



GDV

Unfallforschung
der Versicherer

UNFALLFORSCHUNG KOMPAKT NR. 134

Insassenmerkmale und Verletzungsschwere



Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V.

Unfallforschung der Versicherer (UDV)
Wilhelmstraße 43 / 43 G, 10117 Berlin
Postfach 08 02 64, 10002 Berlin
Tel. 030 2020-5821, Fax 030 2020-6633
www.udv.de, www.gdv.de, unfallforschung@gdv.de

Redaktionsschluss

(2., korrigierte Fassung); 31.08.2025

Redaktion

Dr. Axel Malczyk

Realisation

zwoplus, Berlin

Bildnachweis

Titel: [gettyimages/Imgorthand](https://www.gettyimages.com/)

Die Nutzungsrechte der übrigen Bilder und Grafiken in dieser Broschüre liegen bei der Unfallforschung der Versicherer.

Alle Ausgaben

auf UDV.de

Disclaimer

Die Inhalte wurden mit der erforderlichen Sorgfalt erstellt. Gleichwohl besteht keine Gewährleistung auf Vollständigkeit, Richtigkeit, Aktualität oder Angemessenheit der darin enthaltenen Angaben oder Einschätzungen.

Inhalt

1. Einleitung	04
2. Motivation	05
3. Datenmaterial und -auswahl	06
4. Verletzungsschwere und -kodierung	08
5. Statistische Methoden	09
6. Ergebnisse der statistischen Analysen	12
6.1 Deskriptive Statistik	12
6.2 Univariate Analyse	16
6.3 Multivariate Analyse	16
6.3.1 Frontalanprall	16
6.3.2 Seitenanprall	19
6.3.3 Heckanprall	21
7. Zusammenfassung und Diskussion	24
7.1 Bewertung der Ergebnisse für den Frontalanprall	25
7.2 Bewertung der Ergebnisse für den Seitenanprall	27
7.3 Bewertung der Ergebnisse für den Heckanprall	27
Literaturverzeichnis	30

1. Einleitung

Seit einigen Jahren wird im Kontext von Gender Equity, also einer Gleichstellung von Frauen und Männern, vermehrt auch die Berücksichtigung von Unterschieden zwischen den Geschlechtern in Forschung und Wissenschaft diskutiert. Unter anderem wurde bei der Entwicklung und Auslegung der Crash-Sicherheit von Personenkraftwagen ein „Gender Gap“ vermutet, weil mehrere Studien mit Unfalldatenanalysen aus den USA ein höheres Risiko für mäßige und schwere Verletzungen bei weiblichen Pkw-Insassen im Vergleich zu männlichen festgestellt hatten [1, 2, 3].

In den Medien und der Politik wurde daraufhin oftmals vermutet, dass dies in der Tatsache begründet sei, dass in Frontal-Crashtests lange Zeit vorrangig ein Dummy mit Körpergröße und -gewicht eines durchschnittlich großen Mannes zum Einsatz kam. Vereinzelt wurde deshalb die Entwicklung eines durchschnittlich großen „weiblichen“ Dummys und sein Einsatz in Crashversuchen gefordert. Dabei wurde oft ignoriert, dass in der „Familie“ der Hybrid-III-Dummy-Generation neben dem sogenannten „50th percentile male“ unter anderem auch ein „5th percentile female“-Dummy existiert. Er bildet hinsichtlich Körpergröße und -gewicht eine Person des untersten fünften Perzentils der weiblichen Bevölkerung ab. Das heißt, nur 5 Prozent der weiblichen Erwachsenen sind noch kleiner und leichter als dieser Dummy mit einer Körpergröße von 150 cm bei einem Gewicht von 49 kg [4]. Seit einigen Jahren wird der „5th percentile female“ in einer der Frontalcrash-Konfigurationen des Verbraucherschutz-Testverfahrens EuroNCAP (European New Car Assessment Program) auf dem Fahrersitzplatz und auf dem äußeren Fondsitzplatz eingesetzt. Seit Kurzem kommt er auch im gesetzlichen Frontalaufprallversuch zur Fahrzeugzertifizierung nach ECE-R137 [5] auf dem Beifahrersitzplatz zum Einsatz.

2. Motivation

Eigene Analysen der Unfallforschung der Versicherer (UDV) hatten bereits 2013 gezeigt, dass weibliche Fahrer stärker als männliche von den – maßgeblich durch EuroNCAP getriebenen – Fortschritten des Insassenschutzes bei modernen Fahrzeugen profitierten, obwohl in den Tests zu diesem Zeitpunkt noch ausschließlich der „50th percentile male“ Verwendung fand [6].

Dennoch stellte sich die UDV – wie auch andere Forschungseinrichtungen in Deutschland – angesichts der in den USA veröffentlichten Studien die Frage, ob deren Ergebnisse auch für das Unfallgeschehen in Deutschland Gültigkeit hätten. Bereits 2022 veröffentlichte die UDV daher, basierend auf Daten zu Insassenverletzungen und Kollisionen aus ihrer eigenen Unfalldatenbank, eine Studie, die den Einfluss verschiedener Merkmale von über 1.700 Insassen, ihrer Fahrzeuge und der Unfallumstände auf die Verletzungsschwere mithilfe statistischer Analysen untersuchte [7]. Die Ergebnisse lieferten Anhaltspunkte, dass das Geschlecht besonders beim Frontalanprall auf dem Fahrersitzplatz von untergeordneter Bedeutung für die resultierende Gesamtverletzungsschwere ist, während andere Merkmale, wie die Sitzposition im Fahrzeug oder dessen Masse, wesentlich stärkeren Einfluss zeigten. Aufgrund der limitierten Fallzahl konnten aber beispielsweise zum Seitenanprall keine belastbaren Aussagen gemacht werden.

Im vorliegenden Forschungsprojekt in Zusammenarbeit mit der Unfallforschung an der Medizinischen Hochschule Hannover soll die Frage nach entscheidenden Einflussfaktoren auf die Verletzungsschwere mit ähnlicher Methodik erneut angegangen werden, indem die umfangreicheren und detaillierteren Unfalldaten des GIDAS-Projekts (German In-Depth Accident Study) mit geeigneten statistischen Verfahren analysiert werden. Grundgedanke ist dabei, mithilfe der sogenannten multivariaten logistischen Regressionsmethode zu statistischen Modellen für die Entstehung von Verletzungsbildern bestimmter Schwere zu gelangen, welche die realen Unfalldaten möglichst gut abbilden. Dann ließen sich die im Modell wirksamen einzelnen Einflussgrößen identifizieren und in ihrer jeweiligen Wirkung quantifizieren.

3. Datenmaterial und -auswahl

Im Rahmen des GIDAS-Projekts werden seit vielen Jahren prospektiv stichprobenartig Verkehrsunfälle in den Regionen Hannover und Dresden dokumentiert, bei denen mindestens eine Person verletzt wurde. Neben Daten zu den verunfallten Fahrzeugen, Kollisionsumständen und äußeren Bedingungen an der Unfallstelle werden anonymisiert auch Informationen zu beteiligten Personen, zum Beispiel deren demografische Daten und die Art der Verletzung, erhoben.

Für die hier beschriebene Studie wurden Unfälle aus den GIDAS-Erhebungsjahren 2000 bis 2019 analysiert und nur erwachsene Insassen eines Personenkraftwagens ab einem Alter von 18 Jahren eingeschlossen, die beim Unfall den Sicherheitsgurt trugen. Von den Personenkraftwagen wurden nur moderne Modelle mit einem Erstzulassungsjahr ab 2003 oder jünger berücksichtigt sowie Modelle, die auch nach 2003 noch am Markt verfügbar waren. Modelle mit (Klein-)Transporter-ähnlichem Charakter wurden ausgeschlossen. Weiterhin wurden nur Personenkraftwagen betrachtet, die genau eine Kollision mit einem anderen Pkw, einem Nutzfahrzeug oder einem Objekt hatten, zum Beispiel einer Schutzplanke oder einem Baum. Mehrfachkollisionen des Pkw, Überschlagunfälle oder Zusammenstöße mit Fußgängern und Fußgängerinnen, Radfahrenden oder motorisierten Zweirädern wurden ausgeschlossen. Damit ließen sich die Kollisionen der betrachteten Fahrzeuge in drei grundlegende Arten unterscheiden: in Frontalanpralle, also Anstöße von vorne gegen die Front, in Seitenanpralle, also Anstöße gegen die linke oder rechte Fahrzeugseite, und in Heckanpralle, wobei in der Regel ein anderes Fahrzeug von hinten auffuhr (Tabelle 1). Seitenanpralle wurden zudem danach unterschieden, ob Insassen auf derselben Seite saßen, an welcher auch der Anprall geschah – also stoßzugewandt –, oder ob der Stoß bezüglich der Sitzposition der Insassen von der gegenüberliegenden Fahrzeugseite erfolgte – also stoßabgewandt. Die Differenzierung zwischen diesen vier Szenarien ist entscheidend, weil sowohl typische Verletzungsmuster von der Art des Anpralls bestimmt werden als auch technische Maßnahmen zum Schutz der Insassen, wie Sicherheitsgurt, Kopfstütze und Airbag, nur in bestimmten Anprallarten voll wirksam sind.

Mit den oben beschriebenen Randbedingungen verblieben mehr als 12.000 Insassen, darunter viele verletzte und eine kleine Zahl getöteter Personen, aber auch Unverletzte, deren Merkmale im Weiteren hinsichtlich ihres Einflusses auf die Verletzungsschwere analysiert werden. Da zu erwarten ist, dass das Risiko für den Eintritt einer bestimmten Verletzungsschwere nicht allein durch die Eigenschaften des Insassen allein bestimmt wird, sondern auch durch das Fahrzeug und die Art und Schwere der Kollision, werden zunächst alle dafür in Frage kommenden Merkmale, die in GIDAS erhoben werden, einbezogen (Tabelle 2).

Tabelle 1 · Für die Analyse betrachtete Anprallarten und Sitzplätze von Pkw

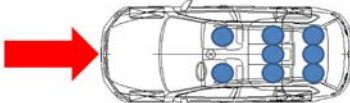
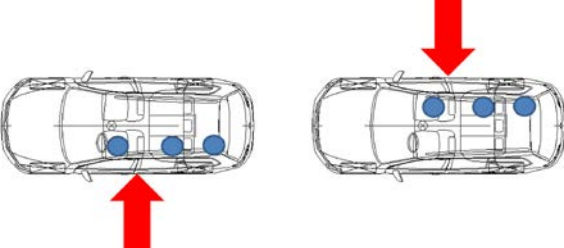
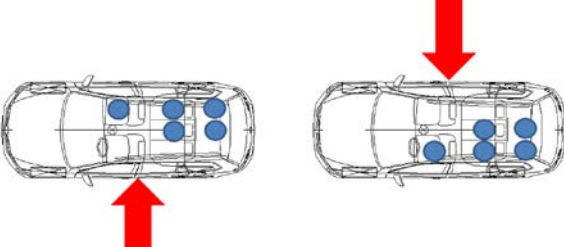
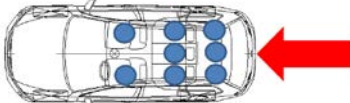
Szenarien	
Frontalanprall	
Seitenanprall, stoßzugewandte Seite	
Seitenanprall, stoßabgewandte Seite	
Heckanprall	

Tabelle 2 · In GIDAS verfügbare Merkmale für die Charakterisierung von Insassen, Pkw und Kollision

- | | | |
|--|--|---|
| <ul style="list-style-type: none">• Geschlecht• Alter (in Jahren)• Gewicht (in kg)• Body-Mass-Index (BMI)• Größe (in cm)• Relevante Vorerkrankungen• Sitzposition im Pkw | <ul style="list-style-type: none">• Airbagauslösung• Pkw-Fahrzeugklasse• Leergewicht des Pkw (in kg)• Crashgewicht (Leergewicht Pkw und Gewicht Insassen und Beladung) (in kg)• Erstzulassungsjahr Pkw• Pkw-Fahrzeugalter (in Jahren) | <ul style="list-style-type: none">• Kollisionsart• Aufprallbedingte Geschwindigkeitsänderung (in km/h)• Maximale Deformation (in cm)• Crashkompatibilität (Unterfahren, ...) |
|--|--|---|

4. Verletzungsschwere und -kodierung

In der Unfallforschung werden Verletzungen und ihre Schwere allgemein nach dem Abbreviated Injury Scale (AIS) kodiert [8]. Dabei sind Hunderte verschiedene Verletzungen, unterschieden nach Körperregionen, anhand eines international gebräuchlichen Katalogs nach dem Grad ihrer Lebensbedrohung auf einer Skala von AIS1 bis AIS6 eingeordnet. Verletzungen des Grades AIS1 sind geringfügig schwer, mit einem statistisch sehr geringen Risiko, daran zu versterben. Verletzungen, die als AIS5 kodiert sind, sind dagegen mit einem erheblichen Letalitätsrisiko verbunden. Besonders schweren Verletzungen, die nicht behandelbar beziehungsweise nicht überlebbar sind, wird der Grad AIS6 zugewiesen. Unverletzte Körperregionen werden allgemein mit AIS0 kodiert.

