



GDV
Unfallforschung
der Versicherer

FORSCHUNGSBERICHT NR.79

Ansätze zur Verbesserung der Verkehrssicherheit auf Bundesautobahnen

Thomas Richter
Daniel Seebo
Hakam Daghestani
Daniel Martin
Werner Hofmann

im Auftrag der Unfallforschung der Versicherer (UDV)
Forschungsbericht Nr. 79

Ansätze zur Verbesserung der Verkehrssicherheit auf Bundesautobahnen

Bearbeitet durch:
SHP Ingenieure



Univ. Prof. Dr.-Ing. Thomas Richter
Dr.-Ing. Daniel Seebo
Hakam Daghestani M. Eng.
Dipl.-Ing. Daniel Martin
Dipl.-Soz. Werner Hofmann

Projektleitung bei der UDV:
Dr.-Ing. Jean Emmanuel Bakaba

Herausgeber

Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V.
Unfallforschung der Versicherer
Wilhelmstraße 43 / 43 G, 10117 Berlin
Postfach 08 02 64, 10002 Berlin
Tel. 030 / 20 20 - 50 00, Fax 030 / 20 20 - 60 00
www.gdv.de, berlin@gdv.de
www.udv.de, unfallforschung@gdv.de
www.facebook.com/unfallforschung
[@unfallforschung](https://www.instagram.com/unfallforschung)
www.youtube.com/unfallforschung

Redaktion

Dr.-Ing. Jean Emmanuel Bakaba

Bildnachweis

Die Nutzungsrechte der in dieser Broschüre abgebildeten Fotos liegen bei der Unfallforschung der Versicherer

Erschienen

02/2023

ISBN-Nr.:

978-3-948917-10-4

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

Kurzfassung	7
Abstract	9
1 Zielsetzung und Vorgehen	11
2 Literaturanalyse	12
2.1 Einflüsse auf die Verkehrssicherheit	12
2.1.1 Allgemein	12
2.1.2 Bauliche und entwurfstechnische Einflüsse	13
2.1.3 Betriebliche Einflüsse	14
2.1.4 Einfluss durch Fahrer und Fahrzeugtechnik	16
2.2 Sicherheitsbewertung von Autobahnen	18
2.2.1 Verfahrensansatz im HVS-Entwurf 2008	18
2.2.2 Internationale Ansätze	19
2.3 Internationaler Vergleich der Verkehrssicherheit von Autobahnen	20
2.4 Beispiele aus der Praxis	21
2.4.1 Projekt „Konzept zur Erhöhung der Verkehrssicherheit auf der A2“ (DLR, TUB, TUD, MHH, 2010)	21
2.4.2 Projekt „Evaluierung von Baumaßnahmen auf der A2 in Niedersachsen“ (Geistefeld/Finkbeiner, 2018)	22
2.4.3 Projekt „Erhöhung der Verkehrssicherheit auf den Autobahnen in Ostwestfalen-Lippe (OWL)“ (Straßen NRW, Polizei NRW Bielefeld, 2014)	23
2.5 Verkehrssicherheitsprogramm BMVI 2011	25
3 Makroskopische Unfallanalyse	26
3.1 Unfallgeschehen in Deutschland	26
3.2 Kennzahlen aus den Statistischen Jahrbüchern	27
3.3 Unfallgeschehen auf Autobahnen	29
3.3.1 Zeitliche Entwicklung der Unfallzahlen	29
3.3.2 Unfalltypen	30
3.3.3 Unfallarten	37
3.3.4 Unfallursachen	43
3.3.5 Zeitliche Verteilung	45
3.3.6 Umwelteinflüsse	47
3.4 Fazit der Makroskopischen Unfallanalyse	49
4 Infrastrukturbezogene Analyse – Material und Methode	50
4.1 Infrastrukturdaten	50
4.2 Elemente	52
4.3 Datenaufbereitung für die untere Analyseebene (Unterabschnitte)	54
4.3.1 Merkmale	54
4.3.2 Unfallkennzahlen	63

4.4	Datenaufbereitung für die obere Analyseebene (Abschnitte der knotenpunktfreien Strecke)	64
4.5	Ein- und Ausfahrten	66
4.6	Rampen	67
4.7	Zeitscheiben	67
4.8	Längsschnittbetrachtungen	68
4.9	Stratifizierte Beschreibungen und Vergleiche („Cluster“)	68
4.10	Technische Anmerkung	72
5	Infrastrukturbezogene Unfallanalyse - Ergebnisse	73
5.1	Abschnitte der knotenpunktfreien Strecke	73
5.2	Unterabschnitte	77
5.3	Rampen	82
5.4	Einfahrten	85
5.5	Ausfahrten	88
5.6	Multivariate Analyse	91
5.6.1	Unfallhäufungen auf Unterabschnitten	92
5.6.2	Unfallhäufungen auf Abschnitten der knotenpunktfreien Strecken	94
5.7	Hohe und sehr hohe Unfallkostenrate auf Unterabschnitten	95
5.8	Hohe und sehr hohe Unfallkostenrate auf Abschnitten der knotenpunktfreien Strecken	96
6	Empfehlungen und Ausblick	98
6.1	Empfehlungen zu Knotenpunktfreie Strecken	98
6.2	Einfahrten	98
6.3	Ausfahrten	99
6.4	Rampen	99
6.5	Empfehlungen aus Sicht der Fahrzeugsicherheit	99
6.6	Empfehlungen zur Verbesserung von Straßeninformationsbanken	100
	Literaturverzeichnis	101
	Abbildungsverzeichnis	103
	Tabellenverzeichnis	106
	Anhang A: Multivariate Analysen – Modellergebnisse zu Unfallhäufungen	109
	Anhang B: Multivariate Analysen – Modellergebnisse zu hoher und sehr hoher Unfallkostenrate	127

Kurzfassung

Auf den etwa 13.000 Kilometer Bundesautobahnen (2% des gesamten deutschen Straßennetzes) wird knapp ein Drittel der Gesamtfahrleistung der in Deutschland zugelassenen Kraftfahrzeuge abgewickelt. Mit Bezug auf die Fahrleistung gelten Bundesautobahnen als sichere Straßen im Vergleich zu Landstraßen und Innerortsstraßen, jedoch weisen sie mit insgesamt 2.500 Verletzten je 1.000 Kilometer und 32 Getöteten je 1.000 Kilometer die größte Dichte an Verunglückten auf außerörtlichen deutschen Straßen auf. Der Großteil der Unfälle mit Personenschaden auf den Bundesautobahnen sind Unfälle im Längsverkehr und Fahrunfälle. Deshalb hat die Unfallforschung der Versicherer (UDV) ein Forschungsvorhaben initiiert und in Kooperation mit SHP Ingenieure durchgeführt. Ziel des Forschungsvorhabens war es, die infrastrukturellen, betrieblichen und verkehrlichen Einflussgrößen auf die Verkehrssicherheit auf Bundesautobahnen zu identifizieren und zu quantifizieren.

Im Rahmen der makroskopischen Unfallanalyse zeigte sich, dass die überwiegende Zahl der Unfälle den Unfällen im Längsverkehr und den Fahrunfällen zugeordnet werden konnten. Die Unfallschwere liegt bei den Fahrunfällen etwas über dem Durchschnitt, sie ist hingegen bei den Unfällen im Längsverkehr am geringsten. Die schwersten Unfallfolgen zeigten die Güterkraftfahrzeuge, insbesondere beim Unfalltyp „Unfall im Längsverkehr“ auf.

Als häufigste Unfallarten wurden der Zusammenstoß mit einem Fahrzeug, das vorausfährt oder wartet, der Zusammenstoß mit einem Fahrzeug das seitlich in gleicher Richtung fährt, das Abkommen von der Fahrbahn nach links oder rechts, festgestellt.

Als häufigste Unfallursachen ergaben sich die nicht angepasste Geschwindigkeit, ungenügender Abstand und Fehler beim Überholvorgang. Weiterhin konnte festgestellt werden, dass Unfälle mit Getöteten zu 40% bei Dunkelheit geschehen, jedoch passieren lediglich 25% der Unfälle mit Personenschäden bei Dunkelheit. Dies zeigt, dass Unfälle bei Dunkelheit meist schwerere Folgen haben.

Für die infrastrukturbezogene Unfallanalyse wurden Infrastrukturdaten aus sechs Bundesländern verwendet sowie die entsprechenden Unfalldaten der Jahre 2011 bis 2016. Insgesamt standen Daten von 5.889 Kilometer im Zuge von Autobahnen zur Verfügung. Die zur Verfügung stehenden Straßeninformationsbanken umfassen sämtliche Strecken der Bundesautobahnen einschließlich der Anschlussstellen mit den zugehörigen Rampen. Im Fokus standen Abschnitte der knotenpunktfreien Strecke, Unterabschnitte (Abschnitte der knotenpunktfreien Strecke, die durch Wechsel des Lageplanelements (Gerade, Kreisbogen) sowie durch Wechsel der Geschwindigkeitsbeschränkung unterteilt werden), Einfahrten, Ausfahrten und Rampen.

Als wesentliche Indikatoren für die Beschreibung der Verkehrssicherheit wurde die Unfallkostenrate (für Abschnitte der knotenpunktfreien Strecke und für Unterabschnitte) bzw. die Unfallkostendichte (für Rampen, Einfahrten und Ausfahrten) gemäß Merkblatt

zur Örtlichen Unfalluntersuchung in Unfallkommissionen (M Uko) berechnet. Außerdem wurde jeweils die Unfallschwere einbezogen. Diese wird definiert als Anzahl der Getöteten und Schwerverletzten, bezogen auf die Anzahl der Unfälle mit Personenschaden. Ergänzend wurde der Anteil an unfallbehafteten Strecken ermittelt. Dabei handelt es sich um eine dichotome Variable, die angibt, ob in den betrachteten Jahren mindestens ein Unfall der Kategorien 1 bis 3 erfasst wurde. Außerdem wurden Unfallhäufungsstellen einbezogen.

Für die Abschnitte der knotenpunktfreien Strecke zeigen sich belastbare Ergebnisse im Hinblick auf die Kurvigkeit und die Radien. Geringe Kurvigkeiten (unter 10 gon/km) und hohe Kurvigkeiten (über 30 gon/km) sind merklich ungünstiger zu bewerten als mittlere Kurvigkeiten. Es wird daher empfohlen, die Kurvigkeit zur Überprüfung des Entwurfs einzubeziehen und Kurvigkeiten zwischen 10 und 30 gon/km anzustreben. Radien stellen sich zwischen 3.000 und 6.000 m als vergleichsweise sicher dar. Für zweistreifige Autobahnabschnitte wird daher empfohlen, zusätzlich zum Mindestwert einen Regelbereich einzuführen, der Radien zwischen 3.000 und 6.000 m vorsieht. Sowohl für zweistreifige als auch für dreistreifige Autobahnabschnitte ist zu empfehlen, Radien über 6.000 m (einschließlich Geraden) nur in zu begründenden Ausnahmefällen zu verwenden.

In Rampen haben sich belastbare Aussagen zu den Radien ergeben. Die Unfallschwere nimmt mit zunehmendem Radius zu, während die Unfallkostendichte bei mittleren Radien (80 bis 125 m) besonders niedrig ist. Entsprechend wird empfohlen, für die Rampenradien einen Regelbereich zwischen 80 und 125 m vorzusehen. Zudem sollten Radien über 125 m nur in begründeten Ausnahmefällen verwendet werden.

Auf den hohen Anteil an Unfällen im Längsverkehr insbesondere unter Beteiligung von Schwerverkehrsfahrzeugen kann nicht infrastrukturseitig reagiert werden. Zu empfehlen ist daher der Einsatz von Assistenzsystemen zur Kollisionswarnung und Kollisionsvermeidung. Diese sollten für Lkw verpflichtend und nicht abschaltbar sein.

Die Auswertung zeigt zudem, dass Unfälle bei Dunkelheit eine große Rolle spielen, insbesondere bei Unfällen mit Getöteten. Da insbesondere auch der Schwerverkehr die Nachtstunden nutzt, werden Müdigkeitswarner ergänzend zu den o.g. Systemen zur Kollisionswarnung und -vermeidung empfohlen. Zudem könnten Kampagnen, die die Unfallgefahr bei Dunkelheit thematisieren, zu einer an die reduzierte Sicht angepasste Fahrweise beitragen.

Abstract

The approximately 13.000 kilometres of federal motorways (2% of the entire German road network) account for almost one third of the total mileage of motor vehicles registered in Germany. In terms of mileage, federal motorways are considered to be safer roads than rural and urban roads, but with a total of 2.500 injuries per 1.000 kilometres and 32 fatalities per 1.000 kilometres, they have the highest density of casualties on non-urban German roads. The majority of accidents involving personal injury on federal motorways are longitudinal and driving accidents. For this reason, the Unfallforschung der Versicherer (UDV) initiated a research project and carried it out in cooperation with SHP Ingenieure. The aim of the research project was to identify and quantify the infrastructural, operational and traffic-related factors influencing road safety on federal motorways.

The macroscopic accident analysis showed that the majority of accidents could be attributed to accidents in longitudinal traffic and driving accidents. The accident severity is slightly above average for driving accidents, but lowest for longitudinal accidents. The most severe accident consequences were found in goods road transport vehicles, especially in the accident type "accident in longitudinal traffic".

The most frequent types of accidents were collision with a vehicle driving ahead or waiting, collision with a vehicle driving sideways in the same direction, leaving the lane to the left or right.

The most frequent causes of accidents were inappropriate speed, insufficient distance and errors in overtaking. Furthermore, it was found that 40% of accidents with fatalities occur in the dark, but only 25% of accidents with personal injuries occur in the dark. This shows that accidents in the dark usually have more serious consequences.

For the infrastructure-related accident analysis, infrastructure data from six federal states were used as well as the corresponding accident data from 2011 to 2016. In total, data from 5.889 kilometres in the course of motorways were available. The available road information banks cover all stretches of federal motorways including the junctions with the associated ramps. The focus was on sections of the junction-free route, subsections (sections of the junction-free route that are subdivided by changing the site plan element (straight line, circular arc) and by changing the speed limit), entrances, exits and ramps.

As essential indicators for the description of road safety, the accident cost rate (for sections of the junction-free route and for subsections) or the accident cost density (for ramps, entrances and exits) were calculated according to Merkblatt zur Örtlichen Unfalluntersuchung in Unfallkommissionen (M Uko). In addition, the accident severity was included in each case. This is defined as the number of fatalities and serious injuries in relation to the number of accidents with personal injury. In addition, the proportion of accident-prone routes was determined. This is a dichotomous variable that indicates

whether at least one accident in categories 1 to 3 was recorded in the years under consideration. Accident blackspots were also included.

For the sections of the junction-free routes, resilient results are shown with regard to curvature and radii. Low curvatures (below 10 gon/km) and high curvatures (above 30 gon/km) are noticeably less favourable than medium curvatures. It is therefore recommended to include curvature in the design review and to aim for curvatures between 10 and 30 gon/km. Radii between 3,000 and 6,000 m are comparatively safe. For two-lane motorway sections, it is therefore recommended to introduce a control range in addition to the minimum value, which provides for radii between 3.000 and 6.000 m. For both two-lane and three-lane motorway sections, it is recommended that radii over 6.000 m (including straights) only be used in exceptional cases that must be justified.

In ramps, robust statements on radii have emerged. Accident severity increases with increasing radius, while accident density is particularly low for medium radii (80 to 125 m). Accordingly, it is recommended to provide a standard range between 80 and 125 m for the ramp radii. In addition, radii over 125 m should only be used in justified exceptional cases.

The high proportion of accidents in longitudinal traffic, especially involving heavy goods vehicles, cannot be responded to on the infrastructure side. The use of assistance systems for collision warning and collision avoidance is therefore recommended. These should be mandatory for HGVs and should not be able to be switched off.

The evaluation also shows that accidents in the dark play a major role, especially in accidents involving fatalities. Since heavy traffic in particular also uses the night hours, drowsiness warning systems are recommended as a supplement to the above-mentioned systems for collision warning and avoidance. Furthermore, campaigns that address the risk of accidents in the dark could contribute to a driving style that is adapted to the reduced visibility.

1 Zielsetzung und Vorgehen

Auf den 12.949 km deutscher Bundesautobahnen (2% des gesamten Streckennetzes) wird knapp ein Drittel der Gesamtfahrleistung der in Deutschland zugelassenen Kraftfahrzeuge abgewickelt. Mit Bezug auf die Fahrleistung gelten Bundesautobahnen als vergleichsweise sichere Straßen, jedoch weisen sie mit insgesamt 2.500 Verletzten je 1.000 Kilometer und 32 Getöteten je 1.000 Kilometer die größte Dichte an Verunglückten auf außerörtlichen deutschen Straßen auf. Unfälle im Längsverkehr (63%, 205 Getötete und 3.042 Schwerverletzte) sowie Fahrunfälle (24%, 122 Getötete und 1.895 Schwerverletzte) machen den Großteil der Unfälle mit Personenschaden auf den Bundesautobahnen aus und geben Hinweise auf infrastrukturelle, betriebliche und verkehrliche Defizite [Veröffentlichung des Statistischen Bundesamtes 2015].

Die Identifizierung und Quantifizierung der infrastrukturellen, betrieblichen und verkehrlichen Einflussgrößen auf die Verkehrssicherheit auf Bundesautobahnen sowie deren Wechselwirkungen ist Aufgabe der vorliegenden Untersuchung. Ziel des Forschungsvorhabens ist es, nach einer Literaturanalyse zu vorhandenen Erfahrungen zur verkehrssicheren Gestaltung von Autobahnen im Rahmen einer initialen makroskopischen Unfallanalyse die Schwerpunkte im Unfallgeschehen auf Bundesautobahnen zu identifizieren und anschließend in einer infrastrukturellen Unfallanalyse die Einflussgrößen auf die Verkehrssicherheit zu bestimmen. Hierbei erfolgt eine Unfall- und Zusammenhangsanalyse mittels multivariater Modelle auf Grundlage vorhandener Daten der Straßeninformationsbanken (SIB) differenziert nach Autobahnelementen (freie Strecke, Ein-/Ausfahrbereiche, Rampen) in sechs Bundesländern.

2 Literaturanalyse

2.1 Einflüsse auf die Verkehrssicherheit

2.1.1 Allgemein

Verkehrssicherheit kann als die Freiheit von unvermeidbaren Risiken und Gefahren bei der Ortsveränderung von Personen oder Sachgütern (Verkehrsobjekte) definiert werden [DREWES]. In der Literaturanalyse sollen Einflussfaktoren gefunden werden, welche sich auf die Verkehrssicherheit auf Autobahnen auswirken. Zu diesem Zweck muss in erster Linie festgestellt werden, in welchen Bereichen Defizite auftreten können.

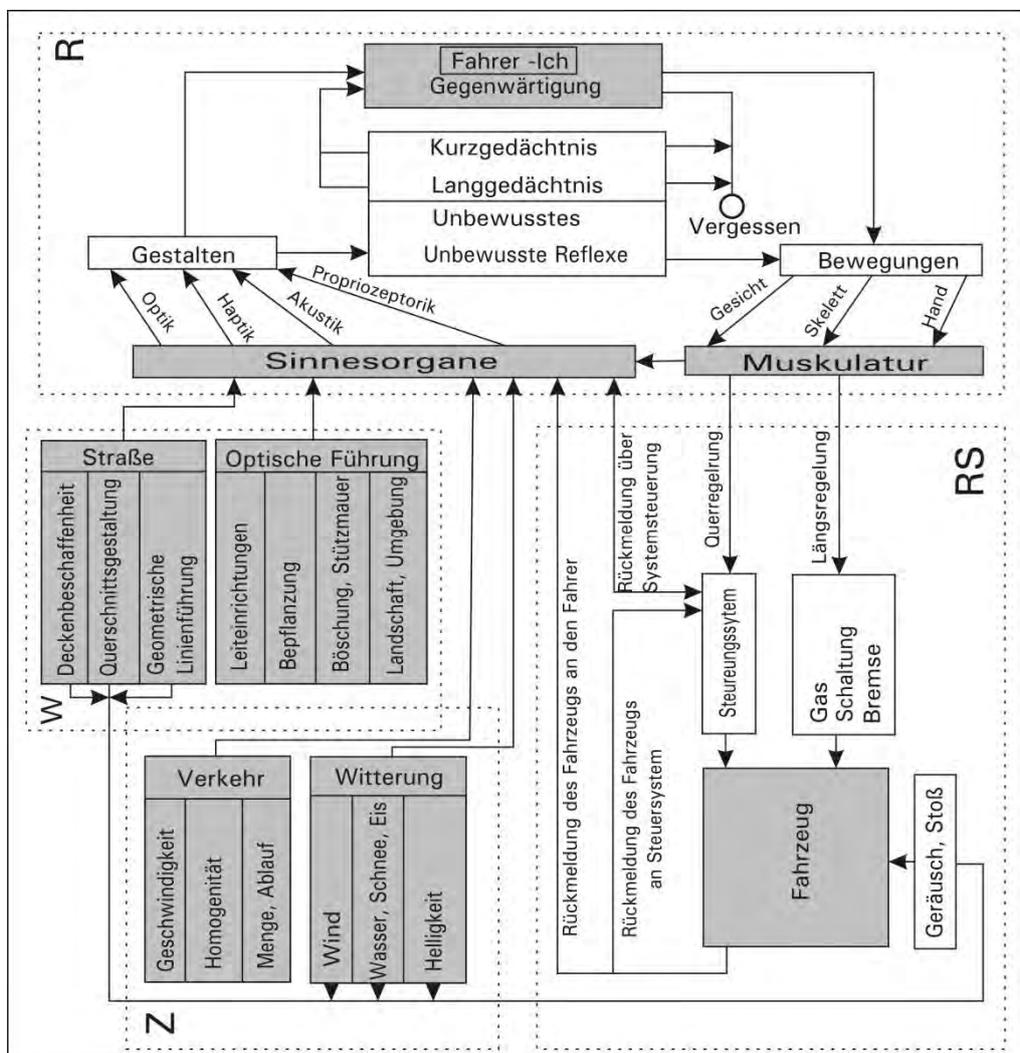


Abbildung 1 Regelkreis nach Durth

In Abbildung 1 ist der Regelkreis nach Durth dargestellt. Er beschreibt das komplexe Zusammenspiel von Fahrer, Fahrzeug und Umgebung. Alle oben dargestellten Bereiche können sowohl positiven als auch negativen Einfluss auf die Verkehrssicherheit haben. Im Zentrum des Modells steht der Fahrer, der mit seinen Sinnesorganen die

Umgebung wahrnimmt und gleichzeitig sein Fahrzeug mittels seiner Muskulatur bedient. Die Umgebung – in dem Fall die Straßen mit ihren verschiedenen Eigenschaften (Deckenbeschaffenheit, Querschnittsgestaltung) und die optische Führung dieser – wird über die Sinnesorgane des Fahrers wahrgenommen. Zusätzlich wirken auch Störfaktoren, wie zum Beispiel andere Verkehrsteilnehmer oder die Witterung, auf das System ein.

2.1.2 Bauliche und entwurfstechnische Einflüsse

In verschiedenen Studien der Bundesanstalt für Straßenwesen wurden Sicherheitsanalysen für einzelne Entwurfselemente der Autobahnen untersucht. BRILON/LOHOFF untersuchten 2012 welchen Einfluss lange Verteilerfahrbahnen zur räumlichen Trennung von Fern- und Ortsverkehr an Autobahnen mit dichter Knotenpunktfolge haben. In der Untersuchung wurde zunächst in Expertengesprächen das vorhandene Wissen zusammengetragen. Danach folgten eine Mikroskopische Simulation mit dem Simulationsprogramm BABSIM und eine Makroskopische Simulation mit dem Simulationsprogramm KAPASIM, welche weiterführende Informationen zum Verkehrsablauf liefern sollten. Die Studie ermittelte, dass bei einer gleichmäßigen Verteilung von Orts- und Fernverkehr eine durchgängige Verteilerfahrbahn von Vorteil sein kann. Sie führt zu höheren Geschwindigkeiten und einem harmonisierten Verkehrsablauf. Weiterhin konnte festgestellt werden, dass ein Stau auf der durchgehenden Verteilerfahrbahn schneller in einen synchronen Verkehrszustand zurückkehrt. Ein wesentlicher Vorteil wurde auch beim Komfort- und Sicherheitsgewinn beobachtet. Durch die vereinfachte Verkehrsführung kann der Fahrer seine Aufmerksamkeit besser auf das Verkehrsgeschehen richten, da weniger spontane Ausweichmanöver oder Fahrstreifenwechsel (60% weniger) an den Anschlussstellen durchgeführt werden müssen.

ROOS/ZIMMERMANN untersuchten im Jahr 2013 Einsatzbereiche für Rampen im Zusammenhang mit der Verkehrsstärke, der Geschwindigkeit und der Verkehrssicherheit. Dabei wurde unabhängig vom Rampentyp auch die Auswirkung der Trassierung auf das Fahrverhalten und das Unfallgeschehen untersucht. Dabei zeigte sich, dass die Radienfolge eine größere Bedeutung auf das Fahrverhalten hat, als in den RAA verankert ist. Die Studie zeigt eine Notwendigkeit der Festlegung von Radienrelationen und der Beschränkung von Geradenlängen in Rampen. Dazu sollte der Grundsatz gelten, dass Entwurfselemente in der Rampe so zu trassieren sind, dass diese nicht mit höheren Geschwindigkeiten befahren werden können als es im Scheitelradius möglich ist.

