniegelenkregion und Unterschenkelvorderseite, sprengelförmige
810402.1	Hämatom untere Extremität	Blau-livide Einblutungen über li. Knie und re. Schienbein
856161.3	Beckenfraktur	Das linke Kreuzdarmbein gelenk gelockert, Fraktur des re. vorderen Schambeinastes mit Fraktur. Sprengung der Kreuzdarmbeinverbindung li.
874099.1	Fraktur Kniegelenk	Regelwidrige Beweglichkeit des rechten Kniegelenks

3.2.3.2 Analyseergebnisse Einzelfall 3

Rekonstruktion

Es ist von einer nicht korrekten Gurtsicherung auszugehen. Hinweisend sind eine oberhalb des Nabels in der Mittelbauchregion befindliche Gurtmarke, sowie ein führend abdominelles Verletzungsmuster mit Einriss der Aorta abdominalis und Abriss der A. iliaca communis. Dieses Verletzungsmuster lässt sich mit einer Krafteinleitung durch den Sicherheitsgurt in Zusammenhang bringen. Man kann schlussfolgern, dass es entweder zu einem Submarining-Phänomen gekommen ist oder der Beckengurt initial bereits an falscher Stelle lag.

Am wahrscheinlichsten ist hier aufgrund fehlender gurtassoziierter Hautzeichnungen von einer sogenannten Lageanomalie, im Sinne eines initial zu hoch angelegtem Sicherheitsgurt auszugehen.

3.2.3.3 Diskussion Einzelfall 3

Die erkennbaren Gurtmarken wurden von den Obduzenten als klassische Gurtmarken, wie sie auf der Sitzposition des Beifahrers oder der Sitzposition rechts im Fond entstehen, beschrieben. Es kann anhand der Gurtmarke nicht zwischen Beifahrer und Insasse im Fond rechts unterschieden werden, die Information über die exakte Sitzposition konnte der polizeilichen Akte entnommen werden.

Der Brustgurt zeichnet an typischer Stelle, die Verletzungen des Thorax können ungezwungen mit einer effizienten Gurtrückhaltung durch den Brustgurt in Einklang gebracht werden.

Zerrungsblutungen an den Lungenhili und eine Verletzung des Perikards zusammen mit Frakturen der Rippen linksseitig eins bis zwölf und rechtsseitig der Rippen eins und zwei können durch eine Krafteinleitung des Brustgurtes an loco typico entstehen. Die Verletzungen der Rippenstrukturen und die Fraktur des Sternums zwischen dritter und vierter Rippe, lassen sich ebenfalls schlüssig mit Begleitverletzungen durch eine kardiopulmonale Reanimation erklären wie bereits Bode et. al darstellten (Bode & Joachim, 1987). Somit bleibt eine Restunsicherheit, durch welchen Mechanismus die thorakalen Verletzungen entstanden sind.

Wie Bild 3 zu entnehmen, zeichnet der Bauchgurt knapp oberhalb des Nabels in der Mittelbauchregion. Die Gurtzeichnung an untypischer Stelle gibt einen Hinweis auf eine ineffiziente Gurtrückhaltung bzw. dass die Verletzungen der Abdominalregion durch eine Krafteinleitung des Gurts entstanden sein könnten. Die Körperregion Abdomen wurde mit einem MAIS 4 als schwerste verletzte Körperregion codiert.

Ein Einriss der Aorta abdominalis knapp oberhalb der Gabelungsstelle und ein Abriss der A. iliaca communis sinistra lassen sich mit einer Intrusion durch den Beckengurt erklären. Verletzungen intraabdomineller Organe in Kombination mit Wirbelsäulenverletzungen der Lendenwirbelsäule in Zusammenhang mit einer Beckengurtnutzung wurde durch Vandersluis und O'Connor (1987) beschrieben. Perry et al. (2000) beschreiben eine „Verletzungstrias“ aus Flexions-Distraktionsfrakturen der LWK, Verletzungen intraabdomineller Organe/Mesenterien und Verletzungen der Aorta abdominalis. Der postulierte Verletzungsmechanismus wird als Hyperflexion um den Beckengurt beschrieben. Die gefundenen Verletzungen im hier gezeigten Einzelfall lassen eine gewisse Übereinstimmung vermuten. Regelwidrige Beweglichkeit der LWK 3/4 mit Weichteildurchtrennungen und Einriss der Zwischenwirbelscheibe, sowie Verletzungen mesenterialer Strukturen sowie Ein- bzw. Abriss der Aorta abdominalis und der A. iliaca communis können durch die beschriebene Hyperflexionsbewegung um den Beckenteil des Sicherheitsgurtes entstanden sein.

Hautaufreißungen in der Leistenregion, die einen Hinweis auf die initiale Lage des Gurtes geben könnten, wurden in diesem Fall nicht gefunden. Unwahrscheinlich ist somit eine starke Rückhaltewirkung zu Beginn mit nachfolgendem Abrutschen wie in Fall 2 gezeigt werden konnte, jedoch lässt sich dieser Mechanismus nicht mit letzter Sicherheit ausschließen.

Möglicherweise war der Gurt initial in korrekter Lage angebracht, jedoch mit zu großer Gurtlose und somit de facto nicht korrekt angelegt. Eine wahrscheinlichere Möglichkeit stellt ein nicht an richtiger Stelle angelegter Gurt dar, somit konnte es nicht am knöchernen Becken, sondern in der Weichteilregion des Mittelbauchs zur Gurtrückhaltung und Krafteinleitung kommen. Reed et al. (2012) konnten einen Zusammenhang zwischen inkorrektur Beckengurτανlage und Adipositas zeigen, sodass dieser Zusammenhang auch im gezeigten Fall bei einem BMI von 26 kg/m^2 möglich scheint. Dass es zu einer Vorwärtsbewegung auf dem Beifahrersitz mit Anprall an Strukturen des Armaturenbretts kam, ist aufgrund des Verletzungsmusters der Kniegelenke und des Beckengürtels wahrscheinlich. Dieses Verletzungsmuster des Beckengürtels wird nach Kramer (2009) typischerweise bei Frontalkollisionen mit von vorne nach hinten gerichteter Belastung beobachtet.

Aufgrund der plötzlichen kollisionsbedingten Verzögerung kam es zur relativen Vorwärtsbewegung auf dem Beifahrersitz Richtung Armaturenbrett und zum Anstoß durch die untere Extremität. Diese Verletzungen lassen sich mit einer unzureichenden Rückhaltung durch einen nicht korrekt angelegten Beckengurt erklären.

3.2.4 Einzelfall 4

3.2.4.1 Ausgangsdaten

Unfallvorgang

Frontalkollision zwischen einem PKW VW Polo besetzt mit einem Fahrer und einem PKW Fiat 187 (BJ/EZ unbekannt) besetzt mit Fahrer und Beifahrer. Das Unfallopfer war Beifahrerin im PKW Fiat 187.

Der Fahrer des PKW Polo steuerte sein Fahrzeug auf die Fahrs pur des KFZ Fiat 187 und kollidierte dort mit diesem frontal.

Da der staatsanwaltlichen Akte kein unfallanalytisches Gutachten beigefügt war, beziehen sich alle im Folgenden angegebenen Informationen auf die polizeiliche Verkehrsunfallanzeige, Lichtbilder und Zeugenaussagen aus der Ermittlungsakte.

Das Unfallopfer verstarb trotz zeitnaher intensivmedizinischer Versorgung.

Beschädigungen/technische Bewertung

Aufgrund fehlender unfalltechnischer Gutachten wurde auf Bildmaterial aus der Akte zurückgegriffen.

Am Unfallfahrzeug konnten Spuren eines rechtsseitigen Frontalanpralls erkannt werden, die Fahrgastzelle blieb intakt.

Geschwindigkeiten

Der polizeilichen Zeugenvernehmung konnte die Geschwindigkeitsangabe lediglich für das Fahrzeug, in dem sich das Unfallopfer befand, entnommen werden.

Der Fahrer des Unfallfahrzeugs gab an, mit einer Geschwindigkeit von 40-45 km/h innerorts gefahren zu sein. Für den Unfallverursacher konnte keine Geschwindigkeitsangabe entnommen werden.

Gurt

Der polizeilichen Verkehrsunfallanzeige konnte die Nutzung der Gurtsicherung für die Sitzposition der Beifahrerin im PKW Fiat 187 entnommen werden.

Das Unfallopfer war demnach mit einem 3-Punkt-Sicherheitsgurt angegurtet.

Airbag

Auf dem verfügbaren Bildmaterial ließ sich für beide Positionen, Fahrer wie Beifahrer, eine Auslösung des Airbags feststellen.

Obduktionsbericht Beifahrerin

W, 74 Jahre, 151cm, 75kg, BMI 33 kg/m²

Diagnosen: massives Brust- und Bauchtrauma mit umfangreichen Einblutungen in die Körperhöhlen

Schwerste Verletzungen: Rippenserienfrakturen mit Hämatothorax, Milzruptur



Bild 4 Einzelfall 4 Übersichtsaufnahme

Körperregion(en) MAIS: Thorax	
ISS: 29	
MAIS Kopf	0
MAIS Gesicht	1
MAIS Hals	0
MAIS Thorax	4
MAIS Abdomen	3
MAIS OEX	1
MAIS UEX	9

Einzelverletzungen

Tabelle 13 Einzelverletzungen Einzelfall 4

AIS Code	AIS Code/Übersetzung	Obduktionsgutachten- Textauszüge
210202.1	Gesichtshautschürfung	Am Nasenrücken eine kleine, schürferartige Oberhautläsion
410402.1	Hämatom Thorax	Vom rechten Schulterpunkt über die li. Brustdrüse verlaufende Einblutungen bis zu 6 cm
441002.1	Herzkontusion	Deutliche, 5 cm durchmessende Einblutung an der Rückseite des rechten Vorhofes
442200.3	Hämatothorax	In der rechten Brusthöhle 300 ml flüssiges Blut
442200.3	Hämatothorax	In der linken Brusthöhle 400 ml flüssiges Blut
450203.3	Rippenfrakturen	Linksseitig Frakturen der Rippen I bis IX in Höhe der mittleren Schlüsselbeinlinie
450213.4	Rippenfrakturen	Rechtsseitig Frakturen Rippen II bis XII in Höhe der mittleren Schlüsselbeinlinie, sowie Rippen I bis VIII paravertebral
450804.2	Sternumfraktur	Zwischen den Ansätzen der Rippen II und III quer gebrochen
450804.2	Sternumfraktur	Zwischen den Ansätzen der Rippen V und VI quer gebrochen
510402.1	Hämatom Abdomen	Streifige Einblutung des Unterbauches quer über den Mittelbauch knapp oberhalb der Nabelregion Einblutungen
510802.1	Taschenbildung Abdomen	Es finden sich auch abscherungsartige Taschenbildungen, insbesondere im Bereich des rechten Unterbauches
541612.2	Einblutung Niere	Nierenbecken rückseitig beidseits eingeblutet
541612.2	Einblutung Niere	Die linke Niere im Hilusbereich mit streifigen Einblutungen
542010.2	Einblutungen Darmgekröse	Schleimhaut, Wandung und seröser Überzug und Gekröse des Darms streifige Einblutungen
544224.3	Milzverletzung	Mehrere, in die Tiefe reichende Einrisse auf, z. T. gedeckt mit Blutgerinnseln

650620.1	LWK Querfortsatz Fraktur	Querfortsätze der Lendenwirbelsäule rechts frakturiert, auch hier massive Unterblutungen
650620.1	LWK Querfortsatz Fraktur	Querfortsätze der Lendenwirbelsäule rechts frakturiert, auch hier massive Unterblutungen
650620.1	LWK Querfortsatz Fraktur	Querfortsätze der Lendenwirbelsäule rechts frakturiert, auch hier massive Unterblutungen
650620.1	LWK Querfortsatz Fraktur	Querfortsätze der Lendenwirbelsäule rechts frakturiert, auch hier massive Unterblutungen
650620.1	LWK Querfortsatz Fraktur	Querfortsätze der Lendenwirbelsäule rechts frakturiert, auch hier massive Unterblutungen
710402.1	Hämatom Obere Extremität	Ausgeprägte streifige blaulivide Unterblutungen am re. Schulterpunkt. Im Bereich der re. Schulterhöhe Einblutungen
810202.1	Hautschürfung untere Extremität	Rechts im Zentrum der Einblutungen eine Oberhautschürfung. Über dem Trochanter Schürfung
810402.1	Hämatom untere Extremität	Oberschenkelrückseite li. flächige Hämatome. Hämatome im Bereich der Knie- und Unterschenkelregion beidseits
810402.1	Hämatom untere Extremität	Am Fußrücken rechts flächige Einblutung
810802.1	Taschenbildung untere Extremität	Es finden sich auch abscherungsartige Taschenbildungen u.a. in der rechten Hüftregion, unter der Einblutung
850099.9	Fraktur untere Extremität	Die Knie beidseits stark regelwidrig beweglich. Beim Betasten Knochenreiben
850099.9	Fraktur untere Extremität	Die Knie beidseits stark regelwidrig beweglich. Beim Betasten Knochenreiben
852002.2	Fraktur Unterschenkel	Die Sprunggelenksregion links deutlich regelwidrig beweglich mit deutlichem Knochenknirschen
874030.2	Patellaluxation	Beim Betasten des rechten Knies zeigt sich die rechte Kniescheibe nach außen verschoben.

3.2.4.2 Analyseergebnisse Einzelfall 4

Rekonstruktion

Es fanden sich Hinweise für eine nicht korrekte Gurtsicherung. Der Verlauf der Gurtmarken und die im Folgenden genannten Verletzungen lassen ein Submarining Phänomen plausibel erscheinen. Eine Taschenbildung der Unterbauchregion, Gurtmarken in der Mittelbauchregion, Einblutungen in mesenteriale Strukturen sowie in Darmanteile, Verletzungen der Milz und Frakturen der Lendenwirbelsäule sind starke Hinweise einer Beckengurtinteraktion. Frakturen beider Kniegelenke sind die Konsequenz einer Beckengurtinteraktion mit Vorwärtsbewegung auf dem Sitz und Anprall an formfesten Innenstrukturen.

3.2.4.3 Diskussion Einzelfall 4

In Zusammenschau der durch die Obduzenten dokumentierten Verletzungen, lässt sich vorausgeschickt festhalten, dass das Unfallopfer mit einem 3 Punkt Sicherheitsgurt gesichert war. Die Gurtmarke ließ sich nach Abgleich mit der staatsanwaltlichen Ermittlungsakte der Sitzposition auf dem Beifahrersitz zuordnen.

Die Verletzungen der Körperregion Thorax können mit einer Schultergurtinteraktion erklärt werden.

Das Sternum ist zwischen den Ansätzen der Rippen zwei und drei sowie der Rippen vier und fünf mit kräftiger Umblutung quer gebrochen. Dieses Verletzungsmuster lässt sich mit einer Krafteinleitung durch den Brustteil des Gurtsystems laut Segura Novoa (2018) erklären, kann jedoch auch wie hinlänglich bekannt, Folge einer kardiopulmonalen Reanimation sein (Buschmann & Tsokos, 2008).

Es fanden sich links und rechtsseitig Frakturen der Rippen in mehreren Ebenen, rechts mehrfach in einer Ebene. Crandall et al. (2000) beschreiben in einer Studie mit menschlichen Körperspendern die Lokalisation von Rippenfrakturen angegurteter Insassen überwiegend entlang der Lage des Sicherheitsgurts. Wurde zusätzlich zum Sicherheitsgurt noch ein Frontairbag ausgelöst, erscheinen die Frakturen gleichmäßiger verteilt und mehr posterolateral präsent, jedoch ist der Effekt durch die Krafteinleitung des Schultergurtes immer noch sichtbar (Crandall et al., 2000). Zu einem ähnlichen Ergebnis kamen Lee et al. (2015), die in einer Studie das Verteilungsmuster von Rippenfrakturen entlang des Schultergurtverlaufs zeigen konnten. Auch wird in dieser Studie eine vermehrte Beteiligung anteriorer Rippenstrukturen abhängig von höherem Alter postuliert. Im hier gezeigten Einzelfall kam es zu beidseitigen Rippenserienfrakturen, linksseitig in der Medioklavikularlinie der Rippen eins bis neun und rechtsseitig in der Medioklavikularlinie der Rippen zwei bis zwölf sowie paravertebral der Rippen eins bis acht. Eine klare Verteilung der Frakturen entlang der Brustgurtbelastung kann man hierbei nicht erkennen, wohl aber die vorig genannte vermehrte anteriore Frakturverteilung.

Wie bereits angedeutet, lassen sich die anterioren Rippenfrakturen nicht eindeutig einer Interaktion und Krafteinleitung durch den Brustgurt zuordnen, da diese Verletzungen auch als Folge einer intensivmedizinischen Behandlung insbesondere bei kardiopulmonaler Reanimation auftreten können. In einer Versuchsreihe mit menschlichen Körperspendern, wird von Lopez-Valdes et al. (2018) ein unübliches Verletzungsmuster paravertebraler Rippenfrakturen beschrieben. Ähnlich wie im hier vorliegenden Einzelfall beschreiben Lopez-Valdes et al. (2018) Frakturen der paravertebralen Anteile der Rippen, die sich in der Lokalisation deutlich von anderen Versuchsreihen unterscheiden.

Ob eine mögliche Begründung hierfür in anthropometrischen Daten wie kleiner Körpergröße oder anatomischen Besonderheiten wie einer starken Kyphose der Brustwirbelsäule zu suchen ist, bleibt ungeklärt.

Zudem gab es mehrere Hinweise auf eine Gurtinteraktion mit dem Beckengurt. Unterblutungen der Nieren, Einblutungen in das Gekröse des Darmes und tiefgreifende Verletzungen der Milz kombiniert mit Frakturen aller rechtsseitigen Querfortsätze der Lendenwirbelsäule lassen an ein „Seatbelt syndrome“ und somit an eine Krafteinleitung durch den Beckengurt denken, wie durch Vandersluis und O'Connor (1987) beschrieben. Der vermutete Mechanismus wird als forcierte, erzwungene Beugung des Rumpfes über einen Drehpunkt -in diesem Fall den Beckengurt- erklärt. Als Konsequenz dieser erzwungenen Beugung wirken sowohl Hyperflexions- als auch Distraktionskräfte auf die intraabdominellen Organe und knöchernen Strukturen der Lendenwirbelsäule (Perry et al., 2000).

Aus dem in der Ermittlungsakte verfügbaren Bildmaterial konnte man auf dem Beifahrersitz ein Sitzkissen erkennen. Die Benutzung eines Sitzkissens kann mit einer Winkelveränderung der Beckenstellung einhergehen und so ein Abgleiten des Gurtes in Richtung Bauchraum im Fall einer Krafteinleitung begünstigen. Kramer postuliert bei einem kritischen Beckendrehwinkel während einer Kollision ein Abtauchen der Beckenkämme unter dem Gurt und somit ein provoziertes Submarining (Kramer, 1994).

Es kann nicht mehr rekonstruiert werden, ob es durch das Sitzkissen zu einer vermehrten Beckendrehung oder Kippung mit daraus folgendem Untergleiten des Beckengurts gekommen ist, jedoch sollte dies als möglicher Mechanismus in Betracht gezogen werden.

Ein weiterer möglicher Mechanismus, kann auf einen zu locker angelegten Beckengurt im Sinne einer zu großen Gurtlose zurückgeführt werden. Durch ein zu lockeres Anlegen des Sicherheitsgurtes, kann im Fall einer Krafteinleitung durch einen Frontalanprall, das Abgleiten des Sicherheitsgurtes in Richtung Bauchraum begünstigt werden und es kann zur Entstehung eines klassischen Submarining kommen. Dass es zum „Untergleiten“ des Sicherheitsgurtes, also zu einem Submarining gekommen ist, wird zusätzlich zu den erlittenen abdominellen Verletzungen durch ein weiteres Verletzungsmuster untermauert. Die Verletzungen der unteren Extremität, maßgeblich die beidseits regelwidrige Beweglichkeit der Kniegelenke, lassen sich auf einen im Zuge der Beckenvorwärtsbewegung erlittenen Anprall mit den Knien an festen Strukturen des Armaturenbretts zurückführen (Kramer, 2009). Ob es nun zu einem Submarining kam, weil das Becken initial zu stark gedreht bzw. gekippt war oder da das Unfallopfer den Beckengurt oberhalb des Beckenkamms platziert hatte, lässt sich nicht mit Sicherheit rekonstruieren.