Um die Gesamtverletzungsschwere bei Personen mit Mehrfachverletzungen zu charakterisieren, wird der Maximum AIS (MAIS), welcher dem Score-Wert der größten vorgefundenen Einzelverletzungsschwere entspricht, angegeben. Der MAIS-Score reicht daher ebenfalls von MAIS0 bis MAIS6. Weil Verletzungsmuster mit MAIS4, MAIS5 oder MAIS6 aber sehr selten sind, wird bei den nachfolgenden statistischen Auswertungen besonders das Kollektiv von verunglückten Insassen mit einer Gesamtverletzungsschwere MAIS2+ betrachtet, im Weiteren auch bezeichnet als „mäßig schwer bis kritisch verletzt“. Das sind alle Personen, die eine Verletzungsschwere von mindestens MAIS2, aber auch schwerer aufwiesen. Dem stehen Insassen gegenüber, die entweder vollständig unverletzt blieben (MAIS0) oder nur geringfügig schwer verletzt wurden (MAIS1). Darüber hinaus wurde – wo sinnvoll – auch die Untergruppe von Personen mit einer Verletzungsschwere von mindestens MAIS3 (also MAIS3+, „schwer bis kritisch verletzt“) gesondert betrachtet. Im Rahmen der vorliegenden Publikation wird aus Platzgründen allerdings auf die Darstellung verzichtet.

5. Statistische Methoden

Bei der Datenanalyse kommt den gewählten statistischen Methoden große Bedeutung zu. Im Sinne einer besseren Verständlichkeit für in diesem Bereich unerfahrene Leser wird dabei auf einige fachspezifische Termini und Details verzichtet. Ebenso wird versucht, komplexe Zusammenhänge vereinfacht zu beschreiben, auch wenn dies nicht immer vollends der statistischen Theorie entspricht.

Im ersten Schritt werden Unfall-, Fahrzeug- und Verletzungsdaten statistisch rein deskriptiv, also beschreibend, behandelt. Zumeist werden dazu Anteilswerte in Prozent gebildet, wie häufig eine bestimmte Verletzungsschwere im Zusammenhang mit einem ausgewählten Merkmal vorgefunden wird. Beispielsweise wird der Anteil der Verletzten mit einer Gesamtverletzungsschwere MAIS2+ unter allen unfallbeteiligten weiblichen Insassen bestimmt und mit dem Anteil der Verletzten mit MAIS2+ unter allen unfallbeteiligten männlichen Insassen verglichen. Die Betrachtung solcher Anteilswerte ist vergleichbar mit dem Verletzungsrisiko und weitgehend unabhängig von den absoluten Fallzahlen verunglückter weiblicher und männlicher Insassen.

Im zweiten Schritt werden die Daten einer sogenannten „univariaten statistischen Analyse“ unterzogen.

Dabei wird untersucht, ob die abhängige Größe (hier: die Häufigkeit für eine bestimmte Verletzungsschwere) in einem statistisch belegbaren Zusammenhang mit dem jeweiligen betrachteten Einzelmerkmal – der unabhängigen Größe – steht.

Die für die Analyse zur Verfügung stehenden Unfalldaten stellen dabei selbstverständlich nicht die Gesamtheit aller Unfälle mit Personenschaden in Deutschland dar, sondern man ist bei GIDAS um eine repräsentative Stichprobe bemüht. Dennoch muss prinzipiell überprüft werden, inwieweit auf dieser Datengrundlage ermittelte Zusammenhänge als statistisch gesichert gelten können. Selbst bei großen Stichproben lässt sich nicht völlig ausschließen, dass die Datensätze eine „unglückliche Auswahl ausgefallener Unfallumstände“ sind, die ein nichtrepräsentatives Bild der Wirklichkeit – die niemand kennt – liefern. Dann würde man aus der Analyse der Daten eventuell falsche Schlussfolgerungen ziehen. Deshalb kommt besonders in der sogenannten schließenden Statistik, wo mit dem statistischen Ergebnis Prognosen für den Eintritt eines Ereignisses – hier: einer Wahrscheinlichkeit für das Zustandekommen einer bestimmten Verletzungsschwere – getroffen werden sollen, dem Begriff der statistischen „Signifikanz“ eine große Bedeutung zu. Ein Ergebnis wird allgemein als weitgehend gesichert (statistisch „signifikant“) angesehen, wenn sein sogenanntes Signifikanzniveau p unter 5 Prozent ($p < 0,05$) liegt. Das heißt, es besteht nur eine fünfprozentige Wahrscheinlichkeit, dass das Ergebnis zufällig zustande gekommen ist. Ein Signifikanzniveau unter 1 Prozent ($p < 0,01$) gilt allgemein als „hochsignifikant“.

Bei der Einordnung oder dem Vergleich von statistischen Ergebnissen sollte daher immer auch eine Angabe des Signifikanzniveaus erfolgen, um die Belastbarkeit des Ergebnisses beurteilen zu können. Ergebnisse mit einem Signifikanzniveau deutlich über $p = 0,05$ können im statistischen Sinn nicht als gesichert gelten. Wird bei einem Analyseergebnis das erforderliche Signifikanzniveau nicht erreicht, darf dies allerdings keinesfalls als Beweis des Gegenteils interpretiert werden. Zur konkreten Fragestellung, beispielsweise ob Männer oder Frauen in einem bestimmten

Kollisionsszenario ein größeres Risiko für eine bestimmte Verletzungsschwere haben, ließe sich dann einfach keine gesicherte Aussage machen.

Bei der univariaten statistischen Analyse wird also überprüft, ob ein Zusammenhang zwischen dem Risiko für eine Verletzungsschwere und einem bestimmten Merkmal, beispielsweise dem Vorhandensein von Vorerkrankungen des Insassen oder dem Gewicht des verunfallten Fahrzeugs, existiert und ob der Zusammenhang als statistisch gesichert („signifikant“) gelten kann. Mit anderen Worten: ob die Unfalldaten auf eine Korrelation zwischen der Verletzungsschwere und dem betreffenden Merkmal hinweisen. Je größer die gesamte Datenbasis ist, desto eher wird sich für – real vorhandene – Unterschiede auch eine statistische Signifikanz ergeben.

Wenn, wie bei der Verletzungsschwere zu erwarten, mehrere Merkmale gleichzeitig Einfluss auf das Ergebnis ausüben, zum Beispiel neben dem Alter des Insassen auch das Gewicht seines Pkw, ist man daran interessiert, den Effekt jedes einzelnen Merkmals getrennt von den übrigen Merkmalen zu bestimmen. Andernfalls besteht die Gefahr, zu Fehleinschätzungen darüber zu gelangen, von welchen Merkmalen die Verletzungsschwere entscheidend bestimmt wird und mit welchen Maßnahmen dem Risiko begegnet werden kann.

Aus diesem Grund wird im letzten Schritt der statistischen Analyse der GIDAS-Daten eine sogenannte „multivariate logistische Regression“ durchgeführt. Im Allgemeinen wird dabei ein mathematisch-statistisches Modell erstellt, das in geeigneter Art und Weise Merkmale einbezieht, die sich in der vorangehenden univariaten Analyse als „signifikant“ erwiesen. Vereinfacht ausgedrückt, stellt das Modell die Wahrscheinlichkeit beziehungsweise das Risiko, dass ein Pkw-Insasse eine bestimmte Verletzungsschwere erleidet, als Summe der Effekte der einzelnen, relevanten Einflussgrößen (Merkmale) dar.

Grundsätzlich zielt das Modell darauf ab, die Realität – in diesem Fall das Vorliegen einer bestimmten Verletzungsschwere in den jeweiligen Datensätzen für die Insassen der GIDAS-Stichprobe – möglichst gut abzubilden, um bei Variation innerhalb der Merkmale Vorhersagen für die Verletzungswahrscheinlichkeit treffen zu können. Im Laufe der Modelloptimierung eliminiert das statistische Verfahren ausgehend von der Gesamtheit aller verfügbaren – und sinnvollen – Merkmale durch „Rückwärts-Selektion“ selbstständig diejenigen, die keinen Beitrag zur „Erklärung“ liefern, also das Modell nicht besser machen. Die Qualität des finalen Modells lässt sich quantitativ an der Höhe der „Varianzerklärung“ (angegeben in Prozent) ablesen.

Die Merkmale des Modells sind entweder stetiger Natur, das heißt, ihre Größe lässt sich schrittweise angeben (zum Beispiel die aufprallbedingte Geschwindigkeitsänderung, welche sich in Schritten von je 1 km/h ausdrücken lässt), oder sie liegen als kategorielle Merkmale vor (beispielsweise hat das Merkmal Geschlecht die Ausprägung „männlich“ oder „weiblich“, das Merkmal Unfallgegner hat die möglichen Ausprägungen „Pkw“, „Nutzfahrzeug“ oder „Objekt“).

Der Effekt auf die abhängige Größe, wenn sich die Ausprägung eines Merkmals ändert, wird durch das sogenannte „Chancenverhältnis“ (auch: „Odds Ratio“, OR) ausgedrückt. Es beschreibt für ein bestimmtes Merkmal, wie groß das (Verletzungs-)Risiko mit der interessierenden Ausprägung ist im Verhältnis zum Verletzungsrisiko mit der als Referenz dienenden Ausprägung. Zur besseren Lesbarkeit werden die Termini „Chance“ und „Risiko“ im Folgenden synonym verwendet, in ihren mathematischen Definitionen unterscheiden sie sich geringfügig.

Ein Odds Ratio $OR = 1,0$ bedeutet, dass mit der interessierenden Ausprägung die Chance beziehungsweise das Risiko für eine bestimmte Verletzungsschwere genauso groß ist wie mit der Referenzausprägung. Ein $OR > 1,0$ bedeutet, dass mit der interessierenden Ausprägung – bei ansonsten unveränderten Randbedingungen – ein höheres Risiko besteht. Wenn beispielsweise das Risiko, eine MAIS2+ Verletzungsschwere zu erleiden, bei der Kollision mit einem „Nutzfahrzeug“ dem 1,3-Fachen des Risikos beim Zusammenprall mit einem „anderen Pkw“ (der „Referenzausprägung“) entspricht, so beträgt das Odds Ratio $OR = 1,3$. Es kann so interpretiert werden, dass sich bei Vorliegen der interessierenden Ausprägung das Risiko für diese Verletzungsschwere um 30 Prozent erhöht. Umgekehrt weist ein $OR < 1,0$ darauf hin, dass mit der interessierenden Ausprägung das Verletzungsrisiko gegenüber der Referenz verringert ist.

Bei einer stetigen Variablen lässt sich am Odds Ratio hingegen ablesen, wie sich die Chance beziehungsweise das Risiko ändert, wenn sich die Variable um eine Einheit erhöht. Im Beispiel der Aufprallsschwere bedeutet $OR = 1,07$, dass sich das Verletzungsrisiko um 7 Prozent erhöht, wenn die aufprallbedingte Geschwindigkeit um 1 km/h ansteigt. Dabei wird ein ungefähr linearer Anstieg des Verletzungsrisikos mit der Aufprallsschwere angenommen. Nicht bei allen stetigen Variablen ist ein solcher linearer Zusammenhang gegeben, wie Vorabanalysen der Daten zeigen. In solchen Fällen kann es sinnvoller sein, auch bei prinzipiell stetigen Merkmalen eine Unterteilung in zwei oder mehr Klassen vorzunehmen, zum Beispiel die Einteilung der Körpergröße in mehrere Klassen, von denen eine dann als Referenz dient.