In einer weiteren Studie von BAIER et al. wurde 2017 die Verkehrssicherheit in Einfahrten auf Autobahnen untersucht. Der Schwerpunkt der Studie lag auf Einfahrten des Typs E1. Zusätzliches Augenmerk war auf das Fahrverhalten von älteren Verkehrsteilnehmern im Bereich von Einfahrten gerichtet. Zu diesem Zweck wurden 100 Einfahrten untersucht und an 30 besonders auffälligen eine zusätzliche systematische

Auswertung vorgenommen. An 14 Einfahrten wurden zudem empirische Verkehrsbeobachtungen mit Videotechnik durchgeführt. Wesentliches Ergebnis der Studie war, dass:

- bei längeren Einfahrbereichen die UKR abnimmt (Trend)
- Zuflussregelungsanlagen während den Nachmittagsspitzenstunden Unfallschwere und Unfallzahl senken
- Unfälle, die im Zusammenhang mit dem Einfädungsvorgang stehen, seltene Ereignisse sind.

Anders als für Landstraßen gab es bislang keine Erkenntnisse zur räumlichen Linienführung von Autobahnen. Die Kenntnisse für Landstraßen lassen sich zudem nicht auf Autobahnen übertragen. LIPPOLD/ZÖSCH/ZIMMERMANN untersuchten 2020 daher, in welcher Weise und unter welchen Randbedingungen Defizite in der räumlichen Linienführung auf Autobahnen auftreten und welche Erkenntnisse sich im Hinblick auf die Verkehrssicherheit hieraus ergeben. Die Untersuchungen fanden anhand von Bestandsstrecken statt – es wurden jedoch auch virtuelle Untersuchungsstrecken erstellt. Hiermit wurden in einem iterativen Verfahren Grenzwerte herausgearbeitet, ab wann gestalterische Defizite in der räumlichen Linienführung von Autobahnen zu erwarten sind.

Die Untersuchung zeigt, dass auch bei Einhaltung der Entwurfparameter der RAA Defizite in der räumlichen Linienführung auftreten können. Herausgearbeitete Defizite auf den Bestandsstrecken wurden dann mit Unfalldaten der Jahre 2004 bis 2006 überlagert (Unfalltypen 1 und 6). Es konnte jedoch bei keiner Defizitart ein ausgeprägter nachteiliger Einfluss auf das Unfallgeschehen festgestellt werden. Es wird vermutet, dass dies auf die im Vergleich zu Landstraßen sehr viel größeren Entwurfselemente zurückzuführen ist.

2.1.3 Betriebliche Einflüsse

Der betriebliche Ablauf auf Autobahnen kann, besonders in Hinblick auf hohes Verkehrsaufkommen und/oder Schwerverkehrsaufkommen, einen erheblichen Einfluss auf die Verkehrssicherheit haben. So sind bereits in auf vielen hochfrequentierten Autobahnen Verkehrsbeeinflussungsanlagen (VBA) eingerichtet, um den Verkehrsablauf zu optimieren und die Verkehrssicherheit zu verbessern. Mit dem Einsatz von VBA können bis zu 30% der Unfälle verhindert werden [SVZ-BW]. VBA können wie folgt unterschieden werden [SVZ-BW]:

- Netzbeeinflussungsanlagen
- Streckenbeeinflussungsanlagen
- Anlagen für temporäre Seitenstreifenfreigabe
- Zuflussregelungsanlagen

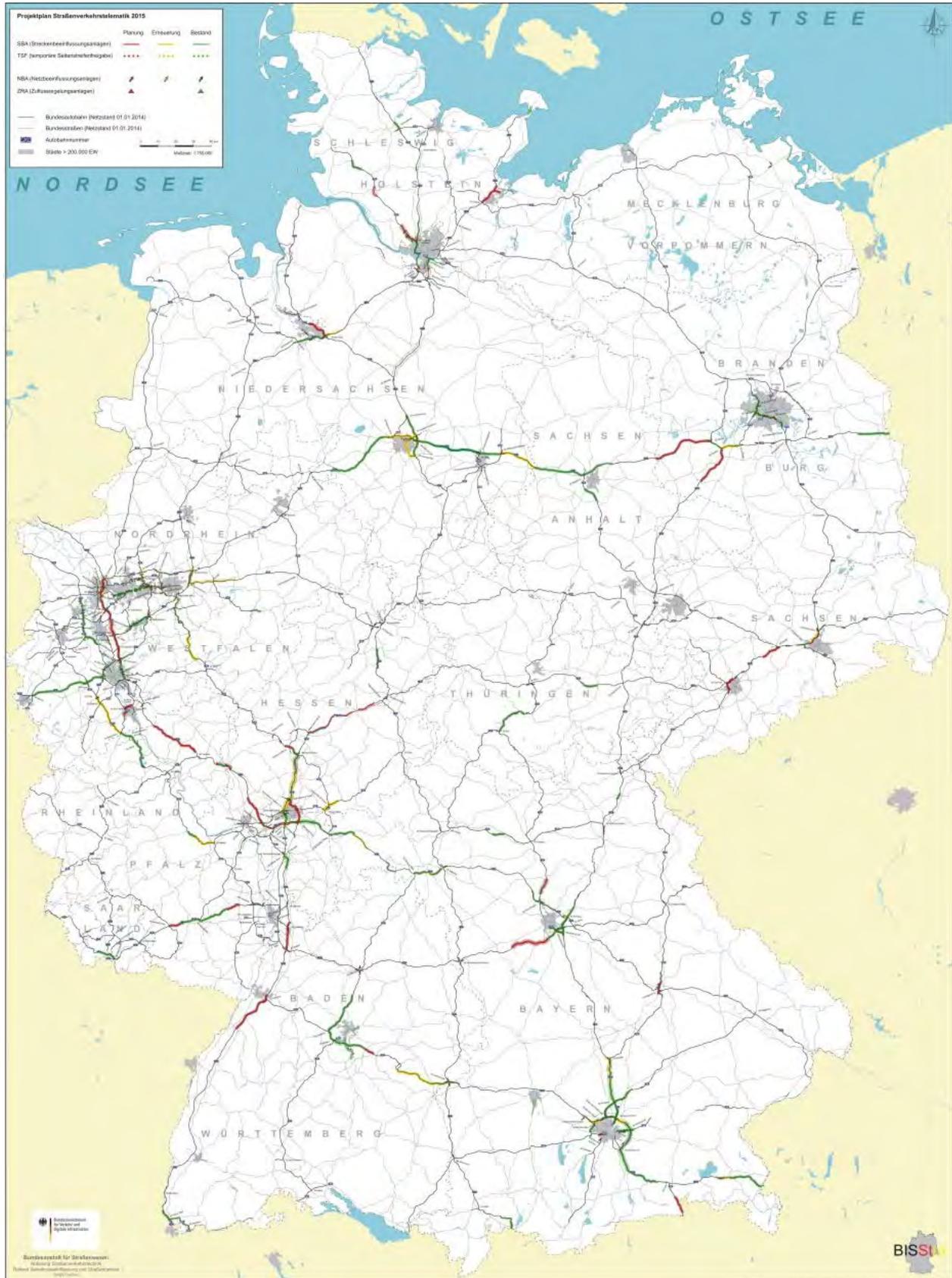


Abbildung 2: Übersicht der vorhandenen und geplanten VBA in Deutschland, Stand 2015 (Quelle: BASt (2015). Projektplan Straßenverkehrstelematik.)

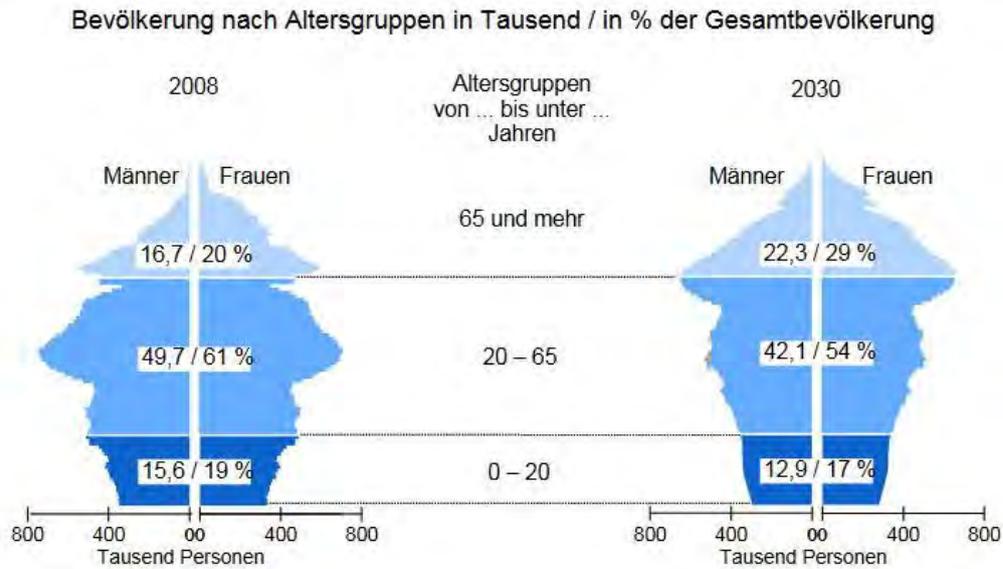
Beispielsweise führt der Einsatz von Zuflussregelungsanlagen (ZRA) zu geringeren Unfallzahlen mit Personen- und Sachschäden. Die dadurch verhinderten Unfälle vermeiden in der Folge auch Staus durch die resultierende Verkehrsbehinderung. Um die Kapazität der Autobahn in Spitzenzeiten kurzzeitig zu erhöhen, kann eine temporäre Seitenstreifenfreigabe angeordnet werden [SVZ-BW]. Ein weiteres Mittel um Verkehrsablauf und –sicherheit zu erhöhen ist eine Streckenbeeinflussungsanlage (SBA). Die Anordnung einer SBA führt laut Straßenverkehrszentrale Baden-Württemberg zu:

- erhöhter Verkehrssicherheit (25% Unfallreduktion)
- einem stabilisierten Verkehrsfluss
- einer Kapazitätssteigerung von bis zu 10%
- verkürzten Reisezeiten und
- einer Erhöhung des Aufmerksamkeitsgrades der Fahrer.

2.1.4 Einfluss durch Fahrer und Fahrzeugtechnik

Einen erheblichen Einfluss auf die Verkehrssicherheit hat der Fahrer selbst. Technische Hilfsmittel sollen Fahrer dabei unterstützen, ihr Fahrverhalten den gegebenen und zukünftigen Verkehrsbedingungen anzupassen. Um diese Informationen an den Fahrer zu leiten, müssen zum einen die Fahrzeuge mit der nötigen Technik ausgestattet sein, aber zum anderen muss auch eine digitale Infrastruktur geschaffen werden, um die Kommunikationen der Fahrzeuge über größere Distanzen zu gewährleisten. Das BMVI hat zu diesem Zweck ein Forschungsprogramm ins Leben gerufen, das die Wirkung von Vernetzung und Digitalisierung im Straßenverkehr näher erforschen soll (Zum Zeitpunkt der Berichterstellung liegen noch keine Studien aus diesem Programm vor). Ziel des Programmes ist unter anderem durch die Erhöhung der Verkehrssicherheit und die effizientere Abwicklung großer Verkehrsmengen ein hohes Nutzenpotential zu generieren.

Die Wirkung von Verkehrsinformationen wurde unter anderem 2012 in einer Studie von BOGENBERGER/DINKEL untersucht. Im Detail wurden hier durch einen Versuch am Fahrsimulator verschiedene Stauendesituationen simuliert. Es wurden verschiedene Warnsysteme hinsichtlich ihres Einflusses verglichen und der Einfluss auf das Fahrverhalten abgeschätzt. In der Studie konnte bestätigt werden, dass die Warnungen zu einer Anpassung des Fahrverhaltens führen und somit einen positiven Einfluss auf die Verkehrssicherheit haben können.



1 2030 Ergebnisse der 12. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung (Variante Untergrenze der „mittleren“ Bevölkerung).

Abbildung 3: Bevölkerungsentwicklung in Deutschland bis 2030 (Quelle: Destatis (2011). Demografischer Wandel in Deutschland.)

Die Digitalisierung und die Weiterentwicklung der Fahrzeuge kommen besonders älteren Teilnehmern zu Gute. Dies gewinnt in Hinblick auf den demografischen Wandel an Bedeutung (vgl. Abbildung 3). In einer Studie von BAKABA/ORTLEPP von 2010, welche die Verbesserung der Verkehrssicherheit älterer Teilnehmer untersucht hat, wurden Maßnahmen beschrieben und nach ihrem Einfluss in Abhängigkeit der Streckentypen bewertet. In Abbildung 4 sind die Maßnahmen mit den höchsten Einflussfaktoren auf Autobahnen dargestellt. Mit der Automatischen Notbremse und dem ESP stehen zwei fahrzeugtechnische Maßnahmen oben im Ranking.

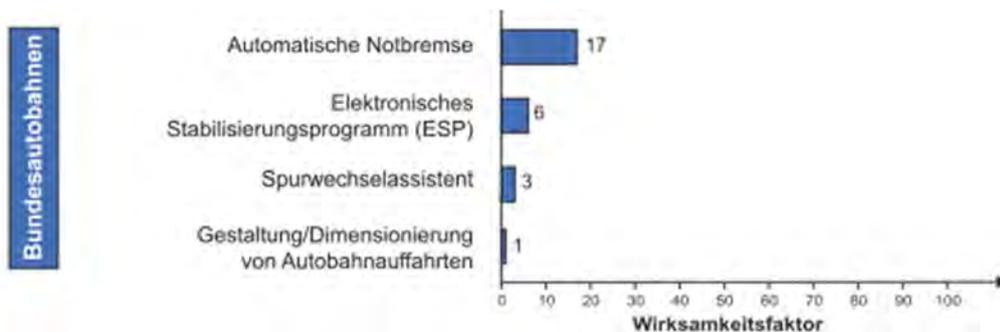


Abbildung 4: Maßnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit älterer Verkehrsteilnehmer (Quelle: Bakaba/Ortlepp (2010))

STRASSGÜTL/SANDER untersuchten 2021 die Wirkungen von automatischen Notbremssystemen auf die Entwicklung von Lkw-Auffahrunfällen auf Bundesautobahnen. Hierzu wurden Fahrzeuggruppen von Güter-Kfz und Bussen mit und ohne automatische Notbremssysteme (automatic emergency braking systems, AEB) betrachtet.

Die Abgrenzung erfolgte über das Zulassungsdatum, das über die Einführungsdaten der Verpflichtung für EABS beurteilt wurde. Die Auffahrunfälle, die durch diese Fahrzeuge als Hauptverursacher in den Jahren 2009 bis 2018 verursacht wurden, wurden in die Untersuchung einbezogen. Die Ermittlung der Wirkung erfolgte mit dem Ansatz von odds ratios. Hierfür wurden die Veränderungen der entsprechenden Unfallzahlen für jede Fahrzeuggruppe (odds) ermittelt und ins Verhältnis gesetzt.

Die Untersuchung zeigt eine Reduzierung der Anzahl der Unfälle um 37 % durch den Einsatz von AEBS. Auch die Unfallschwere ging zurück. Dies ist vor allem auf eine Reduzierung der Unfallzahlen mit Schwerverletzten zurückzuführen. Auch das odds ratio der Unfälle mit Getöteten ging spürbar zurück, das Ergebnis ist aufgrund der geringen Fallzahlen jedoch nicht signifikant. Bei den geringeren Unfallfolgen ergeben sich keine belastbaren Unterschiede.

2.2 Sicherheitsbewertung von Autobahnen

2.2.1 Verfahrensansatz im HVS-Entwurf 2008

Der Verfahrensansatz im HVS-Entwurf von 2008 sieht im Wesentlichen eine Bewertung der Verkehrssicherheit auf Autobahnen auf Basis von Unfallkostenraten einzelner Elemente vor. Die Unfallkostenraten setzen sich aus den Grundunfallkostenraten und den Zuschlägen für Abweichungen vom richtliniengerechten Ausbau zusammen.

Die Grundunfallkostenrate von Streckenabschnitten wird auf Basis der in den RAA festgelegten Regelquerschnitten festgelegt. Falls leichte Abweichungen vom Regelquerschnitt im Bestandsnetz vorliegen, werden diese dem ähnlichsten Regelquerschnitt zugeteilt.

Zuschläge auf die Grundunfallkostenraten von Streckenabschnitten, werden im HVS-Entwurf 2008 unterschieden in Zuschläge für linienhafte Abweichungen und Zuschläge für punktuelle Abweichungen. Unter linienhaften Abweichungen werden Abweichungen verstanden, die auf der gesamten Abschnittslänge vorhanden sind. Punktuelle Abweichungen treten nur an einzelnen Punkten des Abschnittes auf. Zuschläge für linienhafte Abweichung sind im HVS nach den Kriterien Verkehrsbelastung (DTV) und Querschnitt (Breite der Fahrbahn, Breite des Seitenstreifens, Vorhandensein des Seitenstreifens, standfestes Bankett) unterschieden. In Abhängigkeit des Regelquerschnittes werden den unterschiedlichen Abweichungen von den empfohlenen Regelgrößen Zuschläge auf die Unfallkostenraten festgelegt.

Knotenpunkte werden nach teilplanfrei und planfrei unterschieden und ähnlich wie bei der Streckenbewertung mit Grundunfallkosten auf Basis der Vorgaben zu den Ein- und Ausfahrbereichen (inklusive Rampen) der RAA belegt. Zuschläge für knotenpunktspe-

zifische Abweichungen in Ein- und Ausfahrbereichen sind nach den Kriterien Querschnitt, Knotenpunktlage, Knotenpunktelemente, Lageplanelemente, Höhenplanelemente, Straßenflächengestaltung, Sicht und Seitenraum unterschieden.

Die im HVS verwendeten Grundunfallkostenraten und deren Zuschläge wurden in zwei Forschungsarbeiten von MAIER/BERGER 2013 und 2017 durch praktische Anwendung überprüft. In der zuerst vorgelegten Studie wurde ein Bewertungsmodell für die Verkehrssicherheit von Landstraßen erprobt. Auf Basis von 3.600 km Landstraße wurden Grundunfallkostenraten und Zuschläge auf Grund von Defiziten ermittelt und quantifiziert. Zur Beschreibung des Unfallgeschehens kamen multivariate Modelle zum Einsatz. Diese Studie bildete die methodische Grundlage für die darauffolgende Arbeit, die sich mit Bewertungsmodellen der Verkehrssicherheit auf Autobahnen auseinandersetzte. Bei dem Projekt „Bewertungsmodelle für die Verkehrssicherheit von Autobahnen und von Landstraßenknotenpunkten“ wurden analog zum Ansatz des Vorgängerprojektes Grundunfallkostenraten und deren Zuschläge berechnet. Die Unterteilung der Streckenelemente erfolgte nach den Elementen: freie Strecke, plangleiche Knotenpunkte mit Landstraßen und Anschlussstellen von Autobahnen.

2.2.2 Internationale Ansätze

Eine umfangreiche Grundlage zu internationalen Ansätzen zur Prognose von Unfällen wurde im Zuge des internationalen Forschungsprojektes PRACT (Predicting Road Accidents – a Transferable methodology across Europe) 2016 geschaffen. Ziel dieser Forschungsvorhabens war es, eine einheitliche und benutzerfreundliche Richtlinie zu entwickeln, die europäischen Administrationen hilft für spezifische lokale Gegebenheiten Unfälle zu prognostizieren und Einflussparameter auf die Verkehrssicherheit zu bewerten. Zu diesem Zweck wurden verschiedene bereits bestehende Accident Prediction Models (APM) und Crash Modifikation Factors (CMF) untersucht. In PRACT wurden zwei Kategorien von Straßen definiert: Zum einen die Autobahnen und zum anderen zweistreifige Landstraßen. Des Weiteren ergaben sich daraus 6 CMF-Kategorien nach den Straßenelementen:

1. Freeway segment
2. Speed change lanes
3. Ramp segments
4. Crossroad ramp terminals
5. Rural road segments (2-way-2-lane)
6. Rural road intersections

Für das vorliegende Forschungsvorhaben sind Angaben zu CMF von Autobahnen und deren Streckenelementen von Interesse. In PRACT wurden 92 CMF-Typen für Autobahnen und zweistreifige Landstraßen betrachtet. Abbildung 5 zeigt eine Übersicht der verwendeten und überprüften CMF von Autobahnen. Ein Großteil der gezeigten CMF

basiert auf Daten aus den USA, welche unter anderem im Highway Safety Manual (HSM) beschrieben sind.

CMF type no	CMF title	Number of reviewed CMFs
CMF type 1	Freeway segment - Horizontal curve	16
CMF type 2	Freeway segment - Lane width	3
CMF type 3	Freeway segment - Inside shoulder width	4
CMF type 4	Freeway segment - Median width	5
CMF type 5	Freeway segment - Median barrier	6
CMF type 6	Freeway segment - High volume	4
CMF type 7	Freeway segment - Lane change	2
CMF type 8	Freeway segment - Outside shoulder width	4
CMF type 9	Freeway segment - Shoulder rumble strip	1
CMF type 10	Freeway segment - Outside clearance	8
CMF type 11	Freeway segment - Outside barrier	7
CMF type 12	Freeway segment - Workzones	92
CMF type 14	Freeway segment - High friction treatments (including anti-skid/slip)	16
CMF type 18	Freeway segment - Roadside features - crash cushions	6
CMF type 19	Freeway segment - Skid resistance (in general)	6
CMF type 21	Freeway segment - Automated speed enforcement (section or average)	48
CMF type 22	Freeway segment - Advanced warning devices/signals/beacons	72
CMF type 25	Freeway segment - Variable message signs	13
CMF type 26	Freeway segment - Horizontal curve delineation	27
CMF type 27	Speed change lane - Horizontal curve	involved in Freeway segments
CMF type 28	Speed change lane - Lane width	involved in Freeway segments
CMF type 29	Speed change lane - Inside shoulder width	involved in Freeway segments
CMF type 30	Speed change lane - Median width	involved in Freeway segments
CMF type 31	Speed change lane - Median barrier	involved in Freeway segments
CMF type 33	Speed change lane - Ramp Entrance (length/side of ramp)	5
CMF type 34	Speed change lane - Ramp Exit (length/side of ramp)	14
CMF type 35	Ramp segment - Horizontal curve	involved in Freeway segments
CMF type 36	Ramp segment - Lane width	involved in Freeway segments
CMF type 38	Ramp segment - Left shoulder width	involved in Freeway segments
CMF type 40	Ramp segment - Left side barrier	involved in Freeway segments
CMF type 41	Ramp segment - Lane add or drop	1
CMF type 42	Ramp segment - Ramp speed change lane	1
CMF type 43	Ramp segment - Weaving section	1

Abbildung 5: Übersicht der betrachteten CMF in Forschungsprojekt PRACT (Quelle: PRACT (2016))

2.3 Internationaler Vergleich der Verkehrssicherheit von Autobahnen

Das European Transport Safety Council (ETSC) hat im März 2015 ein Ranking erarbeitet, indem der Fortschritt der Verkehrssicherheit auf Autobahnen bewertet wurde. Die Untersuchung vergleicht Kennzahlen der Verkehrssicherheit von 31 Ländern.

In der Studie wurde festgestellt, dass im Jahr 2013 rund 1.900 Menschen auf Autobahnen tödlich verunglückt sind, dies entspricht etwa 7% aller Getöteten im Straßenverkehr. Zwischen 2004 und 2013 waren es insgesamt 27.500 Getötete auf Autobahnen in der EU. Positiv hervorgehoben ist, dass sich die Zahl der tödlich Verunglückten in diesem Zeitraum um 49% verringert hat, obwohl das Autobahnnetz um etwa 25% gewachsen ist. Als hervorstechend sind die Länder Litauen (20%), Slowakei (15%) und Spanien (13%) genannt, welche in diesem Zeitraum jährlich den höchsten Rückgang an Verkehrstoten auf Autobahnen zu verzeichnen haben. Weiterhin wurde festgestellt, dass das Risiko auf Autobahnen in den Ländern Dänemark, Großbritannien, Schweden und den Niederlanden am geringsten ist (Verhältnis von Verkehrstoten pro Milliarde Fahrzeugkilometern). In Deutschland ist im Vergleich zum Rest der EU (durchschnittlicher Rückgang von 8%) die Reduktion von Verkehrstoten auf Autobahnen unterdurchschnittlich (ca. 6,5%). In Bezug auf das Unfallrisiko liegt Deutschland mit fast 2 Toten pro Milliarde Fahrzeugkilometer im Mittelfeld des Rankings.

Das ETSC empfiehlt den Mitgliedsstaaten der EU mit Blick auf die Auswertung mehrere Maßnahmen, um die Verkehrssicherheit auf Autobahnen nachhaltig zu verbessern. Allen voran steht die Forderung, die Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates über ein Sicherheitsmanagement für die Straßeninfrastruktur anzuwenden. Des Weiteren wird empfohlen, durch eine bessere Kontrolle Geschwindigkeitslimits, die Gurtragepflicht und die Verkehrstüchtigkeit der Fahrer zu überprüfen. Weiterhin sollten Hindernisse an den Fahrbahnen entfernt oder mit passiven Schutzeinrichtungen ausgestattet werden. Außerdem sollte die Zugänglichkeit für Fußgänger auf Autobahnen erschwert werden, um damit die folgenschweren Unfälle mit Fußgängern zu unterbinden.