3.2.5 Einzelfall 5

3.2.5.1 Ausgangsdaten

Unfallvorgang

Frontalkollision zwischen einem PKW BMW 3 und einem PKW Audi 80. Der Audi war insgesamt mit drei Personen besetzt, die Beifahrerin und die Insassin hinten links verstarben noch am selben Tag. Die Fahrerin des alleinbesetzten PKW BMW und der Fahrer des PKW Audi wurden leicht verletzt.

Einzelfall 5 enthält die detaillierte Betrachtung der Beifahrerin, in Einzelfall 6 wird die Insassin hinten links dargestellt.

Beschädigungen und technische Bewertung

Es konnten Spuren für einen starken Frontanstoß mit Schwerpunkt vorne links festgestellt werden. Die Anstoßrichtung lag im Bereich zwischen 11 und 1 Uhr.

Die Front wurde linksseitig eingedrückt, die Fahrgastzelle blieb intakt.

Geschwindigkeiten

Die Kollisionsgeschwindigkeiten lagen für den PKW BMW im Bereich von 30-35 km/h und für den PKW Audi bei 60-70 km/h.

Gurt

Das unfallanalytische Gutachten enthielt keine Informationen zur Benutzung des Sicherheitsgurts. Dem Obduktionsgutachten konnte entnommen werden, dass das Unfallopfer zumindest mit einem Beckengurt gesichert war. Gurtmarken, die für die Benutzung eines Schultergurtes sprechen, konnten nicht nachgewiesen werden.

Airbag

Eine Airbagauslösung konnte anhand des Bildmaterials nur für den Fahrerairbag nachgewiesen werden.

Obduktionsbericht Beifahrerin

W 74 Jahre, 159 cm, 77,1 kg, BMI 30,5 kg/m²

Diagnose: Hämorrhagischer Schock

Schwerste Verletzungen: massive Einblutungen im Gekröse und Lebereinrisse; Teilriss der Aorta descendens



Bild 5 Einzelfall 5 Übersichtsaufnahme

Körperregion(en) MAIS: Thorax	
ISS: 24	
MAIS Kopf	2
MAIS Gesicht	1
MAIS Hals	0
MAIS Thorax	4
MAIS Abdomen	2
MAIS OEX	0
MAIS UEX	1

Einzelverletzungen

Tabelle 14 Einzelverletzungen Einzelfall 5

AIS Code	AIS Text/Übersetzung	Obduktionsgutachten/Textauszüge
110402.1	Kopfschwarte, Einblutung	Die Kopfschwarte mit Einblutungen
140466.2	Kleinhirn, Subarachnoidalblutung	Die weichen Häute zeigen an der Unterseite beider Kleinhirnhalbkugeln Einblutungen
140693.2	Großhirn, Subarachnoidalblutung	Die weichen Häute zeigen an der Unterseite beider Schläfen- und Hinterhauptslappen Einblutungen
210602.1	Gesichtshaut, Hautdurchtrennung	An der unbehaarten Stirnhaut in der Mittellinie eine lochartige kleine Hautdurchtrennung
410402.1	Thorax, Hämatom	Der äußere untere Quadrant der rechten Brustdrüse ist querstreifig blau verfärbt
420202.4	Aorta, Einriss	Die absteigende Brustschlagader kurz nach dem Bogen einen 3 cm langen Wandeinriss, jedoch ohne vollständige Durchsetzung der Wand
450203.3	Rippenfrakturen	Re. die Rippen 1 mit 9, li. die Rippen 1 mit 8 in der mittleren Schlüsselbeinlinie gebrochen
450804.2	Sternumfraktur	Das Brustbein ist zwischen 3. und 4. Rippenansatz quer durchgebrochen
510402.1	Abdomen, Hämatom	Oberhalb des Nabels verläuft zirkulär an der Bauchvorderwand eine blauviolette Verfärbung, wie Gurtmarke
510402.1	Abdomen, Hämatom	flächenhafte Blauverfärbung der Rippenbogenregion, der re. Lendenpartie und des re. Beckenkammes
541822.2	Leber, Einrisse	rückseitig und seitlich des rechten Leberlappens finden sich auf 8 : 5 cm erhebliche oberflächliche Einrisse, mit chirurgischen Nähten versorgt
810402.1	Beckenregion, Hämatom	flächenhafte Blauverfärbung der rechten Lendenpartie und des rechten Beckenkammes
810402.1	Knie, Hämatom	schwache Blauverfärbung an der Vorderinnenseite des rechten Kniegelenkes

3.2.5.2 Analyseergebnisse Einzelfall 5

Rekonstruktion

Die untypische Gurtmarkenlokalisierung oberhalb des Bauchnabels gibt einen Hinweis darauf, dass die erlittenen Verletzungen durch eine unzureichende oder nicht korrekt durchgeführte Gurtsicherung verursacht sein könnten. Besonders hervorzuheben sind die Verletzungen der Oberbauchorgane wie beispielsweise Verletzungen der Leber, jedoch ist eine exakte Bewertung der ursprünglich erlittenen Verletzungen schwer möglich, da noch umfangreiche operativ-chirurgische Eingriffe vorgenommen wurden. Belastungsspuren im Sinne von Gurtmarken der vorderen Thoraxwand, wie bei Benutzung eines Schultergurtes fanden sich nicht.

3.2.5.3 Diskussion Einzelfall 5

Im Obduktionsbericht konnte durch die Gerichtsmediziner eine Gurtmarke, die für das Tragen eines Bauchgurtes spricht, festgestellt werden. Explizit erwähnt wurde, dass es keine Hinweise für das Tragen eines Brustgurtes gegeben hatte.

Die Körperregion Thorax ist mit einem MAIS von 4 die am schwersten verletzte Körperregion, festgestellte Verletzungen waren ein Teileinriss der Aorta descendens kurz nach dem Bogen, Rippenfrakturen beidseitig in der Medioklavikularlinie, eine Querfraktur des Sternums zwischen der 3. und 4. Rippe, sowie ein Hämatom am untersten rechten Quadranten der rechtsseitigen Brustdrüse.

Die Frakturen der Rippen links 1 bis 8 und rechts 1 bis 9 in der Medioklavikularlinie könnten Folge einer kardiopulmonalen Reanimation sein, ebenso wie die Querfraktur des Sternums (Buschmann & Tsokos, 2008). Ebenso erscheint es möglich, dass die gezeigten knöchernen Thoraxverletzungen durch die Belastung eines eventuell getragenen Brustgurts entstanden sind (Crandall et al., 2000; Lee et al., 2015). Sowohl bei kardiopulmonalen Reanimationen als auch bei Krafteinwirkung durch einen Brustgurt besteht im höheren Lebensalter aufgrund der verminderten Elastizität des Thorax ein erhöhtes Risiko Frakturen der Rippen zu erleiden (Buschmann & Tsokos, 2008; Lee et al., 2015).

Wie bereits in vorherigen Einzelfällen beschrieben, lässt sich in diesem Kollektiv ein Mechanismus, der zu den knöchernen Verletzungen der Thoraxstrukturen geführt hat, nicht mit Sicherheit zuordnen da bei allen Unfallopfern noch notfall- und intensivmedizinische Maßnahmen ergriffen wurden und zugleich die Benutzung eines Sicherheitsgurtes bei nahezu allen Unfallopfern gegeben war.

Ein Einriss der Aorta descendens an loco typico ist eine klassische Dezelerationsverletzung, die einen Hinweis auf eine abrupte Abbremsung wie es unter anderem durch eine Gurtrückhaltung zu erwarten wäre (Creasy et al., 1997).

Der mutmaßlich verursachende Mechanismus wurde bereits in Einzelfall 1 dargestellt und bietet sich als Verweis an. Unter Berücksichtigung der anderen verletzten Körperregionen, hier sei im Besonderen die Kopfregion genannt, scheint ein Anprall mit dem Oberkörper an Strukturen der Instrumententafel wie bei fehlender Brustgurtrückhaltung eher unwahrscheinlich.

Diese Einschätzung stimmt mit der Literaturmeinung überein, nach der bei fehlenden Gurtverletzungen eine Gurtbenutzung nicht ausgeschlossen werden kann, wenn Verletzungen durch

Anprall an formstabilen Strukturen wie zum Beispiel der Instrumententafel ausgeschlossen werden können (Mußhoff et al., 2015).

Aufgrund der errechneten Kollisionsgeschwindigkeiten wären bei einer fehlenden Rückhaltung durch den Brustgurt wahrscheinlich schwerere Verletzungen der Kopfregion zu erwarten, da es unweigerlich zum Anprall von Kopf und Thorax am Armaturenbrett bei alleiniger Beckenrückhaltung gekommen wäre.

In Zusammenschau dieser Erkenntnisse und der vorliegenden Verletzungen könnte man von einer Brustgurtnutzung ausgehen, wobei dieser eventuell nicht korrekt angelegt war.

Ein möglicher Erklärungsansatz für das Verletzungsmuster könnte wie folgt aussehen: durch einen unter dem rechten Arm getragenen Brustgurt lässt sich das Fehlen einer klassischen Gurtmarke diagonal über den Brustkorb bei vorhandenem Dezelerationsverletzungsmuster erklären. Die Ausdehnung des Hämatoms über den rechten Rippenbogen wie auf Bild 5 zu sehen, könnte man als weiteren Hinweis für einen dort platzierten Brustgurt interpretieren. Festzuhalten bleibt, dass keine klassischen Gurtmarken an der Thoraxfront wie bei Benutzung eines korrekt angelegten Schultergurtes gefunden werden konnten.

Die Körperregion Abdomen wurde mit einem MAIS von 2 als mäßig verletzt eingestuft. Auf Bild 5 kann in der Mittelbauchregion oberhalb der Nabelregion eine Gurtmarke erkannt werden. Wie bereits in den vorherigen Einzelfällen festgestellt werden konnte, kann man eine Beckengurtmarke an dieser Stelle als Hinweis für einen nicht korrekt angelegten Beckengurt oder eine Interaktion mit diesem heranziehen.

Es konnten mehrere Verletzungen intraabdomineller Organe festgestellt werden, wobei vor allem bereits chirurgisch versorgte Leberrupturen und Resektionen des Colon descendens und sigmoideum auffällig waren. Es kann davon ausgegangen werden, dass es zu einer Intrusion in die Abdominalregion durch den Beckengurt kam und die Verletzungen durch die Krafteinleitung des Gurts entstanden sind.

Bachmann et al. (2014) berichtet in einer Kasuistik über einen Fall, bei dem es durch die Kompression der Eingeweide zwischen Gurt und Wirbelsäule mit konsekutiver intraluminaler Druckerhöhung zu Rupturen von Dünn- und Dickdarmstrukturen kam. Limitierend bleibt zu nennen, dass es sich hierbei um eine Fahrerin handelte und das Unfallfahrzeug hatte sich nach einer Frontalkollision mehrfach überschlagen, jedoch handelte es sich ebenfalls um eine deutlich adipöse Patientin mit einem BMI von 31 kg/m^2 , bei der ebenfalls gezeigte Beckengurtmarken an nicht typischer Stelle zu finden waren.

Für adipöse Insassen wurde auf die möglicherweise erhöhte Gefahr für abdominelle Verletzungen durch den Beckengurt hingewiesen (Zarzur & Marshall, 2008).

Anger und Germer (2019) beschreiben Verletzungen des Darms durch Dezelerationsbewegungen an Übergängen von retroperitoneal fixierten und intraperitoneal frei beweglichen Darmabschnitten. Ob es nun am Übergang des retroperitoneal gelegenen Colon descendens und des intraperitoneal gelegenen Sigmoidiums zum Ein- oder Abriss kam, lässt sich aufgrund vollständiger chirurgischer Entfernung der genannten Strukturen nicht mehr rekonstruieren. Als weiterer Verletzungsmechanismus wird von Anger und Germer (2019) die Quetschung von Darmstrukturen durch eine senkrecht auf das Abdomen wirkende Kraft an einem festen Widerlager wie zum Beispiel der Wirbelsäule genannt, vergleichbar mit dem von Bachmann et al. (2014) erwähnten Mechanismus. Als eine mögliche Ursache für eine derartige Krafteinwirkung wird ein nicht fest angezogener Beckengurt erwähnt.

Dehnungsrisse wie bei zumindest anfänglich korrekt angelegtem Sicherheitsgurt (vgl. Einzelfall 2) konnten nicht festgestellt werden. Verletzungen der unteren Extremität, die sich häufig bei einer ineffektiven Beckengurtrückhaltung und damit einhergehenden Vorwärtsbewegung auf dem Beifahrersitz zeigen, konnten ebenfalls nicht gefunden werden.

Möglicherweise war der Sicherheitsgurt initial nicht korrekt, zum Beispiel oberhalb des Beckenkamms quer über den Mittelbauch angelegt. Möglicherweise wurde der Brustgurt durch das Unfallopfer aktiv mit dem rechten Arm nach unten gedrückt bzw. unter dem Arm durchgefädelt.

3.2.6 Einzelfall 6

3.2.6.1 Ausgangsdaten

Unfallvorgang

Es handelt sich um den Unfallvorgang wie in Einzelfall 5 bereits beschrieben. Bis auf die Sitzposition und damit verbunden der Verlauf des Sicherheitsgurts waren die Ausgangsbedingungen identisch.

Auch hier konnte dem unfallanalytischen Gutachten keine Information zur Gurtnutzung entnommen werden.

Im Obduktionsbericht wurden typische Gurtmarken am Rumpf des Unfallopfers festgehalten, die mit einer Sitzposition links hinter dem Fahrer in Einklang gebracht werden konnten.

Obduktionsbericht Insassin hinten links

W, 63 Jahre, 167cm, 103 kg, BMI 36,9 kg/m²

Diagnose: Volumenmangelschock bei massivem Blutverlust in Brust und Bauchhöhle

Schwerste Verletzung: Rippenserienfrakturen rechts wie links mit Durchspießung sowie Hämatothorax, Ein-, Ab- und Durchrisse des Dünndarmkonvoluts mit Einblutungen



Bild 6 Einzelfall 6 Übersichtsaufnahme

Körperregion(en) MAIS: Thorax und Abdomen	
ISS: 41	
MAIS Kopf	0
MAIS Gesicht	1
MAIS Hals	3
MAIS Thorax	4
MAIS Abdomen	4
MAIS OEX	1
MAIS UEX	1

Einzelverletzungen

Tabelle 15 Einzelverletzungen Einzelfall 6

AIS Code	AIS Code/Übersetzung	Obduktionsgutachten/Textauszüge
243401.1	Zunge, Einblutung	Zungenspitze rechts eine senfkorngroße Einblutung
310202.1	Gesicht, Hautverletzung	Kinnunterseite eine haarfeine Hautvertrocknung von 3 cm Länge, quergestellt
340208.3	Larynx, Fraktur	Linkes oberes Kehlkopfhorn ist gebrochen
410402.1	Thorax, Hämatom	Blauverfärbung über die seitliche Brustdrüsenregion links, über den unteren äußeren Quadranten der linken Brustdrüse, schräg nach abwärts
440604.2	Zwerchfell, Ruptur	Zwerchfellstand rechts nicht feststellbar wegen Durchriss
441800.2	Pleura, Verletzung	Rippen 1 mit 9 links in der mittleren Schlüsselbein- bis vorderen Achsellinie gebrochen mit Durchspießung
442200.3	Hämatothorax	In jeder Brusthöhle finden sich ca. 200 ml flüssiges Blut
442200.3	Hämatothorax	In jeder Brusthöhle finden sich ca. 200 ml flüssiges Blut
450203.3	Rippenfrakturen	links die Rippen 3 und 4 gebrochen. Außerdem sind die Rippen 1 mit 9 links in der mittleren Schlüsselbein- bis vorderen Achsellinie gebrochen mit Durchspießung und Einblutungen
450213.4	Rippenfrakturen	Rechts sind die Rippen 1 mit 12 in mehreren Ebenen gebrochen
450804.2	Sternumfraktur	Sternum ist zwischen drittem und viertem Rippenansatz gebrochen
510602.1	Abdomen, Dehnungsrisse	An der rechten Flanke bestehen massive Einblutungen in diesem Bereich auch die beschriebenen Dehnungsrisse
510602.1	Abdomen, Dehnungsrisse	In Nabelhöhe eine quer verlaufende Verfärbung, mit Dehnungsrisse
510402.1	Abdomen, Hämatom	Unterhalb des linken Rippenbogens eine bandartige, bläuliche Verfärbung.
541424.3	Darm, Verletzung	Abrisse des Darmgekröses und Durchrisse des Darmgekröses, außerdem ist ein Dünndarmstück eingerissen und fast vollständig abgerissen. Abriss des Dünndarmes rechts in der unteren Hälfte
541820.2	Leber, Verletzung	Einrisse am Ansatz des Zwerchfells am rechten Leberlappen oben und eine weitere Einrisstelle an der Leberunterseite
542026.4	Mesenterium, Verletzung	Abrisse des Darmgekröses und Durchrisse des Darmgekröses
544222.2	Milz, Verletzung	Kleiner Milzeinriss am vorderen Milzpol
544826.3	Ureter, Verletzung	Abgang des rechten Harnleiters aus der rechten Niere abgerissen
710202.1	Obere Extremität, Schürfung	An der Streckseite des linken Unterarms ellenseitig eine streifige Längsschürfung
710402.1	Obere Extremität, Hämatom	Vorderseite des linken Oberarmes schultergelenksnahe zieht eine Blauverfärbung über die seitliche Brustdrüsenregion links
810202.1	Untere Extremität, Schürfung	An der Vorderaußenseite des linken Unterschenkels bestehen oberflächliche Hautabschürfungen
810602.1	Untere Extremität, Dehnungsrisse	Auch im Bereich des Beckenkamms links finden sich Dehnungsrisse.
810402.1	Untere Extremität, Hämatom	An der Innenseite des linken Oberschenkels, kniegelenksnahe und von hier aus bogenförmig Verfärbung
810402.1	Untere Extremität, Hämatom	An der Vorderseite des Sprunggelenks links eine rotviolette Verfärbung
810202.1	Untere Extremität, Schürfung	An der Schienbeinvorderkante rechts, körperfernes Drittel, findet sich eine Schürfung von 3 : 1.5 cm, umgeben von bläulichen Weichteileinblutungen
810402.1	Untere Extremität, Hämatom	mehrfache blauviolette bis bläuliche Verfärbungen am Fußrücken links

3.2.6.2 Analyseergebnisse Einzelfall 6

Rekonstruktion

Der Verlauf und die Position der Gurtmarken gaben keinen eindeutigen Hinweis auf eine Submariningbewegung, jedoch kann von einer Gurtinteraktion ausgegangen werden. Verletzungen von Darm und mesenterialen Strukturen, sowie Leber und Milz sind bei einer regelhaften Sicherung durch einen 3-Punkt-Sicherheitsgurt nicht zu erwarten und können unter anderem durch eine Krafteinwirkung des Becken- oder Schultergurts entstehen.

Die Dehnungsrisse der rechten Flankenregion und der linken Beckenregion sind Zeichen einer Rückhaltung durch den Beckengurt. Die Position der Dehnungsrisse sowie die Gurtmarke sind nicht typisch für ein Submarining, jedoch ist der Mechanismus der Gurtinteraktion nicht mit Sicherheit zu klären. Möglicherweise war der Schultergurt weit lateral und zu tief, aber über dem Oberarm platziert und konnte so eine Gurtzeichnung im Bereich des Oberarms erzeugen, jedoch nicht im Bereich der Clavicula, Sternum und der linken Brust. Eine andere denkbare Variante wäre eine Platzierung des Schultergurtes unterhalb der Achselregion.

3.2.6.3 Diskussion Einzelfall 6

Durch die Obduktion konnten eindeutige Gurtmarken festgestellt werden, die eine Sitzposition links im Fond hinter dem Fahrer untermauern.

Die Körperregion Thorax wies einen MAIS 4 auf, somit wurde hier mindestens eine Verletzung der Kategorie „schwer“ festgestellt. Die Rippenserienfrakturen beidseits, rechts mit Frakturen einzelner Rippen in mehreren Ebenen können wie bereits in vorherigen Einzelfällen dargestellt wurde verschiedene Ursachen haben. Zunächst sind derartige Frakturen mit einer Brustgurtinteraktion vereinbar, wie Crandall et al. (2000) in einer Studie zeigen konnten, folgt das Frakturmuster oftmals dem Gurtverlauf. Dieses Hauptverletzungsmuster der rechten Hälfte des Brustkorbs lässt sich hier erkennen (obwohl hier kein Gurtverlauf sein sollte), wenngleich es auf der linken Seite ebenfalls zu einer vorderen Rippenserienfraktur kam.