Von vorrangigem Interesse ist bei der Analyse mithilfe der multivariaten Regression in erster Linie, wie stark sich das Risiko ändert, wenn ein einzelnes Merkmal eine andere Ausprägung annimmt. Um wieviel größer ist beispielsweise das Risiko einer Verletzungsschwere MAIS2+, wenn der Unfallgegner kein „Pkw“, sondern ein „Nutzfahrzeug“ ist oder wenn die aufprallbedingte Geschwindigkeitsänderung um eine Einheit zunimmt? Die Berechnung des konkreten Verletzungsrisikos, welches für einen Insassen aus dem Zusammenwirken mehrerer Merkmale und ihrer Ausprägungen resultiert, gestaltet sich hingegen komplex und besteht nicht einfach im Aufsummieren der Effekte.

Im Idealfall sollten Merkmale, die in ein multivariates Modell eingehen, voneinander unabhängig sein, sich also nach Möglichkeit nicht gegenseitig beeinflussen. Beispielsweise ist die Unabhängigkeit der Körpergröße und des Körpergewichts vom Merkmal Geschlecht im engeren Sinne nicht gegeben, weil Frauen durchschnittlich kleiner und leichter sind als Männer.

Zu beachten ist ferner, dass die Anzahl von Datensätzen aus GIDAS, die für die multivariate logistische Regression zur Verfügung stehen, schwanken kann in Abhängigkeit davon, zu welchen Merkmalen Angaben vorliegen. Trotz allen Aufwands bei der Unfalldatenermittlung ist es nicht zu vermeiden, dass zu einigen Merkmalen, beispielsweise dem Körpergewicht oder zu Vorerkrankungen von Personen, vereinzelt keine Angaben vorliegen, also „Datenlücken“ bestehen. Das statistische Modell kann selbstverständlich nur Datensätze berücksichtigen, bei denen zu allen relevanten Merkmalen Angaben vorhanden sind. Je mehr Merkmale durch das statistische Modell berücksichtigt werden, umso kleiner wird die Anzahl von Datensätzen sein, die für alle Merkmale Angaben aufweisen. Daher kann es mitunter ratsam sein, bei der Modellbildung nachträglich auf ein Merkmal zu verzichten, wenn im Gegenzug die Zahl gültiger Datensätze mit den übrigen Merkmalen deutlich zunimmt.

6. Ergebnisse der statistischen Analysen

6.1 Deskriptive Statistik

Basierend auf den GIDAS-Unfalldaten wird im Folgenden untersucht, wann sich für Pkw-Insassen Unterschiede in der Häufigkeit von Gesamtverletzungsschweren MAIS2+ (mäßig schwer bis kritisch verletzt) zeigen. Es handelt sich lediglich um eine beschreibende Darstellung. Die grafische Darstellung kann erste Hinweise auf mögliche Einflussfaktoren liefern, wobei unter anderem das Geschlecht der Insassen von besonderem Interesse ist. Ob tatsächlich kausale Zusammenhänge zwischen dem Risiko von MAIS2+ und einzelnen Merkmalen existieren, lässt sich damit noch nicht feststellen.

Die erste Betrachtung gilt der absoluten Anzahl von Insassen, unabhängig von der Verletzungsschwere, in verschiedenen Kollisionsszenarien. Frauen und Männer verteilen sich im Datenmaterial gemäß Abbildung 1 über die Anprallarten und Sitzplätze im Pkw. Allgemein erleiden Insassen am häufigsten auf dem Fahrersitzplatz einen Frontalanprall, darin sind deutlich mehr Männer als Frauen verwickelt.

Bei Personen auf dem Beifahrersitzplatz ist im Frontalanprall das Bild umgekehrt: Insgesamt sind auf diesem Platz zwar wesentlich weniger Insassen zu finden, aber die Zahl von Frauen auf dem Beifahrersitz ist fast doppelt so hoch wie die von Männern. Die Anzahl von Rücksitzinsassen mit einem Frontalanprall ist wegen der relativ seltenen Besetzung dieser Sitzplätze durch Erwachsene klein, aber auch hier überwiegt die Zahl weiblicher Insassen. Beim Seiten- und Heckanprall sind, ohne Differenzierung nach dem Sitzplatz, männliche Insassen geringfügig häufiger vertreten als weibliche.

Auf dem Fahrersitzplatz mehr Männer als Frauen, auf dem Beifahrersitzplatz und Rücksitz umgekehrt

Abbildung 1 · Anzahl von Insassen in GIDAS, nach Anprallart und Geschlecht

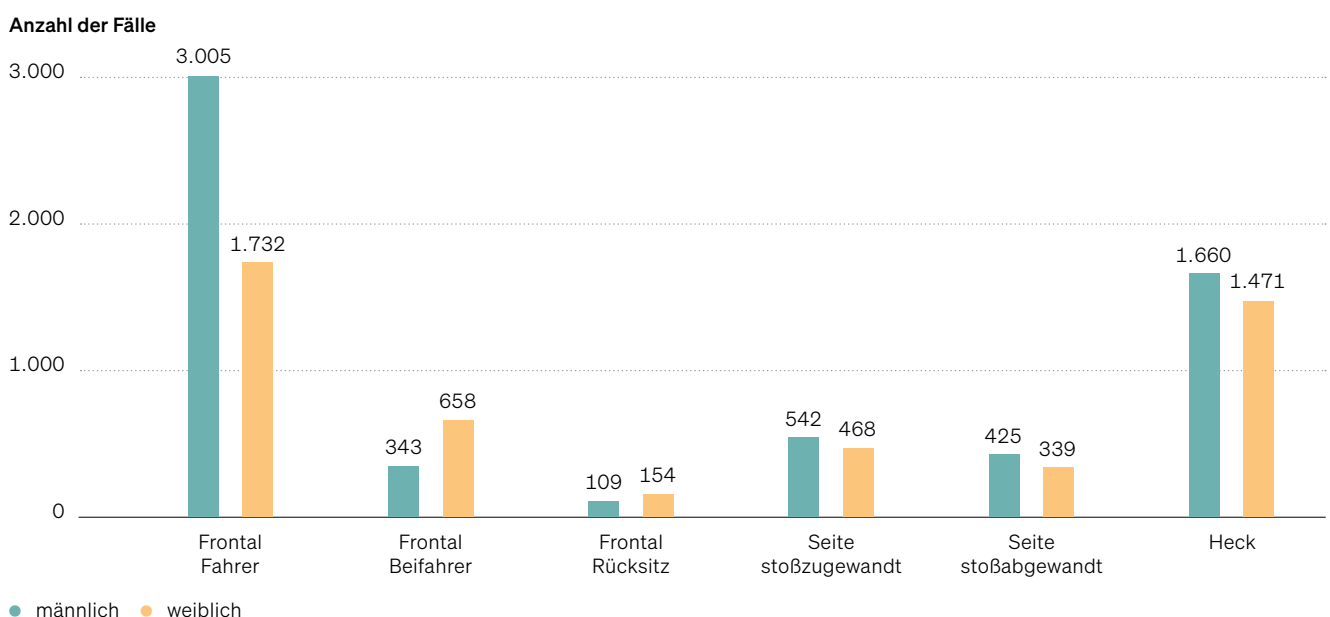
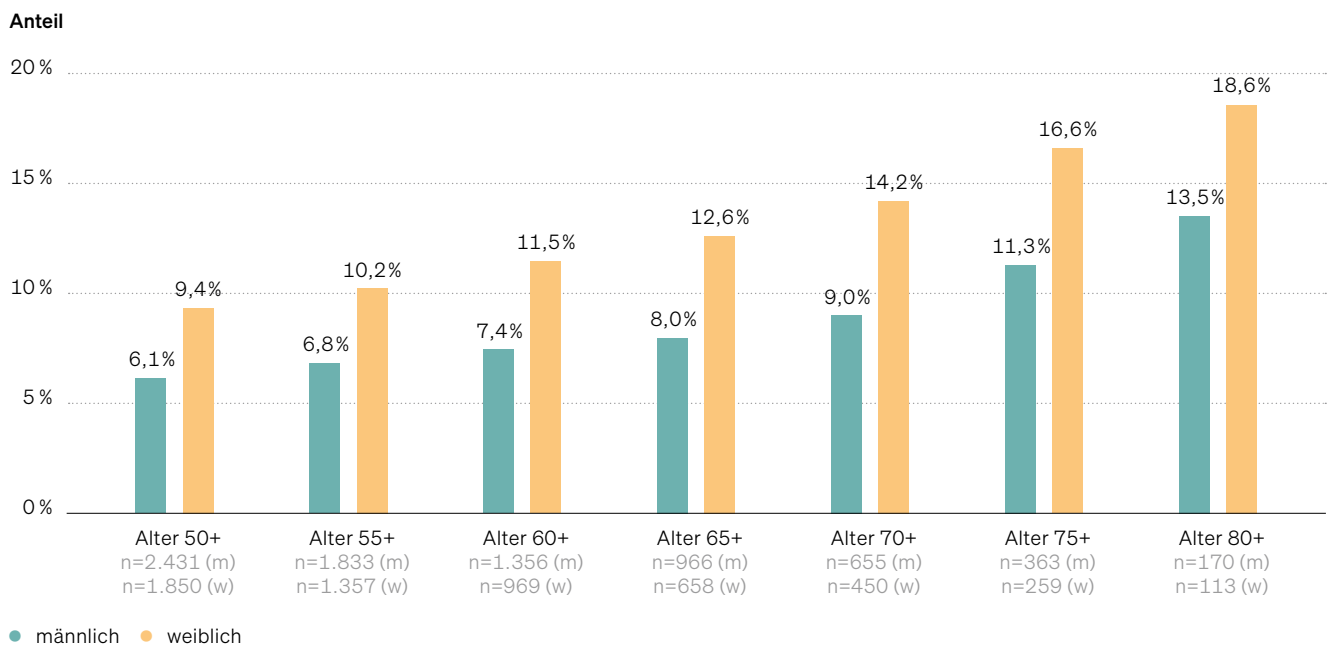


Abbildung 2 gibt das Risiko für eine MAIS2+ Verletzungsschwere für die Geschlechter in Abhängigkeit vom Insassenalter wieder. Die Darstellung erfolgt kumuliert anhand der jeweiligen Altersuntergrenzen. Allgemein ist ein mit dem Alter zunehmender Anteil von MAIS2+ in der Gesamtheit verletzter und unverletzter Insassen erkennbar. In allen Kategorien ist zudem der Anteil von MAIS2+ unter Frauen höher als unter Männern.

Mit höherem Alter steigender Anteil von MAIS2+ Verletzungsschwere

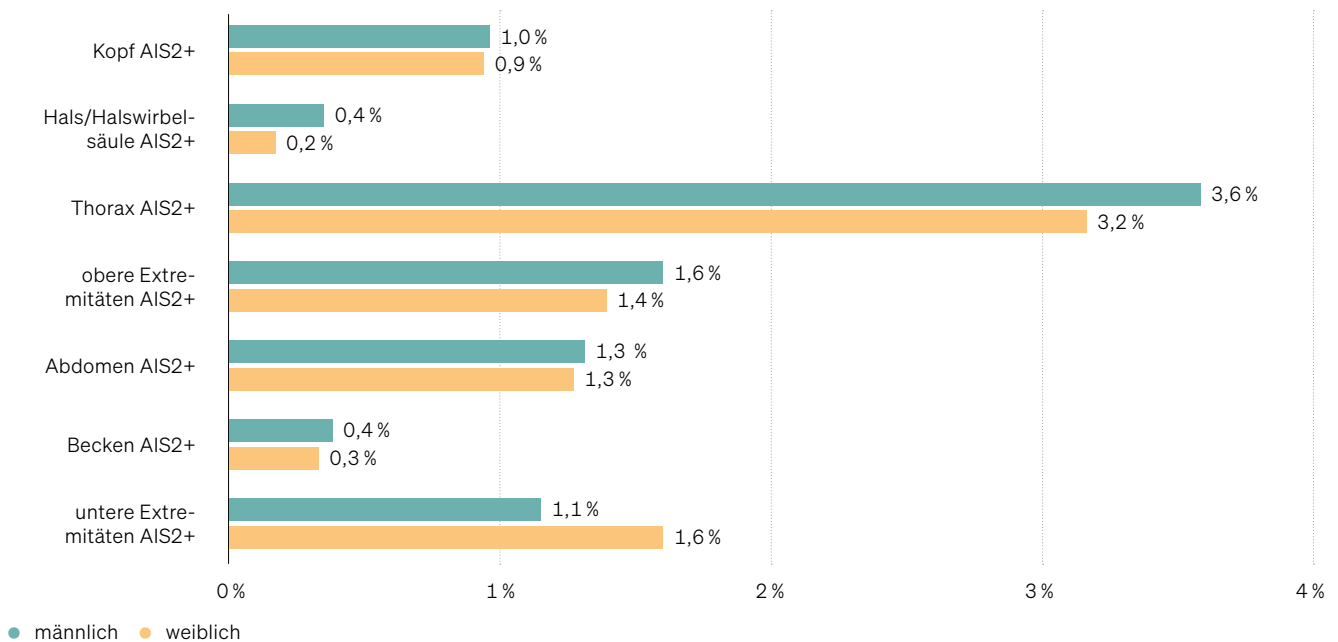
Abbildung 2 · Anteil von MAIS2+ verletzten Insassen in GIDAS, nach (Mindest-)Alter und Geschlecht



Die weiteren Beobachtungen konzentrieren sich auf den Frontalanprall, bei dem die Verletzungsschwere MAIS2+ am häufigsten auftritt, und unterscheiden darüber hinaus zwischen dem Fahrer- und dem Beifahrersitzplatz. Auf dem Fahrersitzplatz (Abbildung 3) erleidet ein etwas höherer Anteil weiblicher Fahrer Verletzungen der Schwere AIS2+ an den unteren Extremitäten, männliche Fahrer haben hingegen etwas häufiger AIS2+ Verletzungen im Bereich des Thorax und der oberen Extremitäten. Weibliche Fahrer sind im Median 40 Jahre alt und damit etwas jünger als männliche Fahrer (Median 43 Jahre).