2.4 Beispiele aus der Praxis

2.4.1 Projekt „Konzept zur Erhöhung der Verkehrssicherheit auf der A2“ (DLR, TUB, TUD, MHH, 2010)

In Folge von häufig auftretenden schweren Unfällen auf der A2 wurde in der Öffentlichkeit das Sicherheitsniveau der A2 diskutiert. Das genannte Forschungsprojekt hat sich zum Ziel gesetzt, Maßnahmen zu entwickeln und deren Wirksamkeit abzuschätzen. Die möglichen Unfallursachen werden für alle Ebenen (Fahrer, Fahrzeug, Umwelt) untersucht. Beispielsweise haben die hohen Verkehrsstärken und insbesondere die sehr hohen Schwerverkehrsanteile Einfluss auf das Unfallgeschehen, sowie auch die unangepassten Geschwindigkeiten und der nicht eingehaltene Sicherheitsabstand.

Ansatz des Projektes ist es straßenbauliche, entwurfstechnische, betriebliche sowie verkehrspsychologische Sicht auf die Unfallursachen zu erlangen und daraufhin Gegenmaßnahmen zu empfehlen. Die Datengrundlagen stammen aus den Jahren 2005

bis 2008 und beinhalten insgesamt 8.949 Unfälle. Dazu wurden für Unfälle mit Getöteten die GIDAS-Datenbanken (N=35) und Akten der Staatsanwaltschaft (N=35) analysiert. Es wurde die Leistungsfähigkeit des IST-Zustandes berechnet, zusätzlich wurde auch die Prognose 2025 für die prognostische Leistungsfähigkeit hinzugezogen. Über Daten der Messquerschnitte der Verkehrsbeeinflussungsanlagen konnten fahrstreifenfeine Auswertungen der Geschwindigkeiten erhoben werden und so die unterschiedliche Dynamik dargestellt werden. Mit Messfahrten und den Daten der aktuellen ZEB-Erhebung wurden zudem Daten der Trassierung (Lage- und Höhenplan) und der Zustand der Fahrbahn erhoben. Um auch das Fahrverhalten zu berücksichtigen, wurden mit einem speziellen Messfahrzeug (DLR-Viewcar) Testpersonen untersucht (Geschwindigkeitsverhalten, Abstand zum Vorderfahrzeug, psychische und physische Belastung des Fahrers). Mit dem Zusammentragen aller oben genannten Daten wurde ein Gefährdungsprofil der A2 erstellt, auf dessen Basis die Maßnahmen erstellt wurden.

In der Studie wurden als Hauptunfallursachen ungenügender Sicherheitsabstand, nicht angepasste Geschwindigkeit, Fehler beim Fahrstreifenwechsel und Fehler beim Überholen festgestellt. Die vorgeschlagenen Maßnahmen unterteilen sich in entwurfs-technische, betriebliche, bauliche und zusätzliche Maßnahmen. Zudem werden sie unterschieden nach punktuellen und streckenbezogenen Maßnahmen. Die Wirksamkeit der Maßnahmen wurde abgeschätzt und die Bewertung erfolgte nach den Kriterien Kosten und Nutzen. Die Kosten beinhalten die Umsetzung (Zeit) und den Aufwand (Ressourcen). Die Nutzen beinhalten die potenzielle Wirksamkeit der Maßnahme.

Nachfolgend sind Maßnahmen und deren Auswirkung gelistet, die laut der Studie ein sehr hohes Wirkfeld haben:

- Qualitätsanalyse und Management der VBA
 - Schnelles Fahren, geringer Abstand, Nässe, Akzeptanz
- Unterstützung: Fahrzeugtechnik, Fahrassistenzsysteme
 - Bei Auffahrunfällen, Spurwechsel, Ermüdung
- Achtstreifiger Ausbau der A2
 - Bei Engpässen in der Verkehrsqualität
- Umbau von Knotenpunktsystemen
 - Bei Engpässen in der Verkehrsqualität
- Dynamische Seitenstreifenfreigabe
 - Bei Engpässen in der Verkehrsqualität

2.4.2 Projekt „Evaluierung von Baumaßnahmen auf der A2 in Niedersachsen“ (Geistefeld/Finkbeiner, 2018)

Auch diese Studie beschäftigte sich mit der A2 in Niedersachsen. Der Fokus dieser Studie liegt jedoch auf die verkehrlichen Anforderungen bei Baumaßnahmen. Besonders hohe Verkehrsstärken und insbesondere der hohe Schwerverkehrsanteil führen

zu diesen hohen Anforderungen an die Einrichtung von Baumaßnahmen. Als Vorgabe des BMVI gilt, dass während der Baumaßnahmen die vorhandene Anzahl an Fahrstreifen während der Dauer der Maßnahme beibehalten wird, wodurch keine Reduktion der Kapazität auftreten soll. Durch die Nichteinhaltung und dem Zusammenspiel mit sehr hohen Verkehrsstärken kommt es in der Folge häufig zu langen Staus vor den Baustellen.

Das Forschungsprojekt evaluierte 5 Einzelmaßnahmen an der A2 in Niedersachsen aus dem Jahr 2017. In den Baustellen gab es jeweils unterschiedliche Führungsformen, welche auf ihre verkehrliche Wirkung überprüft wurden. Daneben wurde auch eine Analyse der Verkehrssicherheit durchgeführt. Das Ergebnis der Studie zeigt für alle Baumaßnahmen deutlich höhere Unfallraten. Dazu wurden eindeutige Zusammenhänge von Stauaufkommen und Unfallgeschehen im Zulauf ermittelt. Die räumlich-zeitliche Analyse der Unfälle zeigte im Zulauf der Richtungsverkehrsführung mit Fahrstreifenreduktion deutliche Unfalhäufungen, was auf Auffahrunfälle an den Stauenden zurückzuführen ist. Durch Auswertung von Schleifendaten hinsichtlich der zum Unfallzeitpunkt vorherrschenden Geschwindigkeiten konnten die Staulängen mit den Ausdehnungen der Unfalhäufungsbereiche in Zusammenhang gebracht werden. Teilweise konnten noch in über 10 km Entfernung vor Beginn der Baustelle Unfälle im Zusammenhang mit dem Stau von einer Baumaßnahme gebracht werden. Zudem zeigt sich auch eine überdurchschnittliche Schwere der auftretenden Unfälle.

Auf Grund der genannten Erkenntnisse formuliert die Untersuchung Empfehlungen zur Erhöhung der verkehrlichen Qualität und der Verkehrssicherheit:

- Fahrstreifenreduktion in Baustellenbereichen vermeiden, um die Kapazität der Straße zu erhalten und lange Staus zu verhindern
- Provisorische Fahrbahnerweiterung (volkswirtschaftlicher Nutzen rechtfertigt auch die dadurch höheren Baukosten)
- Prüfung der Wirksamkeit und der Steuerung von Verkehrsbeeinflussungsanlagen

2.4.3 Projekt „Erhöhung der Verkehrssicherheit auf den Autobahnen in Ostwestfalen-Lippe (OWL)“ (Straßen NRW, Polizei NRW Bielefeld, 2014)

Im Jahr 2014 stellte eine Projektgruppe, bestehend aus Akteuren aus der Bezirksregierung Detmold, dem Landesbetrieb Straßen.NRW und des Polizeipräsidiums Bielefeld einen Bericht vor, in dem Maßnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit in OWL ermittelt und bewertet wurden. Die Untersuchung wurde aufgrund von alarmierenden Unfallzahlen ins Leben gerufen. So sind in den Jahren 2007 bis 2011 insgesamt 44 Menschen tödlich verunglückt, 667 Menschen schwer verletzt und 1.202 Menschen leicht verletzt worden. Die Unfalldichte der Unfälle mit schwersten Folgen (Tote

und Schwerverletzte) war somit in diesem Zeitraum die höchste in NRW. Bei Betrachtung von Unfällen mit Personenschaden (also inklusive Unfälle mit Leichtverletzten) zeigten sich im Vergleich jedoch geringere Werte.

Ziel des Gutachtens war es, auf dem Streckennetz Besonderheiten ausfindig zu machen, die schwere Unfälle begünstigen und Maßnahmen zu finden, welche die Zahlen der Verunglückten signifikant senken. Der Analysezeitraum der Untersuchung bezieht auf den Zeitraum zwischen 2008 und 2012. Die Unfälle wurden auf verschiedene Einflussgrößen untersucht:

- Unfallursachen
- Unfallzeiten
- Verkehrsbeteiligung
- Staugeschehen
- Geschwindigkeitsniveau
- Anschlussstellen und Knotenpunkte
- Topographie und Trassenführung
- Fahrbahnzustand

Im Ergebnis wurden im Vergleich zum übrigen Autobahnnetz in NRW Unterschiede festgestellt. So sind in diesem Bereich die Unfallfolgen von Unfällen mit Beteiligung von Lkw signifikant höher als auf anderen Autobahnen in NRW. Gleichzeitig verursachen Lkw überdurchschnittlich viele Unfälle mit der Hauptunfallursache Fahrstreifenwechsel/Überholen, Geschwindigkeit und Abstand. Insgesamt konnte bei der Unfallursache Fahrstreifenwechsel/Überholen festgestellt werden, dass die Unfälle schwerere Folgen als im Landesdurchschnitt haben, dies gilt auch für Unfälle in Zusammenhang mit Stauereignissen. Grund für die überproportional vielen Unfälle sehen die Gutachter in der Topographie mit vielen Steigungen und Gefällestrecken. Die Hauptunfallursache, die zu Unfällen mit Getöteten und Schwerverletzten führt, ist die nicht angepasste Geschwindigkeit. Die anderen oben genannten möglichen Einflussgrößen ergaben keinen relevanten Zusammen in Bezug auf die Unfallfolge.

Mit Blick auf die festgestellten Zusammenhänge im Unfallgeschehen wurden folgende Maßnahmen im Gutachten empfohlen:

- Bau von Streckenbeeinflussungsanlagen
- Einrichtung von Lkw-Überholverböten
- Geschwindigkeitsbeschränkungen
- Professionelles Staumanagement
- Bau von Rüttelstreifen
- Intensivierung der Überwachung von Abstandsverstößen
- Kooperative Kontrollen zur Überwachung des Schwerlastverkehrs
- Intensivierung der Öffentlichkeitsarbeit

2.5 Verkehrssicherheitsprogramm BMVI 2011

Abschließend zur Literaturanalyse soll der Blick auf die Ziele der Verkehrssicherheit auf Bundesebene gerichtet werden. Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur hat in seinem Verkehrssicherheitsprogramm 2011 mehrere Maßnahmen festgelegt, die die Verkehrssicherheit auf deutschen Autobahnen weiter erhöhen sollen. Im Verkehrssicherheitsprogramm wurden „nicht angepasste Geschwindigkeit“, „ungenügender Sicherheitsabstand“ und „Fehler beim Überholen“ als Hauptunfallursachen auf Autobahnen festgestellt. Weiterhin wurde festgestellt, dass es bei 38% der Unfälle mit Personenschaden zum Auffahren auf ein vorrausfahrendes Fahrzeug gekommen ist und bei etwa einem Drittel der Unfälle zum Abkommen von der Fahrbahn. Die Untersuchung erfolgte auf Basis von 18.829 Unfällen mit Personenschaden im Jahr 2010.

Die oben gezeigten Erkenntnisse führten in Folge zu 7 formulierten Maßnahmen, welche die Erhöhung der Verkehrssicherheit auf deutschen Autobahnen fördern sollen:

- Abkommensunfälle durch Einsatz von Rüttelstreifen vermeiden
- Einrichtung von Zusatzfahrstreifen an Steigungsstrecken
- Ausbau von Streckenbeeinflussungsanlagen
- Verstärkte temporäre Nutzung von Seitenstreifen
- Sicherheit an Baustellen erhöhen
- Falschfahrerwarntafeln
- Rastanlagen und Parkraumbewirtschaftung

3 Makroskopische Unfallanalyse

Teil der Grundlagenanalyse ist eine Untersuchung des Unfallgeschehens auf deutschen Bundesautobahnen auf Grundlage der Jahresberichte von 2011 bis 2016 des Statistischen Bundesamtes. Die Makroskopische Unfallanalyse beinhaltet u.a. Auswertungen nach Unfallkategorien, -typen, -arten, -beteiligten, -ursachen, und -umständen. Eine initiale Analyse der Jahresberichte des Statistischen Bundesamtes zeigt einen gesamtdeutschen Überblick über das Unfallgeschehen auf Autobahnen. Auf Grundlage der initialen Analyse des Unfallgeschehens wurde eine Sonderabfrage vorbereitet und an das Statistische Bundesamt gestellt, um detaillierte Einblicke auf Einflussparameter bei Unfällen auf Autobahn zu erlangen.

Ziel der makroskopischen Unfallanalyse ist es, die allgemeinen Zusammenhänge sowie die Schwerpunkte und Risikogruppen des Unfallgeschehens auf allen deutschen Bundesautobahnen zu ermitteln. Besonderes Augenmerk lag auf der Frage, welche Risikogruppen in welchen Unfällen als Verursacher oder Beteiligter verwickelt sind und welche Unfallfolge typischerweise resultiert.

Die folgenden Ergebnisse dienen als erster Einblick in das Kollektiv der bundesdeutschen Autobahnunfälle und als Grundlage für die folgenden Untersuchungsschritte.

3.1 Unfallgeschehen in Deutschland

Autobahnen gelten bezogen auf die Fahrleistung als die sichersten Straßen in Deutschland. So verunglückten auf deutschen Straßen im Zeitraum 2011 bis 2016 durchschnittlich 532 Verkehrsteilnehmer pro 1 Mrd. Kfz-km, davon 5 tödlich. Werden dagegen nur die Autobahnen betrachtet, sind es lediglich 134 Verunglückte, darunter 2 Getötete pro 1 Mrd. Kfz-km. Ein Blick auf die Unfalldichte zeigt jedoch ein anderes Bild. In Abbildung 6 und Abbildung 7 sind die Unfalldichten bezogen auf Unfälle mit Personenschaden und Unfälle mit Getöteten dargestellt. Es zeigt sich, dass bezogen auf die Streckenlänge auf Autobahnen mit durchschnittlich 27,8 Getöteten pro 1.000 km Straßenlänge (19,7 innerorts und 11,5 außerorts) die höchste Dichte an Unfällen mit Getöteten im Zeitraum von 2011 bis 2016 verzeichnet ist.

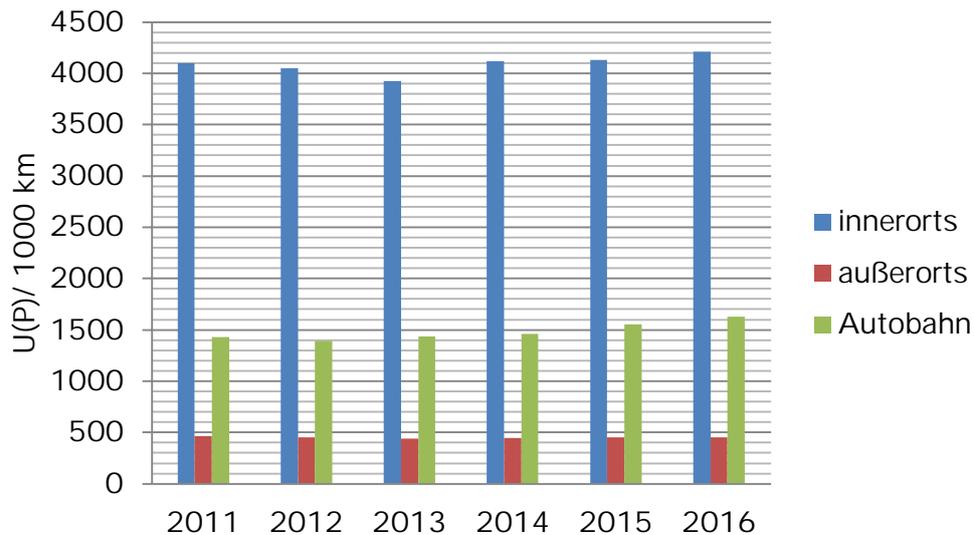


Abbildung 6: Unfälle mit Personenschaden je 1.000 km Straßenlänge bezogen auf die Ortslage (Quelle: Destatis (2016). Fachserie 8 Reihe 7.)

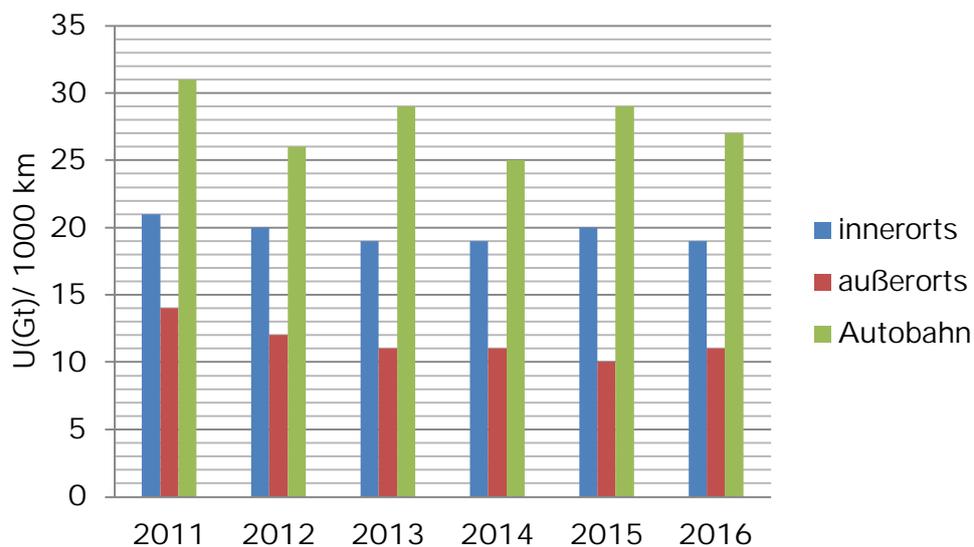


Abbildung 7: Unfälle mit Getöteten je 1.000 km Straßenlänge bezogen auf die Ortslage (Quelle: Destatis (2016). Fachserie 8 Reihe 7.)

3.2 Kennzahlen aus den Statistischen Jahrbüchern

Um die nachfolgenden Auswertungen der Statistiken besser einordnen zu können, bedarf es einiger Kennzahlen. Allerdings gibt es keine autobahnspezifischen Daten. Daher müssen als Vergleichswerte allgemeine Kennzahlen genutzt werden. Die dargestellten Bezugszahlen stammen aus der Untersuchung MiD 2008 und aus dem Statistischen Jahrbuch für das Jahr 2016.

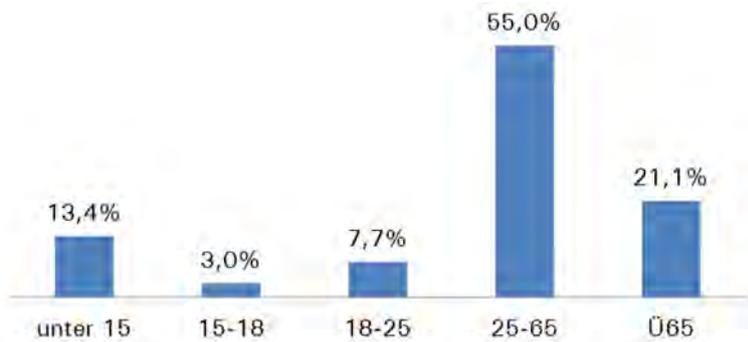


Abbildung 8: Übersicht über die Bevölkerungsanteile in Deutschland (Quelle: Destatis (2016). Fachserie 8 Reihe 7)

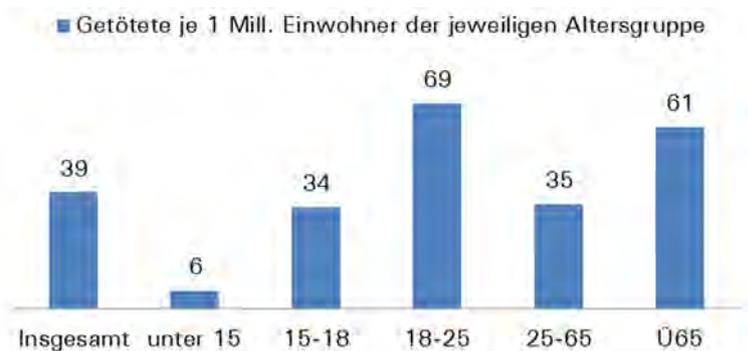


Abbildung 9: Übersicht über Getötete je 1 Millionen Einwohner der jeweiligen Altersgruppe (Quelle: Destatis (2016). Fachserie 8 Reihe 7)

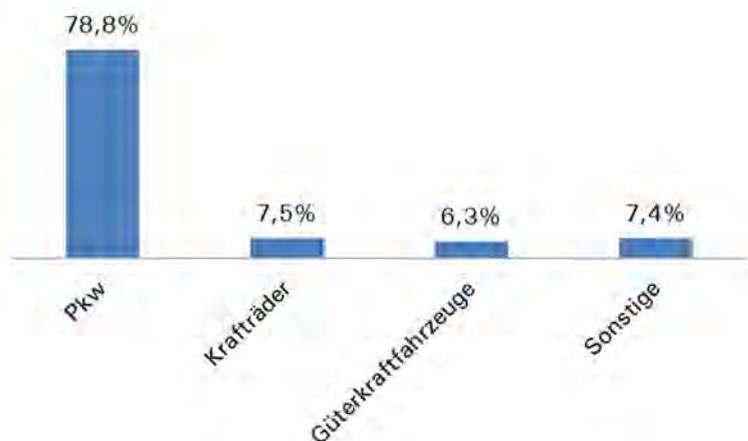


Abbildung 10: Übersicht über den Kraftfahrzeugbestand Deutschlands (Quelle: Destatis (2016). Fachserie 8 Reihe 7)



Abbildung 11: Übersicht der erbrachten Fahrleistung in Abhängigkeit des Geschlechts für die Jahre 2002 und 2008 (Quelle: MiD (2008))

3.3 Unfallgeschehen auf Autobahnen

3.3.1 Zeitliche Entwicklung der Unfallzahlen

Zwischen den Jahren 2011 und 2016 zeigt sich auf Autobahnen ein merkbarer Anstieg an Unfällen mit Personenschaden (vgl. Abbildung 12). Im Jahr 2011 wurden insgesamt 17.890 Unfälle mit Personenschaden polizeilich erfasst, wohingegen im Jahr 2016 insgesamt 20.845 Unfälle mit Personenschaden erfasst wurden. Dies entspricht einem Anstieg von rund 14%. Im Hinblick auf die Zahl der Getöteten ist jedoch zu beobachten, dass die Zahlen auf Autobahnen von 2011 bis 2016 im Vergleich zu den Unfällen mit Personenschaden verhältnismäßig konstant sind.

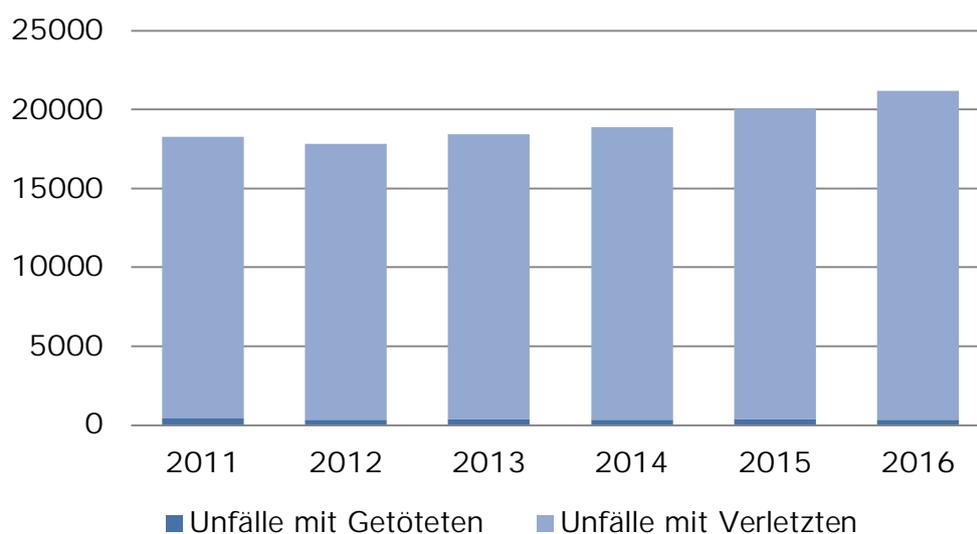


Abbildung 12: Zeitliche Entwicklung der Unfälle mit Personenschaden auf Autobahnen (Quelle: Destatis (2016). Fachserie 8 Reihe 7)

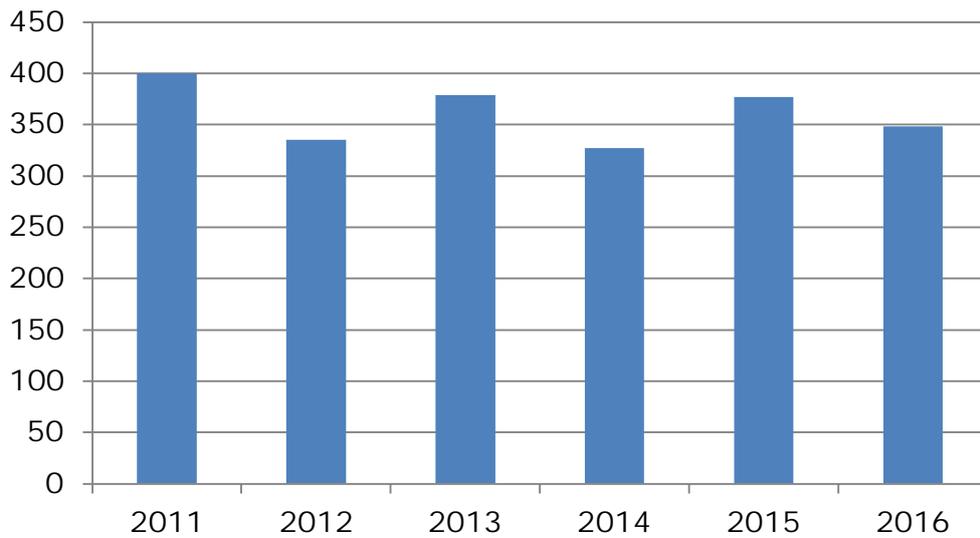


Abbildung 13: Zeitliche Entwicklung der Unfälle mit Getöteten auf Autobahnen (Quelle: Destatis (2016). Fachserie 8 Reihe 7)

3.3.2 Unfalltypen

Aus **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** wird deutlich, dass mit 61% der Unfälle mit Personenschaden der Unfalltyp „Unfall im Längsverkehr“ vorherrscht. Bei Unfällen mit Getöteten (Abbildung 15) sind Unfälle im Längsverkehr ebenfalls der häufigste Unfalltyp (47%). Hier ist außerdem besonders die hohe Zahl an Überschreiten-Unfällen auffallend, welche 5% der Unfälle mit Getöteten auf den Autobahnen ausmachten.