Hier darf, wie bei allen vorhergehenden Einzelfallanalysen nicht außer Acht gelassen werden, dass das Unfallopfer initial reanimationspflichtig gewesen ist und durch eine kardiopulmonale Reanimation ebenso traumatische Verletzungen des Brustkorbes entstehen können. Insofern lassen sich die genauen Ursachen der Brustkorbverletzungen nicht exakt zuordnen, plausibel erscheint am ehesten, dass mehrere Ursachen vorlagen.

Zudem konnte eine Ruptur des rechten Zwerchfells nachgewiesen werden. Bergqvist et al. (1978) berichteten über Verletzungen des Zwerchfells bei Verkehrsunfällen und mutmaßten einen fehlplatzierten Sicherheitsgurt. Isolierte Verletzungen des Zwerchfells sind extrem selten und meist finden sich multiple Verletzungen des Thorax und der intraabdominellen Organe. Vermutet wurde von Bergqvist et al. (1978), dass der Sicherheitsgurt bei kleineren Personen zu hoch sitzt und es durch Intrusion des Beckengurts zu einer intraabdominellen Druckerhöhung kommen kann. Die intraabdominelle Druckerhöhung kann am Zwerchfell als Locus minoris resistentiae zu Einrissen führen (Bergqvist et al., 1978).

Insbesondere die Verletzungen des Abdomens (MAIS 4) mit mehrfachen Ein- und Abrissen des Dünndarmkonvoluts sowie des Dünndarms geben einen starken Hinweis, dass diese Verletzungen durch eine Interaktion mit dem Becken oder Schultergurt entstanden sein könnten. Es ließen sich neben den Verletzungen der Dünndarmstrukturen ebenso Verletzungen der Milz und der Leber finden.

Frampton et al. (2012) zeigten in ihrer Studie für sehr oder extrem adipöse Insassen eine höhere Rate an AIS 2+ Verletzungen des Abdomens. Rücksitzinsassen hatten ein größeres Risiko AIS 2+

Verletzungen des Abdomens zu erleiden als Frontinsassen. Das geringste Risiko dieser Verletzungsmuster wurde bei Fahrern gefunden. Ebenso konnten sie Unterschiede in der Verteilung der verletzten Strukturen zwischen Front und Fondinsassen zeigen. Frontinsassen erlitten eher Verletzungen der soliden Organe des Abdomens, wohingegen Fondinsassen weitaus mehr Verletzungen der gastrointestinalen Hohlgane erlitten. Am wenigsten effektiv vor Verletzungen der Abdominalregion scheinen einfache Gurtsysteme ohne Gurtstraffer, Gurtkraftbegrenzer und Airbag zu schützen (Frampton et al., 2012). Für adipöse Insassen wurde bedingt durch einen ungünstigen kinematischen Ablauf mit vermehrter Vorwärtsbewegung der Hüfte und geneigter Oberkörperstellung ein erhöhtes Verletzungsrisiko während einer Gurtrückhaltung beschrieben. Es scheint vermehrt zu Verletzungen zu kommen, unabhängig davon ob der Beckengurt über die Beckenkämme rutscht und es zum Submarining kommt (R. W. Kent et al., 2010).

Der Mechanismus der Beckengurtinteraktion ist in diesem Fall schwer zu rekonstruieren. Linksseitig am Beckenkamm und rechts im Bereich der Flanke wurden Überdehnungsrisse festgestellt. Diese Hautzeichen sind ein Hinweis, dass der Beckengurt zumindest initial eine Rückhaltung erzeugen konnte. Vermutlich rutschte der Gurt im Verlauf der Rückhaltung über den Beckenkamm und es kam zur Belastung der Abdominalregion mit entsprechenden intraabdominellen Verletzungsmustern. Eine weitere Erklärungsoption wäre ein zu hoch angelegter Beckengurt mit entsprechender Belastung der Abdominalregion im Fall einer Rückhaltung. Für adipöse PKW-Insassen konnten Reed et al. (2012) eine Häufung dieser Gurtfehlange zeigen. Eine weitere Erklärung eines derartigen Verletzungsmusters könnte ein zu tief bzw. sehr lateral platzierter Schultergurt bieten. Hier würde es im Falle einer Rückhaltung im Bereich des oberen Abdomens zur Krafteinleitung durch den dort liegenden Schultergurt kommen.

3.2.7 Einzelfall 7

3.2.7.1 Ausgangsdaten

Unfallvorgang

Der Unfallverursacher fuhr mit seinem PKW außerorts von einer untergeordneten Straße in eine übergeordnete Straße ein und missachtete dabei die Vorfahrtsregelung. Es kam zur Kollision der beiden Fahrzeuge, wobei das Fahrzeug (PKW Mazda 626/EZ 2000) in dem sich das Unfallopfer befand frontal in die linke Seite des Unfallverursachers prallte. Die Insassin hinten links erlag im Verlauf des Tages ihren Verletzungen.

Beschädigungen und technische Bewertung

Das Unfallfahrzeug wies Deformationen mit nahezu 100 % Überdeckung auf, der Schwerpunkt der Beschädigungen lag im Bereich links vorne. Die Fahrgastzelle blieb auch hier intakt.

Geschwindigkeiten

Die Kollisionsgeschwindigkeit wurde mit 79 – 99 km/h für den PKW, in dem sich das Unfallopfer befand, angegeben. Es konnte aufgrund unvollständiger Spurzeichnung keine exakte Geschwindigkeitsbetrachtung erfolgen, daher stellt der angegebene Geschwindigkeitsbereich eine grobe Einordnung dar.

Gurt

Dem unfallanalytischen Gutachten konnten keine Informationen zur Gurtanlage entnommen werden. Durch die Obduzenten wurden Gurtmarken beschrieben, deren Verlauf zu einer Sitzposition auf der Rücksitzbank links hinter dem Fahrer passt.

Airbag

Keine nachweisliche Airbagauslösung auf den Rücksitzen.

Obduktionsbericht Insassin hinten links

W, 50 Jahre, 161 cm, 105,9 kg; BMI 40,5 kg/m²

Diagnosen: Polytrauma, Verbluten nach Innen

Schwerste Verletzungen: Hämatothorax beidseits, gedeckter Riss Aorta abdominalis,
Zwerchfellruptur



Körperregion(en) MAIS: Abdomen	
ISS: 29	
MAIS Kopf	1
MAIS Gesicht	1
MAIS Hals	0
MAIS Thorax	3
MAIS Abdomen	4
MAIS OEX	1
MAIS UEX	1

Bild 7 Einzelfall 7 Übersichtsaufnahme

Einzelverletzungen

Tabelle 16 Einzelverletzungen Einzelfall 7

AIS Code	AIS Code/Übersetzung	Obduktionsgutachten/Textauszüge
110402.1	Kopfschwarte, Einblutung	In der Kopfschwarte in der Schläfen-Stirnregion rechts Einblutung
210402.1	Gesicht, Hämatom	Erhebliche Schwellung der Augenlider oben und unten rechtsseitig, linksseitig oben und unten nur im inneren Augenwinkel, jeweils blaugrau verfärbt
410402.1	Thorax, Hämatom	Linksseitig im Rippenbogenbereich grobfleckige blaugraue Einblutungen, überlagert mit zahlreichen Überdehnungsrissen der Haut
410402.1	Thorax, Hämatom	Im Bereich des Rippenbogens, links beginnend eine typische Gurtabdruckmarke von 37,5 cm Länge und maximal 4 cm Breite
410602.1	Thorax, Dehnungsrisse	Zahlreiche Überdehnungsrissen der Haut in einem Bezirk von etwa 7 cm Durchmesser. In der Umgebung Dehnungsrisse der Haut.
440606.3	Zwerchfell, Zerreißung	Ansatz des Zwerchfells zum Herzbeutel hin, rechtsseitig eine 4 cm lange Zerreißung. Der Riss ist unvollständig
441406.2	Lunge, Einblutungen	An der rechten Lunge zur Lungenwurzel hin Unterblutungen ohne erkennbare Risse
441800.2	Pleura, Verletzung	Linksseitig durchspieender Bruch der 7. und 8. Rippe mit kräftiger Umblutung
442200.3	Hämatothorax	rechts 700 ml Blut
442200.3	Hämatothorax	links 400 ml Blut
450202.2	Rippenfrakturen	Linksseitig durchspieender Bruch der 7. und 8. Rippe
450804.2	Sternum, Fraktur	Brustbeinquerbruch zwischen dem Ansatz der 3. und 4. Rippe ohne Einblutung
510402.1	Abdomen, Hämatom	Die Bauchdecken symmetrisch eingeblutet, an den mittleren und seitlichen Partien
510402.1	Abdomen, Hämatom	Unterhalb des Bauchnabels eine weitere typische Gurtabdruckmarke von 23 cm Länge und 2 cm Breite im Maximum
510402.1	Abdomen, Hämatom	Die Einblutung setzt sich symmetrisch auf beide Schenkelbeugen fort bis ins Genitale.
510804.2	Abdomen, Taschenbildung	Zwischen den beiden Gurtmarken am Bauch links ist das Unterhautfettgewebe vollständig von der Faszie der Bauchmuskulatur abgerissen
520202.4	Aorta, Abdominal	2 cm unterhalb des Abganges der Nierenschlagadern auf der linken Seite eine quergestellte 4 mm lange, Zerreißung der inneren Schichten der Aorta
541612.2	Niere, Einblutung	In die linke Niere kräftige, schwarzrote Einblutungen, besonders unter der fibrösen Kapsel
545610.1	Genitalregion, Hämatom	Intensive Einblutungen in die Weichteile von Unterbauch, Schenkelbeuge und äußerem Genitale
710402.1	Obere Extremität, Einblutung	An der Beugeseite des linken Handgelenkes mit Durchmesser von 3 cm eine schwache blaugraue Einblutung.
810202.1	Untere Extremität, Schrfung	Kleine Schürfungen an der Vorderseite des rechten Sprunggelenkes.
856151.2	knöchernes Becken, Fraktur	Abbruch eines bis 3 cm langen Knochenstcks am hinteren Rand der rechten Beckenschaufel mit Umblutung

3.2.7.2 Analyseergebnisse Einzelfall 7

Rekonstruktion

Es sind deutliche Gurtmarken erkennbar, die eine Fehlanlage des Schultergurtes unstrittig belegen. Der Verlauf des Schultergurts lässt sich von links unterhalb der linken Brustdrüse knapp oberhalb des linken Rippenbogens bis nach rechtsmittig knapp neben den Bauchnabel nachvollziehen.

Der Brustgurt wurde unter dem linken Arm getragen, dies lässt sich auch mit dem erlittenen Verletzungsmuster wie Taschenbildung zwischen den Gurtmarken, Verletzungen der Niere und der abdominalen Aorta, sowie dem thorakalen Verletzungsmuster mit Rippenfrakturen, Zwerchfell und Lungenverletzungen in Zusammenhang bringen.

3.2.7.3 Diskussion Einzelfall 7

Bereits der staatsanwaltlichen Ermittlungsakte konnte der Verdacht eines nicht korrekt angelegten Sicherheitsgurts entnommen werden. Diese Vermutung stützte sich auf die Gurtzeichnungen, die im Zuge der gerichtlich angeordneten Sektion festgestellt und dokumentiert wurden.

Auf der Übersichtsaufnahme lassen sich deutlich die beschriebenen Gurtmarken erkennen. Vorab bleibt festzuhalten, dass eine fehlerhafte Anlage des Sicherheitsgurtes aufgrund des Verlaufs der Gurtmarken unstrittig ist. Die Gurtzeichnung am Thorax gibt starke Hinweise, dass der Brustgurt unter dem Arm getragen wurde und somit nicht diagonal über dem knöchernen Thorax lag. Um die Folgen des falsch angelegten Schultergurtes schlüssig zeigen zu können, scheint die Betrachtung der Verletzungen von kranial nach kaudal sinnvoll.

Aus dem Obduktionsbericht konnte eine Einblutung in die Stirn und Schläfenregion rechtsseitig entnommen werden. Das Unfallopfer saß auf der Sitzposition hinten links somit liegt die Vermutung nahe, dass es aufgrund der fehlenden Rückhaltefunktion des Schultergurtes zu einer vermehrten Vorwärtsbewegung des Oberkörpers kommen konnte. Am wahrscheinlichsten scheint es, dass der Kopfanprall an Strukturen der Rückseite des Fahrersitzes oder Teilen der Innenverkleidung stattgefunden hat.

Die thorakalen Verletzungen im Besonderen beidseitige Hämatothoraces sind wie schon bei vorherigen Einzelfällen gezeigt wurde, schwer einer einzelnen Ursache zuzuordnen. Trotz nicht korrekt angelegten Schultergurts kam es vermutlich im Bereich des linken Rippenbogens zu einem gewissen knöchernen Widerlager an dem eine Rückhaltung stattfand. Mutmaßlich lassen sich die linksseitigen Frakturen der Rippen sieben und acht mit Durchspießung der Pleura diesem Verletzungsmechanismus zuordnen. Eine Fraktur des Sternums im Bereich der dritten und vierten Rippe kann wie bei vorangegangenen Einzelfällen ein Reanimationsartefakt darstellen, dies scheint im vorliegenden Fall wahrscheinlich, da der Schultergurt nicht diagonal über den Brustkorb angelegt war und somit in diesem Bereich keine Rückhaltung stattfand. Auf der rechten Körperseite zeigte sich ein Einriss des Zwerchfells, ursächlich ist von einer Interaktion mit dem zu tief bzw. falsch angelegten Schultergurt auszugehen.

States et al. (1987) berichteten bereits in den 80er Jahren von tödlichen Verletzungen, die durch das Tragen des Schultergurts unter dem Arm entstanden sind bei ansonsten überlebbaaren Unfallbedingungen. Lacerationen des Zwerchfells werden dort beschrieben, möglicherweise verursacht von einer zusätzlichen intraabdominellen Druckerhöhung durch den zu tief angelegten

Schultergurt. Das Tragen des Schultergurtes unter dem Arm konzentriert die gesamte Last auf das Abdomen und den unteren Bereich des Thorax im Fall einer Kollision. In den Ausführungen von States et al. (1987) wird der Verletzungsmechanismus mit einer Positionierung des Beckengurtes oberhalb des Beckenkammes und den daraus resultierenden intraabdominellen Verletzungen verglichen.

Im Bereich des Abdomens waren ebenfalls Verletzungen feststellbar, die auf eine Interaktion mit dem Schultergurt hinweisen könnten. Hier richtete sich das Augenmerk auf den Einriss der abdominalen Aorta kurz unterhalb des linken Abgangs der Nierenarterie. Die Gurtmarke des Schultergurtes zeigte den Ort der Krafteinleitung. Hier kann aufgrund der räumlichen Nähe zu den Nierengefäßen die beschriebene Gefäßverletzung mit der Interaktion durch den Schultergurt in Einklang gebracht werden. Auch die beschriebenen Einblutungen unter die fibröse Kapsel der linken Niere könnten als Hinweis auf eine dort stattgefundenene Krafteinleitung durch den Schultergurt verstanden werden. Zudem fand sich zwischen den Gurtmarken des Schultergurtes und des Beckengurtes eine komplette Ablösung des Unterhautfettgewebes von der Faszie der Bauchmuskulatur.

Der Beckengurt saß an regelhafter Stelle und konnte eine effiziente Rückhaltung erzeugen. Gurtmarken die für ein Abrutschen oder einen initial zu hoch angelegten Beckengurt sprechen würden, konnten nicht gefunden werden. Ebenso ließen sich keine typischen Verletzungen von soliden Organen oder Hohlorganen des Abdomens finden, die für eine Beckengurtinteraktion sprechen würden.

Abschließend lässt sich festhalten, dass sich die erlittenen Verletzungen vor allem durch den fehlerhaft angelegten Schultergurt erklären lassen.

3.2.8 Einzelfall 8

3.2.8.1 Ausgangsdaten

Unfallvorgang

Frontalkollision zwischen zwei PKWs, der Unfallverursacher (VW Passat Kombi) kam auf schneeglatter Fahrbahn auf die Gegenfahrbahn und kollidierte frontal mit dem PKW (PKW Opel Astra Caravan A-H/SW; BJ 2005), in dem das Unfallopfer auf der Sitzposition hinten rechts saß.

Das Unfallopfer verstarb noch am Unfallort.

Beschädigungen und technische Bewertung

Das Fahrzeug wies die Hauptdeformation im Bereich der Fahrzeugfront mittig links auf, die Fahrgastzelle blieb intakt.

Kollisionsgeschwindigkeiten

Für den Unfallgegner wurde eine Geschwindigkeit von 35-45 km/h und für das Fahrzeug des Unfallopfers eine Geschwindigkeit von 45-55 km/h errechnet.

Gurt

Laut Obduktionsbericht und der polizeilichen Verkehrsunfallanzeige ließen sich eindeutige Gurtmarken feststellen, die sich mit der Sitzposition auf der Rücksitzbank hinten rechts vereinbaren lassen. Zudem konnten durch den Unfallgutachter Belastungsspuren an der Gurtschlosszunge festgestellt werden, womit eine Benutzung des Sicherheitsgurts ausreichend belegt ist.

Airbag

Keine nachweisliche Airbagauslösung auf den Rücksitzen.

Obduktionsbericht Insassin hinten rechts

W, 50 Jahre, 163 cm, 94 kg; BMI 35,4 kg/m²

Diagnose: Durchtrennung ponto-medullärer Übergang

Schwerste Verletzungen: Durchtrennung ponto-medullärer Übergang, Einriss rechter Vorhof, Abriss der linken Vena renalis, Nierenruptur links



Körperregion(en) MAIS: Kopf	
ISS: 75	
MAIS Kopf	6
MAIS Gesicht	1
MAIS Hals	3
MAIS Thorax	5
MAIS Abdomen	4
MAIS OEX	1
MAIS UEX	1

Bild 8 Einzelfall 8 Übersichtsaufnahme

Einzelverletzungen

Tabelle 17 Einzelverletzungen Einzelfall 8

AIS Code	AIS Code/Übersetzung	Obduktionsgutachten/Textauszüge
140212.6	Hirnstamm	Nahezu komplette Durchtrennung am ponto-medullären Übergang
1404660.2	Kleinhirn, Subarachnoidale Blutung	Unter der weichen Hirnhaut der Kleinhirnhemisphären finden sich nicht raumfordernde Blutaustritte
140440.2	Kleinhirn, Subdurale Blutung	Unter der harten Hirnhaut finden sich infratentoriell Ansammlungen eines flüssigen Blutes, nicht raumfordernd
140678.2	Großhirn, Ventrikelblutung	Ventrikelsystem ist normal weit, mit kräftig blutig durchsetzter Flüssigkeit gefüllt
140693.2	Großhirn, Subarachnoidale Blutung	Unter der weichen Hirnhaut im Bereich beider Großhirnkonvexitäten nicht raumfordernde, subarachnoidale Blutaustritte
210602.1	Gesicht, Hautdefekt	An der Nasenspitze links paramedian findet sich ein 1 mm großer, scharf begrenzter Hautdefekt
243400.1	Zunge, Verletzung	Die Zunge mit Verletzung an der Unterseite. Auch an der Oberseite, vor allem linksbetont zeigen sich Zahnabdruckmarken
650204.2	Halswirbelsäule, Fraktur	Abnorme Beweglichkeit der Halswirbelsäule zwischen dem 6. und 7. Halswirbel
650208.3	Halswirbelsäule, Dislokation	Es zeigt sich eine weit klaffende Diskonnektion zwischen 0 und 1.
650228.3	Halswirbelsäule, Densfraktur	Im Bereich des 2. Halswirbels zeigt sich an der Spitze ein kleiner Defekt
410202.1	Thorax, Hautschürfung	Im unteren und oberen inneren Quadranten der linken Brustdrüse zeigt sich eine braunrote Hautvertrocknung
410802.1	Thorax, Taschenbildung	In topischem Bezug an der Vorderwand zeigt sich vor allem links Taschenbildung und auch rechts
410804.2	Thorax, Taschenbildung	Taschenbildung Brustdrüse links mit einer kräftigen Einblutung in die sich hier befindenden Weichteile
421299.3	Pulmonalvene, Umblutung/Zerrung	Es zeigt sich eine kräftige Umblutung und Adventitiazerrung der oberen linken Lungenvene
421806.4	Vena cava inf., Einriss	Die untere Hohlvene an ihrer Einmündung in den eingerissenen rechten Vorhof nahezu vollständig durchgerissen
441013.5	Herz, Zerreißen	Im rechten Vorhof ausgedehnte oberflächliche und tiefgreifende Zerreißen, die in den linken Vorhof übergehen
441410.3	Lunge, Unterblutung/Hämatom	Das Lungenaußenfell im Bereich des linken Lungenoberlappens lateroventral bis zu 5 cm großen, düsterroten Verfärbungen
441602.2	Perikard, Aufreißung	Es zeigt sich eine klaffende Aufreißung des Herzbeutels
441800.2	Pleura, Aufreißungen	Im Bereich der linken Lunge einzelne Pleuradefekte, allerdings nicht tief reichend.
442200.3	Hämatothorax	Linke Lunge schwimmt auf 900 ml eines überwiegend flüssigen dunkelroten Blutes
450203.3	Rippenfrakturen	Links sind jeweils die Rippen 2 – 10 in der vorderen Achsellinie gebrochen
450203.3	Rippenfrakturen	Rechts sind die Rippen 2 – 6 in der mittleren Schlüsselbeinlinie mit mäßigen Umblutungen gebrochen.
450804.2	Sternumfraktur	Es zeigt sich ein Querbruch des Brustbeins zwischen dem Ansatz der 2. und 3. Rippe, gering umblutet.

