

ADAC Unfallforschung

Analyse des Verletzungsrisikos und -musters von Pkw-Insassen in Frontalunfällen in Abhängigkeit ihrer körperlichen Eigenschaften

Zusammenfassung

Seit 1984 wird in Deutschland ein Bußgeld beim Nichtanlegen des Gurtes verhängt. Die Wirkung des Gurtes als Lebensretter zeigt sich deutlich in den Unfallzahlen: Während 1984 noch 12.041 Personen bei Verkehrsunfällen in der BRD getötet wurden, reduziert sich die Anzahl an Getöteten in der Bundesrepublik Deutschland auf 3.046 (-75 %) im Jahr 2019 [1]. Dieser trägt nicht den ganzen Anteil an der Reduktion aber einen erheblichen, wie auch der Airbag und die stabile Fahrgastzelle.

Im Rahmen des Verbraucherschutzprogramms Euro NCAP werden zahlreiche Crashtests durchgeführt, um die Insassensicherheit bei neuen Fahrzeugen zu überprüfen. Anstelle von Personen nehmen Dummies im Fahrzeug Platz. Im Frontalcrash wird ein 50th Dummy, welcher den Median des Mannes hinsichtlich Größe und Gewicht abbildet, sowie ein 5th Dummy eingesetzt, welcher eine kleinere und leichtere Person repräsentiert. Obwohl die beiden Dummies eine große Bandbreite der Bevölkerung abdecken, gibt es Personengruppen, die hinsichtlich ihres Gewichts und ihrer Körpergröße davon abweichen. Nichtsdestotrotz gilt es zu berücksichtigen, dass Dummies lediglich Messpuppen sind und nur eine Abstraktion eines menschlichen Insassen darstellen.

Aufgrund des demographischen Wandels in Industrienationen nimmt der Anteil an älteren Personen in der Gesellschaft zu. Infolge der physiologischen Veränderungen mit zunehmendem Alter gilt es diese Personengruppe besonders bei der Bewertung der Fahrzeugsicherheit zu berücksichtigen.

Anhand einer Analyse von realen Unfalldaten wurde untersucht, ob Pkw-Insassen in Frontalunfällen aufgrund ihrer körperlichen Eigenschaften ein erhöhtes Verletzungsrisiko aufweisen. Die Auswertung zeigte, dass sich hinsichtlich der Unfallfolgen keine Unterschiede zwischen weiblichen und männlichen Insassen feststellen lassen. Aufgrund einer höheren Vulnerabilität im zunehmenden Alter erleiden die über 60-Jährigen häufiger schwere Verletzungen. Besonders häufig treten Traumata im Bereich des Kopfes, des Thorax und des Abdomens auf, dadurch sind diese Insassen besonders gefährdet.

Ausgangssituation und Stand der Technik

Neben aktiven Sicherheitssystemen (z.B. ESP, Notbremsassistent), welche das Unfallereignis vermeiden sollen, liegt die Aufgabe von passiven Sicherheitssystemen (Gurte, Airbags) darin, die Unfallfolgen zu mildern und schwere/tödliche Verletzungen zu vermeiden [2]. Während eine steife Fahrgastzelle den Überlebensraum des Insassen sicherstellen soll, sollen Gurt und Airbags Kollisionen mit harten Fahrzeugkomponenten vermeiden und die Verzögerungsbelastungen minimieren. Im Rahmen des Verbraucherschutzprogramms Euro NCAP werden daher zahlreiche Crashtests durchgeführt, um die Insassensicherheit bei neuen Fahrzeugen zu überprüfen und sicherzustellen. Anstelle von Personen nehmen Dummies auf dem Fahrer- und Beifahrersitz Platz [3]. Diese sind mit einer Vielzahl an Sensoren ausgestattet, welche während der Crashphase Kräfte, Momente und Beschleunigungen an spezifischen Stellen messen. Die Messwerte dienen dazu, die Verletzungsschwere von Insassen skalieren zu können.

Der Dummy, der weltweit am häufigsten bei Frontal-Crashtests eingesetzt wird, ist der Hybrid III 50th, welcher einen durchschnittlichen Mann mit 78 kg und einer Körpergröße von 1,75 m darstellt [4]. Sowohl bei dem Crashtest zur Überprüfung der gesetzlichen Anforderungen an die Sicherheit beim Frontalaufprall (UN R137) als auch im Rahmen des Euro NCAP Full Width Crashtests wird neben dem H III 50th auch der H III 5th Dummy eingesetzt. Der H III 5th repräsentiert mit 1,52 m und 49 kg eine kleine, schwächliche Frau. Durch den Aufprall der kompletten Fahrzeugfront auf ein massives, unverformbares

Hindernis mit 50 km/h soll untersucht werden, ob die Rückhaltesysteme bei einer hohen Verzögerung schwere Verletzungen insbesondere am Brustkorb von kleineren Insassen verhindern können. [5]

In Zeitungsartikeln wird häufig diskutiert, dass Frauen ein erhöhtes Verletzungsrisiko haben, da das Fahrzeug und die dazugehörige Insassensicherheit auf den 50. Perzentil Mann (50 % der Männer sind kleiner/größer bzw. schwerer/leichter) ausgelegt ist. Zudem wird die 5. Perzentil Frau (5 % der Frauen sind im Durchschnitt kleiner und leichter) nur in wenigen Crashtests eingesetzt und repräsentiert lediglich einen kleinen Anteil der Frauen. Um den Frauen dasselbe Niveau an Sicherheit zu gewährleisten, müsste demnach ein weiblicher Dummy, welcher dem Median der Frauen entspricht, bei der Auslegung der Fahrzeuge und den Crashtests berücksichtigt werden. [6]

Bei diesen Diskussionen wird jedoch vergessen, dass ein Dummy lediglich ein Messinstrument bzw. eine Abstraktion des Menschen ist. Unter Zuhilfenahme von Verletzungsrisikokurven, welche auf Basis von Leichenversuchen, Unfalldaten und einer Vielzahl von Crashtests erstellt werden, ist es möglich, den aufgezeichneten Messwert der Dummysensoren in eine Verletzungswahrscheinlichkeit einer Person zu übertragen [7]. Um beurteilen zu können, welchen Teil der globalen Bevölkerung durch die Dummys repräsentiert werden, ist in Abbildung 1 das durchschnittliche Gewicht der Bevölkerung in fünf Ländern, aufgeteilt nach dem Geschlecht, dargestellt. In den USA, Australien, Deutschland, China und Indien wurden 2018 circa 60 % der global neu zugelassenen Pkw angemeldet [8].

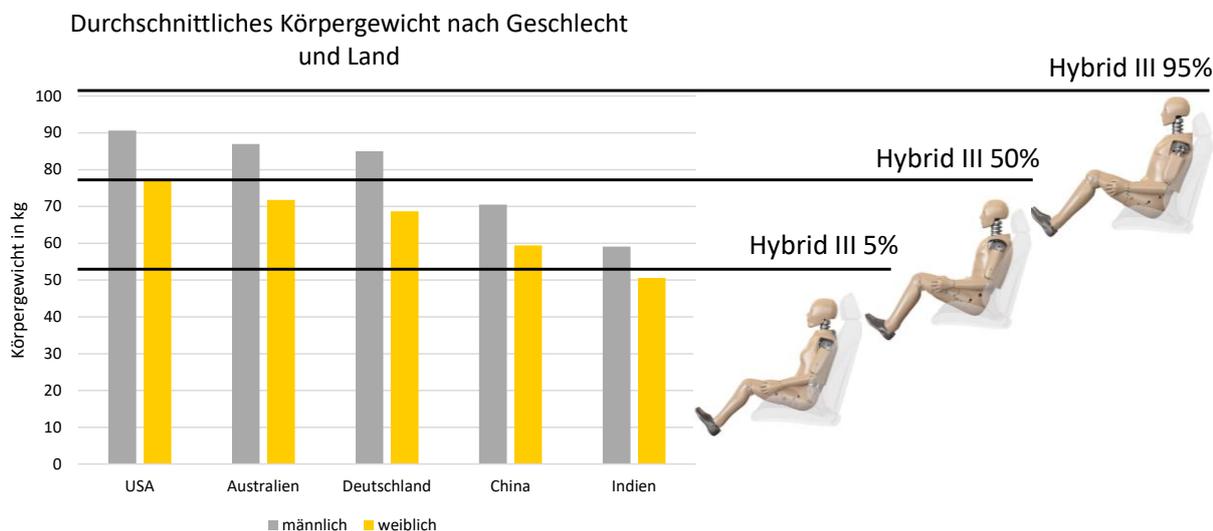


Abbildung 1: Durchschnittliches Gewicht der Bevölkerung in USA, Australien, Deutschland, China und Indien und die Einordnung der Dummys [4] [9] [10] [11] [12]

Die Abbildung 1 veranschaulicht, dass sich in Bezug auf das Gewicht global eine große Bandbreite ergibt. Während in den USA der Mann im Durchschnitt circa 90 kg wiegt, liegt das durchschnittliche Körpergewicht der Frau in Indien bei 50 kg. Durch den Vergleich der Dummys mit dem Gewicht der Pkw-Insassen wird deutlich, dass jeder einzelne Dummy zwar nur eine kleine Personengruppe repräsentiert, das Spektrum von niedrigem bis hohem Gewicht jedoch recht gut abgebildet wird.

