

Aus dem Institut für Rechtsmedizin  
der Ludwig-Maximilians-Universität München  
Direktor: Prof. Dr. med. Matthias Graw

**Verletzungsmuster bei tödlichen Fußgängerunfällen - Die Rolle der  
Beckenfraktur im Verletzungskomplex**

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

vorgelegt von

Nora Anais Koenemann  
aus Princeton, New Jersey

2020

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. med. Matthias Graw

Mitberichterstatter: PD Dr. med. Cornelis Stadtland

Mitbetreuung durch den  
promovierten Mitarbeiter: Dr. med. Sylvia Schick

Dekan: Prof. Dr. med. dent. Reinhard Hickel

Tag der mündlichen Prüfung: 23.07.2020

## Eidesstattliche Versicherung

Ich, Nora A. Koenemann, erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Titel

„Verletzungsmuster bei tödlichen Fußgängerunfällen – Die Rolle der Beckenfraktur im Verletzungskomplex“

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.

München, 24.07.2020

Ort, Datum

Nora A. Koenemann

Unterschrift Doktorandin

# Inhalt

1 Einleitung.....	6
2 Material und Methodik .....	9
2.1 Datenquelle und Fallkollektiv.....	9
2.2 Kodierung der Verletzungen der Fußgänger.....	10
2.2.1 Verletzungskodierung nach AIS.....	10
2.2.2 Kategorisierung von Verletzungen zur Beschreibung von Verletzungsmustern .....	11
2.3 Erfassung und Analyse der Unfälle .....	12
2.3.1 Angaben zum Unfall gemäß der Verkehrsunfallanzeige und unfallanalytischen Gutachten .....	13
2.3.2 Analyse des Unfallhergangs.....	14
2.4 Darstellung und Auswertung des Fallkollektivs.....	15
2.4.1 Soziodemographische Variablen .....	15
2.4.2 Unfallhergang und Todesumstände .....	16
2.4.3 Verletzungsmuster und Verletzungsschwere.....	17
2.4.4 Assoziation von Verletzungsschwere mit Unfallmechanismus/max. Kollisionsgeschwindigkeit.....	19
2.4.5 Fußgänger mit Beckenfrakturen .....	19
2.5 Einzelfallvorstellung .....	21
2.6 Repräsentativität der Daten des Instituts.....	22
3 Ergebnisse .....	23
3.1. Vergleich von Fußgängern mit (WPF) mit Fußgängern ohne (NPF) Beckenfraktur .....	23
3.1.1 Soziodemographische Variablen.....	23
3.1.2 Unfallhergang.....	27
3.1.3 Verletzungsmuster.....	34
3.1.4 Assoziation zwischen Unfallmechanismus und Verletzungsschwere.....	38
3.1.5 Charakteristika der Fälle mit Anstoßgeschwindigkeit 0 bis 30km/h .....	39
3.2 Fußgänger mit Beckenfrakturen (n=62).....	40
3.2.1 Verletzungsmuster bei Fußgängern mit Beckenfrakturen .....	40
3.2.2 Vergleich von Fußgängern mit Beckenfrakturen unterschiedlicher Schweregrade .....	43
3.3 Einzelfallbetrachtung der Fälle, bei denen die Beckenfraktur die schwerste Verletzung darstellt.....	50
3.3.1 Fall 1 .....	50
3.3.2 Fall 2 .....	51
3.3.3 Fall 3.....	52
3.4 Repräsentativität der Daten .....	53
4 Diskussion .....	54

4.1 Soziodemographische Ergebnisse .....	54
4.2 Verletzungen des Beckens und begleitende Verletzungen.....	55
4.3 Einzelfallbetrachtung.....	64
4.4 Ausblick .....	65
5 Zusammenfassung.....	67
Literaturverzeichnis .....	69
Anhang.....	75
Tabellen .....	75
Abkürzungsverzeichnis.....	83
Abbildungs- und Tabellenverzeichnis .....	84
Danksagung .....	86

Zur besseren Lesbarkeit wurde in dieser Arbeit auf die Verwendung genderneutraler Ausdrucksformen im Sinne des Gebrauchs von weiblichen und männlichen Personenformen verzichtet.

## 1 Einleitung

Fußgänger stellen als sogenannte Vulnerable Road Users[1] VRU (vulnerable Verkehrsteilnehmer) eine besondere Gruppe an Verkehrsteilnehmern dar und unterscheiden sich in Verletzungsmuster, Verletzungsschwere und Überlebenswahrscheinlichkeiten von anderen Verkehrsteilnehmern[2-4]. Die Kombination aus optimierter Primärprävention und verbesserter Notfallversorgung hat zum Rückgang der Fußgängertoten in der Bundesrepublik Deutschland (BRD) von den 90er Jahren bis heute geführt[5, 6]. Trotzdem verunglückten im Jahr 2017 31.047 Fußgänger auf deutschen Straßen, 483 davon tödlich[7].

Insgesamt ist der Anteil tödlich verunglückter Fußgänger an allen Verkehrstoten in der BRD über die letzten zehn Jahre mit 17% in 2004 nahezu konstant geblieben[8], 14% in 2012[9] und 15% in 2017 bei einem Gesamtrückgang an tödlichen Verkehrsunfällen[6, 7]. Im internationalen Vergleich liegt Deutschland dabei unter dem gesamtglobalen Anteil von ca. 22%[10]. In Deutschland sind alle Altersgruppen und beide Geschlechter betroffen, besonders stark sind dabei junge männliche Erwachsene und Senioren vertreten[11].

Die Fußgänger-orientierte Unfallforschung ist ein interdisziplinäres Forschungsgebiet. Dazu gehört die multifaktorielle Unfallanalyse: Einfluss der Infrastruktur, Unfallgegnercharakteristika, Analysen menschlichen Fehlverhaltens, Einfluss von Drogen, Alkohol oder Medikamenten, aber auch beispielsweise die Rolle der Kollisionsgeschwindigkeit. Alle diese Teilbereiche sollen dazu beitragen, die komplexen Zusammenhänge und Wechselwirkungen, welche zu einem Unfallgeschehen und dessen Ausmaß beitragen, zu verstehen und in Bezug zu setzen. Im Fokus der daraus resultierenden Erkenntnisse stehen vor allem die Primär- und Sekundärprävention: Verkehrspolitische Entscheidungen, wie innenstädtische Geschwindigkeitsbegrenzungen und Ausbau der Infrastruktur (z.B. Fußgängerübergänge), haben Einfluss auf die Verkehrssicherheit von Fußgängern. Technische Innovationen sollen die Folgen eines Unfalls mildern, beispielsweise durch Fahrsicherheitssysteme (Automatische Bremssysteme)[5, 12] und Autofront-Anpassung (z.B. Motorhaubenairbag)[13].

Im Straßenverkehr verunglückte Fußgänger spielen eine medizinökonomische Rolle, da die Versorgung polytraumatisierter Patienten mit höheren Kosten verbunden ist[14]. Dabei sind nicht nur direkte Kosten der Krankenhausversorgung, beispielsweise durch die Schockraumindikation[15] und anschließende Rehabilitationsmaßnahmen entscheidend,

sondern auch indirekte Kosten durch Langzeitfolgen wie durch Behinderung oder Arbeitsausfall belasten das Gesundheitssystem, da ca. ein Drittel der schwerverletzten Fußgänger permanente medizinische Schäden erleiden[16].

Mit „schwer verletzt“ wird in der gängigen Lehrmeinung ein Schweregrad von 3 oder höher gemäß der Abbreviated Injury Scale © (AIS)[17] verstanden. Die AIS wird international zur Dokumentation von Verletzungen genutzt und bietet zudem eine objektive Einschätzung der Verletzungsschwere an. Die AIS wird genutzt, um eine Vergleichbarkeit sowie den internationalen Austausch bezüglich der Trauma-Terminologie zu gewährleisten. Zudem ermöglicht sie die Einschätzung der Bedeutsamkeit einer Verletzung im interfachlichen Austausch zwischen Medizinern und Ingenieuren.

Der Fußgänger ist einem motorisierten Verkehrsteilnehmer bei einer Kollision unterlegen, sodass abhängig von der einwirkenden Kraft leichte (AIS 1-2) bis schwerwiegende (AIS 3-4) und sogar tödliche (AIS 5-6) Verletzungen entstehen können. Dies ist auf die vom Fußgänger aufgenommene Energie zurückzuführen, die bei der Kollision entsteht, welche zu Zerstörung von Gewebe führt[18]. Ein Fußgänger ist darüber hinaus verschiedenen Fahrzeugstrukturen ausgesetzt und erleidet in Abhängigkeit von deren Eigenschaften und den Berührungspunkten am Körper diverse Verletzungen[19-21]: so führt bei einer Fußgänger-PKW-Kollision der Kontakt mit dem Stoßfänger meist zu einer Verletzung des Unterschenkels, während der Anstoß am Becken, entsprechend der Höhe des Beckens, im Bereich der Motorhaube liegt. Der Kopf kollidiert meist mit der Windschutzscheibe[18].

Bei Verkehrsunfällen können neben Kopf- und Thoraxverletzungen auch Frakturen zu lebensbedrohlichen Zuständen führen. Beckenfrakturen haben in der Traumatologie eine besondere Rolle aufgrund ihres potentiellen Blutverlusts[22, 23], sodass die Frakturversorgung, je nach Verletzungsausmaß, besondere therapeutische Maßnahmen erfordert [24].

Die Pathophysiologie einer Beckenfraktur bei einem Trauma ist von verschiedenen Faktoren abhängig. Bei frontal einwirkender Kraft weicht beispielsweise die Beckenschaufel auseinander, während bei einer seitlich einwirkenden Kraft der Beckenring gedreht wird und eine axial einwirkende Kraft zur Verschiebung der Beckenhälften gegeneinander führt[25]. Die Schwere kann, je nach Ausmaß der Instabilität einer Beckenfraktur, von AIS 2 bis AIS 5 reichen.

Beckenfrakturen bei Verkehrsunfällen werden als Marker für die Gesamtverletzungsschwere genutzt[26], da diese Patienten meist insgesamt schwerer verletzt sind als Patienten ohne Beckenfrakturen[27]. 60% der Patienten mit komplexen Beckenfrakturen sind polytraumatisiert[25]. Das Notfallmanagement verschiedener Beckenfrakturen kann das Outcome eines Verletzten entscheidend beeinflussen[28]. Im Fokus stehen lebensrettende Maßnahmen gemäß etablierter notfallmedizinischer Algorithmen[26]. So ist beschrieben, dass verletzte Fußgänger eine höhere Rate an prähospitalen Intubationen haben[29], und dass ein Beckenüberrolltrauma sogar eine Indikation zur Intubation darstellt[14]. Des Weiteren verlangen die daraus resultierenden Verletzungen spezifische therapeutische Maßnahmen[30] wie z.B. Beckenzwingen[31]. Diese ermöglichen bereits im prähospitalen Management die Stabilisierung von Beckenfrakturen. Damit soll ein hypovolämischer Schock verhindert werden[32-34]. Zur intermediären Versorgung kommen externe Fixateure[35, 36] zum Einsatz. Allerdings ist eine adäquate Versorgung nicht nur in der Akutsituation bedeutsam, wenn Begleitverletzungen wie Gefäßblutungen relevant sind[37], sondern auch im Verlauf, um eine bessere langfristige Patientenversorgung und Rehabilitation zu gewährleisten[31].

Unter Berücksichtigung der Rolle der Beckenfraktur in der notfallmedizinischen Versorgung ist die Hauptfragestellung dieser Arbeit, wie sich tödlich verunglückte Fußgänger mit und ohne Beckenfraktur voneinander unterscheiden. Mögliche Alleinstellungsmerkmale und Charakteristika der Fälle mit Beckenfrakturen sollen identifiziert werden. Die Nebenfragestellung ist, wie sich die Fälle mit Beckenfrakturen untereinander unterscheiden. Ihre Verletzungscharakteristika werden detailliert aufgezeigt und Unterschiede zwischen Fällen verschiedener Verletzungsschwere verglichen.

Durch die Betrachtung dieser Todesfälle sollen Rückschlüsse auf die Bedeutsamkeit von Beckenfrakturen im Verletzungskomplex verunglückter Fußgänger gezogen werden.

## 2 Material und Methodik

### 2.1 Datenquelle und Fallkollektiv

Als Datenbasis dienen Fallakten zu tödlichen Verkehrsunfällen, die durch das Institut für Rechtsmedizin der Ludwig-Maximilians-Universität München (IRM) bearbeitet wurden. Das Institut ist für das Einzugsgebiet Oberbayern, Niederbayern und Schwaben zuständig, ausgenommen der Gemeinden Straubing und Kelheim.

Von allen erfassten Unfallbeteiligten erfolgte die Betrachtung von Fußgängertoten und deren Unfallgegner der Jahre 2004 bis 2006. In den Jahren 2004-2006 erfolgten 157 Sektionen am Institut. Fußgängertote, die zwar im Sektionsbuch protokolliert wurden, an denen aber keine gerichtliche Sektion durchgeführt wurde, werden nicht berücksichtigt (zwei Fälle). Es ergibt sich für diesen Zeitraum eine Fallzahl von 155 toten Fußgängern, die am IRM gerichtlich obduziert wurden.

Alle Fälle, bei denen der Unfallgegner eine S-Bahn, eine U-Bahn, ein Zug oder ein Objekt (z.B. Abschleppseil) war, werden aus der weiteren Betrachtung ausgeschlossen. Für die Auswertung werden jedoch Tram-Bahnen berücksichtigt, da diese in der Münchner Innenstadt (wo sich alle Fälle mit Tram-Bahnen ereigneten) keine gesondert verlaufenden Schienen abfahren, sondern Teil des überirdischen Straßenverkehrs sind. Ferner werden diejenigen Fälle aussortiert, bei denen nach der Obduktion kein kausaler Zusammenhang zwischen Verkehrsunfall und Tod hergestellt werden konnte. Darüber hinaus werden Fälle, bei denen es fraglich ist, ob ein Straßenverkehrsunfall tatsächlich stattgefunden hat (z.B. Sturz im Parkhaus ohne vorangegangenen Kontakt mit Fahrzeug) exkludiert.

Von den verbleibenden 125 Fällen werden jene, für die keine staatsanwaltschaftlichen Akten verfügbar sind, ebenfalls ausgeschlossen (12 Fälle), um ein Fallkollektiv mit der höchsten Rate an vergleichbaren Daten zu erhalten.

Dadurch ergibt sich ein zu untersuchendes Fallkollektiv von 113 Fällen. Davon ereigneten sich 49 Fälle im Jahr 2004, 36 Fälle in 2005 und 28 Fälle in 2006.

## 2.2 Kodierung der Verletzungen der Fußgänger

### 2.2.1 Verletzungskodierung nach AIS

In einem ersten Schritt werden die Obduktionsberichte des Fallkollektivs gesichtet und die deutschsprachigen Verletzungsbeschreibungen in ihrer klinischen Beschreibung in einen „AIS Code“- Abbreviated Injury Scale © Code (abgekürzter Verletzungscode) übersetzt. Die Kodierung erfolgt gemäß den Kodierungsregeln der Association for the Advancement of Automotive Medicine (AAAM). Dazu wird das Codebook „Abreviated Injury Scale 2005 update 2008“[38] und die Clarifications 2012[39] der AAAM genutzt.

Die AIS dient der numerischen Zuordnung diverser Verletzungsbeschreibungen zu einer sechsstelligen Nummer und einer qualitativ wertenden, letzten, siebten Ziffer, welche die Bewertung des Schweregrads der Verletzung (AIS 1- AIS 6) beinhaltet. Dabei entspricht eine AIS Verletzung Schweregrad 1 einer leichten Verletzung (bspw. eine Schürfung), AIS 2 einer ernsten, AIS 3 einer schweren, AIS 4 einer sehr schweren, AIS 5 einer kritischen und Schweregrad 6 einer heutzutage nicht behandelbaren, maximalen, d.h. nicht mit dem Leben vereinbaren, Verletzung (bspw. Dekapitation). Diese Bewertung geht auf die Ausarbeitungen der AAAM aus dem Jahre 1971 zurück und wird im ständigen Diskurs durch die AAAM in der inzwischen schon 8. Überarbeitungsaufgabe AIS 2015 fortlaufend aktualisiert und angepasst[17]. Zum Zeitpunkt der Kodierungen für diese Arbeit war die 8. Auflage noch nicht publiziert, sodass die Version 2008 herangezogen wird.

Die Kodierungen werden von Mitarbeitern und Doktoranden des IRM kontrollgelesen; alle sind in der AIS-Kodierung geschult; eine offizielle AIS-Zertifizierung liegt zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Dissertation nicht vor. Verletzungen, die sich nach dem Unfall ereigneten oder iatrogen verursacht sind, werden nicht kodiert.

Für jeden Fall des Fallkollektivs wird der maximale AIS einer Körperregion (MAIS), der insgesamt maximale AIS des Falls ( $MAIS_{Ges}$ ) und der Injury Severity Score (ISS) gebildet. Sowohl der  $MAIS_{Ges}$  als auch der ISS dienen der Beschreibung der Verletzungsschwere eines mehrfach verletzten Patienten und erleichtern, wie die AIS, die Vergleichbarkeit in einem internationalen, interfachlichen Setting.

Der MAIS einer Körperregion wird durch die jeweilige(n) Verletzung(en) mit dem höchsten AIS-Schweregrad in jeder der neun definierten Körperregionen bestimmt (s. Tabelle 11 im Anhang). Die Körperregion (numerisch zugeordnet) des  $MAIS_{Ges}$  wird vermerkt.

Tragen mehrere Körperregionen den  $MAIS_{Ges}$ , so entspricht die Körperregion des  $MAIS_{Ges}$  der Kombination aus allen diesen Regionen. Zum Beispiel: Falls der MAIS für die Regionen Kopf (1), Thorax (4) und Untere Extremitäten (8) gleich schwer ausfällt, wird die  $MAIS_{Ges}$  der Körperregion 148 zugeordnet.

Der „ISS-Injury Severity Score[40]“ wird berechnet, indem man die MAIS-Werte der drei schwerstverletzten Körperregionen jeweils quadriert und dann miteinander addiert (z.B.  $ISS=(MAIS_a)^2 + (MAIS_b)^2 + (MAIS_c)^2$  (s. Abbildung 1). Die Körperregionen zur Berechnung des ISS sind per Definition[38] die sechs Regionen: (1) Kopf & Hals, (2) Gesicht, (3) Thorax, (4) Abdomen, (5) Extremitäten und (6) External.

### **Beispiel zur Berechnung des Injury Severity Score (ISS)**

Körperregion Kopf und Hals: schwerste Verletzung entspricht Verletzungsgrad 4 (MAIS ist 4)

Körperregion Thorax: schwerste Verletzung entspricht Verletzungsgrad 3 (MAIS ist 3)

Körperregion Extremitäten: schwerste Verletzung entspricht Verletzungsgrad 2 (MAIS ist 2)

$$\underline{\text{Daraus folgt: } ISS = (4^2 + 3^2 + 2^2) = 16 + 9 + 4 = 29}$$

Der  $MAIS_{Ges}$  beträgt 4 und liegt in der Körperregion 1 (Kopf und Hals).

*Abbildung 1 Beispiel zur Berechnung des Injury Severity Score (ISS) (Beispiel erstellt gemäß AAAM)*

## 2.2.2 Kategorisierung von Verletzungen zur Beschreibung von Verletzungsmustern

Zur Betrachtung des Verletzungsmusters werden folgende Einschränkungen vorgenommen: Kopfverletzungen, Verletzungen des Gesichts und des Halses, Verletzungen des Abdomens, des Thorax, sowie der oberen Extremitäten werden als relevant bewertet bei  $AIS \geq 3$ . Die Verletzungen der Wirbelsäule (WS) zählen je nach Abschnitt (Hals-

WS/Brust-WS/Lenden-WS) zu den Verletzungen des Halses, Thorax und Abdomen. Auch für die Region „Äußere“ liegt der Cut-Off-Wert bei AIS  $\geq 3$ .

Es werden die Gruppen mit und ohne Beckenfraktur gebildet: with pelvic fracture (WPF) und no pelvic fracture (NPF). Für jeden Fall mit Beckenfraktur wird der AIS-Schweregrad 2, 3, 4 oder 5 (pelvic fracture AIS (=PFAIS) 2, 3, 4, 5) festgehalten. Die Frakturen des knöchernen Beckens haben alle mindestens einen PFAIS 2. Bei den Verletzungen der unteren Extremitäten werden sonst nur Verletzungen mit einem AIS Schweregrad  $\geq 3$  eingeschlossen und daraus vier den Obduktionsberichten zu entnehmende Verletzungskategorien gebildet: Femurfraktur, Tibiafraktur, Fibulafraktur und Amputation.

Liegt eine "Whole Body (explosion-type) Injury"<sup>1</sup> vor, ein Code, der genutzt wird, wenn sich multiple Organverletzungen des Gehirns, Thorax und/oder Abdomens mit dem Verlust einer oder mehrerer Gliedmaßen und/oder Enthauptung ereignen, werden alle einzelnen Verletzungen zusätzlich separat kodiert. Somit können die einzelnen Verletzungen in dem gesamten Verletzungskomplex bewertet werden.

### 2.3 Erfassung und Analyse der Unfälle

Zur weiteren Datenerhebung werden zusätzlich die staatsanwaltschaftlichen Akten der Fälle gesichtet. Diese beinhalten u.a. ein unfallanalytisches Gutachten, in seltenen Fällen ein biomechanisches Gutachten, eine polizeiliche Verkehrsunfallanzeige, Protokolle von Zeugenbefragungen, Fotografien und Unfallskizzen und Fahrzeugdetails (s.u.). Parameter, die im Zusammenhang mit der Notfallversorgung oder Versorgung im Krankenhaus stehen (Interventionen, Behandlungsdauer, Komplikationen usw.), werden nicht erhoben, da keine ausreichende Datenbasis vorliegt (beispielsweise finden sich keine Notarztprotokolle oder Krankenhausakten).

---

<sup>1</sup> "Whole Body [explosion-type] Injury- massive; multiple organ injury to brain, thorax and/or abdomen, with loss of one or more limbs and/or decapitation" Code: 021008.6" [38]

### 2.3.1 Angaben zum Unfall gemäß der Verkehrsunfallanzeige und unfallanalytischen Gutachten

Der Verkehrsunfallanzeige der Polizei werden folgende Informationen entnommen:

- Gegner (Fahrzeug, Objekt) des Fußgängers
- Alter des Fußgängers
- Geschlecht des Fußgängers
- Todeszeitpunkt
- Ortslage/Unfallort

Die Informationen aus dem unfallanalytischen Gutachten (falls vorhanden) werden extrahiert und systematisch ausgewertet:

- Erfassung von minimalen und maximalen Ausgangs- und Kollisionsgeschwindigkeit. Wird in dem Gutachten nur eine Kollisionsgeschwindigkeit genannt, so wird dieser Wert sowohl für min. als auch max. benutzt. Liegen keine eindeutigen Daten vor, ob der Fußgänger zum Zeitpunkt der Kollision stillgestanden ist, wird die Kennung "999" für unbekannt als Geschwindigkeit eingetragen. Geht aus dem Gutachten hervor, dass der Fußgänger unmittelbar vor Kollision stand (z.B. durch warten an einer Fußgängerfurt), so wird die Ausgangsgeschwindigkeit "0" gewählt. Geht aus den Zeugenaussagen und Gutachten sowie der Verkehrsunfallanzeige hervor, dass der Fußgänger lief, ohne anzuhalten, und dabei erfasst wurde, so wird die gleiche Ausgangs- und Kollisionsgeschwindigkeit gewählt. Wenn aus dem Gutachten und den Zeugenaussagen hervorgeht, dass der Fußgänger zum Kollisionszeitpunkt auf dem Boden lag, so wird die Ausgangs- und Kollisionsgeschwindigkeit des Fußgängers mit "0" bezeichnet. Wird in dem Gutachten kein Bremsvorgang durch den Unfallgegner beschrieben, so wird für ihn die Ausgangsgeschwindigkeit der Kollisionsgeschwindigkeit gleichgesetzt.

Anhand der Informationen aus den Gutachten werden folgende weitere Informationen generiert:

- Erfassung, ob vor Kontakt zwischen Fußgänger und Unfallgegner eine Bremsung oder ein Ausweichmanöver stattgefunden hat. Gibt es keine eindeutigen Aussagen bezüglich eines vorangegangenen Bremsvorgangs oder Manövers, wird die Aussage "keine Angabe" gewählt.

- Ist kein unfallanalytisches oder biomechanisches Gutachten vorhanden, so werden die Informationen bezüglich des Unfallhergangs der Verkehrsunfallanzeige der Polizei oder dem staatsanwaltlichen Strafbefehl entnommen.
- Wenn ein Fußgänger zuerst durch einen Primärkontakt und dann sekundär durch andere Unfallgegner geschädigt wurde (z.B. Anstoß, Abwurfgeschehen auf Fahrbahn, Überrollung durch zweites Fahrzeug), dann werden beide Unfallgegner aufgenommen. Kommt es im Anschluss zum mehrmaligen Überrollen (z.B. bei Unfall auf Autobahn), so werden die nachfolgenden Fahrzeuge nicht mehr aufgenommen.

## 2.3.2 Analyse des Unfallhergangs

### 2.3.2.1 Unfallmechanismus

Aus den vorliegenden Informationen aus den staatsanwaltschaftlichen Akten ergeben sich verschiedene Unfallmechanismen. Es werden folgende Kategorien erstellt und die Fälle entsprechend zugeordnet (s. Tabelle 1).

*Tabelle 1 Kategorien der Unfallmechanismen*

<b>Kategorien der Unfallmechanismen</b>	
<b>Kategorie</b>	<b>Unfallmechanismus</b>
Kategorie 1	Einfache Überrollung ohne primären Anstoß
Kategorie 2	Überrollen/Anstoß und dann (erneutes) Überrollen durch das gleiche Fahrzeug
Kategorie 3	Anstoß und dann Überrollen durch ein zweites Fahrzeug
Kategorie 4	Anstoß und dann Abwurfgeschehen
Kategorie 5	Anstoß und dann Überrollen durch erstes Fahrzeug und durch ein zweites Fahrzeug
Kategorie 6	Anstoß durch ein Fahrzeug und ein sekundärer Anstoß durch ein zweites Fahrzeug
Kategorie 7	Anstoß durch ein Fahrzeug und durch selbiges mitgeschleift
Kategorie 8	Anstoß durch ein Fahrzeug, dann von diesem überrollt und anschließend mitgeschleift
Kategorie 9	Zusammengefügt zur übergeordneten Kategorie „Überrollung“ werden: 1,2,3, 5 und 8

### 2.3.2.2 Maximale Kollisionsgeschwindigkeit $V_{max}$

Kollisionsgeschwindigkeiten werden aus den fahrzeugtechnischen Gutachten extrahiert. Dabei wird die maximale Kollisionsgeschwindigkeit als Parameter gewählt. Bei der minimalen Kollisionsgeschwindigkeit (gemäß Akten) wäre eine höhere Geschwindigkeit bis gegen unendlich theoretisch möglich, wenn im Vergleich keine Angabe zur  $V_{max}$  vorliegt. Da die  $V_{max}$  jedoch nicht überschritten worden sein kann, ist diese insgesamt konservativer. Die Anzahl der Fälle, bei denen es eine Angabe zur  $V_{max}$  gibt, beträgt  $n=84$  (29mal unbekannt/keine Angabe). Die  $V_{max}$  wird in Gruppen aufgeteilt (in km/h): bis 10, 11 bis 20, 21 bis 30, 31 bis 40, 41 bis 50, 51 bis 60, 61 bis 70, 71 bis 80, 81 bis 90 und 91 bis 150. Außerdem werden diese Gruppen noch weiter zusammengefasst (in km/h) 0 bis 30, 31 bis 60, >60.

Um Unfälle im Niedriggeschwindigkeitsbereich zu untersuchen, werden die Fälle mit einer  $V_{max}$  0-30km/h gesondert betrachtet. Folgende Variablen werden in diesen Fällen analysiert: Geschlecht Fußgänger, Todesursache, Unfallort, Unfallgegner, Altersgruppe des Fußgängers, Todeszeitpunkt, ISS und Körperregion der MAIS<sub>Ges</sub>.

## 2.4 Darstellung und Auswertung des Fallkollektivs

Das Kollektiv wird nach vorhandener oder nicht vorhandener Beckenfraktur in die Gruppen mit (WPF) und ohne (NPF) geteilt und hinsichtlich der in den folgenden Unterkapiteln genannten Variablen verglichen.