510202.1	Abdomen, Hautschürfung	4 cm ventral des rechten oberen vorderen Darmbeinstachels zeigt sich eine 1 cm große Hautabschürfung.
510402.1	Abdomen, Hämatom	Kaudal davon in einem 7 cm breiten und 2 cm Areal finden sich mind. 6 einzeln abgrenzbare, graulivide Hautverfärbungen
510402.1	Abdomen, Hämatom	Im mittleren Bauchabschnitt zeigen sich im subkutanen Fettgewebe bandförmige Einblutungen
521606.4	Vena renalis, Ruptur	Die linke Vena renalis ist im Hilusbereich abgerissen, hier eine spärliche Umblutung.
541640.4	Nierenruptur	Es zeigt sich eine Nierenruptur an der Rückseite der Niere, die bis zum Nierenhilus reicht
541810.2	Leber, Einblutung	Kräftige Einblutung findet sich am Ansatz der Leber am Zwerchfell
541822.2	Leber, Kapselverletzung	Leberkapsel mit bis zu 5 cm langen, oberflächlichen Defekten im Bereich des rechten und linken Leberlappens
544224.3	Milz, Kapselverletzung	Milzkapsel ist glatt und glänzend, mit mehreren zum Teil tiefgreifenden, bis 6 cm langen Rissen.
544410.2	Magen, Einblutung	Kräftige Einblutung im Bereich der Magencardia
710602.1	Obere Extremität, Hautverletzung	Am Grundglied des Zeigefingers 1 mm tiefe und 8 mm lange Hautdefektbildung
710402.1	Obere Extremität, Hämatom	Am Grundgelenk des DIII streckseitig eine 1.8 cm hohe und 1.5 cm breite, graulivide durchscheinende Hautverfärbung
810402.1	Untere Extremität, Hämatom	Rechtes Bein: Im rumpfnahen Unterschenkeldrittel, medial der Tibia eine graulivide durchscheinende Hautverfärbung
810402.1	Untere Extremität, Hämatom	Linkes Bein: In symmetrischer Lokalisation ebenfalls medial der Tibiakante eine graublau durchscheinende Hautverfärbung

3.2.8.2 Analyseergebnisse Einzelfall 8

Rekonstruktion:

Lokalisieren lassen sich die Gurtmarken des Beckengurtes im Bereich des Mittelbauchs knapp unterhalb des Bauchnabels. Unter Berücksichtigung der erlittenen abdominellen Verletzungen allem voran Leber und Milzverletzungen, muss davon ausgegangen werden, dass diese Verletzungen durch eine Interaktion mit dem Beckengurt entstanden sind.

Der Schultergurt war soweit rekonstruierbar korrekt angelegt und konnte eine effiziente Rückhaltung erwirken.

3.2.8.3 Diskussion Einzelfall 8

Im vorliegenden Fall gibt es Indizien, die für eine etwaige Fehlnutzung des Beckengurtes sprechen. Dieser Verdacht stützt sich primär auf die erkennbaren Gurtmarken. Diese sind für den Beckengurt zu hoch in der Mittelbauchregion rund um den Nabel lokalisiert. In Zusammenschau des abdominellen Verletzungsmusters kann man von einer Interaktion mit dem Beckengurt ausgehen.

Die Kopfregion ist mit einem MAIS von 6 die am schwersten verletzte Körperregion und auch zugleich die unmittelbare Todesursache. Es konnte in der gerichtsmedizinischen Obduktion eine nahezu vollständige Durchtrennung des pontomedullären Übergangs gefunden werden, der unmittelbar zum Tod geführt haben dürfte.

In der Literatur gibt es keinen Konsens über die genauen Verletzungsmechanismen. Einigkeit besteht über das gehäufte Auftreten von pontomedullären Verletzungen im Rahmen von schweren kraniozervikalen Verletzungen. Živković et al. (2012) nennen als wahrscheinlichsten Mechanismus eine direkte Krafteinleitung über das Kinn mit nachfolgender Hyperextensionsbewegung des Kopfes. Dieser Mechanismus ließe sich im vorliegenden Fall am ehesten durch eine Vorwärtsbewegung auf dem Rücksitz durch falsch angelegten Sicherheitsgurt und nachfolgendem Anprall von Kopf oder Halsstrukturen an der Rückseite des Beifahrersitzes erklären.

Auch wäre eine forcierte Hyperflexionsbewegung im Zuge einer Gurtrückhaltung mit entsprechender Zugbelastung auf knöcherne und nervale Strukturen der Halswirbelsäule denkbar (Schmitt et al., 2020a).

Zusätzlich zu der massiven Verletzung des Hirnstammes konnten noch weitere schwerwiegende Verletzungen, insbesondere im Bereich des Thorax sowie der Abdominalregion gefunden werden.

Es fand sich ein nahezu vollständiger Abriss der Vena cava inferior am Eintritt in den rechten Vorhof. Der Verletzungsmechanismus scheint am ehesten durch eine massive intraabdominelle Druckerhöhung durch den einwirkenden Beckengurt zu erklären. Durch einen abrupt ansteigenden venösen Rückfluss kommt es infolgedessen zur Ruptur.

Chaer et al. (2005) berichten über verschiedene Mechanismen die zu dieser Verletzung führen können, unter anderem wird eine mechanische Kompression des Herzens bzw. der großen zuführenden Gefäße zwischen vorderer Thoraxwand und Wirbelsäule beschrieben. Ebenso wird eine plötzliche Erhöhung des hydrostatischen Drucks in den zuführenden Herzgefäßen und daraus resultierender Überschreitung der Belastungsgrenze für den Übergang V. cava inferior und rechter

Vorhof diskutiert. Die Erhöhung des Druckes kommt durch eine Kompression abdomineller oder peripherer venöser Gefäße zustande (Chaer et al., 2005; Fulton et al., 1998).

Beidseitige Rippenserienfrakturen, Pleuradefekte, eine Sternumfraktur und ein linksseitiger Hämatothorax können Zeichen einer massiven Gurtrückhaltung sein. Ebenso denkbar ist jedoch, dass diese Verletzungen durch die Reanimationsbemühungen am Unfallort entstanden sind und bleiben somit letztendlich nicht eindeutig zuordenbar.

Die abdominellen Verletzungen geben wie bereits oben angedeutet, Hinweise auf eine Interaktion mit dem Beckengurt. Linksseitig imponieren Verletzungen der Niere mit einem kompletten Abriss der linken Nierenvene sowie Rupturen des Nierenparenchyms bis zum Nierenhilus reichend.

Milzkapselverletzungen mit bis zu 6 cm langen Rissen, können ebenfalls als Hinweis auf eine Gurtinteraktion verstanden werden. Um bei den Organen des Oberbauchs zu bleiben, fanden sich zudem Einblutungen der Leber am Ansatz des Zwerchfells.

Strittig bleibt, ob der Gurt initial nicht korrekt angelegt war oder ob es im Verlauf der Vorwärtsbewegung zu einem Submariningphänomen kam und das Unfallopfer unter dem Sicherheitsgurt hindurchrutschte.

Dehnungsrisse im Bereich der Leistengegend könnten ein Hinweis auf einen initial korrekt angelegten Sicherheitsgurt sein, der im Verlauf abrutscht und über die Scherbewegung zum Einriss der Haut führt. Diese Hautzeichen konnten jedoch nicht festgestellt werden.

Eine mögliche Erklärung hierfür wäre die Bekleidung des Unfallopfers. Witterungsbedingt bestand die Kleidung aus Pullover und dickem Anorak, sodass es eventuell eine ausreichend dicke Polsterschicht zwischen Gurt und Körper gab, durch die eine Gurtlose entstehen konnte. Ob durch die Gurtlose ein Abrutschen des Gurtes von knöchernen Strukturen ohne die bereits beschriebenen Hautzeichen entstehen kann, bleibt ungeklärt.

Es erscheint nachvollziehbar, dass eine dicke Polsterung durch Kleidung die Ausprägung und die exakte Feststellung einer Gurtmarke möglicherweise erschweren kann. Becker et al. (2011) beschreiben in einem Artikel das Auftreten innerer Gurtmarken bei äußerlich unverletzter Bauchhaut einer bei einem Frontalunfall tödlich verunglückten PKW-Insassin, die mehrlagige Kleidung trug. Limitierend muss festgehalten werden, dass diese Annahmen allesamt sehr spekulativ sind und es wahrscheinlicher scheint, dass der Beckengurt initial falsch angelegt war und es deshalb zur Krafteinleitung durch den Beckengurt in den Bauchraum kam.

4. Diskussion

4.1 Unfallopfer und Sitzpositionen

Von 31 Unfallopfern aus diesem Fallkollektiv sind 24 (77,4%) weiblich und lediglich sieben (22,5%) männlich. Auch ist eine Häufung die Sitzposition betreffend erkennbar. Von 31 PKW-Insassen fanden sich in diesem Kollektiv 21 (67,7%) Personen auf dem Beifahrersitz, sieben (22,5%) Rücksitzinsassen links und drei (9,6%) rechts.

Die Unfallstatistik des statistischen Bundesamtes zeigt, dass männliche Verkehrsteilnehmer in allen Altersgruppen insgesamt den größeren Anteil aller getöteten Unfallopfer im Straßenverkehr ausmachen. 75,9 % aller 2719 Unfalltoten im Jahr 2020 waren männlich, 24,1 % hingegen weiblich. Auf 1 Million Einwohner gerechnet, starben im Jahr 2020 16 Frauen und 50 Männer im Straßenverkehr. Das niedrigere Risiko für Frauen bei einem Verkehrsunfall tödlich zu verunglücken, ist in allen Altersgruppen erkennbar und wird mit einer defensiveren und vorsichtigeren Fahrweise der Frauen erklärt (Statistisches Bundesamt, 2022a).

Im hier verwendeten Kollektiv kann man bezogen auf die Geschlechterverteilung andere Verteilungen finden, die sich vermutlich auch durch die Gestaltung der Einschlusskriterien erklären lassen. Kern dieser Arbeit sollen Gurt assoziierte Verletzungsmuster von PKW-Insassen sein, die selbst nicht als Fahrzeuglenker fungiert haben.

Die Zahlen des statischen Bundesamtes für das Jahr 2020 zeigen, dass von den im PKW tödlich verunglückten Frauen 41,3% nicht Fahrzeuglenker waren, bei den Männern verunglückten lediglich 16,4% nicht auf dem Fahrersitz. Somit bleibt anzunehmen, dass Frauen immer noch seltener selbst die Fahrzeuglenkung übernehmen als Männer (Statistisches Bundesamt, 2022a). Dies lässt sich zwar nicht aus den von uns erhobenen Zahlen rückschließen, jedoch kann angenommen werden, dass sich im hier verwendeten Fallkollektiv die Verteilung der Sitzpositionen abhängig vom Geschlecht widerspiegeln. Damit könnte sich der größere Anteil an Frauen im Kollektiv mitbegründen lassen.

Der durchschnittliche Besetzungsgrad privat genutzter PKWs ist seit Jahren relativ unverändert bei 1,5 Personen pro PKW (Follmer & Gruschwitz, 2019). Bei geringer Fahrzeugbesetzung könnte man davon ausgehen, dass Mitfahrer bei privater PKW-Nutzung eher den Beifahrersitz als die Rücksitzbank bevorzugen. Dies wäre ein möglicher Erklärungsansatz für die größere Anzahl an Beifahrern (67,7%) innerhalb des Kollektivs.

4.2 Alter

Im Fallkollektiv findet sich eine große Altersspannweite von 18 bis 80 Jahre. Der Median im Fallkollektiv liegt bei 72 Jahren, 18 Unfallopfer (58%) sind der Altersgruppe über 65 Jahre zugeordnet.

Betrachtet man den demographischen Wandel, lässt sich eine zunehmend alternde Bevölkerungsstruktur erkennen. In den „World Population Prospects“ der Vereinten Nationen wird eine weltweit alternde Bevölkerungsstruktur beschrieben. Bis zum Jahr 2050 wird nach Berechnungen weltweit der Anteil von Personen über 65-Jahre von jetzt 10,0% auf 16,0 % gestiegen sein (Nationen, 2022).

Der Anteil von Menschen über 65 an der Gesamtbevölkerung stieg in Deutschland innerhalb von 20 Jahren von 16,4% auf 21,8%. Zudem hat sich die Mobilität der Senioren in den letzten Jahren zunehmend verändert. Mehr Menschen der Altersgruppe 65+ besitzen einen Führerschein und benutzen einen PKW. So lässt alleine schon die demographische Entwicklung einen höheren Anteil von Senioren im Straßenverkehr vermuten und bietet einen Erklärungsansatz für die überrepräsentierte Gruppe der über 65-jährigen PKW-Insassen im Fallkollektiv (Statistisches Bundesamt, 2021b).

Im Jahr 2020 verunglückten laut Statistischem Bundesamt insgesamt 46 205 Personen mit einem Lebensalter von 65 Jahren oder älter im Straßenverkehr, 894 davon wurden tödlich verletzt. 14,0 % aller Verletzten im Straßenverkehr waren 65 Jahre oder älter, jedoch lag der Anteil der Senioren an den im Straßenverkehr getöteten Personen mit 32,9 % deutlich höher. Es zeigt sich ein geringeres Unfallrisiko im Straßenverkehr für ältere Menschen mit 255 Verunglückten auf 100 000 Einwohner als für den Durchschnitt der Gesamtbevölkerung mit 397 auf 100 000 Einwohner. Jedoch scheinen die über 65-jährigen eine geringere Chance zu haben, einen Verkehrsunfall zu überleben (Statistisches Bundesamt, 2021b). Bei den unter 65-jährigen beträgt der Anteil von Getöteten an Verunglückten 0,6%. Dieser Wert erhöht sich bei den über 65-jährigen auf 1,9%. Eine verringerte physische Widerstandskraft scheint laut Statistischem Bundesamt ebenso ein Faktor zu sein, wie die unterschiedliche Verkehrsteilnahme. Ältere Menschen nehmen häufiger als ungeschützte Fußgänger am Straßenverkehr teil und sind im Falle eines Unfalls einem höheren Verletzungsrisiko ausgesetzt (Statistisches Bundesamt, 2021b). Bei vergleichbarem Injury Severity Score (ISS) konnten Wutzler et al. (2008) zeigen, dass nach einem Trauma die Letalität mit zunehmendem Alter deutlich ansteigt und sich Verletzungsart, Therapie und Outcome bei schwer verletzten Senioren signifikant vom erwachsenen Vergleichskollektiv unterscheiden. In unserem Kollektiv finden sich vermutlich zum

einen aus soziodemographischen Gründen mehr Unfallopfer mit einem Lebensalter von über 65 Jahren. Zum anderen dürfte die in der Literatur beschriebene erhöhte Letalität nach Trauma beim älteren Menschen zu einer Häufung der über 65-jährigen im ausgewerteten Obduktionsgut führen.

4.3 Größe und Body-Mass-Index

Insgesamt lag die durchschnittliche Körpergröße im Kollektiv mit 165 cm unter der vom Statistischen Bundesamt veröffentlichten durchschnittlichen Körpergröße der Gesamtbevölkerung von 172 cm (Statistisches Bundesamt, 2018).

Der höhere Anteil an Frauen mit durchschnittlich kleinerer Körpergröße im Fallkollektiv bietet eine mögliche Erklärung für die Größenverteilung. Die Größendarstellung aufgeteilt nach Geschlecht zeigt, dass bei den Männern 75 % des Kollektivs kleiner als 180 cm sind, bei einem errechneten Median von 168 cm. Zahlen des statistischen Bundesamt zeigen, dass gemittelt über alle Altersgruppen die durchschnittliche Körpergröße von Männern bei 179 cm liegt (Statistisches Bundesamt, 2018). Es findet sich in diesem Kollektiv eine eher unterdurchschnittliche Körpergröße für die Gruppe der Männer. Laut Statistischem Bundesamt liegt die durchschnittliche weibliche Körpergröße bei 166cm (Statistisches Bundesamt, 2018). Die Spannweite der weiblichen Körpergröße im Kollektiv reicht von 147 cm bis 175 cm bei einem Median von 163 cm und liegt relativ nah am statistischen Mittelwert von 166 cm.

Lediglich für neun Unfallopfer (29%) konnte ein Body-Mass-Index von unter 25kg/m^2 bestimmt werden und ließ sich somit der Gruppe "Normalgewichtig" zuordnen. Insgesamt waren 71 % (n=22) der Unfallopfer mit einem Body-Mass-Index $\geq 25\text{ kg/m}^2$ mindestens übergewichtig.

Zahlen aus dem Jahr 2017 des Statistischen Bundesamt zeigen, dass 48,8% der Gesamtbevölkerung in Deutschland einen Body-Mass-Index von über 25 kg/m^2 hatten. Frauen zeigten mit 39% einen kleineren Anteil als Männer mit 58% (Statistisches Bundesamt, 2021a). Die Daten unseres Fallkollektivs übertrafen die offiziellen Zahlen des Statistischen Bundesamtes, es fand sich nahezu dreiviertel des Kollektivs mit einem Body-Mass-Index von $\geq 25\text{ kg/m}^2$. Laut Schienkiewitz et al. (2017) steigt mit zunehmendem Alter für beide Geschlechter die Prävalenz für Übergewicht und Adipositas. Im Kollektiv lag der Altersmedian bei 72 Jahren, somit könnte die Altersverteilung möglicherweise auch dazu beigetragen haben, dass sich ein höherer Anteil an übergewichtigen bzw. adipösen Insassen fand. Zur Anthropometrie von PKW-Insassen beim Frontalunfall fanden sich nur spärliche

Vergleichsmöglichkeiten in der Literatur. In einer Dissertation der Universität Greifswald konnten geringere Mittelwerte beim Körpergewicht und -größe von Beifahrern im Vergleich zum Fahrer gefunden werden. Begründet wurde dies durch den höheren Anteil an Frauen und Kindern auf dem Beifahrersitz (Huth, 2010). Zwar fanden wir in unserem Kollektiv ebenfalls vermehrt Frauen auf dem Beifahrersitz und den Sitzplätzen der Rücksitzbank, jedoch verhielt sich die Verteilung des Body-Mass-Index nicht wie in der angesprochenen Literatur beschrieben.

4.4 Injury Severity Score

Der Injury-Severity-Score ist breit verteilt und reicht von 11 bis 75 Punkten. Die beiden größten Gruppen zeigten sich bei ISS-Werten von 27-41 mit zehn Unfallopfern (32,2%), sowie mit neun Unfallopfern (29%) bei ISS-Werten von 75. Die restlichen Unfallopfer zeigen eine breite Verteilung über alle mathematisch möglichen ISS-Werte zwischen 11 und 66 Punkten.

Aus der Gruppe mit einem ISS von 75 zeigten sechs Unfallopfer einen MAIS 6 in der Körperregion Kopf und daher einen ISS 75. Bei zwei Unfallopfern fand sich der MAIS 6 im Bereich des Thorax und bei einem Unfallopfer wurde Hals und Thorax jeweils mit einem MAIS 6 codiert. Ein MAIS 6 impliziert eine heutzutage nicht behandelbare, d.h. nicht überlebbare Verletzung, die in den vorliegenden Fällen todesursächlich gewesen ist. In unserem Fallkollektiv fanden sich diese Verletzungen nur an Kopf, Hals und Thorax.

Cuerden et. al (2007) zeigten, dass Frontinsassen am häufigsten an Kopf, Thorax und Beinen verletzt wurden und wenn Kopfverletzungen den MAIS bestimmen, waren diese auch meist tödlich.