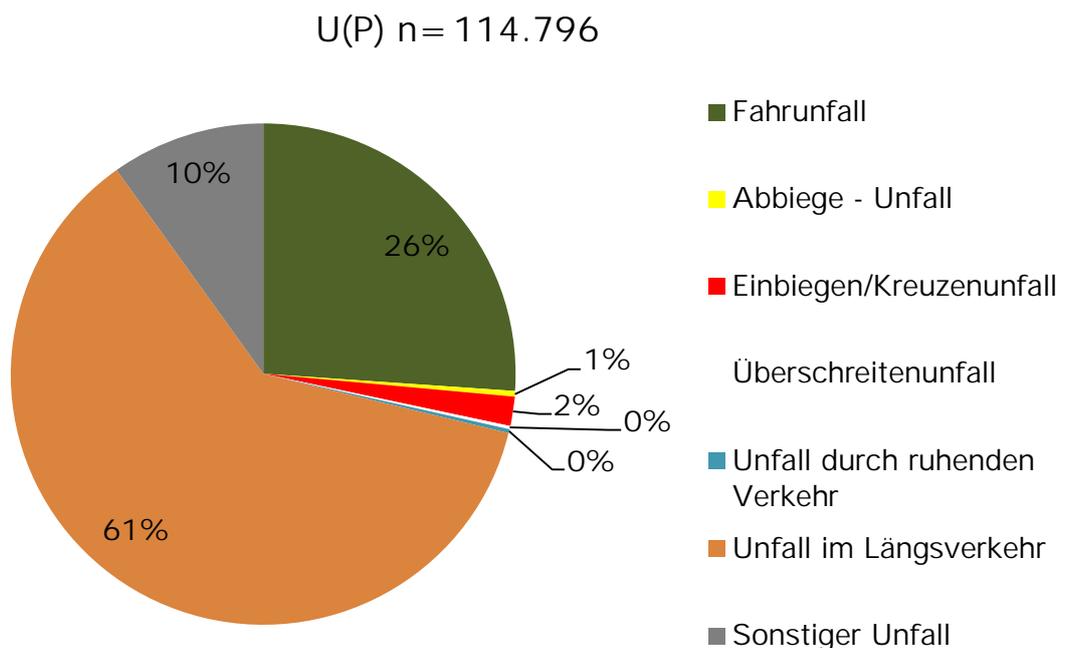


Abbildung 14: Übersicht über die Unfalltypen der Unfälle mit Personenschaden der Jahre 2011 bis 2016 (Quelle: Destatis (2016). Fachserie 8 Reihe 7)

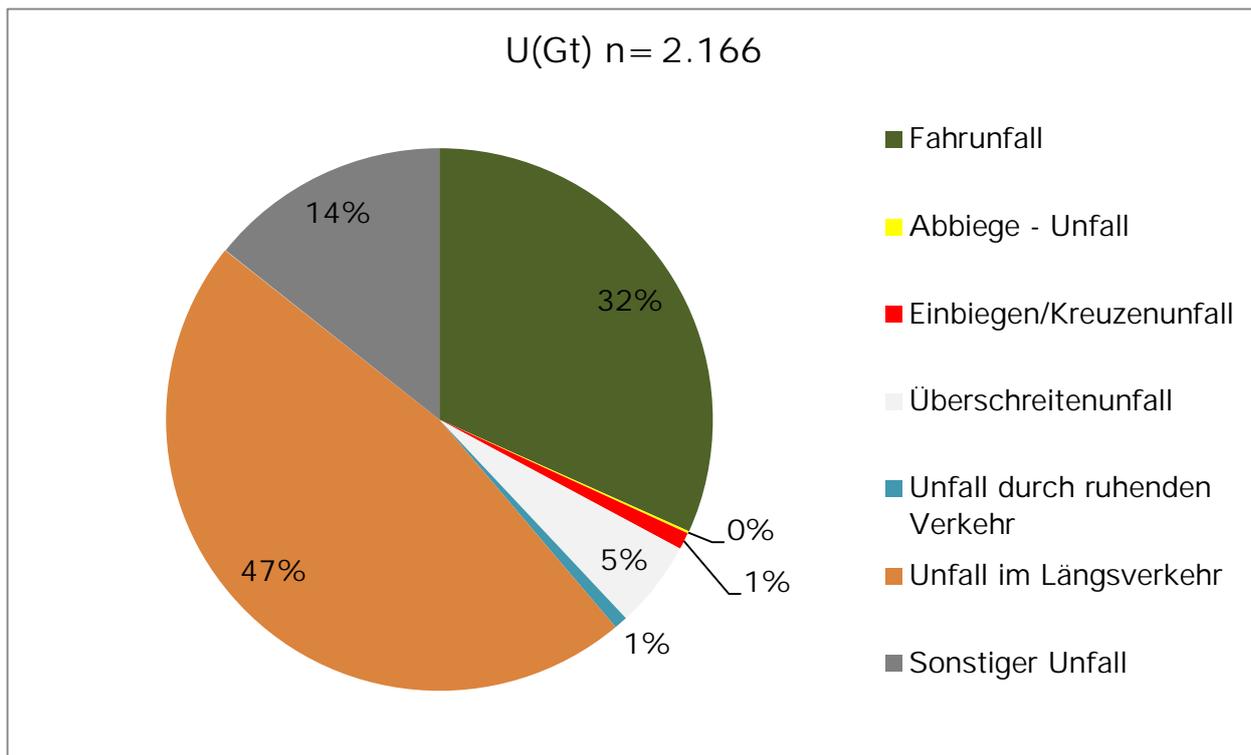


Abbildung 15: Übersicht der Unfalltypen der Unfälle mit Getöteten der Jahre 2011 bis 2016 (Quelle: Destatis (2016). Fachserie 8 Reihe 7)

Die folgenden Abbildungen zeigen zudem, welche Personengruppen (Alter und Geschlecht) und welche Art der Verkehrsbeteiligung die oben gezeigten häufigsten Unfalltypen verursachen. Bezogen auf die Unfälle mit Personenschaden machen die Unfälle im Längsverkehr und die Fahr Unfälle 87% aller Unfälle aus. Diese Unfalltypen werden daher im Folgenden näher betrachtet.

Fahr Unfälle

Abbildung 16 zeigt die Altersklassen der Hauptverursacher von Unfällen mit dem Unfalltyp Fahr Unfall. Aus der Darstellung wird deutlich, dass mit zunehmendem Alter auch die Schwere der verursachten Unfälle zunimmt. Ein Blick auf die in Abbildung 17 dargestellten Unfallbeteiligten zeigt zudem auch, dass mit höherem Alter der Unfallbeteiligten die Unfallfolgen schwerer werden. In Abbildung 18 ist das Geschlecht der Hauptverursacher dargestellt. Zu sehen ist, dass die Unfälle mit männlichem Hauptverursacher häufiger mit schweren Folgen enden. Der hohe Unterschied der absoluten Unfallzahlen zeigt zudem ein Ungleichgewicht von männlichen und weiblichen Unfallverursachern. Die in Abbildung 11 gezeigten Kennwerte zur erbrachten Fahrleistung zeigen, dass nur 31% der gefahrenen Kilometer von Frauen erbracht werden, allerdings verursachen sie auf Autobahnen nur 27% der Unfälle mit Personenschaden.

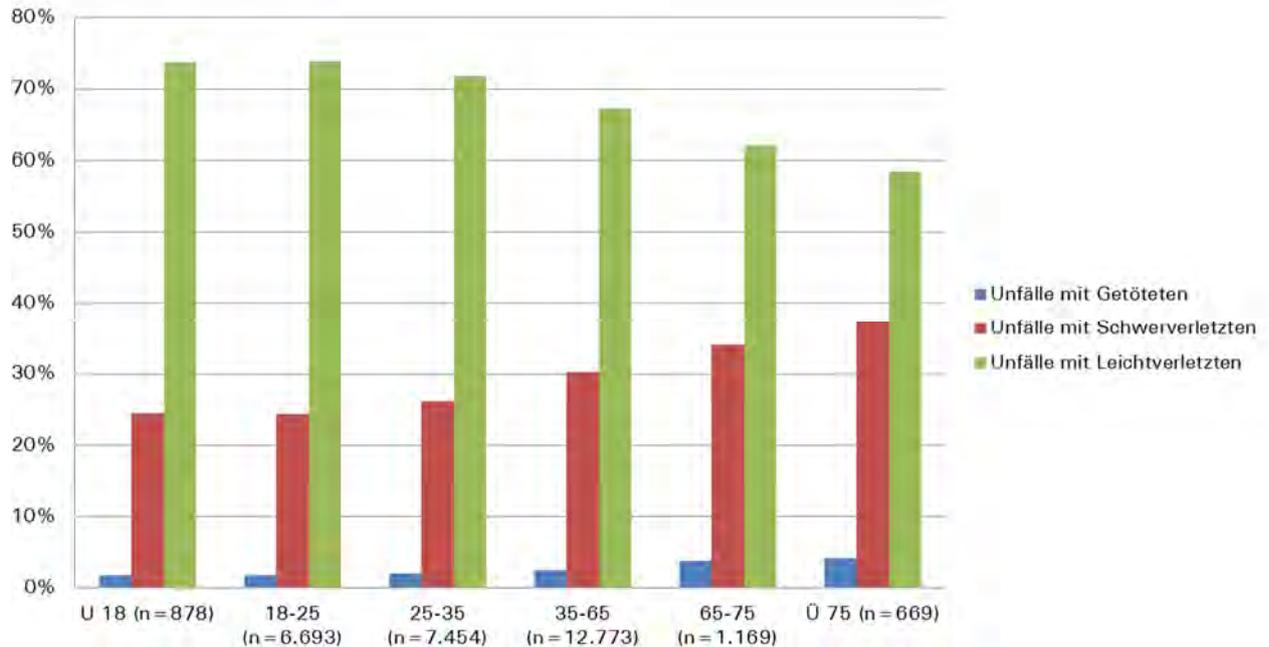


Abbildung 16: Unfallkategorie von Fahrurfällen bezogen auf die Altersklasse des Hauptverursachers (Quelle: Sonderabfrage, Destatis)

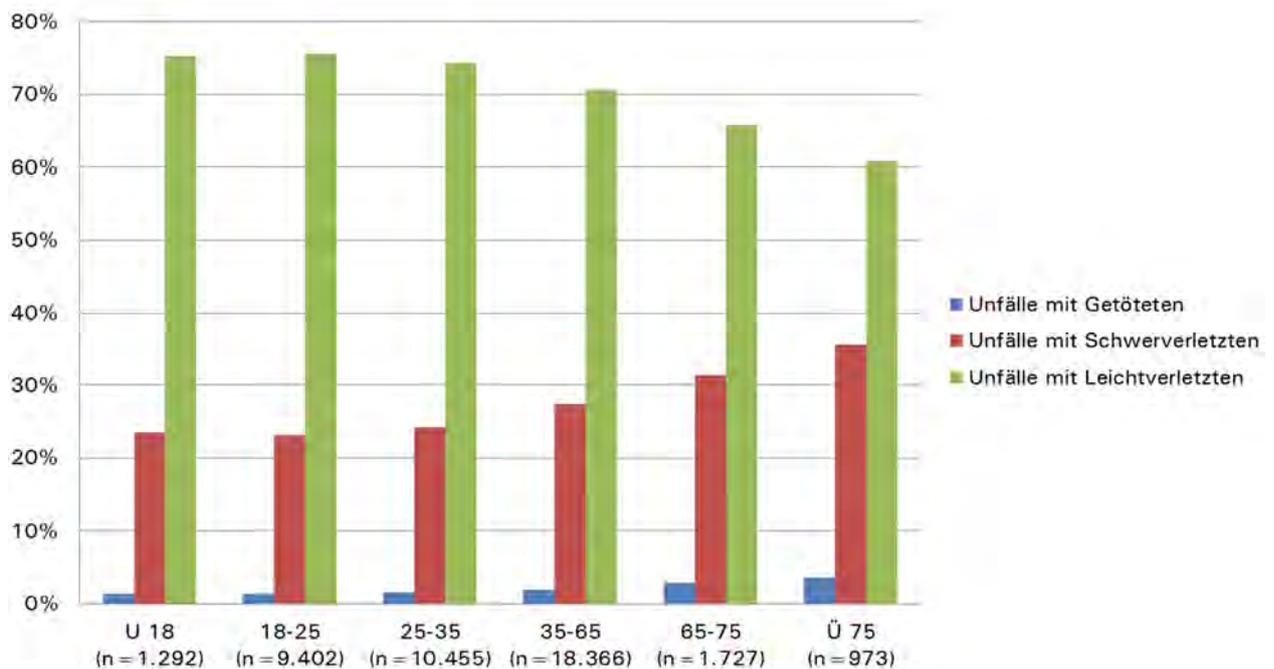


Abbildung 17: Unfallfolgen (Beteiligte) von Fahrurfällen differenziert nach Altersklasse des Hauptverursachers (Quelle: Sonderabfrage, Destatis)

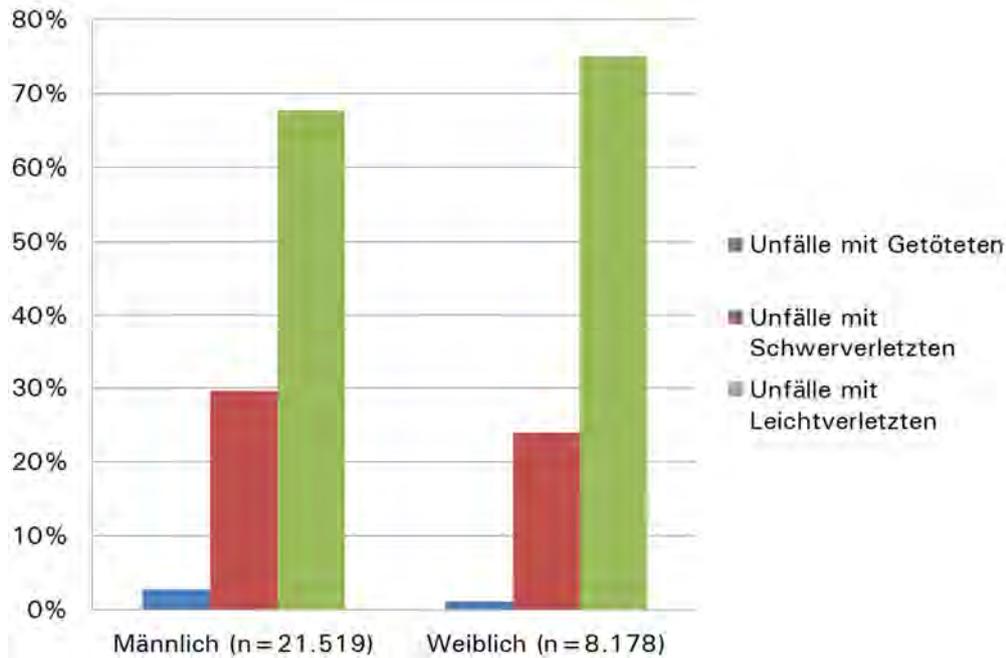


Abbildung 18: Unfallkategorie bei Fahrunfällen bezogen auf das Geschlecht des Hauptverursachers (Quelle: Sonderabfrage, Destatis)

Unfälle im Längsverkehr

Ähnlich wie bei der Auswertung der Fahrunfälle kann auch bei Unfällen des Unfalltyps „Unfall im Längsverkehr“ festgestellt werden, dass mit zunehmendem Alter des Hauptverursachers auch die Schwere des Unfalles zunimmt. Die Unfallkategorie, unterschieden nach Geschlecht des Hauptverursachers, zeigt auch bei den Unfällen im Längsverkehr, dass Männer schwerere Unfälle verursachen.

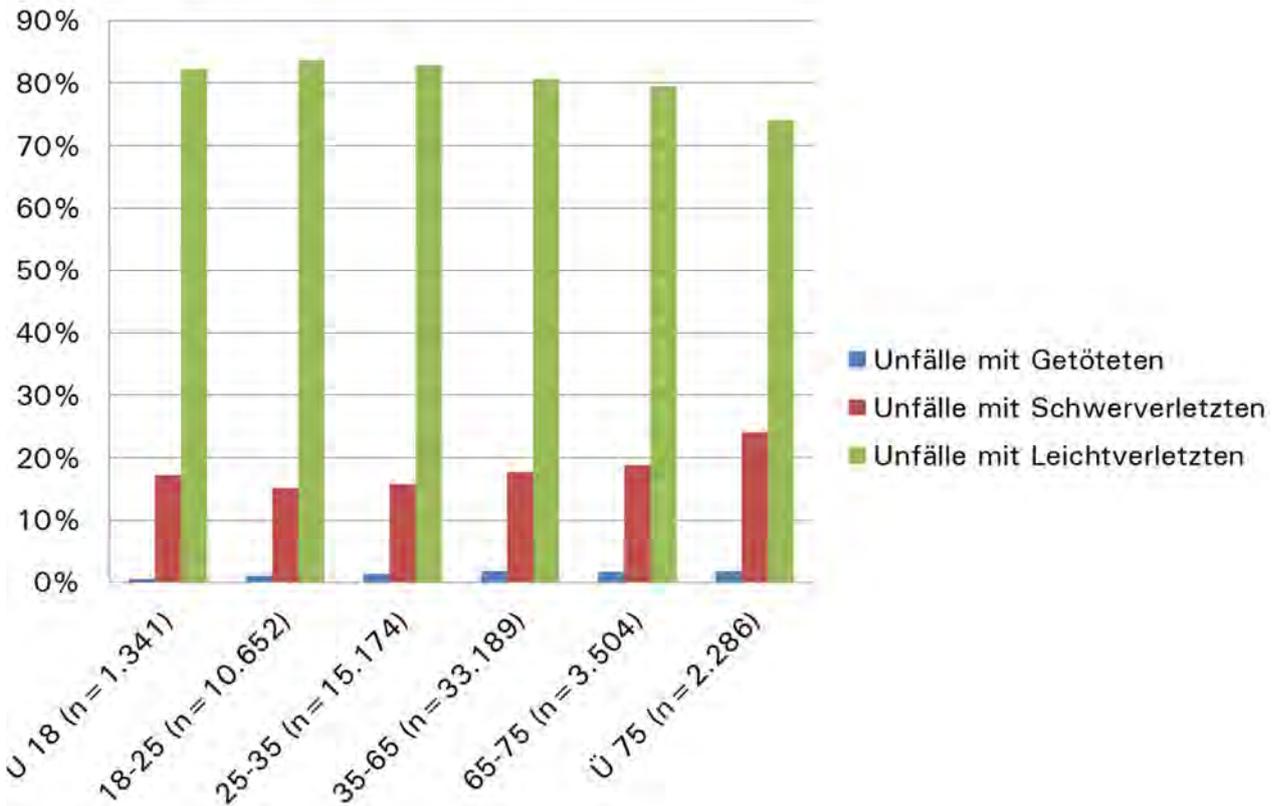


Abbildung 19: Verteilung der Unfallkategorie bei Unfällen im Längsverkehr bezogen auf die Altersklasse des Unfallverursachers (Quelle: Sonderabfrage, Destatis)

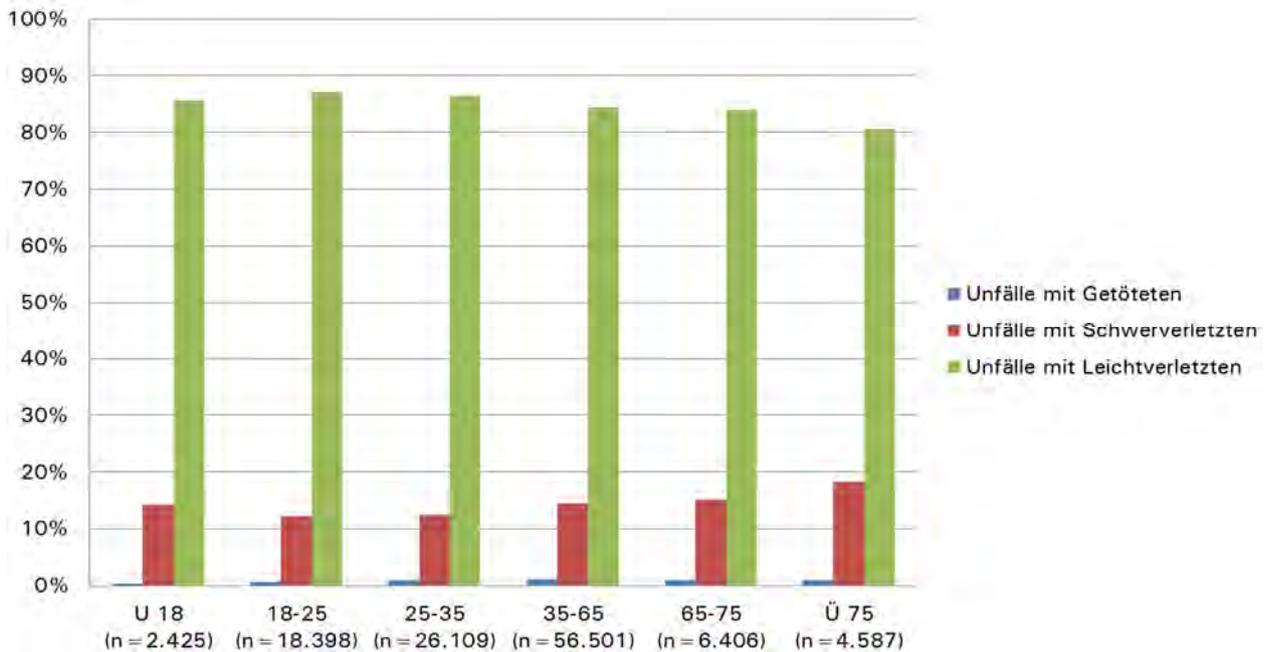


Abbildung 20: Unfallfolgen (Beteiligte) von Unfällen im Längsverkehr differenziert nach der Altersklasse des Hauptverursachers (Quelle: Sonderabfrage, Destatis)

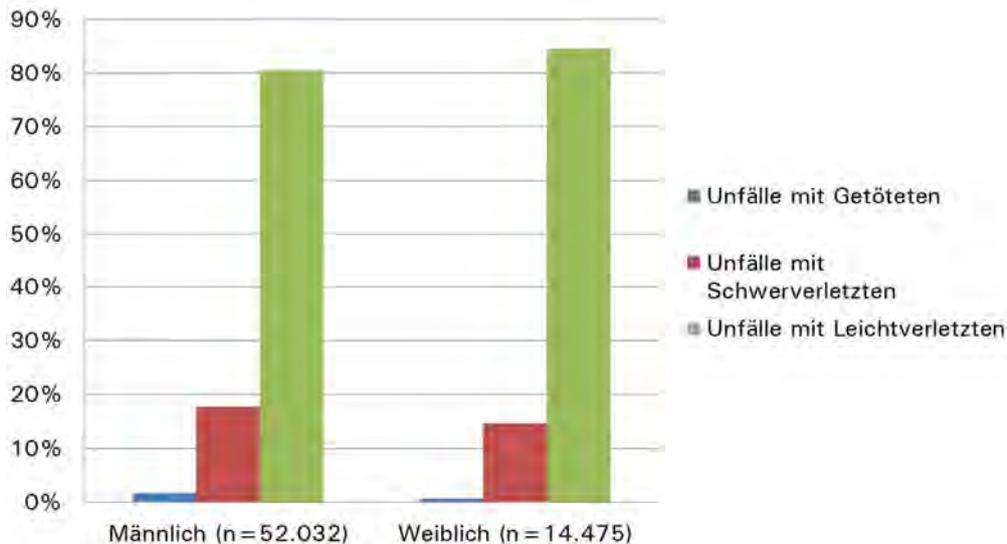


Abbildung 21: Verteilung der Unfallkategorie bei Unfällen im Längsverkehr bezogen auf das Geschlecht des Hauptverursachers (Quelle: Sonderabfrage, Destatis)

Art der Verkehrsbeteiligung

Abbildung 22 zeigt die Art der Verkehrsbeteiligung (differenziert nach Krafträdern, Personenkraftwagen und Güterkraftfahrzeugen) der Fahrunfälle und der Unfälle im Längsverkehr nach Unfallkategorie. Dabei wird deutlich, dass bei allen Unfallkategorien die Pkw den größten Anteil der verursachten Unfälle ausmachen (dazu vgl. Abbildung 10). Auffällig ist der im Vergleich sehr hohe Anteil von Güterkraftfahrzeugen bei Unfällen im Längsverkehr mit Getöteten, welcher 40% beträgt.