### 2.4.1 Soziodemographische Variablen

Für die Arbeit wird das Geschlecht des Fußgängers nur in männlich und weiblich unterteilt. Die Altersgruppen werden wie folgt aufgeteilt: <18 Jahre (für Kinder und Jugendliche), 18 Jahre- 25 Jahre (für junge Erwachsene), >25-50 Jahre (für Erwachsene), >50-75 Jahre (für Erwachsene mit vermehrten körperlichen Alterserscheinungen) und >75 Jahre (für Senioren und Personen, die unter die Kategorie geriatrische Patienten fallen würden).

## 2.4.2 Unfallhergang und Todesumstände

### 2.4.2.1 Örtlichkeit

Es wird verglichen an welchen Orten sich die Unfälle in den beiden Gruppen ereigneten:

- Innerorts
- Außerorts
- Autobahn
- unbekannt (für Fälle, bei denen die Örtlichkeit nicht angegeben ist).

### 2.4.2.2 Unfallgegnerkategorie und Fahrzeugtyp

Folgende Kategorien der Unfallgegner werden verglichen: LKW, PKW, Kraftrad (Krad), und Sonstige (beinhaltet: Bus, landwirtschaftliches Fahrzeug, mehrere Beteiligte, Schienenfahrzeug, Transporter/Kleinbus, unbekannt). Innerhalb der Kategorien wird noch eine detailliertere Einteilung vorgenommen (s. Tabelle 14).

### 2.4.2.3 Unfallmechanismus und maximale Kollisionsgeschwindigkeit

Diese werden dargestellt und ausgewertet.

### 2.4.2.4 Todeszeitpunkt

Die Todeszeitpunkte werden in fünf Gruppen aufgeteilt (s. Tabelle 2).

*Tabelle 2 Einteilung der Todeszeitpunkte*

<b>Einteilung der Todeszeitpunkte</b>	
<b>Todeszeitpunkt</b>	<b>Erläuterung</b>
Todeszeitpunkt 1	am Unfallort (Ort)
Todeszeitpunkt 2	innerhalb von einer Stunde (<1h)
Todeszeitpunkt 3	später als nach einer Stunde aber innerhalb von 24 Stunden (>1h - <24h)
Todeszeitpunkt 4	später als 24h nach Unfall aber innerhalb von 30 Tagen (>24h - <30d)
Todeszeitpunkt 5	nach 30 Tagen (>30d)

Bezüglich Todeszeitpunkt 1 ist anzumerken, dass hier keine genaue Zeitangabe in der Datenbank erfasst wird, sich diese jedoch insofern von Todeszeitpunkt 2 (innerhalb einer Stunde) abgrenzt, als dass es sich um einen unmittelbar erfolgten Tod handelt binnen weniger Minuten oder sogar Sekunden.

Zur Korrelation von Todeszeitpunkten und der Verletzungsschwere MAIS<sub>Ges</sub> wird für jede MAIS<sub>Ges</sub> (3-6) der prozentuale Anteil an Fällen, die zu den jeweiligen Zeitpunkten verstarben, ermittelt.

#### 2.4.2.5 Todesursache

Die Todesursachen, welche im Obduktionsbericht genannt sind, werden erfasst. Wenn „Schock“ oder „Verblutung“ angegeben ist, wird dies der Kategorie „hypovolämischer Schock“ zugeordnet. Ist sowohl Polytrauma als auch Schädel-Hirn-Trauma (SHT) angegeben, wird dies zu „Polytrauma“ gezählt. Liegt „Zentrales Regulationsversagen bei Z.n. SHT“ als Todesursache vor, so wird dies zur Kategorie „Schädel-Hirn-Trauma“ zugeordnet. Es ergeben sich folgende Kategorien:

- zentrales Regulationsversagen
- hypovolämischer Schock
- Herz-Kreislauf-Versagen
- Schädel-Hirn-Trauma
- Polytrauma
- Sonstige: die Kategorie „Sonstige“ beinhaltet u.a. Thromboembolien, Pneumonien und nicht eindeutige Todesursachen.

#### 2.4.2.6 Fälle mit Überrollungen

Die Unfälle, bei denen Überrollungen stattfanden, werden aufgrund ihrer besonderen Biomechanik gesondert betrachtet. Die Überrollungen werden hinsichtlich der Variablen max. Kollisionsgeschwindigkeit ( $V_{max}$ ), Unfallgegner und Todesursache untersucht.

#### 2.4.3 Verletzungsmuster und Verletzungsschwere

Es wird der mediane MAIS<sub>Ges</sub> und der mediane ISS ermittelt. Zusätzlich erfolgt die Einteilung des ISS in Untergruppen (s. Tabelle 3) und die Körperregion(en) des MAIS<sub>Ges</sub> wird als Häufigkeitsverteilung ausgewertet.

Tabelle 3 Beschreibung der Gruppen des Injury Severity Scores (ISS)

Beschreibung der ISS Gruppen	
ISS Gruppe	Beschreibung
<16	für Fälle, die nicht dem Kriterium Polytrauma entsprechen
16-32	für schwer verletzte Fälle
33-66	für sehr schwer verletzte Fälle
75	für alle Fälle, die einen MAIS <sub>Ges</sub> 6 oder drei ISS-Körperregionen mit MAIS 5 haben

Das Verletzungsmuster wird graphisch dargestellt. Dazu werden die Anteile der Fälle mit Verletzungen in dieser Körperregion für die jeweiligen Gruppen im Körperschema farblich dargestellt (s. Abbildung 2).

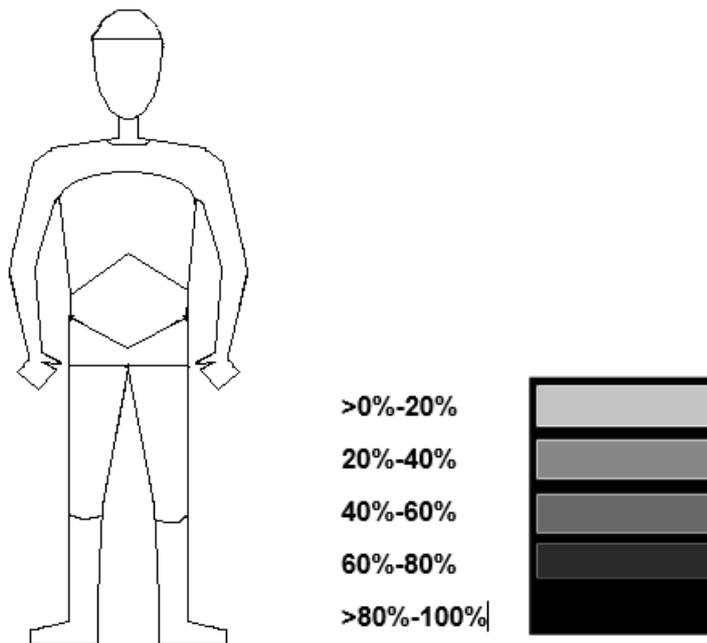


Abbildung 2 Körperschema (n. Vorlage des IRM) zur Darstellung des Anteils an Fällen mit relevanten Verletzungen der jeweiligen Körperregionen zum Vergleich des Verletzungsmusters zwischen Fällen mit (with pelvic fracture, „WPF“) und ohne (no pelvic fracture, „NPF“) Beckenfraktur; farbliche Kodierung, dabei hellgrau <20%, leicht grau 20-<40%, grau 40%-<60% dunkelgrau 60-<80% und schwarz 80-100%. Keine Betroffenheit, entsprechend 0%, wird nicht farblich kodiert. Die Patella und Knie-Binnenstrukturen werden zum Oberschenkel gezählt.

#### 2.4.4 Assoziation von Verletzungsschwere mit Unfallmechanismus/max. Kollisionsgeschwindigkeit

Zunächst wird der Zusammenhang zwischen  $V_{\max}$  und dem Unfallmechanismus für das gesamte Fallkollektiv beschrieben. Die Korrelation zwischen Kollisionsgeschwindigkeit und Verletzungsschwere wird mittels Gegenüberstellung von  $V_{\max}$  zu ISS und MAIS<sub>Ges</sub> bestimmt. Dazu wird die Häufigkeitsverteilung der Geschwindigkeitsgruppen in Abhängigkeit zu den ISS-Gruppen (s.u.) und MAIS<sub>Ges</sub> untersucht. Genauso wird der Zusammenhang zwischen Unfallmechanismus und der Verletzungsschwere (nach MAIS<sub>Ges</sub> und ISS) untersucht.

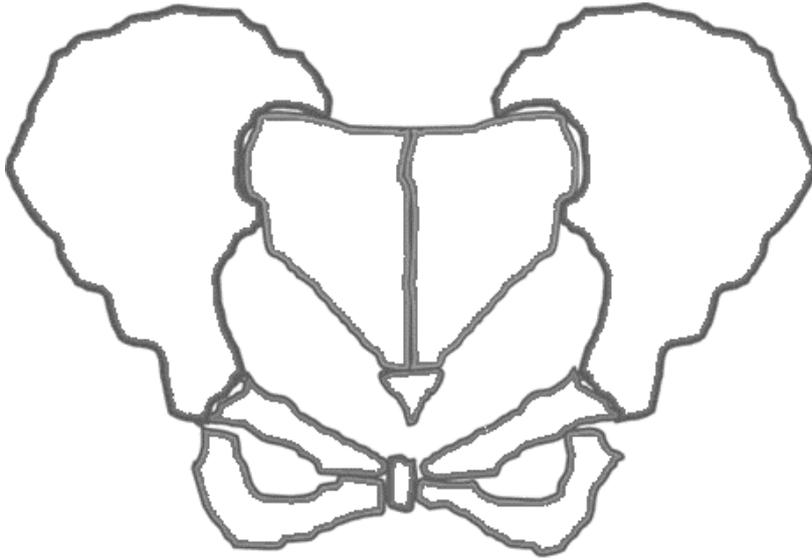
#### 2.4.5 Fußgänger mit Beckenfrakturen

Das Fallkollektiv „Fußgängertote der Jahre 2004-2006, Fälle mit Beckenfrakturen“ entsprechend der WPF Gruppe wird im Detail betrachtet ( $n_{WPF}=62$ ).

##### 2.4.5.1 Verletzungsmuster

###### 2.4.5.1.1 Betroffene knöcherne Strukturen und Begleitverletzungen

Die Häufigkeitsverteilung der Beckenfrakturcodes (PFAIS) wird erfasst. Alle betroffenen knöchernen Strukturen werden erfasst. Die Beckenbeteiligung kann dabei durch die Möglichkeit der Mehrfachnennung viele verschiedene Strukturen aufzeigen. Die betroffenen Strukturen werden in einem Becken-Schema graphisch dargestellt (s. Abbildung 3).



*Abbildung 3 Graphische Darstellung (selbsterstellte Vorlage) der Beckenfrakturen zur Auswertung der betroffenen knöchernen Strukturen. Die betroffenen Strukturen werden dabei dunkelgrau hervorgehoben.*

Es werden ferner die Begleitverletzungen im kleinen Becken erfasst. Dazu wird aus den Obduktionsberichten erhoben, ob eine Einblutung in die Weichteile des kleinen Beckens, eine Verletzung der Harnblase/Harnröhre, des Genitals und/oder der Beckengefäße vorlag.

#### 2.4.5.1.2 Häufige Kombinationen und Begleitverletzungen

Es werden die sechs häufigsten Muster für beteiligte knöcherne Strukturen erfasst und im Beckenschema dargestellt. Es wird beschrieben, welche AIS-Schweregrade diese Muster aufzeigen und welche Begleitverletzungen der inneren Organe des kleinen Beckens mit ihnen gemeinsam auftreten.

#### 2.4.5.1.3 Begleitende Frakturen der unteren Extremitäten

Es wird untersucht, in welchen Fällen eine begleitende Verletzung der unteren Extremität (AIS  $\geq$  3) vorhanden ist. Es wird festgehalten, wie oft andere relevant verletzte Körperregionen in Kombination mit Beckenfrakturen auftreten.

#### 2.4.5.2 Unterschiede zwischen Fällen mit verschiedenen Beckenfraktur-AIS Schweregraden

Die Unterschiede zwischen den Fällen mit einer AIS Beckenfraktur mit Schweregrad PFAIS 2-5 werden anhand der folgenden Variablen aufgezeigt:

- Geschlecht
- Alter (gruppiert zu <50J, 50 bis 75J, >75J)
- Todesursache
- Todeszeitpunkt
- Örtlichkeit,
- Körperregion der höchsten MAIS<sub>Ges</sub>
- ISS (gruppiert zu <16, 16-24, 25-43, 45-66, 75)
- betroffene knöcherne Strukturen
- Begleitverletzungen
- gleichzeitig auftretende Frakturen der unteren Extremität
- maximale Kollisionsgeschwindigkeit
- Unfallmechanismus

Zusätzlich werden die Frakturen nach den Klassifikationsschemata „AO Klassifikation“ und „Buchholz Klassifikation“ (s. Tabelle 12 im Anhang) kodiert, um eine bessere Vergleichbarkeit mit Daten aus der Literatur zu erzielen.

#### 2.5 Einzelfallvorstellung

Es werden drei Fälle einzeln vorgestellt, bei denen das knöcherne Becken die alleinige Körperregion der MAIS<sub>Ges</sub> darstellt. Die Fälle werden mit Informationen aus den staatsanwaltschaftlichen Akten aufbereitet. Zur Falldarstellung liegen in unterschiedlicher Vollständigkeit vor:

- Zu den Soziodemographischen Variablen: Alter und Geschlecht des verunglückten Fußgängers, Todeszeitpunkt, Todesursache
- Zum Unfallhergang: Örtlichkeit, Unfallgegner und Fahrzeugtyp, Unfallmechanismus, Unfallursache, und  $V_{max}$
- Zum Verletzungsmuster: MAIS<sub>Ges</sub>, ISS, betroffene knöcherne Strukturen, Begleitverletzungen der inneren Organe des kleinen Beckens, gleichzeitig auftretende

Frakturen der unteren Extremitäten und andere relevant verletzte Körperregionen (AIS  $\geq 3$ ).

## 2.6 Repräsentativität der Daten des Instituts

Es wird die Repräsentativität der Daten bezüglich tödlich verunglückter Fußgänger untersucht. Dazu werden die Daten aus dem Bayerischen Landesamts für Statistik und Datenverarbeitung zu den Verkehrstoten im Einzugsgebiet des IRM für die Jahre 2004-2006 betrachtet. Zu dem Einzugsgebiet gehört Oberbayern, Niederbayern und Schwaben (mit der Ausnahme von Straubing und Kehlheim). Der Anteil der Fälle aus dem Fallkollektiv wird für das Einzugsgebiet ermittelt.

## 2.7 Statistische Auswertung

Alle extrahierten Daten werden pseudonymisiert in einer Excel Tabelle (Microsoft Excel® 2010) erfasst und anonymisiert ausgewertet.

Es erfolgt die deskriptive Statistik mit graphischer Darstellung in Form von Tabellen, Balkendiagrammen, gestapelten Balkendiagrammen und Abbildungen.

Die Häufigkeitsverteilungen der Variablen innerhalb der Gruppen WPF und NPF werden mittels Fisher Exakt Test vom freien Online Rechner der Abteilung für Physik des College of Saint Benedict & Saint John's University, Minnesota verglichen [41]. Das Signifikanzniveau wird auf 5% festgelegt. Ein p-Wert wird nur dann berichtet, wenn er einen signifikanten Unterschied anzeigt ( $p < 0,05$ ).

## 3 Ergebnisse

### 3.1. Vergleich von Fußgängern mit (WPF) mit Fußgängern ohne (NPF) Beckenfraktur

In unserem Fallkollektiv hatten 62 Fußgänger eine Beckenfraktur und 51 Fußgänger keine.

#### 3.1.1 Soziodemographische Variablen

Die Geschlechter-Verteilung war in den beiden Gruppen vergleichbar, mit 60% männliche und 40% weibliche Fußgänger in der WPF Gruppe und 59% männliche und 41% weibliche Fußgänger in der NPF Gruppe.

In der Betrachtung des Gesamtkollektivs (WPF und NPF,  $n_{\text{gesamt}}=113$ ) sind 43% der Fußgänger jünger als 50 Jahre, 30% im Alter von 50 bis 75 und 27% älter als 75. Dabei sind im Vergleich zwischen den beiden Gruppen in der NPF Gruppe prozentual dreimal mehr Tote jünger als 18 Jahre (22%) als in der Gruppe WPF (6%) (s. Abbildung 4). In der WPF Gruppe sind 60% der Toten älter als 50 Jahre alt, in der NPF Gruppe hingegen 53%.

Während es für das Gesamtkollektiv in den Altersgruppen 18-75 Jahre mehr männliche als weibliche Fußgänger gibt, sind in der Gruppe ab 75 Jahre fast doppelt so viele weibliche Fußgänger betroffen (s. Tabelle 13 im Anhang). Während diese Gruppe ein Fünftel der NPF Gruppe ausmacht, sind es in der WPF Gruppe fast ein Drittel.

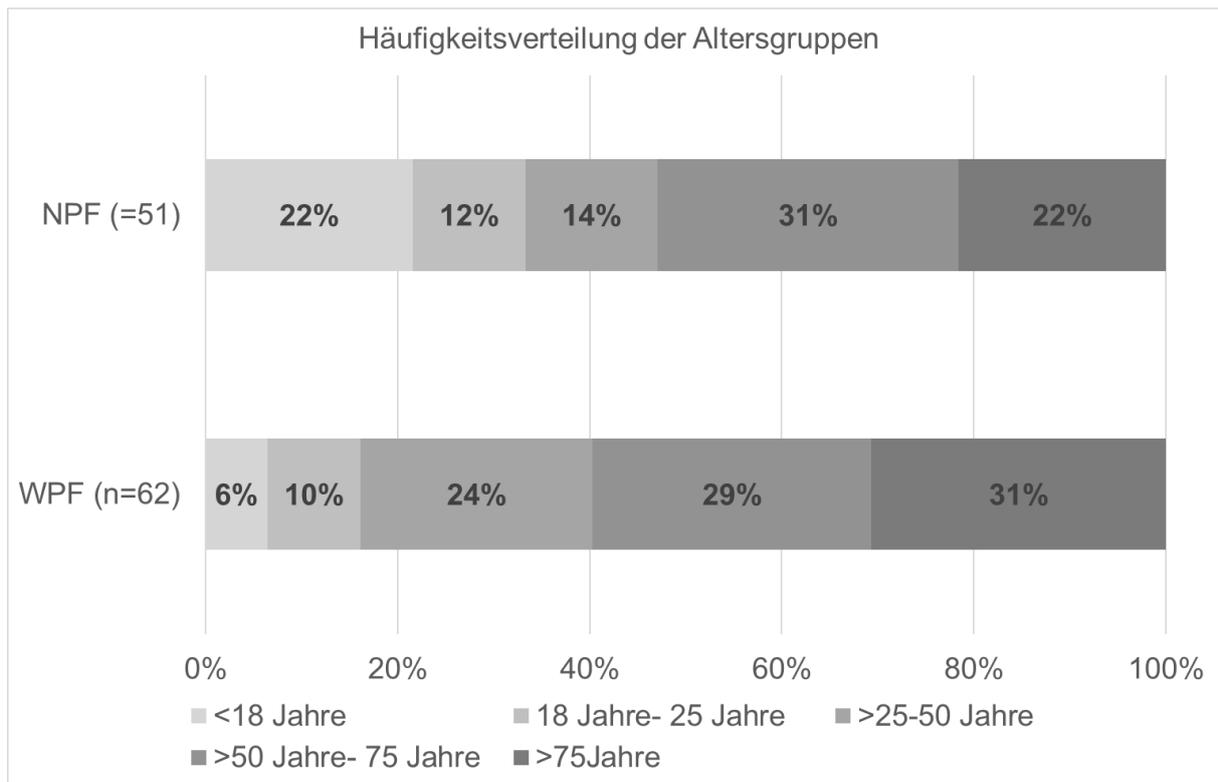
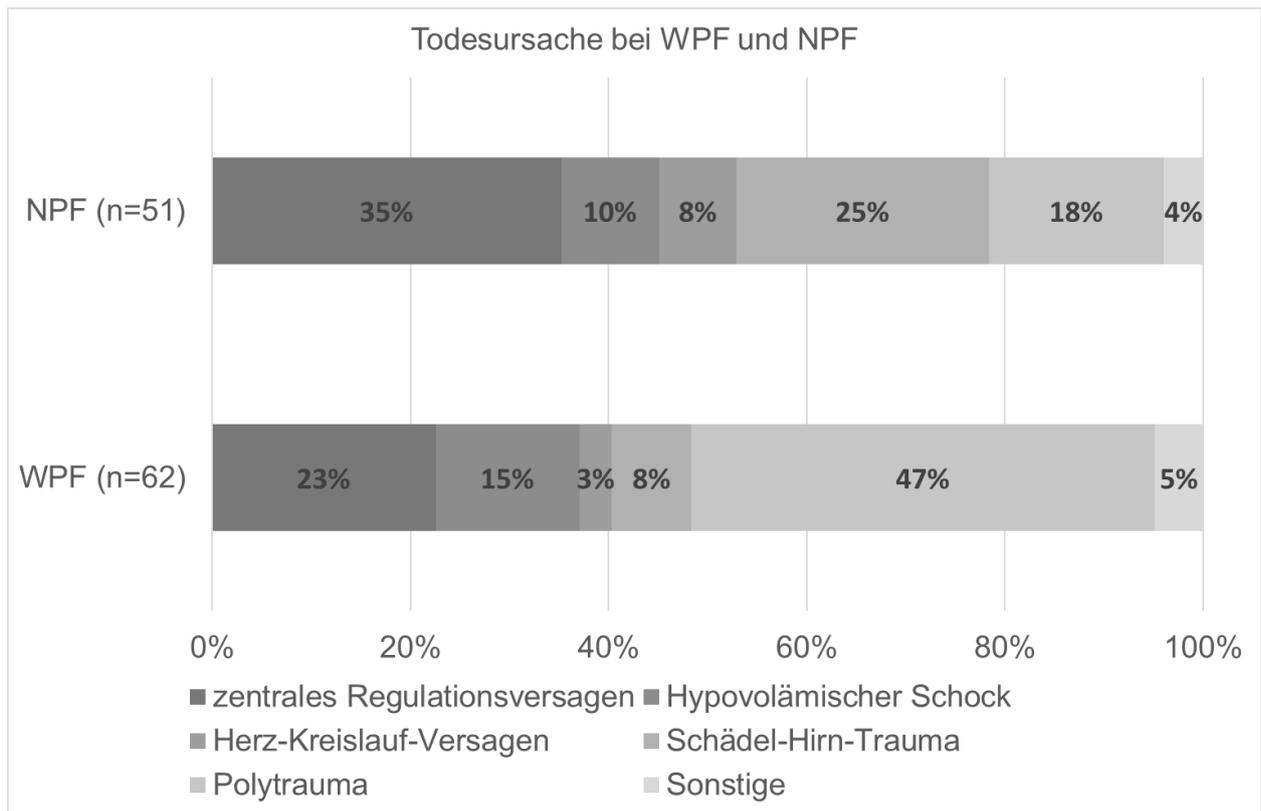


Abbildung 4 Häufigkeiten der Altersgruppen im Vergleich zwischen Fußgängern mit (with pelvic fracture, „WPF“) und ohne Beckenfraktur (no pelvic fracture, „NPF“); addieren sich nicht zu 100%, Rundungsfehler.

### 3.1.1.1 Todesursache

In der WPF Gruppe ist in knapp der Hälfte der Fälle (47%) das Polytrauma als Todesursache angegeben, im Vergleich dazu ist dies nur bei knapp einem Fünftel der NPF Fälle der Fall (18%). Damit ist das Polytrauma die häufigste Todesursache unter den WPF, während dies bei der NPF Gruppe das zentrale Regulationsversagen ist (35%). Das Schädel-Hirn-Trauma ist bei der NPF Gruppe in einem Viertel der Fälle todesursächlich (25%), im Vergleich dazu sind es bei WPF Gruppe nur 8%. Der hypovolämische Schock ist in beiden Gruppen, mit 15% in der WPF und 10% in der NPF Gruppe, eine seltenere Todesursache (s. Abbildung 5).



*Abbildung 5 Todesursachen im Vergleich zwischen Fußgängern mit (with pelvic fracture, „WPF“) und ohne Beckenfraktur (no pelvic fracture, „NPF“), relative Zahlen*

In der WPF Gruppe ist die Todesursache bei den vier Fällen, bei denen die Körperregion der MAIS<sub>Ges</sub> das knöcherne Becken ist, zu gleichen Anteilen Polytrauma und hypovolämischer Schock. Im Vergleich dazu ist in den Fällen, bei denen die untere Extremität (inkl. knöchernes Becken) gemeinsam mit mindestens einer anderen Körperregion auftritt, kein Mal „hypovolämischer Schock“ die Todesursache, sondern vier Mal „Polytrauma“ sowie jeweils einmal „Schädel-Hirn-Trauma“ und „Herz-Kreislauf-Versagen“ (s. Tabelle 4).

*Tabelle 4 Todesursachen nach Körperregion der MAIS<sub>Ges</sub> wenn das knöcherne Becken alleine (Region 8) oder in Kombination mit anderen Körperregionen (18,48,148,458) die Region der MAIS<sub>Ges</sub> stellt*

<b>Todesursachen und MAIS<sub>Ges</sub> in der WPF Gruppe (n=10)</b>	
Körperregionen der MAIS <sub>Ges</sub> : 8 (nur knöchernes Becken)	
<b>Todesursachen</b>	<b>Anzahl Fälle</b>
Polytrauma	2
Hypovolämischer Schock	2
Gesamtergebnis	4
Körperregionen der MAIS <sub>Ges</sub> : 18, 48, 148, 458	
<b>Todesursachen</b>	<b>Anzahl Fälle</b>
HerzKreislaufversagen	1
Polytrauma	4
Zentrales Regulationsversagen	1
Gesamtergebnis	6

### 3.1.1.2 Todeszeitpunkt

Bei den WPF sind 92% aller Fußgänger innerhalb von 24 Stunden nach Unfallgeschehen verstorben, im Gegensatz dazu sind es bei den NPF 69%. In beiden Gruppen ist der Todeszeitpunkt unmittelbar am Unfallort am häufigsten vertreten (WPF in 53% der Fälle, bei NPF 33%,  $p=0,002$ ) (s. Abbildung 6).

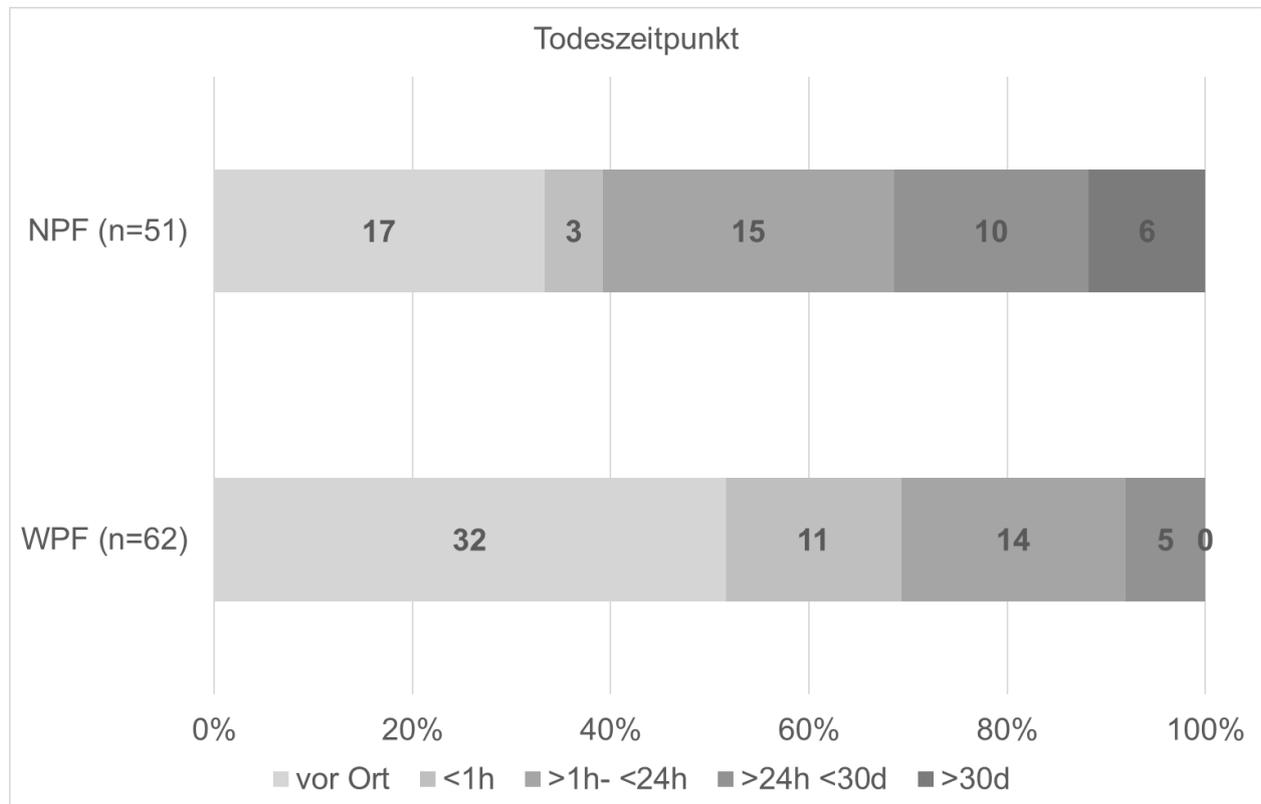


Abbildung 6 Todeszeitpunkt im Vergleich zwischen Fußgängern mit (with pelvic fracture, „WPF“) und ohne Beckenfraktur (no pelvic fracture, „NPF“), absolute Zahlen, h=Stunden, d= Tage

### 3.1.2 Unfallhergang

#### 3.1.2.1 Örtlichkeit des Unfalls

Der häufigste Unfallort ist in beiden Gruppen „innerorts“, wobei die Unfälle innerorts bei der Gruppe NPF (53%) häufiger sind als in der WPF Gruppe (48%). Bei der WPF Gruppe, finden 19% aller Unfälle auf Autobahnen statt, hingegen sich in der NPF Gruppe nur drei Fälle (6%) auf der Autobahn ereigneten.