Weibliche Fahrer mit etwas höherem Anteil von AIS2+ Verletzungen an Beinen als männliche

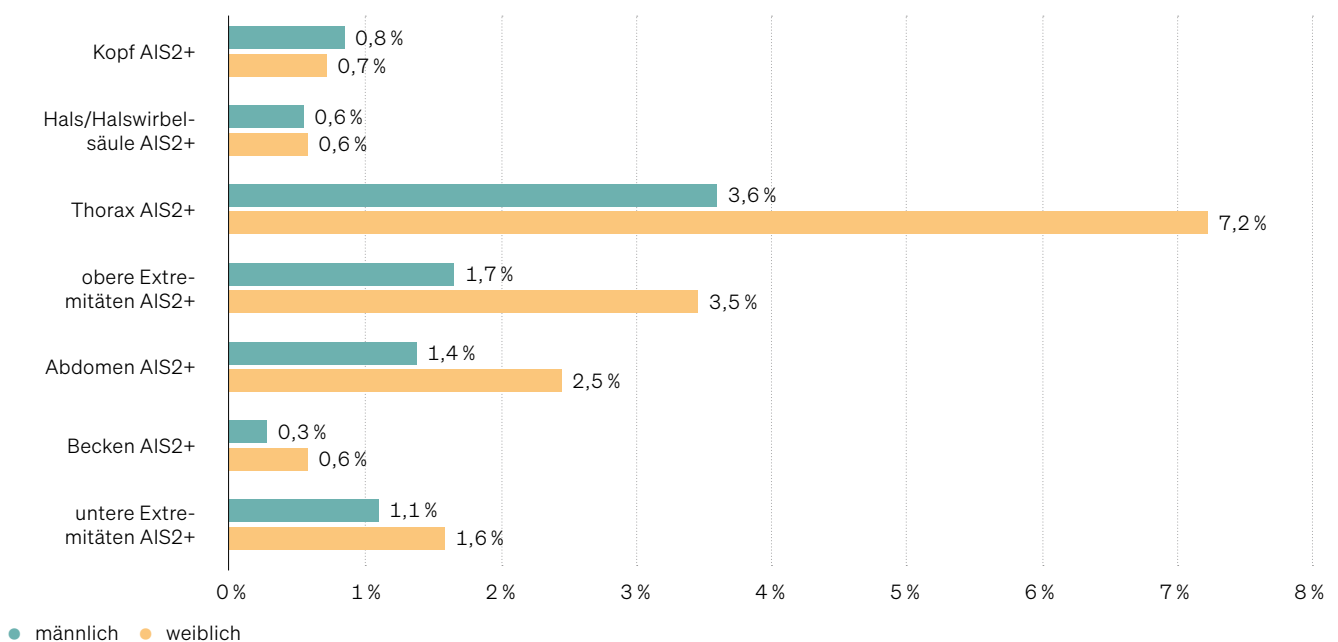
Abbildung 3 · Anteil der AIS2+ Verletzungsschwere auf Fahrersitzplatz, nach Körperregion und Geschlecht



Auf der Beifahrerseite fällt das Risiko deutlich zuungunsten weiblicher Beifahrer aus (Abbildung 4). Insbesondere im Bereich des Thorax, der oberen Extremitäten und des Abdomens ist der Anteil von AIS2+ Verletzungen unter Frauen höher als unter Männern. Dabei sind weibliche Beifahrer im Median 49 Jahre alt, männliche Beifahrer hingegen im Median mit 34 Jahren deutlich jünger.

Weibliche Beifahrer mit höherem Anteil von AIS2+ Verletzungen an Brust, Armen und Bauch als männliche

Abbildung 4 · Anteil der AIS2+ Verletzungsschwere auf Beifahrersitzplatz, nach Körperregion und Geschlecht

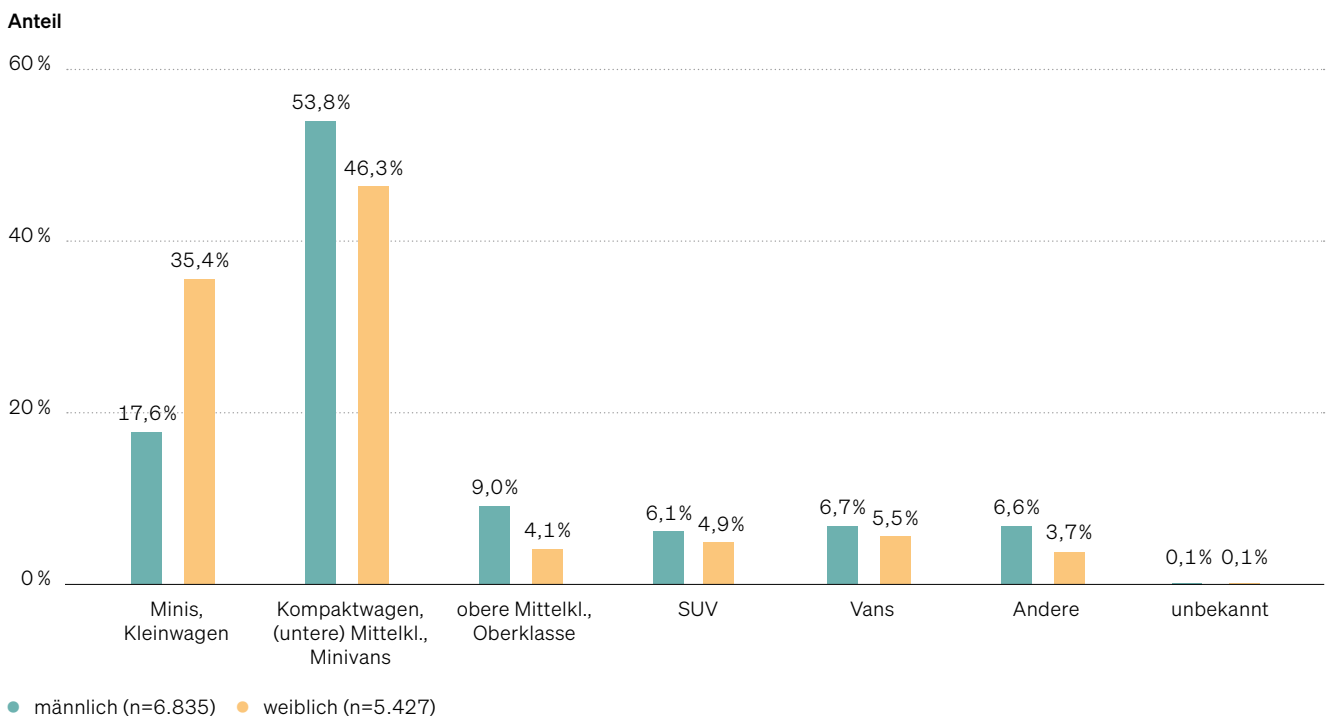


Als Insassen auf dem Rücksitz sind Frauen zwar ebenfalls einem höheren Risiko von AIS2+ Verletzungen im Bereich des Thorax und der unteren Extremitäten ausgesetzt, dafür erleiden dort Männer etwas häufiger AIS2+ Verletzungen am Kopf, an den oberen Extremitäten, im Bauchbereich und am Becken.

Die deskriptive Statistik zeigt aber auch Unterschiede zwischen Frauen und Männern bei den Pkw-Klassen, in denen diese als Insassen verunglücken (Abbildung 5). Frauen sind wesentlich häufiger Insassen in „Minis“ und Kleinwagen als Männer, nicht nur als Fahrerinnen, sondern auch auf dem Beifahrersitzplatz oder Rücksitz. Männliche Insassen sind umgekehrt etwas häufiger in schwereren Pkw, von Fahrzeugen der unteren Mittelklasse und Kompaktwagen bis hin zu SUVs, zu finden.

Frauen häufiger Insassen in kleinen und leichten Pkw-Modellen

Abbildung 5 · Verteilung der Pkw-Nutzung durch Insassen, nach Pkw-Fahrzeugklassen und Geschlecht



Entsprechend sind auch die Massen, das heißt das Leergewicht, von Pkw, in denen weibliche Insassen verunglücken, mit durchschnittlich 1.304 kg um fast 130 kg niedriger als die durchschnittlichen Leergewichte (1.433 kg) von Pkw mit männlichen Insassen.

Bei anderen Merkmalen, beispielsweise der Häufigkeit typischer Kollisionsvorgänge wie Abkommen von der Fahrbahn oder Zusammenstoß mit einem vorausfahrenden Fahrzeug, unterscheiden sich weibliche und männliche Insassen hingegen nur minimal.

6.2 Univariate Analyse

Die univariate Analyse dient in erster Linie der Vorbereitung der späteren multivariaten Analyse, indem die Merkmale einzeln daraufhin überprüft werden, ob sie einen gesicherten, also statistisch signifikanten Einfluss auf die Verletzungsschwere ausüben. Diese kommen dann auch als Merkmale für das multivariate Regressionsmodell in Betracht. Eventuelle Quereinflüsse zwischen den einzelnen Merkmalen lassen sich damit aber nicht feststellen. Für Merkmale mit zwei oder mehreren Ausprägungen, wie der Art des Unfallgegners („anderer Pkw“, „Nutzfahrzeug“, „Objekt“), wird eine der Ausprägungen als Referenz gewählt und für die übrigen untersucht, wie diese das Risiko für eine Verletzungsschwere MAIS2+ beeinflussen. Bei stetigen Merkmalen, für die kein linearer Zusammenhang mit der Verletzungsschwere besteht, wird eine Unterteilung in zwei oder mehr Klassen vorgenommen. Diese werden dann hinsichtlich ihres Effekts auf die Verletzungsschwere miteinander verglichen.

Bei den Analysen erweisen sich folgende Insassenmerkmale beim Frontalanprall, der zahlenmäßig dominierenden Anprallart, als statistisch signifikant bezüglich ihres Einflusses auf die Verletzungsschwere MAIS2+: Dies sind das Alter („Alter > 50 Jahre“ vs. „Alter bis 50 Jahre“), das Geschlecht („weiblich“ vs. „männlich“) und der Body-Mass-Index („BMI > 30“ vs. „BMI bis 30“). Von den vier Klassen für die Körpergröße („unter 167 cm“, „167 bis 173 cm“, „173 bis 180 cm“, „über 180 cm“) hat nur die Klasse „unter 167 cm“, also kleine Personen, im Vergleich zur Referenz „173 cm bis 180 cm“ einen signifikanten Einfluss. Innerhalb der vier Klassen für das Körpergewicht („unter 60 kg“, „60 bis 73 kg“, „73 bis 85 kg“ (Referenz), „über 85 kg“) zeigen sich hingegen keine statistisch signifikanten Unterschiede.

Die Sitzpositionen „Beifahrersitzplatz“ und „Rücksitz“ haben beim Frontalanprall in Bezug auf die Referenz „Fahrsitzplatz“ signifikanten Einfluss auf das Risiko für eine Verletzungsschwere MAIS2+, darüber hinaus unter anderem auch das Leergewicht des Pkw („> 1.379 kg“ vs. „bis 1.379 kg“) und die Art des Unfallgegners („Nutzfahrzeug“ oder „Objekt“ vs. „anderer Pkw“ (Referenz)).