Ein ähnliches Bild zeigt die Gegenüberstellung der Körpergröße in denselben fünf Ländern, welche Abbildung 2 beinhaltet. Der Dummy H III 50th bildet den Durchschnitt der Männer in den USA, Australien, Deutschland und China recht gut ab, während der H III 5th die im Vergleich kleinsten Frauen in Indien verkörpert. Ungeachtet der Frauen in Indien werden die meisten weiblichen Pkw-Insassen, die dem durchschnittlichen Gewicht und Körpergröße entsprechen, durch keinen der dargestellten Dummys repräsentiert. Außerdem stellt der H III 95th eine Randgruppe dar, die sowohl in Bezug auf das Gewicht und der Größe über dem Durchschnitt aller betrachteten Länder liegt.

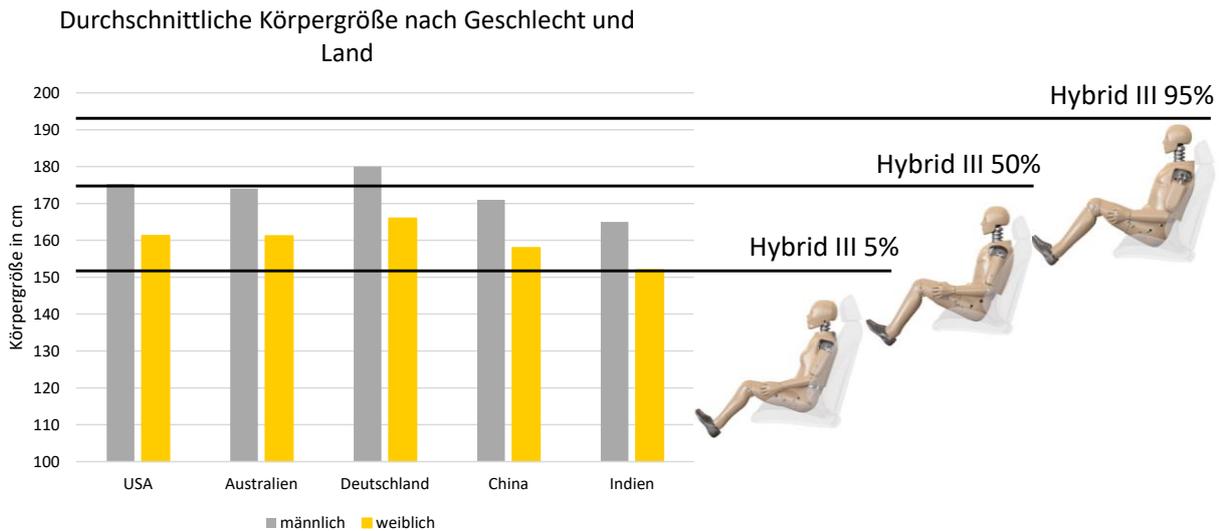


Abbildung 2: Durchschnittliche Körpergröße der Bevölkerung in USA, Australien, Deutschland, China und Indien und die Einordnung der Dummies [4] [9] [10] [11] [12]

Auf Basis der Körpergröße und -gewicht lässt sich eine weitere Kennzahl, der Body Mass Index (BMI), berechnen, welcher es ermöglicht, Erwachsene in Gewichtsklassen zu unterteilen. Bei einem BMI von 18,5 kg/m² bis 25,0 kg/m² hat die dazugehörige Person ein Normalgewicht, ab einem BMI von größer 30,0 kg/m² handelt es sich um Adipositas [13]. In Abbildung 3 ist die Entwicklung der Kennzahl BMI seit 2005 in Deutschland, unterteilt nach dem Geschlecht und Alter, dargestellt. Bei beiden Geschlechtern und in allen Altersgruppen zeigt sich ein Trend hin zu einem höheren BMI. Aus diesem Grund gilt es, bei der Betrachtung der unterschiedlichen Bevölkerungsgruppen und deren Darstellung durch Dummies auch die mögliche Risikogruppe der adipösen Pkw-Insassen zu berücksichtigen.

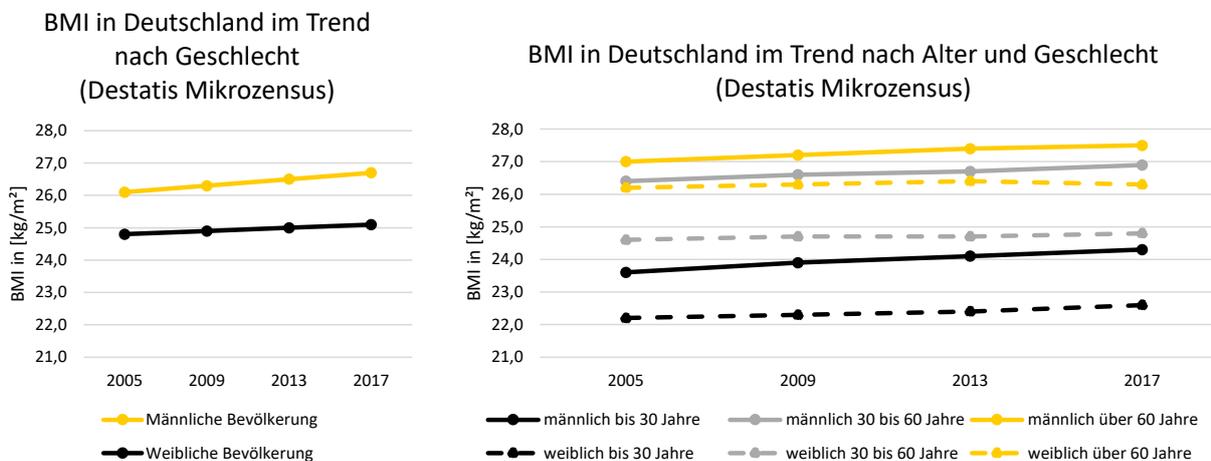


Abbildung 3: Entwicklung des Body Mass Index (BMI) in Deutschland nach Geschlecht und Alter seit 2005 [9]

Aufgrund des demographischen Wandels in vielen Industrieländern ist es wichtig bei der Analyse der Bevölkerung auch deren Altersstruktur zu betrachten. Während 1990 20 % der Deutschen über 60 Jahre alt waren, ist dieser Anteil bis 2020 auf knapp 29 % gestiegen. Ein weiterer Effekt ist, dass das Körpergewicht in Relation zur Körpergröße mit steigendem Alter zunimmt (vgl. Abbildung 3). [12]

Analyse der ADAC Unfalldatenbank

Ausgehend von den zuvor identifizierten Risikogruppen hinsichtlich ihrer körperlichen Eigenschaften soll mit Hilfe einer Unfalldatenanalyse untersucht werden, ob sich ein erhöhtes Verletzungsrisiko und ein spezifisches Verletzungsmuster für diese Personengruppen im Unfallgeschehen auf deutschen Straßen zeigt. Für die Auswertung der Unfälle steht die Datenbank der ADAC Unfallforschung zur Verfügung. Diese beinhaltet schwere Verkehrsunfälle, welche von der ADAC Luftrettung gGmbH in Deutschland angefliegen wurden. Nachdem die Piloten vor Ort Daten gesammelt haben, klassifiziert die ADAC Unfallforschung unfall- und fahrzeugspezifische Parameter (Unfallart, Kollisionswinkel, Deformationsbereiche) und bestimmt das Verletzungsmuster, -schwere und die Sitzposition der Unfallbeteiligten.