### 3.1.2.2 Unfallgegner

Mit 56% bei WPF und 59% bei NPF stellen PKWs die größte Gruppe an Unfallgegnern dar. Bei der WPF Gruppe sind LKW ca. doppelt so häufig die Unfallgegner wie in der NPF Gruppe (WPF 21%, NPF 12%). Bei der WPF Gruppe gibt es in fünf Fällen Unfälle mit mehreren Beteiligten und in der NPF Gruppe drei (s. Abbildung 7). In keinem Fall ist ein Fahrrad der Unfallgegner.

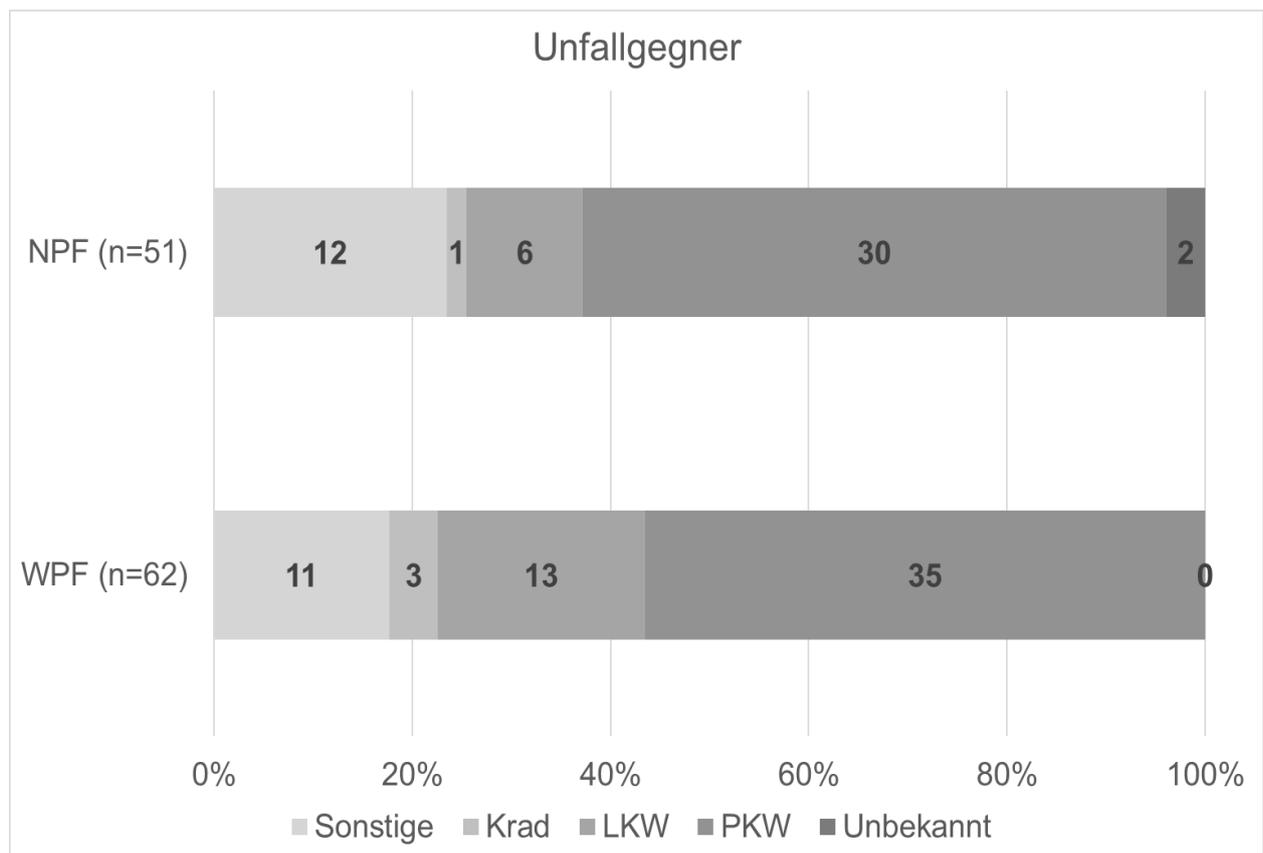


Abbildung 7 Vergleich der Unfallgegner zwischen Fußgängern mit (with pelvic fracture, „WPF“) und ohne Beckenfraktur (no pelvic fracture, „NPF“), absolute Zahlen. Sonstige beinhaltet: Bus, landwirtschaftliches Fahrzeug, mehrere Beteiligte, Schienenfahrzeug, Transporter/Kleinbus.

### 3.1.2.3 Fahrzeugtyp der Unfallgegner

Die Mittelklasse-PKW sind in beiden Gruppen der häufigste Unfallgegner (s. Tabelle 14 im Anhang) (WPF 11, NPF 10), gefolgt von Kompaktklasse-PKW und Sattelschleppern (Kategorie LKW). Anteilsmäßig gleich in den beiden Gruppen sind Kleinwagen mit neun

Fällen in der WPF Gruppe und zehn in der NPF Gruppe vertreten. Ein Van ist in beiden Gruppen gleich häufig (je fünf Fälle) Unfallgegner.

#### *3.1.2.4 Unfallmechanismus*

In 99 von 113 Fällen ist ein technisches Gutachten in der staatsanwaltschaftlichen Akte vorhanden. Mit den Informationen aus den Verkehrsunfallanzeigen der Polizei kann für 108 Fälle ein Unfallmechanismus zugeordnet werden.

In 80 von 113 Fällen werden Angaben darüber gemacht, ob vor der Kollision ein Brems- oder Ausweichmanöver vorlag. In der WPF Gruppe fanden in 19 von 62 Fällen (31%) ein Ausweichmanöver/ein Bremsvorgang vor Kollision statt, in der NPF Gruppe in 18 Fällen (35%).

In fünf Fällen kann kein Unfallmechanismus erarbeitet werden (vier NPF, ein WPF).

In zehn Fällen kam es zu einem primären Überrollen (sechs WPF, vier NPF), bei dem der Fußgänger nicht zuerst angestoßen worden war; in einem der Fälle war der Fußgänger zusätzlich vom Fahrzeug mitgeschleift worden.

Ein primärer Anstoß mit einer nachfolgenden Überrollung durch das gleiche Fahrzeug ereignete sich in acht Fällen (fünf WPF, drei NPF).

Ein Anstoß durch ein erstes Fahrzeug, wodurch der Fußgänger so abgeworfen wurde, dass er sekundär durch ein anderes Fahrzeug überrollt wurde, fand sich in drei Fällen (zwei WPF, ein NPF).

Der häufigste Unfallmechanismus ist der Anstoß durch die Fahrzeugfront mit nachfolgendem Abwurfgeschehen. Dabei ereignete sich nach dem Wurf kein weiteres Überrollen und es waren keine weiteren Fahrzeuge beteiligt. Dies ereignete sich in 75 Fällen (39 WPF, 36 NPF), wobei der Fußgänger in drei dieser Fälle nicht auf der Fahrbahn zum Liegen kam, sondern zweimal in der Windschutzscheibe eingeklemmt war und einmal auf der Heckklappe liegen blieb.

Bei den Unfällen dieser Kategorie wurde der Fußgänger 41mal aufgeladen (24 WPF, 17 NPF), in 19 Fällen nicht (sieben WPF, zwölf NPF) und in 15 Fällen gibt es keine Angabe dazu in den Akten. Bei den Fällen, bei denen der Fußgänger aufgeladen wurde, kam es zu Kontakt mit der Motorhaube, Windschutzscheibe, der A-Säule, einem Kotflügel und/oder der Dachkante.

Dabei gab es 20 Fälle, in denen der Fußgänger die Motorhaube berührte (14 WPF, sechs NPF), 30 die Windschutzscheibe (15 WPF, 15 NPF), acht Fälle mit Berührung der A-Säule (vier WPF, vier NPF) und sieben Fälle mit Berührung eines Kotflügels (drei WPF, vier NPF). Es ereigneten sich ebenfalls acht Fälle, bei denen ein Kontakt mit der Dachkante nachgewiesen werden konnte (drei WPF, fünf NPF).

Der Unfallmechanismus des Anstoßens durch ein Fahrzeug, dann Überrollen durch dieses und dann eine zweite Überrollung durch mindestens ein weiteres Fahrzeug ereignete sich in drei Fällen (drei WPF, 1 NPF)

In nur einem Fall ist beschrieben, dass sich zuerst ein Anstoß durch ein Fahrzeug und danach durch ein zweites Fahrzeug ereignete, ohne dass eine Überrollung beschrieben wird, dieser gehörte zur NPF Gruppe.

Ein Anstoß durch ein Fahrzeug bei dem der Fußgänger anschließend mitgeschleift wurde, ereignete sich in drei Fällen (alle WPF).

In vier Fällen wurde ein Fußgänger angestoßen, anschließend überrollt und dann mitgeschleift (3 WPF, 1 NPF).

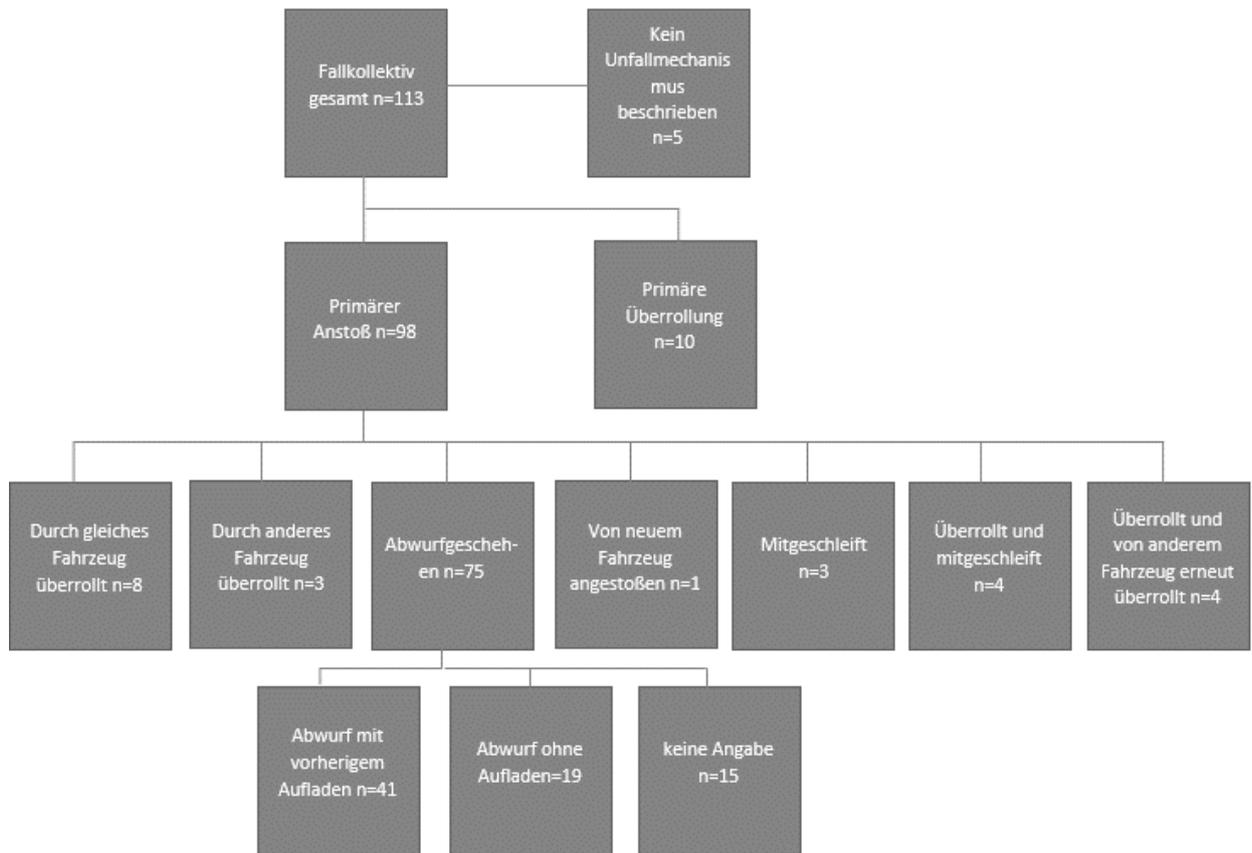


Abbildung 8 Unfallmechanismen im Fallkollektiv n=113, absolute Fallzahlen

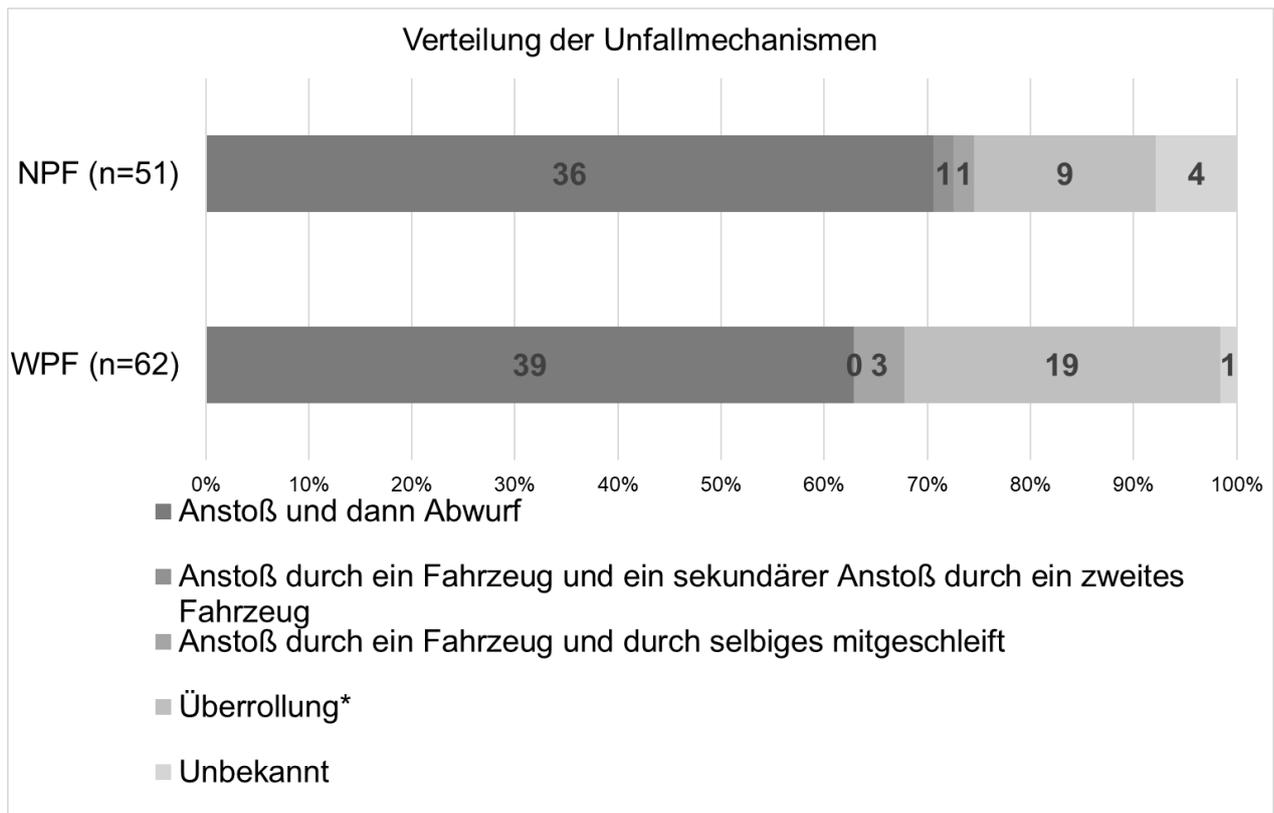


Abbildung 9 Verteilung der Unfallmechanismen für die WPF Gruppe (with pelvic fracture) und die NPF Gruppe (no pelvic fracture), absolute Zahlen in der Tabelle und prozentuale Darstellung im Balkendiagramm. Überrollung\* beinhaltet: Einfache Überrollung ohne primären Anstoß, Überrollen/Anstoß und dann (erneutes) Überrollen durch das gleiche Fahrzeug, Anstoß und dann Überrollen durch ein zweites Fahrzeug, Anstoß und dann Überrollen durch erstes Fahrzeug und durch ein zweites Fahrzeug, Anstoß durch ein Fahrzeug, dann von diesem überrollt und anschließend mitgeschleift

### 3.1.2.5 Genauere Betrachtung der Überrollungen

In der Betrachtung der Fälle, bei denen ein Fußgänger mindestens einmal von mindestens einem Fahrzeug im Verlauf des Unfalls überrollt wurde (n=28), ist der Anteil in der WPF Gruppe doppelt so hoch mit einem Fünftel der Fälle (19 Fälle), im Vergleich zur NPF Gruppe (neun Fälle).

In den insgesamt 28 Fällen gibt es 14-mal Angaben zur max. Kollisionsgeschwindigkeit des Gegners. In diesen 14 Fällen liegt keine  $V_{max}$ -Gruppe deutlich häufiger vor als eine andere. Die Gruppe >60km/h ist jedoch mit vier Fällen in der WPF Gruppe größer als die der NPF Gruppe (ein Fall).

Mit elf Fällen ist der PKW der häufigste Unfallgegner (sechs WPF, fünf NPF) gefolgt von LKW (acht Fälle, davon sechs WPF, zwei NPF), mehreren Beteiligten (fünf Fälle, davon vier WPF, ein NPF) und Bus, landwirtschaftliches Fahrzeug, Transporter und Krad zu je einem Fall. Von den fünf Fällen mit mehreren Beteiligten haben vier Fußgänger eine Beckenfraktur. In 15 Fällen war das Polytrauma (zehn WPF, fünf NPF) todesursächlich.

### 3.1.2.6 Maximale Kollisionsgeschwindigkeit

In 29 Fällen ist die Vmax unbekannt (26% der Fälle). Knapp ein Drittel der Fußgänger ohne Beckenfraktur wurden von Fahrzeugen mit einer Geschwindigkeit von 0 bis 30km/h erfasst, davon sogar 6 Fußgänger mit einer Geschwindigkeit von <10km/h (s. Tabelle 5). In den Fällen mit Beckenfrakturen sind es 13%. 21% der WPF und 24% der NPF erlitten Unfälle bei gegnerischen Geschwindigkeiten zwischen 31km/h und 60km/h. Die Geschwindigkeit >60km/h ist in der WPF Gruppe am häufigsten (37%) und bildet in der NPF Gruppe einen ähnlich großen Anteil wie die anderen beiden Geschwindigkeitsgruppen (27%) (s. Abbildung 10).

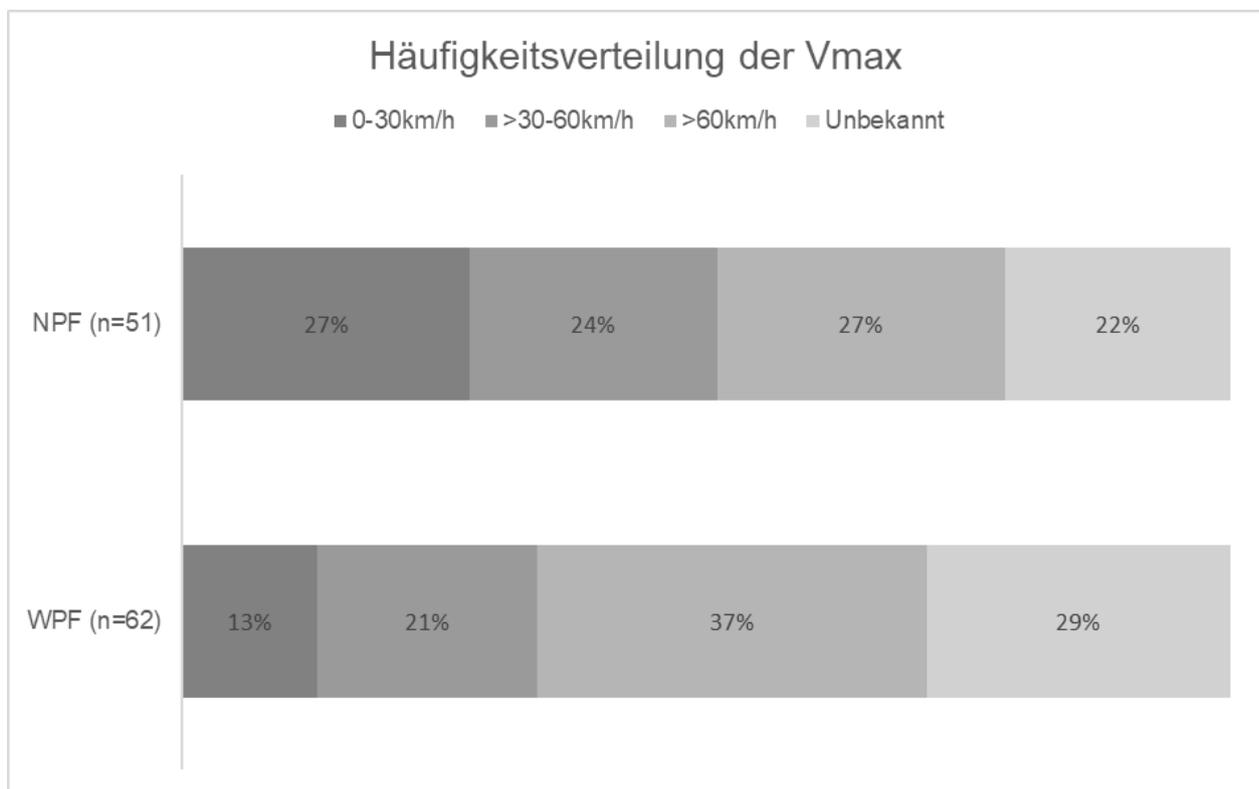


Abbildung 10 Häufigkeitsverteilung der Gruppen der maximalen Kollisionsgeschwindigkeit Vmax (in km/h) im Vergleich zwischen Fußgängern mit (with pelvic fracture, „WPF“) und ohne Beckenfraktur (no pelvic fracture, „NPF“).

*Tabelle 5 Häufigkeitsverteilung der Gruppen der maximalen Kollisionsgeschwindigkeit Vmax (in km/h) im Vergleich zwischen Fußgängern mit (with pelvic fracture, „WPF“) und ohne Beckenfraktur (no pelvic fracture, „NPF“), absolute Zahlen.*

<b>Kollisionsgeschwindigkeit in der WPF Gruppe (n=62) und NPF Gruppe (n=51)</b>		
Geschwindigkeitsgruppen (in km/h)	WPF	NPF
bis 10	3	6
11 bis 20	3	2
21 bis 30	2	6
31 bis 40	3	2
41 bis 50	7	4
51 bis 60	3	6
61 bis 70	4	4
71 bis 80	7	4
81 bis 90	5	2
91 bis 150	7	4
Unbekannt	18	11

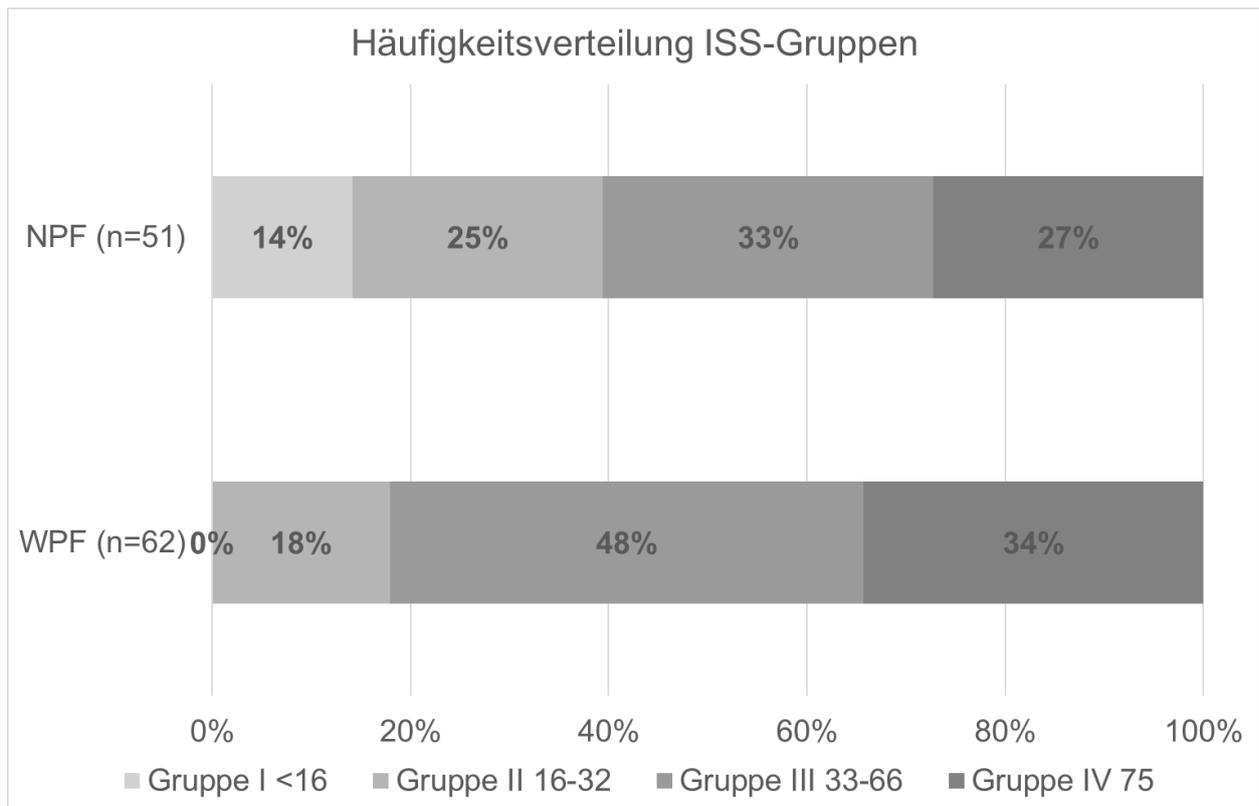
### 3.1.3 Verletzungsmuster

#### 3.1.3.1 Verletzungsschwere nach MAISGes

Die Verletzungsschwere gemäß MAIS<sub>Ges</sub> verteilt sich in beiden Gruppen von MAIS 3 bis MAIS 6. Dabei ergeben Fußgänger mit MAIS<sub>Ges</sub> ≥5 bei den WPF 74% der Toten, und bei den NPF ca. 70%. Während bei den NPF 18% der Fußgänger einen MAIS<sub>Ges</sub> 3 haben, beläuft sich diese in der WPF Gruppe auf 5%.

#### 3.1.3.2 Verletzungsschwere nach Injury Severity Score

Der Median des ISS für die WPF Gruppe ist 53,5 und für die NPF Gruppe 35. In der Gruppe WPF gibt es keinen Toten, der nicht der Definition eines Polytraumas (≥ISS 16) entspricht, in der Gruppe NPF hingegen sieben Fälle. Den maximalen ISS Score von 75 haben in der WPF Gruppe 34%, bei der NPF Gruppe 27%. In beiden Gruppen bildet die Gruppe von ISS 33-66 den größten Anteil (WPF 48%, NPF 33%). Der Unterschied ist statistisch signifikant (p=0,008) (s. Abbildung 11).