Eine Studie untersuchte 277 getötete Unfallopfer mit einem $ISS \geq 16$, die im Institut für Rechtsmedizin der LMU München obduziert wurden. Die Autoren berichten von einer Verteilung der ISS Werte von 17 bis 75, einen Median von 50 und für 40,4 % des Kollektivs wurde ein ISS Wert von 75 bestimmt (Pfeifer et al., 2017). Im Vergleich mit unseren Daten lässt sich eine ähnliche Verteilung erkennen. Es fand sich in unserem Kollektiv ein Median des ISS von 43 und für 29% der Unfallopfer ein ISS Wert von 75, der dann immer einen MAIS 6 in den Körperregionen Kopf, Hals und/oder Thorax aufwies. Letztlich scheint diese Verteilung nachvollziehbar, da in beiden Studien nur getötete Unfallopfer untersucht wurden und die Verletzungsschwere der Fallkollektive insgesamt hoch war.

In zwei Fällen wurden in unserem Fallkollektiv ISS-Werte von <16 festgestellt. In einem Fall führte eine respiratorische Insuffizienz aufgrund einer sich entwickelnden Bronchopneumonie und im anderen Fall ein Multiorganversagen mutmaßlich begründet durch starken Blutverlust zum Tode.

4.5 Todesursachen und Todeszeitpunkte

Todesursachen

Der Vergleich von todesursächlichen Diagnosen mit Traumascores wie zum Beispiel dem Injury-Severity-Score erscheint nicht zielführend, da entsprechende Scores nur die erlittenen Verletzungen quantifizieren und nach Schwere einordnen, beziehungsweise einen Überblick über die Gesamtverletzungsschwere geben können. Unberücksichtigt bleibt die individuelle Grundkonstitution des verstorbenen Unfallopfers, also zum Beispiel Vorerkrankungen und Dauermedikation. Letztlich ist es auch möglich, dass keine klar zuordenbare Todesursache festgestellt werden konnte und der Tod durch ein Zusammenwirken verschiedener Faktoren erklärt wurde. Wurde im Obduktionsgutachten keine eindeutig zum Tode führende Ursache genannt und fanden sich mehrere potenziell tödliche Verletzungen ähnlicher Schwere, wurden diese Fälle der Gruppe Polytrauma zugeordnet.

Im Rahmen einer Dissertation ausgewertete Obduktionsdaten nach Unfallart, Verletzungsschwere und Todesursache zeigte, dass in der Gruppe der getöteten PKW-Insassen die häufigste Todesursache ein Polytrauma war, gefolgt von Schädelhirntraumata und Herz bzw. Aortenverletzungen (Schick, 2020).

Die Begrifflichkeit Polytrauma wird teilweise sehr unterschiedlich definiert, beinhaltet jedoch die Verletzung von zwei oder mehr Körperregionen größer oder gleich einem AIS-Code 3 und zusätzlicher Veränderung mindestens eines physiologischen Parameters (Pape, 2014). Schick (2020) stellten die todesursächliche Diagnose Polytrauma bei 43% der in der Auswertung betrachteten PKW Insassen am häufigsten. Fünf Insassen (16,1%) unseres Fallkollektivs wurden der Gruppe Polytrauma zugeteilt und bildeten die dritthäufigste Todesursache. Darin sind drei Fälle enthalten, bei denen eine exakte Zuordnung zu einer Todesursache nicht möglich war, jedoch ein Blutverlust als mögliche Ursache zumindest als begünstigend beschrieben wird. Ein Vergleich beider Datenreihen erscheint aufgrund

der teilweise unterschiedlichen Formulierung der Diagnose Polytrauma und der abweichenden Bewertung durch die Obduzenten schwierig.

Als zweithäufigste Diagnose mit acht Fällen (25,8%) unseres Kollektivs wurden Schädelhirntraumata (SHT) genannt, was sich mit den Beobachtungen der Greifswalder Studie deckt. Zwar nahmen tödliche SHT über die vergangenen Jahre zunehmend ab, jedoch bleiben sie beim Verkehrsunfall eine häufige Diagnose. Eine retrospektive Analyse konnte zeigen, dass Verkehrsunfälle circa zwei Drittel der tödlichen Schädelhirntraumata ausmachen (Bratzke & Weber, 2011). Eine Literaturrecherche von Pfeifer et. al konnte über eine Zeitspanne von 30 Jahren zeigen, dass die häufigste Todesursache beim Verkehrsunfall Verletzungen des Gehirns waren (Pfeifer et al., 2016).

In unserem Fallgut wurde bei zehn Unfallopfern (32%) als häufigste Todesursache die Diagnose Verbluten angegeben, jedoch bleibt zu Bedenken, dass dieser Terminus kein Ausschluss für eine ursächliche Mehrfachverletzung im Sinne eines Polytraumas ist. Eine Studie nannte als zweithäufigste Todesursache Verbluten, vor allem durch Verletzungen intrathorakaler und intraabdomineller Gefäße und Verletzungen des Herzens (Pfeifer et al., 2016). Frampton et. al (2006) konnten ebenfalls zeigen, dass sowohl Kopf- als auch Thoraxverletzungen die häufigsten todesursächlichen Diagnosen bei tödlichen Verkehrsunfällen zu sein scheinen. Wobei in unserem Fallgut nur für vier Unfallopfer ein Thoraxtrauma als Todesursache beschrieben wurde. Weshalb in unserem Fallkollektiv als häufigste Todesursache Verbluten genannt wurde, bleibt ungeklärt.

Die Verteilung im Fallkollektiv zeigt jedoch, dass Schädelverletzungen und Hämorrhagie durch Verletzungen thorakaler oder abdomineller Strukturen als die beiden häufigsten Todesursachen gefunden wurden und sich somit mit Erkenntnissen aus der Literatur decken (Frampton et al., 2006; Pfeifer et al., 2016).

Todeszeitpunkt

Die graphische Auswertung nach Todeszeitpunkten zeigt, dass 87 % (n=27) der Unfallopfer in unserem Fallkollektiv innerhalb von 24 Stunden an den Unfallfolgen verstarben.

Diese Ergebnisse decken sich mit einer Arbeit aus Greifswald, in deren Fallkollektiv 85 % (n=57) der tödlich verletzten PKW-Insassen innerhalb des ersten Tages verstarben (Schick, 2020).

Eine weitere zeitliche Unterteilung der innerhalb eines Tages verstorbenen Insassen wurde hier nicht vorgenommen. Somit lassen sich diese Daten nicht weiter mit unserem Kollektiv vergleichen. In einer Studie von Pfeifer et al. (2017) konnte gezeigt werden, dass von 277 Unfallopfern 64,3 % (n=178) noch am Unfallort und somit sofort verstarben. Kopf- und Thoraxverletzungen, sowie die

Kombination aus beiden Verletzungsregionen waren mit bis zu 73 % die häufigsten verletzten Körperregionen innerhalb der sofort am Unfallort verstorbenen Unfallopfer (Pfeifer et al., 2017). In unserem Fallkollektiv verstarben 45 % der Personen sofort an der Unfallstelle. Einschränkend ist hier zu erwähnen, dass in der Studie von Pfeifer et al. (2017) alle Verkehrsteilnehmer abgebildet sind, somit auch Fußgänger, Fahrradfahrer und Motorradfahrer, die keine Schutzwirkung durch eine Fahrgastzelle oder passive Schutzzeineinrichtung erfahren. Zudem wurden in dieser Studie auch Verkehrsunfälle mit Geschwindigkeiten über 100 km/h eingeschlossen. Möglicherweise erklärt dies den höheren Anteil sofort verstorbener Unfallopfer in dieser Studie.

Auch eine weitere Literaturstudie zeigte, dass 60% der tödlich verletzten Unfallopfer noch am Unfallort starben (Schwendner, 2019).

4.6 MAIS und Körperregion(en) des MAIS

Für 90% (n=28) der Unfallopfer wurde ein MAIS 4 oder größer bestimmt. Nur in drei Fällen hat die schwerste Verletzung einen Schweregrad von MAIS 3. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass der Großteil des Kollektivs mit 90 % mindestens eine sehr schwere Verletzung in mindestens einer bestimmten Körperregion aufwies.

Eine Häufigkeitsverteilung des MAIS nach Körperregionen zeigt Abbildung 11. Wenn mehr als eine Körperregion am schwersten verletzt war, wurden beide Körperregionen im Diagramm dargestellt. In 13 Fällen (42%) war der Thorax allein die am schwersten verletzte Körperregion. Insgesamt zwölf Unfallopfer (39%) erlittene die schwersten Verletzungen im Kopfbereich. Nur bei zwei PKW-Insassen (6%) fand sich die schwerste Verletzung im Abdomen.

Bereits 1968 konnte eine Studie aus Birmingham zeigen, dass PKW-Insassen bei Verkehrsunfällen häufig schwer an Kopf und Thorax verletzt wurden. Eine Einteilung nach AIS war zu diesem Zeitpunkt noch nicht üblich, daher wurden schwere Verletzungen als solche definiert, die einen chirurgischen Eingriff benötigten oder den Tod des Unfallopfers bedingt haben (Sevitt, 1968). Der Vergleich mit unseren Daten lässt diesen Trend schwerer Verletzungen im Kopf und Thoraxbereich immer noch erkennen, trotz der inzwischen verwirklichten sicherheitstechnischen Verbesserungen. Eine Arbeit aus Greifswald beschreibt eine ähnliche Häufung der Verletzungen im Kopf- und Thoraxbereich beim PKW-Insassen, es wurde jedoch keine Unterteilung der Verletzungsschwere nach Körperregionen vorgenommen (Schick, 2020). Ein Vergleich bezogen auf den MAIS und die jeweilige Körperregion des MAIS ist mit den Erkenntnissen von Schick (2020) damit nicht möglich. Eine retrospektive Analyse

von 277 getöteten Verkehrsopfern zeigte eine ähnliche Verteilung wie in unserem Fallkollektiv, auch hier waren Kopf und Thorax am häufigsten die schwerstverletzte Körperregion (Pfeifer et al., 2017).

4.7 MAIS (Körperregion) und Verletzungen in den Körperregionen

Kopf

Die Verteilung der MAIS Werte für die Körperregion Kopf zeigt, dass 45% (n=14) unverletzt bzw. gering am Kopf verletzt wurden, wohingegen weitere 45 % (n=14) kritisch bis maximale Kopfverletzungen davontrugen. Es zeigen sich zwei Gipfel, einmal ohne oder mit geringen Verletzungen am Kopf und einmal mit kritischen oder maximalen Verletzungen in der Kopfregion.

Strukturelle Verletzungen des Gehirns traten am zweithäufigsten auf. In 14 Fällen (45%) wurde der Hirnstamm, in zwölf Fällen (39%) das Großhirn und in zehn Fällen (32%) das Kleinhirn verletzt. Diese strukturellen Verletzungen beinhalten Zerreißen und Zertrümmerungen von Hirngewebe, Einreißen, Abrisse zum Beispiel der Hirnstammregion, Blutungen, Zerrungen und Zeichen von Hirndruckentwicklung.

Daten einer Studie aus Greifswald zeigen, dass in deren Kollektiv von 67 verunglückten PKW-Insassen 58 Personen ein Schädelhirntrauma erlitten. Die Klassifikation und Schweregradbeurteilung des SHT erfolgte u.a. nach Gesamtverletzungsbild des Kopfes, anatomischen Gesichtspunkten, Vorhandensein von Blutungen und individueller Einschätzung. Es wurde so eine Einteilung in leicht, mittel und schwer vorgenommen (Schick, 2020). Ein direkter Vergleich mit unseren Daten ist auf Basis dieser Unterteilung und dem Fehlen einer Klassifizierung durch AIS nur eingeschränkt möglich. Festgehalten werden kann jedoch, dass in der Greifswalder Studie 86,5% der Unfallopfer ein SHT unterschiedlicher Schwere erlitten und somit am Kopf verletzt waren. In unserem Kollektiv fanden sich 55% mit MAIS 2+ Verletzungen der Kopfregion, die restlichen 45% sind nicht oder MAIS 1 verletzt. Die unterschiedliche Verteilung der Verletzungsschwere des Kopfes in unserem Kollektiv ist auffällig. Fraglich bleibt der genaue Verletzungsmechanismus, der zu diesen Verletzungen geführt hat und durch was die Verteilung der Verletzungsschwere in unserem Kollektiv zu erklären ist.

Im Zuge einer Verzögerung beim Frontalanprall kommt es bedingt durch die Trägheit des Kopfes unter anderem zur Hyperflexion. Die dadurch wirkenden Kräfte auf Strukturen des Gehirns und des Hirnstamms, werden als Ursache für strukturelle Verletzungen genannt (Gunji et al., 2002; Kondo et al., 1995; Živković et al., 2012).

Dieser Ablauf würde eine Erklärung für den Verletzungsmechanismus bieten, da beim angegurteten PKW-Insassen eher nicht mit einem Anprall an formfesten Bestandteilen der Innenverkleidung und dementsprechenden Verletzungen der Kopfgregion zu rechnen ist. Möglicherweise könnte eine Betrachtung nach Kollisionsgeschwindigkeiten oder Intrusionstiefen Aufschluss geben, ob ein Unterschied in der erlittenen Verzögerung einen Effekt auf die Schwere der Verletzung hat, dies wurde jedoch hier nicht weiter untersucht.

Gesicht

Das Gesicht war in 90% der Fälle (n=28) in diesem Kollektiv unverletzt bzw. gering verletzt ist. Lediglich in 10% (n=3) der Fälle konnte ein MAIS (Gesicht) 2 gefunden werden.

Tabelle 4 zeigt die Verteilung der Verletzungen im Gesichtsbereich. Schwerwiegende Verletzungen sind im Gesichtsbereich nicht zu finden, hauptsächlich fanden sich Schürfwunden und Hämatome in 45 % bzw. 42 % der Fälle. Eine Studie konnte zeigen, dass beim gurtgeschützten Insassen im Frontalunfall die Verletzungen im Gesichtsbereich überwiegend leicht sind. Die Autoren führen das auf die effektive Rückhaltung durch den Sicherheitsgurt und den Airbag zurück, wodurch der Anprall an Teilen der Innenverkleidung oder des Lenkrades effektiv verhindert wird. Die Autoren berichteten von 46,7% Risswunden, 41,9% Schürfwunden, 14% Frakturen und 5,7% Zahnverletzungen (Hitosugi et al., 2011). Dies ähnelt der Verteilung in unserem Fallkollektiv.

Hals

Betrachtet man die Verteilung der MAIS der Körperregion Hals kann man Abbildung 14 entnehmen, dass 68% (n=21) nicht oder nur mäßig bis gering am Hals verletzt wurden.

Die Durchsicht der Einzelverletzungen zeigt, dass 32% (n=10) der Unfallopfer des Fallkollektivs eine Fraktur der Halswirbelsäule aufwiesen, was somit die häufigste Verletzung in dieser Körperregion darstellt.

Mußhoff et al. (2015) beschreiben ventralseitige Stauchungen und dorsalseitig Dehnungen der Wirbelsäule beim gurtgeschützten PKW-Insassen. Die dadurch bedingten Verletzungen der Wirbelsäule sind durch eine erzwungene Ventralflexion des Kopfes im Zuge einer Verzögerung bedingt. Ähnliche Mechanismen und Verletzungsmuster beschreiben Huelke et al (1979). Zudem scheint die Elastizität beziehungsweise der Bewegungsumfang der Halswirbelsäule bei diesem Verletzungsmuster eine Rolle zu spielen. Da in unserem Kollektiv nur angegurtete Unfallopfer

untersucht wurden, kann der von den Autoren beschriebene Mechanismus dieses Verletzungsmuster ausreichend erklären.

Thorax

Die Verteilung der MAIS für die Körperregion Thorax zeigt eine klare Tendenz. Keines der Unfallopfer war am Thorax leicht- oder unverletzt.

98 % des Fallkollektivs waren MAIS 3+ am Thorax verletzt, sieben Personen mit einem MAIS 5 und drei Unfallopfer mit einem MAIS 6.

In einer Studie der Universität Greifswald fand sich von 67 PKW-Insassen lediglich eine Person ohne Verletzung im Bereich des Thorax und bestätigt eindrücklich die Verletzungshäufung in dieser Körperregion (Schick, 2020). Wie bereits erwähnt, wurde in dieser Arbeit nur nach der verletzten Körperregion untersucht und nicht nach Schwere bewertet. Es kann im Vergleich mit deren Daten bestätigt werden, dass Verletzungen des Thorax auch beim verunfallten PKW-Beifahrer und Rücksitzinsassen sehr häufig sind, jedoch eignen sich die Daten dieser Studie aufgrund der nicht untersuchten Verletzungsschwere nur bedingt zum Vergleich.

Die häufigsten berichteten Verletzungen des Thorax waren Frakturen der Rippen mit 86,5% rechtsseitigen und 79% linksseitigen multiplen Rippenfrakturen (Schick, 2020). Eine ähnliche Häufung konnte in unserem Kollektiv gefunden werden. Es erlitten 87 % der Unfallopfer Rippenfrakturen. Die Seitenzuordnung der Frakturen dürfte abhängig vom Verlauf des Brustgurtes sein und wurde in unserem Kollektiv nicht berücksichtigt. Crandall et al. (2000) konnten in einer Studie die Literaturmeinung bestätigen, dass Insassen beim Frontalcrash eher Rippenfrakturen entlang des Gurtverlaufes erleiden.

Die biomechanischen Mechanismen dieser Verletzungen beschreibt Kramer (2009) als eine sagittale Belastung des Brustkorbs durch eine Kompression, woraus Einfachfrakturen von einzelnen oder mehreren Rippen resultieren. Es erscheint nachvollziehbar, dass durch die Verzögerung eines angegurten PKW-Insassen im Zuge eines Frontalanpralls eine Kompression des Thorax erfolgt. In einer Studie von Kemper et al. (2011) konnte gezeigt werden, dass AIS Grad 3 Verletzungen der Rippen bereits bei geringeren Thoraxkompressionstiefen auftraten als bisher von der National Highway Safety Administration (NHTSA) als Verletzungskriterium definiert. Limitierend gaben die Autoren an, dass Verletzungen des knöchernen Thorax in Abhängigkeit von Alter, Thoraxgeometrie und Vorerkrankungen stark variieren können (Kemper et al., 2011). Auch Heinrich et al. (2017) postulieren ein höheres Risiko von Rippenfrakturen älterer Verkehrsunfallopfer. In einer Studie konnte gezeigt werden, dass bei mehr als 55 % der Patienten über 60 Jahre, die mit einem MAIS im

Thoraxbereich starben, dieser durch die Rippenverletzungen definiert wurde und keine schlimmeren Verletzungen in anderen Körperregionen zu finden waren (R. Kent et al., 2008).

Eine Studie von Pfeifer et al. (2017) bietet einen Vergleich mit unseren Daten. Es wurden 277 Unfallopfer untersucht, die im Rahmen eines Verkehrsunfalls ein stumpfes Trauma erlitten und infolge der tödlichen Verletzungen im Institut für Rechtsmedizin der LMU München obduziert wurden. Wie auch in unserem Kollektiv wurden über 90 % der Unfallopfer AIS 3+ in der Körperregion Thorax verletzt. Thorakale Verletzungen sowohl der großen Gefäße als auch Verletzungen des Herzens werden als zweithäufigste tödliche Verletzung genannt (Pfeifer et al., 2017).

In unserem Kollektiv fanden sich bei zehn Unfallopfern (32%) Verletzungen der thorakalen, arteriellen Gefäße im Sinne einer Ruptur der thorakalen Aorta. Diese Verletzungsentität wird als häufige Todesursache bei Verkehrsunfällen beschrieben (Hardy et al., 2006).

Es scheinen mehrere Mechanismen denkbar. Hardy et al. (2006) beschreibt eine Verankerung der absteigenden Aorta durch die parietale Pleura und somit eine Fixation dieser Struktur gegenüber des oberhalb liegenden Teil der Aorta mit daraus resultierenden Traktionen und Spannungsmechanismen. Creasy et al. (1997) berichten über Scher- und Biegebeanspruchungen, die über eine unterschiedliche Relativbewegung des beweglichen Aortenbogens und der fixierten absteigenden Aorta zustande kommen und so zu strukturellen Verletzungen der Gefäßwand führen. Einen anderen Mechanismus vertritt Crass et al. (1990), die eine Druckkomponente auf aortale Strukturen, insbesondere des Isthmus zwischen knöcherner Thoraxvorderwand und Wirbelsäule in den Raum stellen.

Strukturelle Verletzungen des Thorax und der darin enthaltenen Organstrukturen bedingen oft einen letalen Ausgang für das Unfallopfer und fanden sich auch in unserem Fallkollektiv (Frampton et al., 2006; Pfeifer et al., 2017).