6.3 Multivariate Analyse

Weil, wie oben erwähnt, der Unterscheidung nach Art des Anpralls große Bedeutung zukommt, bedingt dies eigene und angepasste statistische Modelle für die Anprallarten Frontalanprall, Seitenanprall stoßzugewandt und Seitenanprall stoßabgewandt sowie Heckanprall. Ergänzend werden beim Frontalanprall auch der Fahrsitzplatz und der Beifahrersitzplatz mit separaten Modellen adressiert.

6.3.1 Frontalanprall

Frontalanprall, alle Insassen, Verletzungsschwere MAIS2+

Zunächst werden alle 5.911 Insassen, deren Pkw einem Frontalanprall ausgesetzt war, gemeinsam betrachtet. Davon erlitten 413, also 7 Prozent, eine Verletzungsschwere MAIS2+. Die anderen 5.498 Insassen blieben unverletzt oder waren nur geringfügig (MAIS1) verletzt.

Tabelle 3 · Modell für Verletzungsschwere MAIS2+, Frontalanprall, alle Insassen

	Referenzkategorie	Effektkategorie	Odds Ratio	p Wert
Insasse Geschlecht	männlich	weiblich	1,43	0,004 **
Insasse Alter	bis 50 Jahre	> 50 Jahre	2,14	<0,001 **
aufprallbedingte Geschwindigkeitsänderung (je +1 km/h)			1,08	<0,001 **
Inkompatible Frontalkollision	Nein	Ja	2,41	<0,001 **
Unfallgegner	Pkw	Nutzfahrzeug	1,55	0,038 *
		Objekt	2,14	<0,001 **
Insasse Sitzposition	Fahrsitzplatz	Beifahrersitzplatz	1,48	0,007 **
		Rücksitz	1,31	0,294

Aus Tabelle 3 geht hervor, dass im Modell das Odds Ratio für weibliche Insassen gegenüber männlichen Insassen $OR = 1,43$ beträgt, das „Risiko“ für eine MAIS2+ Verletzungsschwere im Frontalanprall bei Frauen also etwa 43 Prozent höher ist als bei Männern, wenn die übrigen Randbedingungen unverändert bleiben. Der Unterschied ist mit $p < 0,01$ hochsignifikant, in der Tabelle gekennzeichnet durch das Symbol **. Erheblich größer als der Effekt des Geschlechts ist allerdings der des Insassenalters. Das Odds Ratio für Insassen, die älter als 50 Jahre sind, gegenüber Insassen, die bis zu 50 Jahre alt sind, beträgt 2,14. Ältere Insassen sind also einem mehr als doppelt so hohen Risiko für MAIS2+ ausgesetzt. Auch dieser Unterschied ist hochsignifikant.

Ebenfalls hochsignifikant sind die Unterschiede für Insassen auf dem Beifahrersitz im Vergleich zur Referenz von Insassen auf dem Fahrersitz. Das Odds Ratio für Personen auf dem Beifahrersitz im Vergleich zum Fahrersitz beträgt $OR = 1,48$. Insassen auf den Rücksitzplätzen zeigen zwar gegenüber dem Fahrersitzplatz ebenfalls ein höheres Odds Ratio ($OR = 1,31$), das aber – möglicherweise auch wegen der geringen Zahl von Personen auf diesen Plätzen – weit von einer statistischen Signifikanz entfernt ist und somit nicht als gesichert gelten kann.

Weitere Merkmale, die sich auf die Art und Schwere des Anpralls beziehen, haben im statistischen Modell ebenfalls einen erheblichen und signifikanten Effekt auf das Risiko von MAIS2+. Dazu gehört die Art des Unfallgegners: Anpralle gegen Nutzfahrzeuge oder Objekte erhöhen das Risiko im Vergleich zur Kollision mit einem anderen Pkw erheblich. Besonders hervorzuheben ist der Effekt der aufprallbedingten Geschwindigkeitsänderung. Während die Tatsache, dass beispielsweise eine höhere Anprallschwere des Pkw sich auf das Verletzungsrisiko der Insassen auswirkt, trivial erscheint, ist die Größe des Effekts im statistischen Modell dennoch frappierend: Mit jedem Kilometer pro Stunde mehr (+1 km/h) erhöht sich das Risiko für MAIS2+ um knapp 8 Prozent ($OR = 1,08$). Eine um 14 km/h höhere aufprallbedingte Geschwindigkeitsänderung verdoppelt demzufolge rechnerisch das Risiko für MAIS2+. Diese ergibt sich dabei nicht allein aus der eigenen Kollisionsgeschwindigkeit, sondern auch der des Unfallgegners und bei unterschiedlich schweren Kontrahenten auch aus dem Verhältnis der Fahrzeugmassen. Besonders deutlich wird dies bei der Kollision mit einem Nutzfahrzeug, wirkt sich aber auch schon beim Zusammenprall mit einem deutlich schwereren anderen Pkw nachteilig aus. Ebenso sind „inkompatible“ Frontalkollisionen mit einem höheren Risiko ($OR = 2,41$) verbunden als „kompatible“ Kollisionen. Eine inkompatible Frontalkollision liegt vor, wenn das eigene Fahrzeug auf eine „ungeeignete“ Geometrie beim Unfallgegner trifft. Das kann der Anprall gegen ein sehr schmales Objekt wie ein Mast sein, aber auch die Kollision mit einem Geländewagen mit hoch angeordnetem Stoßfänger und Längsträgern. In beiden Fällen würde die für eine

gezielte Energieaufnahme ausgelegte Crashstruktur des eigenen Pkw nicht voll zur Wirkung kommen, stattdessen würde die Gefahr gefährlicher Verformungen der Fahrgastzelle wachsen.

Das gesamte Modell weist eine sogenannte Varianzerklärung von gut 27 Prozent auf. Das heißt, mit den in GIDAS zur Verfügung stehenden Informationen zu den Unfällen lässt sich das Zustandekommen der Verletzungsschwere MAIS2+ nur zu einem kleinen Teil erklären. Weitere, unbekannte Merkmale, die mit den Mitteln der Unfallforschung nicht erfasst werden oder nicht erfassbar sind, haben ebenfalls erheblichen Einfluss auf die Prognose der Wahrscheinlichkeit von MAIS2+.

Da bei der Analyse des Risikos für eine MAIS2+ Verletzungsschwere festgestellt wurde, dass dieses auch durch die Sitzposition im Pkw beeinflusst wird, werden im Folgenden separate Modelle für Insassen auf dem Fahrersitz und auf dem Beifahrersitz generiert. Grundsätzlich unterscheiden sich die beiden vorderen Sitzplätze im Pkw dadurch, dass auf der Fahrerseite, anders als auf der Beifahrerseite, neben dem Lenkrad auch die Pedalerie als potenzielle Ursache für Verletzungen der unteren Extremitäten in Frage kommt. Zudem sind der Fahrer oder die Fahrerin gezwungen, aufgrund ihrer individuellen Körpergröße und -statur eine Einstellung des Fahrersitzes vorzunehmen, die ihnen die Betätigung der Pedalerie erlaubt. Für weitere Anpassungen der Ergonomie steht zumeist eine Höhenverstellung, mitunter auch eine Längsverstellung des Lenkrads zur Verfügung. Auf dem Beifahrersitzplatz sind Sitzeinstellungen in der Regel nicht erforderlich und werden erfahrungsgemäß durch die dort befindlichen Insassen nur in begrenztem Maß vorgenommen. Fahrzeugmodelle der Erstzulassungsjahre ab 2003, wie sie für die Analyse Verwendung finden, verfügen bis auf sehr wenige Ausnahmen serienmäßig über Frontairbags auf der Fahrer- und Beifahrerseite sowie über pyrotechnische Sicherheitsgurtstraffer und Gurtkraftbegrenzer, wie sie seit Ende der Neunzigerjahre zum sicherheitstechnischen Standard in Pkw – zumindest für Insassen auf den vorderen Sitzplätzen – gehören. Diese Systeme werden beim Frontalanprall aber erst ab einer bestimmten Aufprallsschwere aktiviert. Diese Schwelle kann im realen Unfallgeschehen in Abhängigkeit vom genauen Anprallwinkel und der Interaktion mit der Struktur des Unfallgegners etwas variieren.

Frontalanprall, Fahrersitzplatz, Verletzungsschwere MAIS2+

Die Ergebnisse für das Risiko einer Verletzungsschwere MAIS2+ von Insassen auf dem Fahrersitzplatz sind in Tabelle 4 dargestellt. Für die Analyse stehen 4.216 Insassen auf dem Fahrersitzplatz zur Verfügung; 249 von diesen erlitten eine MAIS2+ Verletzungsschwere.

Tabelle 4 · Modell für Verletzungsschwere MAIS2+, Frontalanprall, Fahrersitzplatz

	Referenzkategorie	Effektkategorie	Odds Ratio	p Wert
Insasse Geschlecht	männlich	weiblich	1,15	0,370
Insasse Alter	bis 50 Jahre	> 50 Jahre	2,13	<0,001 **
aufprallbedingte Geschwindigkeitsänderung (je +1 km/h)			1,07	<0,001 **
Pkw-Crashgewicht	bis 1.440 kg	> 1.440 kg	0,73	0,054
Inkompatible Frontkollision	Nein	Ja	2,37	<0,001 **
Unfallgegner	Pkw	Nutzfahrzeug	1,41	0,229
		Objekt	2,22	<0,001 **

Ähnlich wie bei der Betrachtung aller Insassen zeigen Fahrer und Fahrerinnen über 50 Jahre ein mehr als doppelt so hohes Risiko für MAIS2+ (OR = 2,13) wie diejenigen in der Altersklasse bis 50. Auf der Ebene des Fahrzeugs beziehungsweise des Anprallereignisses haben die aufprallbedingte Geschwindigkeitsänderung (je 1 km/h), der Anprall gegen ein Objekt und eine inkompatible Frontalkollision ähnlich große Effekte wie schon zuvor für alle Insassen. Diese Ergebnisse sind hochsignifikant. Der Einfluss des Geschlechts auf die Verletzungsschwere MAIS2+ ist hingegen mit OR = 1,15 nicht nur geringer als bei der Betrachtung aller Insassen, sondern darüber hinaus weit entfernt von statistischer Signifikanz. Der Wert des Odds Ratios ist also keineswegs gesichert. Die Varianzerklärung des Modells ist mit 27 Prozent so hoch wie beim Modell für alle Insassen.

Frontalanprall, Beifahrersitzplatz, Verletzungsschwere MAIS2+

Für die Analyse des Risikos für eine Verletzungsschwere MAIS2+ auf dem Beifahrersitzplatz stehen entsprechend der geringeren Besetzung dieses Sitzplatzes Daten zu insgesamt 996 Insassen zur Verfügung, von denen 102 Personen MAIS2+ erlitten.

Tabelle 5 · Modell für Verletzungsschwere MAIS2+, Frontalanprall, Beifahrersitzplatz

	Referenzkategorie	Effektkategorie	Odds Ratio	p Wert
Insasse Geschlecht	männlich	weiblich	2,01	0,014 *
Insasse Alter	bis 50 Jahre	> 50 Jahre	2,25	0,002 **
aufprallbedingte Geschwindigkeitsänderung (je +1 km/h)			1,06	<0,001 **
Inkompatible Frontkollision	Nein	Ja	2,49	<0,001 **
Unfallgegner	Pkw	Nutzfahrzeug	1,33	0,510
		Objekt	2,25	0,019 *

Das statistische Modell verwendet lediglich fünf Merkmale, von denen zwei den Insassen betreffen (Tabelle 5). Der Effekt des Geschlechts ist hier statistisch signifikant, gekennzeichnet durch das Symbol *; das Risiko, eine MAIS2+ Verletzungsschwere zu erleiden, ist für weibliche Beifahrer entsprechend des Odds Ratios OR = 2,01 gegenüber männlichen Beifahrern etwa doppelt so groß. Inwieweit dies durch Unterschiede in der Anatomie begründet ist oder möglicherweise durch die durchschnittlich geringere Körpergröße von Frauen, lässt sich prinzipbedingt nicht klar voneinander abgrenzen. Wie weiter oben beschrieben, sind die Merkmale Geschlecht und Körpergröße nicht völlig unabhängig voneinander.