*Abbildung 11 Häufigkeitsverteilungen der ISS-Gruppen für Fußgänger mit (with pelvic fracture, „WPF“) und ohne Beckenfraktur (no pelvic fracture, „NPF“)*

### 3.1.3.3 Körperregion der MAIS<sub>Ges</sub>

Bei den WPF ist mit 17 (27%) Fällen am häufigsten der Thorax die am schwersten verletzte Körperregion und bildet somit den MAIS<sub>Ges</sub>. In 16 Fällen (26%) ist der Kopf am schwersten verletzt. In nur vier von 62 Fällen ist bei den WPF die Körperregion 8 (Knöchernes Becken & untere Extremität) allein die Region der MAIS<sub>Ges</sub>. In vier Fällen kommt die Körperregion 8 in Kombination mit einer anderen Körperregion als Region der MAIS vor und in zwei Fällen in Kombination mit zwei anderen Körperregionen. Bei den NPF ist in 36 Fällen (71%) der Kopf die am schwersten verletzte Körperregion. Die Körperregion 8 ist in der NPF Gruppe in einem Fall die Region der MAIS<sub>Ges</sub> (in diesem Fall ist die ausschlaggebende Verletzung eine zweifache Femurfraktur) und in einem anderen Fall in Kombination mit zwei anderen Körperregionen (s. Tabelle 15 und Tabelle 16 im Anhang).

### 3.1.3.4 Verletzte Körperregionen AIS $\geq 3$

In der WPF Gruppe ist die am häufigsten schwer verletzte (entsprechend AIS  $\geq 3$ ) Region der Thorax, der in 79% der Fälle betroffen ist. Im Vergleich dazu ist in der NPF Gruppe die Kopfverletzung am häufigsten und ereignet sich in 84% der Fälle (s. Abbildung 12). Verletzungen des Abdomens sind in der WPF Gruppe dreimal häufiger als in der NPF Gruppe (s. Abbildung 13). Ein Explosion-Type tritt in der WPF Gruppe 6-mal auf und bildet alle Fälle mit diesem Verletzungsmuster ab. Es ereignet sich nur ein einzelner Fall, bei der eine Beckenfraktur die alleinige relevante Verletzung (entsprechend AIS  $\geq 3$ ) darstellt (s. Tabelle 17 im Anhang).

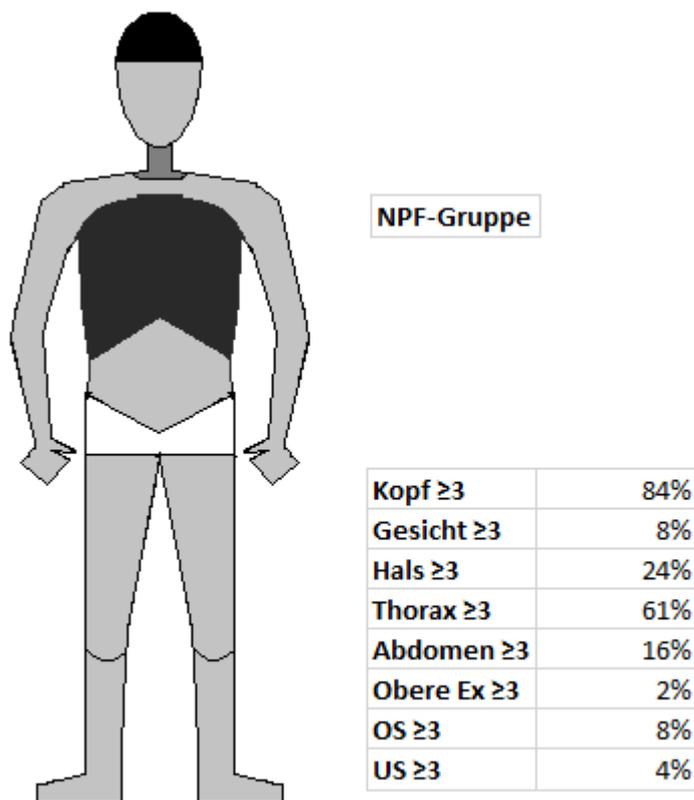


Abbildung 12 Prozentuale Häufigkeit Fälle der Verletzungen, die in den dargestellten Körperregionen jeweils mindestens mit der Schwere AIS3+ verletzt waren, in der Gruppe ohne Beckenfraktur (no pelvic fracture, „NPF“), Mehrfachnennung möglich, n=51, für „pelvic bone“ definitionsgemäß NPF 0%.

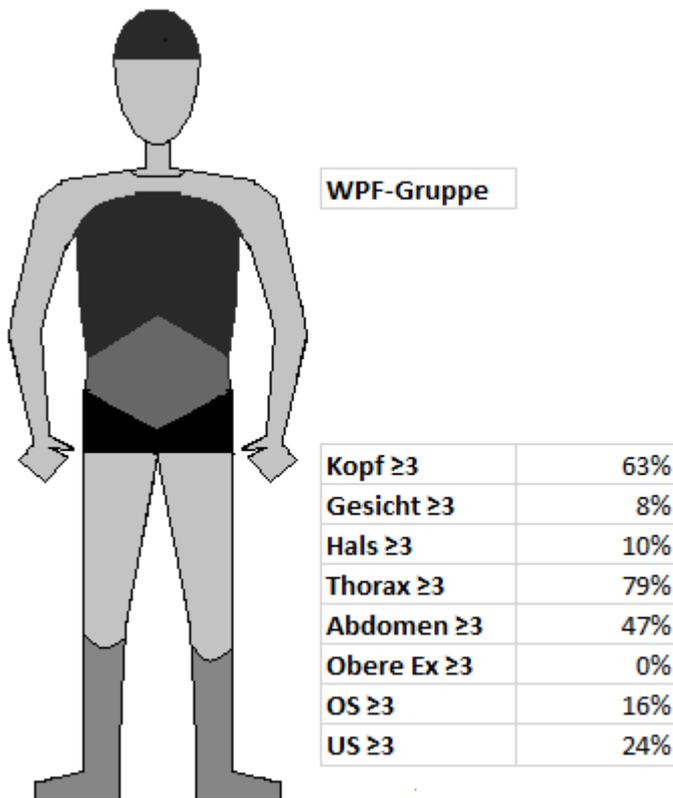


Abbildung 13 Prozentuale Häufigkeit der Fälle mit Verletzungen, die in den dargestellten Körperregionen jeweils mindestens mit der Schwere AIS3+ verletzt waren, in der Gruppe mit Beckenfraktur (with pelvic fracture, „WPF“), Mehrfachnennung möglich, n=62; für „pelvic bone“ definitionsgemäß WPF 100%, enthält 6 Explosion-Type Fälle bei denen die betroffenen Körperregionen zugeteilt).

### 3.1.3.5 Verletzungsschwere nach MAIS<sub>Ges</sub> und Todeszeitpunkt

In der WPF Gruppe ist der MAIS<sub>Ges</sub> aller Fälle, die nach 24 Stunden starben, entweder MAIS<sub>Ges</sub> 3 oder MAIS<sub>Ges</sub> 4.

Alle WPF mit einem MAIS<sub>Ges</sub> von 5 starben innerhalb von 24 Stunden. Bei den NPF hingegen starben auch die mit MAIS<sub>Ges</sub> 5 später als nach 24 Stunden (9 Fälle), jedoch zu einem geringeren Anteil als die innerhalb von 24 Stunden (13 Fälle). Alle Fußgänger in den Gruppen WPF und NPF mit MAIS<sub>Ges</sub> 6 starben innerhalb von einer Stunde.

### 3.1.4 Assoziation zwischen Unfallmechanismus und Verletzungsschwere

In der WPF Gruppe ist ein MAIS<sub>Ges</sub> 3 nur bei dem Unfallmechanismus des Anstoßens und Abwurfgeschehens vorhanden und macht mit drei Fällen auch weniger als 5% aller Unfälle dieser Kategorie aus. Am häufigsten ist dieser Unfallmechanismus bei einem MAIS<sub>Ges</sub> von 5 mit 43% in der WPF Gruppe. Auch in der NPF Gruppe ist der Unfallmechanismus am häufigsten bei einem MAIS<sub>Ges</sub> 5 vorzufinden, hier sogar in der Hälfte aller Fälle. Überrollungen führten stets zu Verletzungen der Schwere MAIS<sub>Ges</sub> 4, 5 und 6 sowohl in der WPF Gruppe (19 Fälle), als auch in der NPF Gruppe (9 Fälle) (s. Tabelle 18 im Anhang).

20 von insgesamt 35 Fällen mit ISS 75 stammen aus Unfällen mit gegnerischer Kollisionsgeschwindigkeit von >60km/h, von denen sich fast doppelt so viele Fälle in der WPF Gruppe ereigneten (s. Tabelle 6 und 7). Damit sind knapp ein Fünftel aller toten Fußgänger (18%) sowohl der Gruppe ISS 75 zuzuordnen als auch mit einer Kollisionsgeschwindigkeit von mehr als 60km/h erfasst worden.

In beiden Gruppen findet sich jedoch auch jeweils ein Fall eines ISS von 75 bei einer  $V_{max}$  von 0-30 km/h, entsprechend einer höheren Verletzungsschwere bei niedrigeren Kollisionsgeschwindigkeiten.

*Tabelle 6 WPF Gruppe: Zusammenhang von maximaler Kollisionsgeschwindigkeit  $V_{max}$  und der Verletzungsschwere ISS, Geschwindigkeit in km/h, absolute Fallzahlen*

<b>Abhängigkeit von Verletzungsschwere und max. Kollisionsgeschwindigkeit in der WPF Gruppe (n=62)</b>					
		ISS Gruppen			
Geschwindigkeit	in	16-32	33-66	75	Summe
0-30		4	3	1	8
31-60		2	7	4	13
>60		2	8	13	23
Unbekannt		3	12	3	18
Summe		11	30	21	62

*Tabelle 7 NPF Gruppe: Zusammenhang von maximaler Kollisionsgeschwindigkeit  $V_{max}$  und der Verletzungsschwere ISS, Geschwindigkeit in km/h, absolute Fallzahlen*

<b>Abhängigkeit von Verletzungsschwere und max. Kollisionsgeschwindigkeit in der NPF Gruppe (n=51)</b>				
	ISS Gruppen			
Geschwindigkeit in km/h	16-32	33-66	75	Summe
0-30	9	4	1	14
31-60	7	4	1	12
>60	0	7	7	14
Unbekannt	4	2	5	11
Summe	20	17	14	51

### 3.1.5 Charakteristika der Fälle mit Anstoßgeschwindigkeit 0 bis 30km/h

Es ereigneten sich 22 Fälle, in denen die  $V_{max}$  zwischen 0 und 30km/h lag, von diesen waren acht WPF und 14 NPF. Von den 22 betroffenen Fußgängern waren fünfzehn weiblich (fünf WPF, zehn NPF) und sieben männlich (drei WPF, vier NPF).

Als häufigste Todesursache ist das zentrale Regulationsversagen mit zwölf Fällen angegeben (fünf WPF, sieben NPF), fünf Mal das Polytrauma (zwei WPF, drei NPF), einmal hypovolämischer Schock in der WPF Gruppe und zu je einem Fall in der NPF Gruppe das Schädelhirntrauma und Herzkreislaufversagen. In der Kategorie „Sonstiges“ treten in der NPF Gruppe zu je einem Fall eine Aspiration und eine Thrombembolie auf.

Zehnmal ist der Unfallgegner ein PKW, neunmal ein LKW (restlich zu je einem Fall Bus (WPF), Transport- (NPF) und Schienenfahrzeug (NPF)). 13 der Fußgänger gehören zur Altersgruppe >75 (fünf WPF, acht NPF), fünf zu >50-75 (zwei WPF, drei NPF), zwei Fußgänger zu >25-50 (beide NPF) und drei Fußgänger zu <18Jahre (ein WPF, zwei NPF).

Die Körperregion der MAIS<sub>Ges</sub> ist in elf Fällen der Kopf (drei WPF, acht NPF) und in sechs Fällen der Thorax (zwei WPF, vier NPF). Je einmal vorhanden ist die Körperregion Hals (NPF), untere Extremität entsprechend dem knöchernen Becken (WPF) und das Abdomen (WPF). Gleichschwer verletzt und somit die Körperregion der MAIS bildend ist in einem Fall der WPF Gruppe die Kombination aus Kopf und unterer Extremität (entsprechend knöchernem Becken) und in der NPF Gruppe die Kombination aus Kopf und Thorax.

### 3.2 Fußgänger mit Beckenfrakturen (n=62)

Es ereigneten sich 62 Fälle mit einer Beckenfraktur.

#### 3.2.1 Verletzungsmuster bei Fußgängern mit Beckenfrakturen

##### 3.2.1.1 Verteilung der Beckenfraktur-Codes

Die häufigste Beckenfraktur entspricht dem Code 856171.4 mit einer AIS-Schwere von 4 und stellt 52% aller Beckenfrakturen dar. Eine AIS-Verletzungsschwere von PFAIS  $\geq 4$  liegt in 60% der Fälle WPF vor, die AIS-Schwere 2 ist in 21% der Fälle vorhanden.

PFAIS 2	13 Fälle
PFAIS 3	12 Fälle
PFAIS 4	32 Fälle
PFAIS 5	5 Fälle

##### 3.2.1.2 Betroffene knöchernen Strukturen (Mehrfachnennung möglich)

Das Os pubis ist in 74% der Fälle betroffen, dabei ist in 27 Fällen der untere und in 39 Fällen der obere Schambeinast betroffen. Das Os coccygis ist in 27% der Fälle beteiligt, das Os sacrum in 19%, das Os ilium und Os ischii in je 44% und 15%. Die Symphysis pubica und das Iliosakralgelenk (im Folgenden ISG) sind in 32% und 76% der Fälle betroffen (s. Abbildung 14). In der PFAIS 5 Gruppe sind in jedem Fall die Symphyse, sowie das ISG beschädigt. In jeweils drei von fünf Fällen sind das Os sacrum und Os ilium betroffen, in jeweils vier von fünf Fällen sowohl das Os pubis, Os coccygis und auch das Os ischii. Im Vergleich dazu ist die am häufigsten verletzte Struktur in den Fällen der PFAIS 4 Gruppe das ISG mit 27 von 32 Fällen, ähnlich häufig ist das Os pubis betroffen mit 26 von 32 Fällen betroffen. Auch in der Gruppe PFAIS 3 ist das ISG die am häufigsten betroffene Struktur (elf von zwölf Fällen).

Das Os ischii ist in keinem Fall der Gruppe PFAIS 2 oder PFAIS 3 betroffen. In der Gruppe PFAIS 2 außerdem nicht betroffen sind die Symphysis pubica und das Os sacrum. Am häufigsten in dieser Gruppe verletzt ist das Os pubis mit 11 von 13 Fällen, in sieben Fällen ist es sogar die einzige Fraktur (s.o.). Während sowohl in der PFAIS 2 Gruppe 2

als auch der PFAIS 4 Gruppe das Os pubis sehr häufig frakturiert ist, ist es im Fall der PFAIS 3 Gruppe nur in fünf von elf Fällen verletzt.

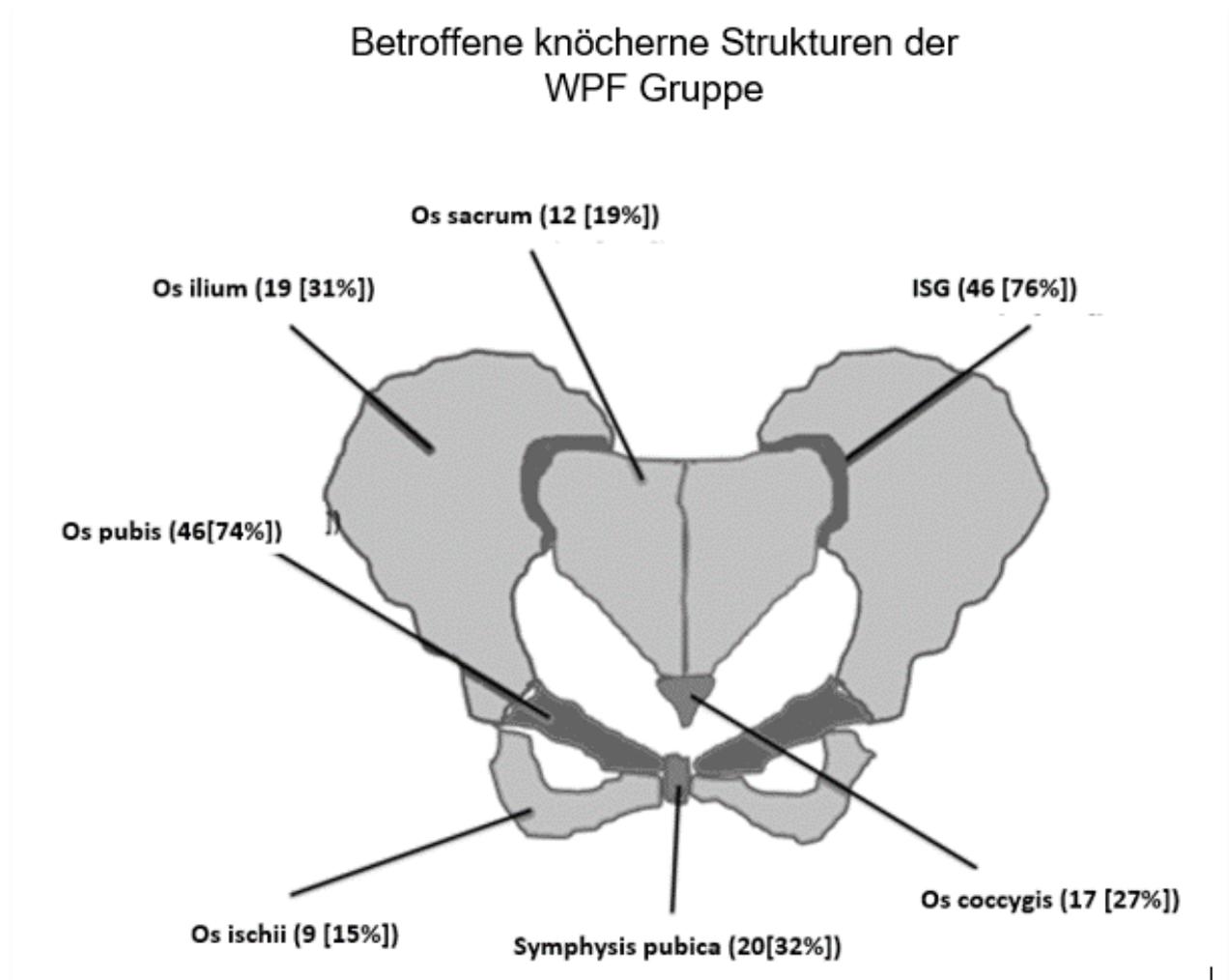


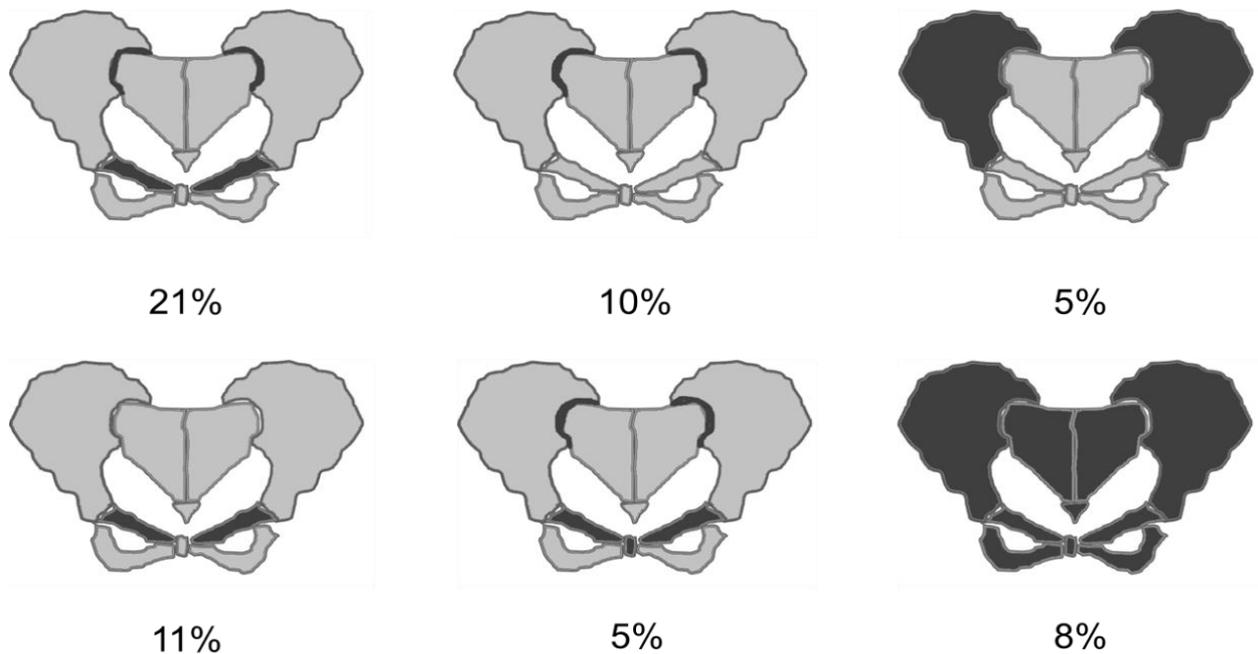
Abbildung 14 Betroffene knöcherne Strukturen bei Fällen der WPF Gruppe (n=62), Mehrfachnennung möglich, keine Seitenzuordnung bei paarig vorkommenden Strukturen

### 3.2.1.3 Betroffene knöcherne Strukturen – häufigste Kombinationen und Begleitverletzungen

Die sechs häufigsten Verletzungsmuster der Beckenfrakturen sind mit 13 Fällen eine Kombinationsverletzung aus Os pubis und ISG, mit sieben Fällen eine alleinige Fraktur des Os pubis, mit sechs Fällen eine alleinige Verletzung des ISG, mit 5 Fällen alle Strukturen (anzunehmen bei Beschreibung einer Zertrümmerung des Beckens); mit je drei Fällen trat auch eine Kombinationsverletzung aus Os pubis, ISG und Symphysis pubica

sowie drei Fälle mit alleiniger jeweils einseitiger Verletzung des Os ilium auf (s. Abbildung 15).

### Verletzungsmuster bei Beckenfrakturen (n=62)



*Abbildung 15 Kombination der häufigsten betroffenen Strukturen bei Beckenfrakturen (ohne Seitenzuordnung, 1. Zeile von links nach rechts: Iliosakralgelenk und Os pubis; isoliert Iliosakralgelenk; isoliert Os ilium; 2. Zeile von links nach rechts: isoliert Os pubis; Iliosakralgelenk und Os pubis und Symphyse; Os ilium, Iliosakralgelenk, Os sacrum, Os coccygis, Os pubis, Os ischii und Symphyse. (Die dargestellten Kombinationen ergeben nicht 100%, da die jeweiligen sonstigen Kombinationen zu <5% vorlagen.)*

Von den 62 Fußgängern der WPF Gruppe hatten 26 eine Begleitverletzung (42%). Von diesen 26 Toten mit Begleitverletzungen hatten 18 eine Einblutung in die Weichteile des kleinen Beckens (29% von 62), 13 eine Verletzung der Harnblase oder des Harnleiters (21%), sieben Fälle eine Verletzung des Genitals und drei wiesen Verletzungen der Gefäße des Beckens auf (je 5%).

Die alleinige Verletzung des Os ilium führte in keinem Fall zu einer relevanten Begleitverletzung der inneren Organe des kleinen Beckens. Die alleinige Fraktur des Os pubis führte viermal zu einer Einblutung in die Weichteile des kleinen Beckens. Eine

Kombinations-verletzung aus Os pubis und ISG führte fünfmal zu einer Einblutung in die Weichteile, trat einmal zusammen mit einer Verletzung des Genitals auf, und zweimal zusammen mit einer Verletzung der Harnblase/Harnleiter.. Eine Kombination aus Fraktur des Os pubis, des ISG und der Symphyse lag je einmal zusammen mit einer Verletzung des Genitals und der Harnblase/des Harnleiters vor. Waren alle knöchernen Strukturen verletzt (fünf Fälle), so gab es zweimal eine Verletzung des Genitals und der Harnblase/des Harnleiters und einmal eine Gefäßverletzung.

Die anderen beiden Gefäßverletzungen ereigneten sich durch Verletzungskombinationen aus Os ilium und Symphyse, sowie de Os pubis, ISG, Os ilium und Os ischii.

Am häufigsten zu einer Beckenfraktur PFAIS 2 führte eine alleinige Fraktur des Os pubis (sieben Fälle), am häufigsten zu einem Frakturschwere PFAIS 3 führte eine Kombinationsverletzung aus Os pubis und ISG (vier Fälle), bei dem die Ringstruktur so unterbrochen war, dass die Fraktur nur Teilinstabilität verursachte. Diese Kombination führte ebenfalls zur häufigsten Anzahl an Frakturen des PFAIS 4 (sieben Fälle), in diesem Fall jedoch mit einem Frakturmuster, welche zur kompletten vertikalen Instabilität führte. Ein Beckenfraktur-Code PFAIS 5 ereignete sich, wenn alle Strukturen betroffen waren, im Sinne einer Zertrümmerung (fünf Fälle).

#### *3.2.1.5 Gleichzeitig auftretende Frakturen der unteren Extremitäten*

In 27 Fällen ist bei relevanter Beckenverletzung eine gleichzeitige Verletzung der unteren Extremität vorhanden (AIS $\geq$ 3, 44%). In zwölf Fällen liegt zusätzlich eine Tibiafraktur vor (19%), in 2 Fällen eine Fibulafraktur, in 13 Fällen eine Femurfraktur (21%) und in acht Fällen ist eine Amputation beschrieben (13%), davon gehören drei Fälle zu einem „Explosion-Type“.

#### *3.2.2 Vergleich von Fußgängern mit Beckenfrakturen unterschiedlicher Schweregrade*

##### *3.2.2.1 Soziodemographische Variablen*

Die Verteilung der Geschlechterhäufigkeit ist in den Gruppen PFAIS 2 und 3 ausgewogen. Bei der PFAIS 4 Gruppe sind fast doppelt so viele Männer wie Frauen betroffen (21m, 11w) und in der PFAIS 5 Gruppe ist nur eine Frau und vier Männer betroffen. In der Gruppe PFAIS 5 verteilt sich Mehrzahl der Fälle auf die Altersgruppe <50 Jahre (wobei sich jedoch kein Fall mit PFAIS 5 bei Fußgänger <18 Jahre ereignete). In der Gruppe PFAIS 2 sind 54% der Fußgänger  $\leq$ 50Jahre alt und 77%  $\leq$ 75 Jahre. In der

Gruppe PFAIS 4 zeigt sich eine ähnliche Anzahl von Fällen von Fußgängern im Alter von bis einschließlich 75 Jahre, allerdings sind nur 38% dieser Fußgänger bis einschließlich 50 Jahre alt. Es zeigt sich ein Zuwachs der Fallzahlen im Alter von >50 bis 75 Jahre um den fast gleichen Anteil (34%) wie für die gesamte Altersspanne 0-50 Jahre (s. Abbildung 16). Im Vergleich dazu sind in der Gruppe PFAIS 3 ein Viertel der Fußgänger (25%) jünger als oder 50 Jahre alt, während insgesamt 50% der Fußgänger jünger als 75 Jahre sind (s. Tabelle 19 im Anhang).