Abdomen

Die Betrachtung der MAIS 3+ Verteilung zeigt, dass 35 % (n=11) der Unfallopfer einen MAIS Schweregrad 3 oder 4 in der Körperregion Abdomen erlitten hatten. Kritische und maximale Verletzungen entsprechend einem AIS Code mit Schweregrad 5 oder 6 wurden in unserem Fallkollektiv nicht gefunden.

Erkenntnisse einer bereits zum Vergleich präsentierten Arbeit aus Greifswald zeigten, dass von allen untersuchten PKW-Insassen 79% im Bereich Abdomen verletzt waren (Schick, 2020). Lässt man die Aufteilung nach Schweregraden außer Acht, zeigt sich in unserem Fallkollektiv mit 90% im Abdomen verletzten Unfallopfern eine ähnliche Größenordnung.

Zahlen von Pfeifer et al. (2017) zeigen eine insgesamt geringere Häufung von Abdominalverletzungen (64%) im Fallkollektiv. Die unterschiedlichen Häufigkeiten sind möglicherweise in der Betrachtung aller Verkehrsteilnehmer (inklusive Fußgänger etc.) bei Pfeifer et al. (2017) zu suchen. Schwere Verletzungen der Abdominalregion, die entweder den MAIS definierten oder todesursächlich waren, fanden sich sowohl bei Pfeifer et al. (2017) mit 2,9% als auch in unserem Kollektiv mit 6% seltener. Vergleicht man unsere Abdomen AIS 3+ verletzten Unfallopfer (35%) mit denen bei Pfeifer et al. (2017) (39,7%) zeigen sich ähnliche Häufigkeiten. Insgesamt scheinen bei Pfeifer et al. (2017) weniger Abdominalverletzungen als in unserem Kollektiv aufzutreten. Die Häufigkeiten der MAIS und todesursächliche Verletzungen, sowie AIS 3+ Verletzungen im Abdomen scheinen ähnlich häufig vorzukommen.

Schick (2020) berichtet in seinem Fallkollektiv von 61% Leberverletzungen und 39% Milzverletzungen. Diese Verteilung findet sich ungeachtet der Verletzungsschwere in unserem Fallkollektiv in ähnlicher Weise mit 45% Leber- und 23% Milzverletzungen wieder. Betrachtet man die Verletzungshäufigkeiten der einzelnen Organe, findet man in der Literatur ähnliche Verteilungen.

In einer Studie von Yoganandan et al. (2000) untersuchten die Autoren Unfalldaten sowie wissenschaftliche Literatur mit der Zielsetzung, Verletzungsmuster des Abdomens für Frontal- und Seitunfälle zu präsentieren. Grundsätzlich wurde gezeigt, dass Leber- und Milzverletzungen am häufigsten zu finden waren, ebenso fanden sich die meisten Verletzungen in der Kategorie der AIS 2 Verletzungen. Diese Feststellungen decken sich mit unseren Daten. Die häufigsten intraabdominellen Verletzungen solider Organe fanden sich in Leber und Milz, ebenso waren die meisten Verletzungen 35% (n=11) des Abdomens in der AIS 2 Kategorie zu finden. Insgesamt am häufigsten fanden sich in unserem Fallkollektiv mit 71% Hämatome in der Abdominalregion.

Die Verletzungsmechanismen, der Verletzungsort innerhalb des Bauchraums, sowie die Wahrscheinlichkeit und Schwere der Verletzungen hängen von vielfältigen Faktoren ab. Vor allem die anatomische Lage im Bezug zur Wirbelsäule als potenzielles Widerlager, sowie die Beweglichkeit der Bauchorgane innerhalb des Abdomens beeinflussen das biomechanische Verhalten im Zuge einer traumatischen Belastung (Schmitt et al., 2020b). Eine höhere Verletzungswahrscheinlichkeit für solide Bauchorgane als für Hohlorgane wird ebenso beschrieben, wie ein Einfluss des Organzustandes auf die Verletzungstoleranz (Schmitt et al., 2020b). Folgende Verletzungsmechanismen sind als Grundannahme zu nennen: direkte Druckkräfte auf Organe, Mechanismen die durch Beschleunigung zu erklären sind und Scherbelastungen bzw. Zugbelastung im Rahmen viskoser Verletzungsmechanismen (Schmitt et al., 2020b).

Die genaueren Mechanismen beim stumpfen Bauchtrauma sind komplex. Für Leber- und Milzverletzungen soll exemplarisch eine detaillierte Darstellung gezeigt werden.

Schmitt et al. (2020b) berichtet von einem viskoelastischen Verhalten der kompakten Bauchorgane und beschreibt einen Zusammenhang von Kompressionsrate und Verletzungsentstehung. Analog dem Verletzungsmechanismus beim Thorax, wird auch hier abhängig von der Kompressionstiefe des Abdomens auf die Verletzungsschwere des Abdomens geschlossen (Rouhana et al., 1985; Schmitt et al., 2020b; Stalnaker & Ulman, 1985). Kramer beschreibt Verletzungsmechanismen für die Organe Leber und Milz zum einen durch direkte Krafteinwirkungen über Kompression, aber auch viskose Beanspruchungen, bei denen sich ein hoher Flüssigkeitsdruck innerhalb des Organs aufbaut und es somit zu großen Zug- und Scherbelastungen kommt. Zudem werden Verletzungen von Anbindungsstrukturen wie Bändern und Gefäßen beschrieben, wenn der Verletzungsmechanismus durch eine Relativbewegung im Zuge einer Beschleunigung oder Verzögerung stattfindet (Kramer, 2009).

Da in unserem Kollektiv ausschließlich angegurtete PKW-Insassen untersucht wurden und das Risiko als gurtgeschützter Insasse an Strukturen des Innenraums anzuprallen laut Kramer und Arnold (2009) deutlich reduziert ist, könnten mögliche Ursachen der beschriebenen Abdominalverletzungen wie folgt aussehen: King (2001) nennt für angegurtete PKW-Insassen als Hauptverletzungsquellen des Abdomens das Lenkrad, sowie nicht korrekt angelegte Sicherheitsgurte. Da in unserem Kollektiv nur angegurtete Mitfahrer betrachtet wurden, scheidet das Lenkrad als Verletzungsquelle aus, ebenso scheint ein Anprall an Teilen der Innenverkleidung aufgrund der Gurtsicherung unwahrscheinlich. Mechanismen, die durch eine Interaktion mit dem Sicherheitsgurt assoziiert sein könnten, erscheinen plausibler.

Bereits 1962 berichteten Garrett und Braunstein von möglicherweise Gurt assoziierten Verletzungsmustern und sprachen von einem „Seatbelt Syndrome“. Sie untersuchten 3325 angegurtete Verkehrsunfallopfer und fanden von 150 an der unteren Körperhälfte Verletzten, 26 mit ernsthaften abdominellen Verletzungen. Die Autoren beschreiben Verletzungen von Darmstrukturen, Leber- und Milzverletzungen sowie Gefäßverletzungen und Frakturen der Lendenwirbelsäule. Verletzungen der Hautoberfläche wie Schürfungen, Risse oder Untertaschungen als Zeichen der direkten Einwirkung durch den Sicherheitsgurt fanden sich häufig (Garrett & Braunstein, 1962). Vergleicht man dies mit den Verletzungen unseres Kollektivs, finden sich einige auch hier wieder. Allem voran Verletzungen der soliden Oberbauchorgane (45% Leber, 23% Milz), aber auch Schürfungen (32%), Hautuntertaschungen (23%) und Verletzungen der Lendenwirbelsäule (19%). Es lässt sich festhalten, dass Verletzungen durch den Beckenteil des Sicherheitsgurtes, sowohl Verletzungen intraabdomineller Organe als auch Frakturen der Lendenwirbelsäule beinhalten und

diese mutmaßlich durch eine Hyperflexion über den Sicherheitsgurt bedingt sind (Rutledge et al., 1991).

Anhand unserer Daten lässt sich nicht sicher rückschließen, ob all diese Verletzungen gurtassoziiert sind, jedoch scheint diese Variante durchaus plausibel.

Leung et al. (1982) beschreiben einige Beckengurt assoziierte Mechanismen, die eine plausible Erklärung im Vergleich mit unserem Kollektiv bieten können. Zum einen werden bei erfolgter Rückhaltung durch den Beckengurt durch Dezeleration und Scher- und Schubbelastungen oberflächliche Verletzungen wie Risse und Schürfungen beschrieben, die auch in unserem Kollektiv zu finden waren (Leung et al., 1982). Des Weiteren wird von den Autoren eine starke intraabdominelle Druckerhöhung bei forcierter Beugung des Rumpfes um das Becken beschrieben, was in Folge zu Verletzungen der Bauchorgane führen kann. Sollte es in dieser Situation noch zusätzlich zum Submarining kommen, wird eine weitere starke Druckerhöhung postuliert (Leung et al., 1982). Eine starke Flexion der Lendenwirbelsäule mit daraus resultierender Fraktur wird auch als Chance Fraktur bezeichnet und im Zusammenhang mit diesem Mechanismus beschrieben (W S Smith, 1969). Frakturen der Lendenwirbelsäule fanden sich in unserem Fallkollektiv in 19% der Fälle und sind womöglich Ausdruck der angesprochenen Hyperflexion über den Beckengurt bzw. einer starken Rumpfbeugung über das Becken.

Ein weiterer Mechanismus lässt sich wohl passend als Fehlanlage oder Lageanomalie des Beckengurtes beschreiben, in dessen Folge es zur direkten Krafteinwirkung in Richtung Abdomen mit den entsprechenden Verletzungsmustern kommt (Leung et al., 1982).

Das eigentliche Submarining-Phänomen beschreiben die Autoren als einen initial korrekt am knöchernen Becken positionierten Gurt, der unter Krafteinleitung über den Beckenkamm rutscht und den Abdominalbereich komprimiert (Leung et al., 1982).

Extremitäten

Obere Extremität

Lediglich 6% (n=2) der Unfallopfer erlitten eine schwere oder sehr schwere Verletzung im Bereich der oberen Extremität, wobei es sich in beiden Fällen um Amputationsverletzungen der oberen Extremität handelte. Der überwiegende Teil beschränkte sich auf MAIS 1 und 2 Verletzungen und zeigte sich in Form von Hämatomen (68%), Abschürfungen (45%) und Frakturen des Schlüsselbeins (16%) sowie des Unterarms (16%).

In einer Studie zu Verletzungen der oberen Extremität beim PKW-Insassen konnte gezeigt werden, dass 86% aller Verletzungen der oberen Extremität AIS 1 waren und sich in Form von oberflächlichen

Hautverletzungen wie Schürfwunden und Risswunden zeigten. Von den 14% AIS2+ Verletzungen fanden sich am häufigsten Frakturen, am häufigsten des Unterarms, wenn die Unfallart eine Frontalkollision war (Frampton et al., 1997). Die grundsätzliche Verteilung der Verletzungen findet sich ähnlich in unserem Fallkollektiv. Auch hier waren die Mehrheit der erlittenen Verletzungen der oberen Extremität \leq AIS 2. Frakturen fanden sich in unserem Fallkollektiv in Form von Schlüsselbein- (13%) und Schlüsselbeinschaftfrakturen (3%), sowie Frakturen des Unterarms inkl. isolierter Radius- und Ulnafrakturen (16%).

Es lassen sich verschiedene mögliche Verletzungsmechanismen anführen. Schmitt et al. (2010) nennen einen direkten Kontakt mit dem Airbag, Kontakt zu Innenraumstrukturen, Wegschleudern des Armes durch den Airbag und daraufhin Kontakt mit Innenraumstrukturen und Kontakt mit anderen Fahrzeuginsassen.

Die genauen Mechanismen können vermutlich nicht allen einzelnen Verletzungen zugeordnet werden, da es mehrere Möglichkeiten der Verletzungsentstehung gibt. Frakturen der Clavicula scheinen jedoch klassischerweise durch den schräg verlaufenden Schultergurt verursacht und lassen sich somit durchaus als gurtassoziierte Verletzung interpretieren (Schmitt et al., 2010).

Die beiden Amputationsverletzungen der oberen Extremität waren eine Abtrennung im Bereich des Oberarmes und eine Amputation des Daumens, deren Mechanismus ungeklärt bleibt.

Untere Extremität

Nur ein Unfallopfer blieb an den unteren Extremitäten unverletzt, die Verteilung der MAIS Werte zeigte sich breit verteilt mit einer deutlichen Häufung bei einem MAIS 1.

61% (n=19) waren mäßig bis gering verletzt und 32 % (n=10) wurden schwer bis kritisch an der unteren Extremität verletzt. Am häufigsten fanden sich in über 80% der Fälle Hämatome, sowie in 45% Schürfwunden und 26% Aufreißen.

Crandall et al. (1998) beschreiben, dass Fuß- und Knöchelverletzungen beim PKW-Insassen in einem Frontalanprallszenario bis zu 12% aller mäßigen bis ernsthaften Verletzungen ausmachten. Auch wenn eine genaue biomechanische Erklärung für die Verletzungsmechanismen schwierig scheint, wird die Intrusion in den Fußraum und der Kontakt mit der Pedalerie in Folge des Anpralls als potenzieller Mechanismus genannt (Crandall et al., 1998).

Die Verletzungscodierung nach Abbreviated Injury Scale erfordert zur genauen Vergabe eines Codes, die möglichst exakte Beschreibung der verletzten Körperregion und der verletzten Struktur, sowie die Art der Verletzung. In den gerichtsmedizinischen Sektionen wird nicht jede Fraktur oder mögliche

Bandverletzung freipräpariert, um die exakte Struktur zu identifizieren. Beispielhaft wird die Sprunggelenksregion als regelwidrig beweglich beschrieben und somit ist eine Fraktur ausreichend belegt. Es fanden sich in 23% der Fälle eine Unterschenkelfraktur, eine spezifischere Unterteilung ist nicht möglich und es bleibt unklar wie hoch der Anteil an Verletzungen der Fuß- und Knöchelregion war.

Kramer (2009) beschreibt Verletzungsmechanismen beim Frontalanprall für die Becken- und Oberschenkelregion durch eine Krafteinleitung über den Kontakt von Knie und Instrumententafel. Ist die Krafteinleitung ausreichend groß, können Frakturen entstehen. Dieser Mechanismus bietet eine Erklärung für Frakturen des Femurs durch Biegebeanspruchung, die in sechs Fällen in unserem Fallkollektiv gefunden wurden. Verletzungen des knöchernen Beckens, die zu einem bedrohlichen Blutverlust durch Gefäßverletzungen führen können, entstehen am ehesten durch Kompression, vertikale Scherkräfte oder eine Kombination aus beiden (Schmitt et al., 2010). Diese Mechanismen sind eher bei starken Intrusionsvorgängen mit direktem Anprall, Stürzen oder ähnlichen Vorgängen mit direkter Krafteinwirkung auf das Becken zu finden. Die Hüftgelenksregion scheint eher für Luxationen gekoppelt mit Frakturen des Acetabulum gefährdet, bei rückwärtsgerichteter Krafteinwirkung durch den Femur (Schmitt et al., 2010). Welcher Mechanismus für die sieben Frakturen des Beckenrings plausibel scheint, lässt sich nicht hinreichend erklären.

4.8 Submarining/Beckengurtinteraktion

Es wurde dargestellt, ob Sicherheitsgurtinteraktionen mutmaßlich stattgefunden haben, welche Verletzungsmuster auftraten und welche auslösenden Faktoren ursächlich gewesen sein könnten. Einige Merkmale aus der deskriptiven Beschreibung des Fallkollektivs können im Vergleich mit Erkenntnissen verschiedener Autoren als möglicher Risikofaktor bzw. begünstigend für eine Beckengurtinteraktion präsentiert werden. In den Einzelanalysen konnten die Gurtinteraktionen dargestellt werden und ein möglicher Erklärungsansatz präsentiert werden. Es bleibt zu bedenken, dass die Verletzungsmechanismen einer großen Variabilität unterliegen und es teilweise aufgrund fehlender Informationen aus den Gutachten bzw. Akten oder aufgrund von Unsicherheiten in der Rekonstruktion nicht immer möglich war, den Mechanismus exakt einzugrenzen.

Für die Ursachen einer Interaktion mit dem Beckengurt bestehen verschiedene Theorien. Im Folgenden werden mehrere Studien präsentiert und die Kernaussagen in Bezug auf unser Kollektiv verglichen.

Rawska et al. (2020) untersuchten in einer Computersimulation das Risiko eines PKW-Insassen ein Submarining zu erleiden, in Abhängigkeit verschiedener Variablen. Es wurden Simulationen mit zwei

verschiedenen Menschmodellen durchgeführt, dem kleinen, weiblichen Menschmodell mit einer Körpergröße von 150cm und einem Gewicht von 49 kg, sowie dem größeren, männlichen Menschmodell mit einer Körpergröße von 175 cm und einem Körpergewicht von 78 kg. Mit beiden Modellen wurden jeweils zwölf Simulationen mit vier verschiedenen Neigungswinkeln der Sitzlehne ($0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ$) und drei unterschiedlichen Neigungswinkeln des Sitzkissens ($3^\circ, 8^\circ, 13^\circ$) durchgeführt. Für das kleine Menschmodell trat in acht von zwölf Simulationen ein Submarining-Phänomen ein. Lediglich in komplett aufrechter Sitzposition mit einem Neigungswinkel von 0° und in der 10° geneigten Sitzlehneneinstellung mit 13° steil gestelltem Sitzkissen konnte ein Submarining verhindert werden. Die Autoren postulieren für Insassen mit geringer Körpergröße und über 0° geneigten Sitzlehnenwinkel ein deutlich erhöhtes Submarining Risiko.

Es zeigt sich im Fallkollektiv eine unterdurchschnittliche Körpergröße von 165 cm (Statistisches Bundesamt, 2018). Gründe hierfür wurden bereits diskutiert und können mit der Geschlechterverteilung und der unterdurchschnittlichen Körpergröße für den männlichen Anteil im Kollektiv begründet werden. Zwar wurde von Rawska et al. (2020) eine geringe Körpergröße als potenzieller Risikofaktor für ein Submarining beschrieben, es bleibt jedoch zu erwähnen, dass eine verstärkte Sitzlehnenneigung im Besonderen für kleine PKW-Innsassen einen Risikofaktor darstellt. Die Information zur Neigung der Sitzlehne war im Fallkollektiv nicht zu erheben. Somit bleibt festzuhalten, dass zwar die anthropometrischen Daten des Kollektivs Hinweise auf ein vermutlich erhöhtes Submarining-Risiko geben können, belegen ließen sich diese Vermutungen allerdings aufgrund mangelnder Informationen zur Sitzlehnenneigung nicht.

Rees et al. (2023) konnten in einer Simulationsreihe zeigen, dass anatomische Veränderungen des Beckenkammes, im Detail der Spina iliaca anterior superior einen unterschiedlichen Effekt auf das Submarining Risiko haben. Es wurden ausgehend von computertomographisch erhobenen Bilddaten virtuelle Veränderungen der Spina iliaca anterior superior vorgenommen und mit den verschiedenen Beckenmodellen unter standardisierter Gurtsicherung und Sitzposition Simulationen durchgeführt. Auffällig scheint, dass die Simulationsreihen, die mit dem virtuellen Modell einer flachen, weniger steil gestalteten Spina iliaca anterior superior durchgeführt wurden, mehr Submarining-Ereignisse aufwiesen als die Simulationsreihen mit steil gestalteter Spina iliaca anterior superior.

Eine detaillierte Betrachtung der Beckenanatomie im Besonderen der Region der Spina iliaca anterior superior wurde in unserem Fallkollektiv nicht vorgenommen, daher lassen sich in Bezug auf unser Fallkollektiv hier keine Rückschlüsse ziehen.

Unter der Hypothese der geschlechtsspezifischen Veränderung der Beckenkinematik, der Beckengurtinteraktion und der Verletzungsmuster verursacht durch anthropometrische

Unterschiede, wurde von Shin et al. (2023) eine Testreihe mit menschlichen Körperspendern durchgeführt. In dieser Testreihe konnte kein geschlechtsspezifischer Unterschied der Beckenkinematik sowie der Verletzungsmuster in zurückgelehnter Sitzposition beim Frontalanprall festgestellt werden.