Für die Erstellung eines geeigneten Masterdatensatzes zur Analyse des Verletzungsrisikos von Pkw-Insassen wurden folgende Filterkriterien gesetzt: Bei dem Unfallbeteiligten muss es sich um einen Patienten handeln, welcher von der ADAC Luftrettung gGmbH behandelt wurde, da nur für diese Personen detaillierte medizinische Daten über die Verletzungen vorliegen. Außerdem müssen diese Personen als Fahrer oder Beifahrer eines Pkw bzw. Kleinbusses verunfallt sein, wobei das Baujahr der Fahrzeuge nicht älter als 2005 sein darf. In Bezug auf ein Mindestmaß an passiven Sicherheitssystemen wurden diejenigen Unfallbeteiligten ausgewählt, welche den Sicherheitsgurt angelegt hatten und der Frontairbag sowohl vorhanden war, als auch in Folge des Unfalls ausgelöst hat. Zur Eingrenzung der Unfallart und -schwere beinhaltet der Masterdatensatz nur Insassen, deren Fahrzeug folgende Collision Deformation Classification (CDC) erfüllt:

- **CDC 1,2:** 11, 12 oder 01
- **CDC 3:** Front
- **CDC 7:** Zusammenprall mit schmalem oder breitem Gegenstand
- **CDC 8:** > 1

Hinsichtlich der Kollisionsart bzw. des deformierten Bereichs liegt der Fokus bei der Auswertung der Datenbank auf Fahrzeugen, bei denen hauptsächlich die Front infolge des Unfalls verformt wurde. Wie in Abbildung 4 dargestellt, tritt die Deformation bei knapp zwei Drittel der betreuten Patienten im Frontbereich auf.

Bereich der Fahrzeugdeformation über die Anzahl der verunfallten Patienten von schweren Verkehrsunfälle innerhalb der ADAC Unfalldatenbank (n=1.767)

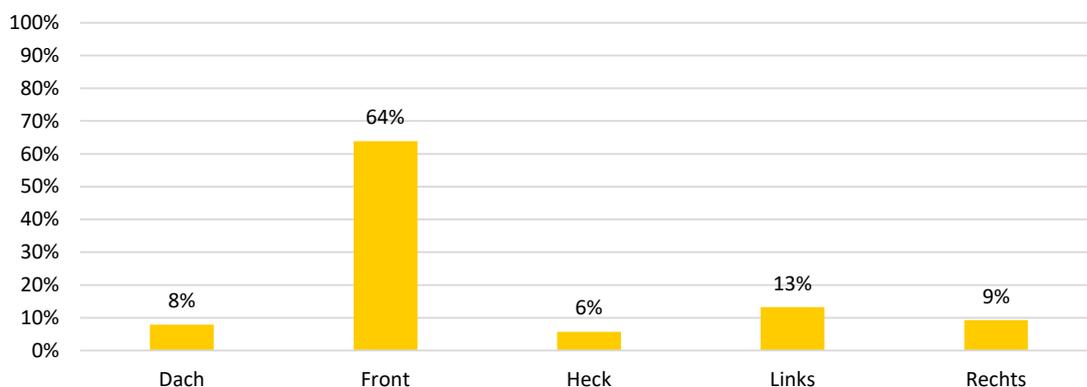


Abbildung 4: Analyse der ADAC Unfalldatenbank - Häufigkeit des Deformationsbereichs bei schweren Verkehrsunfällen

Die Schwere der Verletzung der Insassen in Abhängigkeit der Fahrzeugverformung kann Abbildung 5 entnommen werden. Es zeigt sich, dass der Anteil an schwersten bis tödlichen Verletzungen, die die Insassen infolge eines Frontalunfalls erlitten, im Vergleich mit den anderen Deformationsbereichen am höchsten ist.

Verteilung der Verletzungsschwere der verunfallten Insassen über den Deformationsbereich

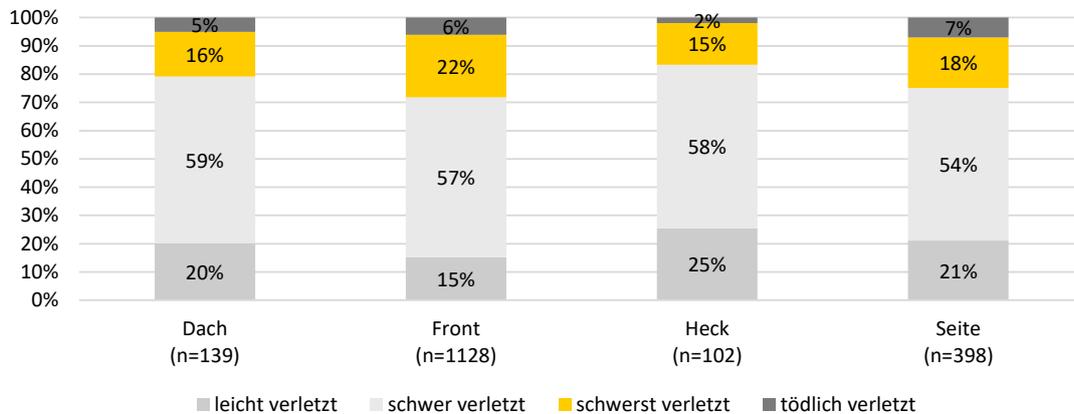


Abbildung 5: Analyse der ADAC Unfalldatenbank - Verteilung der Verletzungsschwere nach dem deformierten Bereich

Insgesamt steht für die folgende Analyse von Pkw-Insassen hinsichtlich ihrer körperlichen Eigenschaften 769 schwere Verkehrsunfälle, bei denen 804 Patienten durch die Luftrettung betreut wurden, zu Verfügung. Ca. 80 % der Verunglückten saßen auf dem Fahrersitz und nur 20 % auf dem Beifahrerplatz. Von denen im Masterdatensatz enthaltenen Unfallbeteiligten wurden über 80 % schwer oder schwerst verletzt (vgl. Abbildung 6). Diese Verteilung spiegelt die Charakteristik der ADAC Unfalldatenbank wider, da die Unfalldatenaufnahme durch die ADAC Luftrettung gGmbH erfolgt und diese vor allem bei schweren Verkehrsunfällen eingesetzt wird.

Verletzungsschwere der Insassen innerhalb der ADAC Unfalldatenbank (n=804)

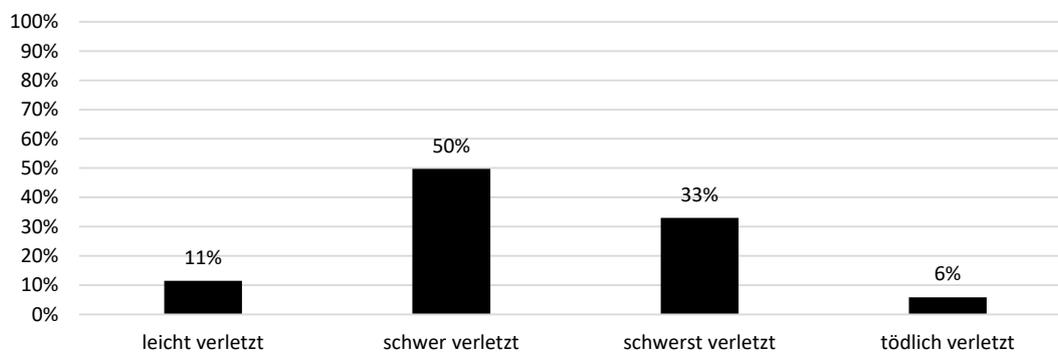


Abbildung 6: Analyse der ADAC Unfalldatenbank – Verteilung der Verletzungsschwere der Pkw-Insassen

In Abbildung 7 ist dargestellt, welche Körperregionen entsprechend der Diagnose des Notarztes vor Ort infolge des Verkehrsunfalls verletzt wurden. Ein Patient erleidet häufig mehrere Traumata in unterschiedlichen Bereichen (Polytrauma). Am häufigsten (64 %) werden präklinisch Verletzungen im Thorax festgestellt. Mit 43 % wird in vielen Fällen auch ein Schädel-Hirn-Trauma (SHT) bzw. ein Trauma in den unteren Extremitäten diagnostiziert.

Traumahäufigkeit der Patienten innerhalb der ADAC Unfalldatenbank (n=804)

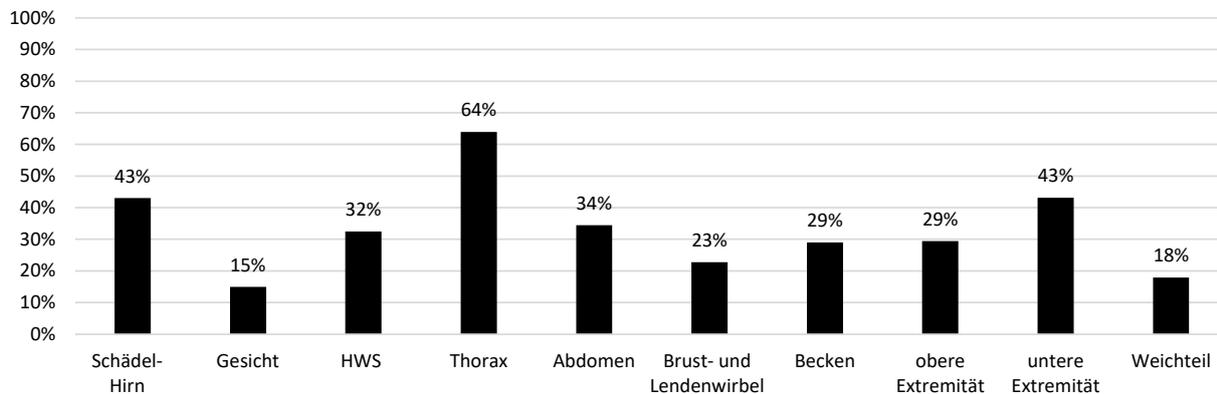


Abbildung 7: Analyse der ADAC Unfalldatenbank - Häufigkeit der diagnostizierten Traumata der Pkw-Insassen

Auf Basis des vorgestellten Masterdatensatzes soll in den nächsten Abschnitten die Verletzungsschwere und -muster von Pkw-Insassen bei schweren Verkehrsunfällen in Abhängigkeit des Geschlechts, des Alters und der körperlichen Proportionen miteinander verglichen werden.