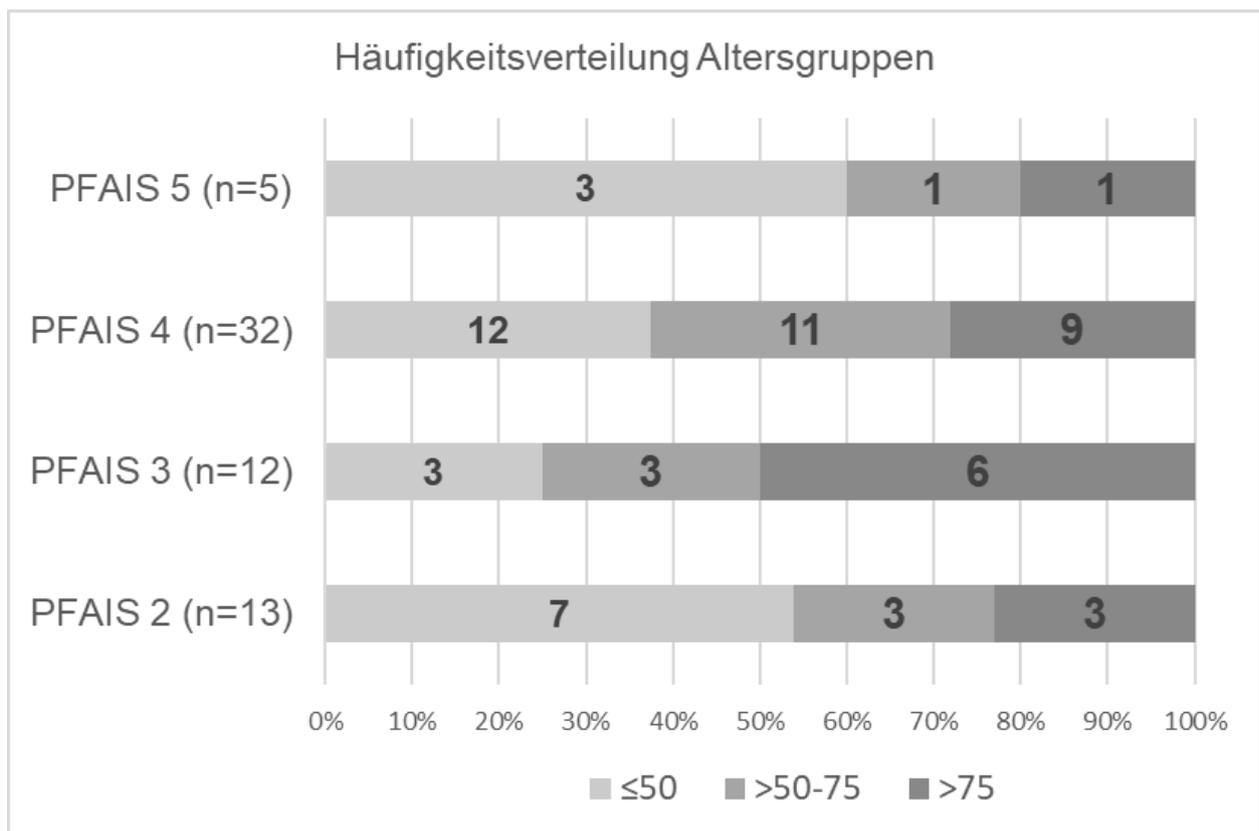


Abbildung 16 Häufigkeiten der Altersgruppen im Vergleich zwischen Gruppen verschiedener Schwere der Beckenfraktur PFAIS 2-5, Altersgruppen in Jahren, n=62; absolute Zahlen.

### 3.2.2.2 ISS

Die Häufigkeiten der ISS-Gruppen sind in den PFAIS Gruppen 2 und 3 ähnlich. In der Gruppe PFAIS 2 gibt es jedoch keinen Fall mit einem ISS der Gruppe <24. Während es in der PFAIS 3 Gruppe nur einen Fall der ISS Gruppe 45-66 gibt, sind es drei in der Gruppe PFAIS 2. Bei der Gruppe PFAIS 5 gibt es keinen Fall mit einem ISS <45. In den Gruppen PFAIS 4 und 5 machen die Gruppen ISS 45-66 und 75 die Mehrheit aus, bei

PFAIS 5 jeweils mit 2 und 3 Fällen und bei PFAIS 4 in insgesamt 4/5 der Fälle (81%) (s. Tabelle 20 im Anhang).

### 3.2.2.3 Todesursache

In allen vier Gruppen von AIS-Beckenfrakturen ist das Polytrauma die führende Todesursache. Allerdings ist das Polytrauma in der PFAIS 4 Gruppe mit 66% der Fälle und in der PFAIS 5 Gruppe mit drei von fünf Fällen deutlich häufiger. An zweiter Stelle ist in allen Gruppen das zentrale Regulationsversagen. Der hypovolämische Schock ist bei einem PFAIS 5 in keinem Fall todesursächlich. In den anderen PFAIS -Gruppen ist er in zwei Fällen bei PFAIS 2, einem Fall bei PFAIS 3 und zu 4/5 der Fälle bei PFAIS 4 (s. Tabelle 21 im Anhang) todesursächlich.

### 3.2.2.4 Todeszeitpunkt

In den PFAIS Gruppen 2,4, und 5 ist der Todeszeitpunkt vor Ort der Häufigste, in der Gruppe 3 der Tod nach 1 Stunde und innerhalb von 24 Stunden. Kein Tod der PFAIS 5 Gruppe ereignete sich später als nach einer Stunde (s. Abbildung 17).

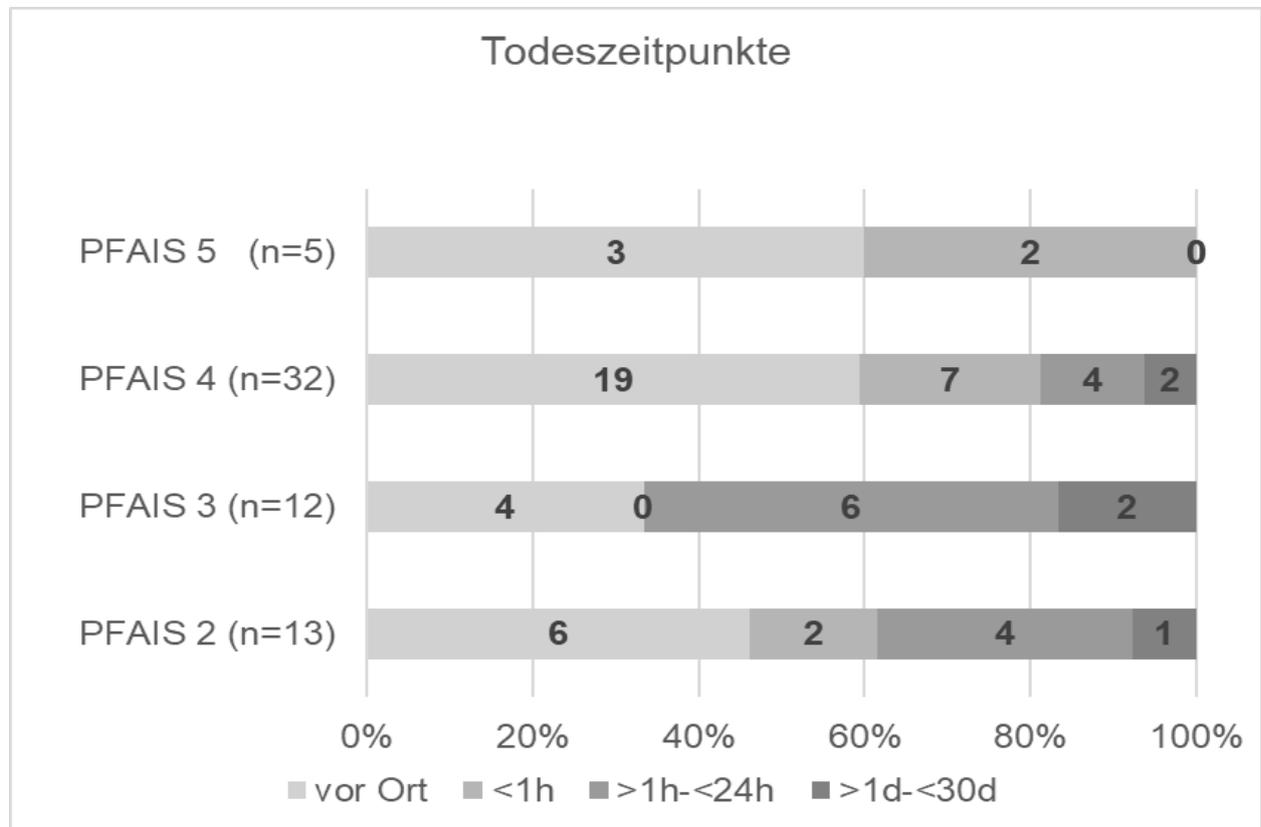


Abbildung 17 Verteilung der Todeszeitpunkte für die verschiedenen Schweregrade der Beckenfraktur PFAIS 2-5 in der WPF Gruppe (with pelvic fracture),  $n_{WPF}=62$ ; absolute Zahlen.

### 3.2.2.5 Örtlichkeit

In der Gruppe mit PFAIS 2 und 3 liegt die Mehrzahl der Unfälle innerorts. Für PFAIS 2 ereigneten sich zwei von 14 Unfällen auf der Autobahn, bei PFAIS 3 nur in einem von 12 Fällen. Bei der PFAIS 4 Gruppe zeigt sich eine höhere Anzahl von Fällen außerorts als innerorts, die Fallzahlen waren jedoch ähnlich (14 außerorts, zwölf innerorts). Im Fall der PFAIS 5 Gruppe ereigneten sich zwei Unfälle innerorts und drei auf der Autobahn.

### 3.2.2.6 Körperregion der MAIS<sub>Ges</sub>

In den Gruppen PFAIS 2 und 3 ist die häufigste Körperregion der MAIS<sub>Ges</sub> der Kopf, während es in der PFAIS 4 Gruppe der Thorax ist. Der Thorax ist in der PFAIS Gruppe 2 und 3 am zweithäufigsten die Körperregion der MAIS<sub>Ges</sub>. In der PFAIS 5 Gruppe ist die Anzahl gleich (je ein Fall) für folgende Verletzungen:

- untere Extremität ((inkl. knöchernes Becken)
- Kopf und Abdomen
- Thorax und untere Extremität (inkl. knöchernes Becken)
- Kopfe und Thorax und Abdomen
- äußere Region gemäß dem „Explosion-Type“.

Fälle bei denen die untere Extremität (inkl. knöchernes Becken) die alleinige Körperregion der MAIS<sub>Ges</sub> bildet, gibt es nur in der PFAIS Gruppe 4 und 5. Fälle, bei denen die untere Extremität (inkl. knöchernes Becken) gleichschwer betroffen war wie andere Körperregionen, tritt in den Gruppen mit PFAIS 3, 4 und 5 auf. Ein Explosion-Type und somit die Körperregion 9 als MAIS gibt es in den Gruppen PFAIS 5 (1 Fall), PFAIS 2 (1 Fall) und PFAIS 4 (3 Fälle) (s. Tabelle 22 im Anhang).

### 3.2.2.7 Begleitverletzungen

Die häufigsten Begleitverletzungen (Mehrfachnennung möglich) ereigneten sich in der Gruppe PFAIS 4, wobei die Einblutung in die Weichteile des kleinen Beckens mit knapp der Hälfte in dieser Gruppe am häufigsten vertreten ist (14 von 32 Fällen PFAIS 4). Eine Verletzung der Gefäße tritt nur in der PFAIS 4 Gruppe auf. Das Genital (sechs Fälle PFAIS 4 Gruppe) und die Harnblase/der Harnleiter (fünf Fälle PFAIS 4 Gruppe) sind je in ca. einem Fünftel der Fälle betroffen.

In der Gruppe PFAIS 2 kommt die Einblutung in die Weichteile des kleinen Beckens als alleinige Begleitverletzung in knapp der Hälfte der Fälle vor (sechs von 13). In der Gruppe PFAIS 5 treten Verletzungen des Genitals (zwei von fünf Fällen), der Harnblase/des Harnleiters (ein Fall) sowie die Einblutung in die Weichteile des kleinen Beckens auf (zwei Fälle). In der PFAIS 3 Gruppe sind in zwei von elf Fällen Harnleiter/Harnblase verletzt und es gibt vier Fälle mit Einblutung in die Weichteile des kleinen Beckens (s. Tabelle 8).

*Tabelle 8 Verteilung der Begleitverletzungen innerhalb der verschiedenen PFAIS Gruppen (PFAIS= pelvic fracture AIS), n<sub>WPF</sub>=62, absolute Zahlen*

<b>Verteilung der Begleitverletzungen</b>				
	PFAIS 2 (n=13)	PFAIS 3 (n=12)	PFAIS 4 (n=32)	PFAIS 5 (n=5)
Genital verletzt	0	0	5	2
Gefäße verletzt	0	0	3	0
Harnblase, Harnleiter verletzt	0	2	6	2
Einblutung in die Weichteile des kleinen Beckens	6	4	14	1

### *3.2.2.8 Gleichzeitig auftretende Frakturen der unteren Extremität (≥ AIS 3)*

In 27 Fällen war bei einer Beckenfraktur eine gleichzeitige Fraktur der unteren Extremität vorhanden (44%). Dabei war eine PFAIS 4 mit in knapp der Hälfte aller Fälle am häufigsten von einer Fraktur der unteren Extremität begleitet (15 von 32 Fällen). Eine Zunahme der Anzahl an Frakturen der unteren Extremität mit Zunahme der AIS Schwere konnte nicht gezeigt werden, da bei einer PFAIS 5 nur zwei Fälle einer Fraktur der unteren Extremität vorlagen.

### *3.2.2.9 Klassifikation der Beckenfrakturen nach AO und Buchholz*

Jede Beckenfraktur mit einem PFAIS 4 und 5 entsprach einer Typ III Fraktur nach Buchholz und einer Typ C Fraktur nach AO. Typ B2 nach AO und eine Typ II Fraktur nach Buchholz waren bei jeder Fraktur PFAIS 3 vorzufinden. Bei PFAIS 2 ließen sich die Frakturen in Typ I nach Buchholz und Typ A nach AO kodieren.

### *3.2.2.10 Unfallmechanismus*

Der häufigste Unfallmechanismus war in allen Gruppen der Anstoß mit anschließendem Abwurfgeschehen; die Kategorie 6 („Anstoß durch ein Fahrzeug und ein sekundärer Anstoß durch ein zweites Fahrzeug“) kam in der WPF Gruppe nicht vor. In allen PFAIS Gruppen fanden sich Überrollungen. Bei den Fällen der PFAIS Gruppe 5 waren sie im Vergleich zu den anderen Gruppen am häufigsten, in der PFAIS Gruppe 4 ereigneten sich jedoch die meisten Fälle mit Überrollung (zwölf von 32 Fällen). Insgesamt zeigte sich in der PFAIS Gruppe 4, dass jeder Unfallmechanismus mindestens einmal zugeordnet

werden kann, während dies in den anderen Gruppen nicht der Fall ist. Ein Anstoß mit Abwurfgeschehen und sekundärem Überfahren durch ein zweites Fahrzeug findet sich beispielsweise allein in der PFAIS 4 Gruppe. Für einen Fall der Gruppe PFAIS 3 liegt keine Beschreibung des Unfallmechanismus vor (s. Tabelle 9).

*Tabelle 9 Verteilung der Unfallmechanismen nach Beckenfrakturschweregrad (PFAIS 2-5),  $n_{WPF}=62$*

<b>Verteilung der Unfallmechanismen nach PFAIS</b>					
<b>Kategorie Unfallmechanismus</b>	<b>PFAIS 2</b>	<b>PFAIS 3</b>	<b>PFAIS 4</b>	<b>PFAIS 5</b>	<b>Gesamt</b>
Einfache Überrollung ohne primären Anstoß (Kat.1)		1	4	1	6
Überrollen/Anstoß und dann erneutes Überrollen durch das gleiche Fahrzeug (Kat. 2)	1		3	1	5
Anstoß und dann Überrollen durch ein zweites Fahrzeug (Kat. 3)			2		2
Anstoß und dann Abwurfgeschehen	10	9	18	2	39
Anstoß und dann Überrollen durch erstes Fahrzeug und durch ein zweites Fahrzeug (Kat. 5)	1		1	1	3
Anstoß durch ein Fahrzeug und durch selbiges mitgeschleift (Kat. 7)		1	2		3
Anstoß durch ein Fahrzeug, dann von diesem überrollt und anschließend mitgeschleift (Kat.8)	1		2		3
Unbekannt		1			1
Überrollung (gesamt, Kat. 9)	3	1	12	3	19

### *3.2.2.11 Maximale Kollisionsgeschwindigkeit*

Von den 62 Fällen mit Beckenverletzung gab es in 44 Fällen Informationen aus den staatsanwaltschaftlichen Akten zur  $V_{max}$ . Bei diesen 44 Fällen waren in der Gruppe PFAIS 2 ca. die Hälfte der Fälle (sieben von 13) im Bereich von 0-60km/h, in der Gruppe PFAIS 3 für den gleichen Geschwindigkeitsbereich ebenfalls die Hälfte (6 von 12) und im Vergleich dazu in der Gruppe PFAIS4 rund einem Fünftel (22%). Es ereigneten sich in dieser Gruppe fast doppelt so viele Fälle in einem Geschwindigkeitsbereich von >60km/h wie in

den Gruppen 0-30 und 31-60km/h zusammen, nämlich 41%. Es fällt auf, dass während in den Gruppen PFAIS 2 und 3 sich jeweils nur ein Fall, bzw. zwei Fälle im Geschwindigkeitsbereich von 0-30km/h ereigneten, es in der Gruppe PFAIS 4 fünf Fälle in diesem Geschwindigkeitsbereich gab (s. Tabelle 23 im Anhang). In der PFAIS Gruppe 5 gab es zu lediglich 4 von 5 Fällen Angaben. Drei Fälle ereigneten sich in einem Geschwindigkeitsbereich von >60km/h, nämlich bei 81km/h, 100km/h und 150km/h.

### 3.3 Einzelfallbetrachtung der Fälle, bei denen die Beckenfraktur die schwerste Verletzung darstellt

In der Betrachtung des Kollektivs findet sich in drei Fällen das knöcherne Becken (entsprechend der Körperregion 8) als die am schwersten verletzte Körperregion (entspricht MAIS<sub>Ges</sub>).

#### 3.3.1 Fall 1

Bei dem vorliegenden Fall kam eine 80 Jahre alte weibliche Person zu Tode. Der Unfall ereignete sich außerorts auf einer Bundesstraße. Der Unfallgegner war ein LKW, Typ Sattelzugmaschine.

Der LKW-Fahrer sei rückwärts aus der Hofeinfahrt gefahren und habe trotz Vollbremsung (nachdem die Fußgängerin wahrgenommen worden sei) dabei die Fußgängerin in aufrechtgehender Haltung getroffen. Sie sei dadurch zu Boden gestürzt und vom rechten Hinterrad des Fahrzeugs im Bereich des Beckens/Oberschenkels überrollt worden. Der LKW sei zum Stehen gekommen, dann vorwärts angefahren und habe die Fußgängerin dabei ein zweites Mal überrollt (dies entspricht dem Unfallmechanismus 2).

Die Fußgängerin verstarb innerhalb von einer Stunde. Als Todesursache ist Verblutung, d.h. hypovolämischer Schock angegeben.

Die Kollisionsgeschwindigkeit wird im Gutachten mit maximal 5km/h angegeben.

Als Unfallursache sind in der Verkehrsunfallanzeige ein Fehlverhalten der Fußgängerin, sowie ein Fehlverhalten des LKW-Fahrers beim Abbiegen angegeben.

Die Körperregion des MAIS<sub>Ges</sub> ist das knöcherne Becken. Die Fußgängerin hatte einen ISS von 17.

Sie hatte eine Beckenfraktur des AIS-Schweregrad 4, die sich zusammensetzte aus einem Bruch des rechten hinteren Astes des Os pubis und einer Sprengung des rechten Iliosakralgelenks (856171.4 „Pelvic ring fracture, complete disruption of posterior arch and pelvic floor NFS“[38]). Es habe eine deutliche Einblutung in die Weichteile des kleinen Beckens vorgelegen.

Als weitere relevante Verletzung lagen eine Oberschenkelchaftfraktur links (AIS 3), sowie eine Luxationsfraktur des rechten Sprunggelenks mit Abbruch des Außenknöchels und kleiner Durchspießung am Innenknöchel (AIS 3) und eine Trümmerfraktur des Wadenbeinköpfchens vor (AIS 2).

An Weichteilverletzungen zeigte sich eine Aushöhlung des gesamten rechten Beins mit Zertrümmerung des Unterhautfettgewebes, sowie fast des gesamten linken Beins (AIS 3). Im Obduktionsbericht wird der mutmaßliche Blutverlust über diese Verletzung als „vermutlich todesursächlich“ beschrieben.

Es lagen keine Verletzungen der inneren Organe und keine Kopfverletzungen vor, die anderen beschriebenen Verletzungen waren lediglich oberflächliche Hautschürfungen/läsionen (AIS 1).

### 3.3.2 Fall 2

Bei dem vorliegenden Fall kam eine 70 Jahre alte weibliche Person zu Tode. Der Unfall ereignete sich in innerorts auf einer Gemeindestraße bei Tageslicht und trockener Fahrbahn. Der Unfallgegner war ein PKW, Typ Ford KA (Kleinwagen).

Der Fußgängerin sei vom Fahrzeug getroffen und dann z.T. mitgeschleift worden (dies entspricht dem Unfallmechanismus 7); sie sei etwa 2,60m vor dem Fahrzeug mit dem Kopf aufgeschlagen und dort liegengeblieben.

Die Patientin war initial nach dem Unfall in eine universitäre Klinik der Maximalversorgung gebracht worden, wo sie innerhalb von sieben Tagen an Multiorganversagen auf dem Boden eines hypovolämischen Schocks verstarb.

Informationen zur Kollisionsgeschwindigkeit liegen nicht vor.

Informationen zur Unfallursache liegen nicht vor.

Die Körperregion des MAIS<sub>Ges</sub> ist das knöcherne Becken. Die Fußgängerin hatte einen ISS von 34.

Sie hatte eine Beckenfraktur des AIS-Schweregrad 4, die sich zusammensetzte aus einem klaffenden Bruch des rechten oberen und unteren Schambeinastes und einer beidseitigen groben Sprengung der Iliosakralfuge (856171.4 „Pelvic ring fracture, complete disruption of posterior arch and pelvic floor NFS“[38]). Es lagen keine Begleitverletzungen der inneren Organe des kleinen Beckens vor.

Als weitere relevante Verletzung lag eine Trümmerfraktur des rechten Oberschenkels (AIS 3) vor.

Es lagen relevante Verletzungen (AIS  $\geq$ 3) des Kopfes und Thorax vor.

An Kopfverletzungen fand sich ein Subduralhämatom (AIS 3), am Thorax lag ein nicht näher bezeichneter Hämatothorax vor (AIS 3).

### 3.3.3 Fall 3

Bei dem vorliegenden Fall kam eine 87 Jahre alte weibliche Person zu Tode. Der Unfall ereignete sich in innerorts in einer Hofeinfahrt auf einer Gemeindestraße bei Tageslicht und nasser Fahrbahn. Der Unfallgegner war ein PKW, Typ VW Polo (Kleinwagen).

Die Fußgängerin sei hinter einem in zweiter Reihe geparkten LKW auf eine Fahrbahn mit fließendem Verkehr hinausgetreten und sei dabei von dem fahrenden PKW getroffen worden. Die Fußgängerin sei über die Motorhaube in die Windschutzscheibe und von dort zu Boden geworfen worden.

Die Fußgängerin verstarb innerhalb von einer Stunde. Als Todesursache ist ein Polytrauma angegeben.

Die Kollisionsgeschwindigkeit wird im Gutachten mit minimal und maximal 33km/h angegeben; es sei ein Bremsvorgang/Ausweichmanöver vorangegangen.

Als Unfallursache sind in der Verkehrsunfallanzeige ein Fehlverhalten der Fußgängerin, bezüglich des Sichthindernisses und einem Nicht-Beachten des Verkehrs beschrieben.

Die Körperregion des MAIS<sub>Ges</sub> ist das knöcherne Becken. Die Fußgängerin hatte einen ISS von 50.

Sie hatte eine Beckenfraktur des AIS-Schweregrad 5, die sich zusammensetzte aus beidseitiger Sprengung des Iliosakralgelenks, einer Sprengung der Symphyse mit Durchspießungen und mehrfachen Stückbrüchen und einem zusätzlichen Bruch des Steißbeins (856174.5 „Pelvic ring fracture, complete disruption of posterior arch and pelvic floor open“[38]). Es habe eine deutliche Einblutung in die Harnblase bei Harnblasenruptur (AIS 3) vorgelegen.

Es lagen keine relevanten Verletzungen der unteren Extremitäten vor.

Es lag eine relevante Verletzung (AIS  $\geq 3$ ) des Thorax in Form einer linksseitigen instabilen Rippenserienfraktur von acht Rippen vor (AIS 4).

### 3.4 Repräsentativität der Daten

Gemäß den Daten des Bayerischen Landesamts für Statistik und Datenverarbeitung zu den Verkehrstoten im Einzugsgebiet gab es in den Jahren 2004-2006 in Bayern 194 Fußgängertote. Von diesen wurden 157 am Institut für Rechtsmedizin der Universität München obduziert und 58% (113 von 157) in dieser Arbeit betrachtet (s. Tabelle 10).

*Tabelle 10 Anteil der am IRM obduzierten Fußgänger an den im Einzugsgebiet getöteten Fußgängern der Jahre 2004-2006 (LfStaD)*

<b>Anteil der im Einzugsgebiet am IRM obduzierten Fußgänger der Jahre 2004-2006</b>			
Jahr	Fußgängertote am IRM obduziert	Fußgängertote im Einzugsgebiet (laut LfStaD[42])	Anteil der Fußgängertoten am IRM obduziert
2004	58	78	74%
2005	47	55	85%
2006	52	61	85%
Gesamt	157	194	81%

## 4 Diskussion

### 4.1 Soziodemographische Ergebnisse

In der WPF Gruppe sind 60% der Verstorbenen älter als 50 Jahre, im Vergleich dazu sind es in der NPF Gruppe knapp über die Hälfte (53%). Der Anteil an verstorbenen Kindern und Jugendlichen (<18 Jahre) ist in der NPF Gruppe mit 22% deutlich größer als in der WPF Gruppe mit 6%. Dies ist im Einklang mit der Literatur, die beschreibt, dass Erwachsene eher Beckenfrakturen erleiden als Kinder[43, 44], und dass Patienten, die älter als 60 Jahre sind, unabhängig vom Frakturmuster ein deutlich höheres Sterblichkeitsrisiko haben[45]. Obgleich man alters- und geschlechtsbedingte physiologische Unterschiede(s.u.) im Schweregrad der Beckenfraktur vermuten würde, zeigt sich in unserem Kollektiv kein signifikanter Unterschied zwischen jüngeren und älteren Fußgängern mit Beckenfraktur. Dies ist am ehesten dadurch begründet, dass es sich in 58% der Unfälle bei einer Kollisionsgeschwindigkeit von >30km/h um Hochrasanztraumata[15] handelt.

Die Mehrzahl der verstorbenen Fußgänger ist im Gesamtkollektiv männlich (69%). Bis zum Alter von 75 sind Männer in jeder Altersgruppe überrepräsentiert. Die allgemeine höhere Inzidenz von männlichen Verkehrsopfern ist in der Literatur ausreichend belegt. So ist auch der Anteil an Männern, die als Fußgänger im Straßenverkehr sterben[46-48] höher. Ebenso sind Männer einem höheren Risiko ausgesetzt Verletzungen zu erleiden[49]. Lediglich eine Studie von Fußgänger-PKW-Kollisionen fand, dass Frauen schwerwiegendere und tödlichere Verletzungen erlitten als Männer[50]. Unsere Daten zeigen eine Altersabhängigkeit zur Verteilung der Geschlechter. In unseren Daten überwiegt die Anzahl der verunglückten Männer (n=24) im Alter von 18-50 die Anzahl der Frauen (n=10), jedoch sind in der Gruppe >75 Jahre fast doppelt so viele weibliche Fußgänger tödlich verunglückt. Eine Studie des Autoclub Europa zeigte ebenfalls, dass Frauen der Altersgruppe >75 Jahre im Vergleich zu Männern doppelt so oft in Verkehrsunfällen verletzt oder getötet werden[11]. Das Alter scheint auch im Zusammenhang mit der Trauma-Ätiologie zu stehen. Fußgänger, die als Folge von Fahrzeugkollision verletzt werden, haben ein höheres Durchschnittsalter als Patienten, die andere stumpfe Traumata erleiden[51]. In Deutschland sind überproportional viele Senioren an Unfällen beteiligt[52]. Die hohe Anzahl älterer Fußgängeropfer könnte damit begründet werden, dass diese meist fragiler sind und vor allem sekundäre Sturzverletzungen bei einem Unfall davontragen[53]. Darüber hinaus haben ältere Patienten ein unsichereres Verhalten beim

Überqueren der Straße[54], was durch eine reduzierte kognitive und visuelle Leistung, und eine daraus folgende Nicht-Beachtung des Verkehrs, erklärt werden kann[1, 55]. Frauen im höheren Alter können wegen geschlechtsspezifischer physiologischer Veränderung (z.B. Osteoporose) anfälliger für Frakturen sein[56, 57]. Gegebenenfalls erklärt sich die höhere Anzahl in unserem Kollektiv auch dadurch, dass ältere Frauen insgesamt häufiger am Straßenverkehr beteiligt sind und es mit 65% mehr Frauen >75 Jahre in Bayern gibt als Männer [58]. Darüber hinaus stieg der Anteil von Strecken, die Menschen im Alter über 65 in Deutschland zurücklegen in den Jahren 2002-2008 um 31%. Im Alter von über 75 wurden 38% der Wegstrecken zu Fuß zurückgelegt, im Vergleich zu ca. 25% über alle Altersgruppen verteilt[59].