In der Literatur finden sich Hinweise, dass ein erhöhter BMI als Risikofaktor für eine inadäquate Sicherheitsgurtanlage mit konsekutiv erhöhten Verletzungsrisiko betrachtet werden muss. Mit einem Anteil von über 70% mindestens übergewichtiger Unfallopfer im Fallkollektiv, kann von einer Häufung dieses Risikofaktors gesprochen werden. Reed et al. (2012) gingen in einer Laborstudie der Frage nach, inwiefern die Position des Sicherheitsgurts durch den Body-Mass-Index beeinflusst wird. Hierfür wurden 54 Probanden in die Studie aufgenommen, von denen 48% einen Body-Mass-Index von über 30 kg/m^2 aufwiesen. Nach definierten Kriterien sollten sich die Probanden angurten und eine aufrechte Sitzposition einnehmen. Sowohl vordefinierte anatomische Landmarken als auch der Verlauf des Sicherheitsgurts wurden protokolliert. Es wurde festgestellt, dass beim übergewichtigen Anteil der Probanden der Beckengurt im Durchschnitt 40mm weiter Richtung ventral und 22mm weiter Richtung kranial relativ zum knöchernen Becken positioniert wurde. Um eine adäquate Rückhaltung erzeugen zu können und zur Vermeidung Gurt assoziierter Verletzungen abdomineller Strukturen ist es zwingend notwendig, dass der Sicherheitsgurt festanliegenden Kontakt zum knöchernen Becken unterhalb der Spinae iliacae hat. Reed et al. (2012) postulieren eine durchschnittlich ungünstige Beckengurtposition der übergewichtigen Probanden. Daraus ergeben sich laut Reed et al. (2012) verschiedene Möglichkeiten einer weniger effektiven Gurtwirkung mit konsekutiven Verletzungsfolgen: Durch Positionierung des Sicherheitsgurts oberhalb des Beckens ist eine effektive Beckenrückhaltung erschwert beziehungsweise verzögert. Daraus resultiert eine vergrößerte Vorwärtsbewegung auf dem Sitz beim Frontalanprall und das Risiko eines Anpralls der unteren Extremität an der Instrumententafel erhöht sich. Auch Verletzungen abdomineller Strukturen durch den Beckengurt selbst, sind durch die Positionierung des Beckengurts oberhalb des Beckenkamms möglich. Außerdem resultiert aus einer vergrößerten Gurtlose, die beim übergewichtigen Anteil der Probanden erkennbar wurde, eine vermehrte Vorwärtsbewegung des Körpers auf dem Sitz bis der Sicherheitsgurt eine effektive Rückhaltung erzeugen kann. Folglich besteht auch dadurch ein erhöhtes Risiko für Verletzungen der unteren Extremität, der Thoraxregion sowie abdomineller Strukturen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten: Es sind mehr Frauen als Männer im hier betrachteten Fallkollektiv enthalten, bei allen Einzelfallbetrachtungen handelt es sich um weibliche Unfallopfer. Zahlen des statistischen Bundesamts zeigen, dass immer noch mehr Frauen als Passagiere und nicht

als aktive Fahrzeuglenker am Straßenverkehr teilnehmen. Somit ist die ungleiche Geschlechterverteilung im Kollektiv erwartbar (Statistisches Bundesamt, 2022a). Zahlen des statistischen Bundesamts zeigen, dass weibliche Personen durchschnittlich kleiner sind als männliche Personen (Statistisches Bundesamt, 2018). Eine geringere Körpergröße wird nach Rawska et al. (2020) wiederum als Risikofaktor für ein Submarining im Fall eines angegurteten Frontalanpralles beschrieben. Die Verteilung der Unfallopfer, die mit einem Body-Mass-Index $\geq 25 \text{ kg/m}^2$ mindestens übergewichtig sind, liegt bei 71 % ($n=22$) im Kollektiv. Somit liegen diese Zahlen über dem zu erwartenden Anteil der Normalbevölkerung (Statistisches Bundesamt, 2021a). Möglicherweise gibt die Altersverteilung mit einem Median von 72 Jahren einen Erklärungsansatz für den höheren Anteil an Übergewichtigen. Laut Schienkiewitz et al. (2017) nimmt die Anzahl an Personen, die an Übergewicht leiden, mit steigendem Lebensalter zu. Reed et al. (2012) postulieren für angegurtete Personen mit einem Body-Mass-Index von über 30 kg/m^2 eine ungünstigere Beckengurtpositionierung, die wiederum das Verletzungsrisiko erhöht.

Zur Vermeidung bietet sich an erster Stelle eine adäquate Standardsitzpositionierung mit aufrechter Sitzlehne an. Die Compliance zur korrekten Gurtplatzierung könnte durch verbesserte und verstärkte Aufklärungsarbeit optimiert werden (Reed et al., 2013). Es sei hier noch kurz erwähnt, dass ebenfalls die Konstruktion der Sitzfläche einen Einfluss haben kann. Die rampenförmige Konstruktion kann mit einer gewissen Steilheit der Sitzfläche und Steifigkeit des Sitzkissens ein Untergleiten des Gurtes erschweren oder gar verhindern, indem der stützende Unterbau eine stabile Beckenlage bildet (Kramer, 2009). Die Effektivität dieser Einzelmaßnahme wurde in den Simulationen von Rawska et al. (2020) gezeigt. Möglicherweise kann ein Knieairbag einen möglichst großen Abstand von Knie und Bein zur Instrumententafel gewährleisten und ein Nach-vorne-Rutschen mit Untertauchen des Beckengurtes verhindern (Schmitt et al., 2020a).

In Bezug auf gänzlich veränderte Sitzpositionen, hier sei exemplarisch der Liegesitz genannt, wird grundsätzlich mehr Forschung und Entwicklung aktueller Gurtsysteme nötig sein, um in diesen Positionen die bestmögliche Gurtwirkung zu gewährleisten, wie es auch Reed et al. (2019) festhalten.

5. Zusammenfassung

Laut statistischem Bundesamt starben im Jahr 2022 1191 Verkehrsteilnehmer in Deutschland als Insassen oder Fahrer eines PKWs. Die stetige Reduktion von Verkehrstoten über die letzten Jahrzehnte sei laut Literatur der Verdienst multipler Faktoren. Neben der sukzessiven medizinischen Verbesserung sei auch die kontinuierliche Weiterentwicklung der Fahrzeugsicherheit und des Insassenschutzes genannt. Im Kontext einer sich verändernden Mobilität unserer Gesellschaft, rücke das Thema der Fahrzeugautomatisierung immer mehr in den Vordergrund. Insassen in autonomen oder hochautomatisierten Fahrzeugen könnten möglicherweise aufgrund veränderter Sitzpositionen ähnliche Verletzungsmuster wie heutige Bei- oder Mitfahrer erleiden. Um weiterhin einen bestmöglichen Insassenschutz bei veränderter Sitzposition zu gewährleisten, muss die Wechselwirkung des Sicherheitsgurts mit der Sitzposition kritisch hinterfragt werden.

In dieser Analyse wurde nach Verletzungsmustern gesucht, die durch eine Interaktion mit dem Sicherheitsgurt entstanden sind. Dazu wurde aus den Obduktionsdaten des Instituts für Rechtsmedizin der LMU München ein Kollektiv aus 31 Unfallopfern erstellt, die als gurtgesicherte Bei- oder Mitfahrer in einem Frontalunfall zu Tode gekommen sind. Es wurden deskriptiv anthropometrische Merkmale, Todesursachen und -zeiten, sowie MAIS Gesamt, MAIS Körperregionen, ISS und alle nach AIS codierten Einzelverletzungen ausgewertet. Zudem wurden für acht Fälle eine detaillierte Einzelanalyse zur Verletzungsentstehung durchgeführt.

Die Daten zeigen einen weiblichen Anteil von 77,4%, sowie mehr Beifahrer (68%) als Rücksitzinsassen. Des Weiteren war mehr als die Hälfte (58%) über 65 Jahre alt. Insgesamt waren 61% unter 170 cm groß. Übergewichtig waren 71% des Kollektivs, fast 40% waren mit einem $\text{BMI} > 30 \text{ kg/m}^2$ adipös. 84% waren mit einem ISS Wert von über 27 mindestens erheblich verletzt. Am häufigsten starben die Unfallopfer an den Folgen einer Hämorrhagie gefolgt von Schädel-Hirn-Traumata. Die Betrachtung der MAIS Werte zeigte, dass 90% mindestens einen MAIS Wert von 4 in einer Körperregion aufwiesen. Kopf und Thorax waren am häufigsten die Körperregionen mit dem MAIS, in zwei Fällen war das Abdomen die am schwersten verletzte Körperregion. Die häufigsten Verletzungen des Thorax waren Rippenfrakturen (87%), Frakturen des Sternums (74%) sowie die Ausbildung eines Hämatothorax (68%). Verletzungen des Abdomens zeigten zu 71% Hämatome der Bauchregion, 45% Leberverletzungen und 23% Verletzungen der Milz. Frakturen der Lendenwirbelsäule fanden sich in 19% der Fälle.

In den Einzelfallanalysen fanden sich acht Unfallopfer mit Körpergrößen von 151 cm bis 168 cm, 87% der Unfallopfer waren mit einem $\text{BMI} > 25 \text{ kg/m}^2$ mindestens übergewichtig mit einer Spannweite der BMI-Werte von 24 bis $40,5 \text{ kg/m}^2$. In vier Fällen war der Thorax die Körperregion des MAIS, in einem

Fall Thorax/Abdomen, in einem weiteren Fall der Kopf, sowie in zwei Fällen das Abdomen allein. Laut Literatur sind Kopf und Thorax häufig die am schwersten verletzte Körperregion bei Verkehrsunfallopfern und häufig die Todesursache. Eine ähnliche Verteilung fand sich ebenfalls in unserem Kollektiv wieder. Die Abdominalregion ist häufig nicht schwer verletzt, sondern oft leicht verletzt und bei Verletzungen intraabdomineller Strukturen dominieren Verletzungen der soliden Oberbauchorgane wie Leber und Milz. Ähnliche Verteilungen fanden sich auch in unserem Kollektiv wieder. Die Verletzungsmechanismen der Abdominalregion sind komplex und bis heute nicht vollständig verstanden, werden jedoch durch direkte Kompression, beschleunigungsinduzierte Mechanismen und im Rahmen eines viskosen Verletzungsmechanismus durch hohen Flüssigkeitsdruck der soliden Organe erklärt. Die Abdominalverletzungen des Fallkollektivs können teils als Gurt assoziiert bezeichnet werden. Hierbei wird bei erfolgter Rückhaltung durch den Beckengurt von oberflächlichen Schürfungen und Rissen, sowie durch forcierte Rumpfbeugung von Bauchorganverletzungen gesprochen. Ein Abgleiten des Beckengurts in den Bauchraum im Sinne eines Submarinings soll den einwirkenden Druck durch direkte Kompression noch zusätzlich erhöhen und durch komplexe Verletzungsmechanismen entsprechende Schäden verursachen. In den Einzelfallanalysen konnten Gurt assoziierte Verletzungsmuster dargestellt werden: von acht Einzelfällen wurde ein Fall mit korrekter Gurtsicherung präsentiert, für alle anderen Kasuistiken konnte anhand entsprechender Verletzungsmuster ein Gurt assoziierter Mechanismus vermutet werden. Teils scheint es zu einem Submarining Phänomen gekommen zu sein, möglicherweise begünstigt durch kleine Körpergröße sowie veränderte Sitzlehnenposition wie bereits in der Literatur beschrieben wurde. In sieben Fällen ließ sich somit keine eindeutig korrekte Gurtsicherung feststellen. Es wird von Verletzungen ausgegangen, die durch eine nicht korrekte Sicherheitsgurtpositionierung oder Sicherheitsgurt assoziierte Phänomene wie eine zu starke Gurtlose beziehungsweise Submarining verursacht wurden. Möglicherweise ist eine fehlerhafte Lage des Sicherheitsgurts durch anthropometrische Faktoren wie beispielsweise Übergewicht oder kleine Körpergröße begünstigt.

Um den künftigen Insassenschutz in hoch automatisierten oder autonomen Fahrzeugen weiter zu optimieren, wird bezüglich der Sicherheitsgurtwirkung und veränderter Sitzposition weitere Erkenntnis durch Forschungsbestrebungen nötig sein. Jedoch lässt sich unter anderem anhand der in dieser Analyse erhobenen Kenntnisse festhalten, dass eine optimale Wirkung von 3-Punkt-Automatikgurtsystemen von der Standardsitzposition, einer korrekten Sicherheitsgurtanlage sowie Sicherheitsgurtpositionierung und anthropometrischen Faktoren der Insassen abhängig ist. Für den künftigen Insassenschutz autonomer Fahrzeuge mit entsprechend veränderten Sitzpositionen, werden veränderte Gurtkonzepte zum optimierten Insassenschutz nötig werden.

Literaturverzeichnis

- Allgemeine Deutsche Automobil-Club e. V. (2020). Euro NCAP 2020: Was ist neu? Abgerufen von <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/euro-ncap-neuerungen/> am: 12.3.2021
- Anger, F., Germer, C.-T. (2019). Traumatische Dünndarmverletzung. In R. Schwab, C.-T. Germer, & H. Lang (Eds.), *Notfälle in der Allgemein- und Viszeralchirurgie: Kurze Wege zur Therapieentscheidung* (pp. 67-73). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Association for the Advancement of Automotive Medicine. (2015). *Abbreviated Injury Scale: 2015 Revision (6 ed.)*. Chicago, IL.
- Bachmann, S., Schrem, H., Mommsen, P., Gaulke, R., Klemptner, J., Bektas, H., et al. (2014). Bauchwandzerreiung – Risiko Sicherheitsgurt? *Der Unfallchirurg*, 117(10), 962-964. doi:10.1007/s00113-013-2493-z
- Becker, K., Friedrich, K., Rothschild, M. (2011). Rekonstruktion von Verkehrsunfällen. *Rechtsmedizin*, 21(6), 561-573. doi:10.1007/s00194-011-0775-8
- Bergqvist, D., Dahlgren, S., Hedelin, H. (1978). Rupture of the Diaphragm in Patients Wearing Seatbelts. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*, 18(11), 781-783. Abgerufen von https://journals.lww.com/jtrauma/Fulltext/1978/11000/Rupture_of_the_Diaphragm_in_Patients_Wearing.6.aspx am 12.3.2023
- Bode, G., Joachim, H. (1987). Zur Differentialdiagnose von Unfall- und Reanimationstraumen. *Zeitschrift für Rechtsmedizin*, 98(1), 19-32. doi:10.1007/BF00200382
- Bratzke, H., Weber, A. (2011). Epidemiologie tödlicher Schädel-Hirn-Traumen aus forensischer Sicht. *Rechtsmedizin*, 21(4), 258-264. doi:10.1007/s00194-011-0760-2
- Bundesanstalt für Straßenwesen. (2021). Selbstfahrende Autos – assistiert, automatisiert oder autonom? Abgerufen von <https://www.bast.de/DE/Presse/Mitteilungen/2021/06-2021.html?nn=1497062> am: 15.05.2022
- Buschmann, C., Tsokos, M. (2008). Iatrogene Traumata nach frustranter Reanimation. *Notarzt*, 24, 197-202. doi:10.1055/s-2008-1067511
- Chaer, R., Doherty, J., Merlotti, G., Salzman, S., Fishman, D. (2005). A case of blunt injury to the superior vena cava and right atrial appendage: Mechanisms of injury and review of the literature. *Injury Extra*, 36, 341-345. doi:10.1016/j.injury.2005.01.020
- Crandall, J., Kent, R., Patrie, J., Fertile, J., Martin, P. (2000). Rib fracture patterns and radiologic detection-a restraint-based comparison. *Annual proceedings. Association for the Advancement of Automotive Medicine*, 44, 235-259. Abgerufen von <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3217385/>
- Crandall, J., Martin, P. G., Sieveka, E. M., Pilkey, W. D., Dischinger, P. C., Burgess, A., et al. (1998). Lower limb response and injury in frontal crashes. *Accident Analysis & Prevention*, 30(5), 667-677.
- Crass, J. R., Cohen, A. M., Motta, A. O., J F Tomashefski, J., Wiesen, E. J. (1990). A proposed new mechanism of traumatic aortic rupture: the osseous pinch. *Radiology*, 176(3), 645-649. doi:10.1148/radiology.176.3.2389022
- Creasy, J. D., Chiles, C., Routh, W. D., Dyer, R. B. (1997). Overview of traumatic injury of the thoracic aorta. *RadioGraphics*, 17(1), 27-45. doi:10.1148/radiographics.17.1.9017797
- Cuerden, R., Cookson, R., Massie, P., Edwards, M. (2007). *A review of the European 40% offset frontal impact test configuration*. Paper presented at the Proceedings of the 20th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV) 2007.
- Dettmeyer, R., Veit, F., Verhoff, M. (2019). Verkehrsmedizin. In *Rechtsmedizin* (pp. 177-192). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- European New Car Assessment Programme. (2019). *Full width frontal impact testing protocol*. Abgerufen von <https://cdn.euroncap.com/media/53141/euro-ncap-frontal-fw-test-protocol-v12.pdf>

- Follmer, R., Gruschwitz, D. (2019). *Mobilität in Deutschland - MiD Kurzreport. Ausgabe 4.0 Studie von infas,DLR,IVT und infas 360 im Auftrag des Bundesministers für Verkehr und digitale Infrastruktur*. Abgerufen von https://fops.de/wp-content/uploads/2020/11/70.0904_Kurzbericht.pdf am 1.4.2024
- Frampton, R., Lenard, J., Compigne, S. (2012). *An in-depth study of abdominal injuries sustained by car occupants in frontal crashes*. Paper presented at the Annals of Advances in Automotive Medicine.
- Frampton, R., Morris, A., Thomas, P., Bodiwala, G. (1997). *An overview of upper extremity injuries to car occupants in UK vehicle crashes*. Paper presented at the Proceedings of the International IRCOBI Conference on the Biomechanics of Impact.
- Frampton, R., Page, M., Thomas, P. (2006). Factors related to fatal injury in frontal crashes involving European cars. *Annual proceedings. Association for the Advancement of Automotive Medicine*, 50, 35-56.
- Fulton, J., De Groot, M., Von Oppell, U., Ruttman, T. (1998). Blunt Cardiac Rupture Caused by Zip Gun Backfire. *The Annals of Thoracic Surgery*, 65(3), 837-839. doi:10.1016/S0003-4975(98)00005-8
- Garrett, J. W., Braunstein, M. D. (1962). The seat belt syndrome. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*, 2(3), 220-238. Retrieved from https://journals.lww.com/jtrauma/Fulltext/1962/05000/THE_SEAT_BELT_SYNDROME.2.aspx
- Gunji, H., Mizusawa, I., Hiraiwa, K. (2002). The mechanism underlying the occurrence of traumatic brainstem lesions in victims of traffic accidents. *Legal Medicine*, 4(2), 84-89. doi:[https://doi.org/10.1016/S1344-6223\(02\)00012-3](https://doi.org/10.1016/S1344-6223(02)00012-3)
- Hardy, W. N., Shah, C. S., Mason, M. J., Yang, K. H., Ee, C. A. V., Digges, K. (2006). Investigation of potential mechanisms of traumatic rupture of the aorta. *Journal of Biomechanics*, 39, S156. doi:[https://doi.org/10.1016/S0021-9290\(06\)83534-7](https://doi.org/10.1016/S0021-9290(06)83534-7)
- Heinrich, D., Holzmann, C., Wagner, A., Fischer, A., Pfeifer, R., Graw, M., et al. (2017). What are the differences in injury patterns of young and elderly traffic accident fatalities considering death on scene and death in hospital? *International journal of legal medicine*, 131(4), 1023-1037.
- Hitosugi, M., Mizuno, K., Nagai, T., Tokudome, S. (2011). Analysis of Maxillofacial Injuries of Vehicle Passengers Involved in Frontal Collisions. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 69(4), 1146-1151. doi:<https://doi.org/10.1016/j.joms.2010.05.030>
- Huelke, D. F., Mendelsohn, R. A., States, J. D., Melvin, J. W. (1979). Cervical Fractures and Fracture-Dislocations Sustained without Head Impact. *SAE Transactions*, 88, 469-475. doi: 10.1097/00005373-197807000-00008
- Huth, M. (2010). *Die Verletzungen von Fahrer und Beifahrer bei schweren Pkw-Unfällen im Vergleich Dissertation*. Medizinischen Fakultät der Ernst-Moritz-Arndt-Universität, Abgerufen von [urn:nbn:de:gbv:9-000856-6](http://nbn:de:gbv:9-000856-6).
- Kemper, A. R., Kennedy, E. A., McNally, C., Manoogian, S. J., Stitzel, J. D., Duma, S. M. (2011). Reducing Chest Injuries in Automobile Collisions: Rib Fracture Timing and Implications for Thoracic Injury Criteria. *Annals of Biomedical Engineering*, 39(8), 2141-2151. doi:10.1007/s10439-011-0311-8
- Kent, R., Woods, W., Bostrom, O. (2008). Fatality risk and the presence of rib fractures. *Ann Adv Automot Med*, 52, 73-82.
- Kent, R. W., Forman, J. L., Bostrom, O. (2010). Is There Really a "Cushion Effect"? A Biomechanical Investigation of Crash Injury Mechanisms in the Obese. *Obesity*, 18(4), 749-753. doi:10.1038/oby.2009.315
- King, A. I. (2001). Fundamentals of impact biomechanics: part 2—biomechanics of the Abdomen, Pelvis, and lower Extremities. *Annual review of biomedical engineering*, 3(1), 27-55.
- Kondo, T., Saito, K., Nishigami, J., Ohshima, T. (1995). Fatal injuries of the brain stem and/or upper cervical spinal cord in traffic accidents: nine autopsy cases. *Science & Justice*, 35(3), 197-201. doi:[https://doi.org/10.1016/S1355-0306\(95\)72661-2](https://doi.org/10.1016/S1355-0306(95)72661-2)