Wiederum einen deutlichen und hochsignifikanten Effekt zeigt das Alter bei Insassen auf dem Beifahrersitzplatz: Für Insassen in der Altersklasse über 50 Jahre beträgt das Odds Ratio OR = 2,25 im Vergleich zu Personen bis 50 Jahre. Wie schon bei den Analysen für den Fahrersitzplatz zeigen auch die aufprallbedingte Geschwindigkeitsänderung (je 1 km/h) und eine inkompatible Frontalkollision erhebliche und hochsignifikante Effekte auf das Risiko für MAIS2+. Ähnlich wie bei der Fahrerseite erhöht auch der Anprall gegen ein Objekt das Risiko. Die Varianzerklärung ist mit knapp 23 Prozent die geringste aller Modelle für den Frontalanprall.

6.3.2 Seitenanprall

Beim seitlichen Anprall des Pkw, entweder weil dieser durch ein anderes Kraftfahrzeug in die Seite getroffen wird oder nach einem Schleudervorgang mit der Seite voran gegen ein Hindernis prallt, kann hinsichtlich der Belastung der Insassen unterschieden werden zwischen einer sogenannten stoßzugewandten und einer stoßabgewandten Sitzposition. Bei einer stoßzugewandten Sitzposition erfolgt die verletzungsverursachende Belastung auf dort sitzende Insassen oftmals durch unmittelbare Krafteinleitung in den Körper über die eindringende Seitenstruktur. Ein Seitenairbag kann dabei zwar noch stoßdämpfend wirken, der Sicherheitsgurt hat aber, anders als beim Frontalaufprall, nur begrenzte Schutzwirkung. Bei einer stoßabgewandten Sitzposition entstehen Verletzungen seltener durch unmittelbare Krafteinleitung über die Seitenstruktur als durch den Anprall gegen die Mittelkonsole des eigenen Pkw oder gegen einen benachbarten Insassen. Auf die Unterscheidung zwischen den vorderen und den hinteren Sitzplätzen muss angesichts der recht geringen Fallzahlen beim Seitenanprall verzichtet werden; diese werden in den folgenden statistischen Modellen gemeinsam betrachtet. Auch das Lenkrad und die Pedalerie auf dem Fahrersitzplatz spielen beim Seitenanprall keine entscheidende Rolle.

Insgesamt ist die Anzahl von Insassen, die für multivariate Regressionsmodelle zur Verfügung stehen, relativ klein. Um die Kernfragen nach dem Einfluss von Insassengeschlecht und -alter besser beantworten zu können, wurde das Merkmal „Body-Mass-Index“ bei der Modellbildung bewusst ignoriert. Die vergleichsweise häufig fehlenden Angaben zu Körpergröße und Gewicht in GIDAS-Daten, beide notwendig für die Berechnung des BMI, hätten andernfalls die Anzahl gültiger Datensätze zu stark dezimiert.

Seitenanprall, alle stoßzugewandten Insassen, Verletzungsschwere MAIS2+

Bei einem Seitenanprall saßen insgesamt 982 Insassen im Pkw stoßzugewandt. 44 von diesen, entsprechend gut 4 Prozent, erlitten eine Verletzungsschwere MAIS2+. Die übrigen 938 Insassen blieben unverletzt oder waren nur geringfügig (MAIS1) verletzt.

Tabelle 6 · Modell für Verletzungsschwere MAIS2+, Seitenanprall, stoßzugewandte Insassen

	Referenzkategorie	Effektkategorie	Odds Ratio	p Wert
Insasse Geschlecht	männlich	weiblich	1,17	0,670
Insasse Alter	bis 50 Jahre	> 50 Jahre	3,15	0,003 **
aufprallbedingte Geschwindigkeitsänderung (je +1 km/h)			1,10	<0,001 **
Pkw-Leergewicht	bis 1.379 kg	> 1.379 kg	0,46	0,061

Statistisch hochsignifikante Effekte zeigen sich erneut beim Insassenalter (OR = 3,15 für Insassen älter als 50 Jahre gegenüber jüngeren Insassen) und für die aufprallbedingte Geschwindigkeitsänderung (Tabelle 6). Mit jedem Kilometer pro Stunde mehr (+1 km/h) erhöht sich das Risiko für MAIS2+ um 10 Prozent (OR = 1,10). Ein Effekt auf das Risiko für MAIS2+ durch das Insassengeschlecht oder durch das Leergewicht des eigenen Pkw lässt sich wegen nicht erreichter Signifikanz nicht nachweisen. Das Modell hat eine Varianzerklärung von knapp 25 Prozent.

Seitenanprall, alle stoßabgewandten Insassen,
Verletzungsschwere MAIS2+

Im gesamten Material fanden sich insgesamt 761 Insassen, die stoßabgewandt, also gegenüber der Fahrzeugseite saßen, an welcher der Anprall erfolgte. Lediglich 31 von diesen erlitten eine Verletzungsschwere MAIS2+.

Tabelle 7 · Modell für Verletzungsschwere MAIS2+, Seitenanprall, stoßabgewandte Insassen

	Referenzkategorie	Effektkategorie	Odds Ratio	p Wert
Insasse Geschlecht	männlich	weiblich	2,53	0,033 *
Insasse Alter	bis 50 Jahre	> 50 Jahre	3,69	0,003 **
aufprallbedingte Geschwindigkeitsänderung (je +1 km/h)			1,15	<0,001 **

Der Effekt des Geschlechts erreicht mit $p = 0,033$ knapp das statistische Signifikanzlevel (Tabelle 7). Weibliche Insassen auf der stoßabgewandten Seite weisen im Vergleich zu männlichen Insassen ein $OR = 2,53$ auf. Große und hochsignifikante Effekte zeigen sich einerseits beim Insassenalter, wo Insassen über 50 Jahre mit einem Odds Ratio $OR = 3,69$ ein fast viermal so großes Risiko für die Verletzungsschwere MAIS2+ wie Personen bis 50 Jahre haben. Auf Ebene des Unfallereignisses hat die aufprallbedingte Geschwindigkeitsänderung mit $OR = 1,15$ ebenfalls großen Einfluss. Die Varianzerklärung des Modells liegt bei gut 30 Prozent.

Bei den vorangehend beschriebenen Ergebnissen zu Seitenkollisionen ist allgemein zu berücksichtigen, dass eine relativ kleine Anzahl von MAIS2+ Verletzten im Datenmaterial vorlag. Bereits eine geringe Anzahl zusätzlicher Insassen mit MAIS2+ könnte das Bild, insbesondere die Odds-Ratio-Werte, unter Umständen erheblich verändern.

6.3.3 Heckanprall

Heckseitige Anpralle am Pkw sind fast ausnahmslos Folge des Auffahrens durch ein anderes Kraftfahrzeug. Oftmals ereignen sich solche Auffahrunfälle bei vergleichsweise geringen Differenzgeschwindigkeiten zwischen den Unfallgegnern und haben daher nur sehr selten schwere Verletzungen im Sinne einer Lebensbedrohung zur Folge. Die Hauptbelastung auf einen Insassen erfolgt in erster Linie, wenn der Stoß gegen das Heck des eigenen Pkw – oftmals aus dem Stand heraus, zum Beispiel am Ende eines Staus – sich über den Sitz fortsetzt und der Insasse in die Rückenlehne gedrückt wird. In dieser ersten Phase des Heckanpralls hat der Gurt keine Wirkung, weil sich der Insasse vom Gurt fort bewegt, relativ zur Fahrgastzelle nach hinten. Im Anschluss wird der Insasse wieder etwas nach vorne geschleudert und erst dabei vom Sicherheitsgurt aufgefangen. Gurtstraffer und insbesondere Airbags werden in der Regel nicht ausgelöst. Im Verlauf dieser „Rückwärts-Vorwärts-Bewegung“ des Körpers kann es neben dem Anstoß von Becken, Rücken, Armen und Kopf gegen die Sitzlehne und die Kopfstütze auch zu einer Relativbewegung im Bereich der Wirbelsäule kommen. Das kann eine Distorsion der Halswirbelsäule zur Folge haben, der bei Weitem häufigsten Diagnose nach einem Heckanprall, welche wegen der sehr geringen Lebensbedrohung mit der Verletzungsschwere AIS1 eingestuft ist. Die genauen Mechanismen, wie es zu den Beschwerden im Rahmen einer HWS-Distorsion kommt und wie deren Dauer beeinflusst wird, sind trotz einer Vielzahl von Forschungsarbeiten auf diesem

Gebiet nicht abschließend geklärt und Gegenstand von Diskussionen. Dies nicht zuletzt, weil bei HWS-Distorsionen keine Frakturen im Skelett oder Risse in Bändern oder Muskeln entstehen, die sich mittels Röntgen oder anderen bildgebenden Verfahren dokumentieren ließen.

Heckanprall, alle Insassen, Verletzungsschwere MAIS2+

Vor diesem Hintergrund verwundert es nicht, dass im GIDAS-Material nur 17 Insassen mit Verletzungsschwere MAIS2+ nach einem Heckanprall dokumentiert sind.

Abweichend vom Vorgehen bei den übrigen Kollisionsszenarien, wird für den Heckanprall aus diesem Grund im Folgenden ein multivariates logistisches Regressionsmodell für das Risiko der Verletzungsschwere MAIS1+ erstellt.

Heckanprall, alle Insassen, Verletzungsschwere MAIS1+

Dafür liegen Daten zu 2.698 Pkw-Insassen vor, von denen 1.554 eine MAIS1+ Verletzungsschwere aufwiesen, welche die oben genannten 17 Fälle von MAIS2+ einschließen. Die übrigen 1.144 Insassen blieben entsprechend unverletzt.

Tabelle 8 · Modell für Verletzungsschwere MAIS1+, Heckanprall, alle Insassen

	Referenzkategorie	Effektkategorie	Odds Ratio	p Wert
Insasse Geschlecht	männlich	weiblich	1,92	<0,001 **
Insasse Alter	bis 50 Jahre	> 50 Jahre	0,49	<0,001 **
aufprallbedingte Geschwindigkeitsänderung (je +1 km/h)			1,05	<0,001 **
Pkw-Crashgewicht	bis 1.440 kg	> 1.440 kg	0,57	<0,001 **
Unfallgegner	Pkw	Nutzfahrzeug	2,83	0,001 **
		Objekt	0,45	0,188
Sitzposition	Fahrersitzplatz	Beifahrersitzplatz	1,32	0,007 **
		Rücksitz	1,28	0,131

Auf Insassenebene zeigen sich deutliche und statistisch hochsignifikante Einflüsse, sowohl durch das Geschlecht als auch durch das Alter (Tabelle 8). Mit einem Odds Ratio OR = 1,92 haben Frauen ein knapp doppelt so hohes Risiko wie Männer, bei einem Heckaufprall eine Verletzungsschwere MAIS1+ zu erleiden, also überhaupt verletzt zu werden. Beim Insassenalter zeigt die Klasse von Personen über 50 Jahre überraschenderweise mit OR = 0,49 ein nur halb so hohes Risiko für MAIS1+ wie für Jüngere. Ebenso hat offenbar die Sitzposition im Pkw Einfluss auf das Zustandekommen von Verletzungen. Das Odds Ratio für MAIS1+ bei Insassen auf dem Beifahrersitz liegt im Vergleich zur Referenz „Fahrersitz“ bei OR = 1,32 und ist hochsignifikant. Der Odds-Ratio-Wert OR = 1,28 für Personen auf dem Rücksitz ist dagegen von statistischer Signifikanz weit entfernt.

Auf der Ebene des Fahrzeugs und des Anprallereignisses sind die aufprallbedingte Geschwindigkeitsänderung und das Gesamtgewicht des eigenen Pkw Merkmale mit hochsignifikantem Einfluss auf das Risiko, verletzt zu werden. Bei Letzterem haben Insassen in Pkw mit einem Crashgewicht über 1.440 kg ein knapp halb so hohes Risiko für MAIS1+ wie Personen in leichteren Pkw. Wenn es sich beim

Unfallgegner, in der Regel also das auffahrende Kraftfahrzeug, um ein Nutzfahrzeug statt eines anderen Pkw handelt, ist das Risiko für eine Verletzung 2,8-mal so hoch ($OR = 2,83$; hochsignifikant). Die Varianzerklärung des Modells ist mit knapp 8 Prozent aber sehr gering. Das heißt, das Zustandekommen von Verletzungen beim Heckaufprall wird offenbar in hohem Maße durch andere Einflussgrößen bestimmt, die durch Unfalldaten in GIDAS nicht dokumentiert werden beziehungsweise nicht erfassbar sind.

7. Zusammenfassung und Diskussion

Nachdem die UDV einige Jahre zuvor schon mit eigenen Daten Auswertungen mit ähnlicher Zielsetzung und Methodik betrieben hatte, wurde in dieser Studie versucht, diejenigen Einflussfaktoren zu identifizieren, welche das Risiko für Verletzungen einer bestimmten Schwere begünstigen – oder sich als nicht relevant herausstellen.