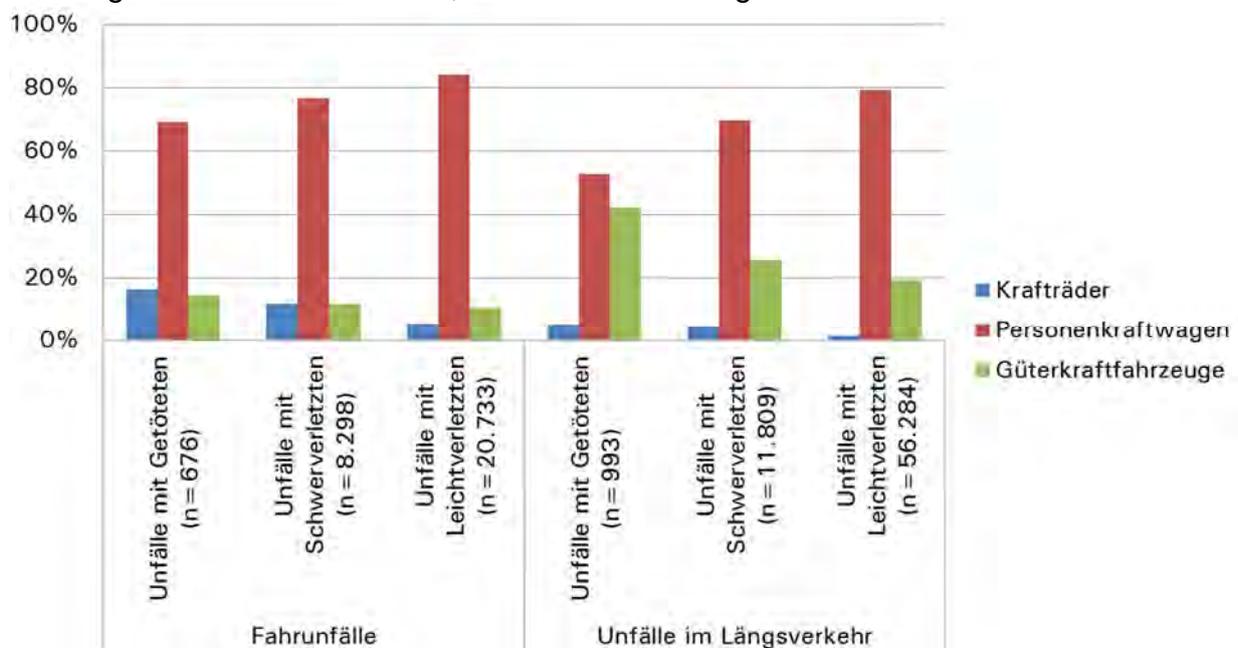


Abbildung 22: Anteil der Arten der Verkehrsbeteiligung bei Fahrunfällen und Unfällen im Längsverkehr (Quelle: Sonderabfrage, Destatis)

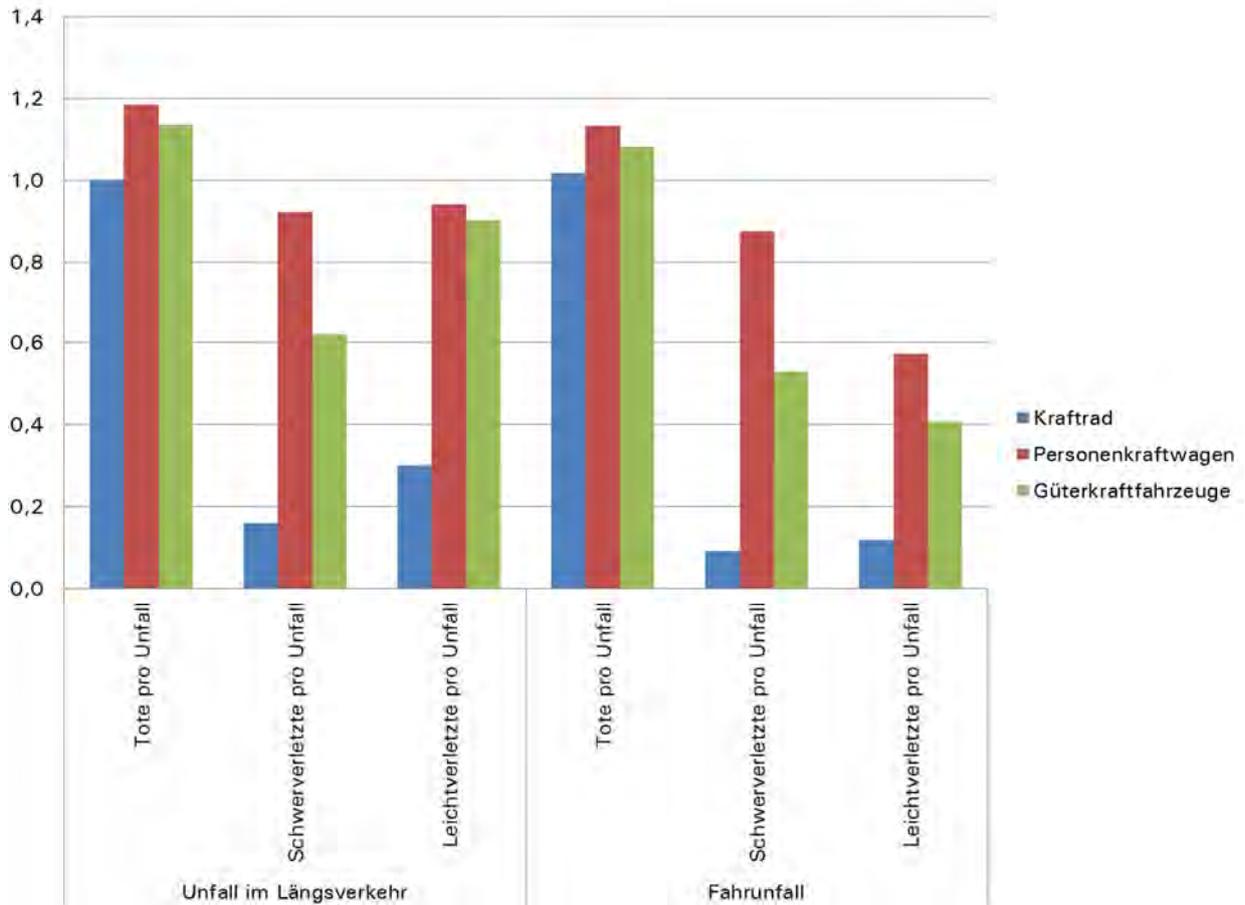


Abbildung 23: Unfallfolgen (Beteiligte) von Unfällen mit Getöteten in Bezug auf die Art der Verkehrsbeteiligung (Quelle: Sonderabfrage, Destatis)

3.3.3 Unfallarten

Aus Abbildung 24 wird deutlich, dass die häufigste Unfallart auf deutschen Autobahnen ein Zusammenstoß mit einem Fahrzeug ist, welches vorrausfährt oder wartet (45%). Gefolgt wird diese Unfallart von Unfällen, bei denen ein Fahrzeug von der Fahrbahn nach links (13%) oder rechts (17%) abkommt. Werden nur die Unfälle mit Getöteten betrachtet zeigt sich ähnlich wie in den oben gezeigten Übersichten der Unfalltypen, dass Unfälle, bei denen es zu einem Zusammenstoß mit einem Fußgänger kommt, in der relativen Betrachtung ansteigen (5%). Die häufigsten Unfallarten bleiben jedoch auch hier die Unfallarten, bei denen ein Fahrzeug vorrausfährt oder wartet und die Abkommen-Unfälle.

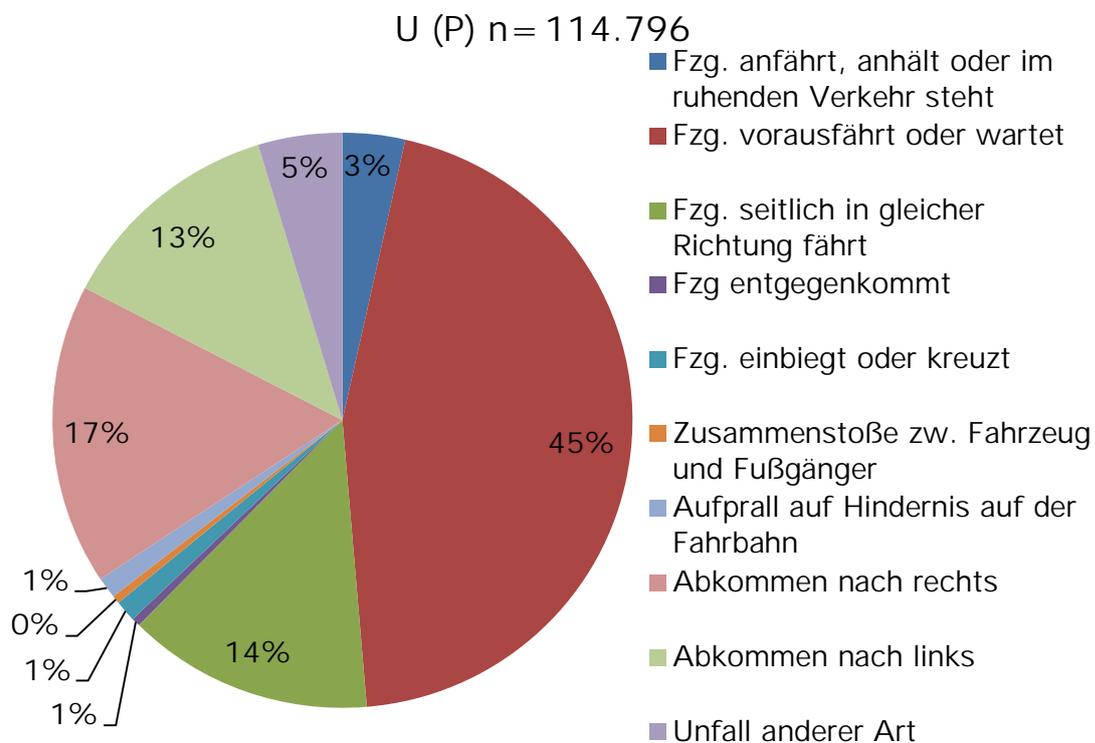


Abbildung 24: Übersicht der Unfallarten der Unfälle mit Personenschaden der Jahre 2011 bis 2016 (Quelle: Destatis (2016). Fachserie 8 Reihe 7)

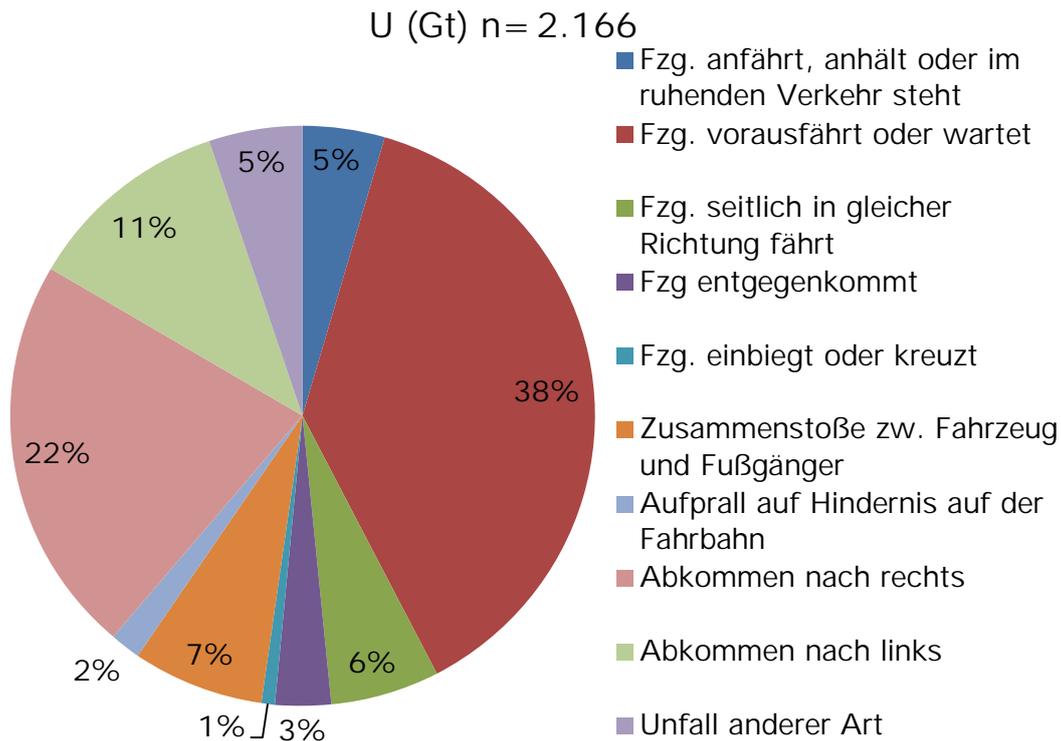


Abbildung 25: Übersicht der Unfallarten der Unfälle mit Personenschaden der Jahre 2011 bis 2016 (Quelle: Destatis (2016). Fachserie 8 Reihe 7)

Altersklassen und Geschlecht der Hauptverursacher

Die oben festgestellten häufigsten Unfallarten werden in den folgenden Darstellungen tiefergehend bezüglich des Alters und des Geschlechts des Hauptverursachers analysiert. In Abbildung 26 ist die Altersklasse des Hauptverursachers für die häufigsten Unfallarten bei Unfällen mit Personenschaden dargestellt. Die Altersklasse 35-65 ist die größte Personengruppe und ist daher auch am häufigsten Unfallverursacher (vgl. Abbildung 8). Bei der Unfallart „Abkommen nach rechts“ zeigt sich, dass die Altersklasse 18-25 im Vergleich zu den anderen Unfallarten überrepräsentiert ist. In Abbildung 27 werden nur die Unfälle mit Getöteten betrachtet.

Die prozentuale Verteilung der Hauptverursacher nach Geschlecht ist Inhalt der Abbildung 28. Wie oben schon festgestellt sind Männer deutlich häufiger Unfallverursacher als Frauen. Bei Zusammenstößen mit Fahrzeugen, die seitlich in die gleiche Richtung fahren, zeigt sich jedoch ein verhältnismäßig erhöhter Frauenanteil von fast 20%. Bei der Unfallart „Zusammenstoß mit einem Fahrzeug das anfährt, anhält oder steht“ kann mit über 90% der größte Anteil männlicher Unfallverursacher festgestellt werden.

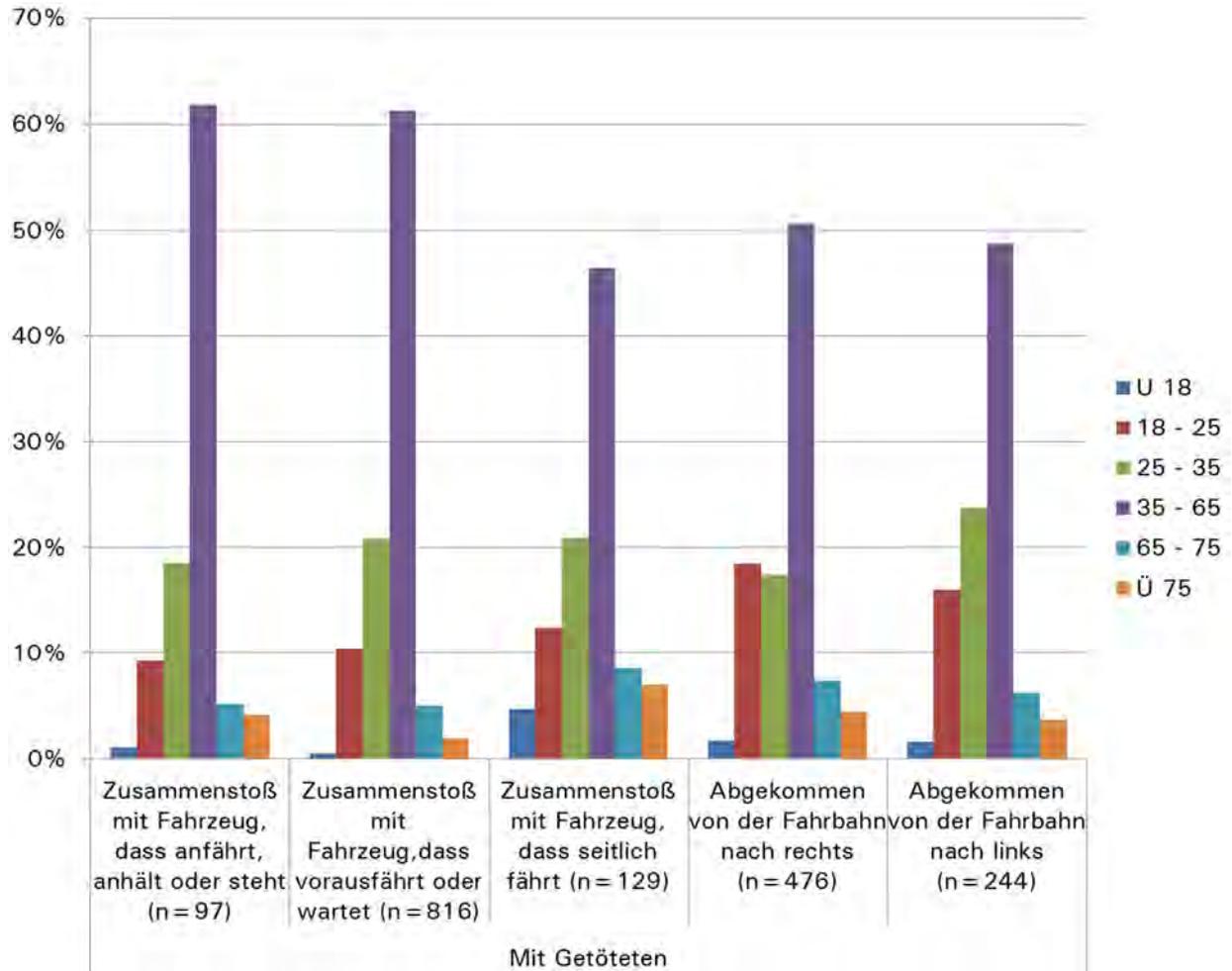


Abbildung 26: Verteilung der häufigsten Unfallarten auf Autobahnen der Unfälle mit Getöteten in Bezug auf die Altersklasse des Hauptverursachers (Quelle: Sonderabfrage, Destatis)

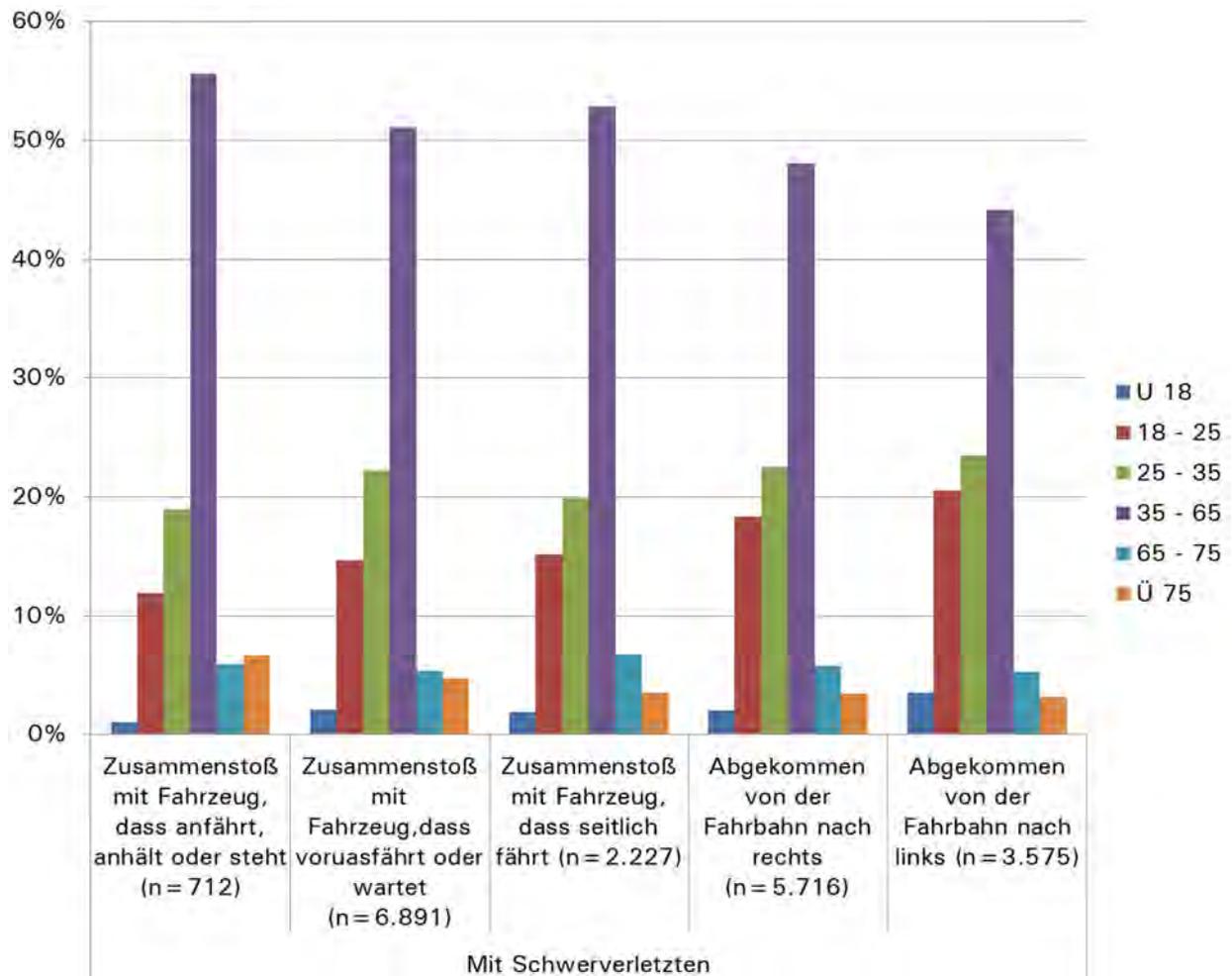


Abbildung 27: Verteilung der häufigsten Unfallarten auf Autobahnen der Unfälle mit Schwerverletzten in Bezug auf die Altersklasse des Hauptverursachers (Quelle: Sonderabfrage, Destatis)

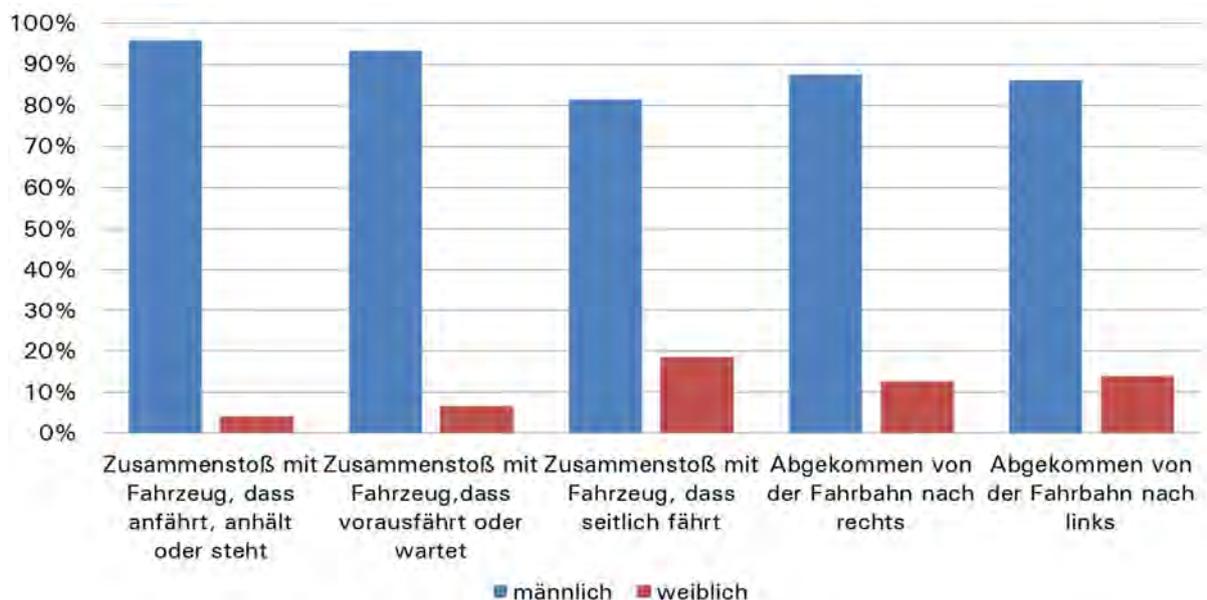


Abbildung 28: Unfallarten von Unfällen mit Getöteten differenziert nach Geschlecht des Hauptverursachers (Quelle: Sonderabfrage, Destatis)

Art der Verkehrsbeteiligung

Die folgenden Diagramme stellen die Art der Verkehrsbeteiligung der Hauptverursacher für die häufigsten Unfallarten bei Unfällen mit Getöteten dar. Hier wird erneut die hohe Zahl der Beteiligung von Güterfahrzeugen bei Unfällen deutlich, bei denen es zu einem Zusammenstoß mit einem Fahrzeug kommt, welches vorrausfährt oder wartet.