Unfallanalyse von Pkw-Insassen in Abhängigkeit des Geschlechts

Die 804 Insassen innerhalb der ADAC Unfalldatenbank teilen sich annähernd zu gleichen Teilen in männliche (51 %) und weibliche (49 %) Patienten auf. Als Folge kann nicht festgestellt werden, dass das Geschlecht einen Einfluss auf die Häufigkeit der Unfallteilnahme hat. Die Abbildung 8 beinhaltet die Verteilung der weiblichen, männlichen und aller Verunglückten nach der Verletzungsschwere. In Bezug auf die schwer und schwerst Verletzten lässt sich kein Unterschied zwischen den Geschlechtern erkennen. Mit 8 % ist der Anteil der tödlich Verunglückten bei den Männern etwas höher als bei den Frauen. Auf Basis dieser Analyse beider Geschlechter lässt sich kein signifikanter Unterschied einer erhöhten Verletzungsschwere feststellen.

Verletzungsschwere der Patienten bei schweren Verkehrsunfällen nach Geschlecht

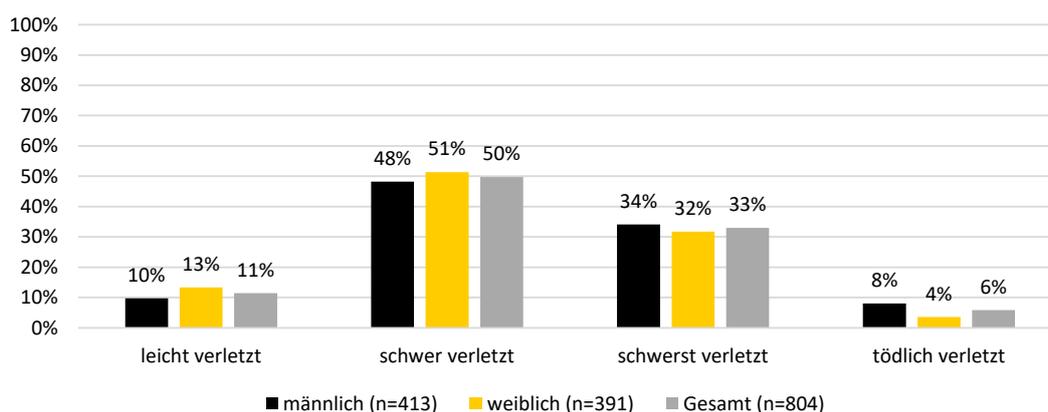


Abbildung 8: Analyse der ADAC Unfalldatenbank – Verteilung der Verletzungsschwere nach Geschlecht der Pkw-Insassen

Obwohl sich hinsichtlich der Verletzungsschwere keine Varianz gezeigt hat, soll mit Hilfe Abbildung 9 untersucht werden, ob sich spezifische Verletzungsmuster in Abhängigkeit des Geschlechts identifizieren lassen. Ebenso wie Abbildung 7 veranschaulicht Abbildung 9 die Häufigkeit von diagnostizierten Traumata in bestimmten Körperbereichen. Sowohl bei weiblichen als auch bei männlichen Pkw-Insassen traten Verletzungen am Thorax mit 64 % am häufigsten auf. Der Oberkörper wird infolge eines Frontalzusammenstoßes aufgrund des Pulses und der sicherheitsrelevanten Systeme wie Airbag und

Gurte am stärksten belastet. Unterschiede zwischen den Geschlechtern in Bezug auf die verletzte Körperregion lassen sich am Kopf, dem Becken und den unteren Extremitäten feststellen. 10 % mehr männliche Insassen erleiden ein Schädel-Hirn-Trauma. Ein möglicher Grund hierfür ist, dass die Unfallschwere bei den Unfällen mit männlichen Pkw-Insassen tendenziell höher ist. Eine Gegenüberstellung der CDC 8-Werte in Bezug auf das Geschlecht zeigte im Durchschnitt eine höhere Deformationstiefe des Fahrzeugs, in welchem ein Mann auf dem Fahrer- oder Beifahrersitz verunglückte. Bei den Frauen treten dagegen häufiger Beckenverletzungen (+ 10 %) auf, welche sich anhand der Unterschiede in der Anatomie der Geschlechter erklären lässt. Das weibliche Becken ist nicht nur durchschnittlich breiter gebaut, sondern verfügt auch über eine größere Beckenöffnung, um eine Geburt ermöglichen zu können. Diese Geometrie führt dazu, dass z.B. durch den Gurt und dessen Krafteinleitung über die Beckenschaukeln die Wahrscheinlichkeit einer Beckenverletzung bzw. -fraktur höher ist [4]. Mit Hilfe der anatomischen Unterschiede lässt sich auch eine erhöhte Frequenz an verletzten unteren Extremitäten bei den Frauen erklären. Infolge einer niedrigeren Knochendichte und einer geringeren Muskelmasse brechen die weiblichen Knochen bereits bei einer geringen Belastung [4]. Hinsichtlich der Schwere der Traumata in den einzelnen Körperregionen lassen sich keine Differenzen zwischen den Geschlechtern feststellen. Während Traumata im Bereich des Beckens und des Abdomens am häufigsten lebensbedrohliche bis tödliche Verletzungen verursachen, ist der Anteil von 5 % tödlicher Traumata bei Schädel-Hirn-Verletzungen am höchsten.

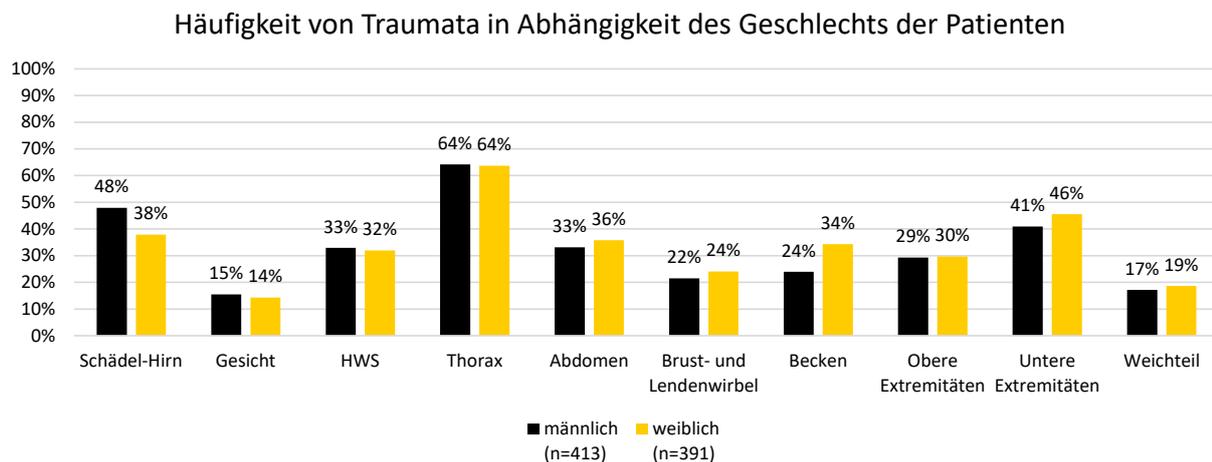


Abbildung 9: Analyse der ADAC Unfalldatenbank - Häufigkeit der diagnostizierten Traumata der Pkw-Insassen nach Geschlecht

Laut einer Studie des Insurance Institute for Highway Safety (IIHS) resultiert ein erhöhtes Verletzungsrisiko für Frauen in den USA nicht aus den anatomischen Unterschieden, sondern aus dem Fahrzeugtyp, mit welchem weibliche Insassen verunfallen [14]. Um diese These zu untersuchen, wurden die ADAC Unfalldaten hinsichtlich der Fahrzeugklasse, mit welcher die Insassen in Abhängigkeit ihres Geschlechts verunglückten, untersucht. Wie in Abbildung 10 ersichtlich, verunfallen sowohl Männer als auch Frauen am häufigsten mit Fahrzeugen der Mittelklasse (z.B. VW Golf, Opel Astra, BMW 3er). Während Frauen häufiger mit Kleinwagen verunglücken, ist der Anteil männlicher Insassen in Fahrzeugen der Oberen Mittelklasse und der Oberklasse höher. Obwohl die Datenbankanalyse Unterschiede bei der Benutzung von Fahrzeugen unterschiedlicher Klassen bei den Geschlechtern aufzeigt, wird aus dem rechten Diagramm in Abbildung 10 ersichtlich, dass keine der betrachteten Fahrzeugklasse ein erhöhtes Verletzungsrisiko mit sich bringt.