Die Verletzungsschwere wurde vorrangig durch den MAIS (Maximum AIS) charakterisiert. Dieser ist in der Unfallforschung das etablierte Kriterium, um bei Verletzten die Gesamtverletzungsschwere im Sinne einer Lebensbedrohung zu beschreiben. Im Vordergrund stand bei der Studie MAIS2+, also eine Gesamtverletzungsschwere von mindestens mäßigem, aber auch schwererem Grad. Auch in den meisten früheren Studien aus den USA wurde das Verletzungsrisiko hauptsächlich anhand des MAIS2+ beurteilt. Im GIDAS-Material von Unfallereignissen in Deutschland fanden sich noch ausreichend viele Insassen mit MAIS2+ Verletzungsschwere, um damit statistische Analysen durchführen zu können. Noch höhere Verletzungsschweregrade MAIS3+, also schwere und zum Teil lebensbedrohliche Verletzungen, sind sehr selten.

Durch die Einschränkung des Fallmaterials auf gurtgesicherte, erwachsene Insassen und Pkw ab etwa 2003 unter Ausschluss von Mehrfachkollisionen reduzierte sich die Fallzahl zwar weiter. Dafür lagen aber klar definierte Anprallereignisse vor. Es wurden nur Pkw betrachtet, welche einen zeitgemäßen Stand der passiven Sicherheit und des Insassenschutzes durch Rückhaltesysteme wie Airbags und Gurte mit Gurtstraffern und Gurtkraftbegrenzern, zumindest auf den vorderen Sitzplätzen, aufweisen. Die Belastbarkeit der gewonnenen Erkenntnisse und ihre Aktualität wird dadurch verbessert.

Die Ergebnisse der multivariaten Analyse ergeben ein komplexes Bild für die Merkmale, welche Einfluss auf das Risiko einer Verletzungsschwere MAIS2+ haben. Für die wichtigsten Kollisionsszenarien, den Frontalanprall, den Seitenanprall und den Heckanprall, wurden separate statistische Modelle entwickelt. Für den Frontalanprall als Ursache für einen großen Teil von MAIS2+ Verletzungen wurde zudem noch eine weitere Unterteilung für Insassen auf dem Fahrersitz und solche auf dem Beifahrersitz vorgenommen.

Nach Rückwärts-Selektion im Verlauf der Optimierung des statistischen Modells verblieben zum Teil nur noch wenige Merkmale, die zur „Erklärung“ durch das jeweilige Modell beitrugen. Einige von diesen erlangten nicht das erforderliche Signifikanzniveau, sodass ihr Einfluss nicht als gesichert angesehen werden kann. Unabhängig vom jeweiligen Modell muss man sich aber immer der Tatsache bewusst sein, dass sich das Risiko additiv aus den Effekten mehrerer Merkmale zusammensetzt. Die Einflüsse einzelner Merkmale leisten also immer nur einen Beitrag zum Modell. Das absolute Risiko für den Eintritt einer bestimmten Verletzungsschwere lässt sich methodisch bedingt nicht ohne Weiteres angeben. Vielmehr ist im Rahmen dieser Studie von Interesse, welche Faktoren überhaupt Einfluss auf die Verletzungsschwere ausüben und wie sich das Risiko ändert, wenn für ein Merkmal eine andere Ausprägung als in der Referenzkonstellation vorliegt.

7.1 Bewertung der Ergebnisse für den Frontalanprall

In allen Modellen für den Frontalanprall, sowohl für alle Insassen gemeinsam als auch mit Unterscheidung nach Fahrersitzplatz und Beifahrersitzplatz, haben das Alter des Insassen, die aufprallbedingte Geschwindigkeitsänderung und eine inkompatible Kollision einen signifikanten Einfluss auf das Risiko für eine Verletzungsschwere MAIS2+. In diesen Kollisionsszenarien stieg das Risiko auf mehr als das Doppelte, wenn der Insasse älter als 50 Jahre war. Ein ähnlich starker Effekt war auch bei inkompatiblen Frontalkollisionen festzustellen.

Eine besondere Betrachtung verdient das Merkmal der aufprallbedingten Geschwindigkeitsänderung. In dieser spiegelt sich nicht nur die Geschwindigkeit wider, mit der ein Pkw in eine Kollision einläuft. Besonders wenn es zu einem Zusammenstoß mit einem deutlich schwereren Unfallgegner kommt, welcher eine eigene Geschwindigkeit mitbringt, wird das kleinere der beiden Fahrzeuge infolge des Rückpralls eine aufprallbedingte Geschwindigkeitsänderung erfahren, die deutlich höher als die ursprüngliche Kollisionsgeschwindigkeit ist. Dies ist physikalisch durch die Ungleichheit der Massen der Unfallgegner bedingt und belastet die Insassen im leichteren Pkw deutlich stärker als die im schwereren Fahrzeug. Kommt dann eine Inkompatibilität zuungunsten des kleineren Pkw hinzu, beispielsweise weil seine Frontstruktur sich an den höher angeordneten Längsträgern eines gegnerischen Fahrzeugs nicht ausreichend abstützen kann, steigt die Gefahr von Verformungen der Fahrgastzelle und das Verletzungsrisiko für die im unmittelbaren Deformationsbereich sitzenden Insassen. In lediglich einem der Modelle für den Frontalanprall kommt das Pkw-Gewicht als eigenes Merkmal zum Tragen. In den übrigen Modellen ist sein Einfluss bereits im Merkmal der aufprallbedingten Geschwindigkeitsänderung impliziert.

Für das Geschlecht – ein in dieser Studie besonders interessierendes Merkmal – zeigt die Ausprägung „weiblich“ gegenüber „männlich“ ein knapp 43 Prozent (OR = 1,43) höheres Risiko für MAIS2+ Verletzungsschwere im Modell für den Frontalanprall mit allen Insassen. Zusätzlich ist in diesem Modell der Beifahrersitzplatz im Vergleich mit dem Fahrersitzplatz mit einem um 48 Prozent höheren Risiko assoziiert, wohingegen eine Sitzposition auf dem Rücksitz ohne signifikanten Einfluss bleibt. Aus diesem Grund wurden für die weitere Analyse Frontalkollisionsszenarien auf dem Fahrer- und auf dem Beifahrersitzplatz mit separaten Modellen betrachtet.

Im Modell für die Fahrerseite im Frontalanprall finden sich zwar die bekannten Merkmale wieder. Verglichen mit dem Modell, welches alle Sitzpositionen gemeinsam betrachtet, ist der Einfluss weiblichen Geschlechts gering (OR = 1,15) und insbesondere nicht signifikant. Die deskriptive Statistik zeigt, dass auf diesem Sitzplatz Frauen etwas häufiger AIS2+ Verletzungen der unteren Extremitäten erleiden als Männer. Umgekehrt treten bei Männern aber Thoraxverletzungen der Schwere AIS2+ etwas häufiger auf. Bei Betrachtung der Gesamtverletzungsschwere MAIS2+, für welche die betroffene Körperregion keine Bewandtnis hat, zeigen sich keine signifikanten Unterschiede.

Im Modell für die Beifahrerseite im Frontalaufprall erweist sich – neben dem Insassenalter, der aufprallbedingten Geschwindigkeitsänderung und einer inkompatiblen Frontalkollision – das Geschlecht als signifikantes Merkmal. Für weibliche Insassen auf dem Beifahrersitz verdoppelt sich das Risiko für eine MAIS2+ Verletzungsschwere gegenüber männlichen Insassen (OR = 2,01). Die Ergebnisse der deskriptiven Statistik deuten darauf hin, dass dies durch eine größere Häufigkeit

von AIS2+ Verletzungen, insbesondere im Bereich des Thorax, aber auch der oberen Extremitäten und des Abdomens, bedingt ist.

Dass auf dem Beifahrersitzplatz das weibliche Geschlecht zwar einen erheblichen Effekt auf den Beitrag zum Risiko für eine Gesamtverletzungsschwere MAIS2+ ausübt, auf dem Fahrersitzplatz der Einfluss des Geschlechts hingegen unauffällig bleibt, lässt sich allein mit Unterschieden zwischen weiblicher und männlicher Anatomie kaum begründen. Eher ist zu vermuten, dass die bei Frauen im Durchschnitt geringere Körpergröße als bei Männern eine Rolle spielt, gegebenenfalls auch, welche Sitzhaltung und Sitzposition sie als Fahrerin und als Beifahrerin einnehmen. Kleinere Personen sind gezwungen – gleich ob als Fahrerin oder als Fahrer –, die Sitzeinstellung so vorzunehmen, dass sie die Pedalerie sicher betätigen und den Blick über das Lenkrad auf die Straße richten können. Dazu muss der Fahrersitz in der Regel weiter nach vorne und mitunter auch nach oben verstellt werden als für größere Personen. In der Konsequenz befinden sich kleinere Personen dichter mit den Knien an der Instrumententafel und laufen eher Gefahr, sich bei einer Frontalkollision an den unteren Extremitäten zu verletzen. Gleichzeitig befindet sich auch der Thorax dichter vor dem Lenkrad, aber moderne Fahrzeuge bieten die Möglichkeit, die Höhe und mitunter auch die Tiefe des Lenkrades einzustellen, womit sich – in begrenztem Maße – eine Anpassung vornehmen lässt. Die sogar etwas geringere Häufigkeit von AIS2+ Verletzungen des Thorax bei weiblichen gegenüber männlichen Fahrern belegt, dass offenbar kein erhöhtes Verletzungsrisiko für diese Körperregion vorliegt.

Anders ist die Ausgangslage auf der Beifahrerseite zu beurteilen. Für kleinere Insassen besteht dort keine unmittelbare Notwendigkeit, die Sitzstellung anzupassen, sofern nicht weitere Personen auf dem Rücksitz mitfahren. Zwar gibt es neben der Längseinstellung des Sitzes mitunter auch die Möglichkeit, die Schultergurt-Höhe anzupassen. In der Praxis werden beide Verstellungen aber seltener genutzt, besonders wenn die betreffende Person nur gelegentlich auf dem Beifahrersitz Platz nimmt. Zudem ist zu vermuten, dass Insassen auf dem Beifahrersitz häufiger eine entspanntere und eventuell eine weniger aufrechte Sitzhaltung einnehmen als ein Fahrer oder eine Fahrerin. Solche Einflüsse könnten dazu beitragen, dass bei einem Frontalanprall der angelegte Sicherheitsgurt nicht die optimale Wirkung erzielt. Der Beifahrerairbag schützt zwar den Kopf und die Halswirbelsäule, kann aber – bedingt durch den größeren Abstand zur Instrumententafel – weniger zur großflächigen Rückhaltung des Oberkörpers beitragen als der Fahrerairbag. Im Gegenzug muss der Schultergurt auf der Beifahrerseite einen größeren Teil dieser Aufgabe übernehmen. Damit übt er aber prinzipbedingt eine eher linienhafte Last auf den Brustkorb aus, was die größere Häufigkeit von Verletzungen der Schwere AIS2+ in dieser Körperregion bei kleineren und älteren Insassen erklären könnte. Wie die deskriptive Statistik belegt, sind diese Insassen oftmals Frauen.

Im Laufe der Modelloptimierungen für den Frontalanprall wurde das eigene Merkmal Körpergröße im Rahmen der „Rückwärts-Selektion“ automatisch eliminiert. Tatsächlich ist die für das multivariate Modell zu fordernde weitgehende Unabhängigkeit der Merkmale Geschlecht und Körpergröße offensichtlich nicht gegeben, da die durchschnittliche Körpergröße von Frauen mit 163 cm laut DIN 33402-2 [9] in Deutschland deutlich kleiner ist als die von Männern mit 175 cm. „Zwingt“ man aber dennoch das Merkmal Körpergröße mit in das statistische Modell, wie es im Rahmen der Studie probeweise getan wurde, nimmt der Beitrag des Geschlechts zum Risiko für MAIS2+ deutlich ab. Bei den Modellen für den Frontalanprall steht das Merkmal Geschlecht also offenbar nicht allein für die Anatomie selbst, sondern

auch die implizit enthaltene Körpergröße hat einen deutlichen Einfluss auf das Verletzungsrisiko.