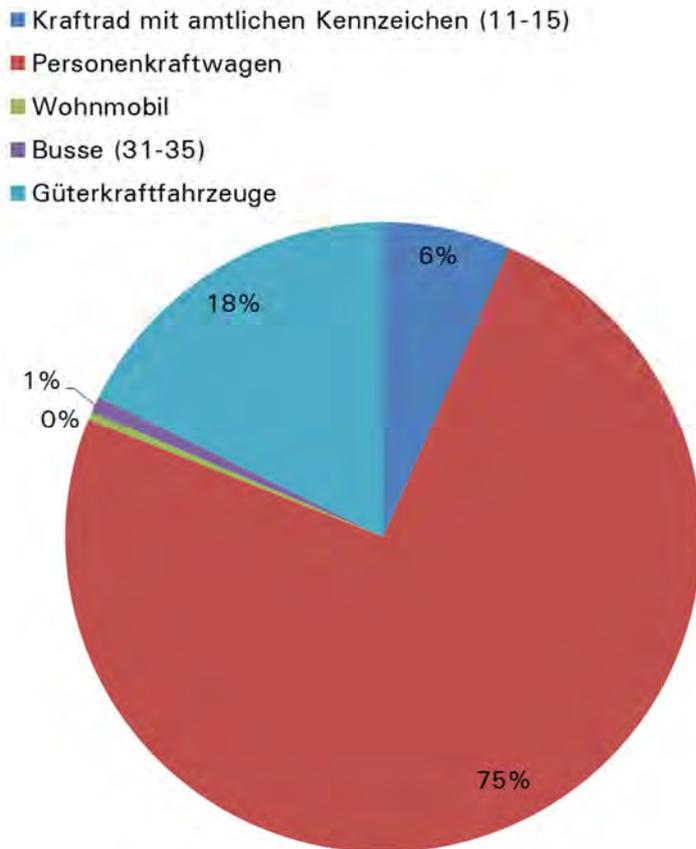


Abbildung 29: Verteilung der Unfälle mit Getöteten mit der Unfallart „Abkommen nach rechts“ nach Art der Verkehrsbeteiligung (Quelle: Sonderabfrage, Destatis)

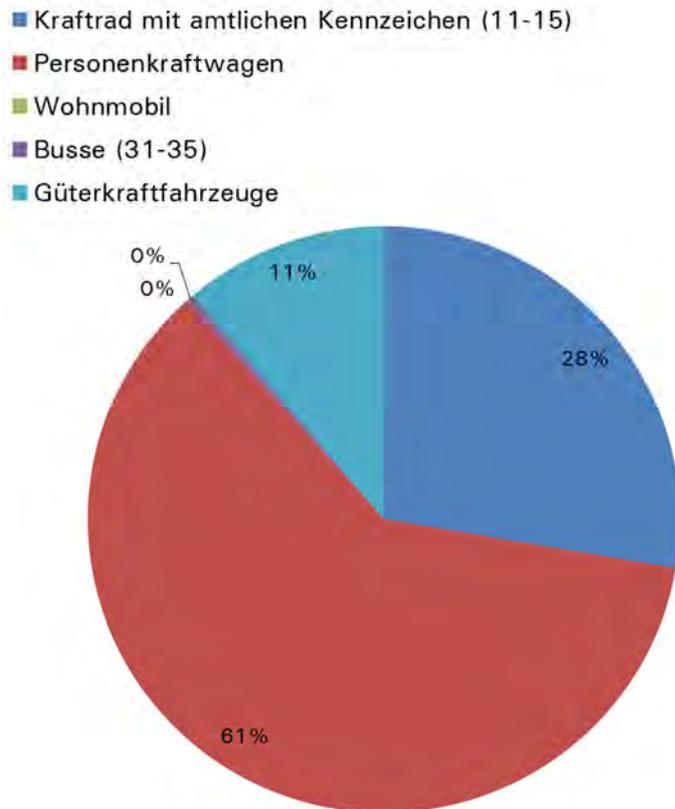


Abbildung 30: Verteilung der Unfälle mit Getöteten mit der Unfallart „Abkommen nach links“ nach Art der Verkehrsbeteiligung (Quelle: Sonderabfrage, Destatis)

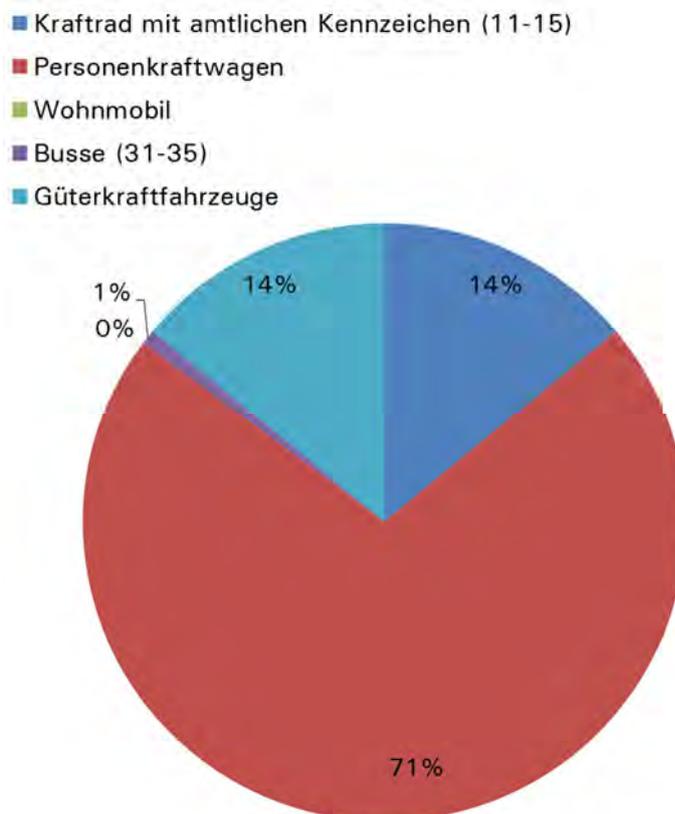


Abbildung 31: Verteilung der Unfälle mit Getöteten mit der Unfallart „Zusammenstoß mit einem Fahrzeug das seitlich in gleicher Richtung fährt“ nach Art der Verkehrsbeteiligung (Quelle: Sonderabfrage, Destatis)

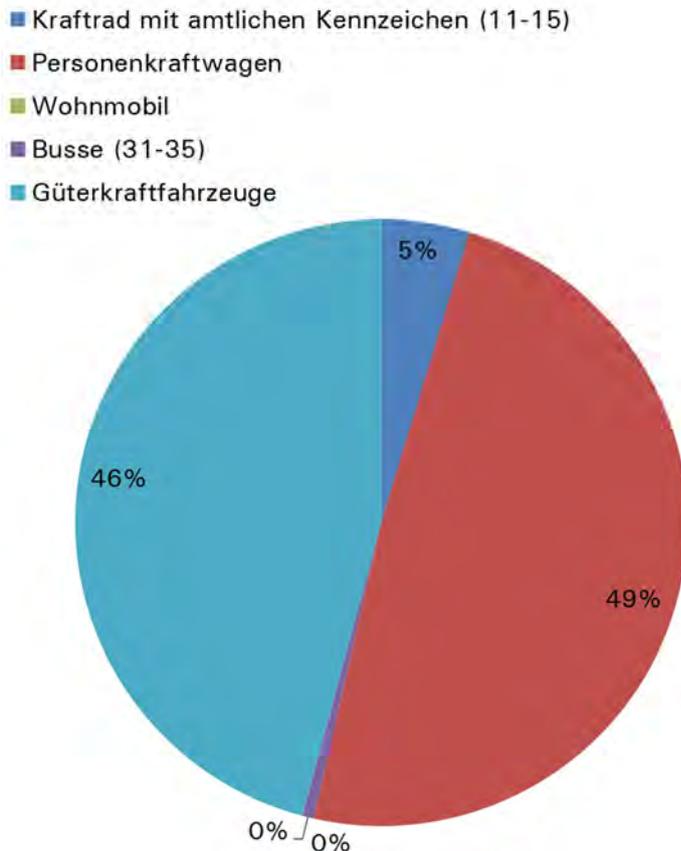


Abbildung 32: Verteilung der Unfälle mit Getöteten mit der Unfallart „Zusammenstoß mit einem Fahrzeug das vorausfährt oder wartet“ nach Art der Verkehrsbeteiligung (Quelle: Sonderabfrage, Destatis)

3.3.4 Unfallursachen

Die am häufigsten festgestellten Unfallursachen der Hauptverursacher sind nicht angepasste Geschwindigkeit, ungenügender Sicherheitsabstand und Fehler beim Überholen. Die Unfallursache „Verkehrstüchtigkeit“ ist weiter unterteilt in die Unfallursachen Fahren unter Alkoholeinfluss oder anderer berauschender Mittel und der Übermüdung. Zusammengefasst ist festzustellen, dass die Unfallursache Verkehrstüchtigkeit gleich häufig vorkommt wie die Fehler beim Überholen. Wird die Verteilung des Geschlechtes der Hauptverursacher betrachtet zeigt sich wieder, dass ein Großteil der Unfälle von Männern verursacht wird. Besonders deutlich wird dieser Umstand bei Betrachtung der Verkehrstüchtigkeit. Bei dieser Unfallursache sind zu fast 90% Männer betroffen. Bei der Unfallursache Vorfahrt/Vorrang sind jedoch Frauen zu 40% Hauptverursacher.

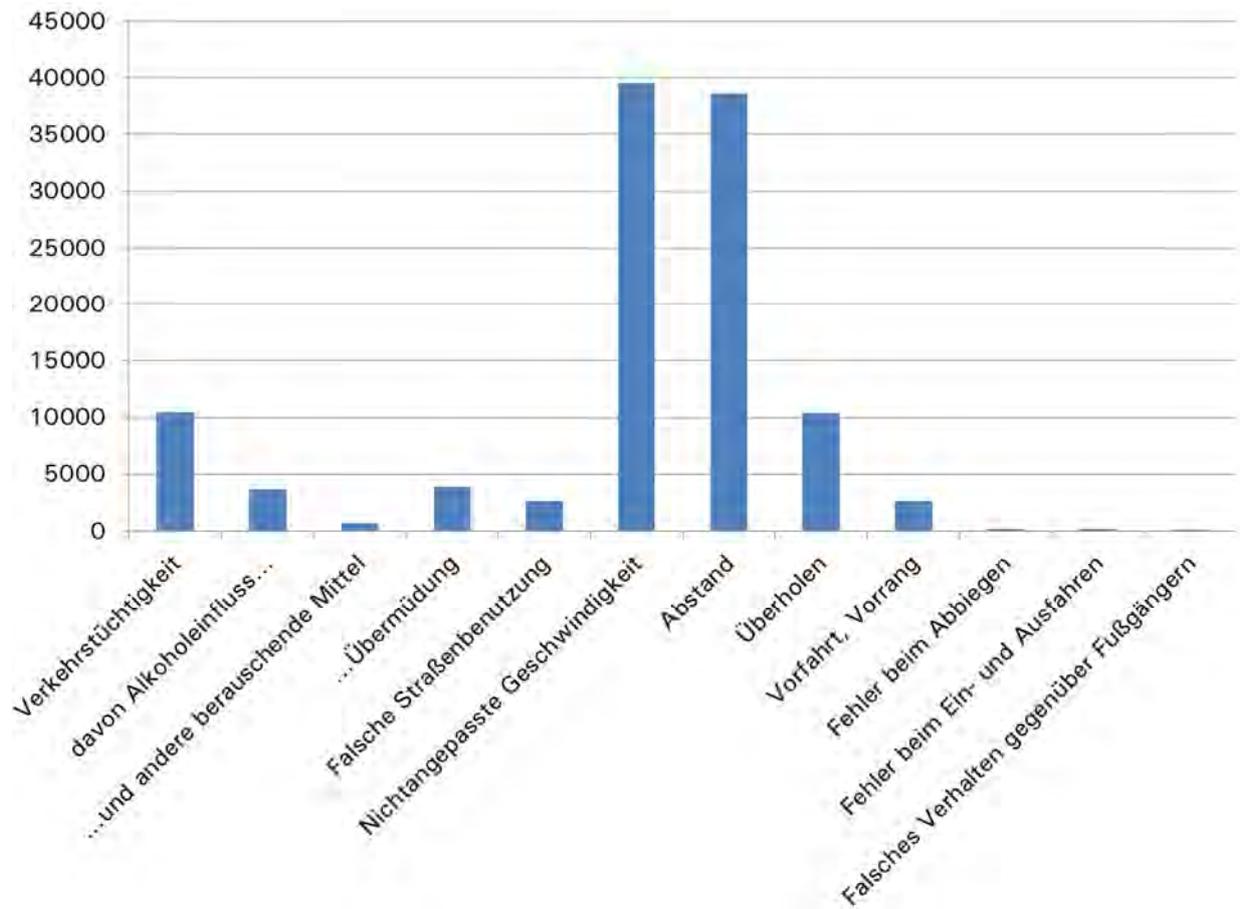


Abbildung 33: Verteilung der Unfallursachen auf Autobahnen bei Unfällen mit Personenschaden (Quelle: Destatis (2016). Fachserie 8 Reihe 7)

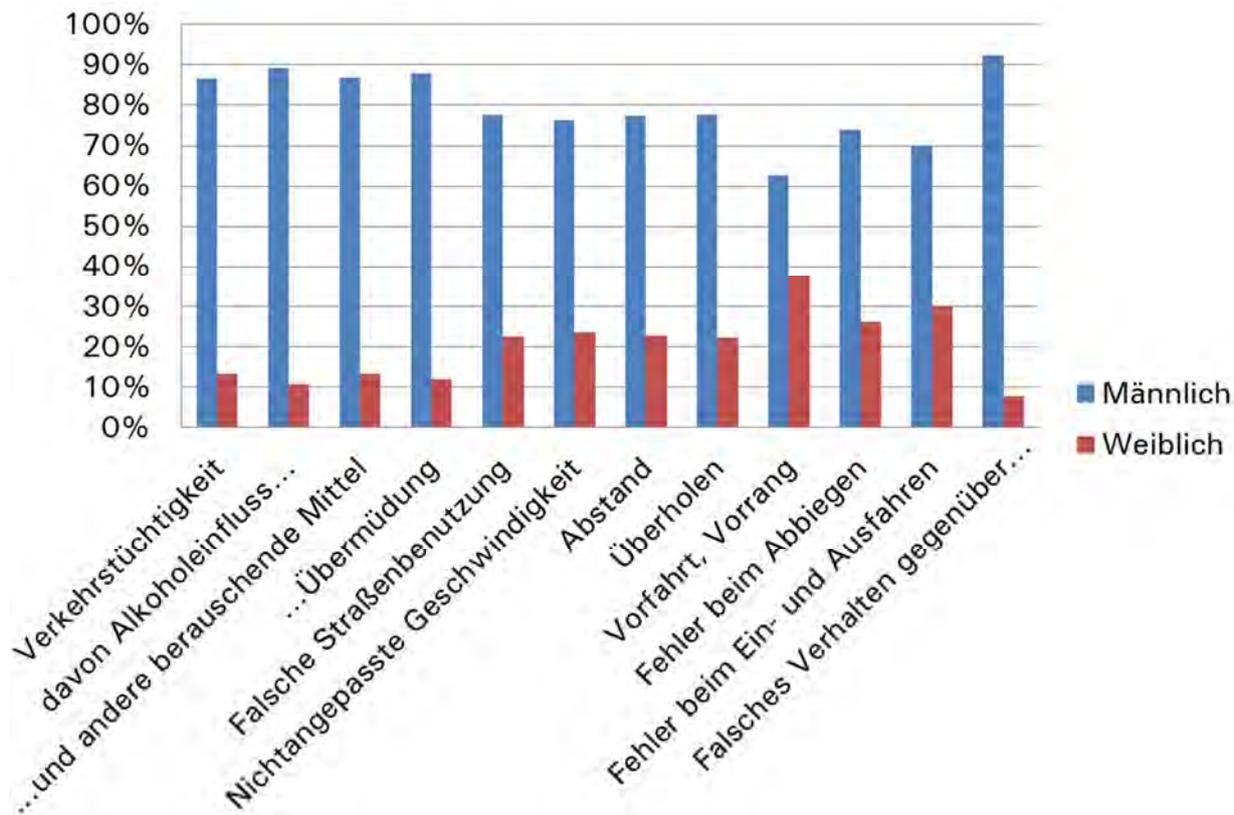


Abbildung 34: Verteilung der Unfallursachen nach Geschlecht des Hauptverursachers (Quelle: Sonderabfrage, Destatis)

3.3.5 Zeitliche Verteilung

In diesem Abschnitt soll die zeitliche Verteilung von Unfällen auf Autobahnen analysiert werden. Dabei wird sowohl auf das Alter und Geschlecht, als auch auf die Art der Verkehrsbeteiligung der Hauptverursacher eingegangen.

Die Betrachtung der Altersklasse bezogen auf die Wochentage zeigt besonders bei jungen Fahrern (Altersklassen 18-25 und U18) einen hohen Anteil an verursachten Unfällen an Freitagen. Bei älteren Verkehrsteilnehmern (Altersklassen 65-75 und Ü75) ist besonders der hohe Anteil der verursachten Unfälle an Sonntagen auffallend. Werden die Art der Verkehrsbeteiligung von der Verteilung der Unfälle bezogen auf Wochentage betrachtet zeigt sich, dass Krafträder besonders am Wochenende gefährdet sind, Unfälle zu verursachen. Das Gegenteil ist bei Güterkraftfahrzeugen der Fall, dort werden die Unfälle am häufigsten an Montagen und Dienstagen verursacht. Die Zahlen nehmen im Verlauf der Woche ab. Personenkraftwagen verursachen an Freitagen die meisten Unfälle. Im Hinblick auf die Häufigkeit der verursachten Unfälle bezogen auf die Monate zeigt sich bei Krafträdern, dass am häufigsten in den Sommermonaten Unfälle mit den Unfallverursacher Kraftrad auftreten. Auch bei den Personenkraftwagen lässt sich im Sommer ein leichter Anstieg der Häufigkeit feststellen.

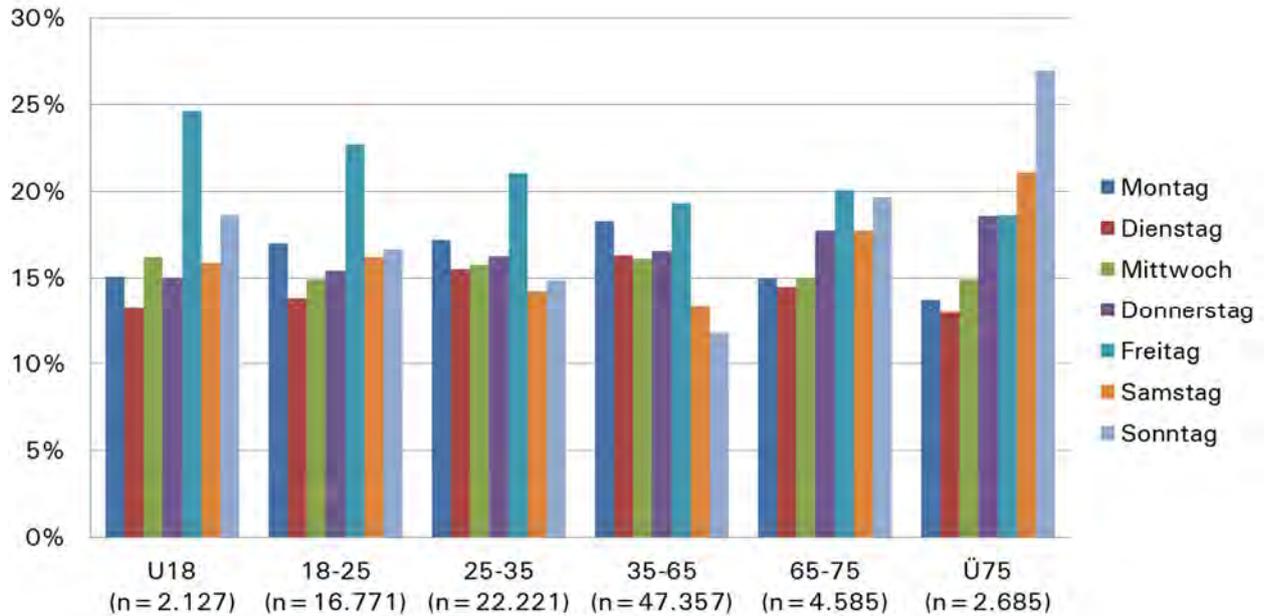


Abbildung 35: Zeitliche Verteilung (Wochentage) von Unfällen mit Personenschaden bezogen auf die Altersklasse des Unfallverursachers (Quelle: Sonderabfrage, Destatis)

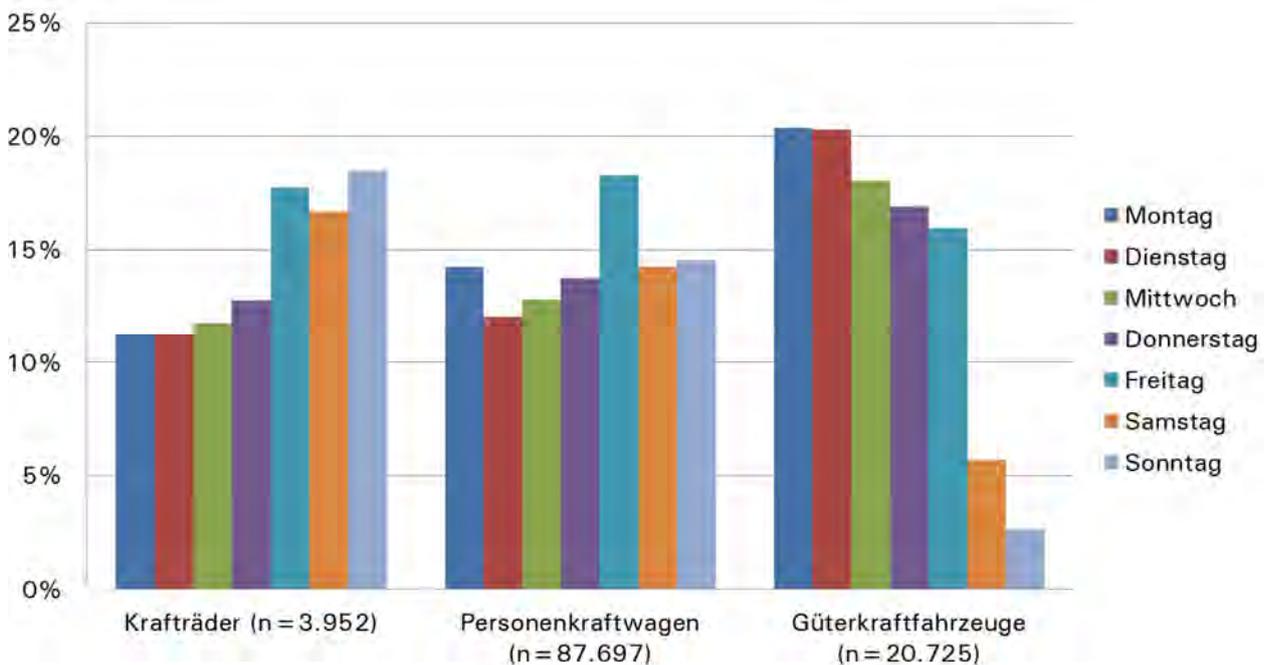


Abbildung 36: Zeitliche Verteilung (Wochentag) von Unfällen mit Personenschaden in Abhängigkeit der Art der Verkehrsbeteiligung des Hauptverursachers (Quelle: Sonderabfrage, Destatis)

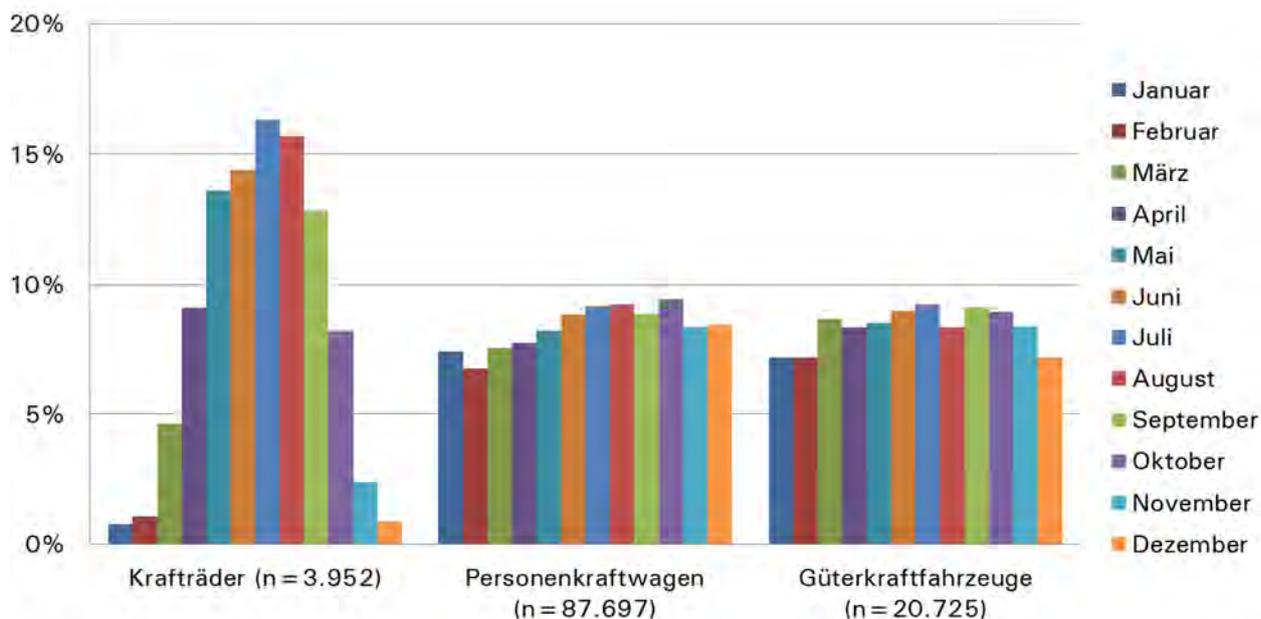


Abbildung 37: Zeitliche Verteilung (Monate) von Unfällen mit Personenschaden in Abhängigkeit der Art der Verkehrsbeteiligung des Hauptverursachers (Quelle: Sonderabfrage, Destatis)

3.3.6 Umwelteinflüsse

Die folgenden Abbildungen zeigen die beim Unfallzeitpunkt vorherrschenden Umwelteinflüsse. Abbildung 38 zeigt, zu welcher Tageszeit die Unfälle geschehen sind. Auffallend ist der hohe Anteil von 40% bei Unfällen mit Getöteten bei Dunkelheit. Werden dagegen alle Unfälle mit Personenschaden betrachtet, liegt der Anteil der Unfälle bei Dunkelheit bei nur 25%. Insgesamt zeigt die Abbildung also, dass es bei Dunkelheit zu Unfällen mit schwereren Folgen kommt.