Insgesamt ist unser Kollektiv schwerer verletzt, als Fußgänger in großen anderen deutschen Studien[1], was darauf zurückgeführt werden könnte, dass diese auch überlebende Fußgänger berücksichtigen, während sich in unserem Kollektiv nur an den Unfällen Verstorbene finden. Bezüglich des Einflusses der Beckenfraktur auf die Verletzungsschwere zeigt sich, dass der mediane ISS der WPF Gruppe höher ist als in der NPF Gruppe (53,5 vs. 35; statistisch signifikant,  $p=0,008$ ). Der ISS fällt in verschiedenen Studien zu Beckenfrakturen unterschiedlich hoch aus[45, 60]. Während Cordts Filho Rode et al.[27] fanden, dass Fälle mit Beckenfrakturen im Vergleich zu Trauma-Patienten ohne Beckenfrakturen einen höheren ISS aufwiesen, konnten Starr et al. diesen Zusammenhang bei Fällen mit instabilen Beckenfrakturen nicht nachweisen[45].

Die Mortalität von Fußgängerunfällen wird in der Literatur mit 28%[27] bis 50%[36, 61] angegeben; mit unserem auf Todesfälle beschränktem Kollektiv kann hierzu keine Aussage getroffen werden.

#### 4.2 Verletzungen des Beckens und begleitende Verletzungen

Beckenfrakturen spielen eine wichtige Rolle im Verletzungskomplex bei im Straßenverkehr zu Tode gekommenen Fußgängern. In unserem Fallkollektiv haben 55% der Fußgänger eine Beckenfraktur. Dies ist eine höhere Rate als in der Literatur bei zu Tode gekommenen Fußgängern beschrieben wird[45, 61, 62], obgleich Beckenfrakturen bei Fußgängerunfällen überproportional zu Frakturen aller Trauma-Ätiologie repräsentiert sind[27, 43, 63-66]. Aus der Literatur ist kein vorherrschender Anteil an Beckenfrakturen im Polytrauma ableitbar. Während in einer Studie nur annähernd die Hälfte aller

Polytrauma-Fälle (ISS >16) eine Beckenfraktur erlitt[67], konnten andere Autoren in bis zu 75% der Polytraumata eine Beckenfraktur nachweisen[60]. Verkehrsunfälle stellen insgesamt eine häufige Ätiologie für die traumatische Entstehung von Beckenfrakturen dar[27, 51, 68, 69].

Das ISG und Os pubis sind die am Häufigsten betroffenen Strukturen (76% und 74% der Fälle) und deren Kombination stellt das häufigste Beckenfrakturmuster dar (21% aller Beckenfrakturen). Oftmals sind das Os sacrum und Os pubis durch eine laterale Kompressionsfraktur betroffen. Dies ereignet sich häufig dann, wenn die Betroffenen auf eine Körperseite stürzen[70], wie es typischerweise bei einem Sturz zu Boden nach Fahrzeugkollision passieren kann. Das Os sacrum ist in unserem Kollektiv deutlich seltener betroffen als das Os pubis (in 19% der Fälle). Dies erklärt sich damit, dass Frakturen des vorderen Beckenrings häufig bei Fußgänger-Fahrzeug-Kollisionen[71] auftreten. Allerdings ist die Integrität des vorderen und hinteren Beckenrings eng miteinander verbunden, sodass bei Instabilität des vorderen Beckenrings eine Mitbeteiligung des hinteren Beckenrings zu erwarten ist[70]. Während eine Untersuchung zu Beckenfrakturen ebenfalls fand, dass das Os pubis die am Häufigsten betroffene Struktur ist, war das ISG in der gleichen Studie mit nur 26 % wesentlich seltener betroffen[69]. Die Beteiligung des ISG äußert sich meistens durch Verletzungen des Bandapparats, wobei die Stabilität entweder noch teilweise besteht oder komplett unterbrochen ist[72]. Da für die Ruptur eines Bands eine hohe Krafteinwirkung notwendig ist, könnte die häufige Beteiligung des ISG in unserem Kollektiv damit erklärbar sein, dass bei einer Fahrzeugkollision eine höhere Kraft einwirkt, als bei einem traumatischen Sturz, wie beispielsweise im Haushalt. Dies könnte wieder dem häufigsten Frakturtyp geschuldet sein, da es bei „Open-Book“ Frakturen, wobei es sich um dem AIS-Beckencode der Schwere 4 handelt, besonders häufig zur Mitverletzung des ISG kommt[70]. Darüber hinaus nimmt auch die Elastizität des Bandapparats im Alter ab[73], sodass eine Verletzung dieser Strukturen im Alter zu erwarten ist.

Blutungen sind häufig nicht explizit dokumentiert (in weniger als einem Drittel der Fälle), obgleich Blutungen sehr wahrscheinlich mit den auftretenden Frakturmustern einhergehen[72]. So gibt es keinen wesentlichen Unterschied in der Häufigkeit der Einblutung bei der instabilen Beckenfraktur (entsprechend PFAIS 4), mit 52% der Fälle, im Vergleich zu Frakturen des AIS-Schweregrads 2, bei denen auch in der Hälfte der Fälle Einblutungen dokumentiert waren. Da in der Gruppe von Frakturen des AIS-Schweregrads 2 in der

Regel keine Gefäßverletzung beschrieben wird, könnten die Einblutungen, welche in dieser Gruppe auftreten, als Traumafolge von Mikrogefäßen im Gewebe betrachtet werden.

Unsere Ergebnisse zur Blutungshäufigkeit stehen im Widerspruch zur Literatur und gängigen Lehrmeinung. Anatomisch betrachtet ist eine Blutung bei einer Beckenfraktur durch Verletzung des sakralen Venenplexus, Äste der hypogastrischen Arterie und einer größeren Frakturfläche, sowie Verletzung von umliegenden Weichteilgewebe wahrscheinlich[66, 74, 75]. Entgegen der Lehrmeinung, der massive Blutverlust bei der Beckenfraktur ereigne sich durch den Bruch des Knochens selbst (Blutaustritt aus spongioser Oberfläche vom hämatogenen Knochenmark)[70], fand eine Untersuchung zur Assoziation zwischen fallendem Hämatokrit und der Länge des Frakturspalts, dass diese schlecht korreliert sind und somit Verletzungen des umliegenden Weichteilgewebes und Gefäßverletzungen bedeutsamere Blutungsquellen zu sein schienen[76]. Dabei seien auch Knochensplinter nicht für Gefäßverletzungen ursächlich, sondern andere Begleitverletzungen[70, 77]. Darüber hinaus sei pathophysiologisch die fehlende Möglichkeit zur Selbstkompression im Beckenraum entscheidend, weil diese schon innerhalb weniger Stunden zum Tod führen kann [70]. Dabei sei ein Blutverlust von 500-4000ml bei einer Beckenfraktur möglich und für den daraus resultierenden hypovolämischen Schock[78], sowie die hohe Mortalität verantwortlich[70, 79]. Die Blutung wird noch immer als Haupttodesursache bei Beckenfrakturen angesehen [32]. Fußgänger mit Beckenfrakturen in unserem Kollektiv starben nicht primär an der Blutungskomplikation, sondern am häufigsten an einem „Polytrauma“. Dem Bild des „Polytraumas“ könnte jedoch nach wie vor eine Blutung als Todessursache zu Grunde liegen, ohne explizit als solche erkannt oder dokumentiert zu werden.

Diese Vermutung bestärkt sich dadurch, dass in den Fällen, in denen das knöcherne Becken die Körperregion der MAIS<sub>Ges</sub> darstellt, die Todesursache zu gleichen Anteilen aus Polytrauma und hypovolämischem Schock besteht. Darüber hinaus ist der hypovolämische Schock, wenn auch nur geringfügig, häufiger in der WPF Gruppe als in der NPF Gruppe (15% vs. 10%). Es ist erstaunlich, dass in unserem Fall nicht öfter eine Blutung beschrieben wird, da rupturierte und teil-rupturierte Bandapparate einbluten können[78] und das ISG in der deutlichen Mehrheit unserer Fälle geschädigt war. Gegebenenfalls ist dies zum Teil damit erklärbar, dass laterale Kompressionsfrakturen, die in unserem Kollektiv häufig auftreten, eine geringere Wahrscheinlichkeit haben zu bluten[70, 77]. Allerdings ist unser häufigster AIS-Beckenfraktur Code ein PFAIS 4 welche gemäß der

Literatur häufiger mit arteriellen Blutungen einhergeht [43]. Die arterielle Blutung, welche mit einer Beckenfraktur assoziiert ist, betrifft meist ältere verletzte Menschen[37, 80]. Dies ist wiederum charakteristisch für unser Kollektiv.

Die in der Literatur beschriebene Häufigkeit von pelvinen Massenblutungen[81] lässt sich in unseren Daten nicht finden. In der Literatur sind diese vor allem bei Fußgänger-Fahrzeug-Kollisionen[29] beschrieben: Zeichen der Blutung sind häufig, ein klinischer Ausdruck eines Blutverlusts, etwa durch einen relevanten Blutdruckabfall, können bei einer instabilen Beckenfrakturen auch ausbleiben[70]. Somit müssen anatomisch nahe gelegene Strukturen immer sorgfältig mituntersucht werden[72, 74]. Des Weiteren sollte die mögliche Blutung besondere Beachtung erhalten, da Beckenfrakturen mittel- oder langfristig Infektionen bis hin zur Sepsis [82], sowie Blutungsstörungen [45] hervorrufen können. Da die Mehrzahl der Fußgänger in der WPF Gruppe am Unfallort oder innerhalb einer Stunde verstarb, ist die nicht nachweisbare Blutung möglicherweise damit zu erklären, dass der schnelle Kreislaufzusammenbruch in diesen Fällen eine Massenblutung pathophysiologisch ausschließt.

Zusätzlich ist hervorzuheben, dass ein hämorrhagischer Schock in einer Studie zu vermeidbaren traumatischen Todesfällen in 73% der Fälle als definitiv vermeidbar bewertet wurde und eine Kontrolle einer Blutung somit lebensrettend sein kann[83]. Die Versorgung einer Beckenfraktur mittels Beckenschlinge oder Pelvic Packing muss nach wie vor zur Vermeidung der massiven Blutung dringlich erfolgen[23, 84-88].

Welche Maßnahmen nach einem Unfall ergriffen wurden und was der vorangegangene körperliche Befund (inklusive potenzieller Blutung) war, ist nicht immer bei der Obduktion nachvollziehbar und es finden sich für unser Kollektiv keine Notarztprotokolle oder Krankenhausberichte in den staatsanwaltschaftlichen Akten. Darüber hinaus ist ein äußerlicher Blutverlust (offene Frakturen) nachträglich meist nicht quantifizierbar. Wenn eine Blutung bei der Obduktion nicht als diskriminierendes Merkmal betrachtet wird, wird es eventuell nicht beschrieben. Schwierig ist es außerdem, die genaue Quelle der Einblutung zu orten, besonders wenn es sich um eine polytraumatisierte Leiche handelt. All diese Faktoren könnten zu der geringen Rate an dokumentierten Blutungen beigetragen haben.

Beckenfrakturen tragen nur in 16% der Fälle zur Körperregion der MAIS<sub>Ges</sub> bei. Am häufigsten betroffen sind in der WPF Gruppe Thorax (79%), Kopf (63%) und Abdomen (47%),

dabei ist der Anteil an Thorax- und abdominalen Verletzungen höher als in der NPF Gruppe. Zusätzlich ereignen sich in 10% der Fälle ein „Explosion-Type“. Dieses Muster spiegelt sich auch in der Literatur wider. Sie beschreibt, dass es vor allem die Kombination aus Gehirn- und Beckenverletzungen ist, welche die Komplikationen und die höhere Mortalität bei Verkehrsunfällen bestimmt[67, 89], wobei Trauma-Patienten mit Beckenfrakturen oftmals schwerere Verletzungen des Kopfes und Abdomen haben[27]. Dies könnte damit begründet werden, dass die hohe Krafteinwirkung, die zur Beckenfraktur führt, auf den gesamten Körper mit hoher Kraft einwirkt, sodass es zu schwerwiegenden Verletzungen weiterer Körperregionen kommt. Dies zeigt sich, wie schon erwähnt, auch in den höheren ISS Werten für die Fälle mit Beckenfraktur in unserem Kollektiv.

Der Unfallhergang für tödliche Unfälle ist gegebenenfalls auch anders, als der, welcher zu überlebenden Verletzungen führt. Hierbei ist auch der Unfallgegner zu betrachten. Verschiedene Fahrzeugtypen haben nicht nur einen Einfluss auf die Verletzungsschwere sondern erhöhen auch die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten gewisser Verletzungen, beispielsweise im Vergleich von Kleintransportern zu PKW[21]. Während manche Autoren beschreiben, dass Geländewagen/SUV nicht automatisch durch ihre Größe gefährlicher sind als ein PKW[90], fanden andere wiederum, dass die Wahrscheinlichkeit zu versterben bei einer Kollision zwischen einem Van und einem Fußgänger dreimal höher und zwischen einem SUV und einem Fußgänger doppelt so hoch war wie bei einer PKW-Fußgänger-Kollision[91] und größere Fahrzeuge meist sowohl schwerere Verletzungen[91-94] als auch eine höhere Mortalität[95] bedingen. Der Aufladevorgang ändert sich bei Fahrzeug-Fußgänger-Kollision durch die Fahrzeugform. Li et al. beschreiben die Fahrzeugfront als signifikant für das Auftreten von Beckenfrakturen[96]. Die Zunahme an schwerwiegenden Verletzungen bei LKW- oder Klein-LKW-Kollisionen im Vergleich zur PKW-Kollision wurde auch von anderen Autoren beschrieben[1, 20, 93, 97]. In unserem Kollektiv treten beide Unfallgegner auf. In der WPF Gruppe ereignen sich häufiger Unfälle mit LKW als Unfallgegner als in der NPF Gruppe. PKWs stellen jedoch die häufigsten Unfallgegner dar. Hierbei ist der Aufladevorgang mit nachfolgendem Kontakt mit der Motorhaube als typischer Unfallhergang häufig ursächlich für Thorax-Verletzungen[13]. Dies zeigt sich auch in unserem Kollektiv, in dem mehr Fälle der WPF- als NPF Gruppe relevante Thoraxverletzungen erleiden und der Kontakt mit der Motorhaube häufiger ist. Grundsätzlich treten auch tödliche Kollisionen zwischen Fußgängern und Radfahrern auf[98], in unserem Kollektiv ist diese Konstellation jedoch nicht abgebildet.

Ein weiterer Erklärungsansatz für die höhere Verletzungsschwere in der WPF Gruppe ist, dass das Risiko für Thorax-Verletzungen mit höheren Kollisionsgeschwindigkeiten[99] steigt. In der WPF Gruppe zeigt sich ein höherer Anteil an Kollisionen bei einer  $V_{\max}$  von  $>60\text{km/h}$ .

Gemäß der Literatur haben Fälle mit Beckenfrakturen meist sowohl höhere AIS-Werte für das Abdomen als auch für den Kopf[27]. Zudem steigt die Anzahl an Kopf- und Thorax-Verletzungen proportional zur Zunahme der Verletzungsschwere[12]. Somit wäre eine höhere Zahl an Todesfällen mit Kopfverletzungen in der WPF Gruppe zu erwarten, was wir jedoch nicht beobachten konnten.

Dies könnte der höheren Anzahl an Fällen mit Überrolltrauma in unserem Kollektiv zuzuschreiben sein, da der Median des MAIS Kopf für diese Fälle mit 2 eher niedrig ist.

In unserem Kollektiv gibt es einen statistisch signifikanten Unterschied ( $p=0,002$ ) zwischen den beiden Gruppen bezüglich des Todeszeitpunkts. Auffällig dabei ist, dass die Verletzungsschwere nach MAIS eine untergeordnete Rolle spielt, da selbst bei gleicher Verletzungsschwere ( $\text{MAIS}_{\text{Ges}} 5$ ) die Fußgänger der WPF Gruppe früher (alle innerhalb von 24h) als die der NPF Gruppe (40% nach 24h) verstarben. Hierbei ist naheliegend, dass die insgesamt höhere Verletzungsschwere im Sinne eines höheren ISS ursächlich sein könnte.

Es ist kongruent zur Literatur, dass der Großteil unseres Kollektivs (und sogar alle Fußgänger in der WPF Gruppe) innerhalb von 24 Stunden verstarb. Eine Studie zu vermeidbaren Todesfällen von Trauma-Patienten beispielsweise zeigte, dass 59% der Patienten nach dem Unfallereignis und vor dem Erreichen des Krankenhauses starben, obgleich es zwischen der Dauer der Rettungszeit und Letalität der schwerstverletzten Trauma-Patienten in Deutschland keinen linearen Zusammenhang gibt[83]. Insgesamt ist dies im Einklang damit, dass die Mehrheit aller Traumatoten am Unfallort versterben[100-103]. Kürzere Rettungszeiten im deutschen Rettungssystem hätten bezüglich des Überlebens der Schwerverletzten keinen relevanten Vorteil erbracht[28], sodass das Ausmaß der Verletzungsschwere und weniger die Zeit bis zur Krankenhausbehandlung entscheidend zu sein scheint. In der Diskussion von „scoop and run“[104] versus „stay and play“[105] ist eine primäre Versorgung der Verletzungen zu priorisieren.

Eine späte Mortalität kann bei instabilen Beckenfrakturen durch eine sich entwickelnde Sepsis im Zuge von Entzündung des peripelvinen Weichteilgewebes bedingt sein[82],

und könnte erklären, warum 8% unserer Fälle mit Beckenfrakturen nach 24h aber innerhalb von 30d verstarben. Die detaillierte retrospektive Analyse von Trauma-Patienten mit und ohne Beckenfrakturen bezüglich initialem Trauma-Management empfiehlt sich als Gegenstand zukünftiger Forschung. Damit ließen sich gegebenenfalls Faktoren identifizieren, die erklären, wieso bei gleicher Verletzungsschwere die Fußgänger mit Beckenfraktur früher sterben. Um das Ausmaß von Komplikationen, die zu einer späteren Mortalität bei Fußgängern mit Beckenfrakturen geführt haben, zu erfassen und zu analysieren, sind weitere retrospektive und prospektive Untersuchungen, v.a. der Krankenhausakten notwendig.

In einer Studie fanden sich bei schwerverletzten Fußgängern (AIS  $\geq 3$ ) am Häufigsten Verletzungen der Beine, dieses häufiger als schwerwiegende Kopf- und Thorax-Verletzungen[16, 106]. Dies steht im Kontrast zu unseren Ergebnissen, bei denen in nur 44% der Fälle mit Beckenfrakturen zusätzliche Frakturen der unteren Extremitäten mit AIS  $\geq 3$  vorhanden sind. Der wahrscheinlichste Grund hierfür ist, dass diese Studie sowohl Überlebende als auch verstorbene Fußgänger einschließt und somit die Rate an Verletzungen, die nicht lebensgefährlich sind, höher ist. Beispielsweise sollten Verletzungen der Schwere AIS 2, wie es etwa viele Unterschenkelfrakturen sind, laut Studien definitiv überlebar sein[83] und auch im AIS-Coding-Manual wird die Überlebenswahrscheinlichkeit einer AIS 2 Verletzung mit 99,3% wiedergegeben[38]. Es ist anzumerken, dass andere Studien wiederum die höhere Häufigkeit an Kopf- und Thoraxverletzungen bestätigt haben[20, 107].

In unserer Studie nimmt der Anteil an begleitenden Frakturen der unteren Extremitäten nicht mit dem Becken-AIS-Schweregrad zu. Am häufigsten treten begleitende Frakturen nämlich bei Beckenfrakturen des AIS-Schweregrads 4 auf (15 Fälle). Die Fälle dieser Schwere sind häufiger schon vor Ort verstorben, was in der Literatur auch mit einer höheren Rate an begleitenden Frakturen der unteren Extremität einhergeht[61]. Allerdings kann aufgrund der sehr kleinen Fallzahl an Beckenfrakturen des AIS-Schweregrads 5 (fünf Fälle, davon zwei mit begleitenden Frakturen der unteren Extremitäten) nicht ausgeschlossen werden, dass bei einer größeren Fallzahl auch die Häufigkeit an begleitenden Frakturen der unteren Extremitäten zunimmt.

Schwerwiegende Verletzungen ereignen sich auch in Abwesenheit von Beckenfrakturen. Meist sind es andere Körperregionen, die in Fußgängerunfällen am schwersten verletzt

sind, wie beispielsweise der Kopf [71, 108] und/oder der Thorax [5, 16, 109]. Dies ist auch in unserem Kollektiv so, bei dem innerhalb der NPF Gruppe 84% der Fälle Kopf- und 61% Thorax-Verletzungen (mit AIS  $\geq 3$ ) haben. Mit einem medianen ISS von 35 sind die Fußgänger der NPF Gruppe schwer verletzt, obgleich es auch zu einem geringen Anteil Fälle gibt, die einen ISS von  $< 16$  haben und somit nicht einer Definition eines Polytraumas (nämlich ISS  $\geq 16$ [110]) entsprechen. Darüber hinaus ist der Anteil von Fällen mit dem maximalen ISS von 75 in der NPF Gruppe fast so hoch wie in der WPF Gruppe (27% vs. 34%). Allgemein spielen Kopfverletzungen, und damit intrakranielle Verletzungen und Schädel-Hirn-Traumata, eine sehr große Rolle bei traumatisch bedingten Unfällen[83], besonders bei Fußgängern. Schwerwiegende Kopfverletzungen haben einen besonders hohen Einfluss auf ein tödliches Outcome und sind oft auch die führende Todesursache in Fußgängerverletzungen[71]. Die Wahrscheinlichkeit überhaupt eine Kopfverletzung zu erleiden, kann dabei von der gegnerischen Kollisionsgeschwindigkeit abhängig sein, wobei sich diese am ehesten bei 30km/h ereignen [111]. Der Aufprallort spielt ebenfalls eine wesentliche Rolle für das Verletzungsmuster. Verletzung des Kopfes und Thorax resultieren beim Aufladevorgang durch den Aufprall auf der Motorhaube[16]. Der Mechanismus des Anstoßes mit Aufladung ereignete sich in der NPF Gruppe oft, wodurch sich die Häufigkeit dieser Verletzungen erklärt.

Li et al. beschreiben die Motorhaubenhöhe als einen statistisch signifikanten Faktor für das Auftreten von Beckenverletzungen[96]. Somit sollte bei der Entwicklung von Schutzmaßnahmen auf die strukturellen Elemente des Fahrzeugs, insbesondere der Windschutzscheibe und Motorhaube, geachtet werden, um Kopfverletzungen mit besonderem Fokus auf Hirnverletzungen zu vermeiden[16, 96].

Es ereignen sich in unserem Kollektiv im Bereich von 0-10km/h genauso viele Unfälle wie im Bereich von 51-60km/h. Hohe Kollisionsgeschwindigkeiten  $> 60$ km/h sind in der WPF Gruppe insgesamt häufiger (37%) als in der NPF Gruppe (27%).

Bezüglich des Einflusses der Geschwindigkeit auf ein tödliches Outcome kann unsere Studie keine Aussage liefern, da alle Fußgänger in unserem Kollektiv ihren Verletzungen erlagen. Wir konnten jedoch zeigen, dass sich tödliche Unfälle bei allen Kollisionsgeschwindigkeiten ereignen können, und Unfälle im Niedriggeschwindigkeitsbereich von 0-10km/h in unserem Kollektiv genauso häufig sind wie die im Bereich von 51-60km/h und die Häufigkeit für alle Kollisionsgeschwindigkeiten annähernd gleich ist. Dies ist

erstaunlich, da sich die meisten Fußgängerkollisionen in der Literatur erst bei höheren Geschwindigkeiten ereignen [1] und die Anzahl an Toten Fußgängern mit der Kollisionsgeschwindigkeit zunimmt [48, 52, 53, 68, 71, 109, 112]. Es wäre also ein deutlich höherer Anteil an Toten mit höheren Kollisionsgeschwindigkeiten zu erwarten. Fälle mit einem ISS 75 in unserem Kollektiv sind auch mit einer Geschwindigkeit von  $\leq 60$  km/h getroffen worden. Somit korrelieren Verletzungsschwere und Kollisionsgeschwindigkeit nicht zwangsläufig, obgleich die Mehrzahl der Fälle mit höherer Verletzungsschwere sich bei höheren Kollisionsgeschwindigkeit ereignen. Dies kann auf den Unfallmechanismus zurückzuführen sein, da beispielsweise eine Überrollung auch bei niedriger Geschwindigkeit durch die einwirkende Kraft und Quetschung des Verunfallten zwischen Autoreifen und Fahrbahn zu schwerwiegenden Verletzungen führen kann. Beckenfrakturen sind bei höheren Geschwindigkeiten häufiger, in der WPF Gruppe ereignen sich 10% mehr Fälle im Bereich von  $>60$  km/h. Eine Studie von Rosen et al. fand, dass mit einem Median von 57 km/h die Kollisionsgeschwindigkeit getöteter Fußgänger im Vergleich zu der eines Gesamtkollektivs verunglückter Fußgänger mehr als doppelt so hoch war, wobei die Getöteten deutlich älter waren [113]. Bezüglich der Unfälle im Niedriggeschwindigkeitsbereich könnte der Unfallmechanismus bedeutsamer als die Geschwindigkeit sein. In Literatur findet sich, dass Unfälle im Bereich von 35 km/h in der Regel überlebbar sind, obgleich in diesem Geschwindigkeitsbereich schon von Schädelhirnverletzungen ausgegangen werden muss [53]. Eine Abhängigkeit von Vorhandensein von Beckenfrakturen und Kollisionsgeschwindigkeit lässt sich in unserer Studie nicht reproduzieren, obgleich eine Studie zeigte, dass sich Beckenfrakturen meist erst ab einer Geschwindigkeit von  $>20$  km/h ereignen [53].

Die Kollisionsgeschwindigkeit bleibt relevant und muss bei der Entwicklung von Maßnahmen zur Reduzierung von Fußgängerunfällen, besonders in einem urbanen Umfeld, einen hohen Stellenwert erhalten.

Beckenverletzungen ereignen sich in unserem Fallkollektiv bei fast jedem der identifizierten Unfallmechanismen, wobei Anstöße am häufigsten sind. Das Auftreten von Beckenfrakturen ist bei diesem Unfallmechanismus nachvollziehbar, da es bei einem Motorhauben Kontakt zur Sprengung des Beckenrings kommen kann [53]. Überrollungen sind häufig in der Gruppe mit Beckenfrakturen und stellen einen biomechanisch relevanten Unfallmechanismus dar. Bei Kontakt des Rades eines Fahrzeugs mit dem Becken wird dieses von lateral komprimiert und es entsteht eine laterale Kompressionsfraktur, wodurch

die betroffene Beckenhälfte nach innen disloziert. Die Mehrzahl unserer Fälle entspricht bei Überrollung diesem Frakturtyp. Sowohl der vordere als auch der hintere Beckenring sind dann in ihrer Kontinuität unterbrochen (Os pubis, ISG, Os ilium betroffen). Bei der weiteren Rollung des Rades über das Becken kommt es zu einer anterior-posterioren Kompressionsfraktur, sowie einer Außenrotationsverletzung der kontralateralen Beckenhälfte[70]. Dabei fungiert der Reifen als Wiederlager und kann zu Ablederungen im Rumpf- und Gliedmaßen Bereich führen. In unserem Kollektiv sind die Überrollungen am zweithäufigsten durch LKW verursacht. Deren höhere Masse und die dadurch größeren Kräfte erklären in Zusammenhang mit den oben beschriebenen Vorgängen die Rate an Beckenfrakturen in dieser Gruppe (5 von 8). Beckenfrakturen sind demnach bei jeder Fahrzeug-Fußgänger-Kollision möglich und sollten immer berücksichtigt werden.