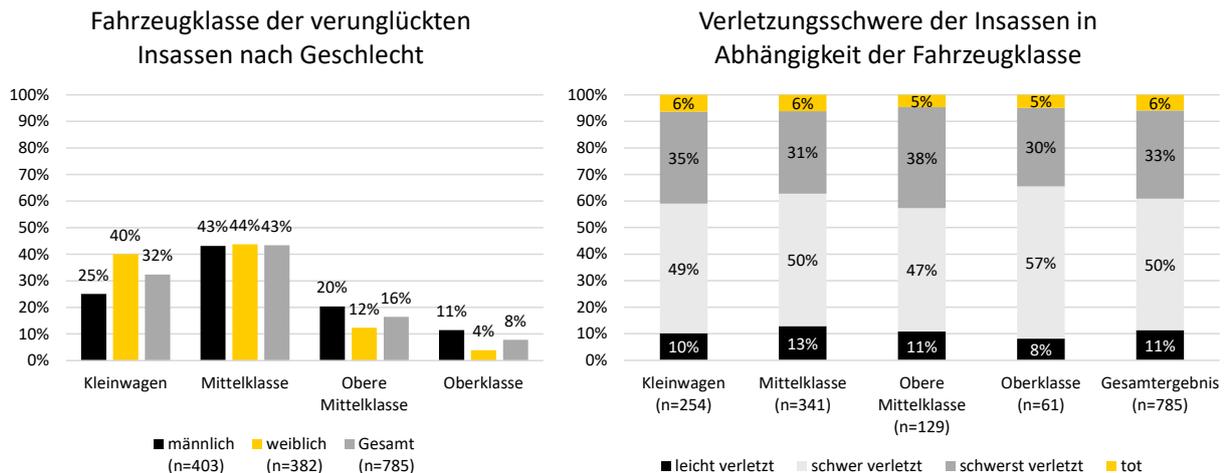


Abbildung 10: Analyse der ADAC Unfalldatenbank – Zusammenhang zwischen Fahrzeugklasse und Geschlecht der Pkw-Insassen

Neben der Fahrzeugklasse gilt es auch das Alter des Unfallfahrzeugs bei der Bewertung der Unfall-schwere zu berücksichtigen. Durch gesetzliche Regulierungen und steigende Anforderungen im Verbraucher-schutz steigt die Sicherheit von Fahrzeugen stetig an. Innerhalb der Analyse von Verkehrsun-fällen wurden nur Fahrzeuge berücksichtigt, deren Baujahr größer gleich 2005 ist, um ein Mindestmaß an fahrzeugseitigen Sicherheitssystemen festzulegen. Die Auswertung zeigte, dass die Verletzungs-schwere der Insassen mit dem Alter der Unfallfahrzeuge ansteigt. Zudem ist der Anteil der weiblichen Insassen, die in einem älteren Fahrzeug (> 6 Jahre zum Unfallzeitpunkt) verunglückten, höher als der der Männer. Demzufolge ergibt sich ein erhöhtes Verletzungsrisiko für Frauen aufgrund des höheren Alters der Unfallfahrzeuge.

Die Datenbankanalyse in Bezug auf das Geschlecht der Unfallbeteiligten zeigte kein signifikant höheres Verletzungsrisiko für männliche oder weibliche Pkw-Insassen. Die spezifische Anatomie von Frauen führt zu einem anderen Verletzungsmuster im Vergleich zum Mann. Während ein Thorax-Trauma bei beiden Geschlechtern am häufigsten diagnostiziert wurde, verursacht ein Frontal-Zusammenstoß bei Frauen häufiger ein Trauma im Becken und bei Männern häufiger ein Schädel-Hirn-Trauma.

Unfallanalyse von Pkw-Insassen in Abhängigkeit des Alters

Für die Untersuchung einer erhöhten Verletzungswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit des Alters wird der Masterdatensatz mit 804 Patienten in folgende drei Gruppen unterteilt: Pkw-Insassen jünger 30 Jahre, Pkw-Insassen zwischen 30 und 59 Jahren, Pkw-Insassen 60 Jahre und älter. Jeweils ein Viertel der Unfallbeteiligten werden der Gruppe der unter 30-Jährigen und der über 59-Jährigen zugeordnet, während circa die Hälfte der Pkw-Insassen zwischen 30 und 59 Jahre alt ist. Da sowohl bei Frauen also auch bei Männern die Knochendichte bis zum 30. Lebensjahr zunimmt und ab 60 Jahren wieder stark sinkt, wurden diese beiden Grenzen bei der Einteilung der Altersgruppen gewählt. Der altersabhängige Knochenabbau, welcher bei Frauen stärker ausgeprägt ist als bei Männern, führt zu einem erhöhten Risiko für Frakturen, besonders häufig im Bereich der Wirbelsäule und des Oberschenkelhalses. [15] In Abbildung 11 ist die Verletzungsschwere der betrachteten Pkw-Insassen in Abhängigkeit der ge-wählten Altersgruppen dargestellt. Mit zunehmendem Alter steigt die Verletzungsschwere bei schwe-ren Frontalzusammenstößen stetig an. Während bei den jüngeren Unfallbeteiligten 34 % und bei den Pkw-Insassen zwischen 30 und 59 Jahren 37 % schwerst oder tödlich verletzt werden, steigt dieser Anteil bei den über 60-Jährigen auf 46 % an. Demzufolge haben ältere Insassen ein erhöhtes Verletzungs- risiko im Vergleich zu den Jüngeren, welches anhand der physiologischen Veränderungen der Knochen begründet werden kann. [16]

Verletzungsschwere der Patienten nach Alter

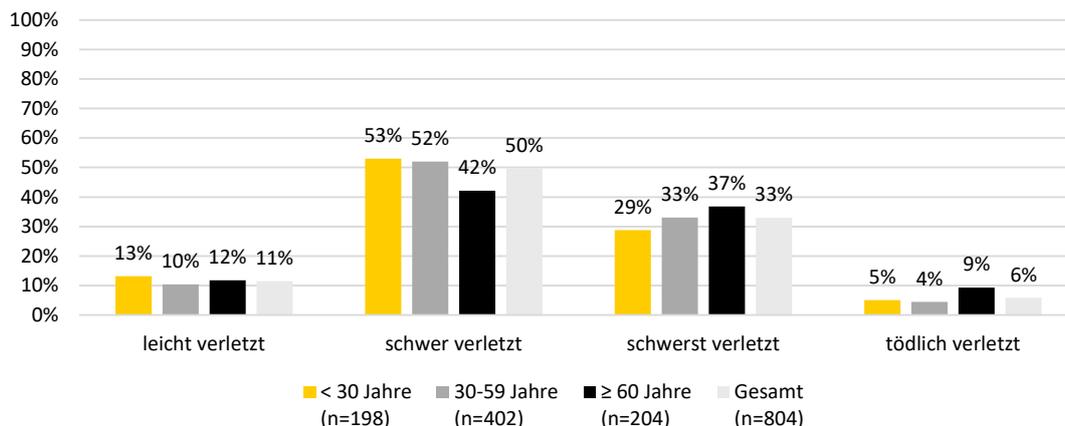


Abbildung 11: Analyse der ADAC Unfalldatenbank – Verteilung der Verletzungsschwere nach Alter der Pkw-Insassen

Analog zur Abbildung 9 zeigt Abbildung 12, wie häufig ein Trauma in den unterschiedlichen Körperregionen innerhalb der drei Altersgruppen aufgetreten ist. Am häufigsten wird bei allen Patienten unabhängig vom Alter ein Thoraxtrauma diagnostiziert. Während mehr als die Hälfte der unter 30-Jährigen eine Verletzung des Thorax erleiden, sind es bei den über 60-Jährigen 75 %. Aufgrund der verringerten Knochendichte im zunehmenden Alter und der Rückhaltung durch den Gurt stellen die Notärzte bei den über 60-Jährigen am Unfallort häufig einen instabilen Thorax, einen Pneumothorax und Atemnot fest. Zudem treten bei dieser Altersgruppe vermehrt Vorerkrankungen des Herz-Kreislaufsystems auf, wodurch im Vergleich zu Jüngeren bei gleicher Belastung schwerwiegendere Verletzungen verursacht werden können. Der Vergleich der Altersgruppen in Abbildung 12 zeigt außerdem, dass über 60-Jährige häufiger Verletzungen am Kopf und Abdomen erleiden. Bei den jungen Pkw-Insassen treten dagegen vermehrt Traumata am Becken und den unteren Extremitäten auf.