Bei Betrachtung des Straßenzustandes wird deutlich, dass Unfälle am häufigsten bei trockenem Fahrbahnzustand geschehen. Eine Abhängigkeit der Unfallschwere zum Straßenzustand kann anhand der Zahlen nicht festgestellt werden.

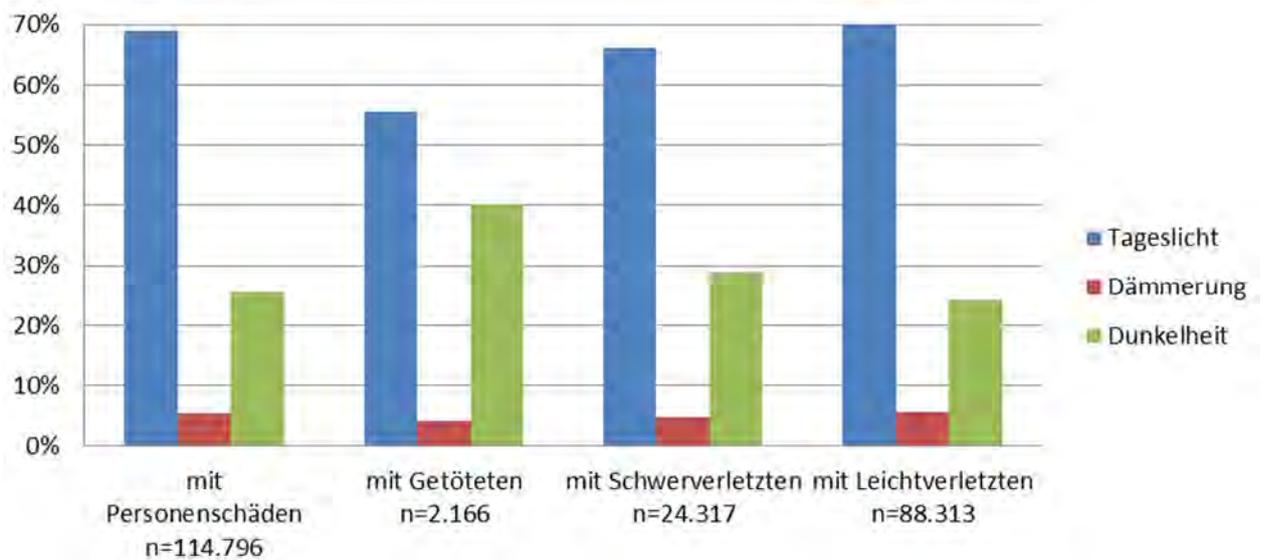


Abbildung 38: Unfälle auf Autobahnen nach Unfallkategorie und Lichtverhältnissen (Quelle: Destatis (2016). Fachserie 8 Reihe 7)

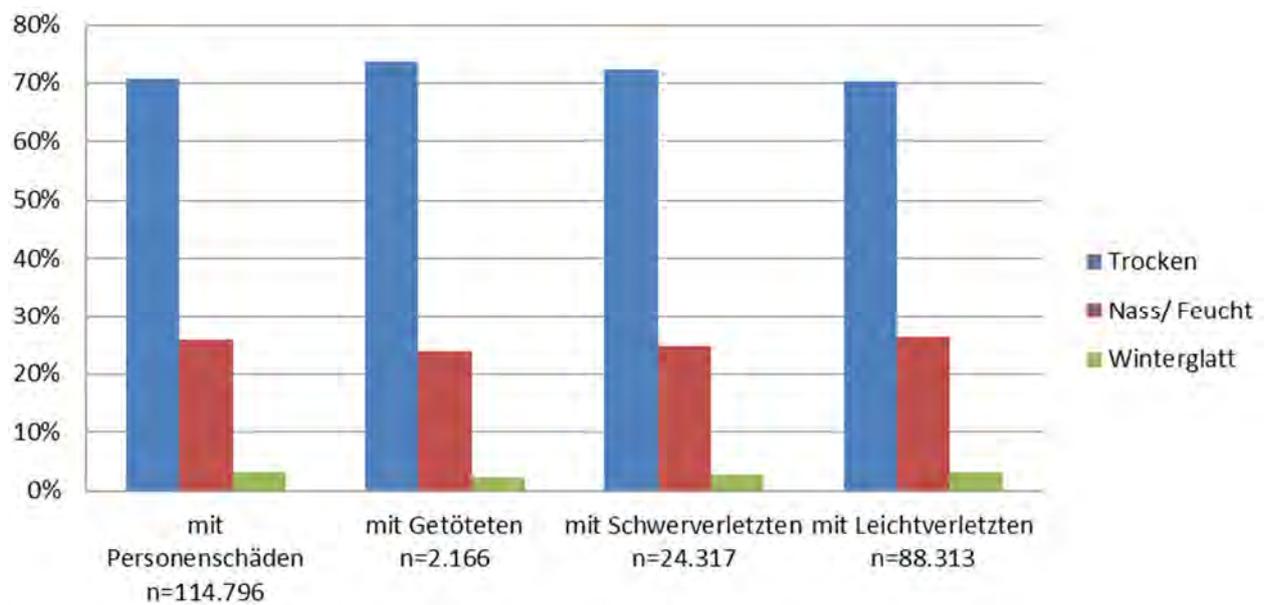


Abbildung 39: Unfälle auf Autobahnen nach Unfallkategorie und Straßenzustand (Quelle: Destatis (2016). Fachserie 8 Reihe 7)

3.4 Fazit der Makroskopischen Unfallanalyse

In der Makroskopischen Sicherheitsanalyse von Autobahnen wurde eine Übersicht über das Unfallgeschehen auf Autobahnen gegeben. Wesentliche Ergebnisse sind in diesem Abschnitt zusammengefasst.

- Die Auswertung der Unfalltypen zeigte, dass die überwiegende Zahl der Unfälle zwei Unfalltypen, den Unfällen im Längsverkehr und den Fahrnfällen, zugeordnet werden konnte. Zu jeweils über 70% sind Männer die Hauptverursacher dieser Unfalltypen. Die schwersten Unfallfolgen zeigten die Güterkraftfahrzeuge, insbesondere beim Unfalltyp „Unfall im Längsverkehr“ auf. Jedoch ergab sich auch bei Unfällen mit älteren (ab 65 Jahren) Unfallbeteiligten, dass die Unfallschwere mit dem Alter der Beteiligten zunimmt. Bei Betrachtung der Unfälle mit Getöteten fiel besonders der relativ hohe Anteil an getöteten Fußgängern auf.
- Als häufigste Unfallarten wurden das Abkommen von der Fahrbahn nach links oder rechts, der Zusammenstoß mit einem Fahrzeug das vorrausfährt oder wartet und der Zusammenstoß mit einem Fahrzeug das seitlich in gleicher Richtung fährt, festgestellt. Bei der Untersuchung der Unfälle mit Getöteten ergab sich, dass zu großen Teilen eine Beteiligung von Güterkraftfahrzeugen bei Unfällen, bei dem ein Fahrzeug vorrausfährt oder wartet, zu verzeichnen war.
- Als häufigste Unfallursache ergaben sich die nicht angepasste Geschwindigkeit, Fehler beim Überholvorgang und ungenügender Abstand. Bei der zusammengefassten Unfallursache „Verkehrstüchtigkeit“ stach besonders der sehr hohe Männeranteil von 90% heraus.
- Die Auswertung der zeitlichen Verteilung der Unfälle ergab, dass sich an Montagen und Freitagen spürbar mehr Unfälle mit Personenschaden ereignen. Dies gilt allerdings nicht für Personen der Altersklassen 65-75 und Ü75. Bei dieser Personengruppe ereignete sich ein Großteil der Unfälle mit Personenschaden an Samstagen und Sonntagen. Erwartungsgemäß sind die Unfälle mit Kraftradbeteiligung saisonal bedingt. Am häufigsten zeigen sich hier die Unfälle in den Sommermonaten. Über das Jahr gesehen treten im Frühjahr tendenziell weniger Unfälle mit Personenschaden auf.
- Weiterhin konnte festgestellt werden, dass Unfälle mit Getöteten zu 40% bei Dunkelheit geschehen, jedoch passieren lediglich 25% der Unfälle mit Personenschäden bei Dunkelheit. Dies zeigt, dass Unfälle bei Dunkelheit meist schwerere Folgen haben.

4 Infrastrukturbezogene Analyse – Material und Methode

4.1 Infrastrukturdaten

Mit Start des Forschungsprojektes wurden die Unfalldaten und die zur Verfügung stehenden Infrastrukturdaten angefordert. In einer Vorauswahl wurden die folgenden 6 Bundesländer ausgewählt:

- Brandenburg
- Baden-Württemberg
- Nordrhein-Westfalen
- Rheinland-Pfalz
- Sachsen und
- Sachsen-Anhalt

Schon im Vorfeld war bekannt, dass die Infrastrukturdaten, welche in Straßeninformationsbanken (SIB) geführt werden, in den unterschiedlichen Bundesländern unterschiedliche Qualität und Quantität aufweisen. Bei den Bundesländern angefragt wurden:

- Anzahl der Fahrstreifen
- Straßengrundriss
- Straßenaufriß
- Querschnitte
- Bahnigkeit
- Verkehrsstärken
- Geschwindigkeitsbeschränkungen
- Streckenbeeinflussungsanlagen
- Straßenausstattung (Fahrzeugrückhaltesysteme).

In der nachfolgenden Abbildung ist dargestellt, welche Daten in welcher Zahl für das Projekt vorhanden sind.

Bundesland	Länge des BAB-Netzabschnitts [km]
Brandenburg	805
Baden-Württemberg	1.061
Nordrhein-Westfalen	2.220
Rheinland-Pfalz	868
Sachsen	531
Sachsen-Anhalt	404
Gesamt	5.889

Abbildung 40: Verfügbarkeiten der SIB-Daten

Ziel der Untersuchung ist es, eine Streckenlänge von mindestens 3.000 km in die Analyse einfließen zu lassen. Abbildung 40 zeigt, dass dieses Ziel auch ohne die Daten von Lage- und Höhenplänen aus Nordrhein-Westfalen erreicht ist. In Nordrhein-Westfalen werden zusätzlich Daten mit Hilfe des Programmsystems CARD/1 nachtrassiert. Die nachtrassierten Daten sind etwas weniger genau als die in den SIB geführten Daten, jedoch geben sie Anhaltspunkte zur vorhandenen Infrastruktur und erlauben so das aus verkehrlicher und sicherheitstechnischer Sicht interessante Bundesland Nordrhein-Westfalen in die Untersuchung mit aufzunehmen.

Die zur Verfügung stehenden Straßeninformationsbanken umfassen sämtliche Strecken der Bundesautobahnen einschließlich der Anschlussstellen mit den zugehörigen Rampen. Die Strecken sind in GIS-Shapes geografisch verortet. In einer entsprechenden Tabelle sind die jeweiligen Attribute aufgeführt. Die Strecken sind jeweils über das Prinzip der Netzknotenstationierung eindeutig bezeichnet.

Die Datenlage ist in den Bundesländern uneinheitlich. Für die vorgesehenen Auswertungen liegen die Daten teilweise in einer ungünstigen Struktur vor. Die verwendete Netzknotenstationierung führt zu einer uneinheitlichen Richtung. Damit sind abschnittsübergreifende Auswertungen deutlich erschwert. Zudem liegt der zentrale Nullpunkt der Netzknoten teilweise außerhalb der Achsen der Fahrbahnen.

Zudem ergeben sich Probleme mit den Inhalten der Datenbanken: teilweise ist unklar, ob ein leeres Feld bedeutet, dass das Attribut nicht vorliegt oder ob keine Daten vorhanden sind. Teilweise lässt sich das durch Plausibilitätsprüfungen ermitteln, vielfach muss das jeweilige Merkmal jedoch verworfen werden. Zudem fehlen Aussagen über Geschwindigkeitsbeschränkungen mit entsprechendem Beginn und Ende. Hierdurch ist es nicht möglich, die Straßeninformationsbanken zu nutzen, um dieses für die Auswertung wichtige Attribut zu ermitteln. Um Geschwindigkeitsbeschränkungen dennoch einbeziehen zu können, werden Open-Street-Map-Daten für die entsprechenden Jahre erworben und aufbereitet.

Die Länge von Netzknotenabschnitten im GIS und die angegebene Länge in der Tabelle stimmen bei einigen Abschnitten nicht überein. Die Abweichungen sind teilweise recht klein, teilweise betragen sie aber auch mehrere hundert Meter bis mehrere Kilometer. Als Grund ausgeschlossen werden können Ungenauigkeiten durch die Abstrahierung von Kreisbogensegmenten durch Polygonzüge: die Zahl der Stützpunkte ist so groß, dass die Ungenauigkeiten vernachlässigbar gering sind – selbst bei sehr kurvigen Strecken. Die Abweichungen treten in der Regel auf, weil es Lücken in den Daten der Straßeninformationsbanken gibt. Teile der Strecken sind darin nicht aufgenommen. Da die Länge für die Berechnung der Unfallkenngrößen entscheidend ist, werden Strecken mit zu großen Differenzen (über 100 m) aus der Betrachtung herausgenommen.

4.2 Elemente

Analysiert werden mögliche Einflussgrößen auf die Verkehrssicherheit auf Autobahnen auf Abschnitten der knotenpunktfreien Strecken, an Einfahrten, an Ausfahrten sowie auf Rampen an Ein- und Ausfahrten.

Es werden folgende Elemente unterschieden:

- Abschnitte der knotenpunktfreien Strecke: Autobahnabschnitte zwischen Einfahrt und Ausfahrt, ggf. durch Netzknoten unterteilt
- Innere Abschnitte: zwischen Ausfahrt und Einfahrt liegt in der Regel ein kurzer Abschnitt der Hauptfahrbahn. Dieser wird nicht weiter betrachtet, da er kein mit Abschnitten der knotenpunktfreien Strecke vergleichbares Verhalten erwarten lässt. Zudem sind diese Abschnitte in der Regel sehr kurz, sodass sich hieraus keine belastbaren Aussagen treffen lassen.
- Unterabschnitte: Abschnitte der knotenpunktfreien Strecke, die durch Wechsel des Lageplanelements (Gerade, Kreisbogen) sowie durch Wechsel der Geschwindigkeitsbeschränkung unterteilt werden
- Einfahrten: Autobahnabschnitte, die den Einfädelsstreifen enthalten von der Inselfspitze bis zum Ende des Einfädelsstreifens
- Ausfahrten: Autobahnabschnitte, die den Ausfädelsstreifen enthalten vom Beginn des Ausfädelsstreifens bis zur Inselfspitze
- Rampen: Elemente außerhalb der Hauptfahrbahn, die die Ausfahrt bzw. Einfahrt mit dem Knotenpunkt zur untergeordneten Straße verbinden

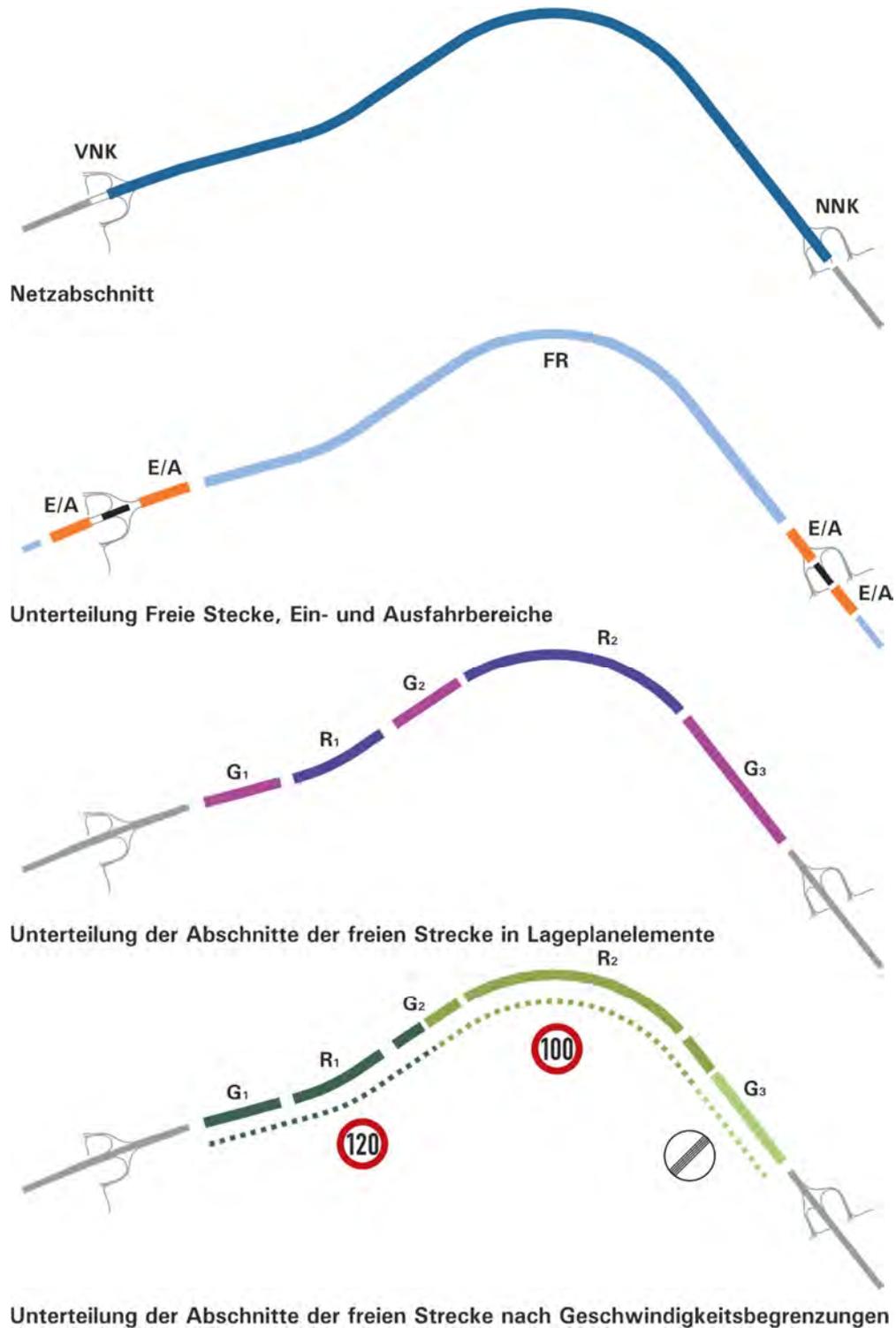


Abbildung 41: Grafische Darstellung der Elemente

Eine Identifizierung ist durch die Angabe zweier Netznoten (VVK und NNK) sowie die Fahrtrichtung (Seite) eindeutig gegeben. Doppelerfassungen sind dadurch ausgeschlossen, die endgültigen Auswertungsdateien wurden darauf vor Durchführung der Deskription und Zusammenhangsuntersuchungen abschließend nochmals überprüft.

4.3 Datenaufbereitung für die untere Analyseebene (Unterabschnitte)

4.3.1 Merkmale

Die Strecken werden in einem Elementarmodell (untere Analyseebene) in einzelne Unterabschnitte unterteilt. Die Grenzen der Unterabschnitte sind dadurch gegeben, dass sich an dieser Stelle (Station) entweder das Lageplanelemente ändert (am Ende einer Geraden oder im Klothoidennullpunkt) oder die Geschwindigkeitsbeschränkung (s.o.).

Für jeden dieser Unterabschnitte wird je ein Datensatz pro Kalenderjahr erstellt. Diese Rohdatei enthält neben der VNKNK-Identifizierung plus Seite für jeden Unterabschnitt die Angaben der begrenzenden Stationen (und daraus abgeleitet der Länge), des Radius und der zulässigen Höchstgeschwindigkeit, die für dieses Jahr zugewiesen wird. Dabei wird die letzte vor dem 01.01. des jeweiligen Jahres gemeldete Geschwindigkeitsbeschränkung verwendet. Erfolgt eine weitere vor dem 30.06. des laufenden Jahres, wird stattdessen letztere zugeordnet.

Die für die statistische Auswertung verwendete Rohdatei enthält 84.701 Datensätze, die im ersten Aufbereitungsschritt um 7.244 Datensätze vermindert werden mussten, da nur für Nordrhein-Westfalen Unfalldaten auch für das Jahr 2017 vorliegen. Die verbliebenen 77.457 Datensätze erfassen Merkmale und (zwischen einem und sieben Jahre beobachtetes) Unfallgeschehen auf 12.553 Unterabschnitten.

Allerdings mussten noch eine Reihe weiterer Datensätze entfernt werden, da sie unvollständige Angaben enthalten und für eine multivariate Betrachtung daher nicht tauglich sind. Solche Datenlücken betreffen vor allem Angaben zur Längsneigung und zur Verkehrsstärke. Zudem finden sich Einzelfälle, die für eine statistische Betrachtung nicht berücksichtigungsfähige Besonderheiten aufweisen oder unplausible Werte enthalten. Hiervon betroffen sind Angaben zur Geschwindigkeitsbeschränkung oder den Regelquerschnitten. Ergänzende Erläuterungen hierzu finden sich im folgenden Kapitel.

Nach Abschluss dieser Datenbereinigungen verbleiben 73.329 Datensätze, die Angaben zu 11.787 Unterabschnitten enthalten. Für 7,7 % dieser Unterabschnitte verbleiben weniger als 6 Datensätze (also weniger als 6 auswertbare Beobachtungsjahre) in der Auswertungsdatei. Da die Präzision multivariater Analysen wesentlich auch von der Fallzahl der Beobachtungen abhängt, werden auch diese Datensätze in die Auswertung einbezogen.

Die Auswertungsdatei enthält neben den Identifikationsmerkmalen die folgenden Angaben.

→ Beobachtungsjahr

- 2011 usw. bis 2016; nur bei Nordrhein-Westfalen: 2017 (dient vorrangig der Vollständigkeits- und der Duplizitätskontrolle)

→ Bundesland

- dient vorrangig der Vollständigkeits- und der Duplizitätskontrolle

→ Länge des Unterabschnittes in m

→ Geschwindigkeitsbeschränkungen

In den Straßeninformationsbanken sind entweder keine Daten zu Geschwindigkeitsbeschränkungen vorhanden, oder sie sind nicht verwendbar. Entsprechend werden Daten aus OpenStreetMap verwendet, die die Geschwindigkeitsbeschränkungen für jedes einzelne Jahr aufführen. Außerdem enthalten nur wenige Straßeninformationsbanken Informationen über Streckenbeeinflussungsanlagen. Um eine vollständige und einheitliche Datengrundlage zu schaffen, wird eine Übersicht der BAST mit dem Stand 2015 verwendet und manuell in die Datenbank übertragen. Da bei Streckenbeeinflussungsanlagen nicht mit vertretbarem Aufwand ermittelt werden kann, wann sie (im Jahr 2015 oder in den Vorjahren) installiert wurden, werden die entsprechenden Netzabschnitte und die zugehörigen Unterabschnitte für die gesamte Erfassungszeit mit der Angabe SBA anstelle einer Angabe zur Geschwindigkeitsbeschränkung versehen.