#### 4.3 Einzelfallbetrachtung

In unserem Kollektiv gibt es drei Fälle, bei denen das knöcherne Becken die Region des MAIS<sub>Ges</sub> stellt. Im Vergleich zu der übrigen WPF Gruppe zeigt sich, dass auch hier überwiegend Frakturen des AIS-Schweregrads  $\geq 4$  repräsentiert sind. Anders als in der gesamten Gruppe ist die Verletzungsschwere mit ISS-Werten von 17, 34 und 50 deutlich geringer. Dies ist am ehesten dadurch zu erklären, dass in den anderen Fällen oftmals noch schwerere Verletzungen vorliegen und die Beckenfraktur in der WPF Gruppe nur im Zusammenspiel mit anderen Verletzungen zu einer wesentlich höheren Gesamtschwere beiträgt. Die Todesursache ist in diesen Fällen zweimal der hypovolämische Schock und einmal das Polytrauma und entsprechen somit denen der WPF Gruppe. Eine Einblutung in die Weichteile des kleinen Beckens ist nur einmal beschrieben, was zur oben erläuterten geringen Anzahl an Blutungen in der WPF Gruppe passt. In zwei von drei Fällen tritt eine Fraktur der unteren Extremität begleitend auf. Die Unfallgegner sind LKW (1 Fall) und PKW (2 Fälle), wobei im Fall des LKW der Unfallmechanismus die Überrollung ist. Dies passt wiederum dazu, dass bei diesem Unfallmechanismus biomechanisch gesehen, Beckenfrakturen wahrscheinlich sind (s.o.). Insgesamt zeigen die Einzelfälle keine Repräsentativität für das WPF-Kollektiv, jedoch treten vereinzelt identifizierte Charakteristika dieser Gruppe auf. Dazu zählen die niedrige Kollisionsgeschwindigkeit von 4km/h in Fall 1 mit Überrollung, sowie die geschlechtsspezifische Altersverteilung (alle weiblich, >70 Jahre), und die frühen Todeszeitpunkte. Es lassen sich keine

generellen Aussagen oder Rückschlüsse auf andere Fälle mit Beckenfrakturen schließen. Jede dieser Fälle lässt die theoretische Auseinandersetzung mit der Frage der Vermeidbarkeit zu. Bei fehlenden Unterlagen zu medizinischen Interventionen lässt sich jedoch keine Aussage darüber treffen, ob beispielsweise in den beiden Fällen (Fall1 und Fall3) bei denen eine Einblutung in das kleine Becken vorliegt, eine Beckenkompression, beispielsweise mittels Pelvic Binder, diese hätte abmildern und den weiteren posttraumatischen Verlauf somit positiv beeinflussen können.

#### 4.4 Ausblick

Während manche Studien die tiefgreifendere Untersuchung von Hochgeschwindigkeitsunfällen empfehlen[113], ergibt sich aus dieser Arbeit die Schlussfolgerung das Augenmerk auf Unfälle im Niedriggeschwindigkeitsbereich zu lenken. Es existieren bereits diverse Studien, die den Überlebensvorteil einer Geschwindigkeitsreduktion zeigen[114], doch sollte weiter untersucht werden, warum Fußgänger auch bei niedriger Kollisionsgeschwindigkeit schwerwiegende und tödliche Verletzungen erleiden[115].

Passive Maßnahmen zur Schadenskontrolle sind oft nicht ausreichend, um tödliche Ausgänge bei Unfällen zu vermeiden, obgleich die Notfallmedizin und Trauma-Versorgung große Fortschritte in diesem Bereich verzeichnen konnten. Da die medizinische Versorgung nur das Outcome, jedoch nicht die Verletzungen selbst beeinflussen kann, muss deshalb im Sinne der Sekundärprävention beim Fahrzeugdesign der Fußgängerschutz weiter berücksichtigt werden, um eine Reduktion der Verletzungsschwere zu erreichen[97, 116]. Im Sinne der Primärprävention scheint die Verhaltens- und Verhältnisprävention nach wie vor die entscheidende Stellschraube zur Reduktion letaler Fußgängerunfälle zu sein.

Bezüglich des Verhaltens von Fußgängern ergibt sich auch die Notwendigkeit diese Verkehrsteilnehmer weiter zu untersuchen. In Zukunft wird vor allem Mobiltelefon-Nutzung eine Herausforderung für die Unfallforschung darstellen, da nicht nur Fahrzeugführer dadurch mehr Fußgängerunfälle verursachen[47], sondern auch die eingeschränkte Aufmerksamkeit von Fußgängern durch visuelle Fixierung auf Smartphone-Bildschirme das Verkehrsverhalten beeinflusst[117-119].

Fußgängersicherheit spielt außerdem in der Unfallforschung eine entscheidende Rolle, wenn man neuere Entwicklungen wie automatische Bremssysteme[120], andere Fahrerassistenzsysteme und auch autonome Fahrzeuge und deren Auswirkungen und Limitationen bedenkt.

Darüber hinaus hat auch der stetig steigende Anteil an Menschen im Alter über 65 Jahre[121] eine entscheidende Bedeutung, da - wie diese Arbeit auch zeigte - sie eine besonders gefährdete Gruppe der Fußgänger darstellen. Mit Blick auf steigende Gesundheitskosten sollten Unfälle dieser Personengruppe dringend vermieden werden.

Es ergeben sich mit Änderungen von Fußgängerverhalten, Fahrzeugen und der Bevölkerungs- und Infrastruktur somit stetig neue Impulse und Möglichkeiten zur Verbesserung der Verkehrssicherheit, die wissenschaftlich untersucht werden können.

Die Auswertung von Obduktionsberichten liefert einen zusätzlichen Informationsgewinn in der Unfallanalyse. In einer Studie zur Vermeidbarkeit von Tod durch Fehler in der Notfallmedizinischen Versorgung fanden Buschmann et al., dass sich die Anzahl definitiv und potenziell vermeidbarer Todesfälle zwischen obduzierten und nicht obduzierten Fällen signifikant unterscheidet. Sie empfahlen somit die routinemäßige ärztliche Obduktion bei Trauma-Fällen[83]. Eine andere Studie zu Patienten mit Polytrauma fand, dass 32% der klinisch festgestellten Todesursachen nicht mit der Todesursache durch Obduktion übereinstimmten[122]. Dies ist besonders deshalb relevant, da die Obduktionsrate in Deutschland mit 6% aller Verstorbenen[123] sehr niedrig ausfällt. Ihre konsequente Durchführung ist für eine hochqualitative und repräsentative Unfallforschung unabdingbar.

Aus den Ergebnissen dieser Arbeit ergibt sich, dass die Beckenfraktur eine bedeutsame Rolle bei tödlichen Fußgängerunfällen innehat, zumeist jedoch nicht die Wesentlichste. Weitere detaillierte Analysen von Beckenfrakturen und deren Komplikationen könnten durch den retrospektiven Vergleich von Protokollen von Notärzten, Notaufnahmen oder Krankenhausaufenthalten in Zusammenschau mit Obduktionsberichten Aufschlüsse über deren Rolle im tödlichen Outcome geben. Insbesondere das zeitliche Auftreten und die Eskalation von Blutungen wäre hierbei zu untersuchen, um daraus nach Möglichkeit die Effektivität solcher Maßnahmen analysieren zu können.

## 5 Zusammenfassung

Fußgänger nehmen als vulnerable Verkehrsteilnehmer einen besonderen Stellenwert in der Unfallforschung ein. Die Stabilisierung von Beckenfrakturen und die Identifizierung von Begleitverletzungen zur Vermeidung des hypovolämischen Schocks stellt eine Herausforderung im Trauma-Management dar. In dieser Arbeit werden Unterschiede zwischen Verkehrsunfällen mit tödlich verunglückten Fußgängern mit und ohne Beckenfraktur retrospektiv untersucht. Das zu untersuchende Fallkollektiv besteht aus tödlich verunglückten Fußgängern, die in den Jahren 2004-2006 am Institut für Rechtsmedizin der Universität München gerichtsmedizinisch obduziert wurden. Die Datenerhebung erfolgt anhand von Obduktionsberichten und staatsanwaltschaftlichen Akten. Verletzungen werden gemäß dem Abbreviated Injury Scale (AIS) kodiert und ausgewertet. Zudem erfolgt die Untersuchung spezifischer Unfallcharakteristika.

Diese Arbeit untersucht 113 Fälle, davon 62 mit („with pelvic fracture“ WPF) und 51 ohne („no pelvic fracture“ NPF) Beckenfrakturen. In unserem Kollektiv gibt es im Vergleich zur gängigen Literatur einen höheren Anteil an Beckenfrakturen. Bezüglich der Muster von Beckenfrakturen ist die Kombination aus einer Fraktur des Iliosakralgelenks und des Schambeins am häufigsten vertreten. Beckenfrakturen tragen wesentlich zur gesamten Verletzungsschwere des Fußgängers bei. Allerdings sind sie selten alleinige Todesursache. Das knöcherne Becken ist in unserem Kollektiv nur in drei Fällen die am schwersten verletzte Körperregion. Dabei ist der mediane Injury Severity Score (ISS) der WPF Gruppe höher als in der NPF Gruppe (53,5 vs. 35). Kopf und Thorax sind in beiden Gruppen die am häufigsten verletzten Körperregionen. Blutungen sind im Zusammenhang mit Beckenfrakturen nicht häufig dokumentiert und der darauffolgende hypovolämische Schock ist nur selten beschrieben. Die häufigste Todesursache beider Gruppen ist das „Polytrauma“.

Auf das gesamte Kollektiv betrachtet ereignen sich die meisten Fälle mit einem ISS von 75 bei einer maximalen Kollisionsgeschwindigkeit von über 60km/h. Fußgänger mit einem ISS von 75 verunglücken jedoch auch bei einer niedrigen Kollisionsgeschwindigkeit von <10km/h. Hier ist der Unfallmechanismus der Überrollung häufig und wird am zweithäufigsten durch einen LKW verursacht. Die Beckenfraktur tritt nicht nur bei einem bestimmten Unfallhergang auf, sondern kommt bei jeder Art von Fahrzeug-Fußgänger-Kollision vor. Dabei ereignen sich Frakturen des Schweregrades AIS 2 und 3 am häufigsten

bei dem Mechanismus des Anstoßes und Abwurfgeschehens und Frakturen der Schwere AIS 4 und 5 bei Überrollungen.

Im Vergleich zu anderen Studien aus Deutschland sind die tödlich verunglückten Fußgänger unseres Kollektivs schwerer verletzt. Dies ist überwiegend damit zu begründen, dass die meisten Studien auch überlebende Fußgänger miteinschließen. Darüber hinaus weisen Beckenfrakturen auf ein insgesamt schwerwiegenderes Unfallgeschehen mit höherer Verletzungsschwere hin. Trotzdem ist entgegen den Aussagen aus der gängigen Literatur ein signifikanter Blutverlust nur selten beschrieben. Nichtsdestotrotz sollte die korrekte Nutzung stabilisierender Versorgungssysteme bei instabilen Beckenfrakturen im Trauma-Management regelmäßige Anwendung finden. Die häufige Beteiligung des Iliosakralgelenks lässt sich patho-physiologisch damit erklären, dass die Krafteinwirkung bei Fahrzeugunfällen meist höher ist als bei anderen Unfallhergängen und die Bandruptur damit wahrscheinlicher wird. Insgesamt sind Beckenfrakturen als Ausdruck eines schwereren Verletzungsmusters zu werten und sind selten allein todesursächlich. Die hohe Anzahl von tödlichen Unfällen bei niedrigen Kollisionsgeschwindigkeiten lässt sich am ehesten durch die Unfallmechanismen bei diesen Geschwindigkeiten (z.B. Überrollung) erklären.

Sowohl die Vermeidung von Fußgängerunfällen als auch die Reduktion der Verletzungsschwere bei Unfällen sollten im Fokus der verkehrssicherheitstechnischen Maßnahmen stehen, da selbst kürzere Rettungszeiten zu keinem entscheidenden Überlebensvorteil führen. Während verbesserte Fahrzeugfronten die Verletzungen beim Aufladevorgang reduzieren könnten, können automatische Bremssysteme zur Kollisionsvermeidung beitragen. Darüber hinaus können Kampagnen zur Verkehrssicherheit das menschliche Verhalten im Straßenverkehr (bpsw. Mobiltelefon-Nutzung) positiv beeinflussen.

Obduktionen liefern einen zusätzlichen Informationsgewinn und sollten im Zuge der Unfallforschung dringend bei im Straßenverkehr tödlich verunglückten Personen durchgeführt werden.

## Literaturverzeichnis

1. Otte, D., M. Jansch, and C. Haasper, *Injury protection and accident causation parameters for vulnerable road users based on German In-Depth Accident Study GIDAS*. *Accid Anal Prev*, 2012. **44**(1): p. 149-53.
2. Mayou, R. and B. Bryant, *Consequences of road traffic accidents for different types of road user*. *Injury*, 2003. **34**(3): p. 197-202.
3. Martin, J.-L., A. Lardy, and B. Laumon, *Pedestrian Injury Patterns According to Car and Casualty Characteristics in France*. *Annals of Advances in Automotive Medicine / Annual Scientific Conference*, 2011. **55**: p. 137-146.
4. Bouaoun, L., M.M. Haddak, and E. Amoros, *Road crash fatality rates in France: a comparison of road user types, taking account of travel practices*. *Accid Anal Prev*, 2015. **75**: p. 217-25.
5. Unger, T., *Unfälle mit Fußgängern, Auswertungen der ADAC Unfallforschung*. 2013, ADAC Unfallforschung, ADAC Technikzentrum.
6. Statistisches Bundesamt Wiesbaden, *2016: Mehr Unfälle, aber weniger Verkehrstote als jemals zuvor*, Statistisches Bundesamt, Editor. 2017: Wiesbaden.
7. Statistisches Bundesamt Wiesbaden, *Unfallentwicklung auf deutschen Strassen 2017*, Stastisches Bundesamt, Editor. 2018, Statistisches Bundesamt: Wiesbaden. p. 17.
8. Vorndran, I., *Straßenverkehrsunfälle im Jahr 2004*, in *Wirtschaft und Statistik*. 2005. p. 612-621.
9. Vorndran, I., *Unfallgeschehen im Straßenverkehr 2006 Weniger Unfälle auf deutschen Straßen*, in *Wirtschaft und Statistik*. 2007.
10. World Health Organization, *Global status report on road safety 2015*. World Health Organization, Editor. 2015: Italy.
11. Auto Club Europa, *Daten und Fakten: Fußgänger-Unfälle, Eine Studie des ACE Auto Club Europa*
12. Strandroth, J., et al., *The correlation between pedestrian injury severity in real-life crashes and Euro NCAP pedestrian test results*. *Traffic Inj Prev*, 2011. **12**(6): p. 604-13.
13. Fredriksson, R., et al., *A real-life based evaluation method of deployable vulnerable road user protection systems*. *Traffic Inj Prev*, 2014. **15 Suppl 1**: p. S183-9.
14. Jakob, W. and B. Weigel, *Polytrauma*, in *Praxisbuch Unfallchirurgie*, B. Weigel and M.L. Nerlich, Editors. 2011, Springer Berlin Heidelberg. p. 885-908.
15. Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie. *S3 – Leitlinie Polytrauma/Schwerverletzten-Behandlung*. 2016 [02.07.2018]; Available from: [https://www.awmf.org/uploads/tx\\_szleitlinien/012-019l\\_S3\\_Polytrauma\\_Schwerverletzten-Behandlung\\_2017-08.pdf](https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/012-019l_S3_Polytrauma_Schwerverletzten-Behandlung_2017-08.pdf).
16. Fredriksson, R., E. Rosen, and A. Kullgren, *Priorities of pedestrian protection--a real-life study of severe injuries and car sources*. *Accid Anal Prev*, 2010. **42**(6): p. 1672-81.
17. Association for the Advancement of Automotive Medicine. *About AIS*. [02.07.2018]; Available from: <https://www.aaam.org/abbreviated-injury-scale-ais/>.
18. Madea, B., *Rechtsmedizin*, ed. B. Madea. Vol. 3. Auflage. 2015, Berling-Heidelberg: Springer Verlag.
19. Mo, F., et al., *Injury tolerance of tibia for the car-pedestrian impact*. *Accid Anal Prev*, 2012. **46**: p. 18-25.
20. Longhitano, D., et al., *Influence of Vehicle Body Type on Pedestrian Injury Distribution*. SAE Technical Paper 2005(2005-01-187).
21. Longhitano, D., et al., *Torso Injury Trends for Pedestrians Struck by Cars and LTVs*. 19th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV) Washington D.C., 2005.
22. Heetveld, M.J., et al., *Hemodynamically unstable pelvic fractures: recent care and new guidelines*. *World J Surg*, 2004. **28**(9): p. 904-9.
23. Mauffrey, C., et al., *Strategies for the management of haemorrhage following pelvic fractures and associated trauma-induced coagulopathy*. *Bone Joint J*, 2014. **96-b**(9): p. 1143-54.

24. Biffl, W.L., et al., *Evolution of a multidisciplinary clinical pathway for the management of unstable patients with pelvic fractures*. Ann Surg, 2001. **233**(6): p. 843-50.
25. Krämer, J. and J. Grifka, *Hüftregion*, in *Orthopädie Unfallchirurgie*. 2007, Springer Verlag: Berlin-Heidelberg. p. 245-272.
26. Weigel, B. and M.L. Nerlich, *Praxisbuch Unfallchirurgie*. Vol. 2. Auflage. 2011, Berlin-Heidelberg: Springer Verlag.
27. Cordts Filho Rde, M., et al., *Pelvic fractures as a marker of injury severity in trauma patients*. Rev Col Bras Cir, 2011. **38**(5): p. 310-6.
28. Kleber, C., et al., *Rettungszeit und Überleben von Schwerverletzten in Deutschland*. Der Unfallchirurg, 2013. **116**(4): p. 345-350.
29. Reith, G., et al., *Injury pattern, outcome and characteristics of severely injured pedestrian*. Scand J Trauma Resusc Emerg Med, 2015. **23**: p. 56.
30. Cothren, C.C., et al., *Preperitoneal pelvic packing for hemodynamically unstable pelvic fractures: a paradigm shift*. J Trauma, 2007. **62**(4): p. 834-9; discussion 839-42.
31. Mohanty, K., et al., *Emergent management of pelvic ring injuries: an update*. Can J Surg, 2005. **48**(1): p. 49-56.
32. Pohlemann, T., et al., *[Severe pelvic injury with pelvic mass hemorrhage: determining severity of hemorrhage and clinical experience with emergency stabilization]*. Unfallchirurg, 1996. **99**(10): p. 734-43.
33. Krieg, J.C., et al., *Emergent stabilization of pelvic ring injuries by controlled circumferential compression: a clinical trial*. J Trauma, 2005. **59**(3): p. 659-64.
34. Eastridge, B.J., et al., *The importance of fracture pattern in guiding therapeutic decision-making in patients with hemorrhagic shock and pelvic ring disruptions*. J Trauma, 2002. **53**(3): p. 446-50; discussion 450-1.
35. Wild, J.J., Jr., G.W. Hanson, and H.S. Tullos, *Unstable fractures of the pelvis treated by external fixation*. J Bone Joint Surg Am, 1982. **64**(7): p. 1010-20.
36. Hsu, S.D., et al., *Effect of Early Pelvic Binder Use in the Emergency Management of Suspected Pelvic Trauma: A Retrospective Cohort Study*. Int J Environ Res Public Health, 2017. **14**(10).
37. Toth, L., et al., *Factors associated with pelvic fracture-related arterial bleeding during trauma resuscitation: a prospective clinical study*. J Orthop Trauma, 2014. **28**(9): p. 489-95.
38. Association for the Advancement of Automotive Medicine, *The Abbreviated Injury Scale (AIS) 2008*, T.A. Gennarelli and E. Wodzin, Editors. 2008: Barrington Illinois.
39. Association for the Advancement of Automotive Medicine. *AIS Clarifications 2012*. 2012 [21.10.2016]; Available from: <http://www.aaam1.org/ais/AISClarified2012.pdf>.
40. Baker, S.P., et al., *The injury severity score: a method for describing patients with multiple injuries and evaluating emergency care*. J Trauma, 1974. **14**(3): p. 187-96.
41. Kirkman, T.W. *Fisher Exact Test: Exact rxc Contingency Table: How many rows? columns?* Statistics to Use 1996 [21.10.2016]; Available from: [http://www.physics.csbsju.edu/stats/exact\\_NROW\\_NCOLUMN\\_form.html](http://www.physics.csbsju.edu/stats/exact_NROW_NCOLUMN_form.html).
42. Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung LfStaD, *Sonderauswertung zur Straßenverkehrsunfallstatistik*. 2013, Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung: München.
43. Demetriades, D., et al., *Pelvic fractures in pediatric and adult trauma patients: are they different injuries?* J Trauma, 2003. **54**(6): p. 1146-51; discussion 1151.
44. Siram, S.M., et al., *Does the pattern of injury in elderly pedestrian trauma mirror that of the younger pedestrian?* J Surg Res, 2011. **167**(1): p. 14-8.
45. Starr, A.J., et al., *Pelvic ring disruptions: prediction of associated injuries, transfusion requirement, pelvic arteriography, complications, and mortality*. J Orthop Trauma, 2002. **16**(8): p. 553-61.
46. Fontaine, H. and Y. Gourlet, *Fatal pedestrian accidents in France: a typological analysis*. Accid Anal Prev, 1997. **29**(3): p. 303-12.

47. Nasar, J.L. and D. Troyer, *Pedestrian injuries due to mobile phone use in public places*. *Accid Anal Prev*, 2013. **57**: p. 91-5.
48. Senserrick, T., et al., *Detailed Analysis of Pedestrian Casualty Collisions in Victoria, Australia*. *Traffic Injury Prevention*, 2014. **15**: p. S197-S205.
49. Byard, R.W., et al., *Pathologic Features of Childhood Pedestrian Fatalities*. *The American Journal of Forensic Medicine and Pathology*, 2000. **21**(2): p. 101-106.
50. Obeng, K.R., M., *Pedestrian Injury Severity in Automobile Crashes* *Open Journal of Safety Science and Technology*, 2013.
51. Parreira, J.G., et al., *Comparative analysis of the frequency and the severity of diagnosed lesions between pedestrians struck by motor vehicles and other blunt trauma mechanisms victims*. *Rev Col Bras Cir*, 2015. **42**(4): p. 253-8.
52. Statistisches Bundesamt Wiesbaden, *Unfälle von Senioren im Straßenverkehr 2014*, in *Verkehrsunfälle*, W. Statistisches Bundesamt, Editor. 2014: Wiesbaden.
53. Ropohl, D., *Die rechtsmedizinische Rekonstruktion von Verkehrsunfällen: mit 27 Tabellen*. 1980, Stuttgart: DAT.
54. Zito, G.A., et al., *Street crossing behavior in younger and older pedestrians: an eye- and head-tracking study*. *BMC Geriatrics*, 2015. **15**(1): p. 1-10.
55. Schick, S., et al., *In-Depth Human Function Failure Analysis of Fatal Pedestrian Accidents in International Symposium on ESAR "Expert Symposium on Accident Research", 3rd*. 2009, Institute for Legal Medicine, Ludwig-Maximilians-Universität (LMU) Munich: Hanover, Germany.
56. Fuchs, T., et al., *[Pelvic ring fractures in the elderly. Underestimated osteoporotic fracture]*. *Unfallchirurg*, 2011. **114**(8): p. 663-70.
57. Rollmann, M.F., et al., *Pelvic ring fractures in the elderly now and then - a pelvic registry study*. *Arch Gerontol Geriatr*, 2017. **71**: p. 83-88.
58. Kuhn, J.Z., *S. 02.03 Bevölkerung nach Alter und Geschlecht, Bayern 2006*. Themenfeld 02: Bevölkerung und bevölkerungsspezifische Rahmenbedingungen des Gesundheitssystems 2006 24.09.2014 [cited 2016 15.11.2016]; Available from: <https://www.lgl.bayern.de/gesundheitsberichterstattung/gesundheitsindikatoren/themenfeld02/indikator0203.htm>.
59. Follmer, R., et al., *Mobilität in Deutschland 2008 2010*, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Straßenentwicklung; infas Institut für angewandte Sozialwissenschaften GmbH; Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Institut für Verkehrsforschung: Bonn und Berlin.
60. Dente, C.J., et al., *The outcome of open pelvic fractures in the modern era*. *The American Journal of Surgery*, 2005. **190**(6): p. 831-837.
61. Calosevic, S. and Z. Lovric, *Prognostic significance of specific injury patterns in casualties of traffic-related accidents*. *Injury*, 2015. **46**, **Supplement 6**: p. S27-S30.
62. Mandal, B.K. and B.N. Yadav, *Pattern and distribution of pedestrian injuries in fatal road traffic accidental cases in Dharan, Nepal*. *J Nat Sci Biol Med*, 2014. **5**(2): p. 320-3.
63. Siegmeth, A., et al., *Begleitverletzungen bei Beckentrauma*. *Unfallchirurg*, 2000. **103**(7): p. 572-81.
64. Fitzgerald, C.A., B.C. Morse, and C.J. Dente, *Pelvic ring fractures: has mortality improved following the implementation of damage control resuscitation?* *The American Journal of Surgery*, 2014. **208**(6): p. 1083-1090.
65. Orsborn, R., et al., *Pediatric pedestrian versus motor vehicle patterns of injury: debunking the myth*. *Air Med J*, 1999. **18**(3): p. 107-10.
66. Tiemann, A.H., J. Bohme, and C. Josten, *Anwendung der Beckenzwinge beim polytraumatisierten Patienten mit instabilem Becken*. *Orthopäde*, 2006. **35**(12): p. 1225-36.
67. Cheynel, N., et al., *Abdominal and pelvic injuries caused by road traffic accidents: characteristics and outcomes in a French cohort of 2,009 casualties*. *World J Surg*, 2011. **35**(7): p. 1621-5.
68. Ruatti, S., et al., *Which pelvic ring fractures are potentially lethal?* *Injury*, 2015. **46**(6): p. 1059-63.

69. Blackmore, C.C., et al., *Predicting major hemorrhage in patients with pelvic fracture*. J Trauma, 2006. **61**(2): p. 346-52.
70. Grob, K., *Verletzungen des Beckens*, in *Orthopädie und Unfallchirurgie*, J. Grifka and M. Kuster, Editors. 2011, Springer Berlin Heidelberg. p. 687-709.
71. Schmucker, U., et al., *Real-world car-to-pedestrian-crash data from an urban centre*. J Trauma Manag Outcomes, 2010. **4**(1): p. 2.
72. Pohlemann, T., B. Weigel, and M. Maghsudi, *Becken*, in *Praxisbuch Unfallchirurgie*, B. Weigel and M.L. Nerlich, Editors. 2011, Springer Berlin Heidelberg. p. 469-504.
73. Josten, C. and A. Höch, *Sakruminsuffizienzfrakturen: operativ/konservativ*. Die Wirbelsäule, 2017. **01**(01): p. 31-40.
74. Lee, C. and K. Porter, *The prehospital management of pelvic fractures*. Emerg Med J, 2007. **24**(2): p. 130-3.
75. Sadri, H., et al., *Control of severe hemorrhage using C-clamp and arterial embolization in hemodynamically unstable patients with pelvic ring disruption*. Arch Orthop Trauma Surg, 2005. **125**(7): p. 443-7.
76. Elzik, M.E., D.R. Dirschl, and L.E. Dahners, *Hemorrhage in pelvic fractures does not correlate with fracture length*. J Trauma, 2008. **65**(2): p. 436-41.
77. Stein, D.M., R. O'Toole, and T.M. Scalea, *Multidisciplinary approach for patients with pelvic fractures and hemodynamic instability*. Scand J Surg, 2007. **96**(4): p. 272-80.
78. Krämer, J. and J. Grifka, *Einführung, Anatomie, Biomechanik und Pathophysiologie*, in *Orthopädie Unfallchirurgie*. 2007, Springer Verlag: Berlin-Heidelberg. p. 1-44.
79. Osterwalder, J.J. and D. Weber, *Modernes Traumamanagement*, in *Orthopädie und Unfallchirurgie*, J. Grifka and M. Kuster, Editors. 2011, Springer Berlin Heidelberg. p. 333-354.
80. Kimbrell, B.J., et al., *Angiographic embolization for pelvic fractures in older patients*. Arch Surg, 2004. **139**(7): p. 728-32; discussion 732-3.
81. Burgess, A.R., et al., *Pelvic ring disruptions: effective classification system and treatment protocols*. J Trauma, 1990. **30**(7): p. 848-56.
82. Kataoka, Y., et al., *Sepsis caused by peripelvic soft tissue infections in critically injured patients with multiple injuries and unstable pelvic fracture*. J Trauma, 2009. **66**(6): p. 1548-54; discussion 1554-5.
83. Buschmann, C., et al., *Vermeidbare Todesfälle nach Trauma*. Notarzt, 2013. **29**(03): p. 91-98.
84. Burlew, C.C., et al., *Preperitoneal pelvic packing/external fixation with secondary angioembolization: optimal care for life-threatening hemorrhage from unstable pelvic fractures*. J Am Coll Surg, 2011. **212**(4): p. 628-35; discussion 635-7.
85. Tai, D.K., et al., *Retroperitoneal pelvic packing in the management of hemodynamically unstable pelvic fractures: a level I trauma center experience*. J Trauma, 2011. **71**(4): p. E79-86.
86. Flint, L., et al., *Definitive control of mortality from severe pelvic fracture*. Ann Surg, 1990. **211**(6): p. 703-6; discussion 706-7.
87. Hou, Z., et al., *Hemodynamically unstable pelvic fracture management by advanced trauma life support guidelines results in high mortality*. Orthopedics, 2012. **35**(3): p. e319-24.
88. Bonner, T.J., et al., *Accurate placement of a pelvic binder improves reduction of unstable fractures of the pelvic ring*. J Bone Joint Surg Br, 2011. **93**(11): p. 1524-8.
89. Dalal, S.A., et al., *Pelvic fracture in multiple trauma: classification by mechanism is key to pattern of organ injury, resuscitative requirements, and outcome*. J Trauma, 1989. **29**(7): p. 981-1000; discussion 1000-2.
90. Kerrigan, J., C. Arregui-Dalmases, and J. Crandall, *Assessment of pedestrian head impact dynamics in small sedan and large SUV collisions*. International Journal of Crashworthiness, 2012. **17**(3): p. 243-258.
91. Lefler, D.E. and H.C. Gabler, *The fatality and injury risk of light truck impacts with pedestrians in the United States*. Accid Anal Prev, 2004. **36**(2): p. 295-304.
92. Obeng, K. and M. Rokonzaman, *Pedestrian Injury Severity in Automobile Crashes* Open Journal of Safety Science and Technology, 2013.