Häufigkeit von Traumata in Abhängigkeit des Alters der Patienten

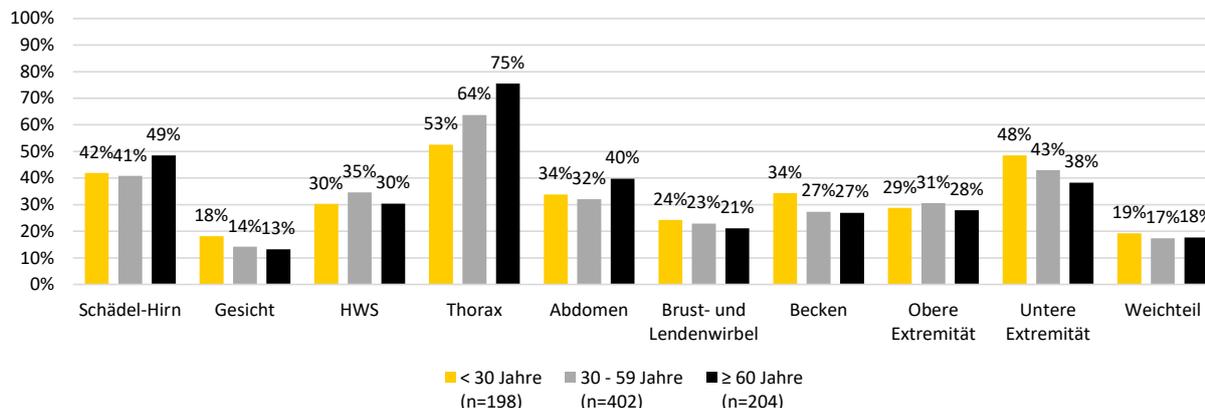


Abbildung 12: Analyse der ADAC Unfalldatenbank - Häufigkeit der diagnostizierten Traumata der Pkw-Insassen nach Alter

Neben der Häufigkeit der Traumata, welche bei den verunfallten Personen vor Ort festgestellt werden, gilt es auch die Schwere der diagnostizierten Traumata zu berücksichtigen. Hierzu wurde die Schwere der Verletzung in den Körperregionen, in denen mit Hilfe von Abbildung 12 Auffälligkeiten zwischen den Altersgruppen festgestellt wurden, in Abbildung 13 dargestellt. Anhand der Abbildung lässt sich erkennen, dass bei den über 60-Jährigen nicht nur häufiger Traumata am Thorax und Abdomen diagnostiziert werden, sondern diese Verletzungen zu einem höheren Anteil im Vergleich zu den anderen Altersgruppen schwer, kritisch oder tödlich sind. Obwohl die jüngeren Pkw-Insassen häufiger eine Beckenverletzung erleiden, führt ein Trauma des Beckens bei den über 60-Jährigen öfter zu schweren bis tödlichen Verletzungen.

Schwere der Traumata in Abhängigkeit des Alters

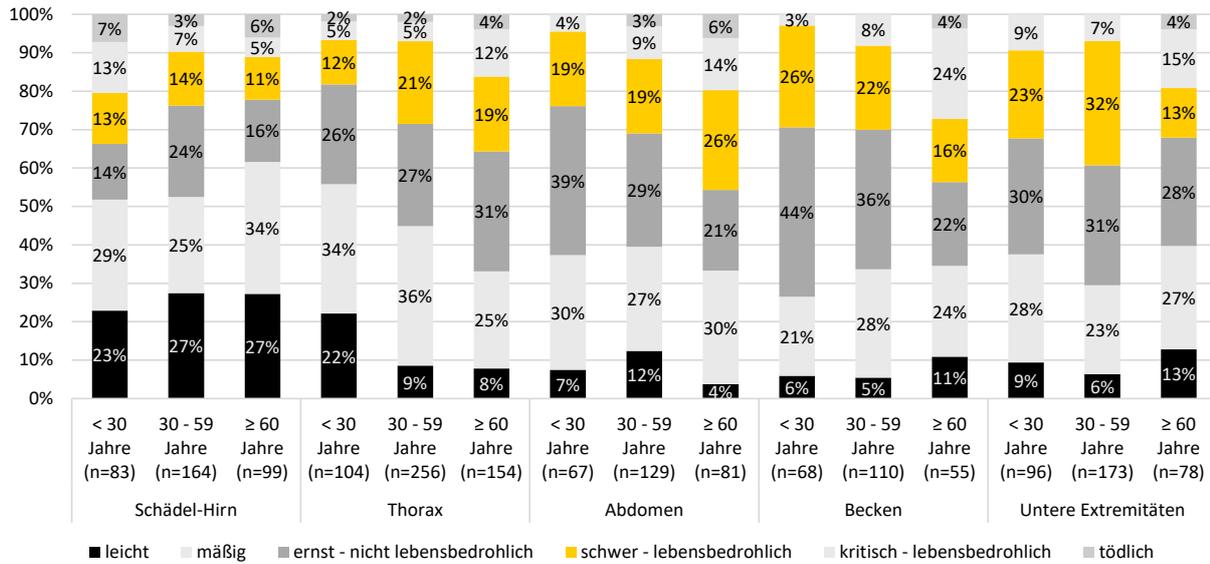


Abbildung 13: Analyse der ADAC Unfalldatenbank - Schwere der diagnostizierten Traumata der Pkw-Insassen nach Alter

Bei älteren Pkw-Insassen werden zwar öfter Schädel-Hirn-Traumata festgestellt, diese sind jedoch nur bei 22 % der Patienten schwer bis tödlich, während dieser Anteil bei den unter 30-Jährigen bei 33 % liegt. Ein möglicher Grund für diese höhere Verletzungsschwere wird in Abbildung 14 dargestellt. Die Abbildung veranschaulicht die Verteilung der Schwere der Fahrzeugdeformation anhand des CDC8-Werts über die drei Altersgruppen. Der CDC8-Wert codiert die Verformungstiefe am Fahrzeug infolge des Verkehrsunfalls. Er bestimmt damit die Schwere des Unfalls und die Höhe der Belastung, die auf den Pkw-Insassen gewirkt hat. Die Abbildung 14 belegt, dass die Fahrzeuge, in denen sich die über 60-Jährigen befunden haben, verhältnismäßig geringer deformiert wurden und demnach die Unfallschwere niedriger ist als bei den Vergleichsgruppen. Mit 16 % ist der Anteil an stark deformierten Fahrzeugen bei den unter 30-Jährigen doppelt so hoch im Vergleich zu den älteren Pkw-Insassen. Diese durchschnittlich höhere Unfallschwere der Jüngeren ist ein Grund für die schwerwiegenden Kopfverletzungen sowie die häufiger auftretenden Traumata der unteren Extremitäten dieser Altersgruppe.

Schwere der Fahrzeugdeformation (CDC8) nach Alter der Patienten

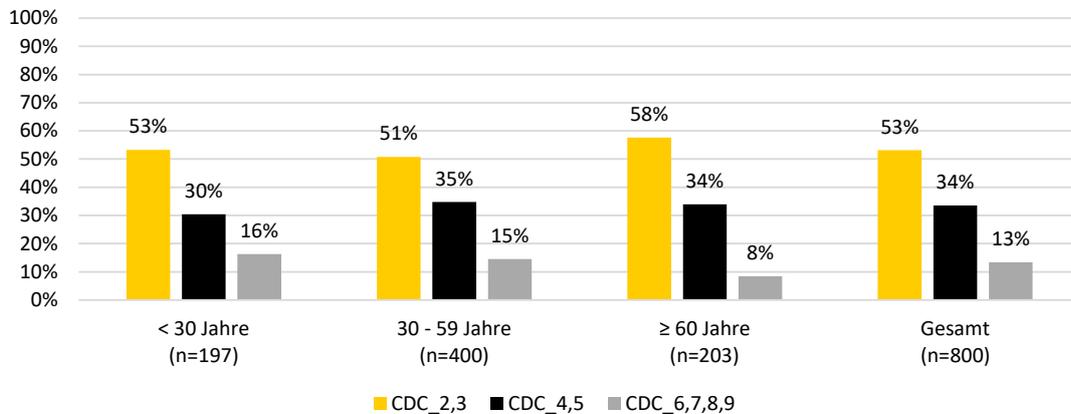


Abbildung 14: Analyse der ADAC Unfalldatenbank – Zusammenhang zwischen Deformationstiefe/Unfallschwere und Alter der Pkw-Insassen

Die Analyse der ADAC Unfalldaten legte dar, dass die Verletzungsschwere infolge einer Frontalkollision im Durchschnitt bei den über 60-Jährigen höher liegt im Vergleich zu jüngeren Vergleichsgruppen. Gründe hierfür liegen in den physiologischen Veränderungen mit steigendem Alter wie beispielsweise eine verringerte Knochendichte. Besonders häufig treten schwere Verletzungen am Kopf, Thorax und Abdomen auf.