- Kramer, F. (1994). Experimental determination of the pelvis rotational angle and its relation to a protection criterion for pelvic and abdominal injuries. *IRCOBI Conference on The Biomechanics of Impact with a Special Session on Advanced Occupant Restraint Technologies*. Abgerufen von https://www.ircobi.org/wordpress/downloads/irc1994/pdf_files/1994_18.pdf
- Kramer, F. (2009). Passive Sicherheit von Kraftfahrzeugen. In *Biomechanik-Simulation-Sicherheit im Entwicklungsprozess* (Vol. 3, pp. XII, 416 S.). Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag.
- Kramer, F., Arnold, J. (2009). Sicherheitsgurte. In H. Burg & A. Moser (Eds.), *Handbuch Verkehrsunfallrekonstruktion: Unfallaufnahme, Fahrdynamik, Simulation* (pp. 761-774). Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag.
- Kühn, M., Bende, J. (2018). Automated Driving Function In Cars - Who Needs Seat Belts And Airbags Anymore? *14th International Symposium and accompanying Exhibition on Sophisticated Car Safety Systems*.
- Laakmann, F., Zink, L., Seyffert, M. (2019). Neue Innenraumkonzepte für den Insassenschutz in hochautomatisierten Fahrzeugen. *ATZ - Automobiltechnische Zeitschrift*, 121(4), 54-59. doi:10.1007/s35148-019-0017-z
- Lee, E. L., Craig, M., Scarboro, M. (2015). Real-World Rib Fracture Patterns in Frontal Crashes in Different Restraint Conditions. *Traffic Inj Prev*, 16(sup2), S115-S123. doi:10.1080/15389588.2015.1062888
- Leung, Y. C., Tarrrière, C., Lestrelin, D., Hureau, J., Got, C., Guillon, F., et al. (1982). Submarining Injuries of 3 Pt. Belted Occupants in Frontal Collisions—Description, Mechanisms and Protection. *SAE Transactions*, 91, 3521-3553. Abgerufen von <http://www.jstor.org/stable/44634382>
- Linder, A., Svedberg, W. (2019). Review of average sized male and female occupant models in European regulatory safety assessment tests and European laws: Gaps and bridging suggestions. *Accident Analysis & Prevention*, 127, 156-162. doi:<https://doi.org/10.1016/j.aap.2019.02.030>
- Lopez-Valdes, F. J., Mroz, K., Eggers, A., Pipkorn, B., Muehlbauer, J., Schick, S., et al. (2018). Chest injuries of elderly postmortem human surrogates (PMHSs) under seat belt and airbag loading in frontal sled impacts: Comparison to matching THOR tests. *Traffic Inj Prev*, 19(sup2), S55-S63. doi:10.1080/15389588.2018.1542139
- Mußhoff, F., Heß, C., Madea, B., Wehner, H.-D., Huckenbeck, W., Gabriel, P., et al. (2015). Verkehrsmedizin. In B. Madea (Ed.), *Rechtsmedizin: Befunderhebung, Rekonstruktion, Begutachtung* (pp. 693-783). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Nationen, V. (2022). *World Population Prospects*. Abgerufen von <https://www.un.org/development/desa/pd/content/World-Population-Prospects-2022>
- Niederer, P., Walz, F., Zollinger, U. (1977). *Adverse effects of seat belts and causes of belt failures in severe car accidents in Switzerland during 1976*. <https://doi.org/10.4271/770916>
- Pape, H., Lefering, R., Butcher, N., Peitzman, A., Leenen, L., Marzi, I., Lichte, P., Josten, C., Bouillon, B., Schmucker, U., Stahel, P., Giannoudis, P. & Balogh, Z. (2014). The definition of polytrauma revisited. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*, 77 (5), 780-786. doi:10.1097/TA.0000000000000453
- Perry, J. R., Escobedo, E. M., Mann, F. A. (2000). Abdominal aortic injury associated with “seat belt syndrome”. *Emergency Radiology*, 7(5), 312-314. doi:10.1007/PL00011848
- Pfeifer, R., Schick, S., Holzmann, C., Graw, M., Teuben, M., Pape, H.-C. (2017). Analysis of Injury and Mortality Patterns in Deceased Patients with Road Traffic Injuries: An Autopsy Study. *World Journal of Surgery*, 41(12), 3111-3119. doi:10.1007/s00268-017-4122-4
- Pfeifer, R., Teuben, M., Andruszkow, H., Barkatali, B. M., Pape, H.-C. (2016). Mortality Patterns in Patients with Multiple Trauma: A Systematic Review of Autopsy Studies. *PLOS ONE*, 11(2), e0148844. doi:10.1371/journal.pone.0148844

- Rawska, K., Gepner, B., Moreau, D., Kerrigan, J. R. (2020). Submarining sensitivity across varied seat configurations in autonomous driving system environment. *Traffic Inj Prev*, 1-6. doi:10.1080/15389588.2020.1791324
- Reed, M. P., Ebert, S. M., Hallman, J. (2013). Effects of driver characteristics on seat belt fit. *Stapp car crash journal*, 57(57), 43-57.
- Reed, M. P., Ebert, S. M., Jones, M. L. H. (2019). Posture and belt fit in reclined passenger seats. *Traffic Inj Prev*, 20(sup1), S38-S42. doi:10.1080/15389588.2019.1630733
- Reed, M. P., Ebert, S. M., Rupp, J. D. (2012). Effects of Obesity on Seat Belt Fit. *Traffic Inj Prev*, 13(4), 364-372. doi:10.1080/15389588.2012.659363
- Rees, M., Wernicke, P., Bregulla, A., Peldschus, S. (2023). *Effects of geometric variations of anterior iliac wings on submarining risk in reclined seating*. Paper presented at the IRCOBI Conference 2023, Cambridge, United Kingdom. <https://www.ircobi.org/wordpress/downloads/irc23/pdf-files/2385.pdf>
- Richter, M., Pape, H.-C., Otte, D., Krettek, C. (2005). Improvements in passive car safety led to decreased injury severity – a comparison between the 1970s and 1990s. *Injury*, 36(4), 484-488. doi:<https://doi.org/10.1016/j.injury.2004.10.001>
- Rouhana, S. W., Lau, I. V., Ridella, S. A. (1985). Influence of velocity and forced compression on the severity of abdominal injury in blunt, nonpenetrating lateral impact. *The Journal of trauma*, 25(6), 490-500. doi:10.1097/00005373-198506000-00004
- Ruchholtz, S., Lefering, R., Paffrath, T., Oestern, H. J., Neugebauer, E., Nast-Kolb, D., et al. (2008). Reduction in mortality of severely injured patients in Germany. *Dtsch Arztebl Int*, 105(13), 225-231. doi:10.3238/arztebl.2008.0225
- Rutledge, R., Thomason, M., Oller, D., Meredith, W., Moylan, J., Clancy, T., et al. (1991). The Spectrum of Abdominal Injuries Associated with the Use of Seat Belts. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*, 31(6), 820-826. Abgerufen von https://journals.lww.com/jtrauma/Fulltext/1991/06000/The_Spectrum_of_Abdominal_Injuries_Associated_with.13.aspx
- Schick, S. (2020). *Tödliche Straßenverkehrsunfälle aus dem Obduktionsgut des Instituts für Rechtsmedizin der Universitätsmedizin Greifswald (2006-2015)-Ursachen, Umstände und der Beitrag der Rechtsmedizin zur Rekonstruktion von Abläufen*. Dissertation, Universität Greifswald.
- Schienkiewitz, A., Mensink, G., Kuhnert, R. (2017). Übergewicht und Adipositas bei Erwachsenen in Deutschland. *Journal of Health Monitoring*. doi:10.17886/RKI-GBE-2017-025
- Schmitt, K.-U., Niederer, P. F., Cronin, D. S., Morrison III, B., Muser, M. H., Walz, F. (2020a). Methoden der Trauma-Biomechanik. In *Trauma-Biomechanik: Einführung in die Biomechanik von Verletzungen* (pp. 17-71). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Schmitt, K.-U., Niederer, P. F., Cronin, D. S., Morrison Iii, B., Muser, M. H., Walz, F. (2020b). Verletzungen des Abdomens. In K.-U. Schmitt, P. F. Niederer, D. S. Cronin, B. Morrison Iii, M. H. Muser, & F. Walz (Eds.), *Trauma-Biomechanik: Einführung in die Biomechanik von Verletzungen* (pp. 205-218). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Schmitt, K.-U., Niederer, P. F., Muser, M. H., Walz, F. (2010). Verletzungen der oberen Extremitäten. In K.-U. Schmitt, P. F. Niederer, M. H. Muser, & F. Walz (Eds.), *Trauma-Biomechanik: Verletzungen in Straßenverkehr und Sport* (pp. 227-245). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Schwendner, C. (2019). *Lebenserwartung nach Unfall: Literaturreview zu verbleibender Lebenszeit und Todesursachen in Abhängigkeit von Verletzungen und Begleitumständen*. Dissertation, LMU München: Medizinische Fakultät.
- Segura Novoa, R. D. (2018). *Insassenschutzauslegung mit Menschmodellen/Occupant Protection Design with FE Human Body Models*. Dissertation, LMU München: Medizinische Fakultät. 10.5282/edoc.23728

- Sevitt, S. (1968). Fatal road accidents. Injuries, complications, and causes of death in 250 subjects. *Br J Surg*, 55(7), 481-505. doi:10.1002/bjs.1800550702
- Shin, J., Donlon, J. P., Richardson, R., Espelien, C., Gallaher, M., Luong, V., et al. (2023). *Comparison of Pelvis Kinematics and Injuries in Reclined Frontal Impact Sled Tests Between Mid-Size Adult Male and Female PMHS*. Paper presented at the IRCOBI conference 2023.
- Stalnaker, R. L., Ulman, M. S. (1985). *Abdominal trauma-review, response, and criteria*. Paper presented at the 29th Stapp Car Crash Conference.
- States, J. D., Huelke, D. F., Dance, M., Green, R. N. (1987). Fatal injuries caused by underarm use of shoulder belts. *Journal of Trauma - Injury, Infection and Critical Care*, 27(7), 740-745. doi:10.1097/00005373-198707000-00008
- Statistisches Bundesamt. (2018). *Mikrozensus - Körpermaße der Bevölkerung*. Abgerufen von <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Gesundheit/Gesundheitszustand-Relevantes-Verhalten/Publikationen/Downloads-Gesundheitszustand/koerpermasse-5239003179004.html>
- Statistisches Bundesamt. (2021a). *Indikatorenbericht 2021*. Abgerufen von <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Nachhaltigkeitsindikatoren/Publikationen/Downloads-Nachhaltigkeit/indikatoren-0230001219004.html>
- Statistisches Bundesamt. (2021b). *Unfälle von Senioren im Straßenverkehr 2020*. Abgerufen von https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Verkehrsunfaelle/Publikationen/Downloads-Verkehrsunfaelle/unfaelle-senioren-5462409207004.pdf?__blob=publicationFile
- Statistisches Bundesamt. (2022a). *Unfälle von Frauen und Männern im Straßenverkehr 2020*. Abgerufen von https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Verkehrsunfaelle/Publikationen/Downloads-Verkehrsunfaelle/unfaelle-frauen-maenner-5462407207004.pdf?__blob=publicationFile
- Statistisches Bundesamt. (2022b). *Verkehrsunfälle 2021: Neuer Tiefststand bei Verkehrstoten und Verletzten*. Abgerufen von https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2022/07/PD22_286_46241.html am: 4.7.2023
- Statistisches Bundesamt. (2023). *Unfallbilanz 2022: 220 Verkehrstote mehr als im Vorjahr*. Abgerufen von https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2023/02/PD23_073_46241.html am: 3.3.2023
- TraumaRegister DGU®. (2021). *Jahresbericht 2021 - TraumaRegister DGU® für das Unfalljahr 2020*. Abgerufen von https://www.traumaregister-dgu.de/fileadmin/user_upload/TR-DGU_Jahresbericht_2021.pdf
- TraumaRegister DGU®. (2022). *Jahresbericht 2022 - TraumaRegister DGU® für das Unfalljahr 2021*. Abgerufen von https://www.auc-online.de/fileadmin/AUC/Dokumente/Register/TraumaRegister_DGU/TR-DGU-Jahresbericht_2022.pdf
- Vandersluis, R., O'Connor, H. M. (1987). The seat-belt syndrome. *CMAJ : Canadian Medical Association journal = journal de l'Association medicale canadienne*, 137(11), 1023-1024. Abgerufen von <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1267426/>
- W S Smith, H. K. (1969). Patterns and Mechanisms of Lumbar Injuries Associated with Lap Seat Belts. *JBJS*, 51(2), 239-254. Abgerufen von https://journals.lww.com/jbjsjournal/Fulltext/1969/51020/Patterns_and_Mechanisms_of_Lumbar_Injuries.4.aspx
- Wutzler, S., Lefering, R., Laurer, H. L., Walcher, F., Wyen, H., Marzi, I., et al. (2008). Veränderungen in der Alterstraumatologie. *Der Unfallchirurg*, 111(8), 592-598. doi:10.1007/s00113-008-1448-2

- Yoganandan, N., Pintar, F. A., Gennarelli, T. A., Maltese, M. R. (2000). Patterns of abdominal injuries in frontal and side impacts. *Annual proceedings. Association for the Advancement of Automotive Medicine*, 44, 17-36.
- Zarzaur, B. L., Marshall, S. W. (2008). Motor Vehicle Crashes Obesity and Seat Belt Use: A Deadly Combination? *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*, 64(2), 412-419.
doi:10.1097/TA.0b013e3180f61c33
- Živković, V., Nikolić, S., Strajina, V., Babić, D., Djonić, D., Djurić, M. (2012). Pontomedullary lacerations and concomitant head and neck injuries: their underlying mechanism. A prospective autopsy study. *Forensic science, medicine, and pathology*, 8(3), 237-242.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Häufigkeitsverteilung der Sitzposition im Fallkollektiv	25
Abbildung 2 Häufigkeitsverteilung der Altersgruppen im Fallkollektiv	26
Abbildung 3 Häufigkeitsverteilung der Körpergröße (gruppiert) im Fallkollektiv	27
Abbildung 4 Körpergröße nach Geschlecht im Fallkollektiv	28
Abbildung 5 Häufigkeitsverteilung der Gewichtsklassen anhand des BMI im Fallkollektiv	29
Abbildung 6 Absolute Häufigkeitsverteilung des ISS im Fallkollektiv	30
Abbildung 7 Häufigkeitsverteilung der ISS Gruppen im Fallkollektiv	31
Abbildung 8 Häufigkeitsverteilung der Todesursachen im Fallkollektiv.....	32
Abbildung 9 Häufigkeitsverteilung der Todeszeitpunkte im Fallkollektiv	33
Abbildung 10 Häufigkeitsverteilung des MAIS des Fallkollektivs	34
Abbildung 11 Häufigkeitsverteilung der Körperregion(en), in denen der MAIS vorlag.....	35
Abbildung 12 Häufigkeitsverteilung des MAIS(Kopf) im Fallkollektiv	36
Abbildung 13 Häufigkeitsverteilung des MAIS(Gesicht) im Fallkollektiv.....	38
Abbildung 14 Häufigkeitsverteilung des MAIS(Hals) im Fallkollektiv	40
Abbildung 15 Häufigkeitsverteilung des MAIS(Obere Extremität) im Fallkollektiv	42
Abbildung 16 Häufigkeitsverteilung des MAIS (Thorax) im Fallkollektiv	44
Abbildung 17 Häufigkeitsverteilung des MAIS (Abdomen) im Fallkollektiv	46
Abbildung 18 Häufigkeitsverteilung des MAIS (Untere Extremität) im Fallkollektiv	48
Abbildung 19 MAIS 3+ Anteil nach Körperregionen für das Fallkollektiv.....	50

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Klassifikation der Adipositas nach BMI (Modifiziert nach WHO 2000)	14
Tabelle 2 Variablen und Merkmalsausprägungen	21
Tabelle 3 Verteilung Einzelverletzungen Kopf des Fallkollektiv	37
Tabelle 4 Verteilung Einzelverletzungen Gesicht des Fallkollektiv	39
Tabelle 5 Verteilung Einzelverletzungen Körperregion Hals des Fallkollektivs	41
Tabelle 6 Verteilung Einzelverletzungen Körperregion Obere Extremität des Fallkollektivs	43
Tabelle 7 Verteilung Einzelverletzungen Körperregion Thorax Fallkollektiv	45
Tabelle 8 Verteilung Einzelverletzungen Abdomen Fallkollektiv	47
Tabelle 9 Verteilung Einzelverletzungen Untere Extremität Fallkollektiv	49
Tabelle 10 Einzelverletzungen Einzelfall 1	53
Tabelle 11 Einzelverletzungen Einzelfall 2	59
Tabelle 12 Einzelverletzungen Einzelfall 3	66
Tabelle 13 Einzelverletzungen Einzelfall 4	74
Tabelle 14 Einzelverletzungen Einzelfall 5	82
Tabelle 15 Einzelverletzungen Einzelfall 6	89
Tabelle 16 Einzelverletzungen Einzelfall 7	95
Tabelle 17 Einzelverletzungen Einzelfall 8	101

Bildverzeichnis

Bild 1 Einzelfall 1 Übersichtsaufnahme	52
Bild 2 Einzelfall 2 Übersichtsaufnahme	58
Bild 3 Einzelfall 3 Übersichtsaufnahme	65
Bild 4 Einzelfall 4 Übersichtsaufnahme	73
Bild 5 Einzelfall 5 Übersichtsaufnahme	81
Bild 6 Einzelfall 6 Übersichtsaufnahme	88
Bild 7 Einzelfall 7 Übersichtsaufnahme	94
Bild 8 Einzelfall 8 Übersichtsaufnahme	100

Danksagung

Ich bedanke mich bei Herrn Prof. Dr. rer. biol. hum. Dipl.-Ing. Steffen Peldschus für die freundliche Aufnahme an das Institut, die Überlassung des Themas, sowie die kompetente und verbindliche Begleitung während des gesamten Dissertationsvorhabens.

Mein ganz besonderer Dank gilt Frau Dr. med Sylvia Schick, die mir zu jeder Zeit mit einem offenem Ohr sowie einem sinnvollen Rat zur Seite stand und mich im gesamten Verlauf der Erstellung dieser Dissertation ermunternd und beharrlich begleitet hat. Ihre stets kompetente, zuverlässige und zeitnahe Betreuung in allen Angelegenheiten dieser Dissertation habe ich während der gesamten Zeit außerordentlich geschätzt und ich möchte ihr hiermit meinen aufrichtigen Dank aussprechen.

Auch bei Herrn Dr. Klaus Bauer möchte ich mich für die technischen und unfalltechnischen Einschätzungen und Beurteilungen im Rahmen der Einzelfallanalysen bedanken.

Kristina Schreiber, Daniel Rosmeisl und Jan Hübner möchte ich an dieser Stelle nicht unerwähnt lassen und mich hiermit für die tatkräftige Unterstützung bei der AIS-Codierung bedanken.

Eidesstattliche Versicherung

Hiermit erkläre ich, Manuel Clemens Mayer, geboren am 28. März 1988 in Rosenheim, an Eides statt, dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Thema:

Verletzungsmuster von PKW-Insassen – Sicherheitsgurt assoziierte Abdominalverletzungen

selbständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

Stephanskirchen den 20. November 2024

Ort, Datum

Manuel Clemens Mayer

Übereinstimmungserklärung

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

Verletzungsmuster von PKW-Insassen – Sicherheitsgurt assoziierte Abdominalverletzungen

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

Stephanskirchen den 20. November 2024

Manuel Clemens Mayer