93. Roudsari, B.S., et al., *Pedestrian crashes: higher injury severity and mortality rate for light truck vehicles compared with passenger vehicles*. *Inj Prev*, 2004. **10**(3): p. 154-8.
94. Roudsari, B.S., C.N. Mock, and R. Kaufman, *An evaluation of the association between vehicle type and the source and severity of pedestrian injuries*. *Traffic Inj Prev*, 2005. **6**(2): p. 185-92.
95. Sasidharan, L., K.F. Wu, and M. Menendez, *Exploring the application of latent class cluster analysis for investigating pedestrian crash injury severities in Switzerland*. *Accid Anal Prev*, 2015. **85**: p. 219-28.
96. Li, G., et al., *The influence of passenger car front shape on pedestrian injury risk observed from German in-depth accident data*. *Accid Anal Prev*, 2017. **101**: p. 11-21.
97. Henary, B.Y., et al., *Child and Adult Pedestrian Impact: The Influence of Vehicle Type on Injury Severity*. *Annual Proceedings / Association for the Advancement of Automotive Medicine*, 2003. **47**: p. 105-126.
98. Graw, M. and H.G. Konig, *Fatal pedestrian-bicycle collisions*. *Forensic Sci Int*, 2002. **126**(3): p. 241-7.
99. Liu, W.J., et al., *Study on pedestrian thorax injury in vehicle-to-pedestrian collisions using finite element analysis*. *Chin J Traumatol*, 2015. **18**(2): p. 74-80.
100. Kleber, C., et al., *Overall distribution of trauma-related deaths in Berlin 2010: advancement or stagnation of German trauma management?* *World J Surg*, 2012. **36**(9): p. 2125-30.
101. Pang, J.-M., et al., *Is the trimodal pattern of death after trauma a dated concept in the 21st century? Trauma deaths in Auckland 2004*. *Injury*, 2008. **39**(1): p. 102-106.
102. Gunst, M., et al., *Changing epidemiology of trauma deaths leads to a bimodal distribution*. *Proc (Bayl Univ Med Cent)*, 2010. **23**(4): p. 349-54.
103. Chiara, O., et al., *Trauma deaths in an Italian urban area: an audit of pre-hospital and in-hospital trauma care*. *Injury*, 2002. **33**(7): p. 553-62.
104. Wandling, M.W., et al., *Police transport versus ground EMS: A trauma system-level evaluation of prehospital care policies and their effect on clinical outcomes*. *J Trauma Acute Care Surg*, 2016. **81**(5): p. 931-935.
105. Cotton, B.A., et al., *Guidelines for prehospital fluid resuscitation in the injured patient*. *J Trauma*, 2009. **67**(2): p. 389-402.
106. Maki, T., et al., *Comparative analysis of vehicle-bicyclist and vehicle-pedestrian accidents in Japan*. *Accid Anal Prev*, 2003. **35**(6): p. 927-40.
107. Zhang, G., et al., *A field data analysis of risk factors affecting the injury risks in vehicle-to-pedestrian crashes*. *Ann Adv Automot Med*, 2008. **52**: p. 199-214.
108. Senserrick, T., et al., *Detailed Analysis of Pedestrian Casualty Collisions in Victoria,, Australia*. *Traffic Injury Prevention*, 2014. **15**: p. S197-S205.
109. Brundage, S.I., et al., *The epidemiology of thoracic aortic injuries in pedestrians*. *J Trauma*, 1998. **45**(6): p. 1010-4.
110. Brockmann, S., *Schwerstverletzungen bei Verkehrsunfällen*. 2010, Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V.: Berlin.
111. Crocetta, G., et al., *The influence of vehicle front-end design on pedestrian ground impact*. *Accid Anal Prev*, 2015. **79**: p. 56-69.
112. Rosen, E. and U. Sander, *Pedestrian fatality risk as a function of car impact speed*. *Accid Anal Prev*, 2009. **41**(3): p. 536-42.
113. Rosen, E., H. Stigson, and U. Sander, *Literature review of pedestrian fatality risk as a function of car impact speed*. *Accid Anal Prev*, 2011. **43**(1): p. 25-33.
114. De Pauw, E., et al., *Safety effects of reducing the speed limit from 90km/h to 70km/h*. *Accid Anal Prev*, 2014. **62**: p. 426-31.
115. Fredriksson, R., et al., *Influence of impact speed on head and brain injury outcome in vulnerable road user impacts to the car hood*. *Stapp Car Crash J*, 2007. **51**: p. 155-67.
116. Moran, D., D. Bose, and K. Bhalla, *Impact of improving vehicle front design on the burden of pedestrian injuries in Germany, the United States, and India*. *Traffic Inj Prev*, 2017. **18**(8): p. 832-838.

117. Tao, S., et al., *Interactions of problematic mobile phone use and psychopathological symptoms with unintentional injuries: a school-based sample of Chinese adolescents*. BMC Public Health, 2016. **16**: p. 88.
118. Basch, C.H., et al., *Pedestrian Behavior at Five Dangerous and Busy Manhattan Intersections*. J Community Health, 2015. **40**(4): p. 789-92.
119. Plummer, P., et al., *Texting and walking: effect of environmental setting and task prioritization on dual-task interference in healthy young adults*. Gait Posture, 2015. **41**(1): p. 46-51.
120. Edwards, M., A. Nathanson, and M. Wisch, *Estimate of potential benefit for europe of fitting Autonomous Emergency Braking (AEB) systems for pedestrian protection to passenger cars*. Traffic Inj Prev, 2014. **15 Suppl 1**: p. S173-82.
121. Statistisches Bundesamt Wiesbaden, *Neue Bevölkerungsvorausberechnung für Deutschland bis 2060*, Statistisches Bundesamt, Editor. 2015: Wiesbaden.
122. Buschmann, C.T., et al., *Clinical diagnosis versus autopsy findings in polytrauma fatalities*. Scand J Trauma Resusc Emerg Med, 2010. **18**: p. 55.
123. Madea, B., R. Dettmeyer, and P. Schmidt, *Thanatologie*, in *Praxis Rechtsmedizin*. 2007, Springer Berlin Heidelberg. p. 7-82.

## Anhang

### Tabellen

*Tabelle 11 Körperregionen der AIS gemäß Wörterbuch für die Abbreviated Injury Scale 2005 update 2008[38] der AAAM*

<b>Körperregionen der AIS</b>	
<b>Region der AIS</b>	<b>Bezeichnung</b>
1	Head (Kopf)
2	Face (Gesicht)
3	Neck (Hals)
4	Thorax (Thorax)
5	Abdomen and pelvic contents (Abdomen und Beckeninhalt)
6	Spine (Wirbelsäule)
7	Upper Extremity (Obere Extremität)
8	Lower Extremity (Untere Extremität)
9	External and others (Äußeres und sonstige)

*Tabelle 12 Klassifikationssysteme der Beckenfraktur nach AO-Klassifikation und nach Buchholz.[70]*

<b>Klassifikation der Beckenfraktur nach AO und Buchholz</b>			
<b>AO-Klassifikation (entspricht Tile Klassifikation)</b>		<b>Buchholz-Klassifikation</b>	
A	Stabile Beckenringfraktur	Typ I	Stabile Beckenringfraktur
B	Avulsionsfraktur des Beckenrings	Typ II	Rotationsinstabile Beckenfraktur
→B1	„Open Book“-Fraktur		
→B2	Laterale Kompressionsfraktur		
C	Komplette Instabilität Beckenring	Typ III	Rotationsinstabilität und vertikale Instabilität des Beckenrings

Tabelle 13 Tabelle Altersverteilung nach Geschlecht für das Gesamtkollektiv (WPF und NPF, n=113)

Altersverteilung nach Geschlecht Gesamtkollektiv						
Altersgruppen in Jahren	Männlich		Weiblich		Gesamt	
	n	%	n	%	n	%
<18	9	13%	6	13%	15	13%
18-25	9	13%	3	7%	12	11%
>25-50	15	22%	7	15%	22	19%
>50-75	23	34%	11	24%	34	30%
>75	11	16%	19	41%	30	27%
Gesamt	67	100%	46	100%	113	100%

Tabelle 14 Verteilung der Fahrzeugtypen der Unfallgegner der toten Fußgänger mit (with pelvic fracture, „WPF“) und ohne Beckenfraktur (no pelvic fracture, NPF), n=113

Fahrzeugtyp der Unfallgegner Gesamtkollektiv			
Unfallgegner Fahrzeugtyp	WPF	NPF	Gesamtergebnis
Van	5	5	10
Cabrio	3	0	3
Kleinwagen	8	10	18
Kompaktklasse	10	5	15
Mittelklasse	11	10	21
SUV	1	0	1
Jeep/Geländewagen/Pick-up	1	3	4
Transporter	3	5	8
Liefer- und Lastkraftwagen ohne Anhänger	0	3	3
Liefer- und Lastkraftwagen mit Anhänger	2	0	2
Sattelschlepper	9	1	10
LKW mit Spezialaufbau	1	2	3
LKW allgemein	1	0	1
Kraftomnibus	0	1	1
Schulbus	1	0	1
Landwirtschaftliches FZ, Baustellen-FZ, Schneeräum-FZ, etc.	0	1	1
Motorrad	1	0	1
Kraftrad	2	1	3
Schienenfahrzeug	2	2	4
PKW (Fahrzeugaufbau unbekannt)	1	2	3
Gesamtergebnis	62	51	113

Tabelle 15 Körperregionen des MAIS<sub>Ges</sub> in der Gruppe mit Beckenfrakturen, (with pelvic fracture, „WPF“),  $n_{WPF}=62$

<b>Körperregionen des MAIS<sub>Ges</sub> WPF (n=62)</b>		
<b>Körperregion</b>	<b>Anzahl Fälle</b>	<b>Prozentual</b>
Kopf	16	26%
Hals	2	3%
Thorax	17	27%
Abdomen	2	3%
Untere Extremität inkl. knöchernes Becken	4	6%
External	5	8%
Kopf und Hals	1	2%
Kopf und Thorax	4	6%
Kopf und Abdomen	2	3%
Kopf und untere Extremität inkl. knöchernes Becken	1	2%
Thorax und Abdomen	2	3%
Thorax und untere Extremität inkl. knöchernes Becken	3	5%
Kopf und Thorax und Abdomen	1	2%
Kopf und Thorax und untere Extremität inkl. knöchernes Becken	1	2%
Thorax und Abdomen und untere Extremität inkl. knöchernes Becken	1	2%
Gesamtergebnis	62	100%

Tabelle 16 Körperregionen der MAIS<sub>Ges</sub> in der Gruppe ohne Beckenfrakturen (no pelvic fracture, NPF), n<sub>NPF</sub>=51

<b>Körperregionen der MAIS<sub>Ges</sub> NPF (n=51)</b>		
<b>Körperregion</b>	<b>Anzahl Fälle</b>	<b>Prozentual</b>
Kopf	36	71%
Hals	2	4%
Thorax	6	12%
Abdomen	1	2%
Untere Extremität, exkl. knöchernes Becken	1	2%
Kopf und Hals	1	2%
Kopf und Thorax	2	4%
Hals und Thorax	1	2%
Kopf und Thorax und Abdomen	1	2%
Kopf und Thorax und untere Extremität exkl. knöchernes Becken	1	2%
Gesamtergebnis	51	100%

Tabelle 17 Verletzungsmuster bei Fußgängern mit (with pelvic fracture, „WPF“) und ohne Beckenfraktur (no pelvic fracture, „NPF“) nach Häufigkeit relevanter Verletzungen, prozentuelle Angaben addieren sich nicht zu 100%, da Mehrfachnennung möglich

<b>Häufigkeit von relevanten Verletzungen im Vergleich zwischen WPF und NPF (n=113)</b>						
<b>Verletzte Körperregion (AIS≥3)</b>	<b>Anzahl Fälle WPF (n=62)</b>	<b>%</b>	<b>Anzahl Fälle NPF (n=51)</b>	<b>%</b>	<b>Anzahl Fälle Gesamt (n=113)</b>	<b>%</b>
Kopf	39	63%	43	84%	82	73%
Gesicht	5	8%	4	8%	9	8%
Hals	6	10%	12	24%	18	16%
Thorax	49	79%	31	61%	80	71%
Abdomen	29	47%	8	16%	37	33%
Obere Extremität	0	0%	1	2%	1	1%
Oberschenkel	10	16%	4	8%	14	12%
Unterschenkel	15	24%	2	4%	17	15%
Explosion type	6	10%	0	0%	6	5%

Tabelle 18 Abhängigkeit zwischen Unfallmechanismus und Verletzungsschwere in der Gruppe mit Beckenfrakturen (with pelvic fracture, „WPF“), absolute Fallzahlen,  $n_{WPF}=62$ , die Mechanismen 1,2,3,5, und 8 werden zu der Kategorie „Überrollung“ zusammengefügt.

<b>Unfallmechanismus und Verletzungsschwere in der WPF (<math>n_{WPF}=62</math>)</b>					
<b>Unfallmechanismus</b>	<b>Anzahl Fälle der MAISGes</b>				<b>Gesamtergebnis</b>
	<b>MAIS<sub>Ges</sub> 3</b>	<b>MAIS<sub>Ges</sub> 4</b>	<b>MAIS<sub>Ges</sub> 5</b>	<b>MAIS<sub>Ges</sub> 6</b>	
Einfache Überrollung ohne primären Anstoß (Kat. 1)	0	0	2	5	7
Überrollen, Anstoß und dann Überrollen durch das gleiche Fahrzeug (Kat. 2)	0	2	2	1	5
3_ Anstoß und dann Überrollen durch ein zweites Fahrzeug (Kat. 3)	0	0	1	1	2
4_ Anstoß und dann Abwurfgeschehen (Kat. 4)	3	8	17	11	39
5_ Anstoß und dann Überrollen durch erstes Fahrzeug und durch ein zweites Fahrzeug (Kat.5 )	0	0	0	3	3
7_ Anstoß durch ein Fahrzeug und durch selbiges mitgeschleift (Kat. 7)	0	2	1	0	3
8_ Anstoß durch ein Fahrzeug, dann von diesem überrollt und anschließend mitgeschleift (Kat. 8)	0	0	2	0	2
Unbekannt	0	1	0	0	1
<b>Gesamtergebnis</b>	<b>3</b>	<b>12</b>	<b>25</b>	<b>21</b>	<b>62</b>
Überrollen: 1,2,3,5,8 (Kat. 9)	0	2	7	10	19

Tabelle 19 Häufigkeiten der Altersgruppen in den PFAIS Gruppen, absolute Fallzahlen  $n_{WPF}=62$

<b>Häufigkeiten der Altersgruppen der PFAIS Gruppen</b>				
<b>Alter in Jahren</b>	<b>PFAIS 2 (n=13)</b>	<b>PFAIS 3 (n=12)</b>	<b>PFAIS 4 (n=32)</b>	<b>PFAIS 5 (n=5)</b>
<18	1	1	2	0
18-25	2	1	2	1
>25-50	4	1	8	2
bis einschl. 50	7	3	12	3
>50-75	3	3	11	1
bis einschl. 75	10	6	23	4
>75	3	6	9	1

Tabelle 20 Verteilung der ISS-Gruppen für die verschiedenen PFAIS der WPF Gruppe,  $n_{WPF}=62$ , absolute Zahlen und prozentualer Anteil

Verteilung der ISS-Gruppen der Fälle der verschiedenen PFAIS Gruppen								
ISS-Gruppen	PFAIS 2		PFAIS 3		PFAIS 4		PFAIS 5	
		%		%		%		%
<16	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
16-24	0	0%	2	17%	1	3%	0	0%
25-32	3	23%	3	25%	2	6%	0	0%
33-43	3	23%	3	25%	3	9%	0	0%
45-66	3	23%	1	8%	15	47%	2	40%
75	4	31%	3	25%	11	34%	3	60%
Gesamt	13	100%	12	100%	32	100%	5	100%

Tabelle 21 Todesursachen der Fälle verschiedener PFAIS der WPF Gruppe, absolute Fallzahlen  $n_{WPF}=62$ , absolute Zahlen und prozentualer Anteil

Verteilung der Todesursachen der Fälle der verschiedenen PFAIS Gruppen								
Todesursache	PFAIS 2		PFAIS 3		PFAIS 4		PFAIS 5	
		%		%		%		%
zentrales Regulationsversagen	3	23	4	33	6	19	2	40
hypovolämischer Schock	2	15	1	8	4	13	0	0
Herz-Kreislauf-Versagen	0	0	0	0	1	3	0	0
Polytrauma	1	8	0	0	0	0	0	0
Schädel-Hirn-Trauma	6	8	55	42	21	66	3	60
Sonstige	1	8	2	17	0	0	0	0
Gesamt	13	100	12	100	32	100	5	100

Tabelle 22 Körperregionen der MAIS<sub>Ges</sub> für die verschiedenen PFAIS Fälle der WPF Gruppe, nWPF=62, absolute Zahlen und prozentualer Anteil

<b>Körperregionen der MAIS<sub>Ges</sub> der verschiedenen PFAIS Gruppen</b>								
<b>Körperregion der MAIS<sub>Ges</sub></b>	<b>PFAIS 2</b>	<b>%</b>	<b>PFAIS 3</b>	<b>%</b>	<b>PFAIS 4</b>	<b>%</b>	<b>PFAIS 5</b>	<b>%</b>
Kopf	7	54%	5	42%	4	13%	0	0%
Hals	0	0%	1	8%	1	3%	0	0%
Thorax	3	23%	3	25%	11	34%	0	0%
Abdomen	0	0%	0	0%	2	6%	0	0%
Untere Extremitäten inkl. Knöchernes Becken	0	0%	0	0%	3	9%	1	20%
External	1	8%	0	0%	3	9%	1	20%
Kopf und Hals	0	0%	0	0%	1	3%	0	0%
Kopf und Thorax	2	15%	0	0%	2	6%	0	0%
Kopf und Abdomen	0	0%	1	8%	0	0%	1	20%
Kopf und untere Extremitäten inkl. knöchernes Becken	0	0%	1	8%	0	0%	0	0%
Thorax und Abdomen	0	0%	0	0%	2	6%	0	0%
Thorax und untere Extremitäten inkl. knöchernes Becken	0	0%	0	0%	2	6%	1	20%
Kopf und Thorax und untere Extremitäten inkl. knöchernes Becken	0	0%	1	8%	0	0%	0	0%
Kopf und Thorax und Abdomen	0	0%	0	0%	0	0%	1	20%
Thorax und Abdomen und untere Extremitäten inkl. knöchernes Becken	0	0%	0	0%	1	3%	0	0%
<b>Gesamt</b>	<b>13</b>	<b>100%</b>	<b>12</b>	<b>100%</b>	<b>32</b>	<b>100%</b>	<b>5</b>	<b>100%</b>

Tabelle 23 Maximale Kollisionsgeschwindigkeit ( $V_{max}$ ) für die verschiedenen PFAIS Fälle der WPF Gruppe,  $n_{WPF}=62$ , absolute Zahlen und prozentualer Anteil

<b>Maximale Kollisionsgeschwindigkeiten in den PFAIS Gruppen</b>								
<b><math>V_{max}</math></b>	<b>PFAIS 2</b>	<b>%</b>	<b>PFAIS 3</b>	<b>%</b>	<b>PFAIS 4</b>	<b>%</b>	<b>PFAIS 5</b>	<b>%</b>
0-30km/h	1	8%	2	17%	5	16%	0	0%
31-60km/h	6	46%	4	33%	2	6%	1	20%
>60km/h	4	31%	3	25%	13	41%	3	60%
Unbekannt	2	15%	3	25%	12	38%	1	20%
Gesamt	13	100%	12	100,0%	32	100%	5	100%

## Abkürzungsverzeichnis

AAAM	Association for the Advancement of Automotive Medicine
AIS	Abbreviated Injury Scale
AO	Arbeitsgemeinschaft Osteosynthese
BRD	Bundesrepublik Deutschland
d	days (Tage)
h	hours (Stunden)
IRM	Institut für Rechtsmedizin der Universität München
ISG	Iliosakralgelenk
ISS	Injury Severity Score
LKW	Lastkraftwagen
Kat.	Kategorie
MAIS <sub>Ges</sub>	MAIS des gesamten Falls
NPF	no pelvic fracture (ohne Beckenfraktur)
OS	Oberschenkel
PFAIS	pelvic fracture AIS (AIS der Beckenfraktur)
PKW	Personenkraftwagen
SHT	Schädel-Hirn-Trauma
SUV	Sport Utility Vehicle
US	Unterschenkel
V <sub>max</sub>	maximale Kollisionsgeschwindigkeit
VRU	vulnerable road users
WPF	with pelvic fracture (mit Beckenfraktur)

## Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildung 1 Beispiel zur Berechnung des Injury Severity Score (ISS) .....	11
Abbildung 2 Körperschema (n. Vorlage des IRM) zur Darstellung des Anteils an Fällen mit relevanten Verletzungen der jeweiligen Körperregionen zum Vergleich des Verletzungsmusters zwischen Fällen mit (with pelvic fracture, „WPF“) und ohne (no pelvic fracture, „NPF“) .....	18
Abbildung 3 Graphische Darstellung der Beckenfrakturen.....	20
Abbildung 4 Häufigkeiten der Altersgruppen im Vergleich zwischen Fußgängern mit (with pelvic fracture, „WPF“) und ohne Beckenfraktur (no pelvic fracture, „NPF“); .....	24
Abbildung 5 Todesursachen im Vergleich zwischen Fußgängern mit (with pelvic fracture, „WPF“) und ohne Beckenfraktur (no pelvic fracture, „NPF“) .....	25
Abbildung 6 Todeszeitpunkt im Vergleich zwischen Fußgängern mit (with pelvic fracture, „WPF“) und ohne Beckenfraktur (no pelvic fracture, „NPF“) .....	27
Abbildung 7 Vergleich der Unfallgegner zwischen Fußgängern mit (with pelvic fracture, „WPF“) und ohne Beckenfraktur (no pelvic fracture, „NPF“) .....	28
Abbildung 8 Unfallmechanismen im Fallkollektiv .....	31
Abbildung 9 Verteilung der Unfallmechanismen für die WPF Gruppe (with pelvic fracture) und die NPF Gruppe (no pelvic fracture) .....	32
Abbildung 10 Häufigkeitsverteilung der Gruppen der maximalen Kollisionsgeschwindigkeit $V_{max}$ (in km/h) im Vergleich zwischen Fußgängern mit (with pelvic fracture, „WPF“) und ohne Beckenfraktur (no pelvic fracture, „NPF“).....	33
Abbildung 11 Häufigkeitsverteilungen der ISS-Gruppen für Fußgänger mit (with pelvic fracture, „WPF“) und ohne Beckenfraktur (no pelvic fracture, „NPF“) .....	35
Abbildung 12 Prozentuale Häufigkeit Fälle der Verletzungen, die in den dargestellten Körperregionen jeweils mindestens mit der Schwere AIS3+ verletzt waren, in der Gruppe ohne Beckenfraktur (no pelvic fracture, „NPF“).....	36
Abbildung 13 Prozentuale Häufigkeit der Fälle mit Verletzungen, die in den dargestellten Körperregionen jeweils mindestens mit der Schwere AIS3+ verletzt waren, in der Gruppe mit Beckenfraktur (with pelvic fracture, „WPF“) .....	37
Abbildung 14 Betroffene knöcherne Strukturen bei Fällen der WPF Gruppe (n=62).....	41
Abbildung 15 Kombination der häufigsten betroffenen Strukturen bei Beckenfrakturen .....	42
Abbildung 16 Häufigkeiten der Altersgruppen im Vergleich zwischen Gruppen verschiedener Schwere der Beckenfraktur PFAIS 2-5.....	44
Abbildung 17 Verteilung der Todeszeitpunkte für die verschiedenen Schweregrade der Beckenfraktur PFAIS 2-5 .....	46
Tabelle 1 Kategorien der Unfallmechanismen.....	14
Tabelle 2 Einteilung der Todeszeitpunkte .....	16
Tabelle 3 Beschreibung der Gruppen des Injury Severity Scores (ISS) .....	18
Tabelle 4 Todesursachen nach Körperregion der MAIS <sub>Ges</sub> wenn das knöcherne Becken alleine (Region 8) oder in Kombination mit anderen Körperregionen (18,48,148,458) die Region der MAIS <sub>Ges</sub> stellt.....	26
Tabelle 5 Häufigkeitsverteilung der Gruppen der maximalen Kollisionsgeschwindigkeit $V_{max}$ (in km/h) im Vergleich zwischen Fußgängern mit (with pelvic fracture, „WPF“) und ohne Beckenfraktur (no pelvic fracture, „NPF“).....	34
Tabelle 6 WPF Gruppe: Zusammenhang von maximaler Kollisionsgeschwindigkeit $V_{max}$ und der Verletzungsschwere ISS.....	38

Tabelle 7 NPF Gruppe: Zusammenhang von maximaler Kollisionsgeschwindigkeit $V_{max}$ und der Verletzungsschwere ISS, Geschwindigkeit in km/h .....	39
Tabelle 8 Verteilung der Begleitverletzungen innerhalb der verschiedenen PFAIS Gruppen (PFAIS= pelvic fracture AIS) .....	48
Tabelle 9 Verteilung der Unfallmechanismen nach Beckenfrakturschweregrad (PFAIS 2-5).....	49
Tabelle 10 Anteil der am IRM obduzierten Fußgänger an den im Einzugsgebiet getöteten Fußgängern der Jahre 2004-2006 .....	53
Tabelle 11 Körperregionen der AIS gemäß Wörterbuch für die Abbreviated Injury Scale .....	75
Tabelle 12 Klassifikationssysteme der Beckenfraktur nach AO-Klassifikation und nach Buchholz .....	75
Tabelle 13 Tabelle Altersverteilung nach Geschlecht für das Gesamtkollektiv .....	76
Tabelle 14 Verteilung der Fahrzeugtypen der Unfallgegner der toten Fußgänger mit (with pelvic fracture, „WPF“) und ohne Beckenfraktur (no pelvic fracture, NPF).....	76
Tabelle 15 Körperregionen des MAIS <sub>Ges</sub> in der Gruppe mit Beckenfrakturen .....	77
Tabelle 16 Körperregionen der MAIS <sub>Ges</sub> in der Gruppe ohne Beckenfrakturen.....	78
Tabelle 17 Verletzungsmuster bei Fußgängern mit (with pelvic fracture, „WPF“) und ohne Beckenfraktur (no pelvic fracture, „NPF“) .....	78
Tabelle 18 Abhängigkeit zwischen Unfallmechanismus und Verletzungsschwere in der Gruppe mit Beckenfrakturen. ....	79
Tabelle 19 Häufigkeiten der Altersgruppen in den PFAIS Gruppen, absolute Fallzahlen .....	79
Tabelle 20 Verteilung der ISS-Gruppen für die verschiedenen PFAIS der WPF Gruppe .....	80
Tabelle 21 Todesursachen der Fälle verschiedener PFAIS der WPF Gruppe .....	80
Tabelle 22 Körperregionen der MAIS <sub>Ges</sub> für die verschiedenen PFAIS Fälle der WPF Gruppe ... ..	81
Tabelle 23 Maximale Kollisionsgeschwindigkeit ( $V_{max}$ ) für die verschiedenen PFAIS Fälle der WPF Gruppe .....	82

## Danksagung

Ich danke meinem Doktorvater, Prof. Dr. Matthias Graw dafür, dass ich diese Arbeit an dem Institut für Rechtsmedizin der LMU München absolvieren durfte und die Möglichkeiten von Ihm und den anderen Mitarbeitern des Instituts zu lernen. Mein besonderer Dank gilt dabei Dr. Sylvia Schick für die unermüdliche Betreuung, für die Geduld, Ermutigung und Unterstützung. Mein Dank gilt auch Dr. L. Brandau, Dr. M. Holzgang, M. Busch und meinen Eltern J. und G. Koenemann, die mich während der Bearbeitung meiner Dissertation unterstützt haben.