Unfallanalyse von Pkw-Insassen in Abhängigkeit der körperlichen Proportionen

Neben dem Alter und Geschlecht soll der Einfluss der Größe und des Gewichts von Pkw-Insassen auf die Verletzungsschwere und -muster in Frontalkollisionen untersucht werden. Eine häufig verwendete Kennzahl stellt der Body Mass Index (BMI) dar, welcher die Größe und das Gewicht einer Person ins Verhältnis setzt: Körpergewicht dividiert durch die Körpergröße ins Quadrat. Entsprechend der World Health Organization (WHO) werden mit Hilfe des BMI die in Abbildung 15 dargestellten Gewichtsklassen unterschieden. Der BMI wurde als Risikokennzahl für Krankheiten entwickelt, da sich mit steigendem BMI auch das Risiko für Krankheiten im Zusammenhang mit Adipositas erhöht. Hierzu gehören unter anderem Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Bluthochdruck, Arthrose und Diabetes. [13]

$$BMI \left[\frac{kg}{m^2} \right] = \frac{\text{Körpergewicht [kg]}}{(\text{Körpergröße [m]})^2}$$

BMI	Kategorie
< 18,5	Untergewicht
18,5 bis 24,9	Normalgewicht
25,0 bis 29,9	Prä-Adipositas
≥ 30,0	Adipositas

Abbildung 15: Berechnung und Kategorien des Body Mass Index (BMI) [13]

Im Fokus dieses Verbraucherschutzprojektes steht neben dem Übergewicht auch die vom Gewicht unabhängige Körpergröße, um beurteilen zu können, ob kleine oder große Insassen ein erhöhtes Verletzungsrisiko infolge eines Frontalzusammenstoßes haben. Die Körpergröße hat einen gravierenden Einfluss auf die Sitzposition im Fahrzeug. Während kleinere Personen besonders als Fahrer näher am Lenkrad sitzen, um die Pedale bedienen zu können, wählen größere Insassen eine weiter vom Lenkrad entfernte und niedrigere Sitzposition. Da die Rückhaltesysteme (Airbags, Gurte) meist starr an Komponenten wie dem Lenkrad, der A- oder B-Säule befestigt sind, kann sich die Interaktion des Insassen mit diesen in Abhängigkeit der Sitzposition des Insassen verändern.

Analog zum Alter und Geschlecht der Pkw-Insassen kann mit Hilfe der ADAC Unfalldatenbank nur stark begrenzt eine Analyse von realen Verkehrsunfällen durchgeführt werden, da im Rahmen der Unfallaufnahme und Datenverarbeitung keine Informationen über das Gewicht und die Größe der Patienten vorliegen. Es stehen lediglich 25 Datensätze über Patienten zur Verfügung, bei denen der behandelnde Notarzt in der Anamnese das Vorhandensein eines starken Übergewichts notiert hat. Diese Angabe erfolgt jedoch freiwillig und im Ermessen des Notarztes. Die Anzahl an adipösen Patienten ist jedoch zu gering, um einen repräsentativen Vergleich mit allen zur Verfügung stehenden Pkw-Insassen (n=804) durchzuführen.

Als Folge des demographischen Wandels war es das Ziel des EU-Projektes SENIORS, ein Verständnis von Verletzungsmechanismen und Risiken von älteren und adipösen Verkehrsteilnehmern zu entwickeln und diese Erkenntnisse in Test- und Bewertungsverfahren umzusetzen. So soll sichergestellt werden, dass trotz der steigenden Lebenserwartung und dem hohen Anteil von im Straßenverkehr getöteten älteren Menschen die Zahl der Verkehrstoten in der EU weiter reduziert wird [17]. Eine Untersuchung der adipösen Personen in den europäischen Ländern zeigte, dass der Anteil von übergewichtigen Personen in der Gesamtbevölkerung mit durchschnittlich 10 % bis 15 % recht gering ist. Dies erschwert es, eine ausreichend hohe Anzahl an Unfalldaten für eine Analyse zu sammeln, um unterschiedliche Verletzungsarten und -muster von adipösen Insassen zu ermitteln. Im Rahmen der Erhebung von Verkehrsunfällen für die German In-depth Accident Study (GIDAS) wird häufig auch der BMI der Unfallbeteiligten codiert. Im Zuge des SENIORS Projekt wurde auf die GIDAS Unfalldatenbank

zurückgegriffen, um das Verkehrsunfallgeschehen von adipösen Unfallbeteiligten untersuchen zu können. Abbildung 16 veranschaulicht die Verteilung der Verletzungsschwere von Pkw-Insassen auf dem Fahrer- und Beifahrersitz in Abhängigkeit des BMI bzw. der dazugehörigen Gewichtsklassen. Die Verletzungsschwere der Pkw-Insassen wird in der Abbildung in Form von MAIS-Werten angegeben. Anhand der Abbreviated Injury Scale (AIS) wird die Letalität von Einzelverletzungen infolge eines Verkehrsunfalls bewertet, wobei die Werte von 0 (keine Verletzung) bzw. 1 (leichte Verletzung) bis 6 (tödliche Verletzungen) reichen. Die höchste codierte AIS-Einzelverletzung wird wiederum als Kennziffer MAIS (Maximaler AIS) angegeben. Aus Abbildung 16 wird ersichtlich, dass sich keine signifikante Unterschiede in Bezug auf ernsthafte und schwere Verletzungen (MAIS 2, MAIS 3+) in Abhängigkeit des Gewichts der Pkw-Insassen feststellen lassen. Abgesehen von Pkw-Insassen mit Adipositas Grad III nahm der Anteil an unverletzten übergewichtigen Unfallbeteiligten im Vergleich zu Pkw-Insassen mit Normalgewicht sogar zu. Demzufolge liefern die GIDAS-Daten keine Hinweise auf ein erhöhtes Verletzungsrisiko für adipöse Fahrzeuginsassen. [18]

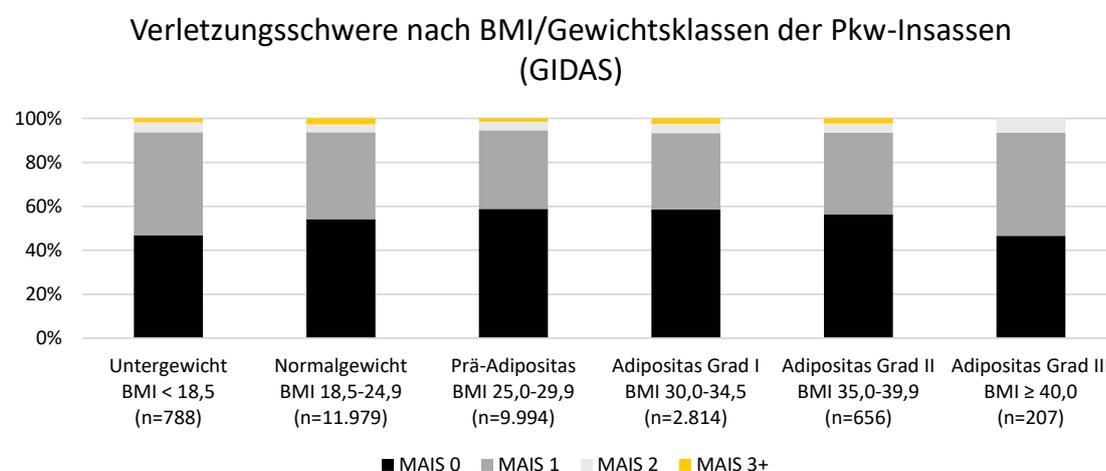


Abbildung 16: Analyse von Verkehrsunfällen der GIDAS-Datenbank im Rahmen des SENIORS Projektes: Verteilung der Verletzungsschwere (MAIS) von Pkw-Insassen (Fahrer/Beifahrer) über BMI bzw. Gewichtsklassen [18]

Obwohl die Analyse der Unfalldaten keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf das Verletzungsrisiko von Pkw-Insassen mit höherem Gewicht aufzeigen, wurde anhand von Schlittenversuchen die Wechselwirkung zwischen adipösen Pkw-Insassen und den Rückhaltesystemen untersucht. Eine Auswertung von Daten über die europäische Bevölkerung zeigt nämlich, dass es einen Zusammenhang zwischen einem höheren durchschnittlichen BMI von 26 bis 27 und einem höheren Alter gibt [18]. Es ist zudem denkbar, dass bei Insassen mit einer größeren Körperfülle die Wahrscheinlichkeit des Submarining-Effekts höher ist. Der Beckengurt liegt aufgrund des größeren Bauchumfanges nicht direkt an den Beckenschaufeln an und rutscht infolge der Verzögerung durch den Unfall in den Bauchraum. Dies kann zu schweren bis tödlichen Verletzungen der inneren Organe führen. Ebenso gilt es zu untersuchen, ob der Gurt und der Airbag den adipösen Insassen aufgrund des höheren Gewichts ausreichend zurückhalten können.