7.2 Bewertung der Ergebnisse für den Seitenanprall

Seitenkollisionsszenarien wurden mittels multivariater Analyse ebenfalls betrachtet. Es wurde zwischen Insassen unterschieden, die der Anstoßseite zugewandt und solchen, die stoßabgewandt saßen. Obwohl im GIDAS-Material insgesamt etwa 1.700 Personen in einem Pkw saßen, der einen seitlichen Anstoß erhielt, war die Anzahl der Insassen mit der Verletzungsschwere MAIS2+ (44 stoßzugewandt und 31 stoßabgewandt sitzend) gering, was bei der Interpretation der nachfolgenden Ergebnisse berücksichtigt werden sollte. Gerade bei wenigen Insassen, die stoßabgewandt saßen, können die Ergebnisse auch von zufälligen Einflüssen beeinflusst sein, selbst wenn sie formal Signifikanz aufweisen.

Das Insassengeschlecht zeigt nur beim Seitenkollisionsszenario mit stoßabgewandt Sitzenden einen deutlichen Einfluss auf die Gesamtverletzungsschwere MAIS2+, der knapp das Signifikanzniveau erreichte. Als hochsignifikant erweisen sich hingegen das Alter und die aufprallbedingte Geschwindigkeitsänderung.

7.3 Bewertung der Ergebnisse für den Heckanprall

Der Heckanprall stellt in mehrfacher Hinsicht einen Sonderfall unter den Kollisionsszenarien dar. Die Anzahl von Pkw-Insassen, die beim Heckanprall eine Verletzungsschwere MAIS2+ erlitt, war so gering, dass eine Analyse nicht sinnvoll erscheint. Daher wurden abweichend von den übrigen Anprallarten alle verletzten Insassen, also mit der Verletzungsschwere MAIS1+, mittels multivariater Analyse betrachtet. Der weit überwiegende Teil der Verletzungen umfasst Prellungen und Distorsionen der Wirbelsäule, oftmals der Halswirbelsäule, welche entweder schwierig bildgebend diagnostizierbar sind oder von manchen Insassen toleriert werden, während andere sie als Verletzung angeben. Ob ein Insasse in GIDAS als verletzt dokumentiert wird oder als unverletzt zu kodieren ist, ist damit auch von anderen, hier nicht erfassten Faktoren abhängig.

Im Modell für den Heckanprall und einer Gesamtverletzungsschwere MAIS1+ fallen mehrere Merkmale mit einem hochsignifikanten Einfluss auf. Weibliche Insassen haben dabei ein fast doppelt so großes Risiko für MAIS1+ wie männliche. Beim Alter scheint der Effekt hingegen konträr zu den Ergebnissen für andere Anprallarten zu sein: Insassen über 50 Jahre haben ein nur halb so großes Risiko wie jüngere Personen. Das Risiko für Personen auf dem Beifahrersitzplatz ist um gut 30 Prozent höher als auf dem Fahrersitzplatz (Referenz), während sich das Verletzungsrisiko auf dem Rücksitz nicht signifikant unterscheidet. Bemerkenswert ist die Tatsache, dass das multivariate Modell nur eine sehr schwache Varianzerklärung in Höhe von knapp 8 Prozent liefert. Es muss daher konstatiert werden, dass das Modell das Zustandekommen von Verletzungen beim Heckaufprall nur sehr unzureichend widerspiegelt. Dies deckt sich mit den Erfahrungen zum Heckanprall, die die UDV einige Jahre zuvor auch bei der Analyse eigener Daten machte [7].

Allgemein ähneln die ermittelten Odds Ratios und Erkenntnisse aus der Auswertung der GIDAS-Daten den Ergebnissen, die die Unfallforschung der Versicherer in einer eigenen multivariaten Analyse von Unfalldaten der Versicherer gewonnen hatte [7], obwohl sich Datenmaterial und zum Teil auch die zur Verfügung ste-

henden Unfall- und Insassenmerkmale voneinander unterscheiden. Dies stärkt die Zuversicht, dass die wesentlichen Erkenntnisse aus der vorliegenden Studie belastbar sind. Erhebliche Abweichungen bestehen hingegen zu den Ergebnissen aus amerikanischen Studien, die allerdings auch untereinander erheblich differieren. Darüber, worin die genauen Ursachen für die Diskrepanzen liegen, kann nur spekuliert werden. Festzustellen bleibt aber, dass den amerikanischen Studien Unfalldaten aus den USA zugrunde lagen, die hinsichtlich der Baujahre der untersuchten Fahrzeuge deutlich weiter in die Vergangenheit zurückreichten. In der Studie von Brumelow et al. [3] wurde darauf hingewiesen, dass in den USA ein hoher Anteil von betrachteten Fahrzeugen in die Kategorie der SUVs und Pick-ups fiel und letztere in der überwiegenden Mehrheit von Männern gefahren wurden. Einige der amerikanischen Studien weichen auch methodisch von der vorliegenden Arbeit ab, wenngleich alle sich der multivariaten Regression bedienen. Bose et al. [1] betrachteten ausschließlich Personen auf dem Fahrersitzplatz bei allen Anprallarten einschließlich Überschlagsunfällen, berücksichtigten diese jedoch bei der Auswertung kaum. Foreman et al. [2] beschränkten sich hingegen auf Frontalanpralle und fokussierten bei der Auswertung auf die deskriptive Statistik, wo nach Fahrer-, Beifahrer- und Rücksitzplatz unterschieden wurde. Bei der multivariaten Analyse wurde die Sitzposition jedoch nicht berücksichtigt, sodass die Trennung zwischen Effekten aufgrund des Geschlechts und aufgrund der Sitzposition nicht möglich ist. Zusätzlich wird der Vergleich zwischen Studien aus den USA und Deutschland durch die Tatsache erschwert, dass in der Population amerikanischer Fahrzeuginsassen ein hoher Anteil übergewichtiger und adipöser Menschen vorhanden ist, welcher mutmaßlich einen Effekt auf das Verletzungsrisiko hat, in GIDAS-Daten aber keinen eindeutigen, statistisch belegten Einfluss zeigt.

Das in den Medien oftmals zitierte erhöhte Risiko von Frauen für mäßige und schwere Verletzungen stammt in der Regel aus den genannten amerikanischen Studien und lässt sich mit den vorliegenden Ergebnissen für das Unfallgeschehen moderner Fahrzeuge in Deutschland nur bedingt bestätigen. Vorrangig scheinen Frauen auf dem Beifahrersitzplatz häufiger Verletzungen der Schwere MAIS2+ zu erleiden. Auf dem Fahrersitz zeigt die deskriptive Statistik zwar Differenzen im Verletzungsmuster zwischen weiblichen und männlichen Fahrern, für die als Ursache jedoch auch unterschiedliche Körpergrößen in Frage kommen. Hinsichtlich der Gesamtverletzungsschwere lässt sich für diese aber kein Unterschied nachweisen.

Vor diesem Hintergrund erscheint es derzeit nicht zielführend, einen weiteren Crashtest-Dummy für den Frontalaufprallversuch mit Durchschnittsgröße und -gewicht einer Frau zu entwickeln und zum Einsatz zu bringen, wenn ein Großteil der Population erwachsener Fahrzeuginsassen durch den „50th percentile male“ und „5th percentile female“ der Hybrid-III-Generation hinsichtlich Größe und Gewicht abgedeckt wird. Wichtiger erscheint vielmehr, die neueste Dummy-Generation – den THOR-Dummy – frühestmöglich zum Standard-Testinstrument beim Frontalcrash zu machen. Dieser verfügt unter anderem über einen Oberkörper, der unter Aufprallbelastung ein realistischeres Verformungsverhalten im Brustbereich bei verbesserten Messmöglichkeiten zeigt. Seit Kurzem findet er als „50th percentile male“ beim Verbrauchertestverfahren EuroNCAP in ausgewählten Frontalaufprallszenarien Verwendung [10], sollte aber alsbald auch in der Gesetzgebung verankert werden und auch in der Version als „5th percentile female“ [11], sobald verfügbar, den derzeitigen Hybrid III ablösen.

Anders stellt sich die Ausgangslage beim Heckaufprall dar. Für die Untersuchung von Fahrzeugsitzen bei moderatem Heckanprall existiert momentan nur der sogenannte „BioRID II“ (Biofidelic Rear Impact Dummy), der die Dimensionen eines

durchschnittlich großen Mannes hat [12]. Angesichts der Tatsache, dass Frauen ein deutlich höheres Risiko haben, Verletzungen – fast ausschließlich geringer Schwere, wie weiter oben beschrieben – zu erleiden, erscheint für diese spezielle Anwendung die Entwicklung einer weiteren Dummygröße am ehesten gerechtfertigt, die dann sinnvoll eine durchschnittlich große Frau oder einen kleineren Insassen repräsentieren sollte. Ein solcher Dummy entstand in den vergangenen Jahren am schwedischen Forschungsinstitut für Straßenverkehr und Transport (vti) als Prototyp [13], ist aber in erster Linie dafür vorgesehen, den Einsatz von Computermodellen, die den menschlichen Körper nachbilden, für die Auslegung von Fahrzeugsitzen unter Heckanprallbedingungen zu unterstützen. Allgemein sollte anstelle des alleinigen Rufs nach zusätzlichen physischen Crashtest-Dummys besser die Weiterentwicklung sogenannter numerischer Menschmodelle (Human Body Models) und deren Einsatz für die Verletzungsforschung und Sicherheitsentwicklung, und letztendlich auch für die Fahrzeugzertifizierung, vorangetrieben werden.

Literaturverzeichnis

- [1] **Bose, D.; Segui-Gomez, M.; Crandall, J.:** Vulnerability of Female Drivers Involved in Motor Vehicle Crashes: An Analysis of US Population at Risk, American Journal of Public Health; 101:12, S. 2368-2373: 2011.
- [2] **Forman, J. et al.:** Automobile injury trends in the contemporary fleet: Belted occupants in frontal collisions. Traffic Injury Prevention; 20:6; S. 607-612: 2019 [<https://doi.org/10.1080/15389588.2019.1630825>], Abrufdatum: 24. Oktober 2024
- [3] **Brumbelow, M.; Jermakian, J.:** Injury risks and crashworthiness benefits for females and males: Which differences are physiological? [<https://www.iihs.org/topics/bibliography/ref/2219>], Abrufdatum: 06. Oktober 2021.
- [4] **Humanetics:** Hybrid III 5th female [<https://www.humaneticsgroup.com/products/anthropomorphic-test-devices/frontal-impact/hybrid-iii-5th-female>], Abrufdatum: 24. Oktober 2024.
- [5] **European Union:** UN Regulation No. 137 – Uniform provisions concerning the approval of passenger cars in the event of a frontal collision with focus on the restraint system, Official Journal of the European Union, L 136/18, 29.04.2020 [<https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/2016/R137e.pdf>], Abrufdatum: 25. Oktober 2024.
- [6] **Malczyk, A. et al.:** Effects of Seating Position of Short Stature Drivers in Frontal Impacts, 2013 IRCOBI Conference Proceedings, Göteborg, 2013 [https://www.ircobi.org/wordpress/downloads/irc13/pdf_files/101.pdf], Abrufdatum: 25. Oktober 2024.
- [7] **Malczyk, A., Kröling, S.:** Zusammenhang von Insassen-Verletzungsschwere und -Geschlecht: Belege für ein Gender Gap?, Tagungsband, 13. VDI-Tagung „Fahrzeugsicherheit“, Berlin, 2022.
- [8] **Association for the Advancement of Automotive Medicine:** Course Training Manual, A specialized Course on: Injury Scaling: Uses and Techniques, Introducing The Abbreviated Injury Scale - 2005 Update 2008, Version January 2011. Barrington, Ill.: 2011.
- [9] **DIN Deutsches Institut für Normung:** DIN 33402-2:2020 Ergonomie – Körpermaße des Menschen – Teil 2: Werte, DIN Media, Berlin, 2020.
- [10] **EuroNCAP:** Meet the Dummies [<https://www.euroncap.com/en/car-safety/meet-the-dummies/>], Abrufdatum: 25. Oktober 2024.
- [11] **Humanetics:** THOR-5th F [<https://www.humaneticsgroup.com/products/anthropomorphic-test-devices/frontal-impact/thor-5f>], Abrufdatum: 24. Oktober 2024.
- [12] **Humanetics:** BioRID-II [<https://www.humaneticsgroup.com/products/anthropomorphic-test-devices/rear-impact/biorid-ii>], Abrufdatum: 24. Oktober 2024.
- [13] **European Commission CORDIS:** Final Report Summary – ADSEAT (Adaptive seat to reduce neck injuries for female and male occupants) [<https://cordis.europa.eu/project/id/233904/reporting>], Abrufdatum: 24. Oktober 2024.