Schlussfolgerung

Neben der Auswertung der ADAC Unfalldatenbank wurden auch Schlittenversuche mit unterschiedlichen Dummies von der kleinen Frau bis zum übergewichtigen Mann durchgeführt. Hierbei wurden sowohl konventionellen als auch adaptive Rückhaltesysteme eingesetzt, um untersuchen zu können, ob adaptive Gurte und Airbags das Verletzungsrisiko der identifizierten Risikogruppen verringern können. Die durchgeführten Schlittenversuche mit den Dummies THOR 50 (durchschnittlicher Mann) und THOR 5 (kleine, schwächliche Frau) deuten darauf hin, dass adaptive Rückhaltesysteme bei beiden Personengruppen einen positiven Einfluss auf den Verletzungsgrad haben könnten. Eine Reduzierung der Belastung auf die Brust und das Abdomen der 5 Perzentil-Frau könnten aufgrund des geringeren Körpergewichts besonders „weichere“ Rückhaltesysteme erzielen.

Anhand der Unfalldatenauswertung konnten die über 60-jährigen Pkw-Insassen als Risikogruppe identifiziert werden. Eine erhöhte Vulnerabilität mit steigendem Alter führt in dieser Personengruppe zu häufig auftretenden und schwerwiegenden Traumata im Bereich des Kopfes, Thorax und Abdomen. Insbesondere die in diesem Projekt eingesetzten adaptiven Rückhaltesysteme würden das Verletzungsrisiko reduzieren, da die Wahrscheinlichkeit einer Fraktur aufgrund der verringerten Knochendichte im höheren Alter durch die „weicheren“ Sicherheitssysteme verringert wird.

Im Rahmen der Schlittenversuche war es nicht möglich, die Sicherheit von großen und schweren Insassen durch adaptive Rückhaltesysteme zu verbessern, da der Airbag mittels einer Auslassöffnung und der Gurt anhand eines niedrigeren Niveaus des Gurtkraftbegrenzers lediglich weicher geschaltet werden konnten. Demzufolge würde sich ein erhöhtes Verletzungsrisiko für diese Personengruppe ergeben. Weder innerhalb der GIDAS noch der ADAC Unfalldatenbank konnte jedoch eine erhöhte Anzahl an verunfallten Pkw-Insassen, die an Adipositas leiden, festgestellt werden. Neben den in den Versuchen eingesetzten Sicherheitssystemen gibt es noch weitere Möglichkeiten die Insassensicherheit insbesondere von Personen mit einem höheren Körpergewicht zu verbessern: Selbstsichernde Gurtzunge, mehrfache Gurtstraffung, Knieairbag und Sitzairbag.

Literatur

- [1] **Statistisches Bundesamt (Destatis)** (2020). Verkehrsunfälle 2019 Fachserie 8 Reihe 7. Wiesbaden: Destatis.
- [2] **Rokosch, Uwe** (2011). Airbag und Gurtstraffer. Vogel Buchverlag, 2. Auflage
- [3] **Euro NCAP** (2021). Wie die Sterne zu verstehen sind. Verfügbar unter <https://www.euroncap.com/de/euro-ncap/wie-die-sterne-zu-verstehen-sind/> (abgerufen am 01.12.2021)
- [4] **König, Peter** (2020). Berücksichtigung von „Randgruppen“ (kleine Personen, Senioren und Frauen auch unter dem Aspekt der Gendergerechtigkeit) bei der Zulassung von Fahrzeugen bezüglich ihrer Sicherheit. Trier University of Applied Sciences.
- [5] **Euro NCAP** (2015). Frontalaufprall über volle Breite. Verfügbar unter <https://www.euroncap.com/de/fahrzeugsicherheit/die-bedeutung-der-bewertungen/insassenschutz-fuer-erwachsene/frontalaufprall/frontalaufprall-ueber-volle-breite/> (abgerufen am 02.08.2021)
- [6] **Wolf, Thambi** (12.11.2019). Sexistische Crash-Test-Dummies: Warum Frauen in Unfällen öfter sterben. Spiegel Online. Verfügbar unter <https://www.spiegel.de/panorama/autosicherheit-immer-nur-maennliche-crash-test-dummies-gefaehrden-frauen-a-76b3034e-31bf-4788-bbda-330658e73b1a> (abgerufen am 13.08.2021)
- [7] **Kleinberger M, Sun E, Eppinger R, Kuppa S, Saul R.** (1998). Development of improved injury criteria for the assessment of advanced automotive restraint systems. NHTSA Doc. 98-4405-9
- [8] **Verband der Automobilindustrie (VDA)** (2020). Analysen zur Automobilkonjunktur 2019. Berlin. Verfügbar unter <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKewisyt7C36nyAhWhCmMBHUdADNsQFnoECA0QAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.vda.de%2Fdam%2Fvda%2Fpublications%2F2020%2FEIS%2FAnalysen-2020%2FAnalysen%25202020.pdf&usq=AOvVaw0VLwhWTJeFIZQ8Y4IREYG1> (abgerufen am 11.08.2021)
- [9] **Humanetics Group** (2020). Products, Anthropomorphic Test Devices (ATD), Frontal Impact ATDs, Hybrid III 5th Female. Verfügbar unter <https://humanetics.humaneticsgroup.com/products/anthropomorphic-test-devices/frontal-impact/hybrid-iii-5th-female> (abgerufen am 11.08.2021)
- [10] **Humanetics Group** (2020). Products, Anthropomorphic Test Devices (ATD), Frontal Impact ATDs, Hybrid III 50th Male. Verfügbar unter <https://humanetics.humaneticsgroup.com/products/anthropomorphic-test-devices/frontal-impact/hybrid-iii-50th-male> (abgerufen am 11.08.2021)
- [11] **Humanetics Group** (2020). Products, Anthropomorphic Test Devices (ATD), Frontal Impact ATDs, Hybrid III 95th Male. Verfügbar unter <https://humanetics.humaneticsgroup.com/products/anthropomorphic-test-devices/frontal-impact/hybrid-iii-95th-male> (abgerufen am 11.08.2021)
- [12] **Statistisches Bundesamt (Destatis)** (2021). Durchschnittliche Körpergröße, durchschnittliches Körpergewicht, durchschnittl. Body-Mass-Index: Deutschland, Jahre (bis 2017), Geschlecht, Familienstand, Altersgruppen. Genesis-Online 12211-9018 (Mikrozensus).
- [13] **World Health Organization (WHO)** (2021) Body mass index – BMI. Verfügbar unter <https://www.euro.who.int/en/health-topics/disease-prevention/nutrition/a-healthy-lifestyle/body-mass-index-bmi> (abgerufen am 07.08.2021)

- [14] **Insurance Institute for Highway Safety (IIHS)** (2021). Vehicle choice, crash differences help explain greater injury risks for women. Verfügbar unter <https://www.iihs.org/news/detail/vehicle-choice-crash-differences-help-explain-greater-injury-risks-for-women> (abgerufen am 17.08.2021)
- [15] **Schramm, Markus; Kirschbaum, Stefan** (2021). Knochenerkrankungen: Osteoporosediagnostik. Verfügbar unter <https://www.orthopaedie-hef-rof.de/schwerpunkte/knochenerkrankungen/osteoporosediagnostik.html> (abgerufen am 10.08.2021)
- [16] **Johannsen, Heiko** (2013). Anpassung des Straßenverkehrs an die Anforderungen älterer Menschen: Vertiefende Unfallanalysen und Fahrzeuggestaltung in Mobilität und Demografische Entwicklung. Schriftenreihe der Eugen-Otto-Butz-Stiftung Band 07. Schlag, Bernhard; Beckmann, Klaus (Hrsg.)
- [17] **Europäische Kommission** (2015) Safety-Enhancing Innovations for Older Road users – Horizon 2020. Verfügbar unter <https://cordis.europa.eu/project/id/636136/de> (abgerufen am 06.08.2021)
- [18] **Wisch, Marcus; Vukovic, Elvior; Schäfer, Roland; Hynd, David; Barrow, Adam; Khatry, Rahul; Fiorentino, Anita; Fornells, Alba; Puthan, Pradeep; Lübbe, Nils** (2017). Road traffic accidents involving the elderly and obese people in Europe incl. investigation of the risk of injury and disabilities. EU project Safety Enhanced Innovations for Older Road Users (SENIORS).