Die Verteilung der Geschwindigkeitsbeschränkungen ist der folgenden Tabelle zu entnehmen. Unterabschnitte, die in verschiedenen Jahren unterschiedliche Geschwindigkeitsbeschränkungen aufweisen, werden hier als „nicht eindeutig“ dargestellt. Erkennbar ist, dass dies etwa 35 % der Unterabschnitte betrifft. Ansonsten dominieren die Unterabschnitte ohne Geschwindigkeitsbeschränkung (42,4 %). Sehr selten sind Geschwindigkeitsbeschränkungen unter 80 km/h. Auch Geschwindigkeitsbeschränkungen auf 80 km/h sind eher selten (1,5 %). Die übrigen Geschwindigkeitsbeschränkungen haben Anteile zwischen etwa 5 % und 10 %.

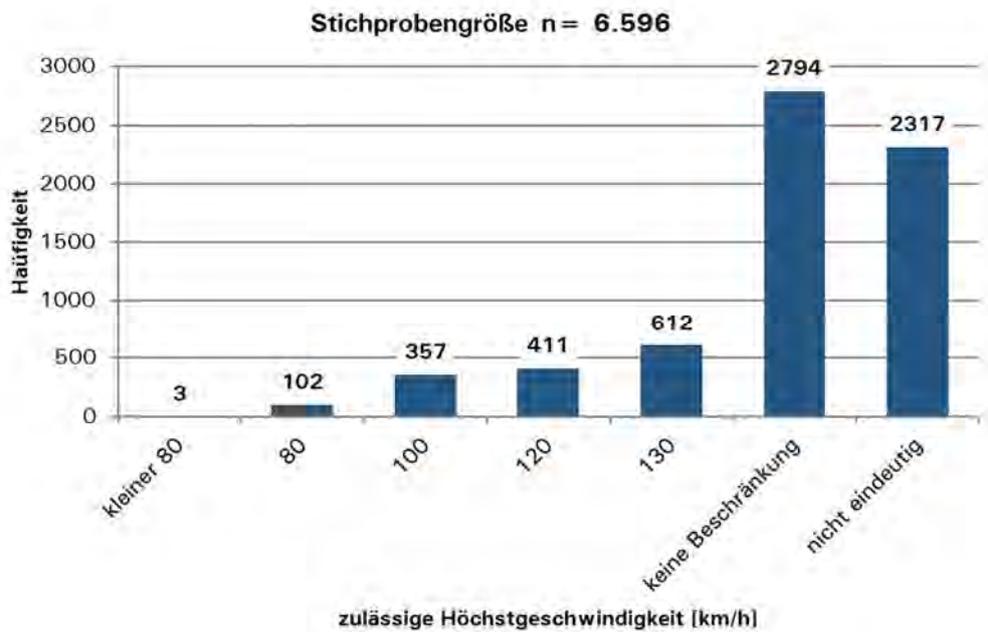


Abbildung 42: Häufigkeitsverteilung der zulässigen Höchstgeschwindigkeiten auf Unterabschnitten; Unterabschnitte mit in verschiedenen Jahren unterschiedlichen Geschwindigkeitsbeschränkungen sind in „nicht eindeutig“ enthalten

Werden die nicht eindeutigen Geschwindigkeitsbeschränkungen aufgelöst, indem die Unterabschnitte pro Jahr betrachtet werden, so dominieren wiederum die Unterabschnitte ohne Geschwindigkeitsbeschränkung (56,4 %). Ähnlich häufig kommen Geschwindigkeitsbeschränkungen auf 120 km/h, 130 km/h und Streckenbeeinflussungsanlagen vor (jeweils ca. 10 %). Geschwindigkeitsbeschränkungen auf 80 km/h spielen eine deutlich untergeordnete Rolle. Hier nicht mehr enthalten sind die Geschwindigkeitsbeschränkungen kleiner 80 km/h, die entsprechend für die Auswertung nicht berücksichtigt werden.

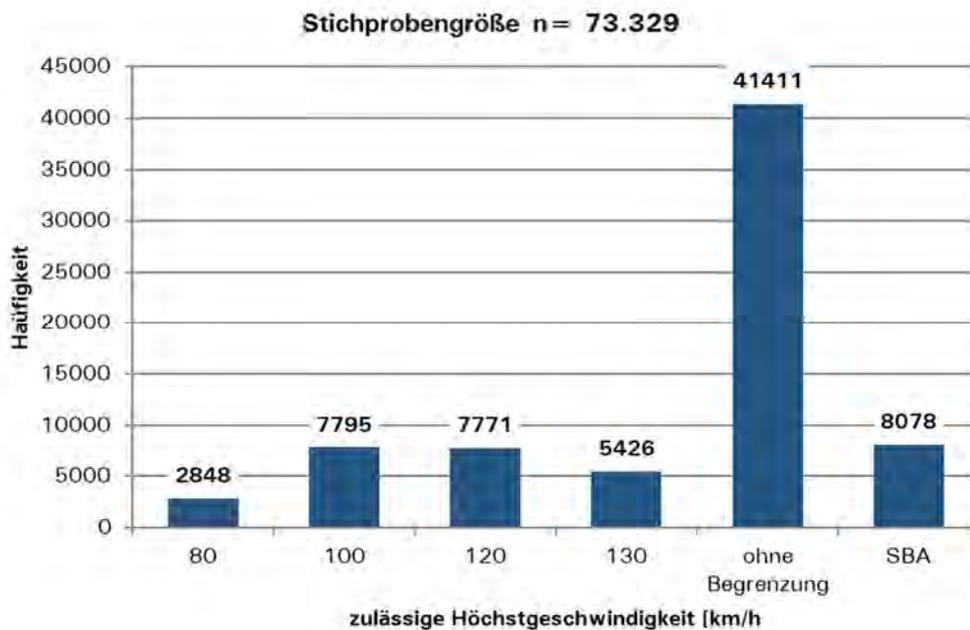


Abbildung 43: Häufigkeitsverteilung der zulässigen Höchstgeschwindigkeiten auf Unterabschnitten; jeder Unterabschnitt wird mit der in jedem einzelnen Jahr vorhandenen Geschwindigkeitsbeschränkung aufgeführt

Für die Analyse werden alle Varianten der Geschwindigkeitsbeschränkung inklusive Streckenbeeinflussungsanlagen zu einer Kategorie „begrenzt“ zusammengefasst.

Straßengrundriss

Die Lageplanelemente liegen durchgängig vor bzw. wurden entsprechend erzeugt (Nordrhein-Westfalen). Für die Unterabschnitte werden dann die einzelnen Lageplanelemente ermittelt. Betrachtet werden Kreisbögen und Geraden. Nicht berücksichtigt werden die Klothoiden, da dies bei der Bildung von Unterabschnitten wiederum zu sehr kurzen Abschnittslängen führen würde. Die Klothoiden werden den angrenzenden Kreisbögen und Geraden zugeschlagen. Eine Übersicht über die im Abschnitt enthaltenen jeweiligen maximalen Radien zeigt die folgende Abbildung. Der Großteil der Radien liegt zwischen 1.000 und 2.000 m, wobei auch Häufungen zwischen 3.000 und 5.000 m zu erkennen sind. Einen großen Anteil mit 26 % haben auch die Geraden.

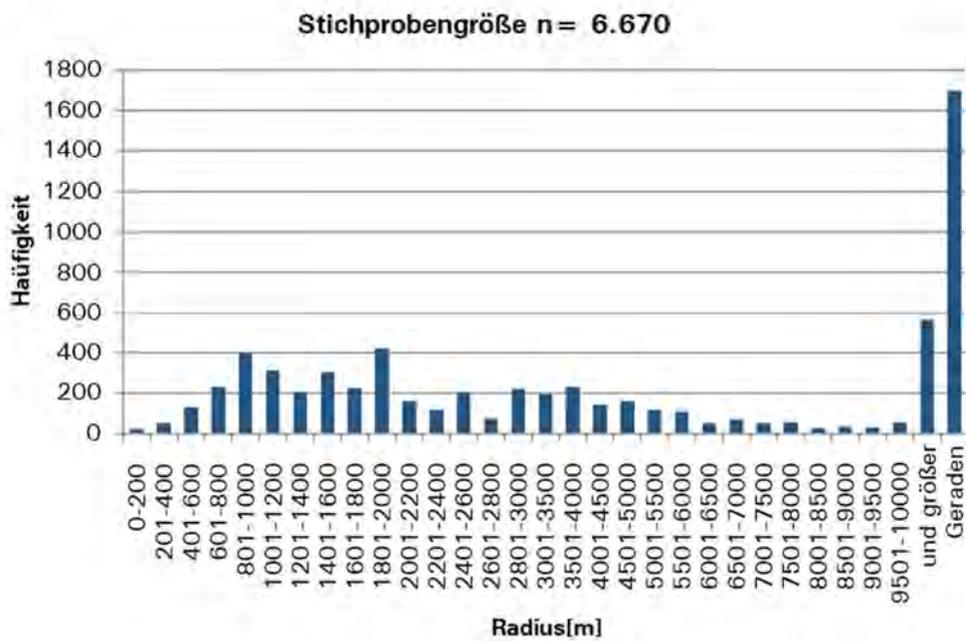


Abbildung 44: Häufigkeitsverteilung der Radien (einschließlich Geraden)

Für die verschiedenen Analyseschritte werden die Radien in – z.T. unterschiedlich breite – Werteklassen gruppiert. Die Anzahl der Klassen schwankt zwischen 5 und 8.

Querschnitte

Die Anzahl der Fahrstreifen je Richtungsfahrbahn ist in allen Straßeninformationsbanken durchgängig vorhanden. Es treten Werte von 1 bis 5 auf, wobei jedoch nur ein Abschnitt mit fünf Fahrstreifen vorhanden ist. Die Zahl der Abschnitte mit vier Fahrstreifen ist sehr gering (weniger als 1 %), ähnliches gilt für Abschnitte mit einem Fahrstreifen (6 %). Diese zwei Klassen werden nicht weiter betrachtet, sodass in der Auswertung nach zwei und drei Fahrstreifen unterschieden wird.

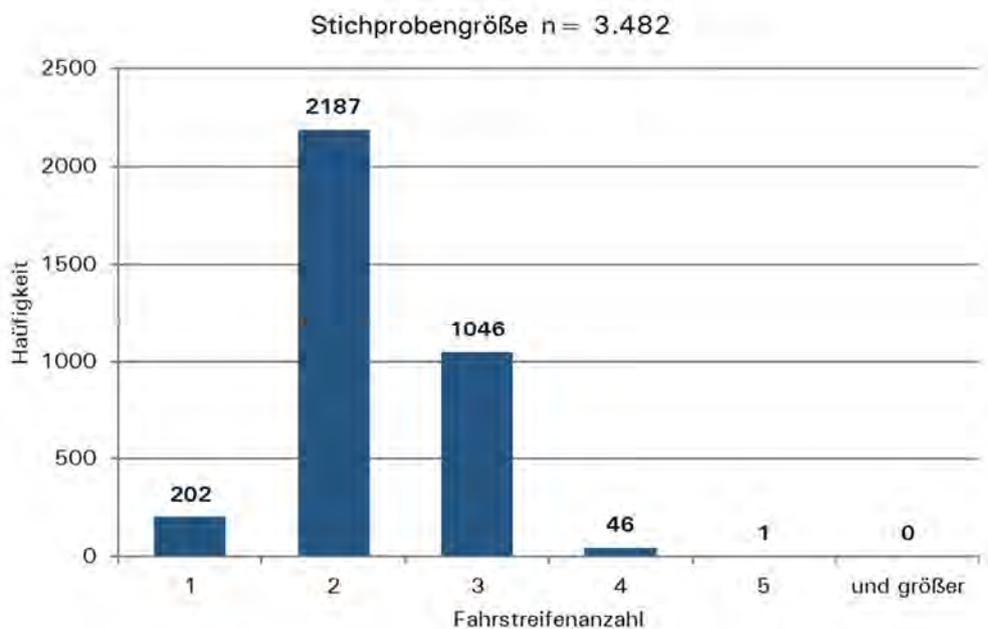


Abbildung 45: Häufigkeitsverteilung der Fahrstreifenanzahl von Abschnitten der knotenpunktfreien Strecke

Die Querschnittsdaten liegen in den einzelnen Straßeninformationsbanken in unterschiedlicher Aufbereitungsart vor. Der Fokus wurde auf die Breite des rechten Fahrstreifens gelegt. Hierdurch ist eine Unterscheidung in Fernautobahnen (3,75 m) und Regionalautobahnen (3,50 m) möglich. Um die Breite des rechten Fahrstreifens zu ermitteln, werden die in den Straßeninformationsbanken angegebenen Breiten des rechten Fahrstreifens diesen beiden Werten zugeordnet. Eine Grenze wird dabei bei 3,60 m gezogen. In Baden-Württemberg sind keine Fahrstreifenbreiten, sondern lediglich Fahrbahnbreiten angegeben. Die Breite des rechten Fahrstreifens wird entsprechend indirekt aus der Fahrbahnbreite abgeleitet.

Eine weitere Differenzierung in Stadtautobahnen ist über die Breite des rechten Fahrstreifens jedoch nicht möglich. Auch die Hinzunahme weiterer Merkmale (z.B. Geschwindigkeitsbeschränkungen) ist nicht zielführend, da diese nicht exklusiv für Stadtautobahnen vorgesehen sind, sondern auch aus anderen Gründen angeordnet werden. Es wird entsprechend nur eine Differenzierung in Fernautobahnen und Regionalautobahnen vorgenommen.

Über die Fahrstreifenanzahl lässt sich dann der jeweilige Querschnitt ermitteln. Entsprechend der Häufigkeitsverteilung der Fahrstreifenanzahl werden sechs Querschnitte unterschieden: RQ 25, RQ 31, RQ 31,5, RQ 36, RQ 38,4 und RQ 43,5. Die Häufigkeitsverteilung zeigt, dass die Regelquerschnitte RQ 38,5 und RQ 43,5 sehr selten auftreten. Die zweistreifigen und dreistreifigen Querschnitte der Fernautobahnen (RQ 31 und RQ 36) kommen am häufigsten vor, die zweistreifigen und dreistreifigen Querschnitte der Regionalautobahnen hingegen deutlich seltener (RQ 25 und RQ 31,5). Bei den weiteren Auswertungen wird aufgrund der geringen Häufigkeit der vierstreifigen Querschnitte auf diese verzichtet.

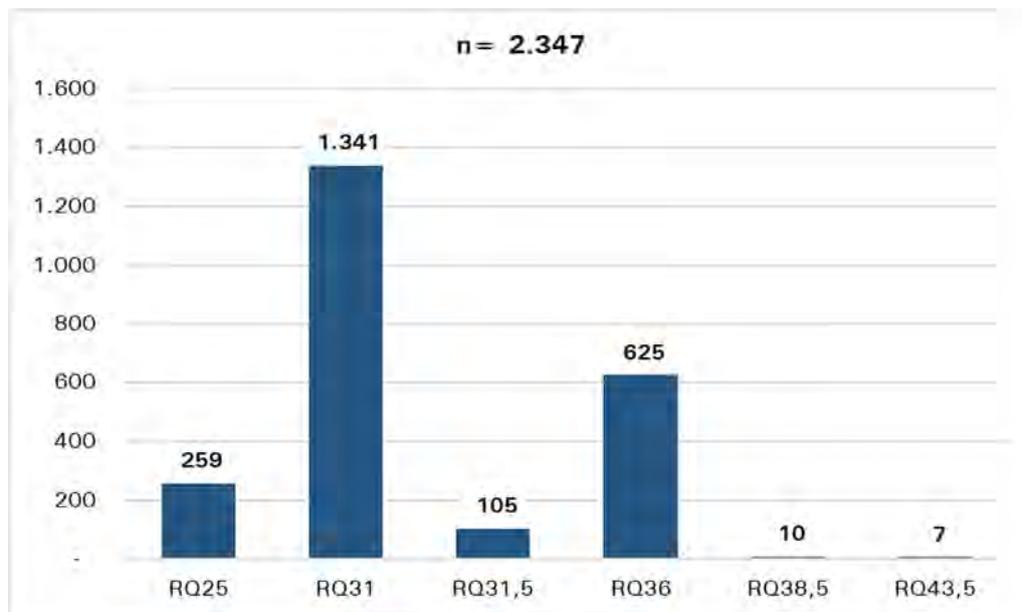


Abbildung 46: Häufigkeitsverteilung der Regelquerschnitte

Aus den Daten für die Querschnitte lassen sich grundsätzlich auch die Breiten der Seitenstreifen ermitteln. Das Vorhandensein eines Seitenstreifens ist jedoch nicht über einen Abschnitt der knotenpunktfreien Strecke oder einen Unterabschnitt einheitlich. Es könnte daher lediglich Anteile mit Seitenstreifen ermittelt werden, für die eine entsprechende Aussage dann jedoch schwierig wäre. Würden nur Abschnitte mit einem durchgängig vorhandenen Seitenstreifen oder ganz ohne Seitenstreifen betrachtet, müsste ein Großteil der Daten verworfen werden. Auf eine weitere Betrachtung dieses Merkmals wird daher verzichtet.

Für die Analyse werden aus den Daten zu den Querschnitten zwei dichotome Merkmale abgeleitet: die Autobahnart (Regionalautobahn; Fernautobahn) und die Anzahl der Fahrstreifen (zweistreifig; dreistreifig)

Straßenaufriß

Der Straßenaufriß wird auf dieser Ebene in Form von maximalen absoluten Längsneigungen, differenziert nach Gefälle und Steigung betrachtet.

Die Einteilung orientiert sich am maximalen Betrag von Steigung und Gefälle und unterscheidet fünf Gruppen:

- Gefälle größer -3 %
- Gefälle größer 2 % bis 3 %
- Neigung zwischen -2 % und +2 %
- Steigung größer +2 % bis +3 %
- Steigung größer +3 %

Unterabschnitte, bei denen gleich starke maximale Steigung und Gefälle verzeichnet waren, werden bei Einbezug dieser Variablen in die Analyse jeweils ausgeschlossen.

Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke

Die Verkehrsstärken werden den Straßeninformationsbanken entnommen. Die Daten stammen aus der Straßenverkehrszählung 2015. Anders als die meisten infrastrukturbezogenen Merkmale ist die Verkehrsstärke nicht als über die Zeit konstant anzusehen. Versuchsweise wurden Daten aus den Dauerzählstellen verwendet, um den jährlich vorliegenden Unfalldaten entsprechende jährliche Verkehrsstärken gegenüberzustellen. Über die Dauerzählstellen sind jedoch nur etwa ein Drittel aller Abschnitte abgedeckt. Eine Zuordnung der nicht abgedeckten Abschnitte zu den Abschnitten mit Dauerzählstellen ließ sich automatisiert nicht durchführen. Entsprechend werden die Daten der Straßen-Informationsbanken verwendet.

Die Verteilung der Verkehrsstärken zeigt eine Konzentration zwischen 30.000 und 75.000 Kfz/d. Geringere Verkehrsstärken haben nur einen Anteil von 12 %, höhere Verkehrsstärken kommen nur zu 22 % vor. Verkehrsstärken über 100.000 Kfz/d haben nur einen Anteil von 6 %.

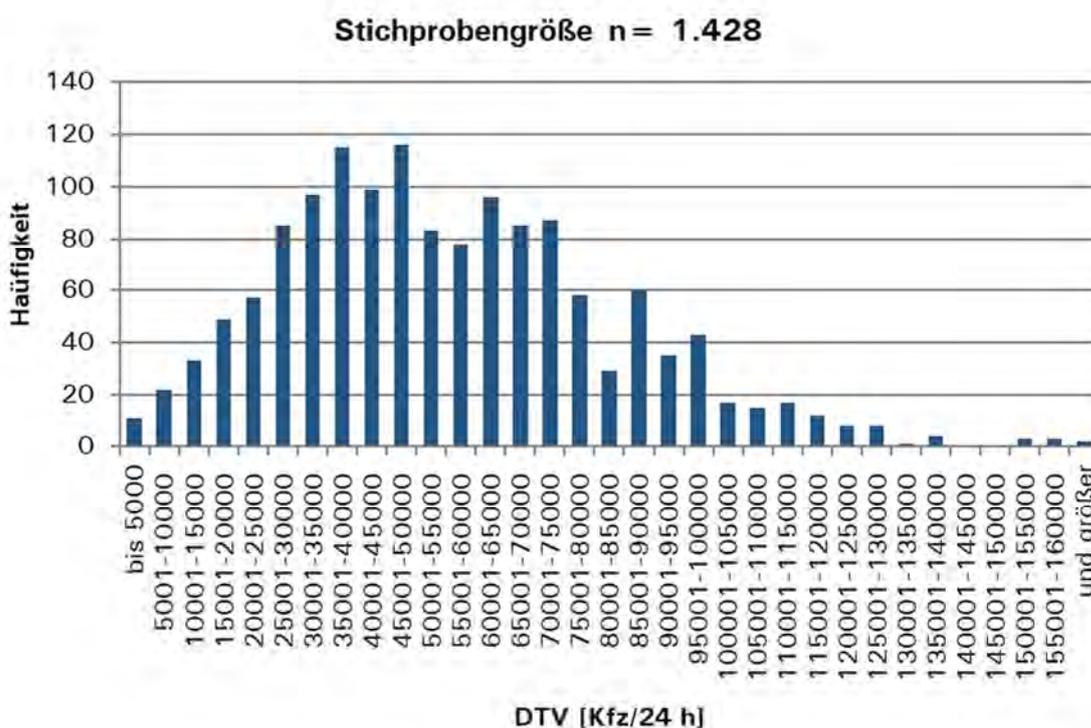


Abbildung 47: Häufigkeitsverteilung der Verkehrsstärken (DTV)

Das Merkmal wird für die Analyse dichotomisiert in geringe und hohe Verkehrsstärke. Als Grenzwerte dienen die benachbarten runden Werte neben den Medianen der zweistreifigen (40.000 Kfz/d) und dreistreifigen Unterabschnitte (75.000 Kfz/d).

Schwerverkehrsanteil

Ergänzend zum DTV wird der Schwerverkehrsanteil betrachtet. Erkennbar ist eine Konzentration bei etwa 15 %, auch Werte zwischen 10 und 20 % kommen häufig vor. Werte über 30 % sind selten.

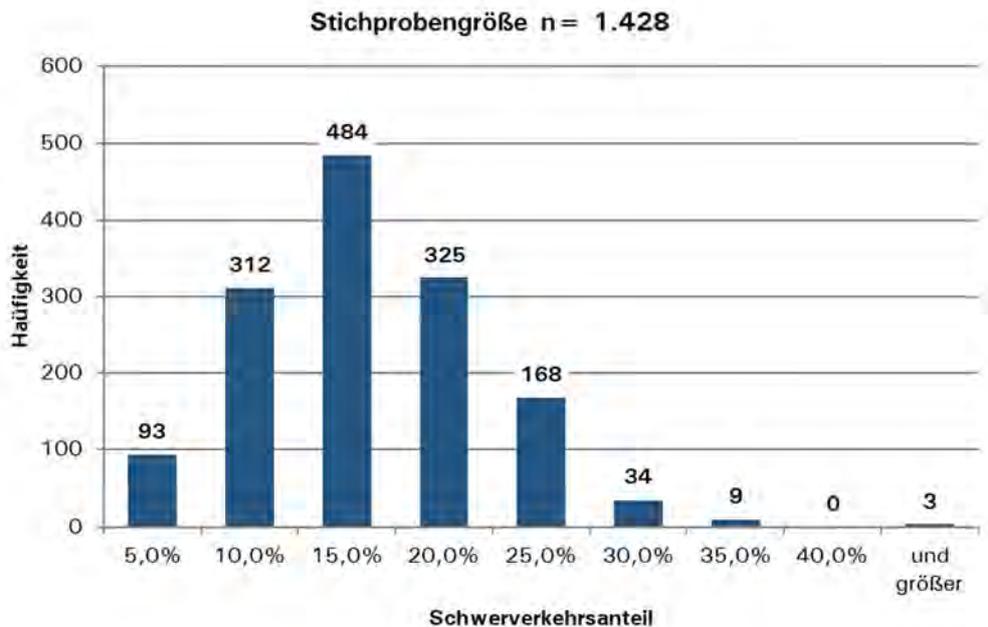


Abbildung 48: Häufigkeitsverteilung des Schwerverkehrsanteils

Das Merkmal wird für die Analyse dichotomisiert. Als Grenzwert zwischen niedrigem und hohem Schwerverkehrsanteil wird das 3. Quartil gewählt, damit liegt die Grenze bei 17,5%.

Straßenausstattung und Fahrzeug-Rückhaltesysteme

Die Straßeninformationsbanken enthalten teilweise weitere Daten zur Straßenausstattung, z.B. Fahrzeug-Rückhaltesysteme, Hindernisse im Seitenraum, wegweisende Beschilderung, etc.. Zudem sind die Daten, wenn sie vorhanden sind, nicht immer plausibel. Aufgrund der dünnen und wenig belastbaren Datengrundlage werden diese Merkmale nicht berücksichtigt.

Daten zur Ausstattung mit Fahrzeug-Rückhaltesystemen liegen zwar uneinheitlich, aber mit einer breiteren Datenbasis vor. Jedoch handelt es sich um ein Merkmal, das in den Unterabschnitten nicht einheitlich auftritt. Teilweise werden Fahrzeug-Rückhaltesystemen nur verwendet, um Bauwerke oder einzelne andere Hindernisse zu sichern. Daher könnte allenfalls ein Anteil der jeweiligen Strecke mit Schutzplanken verwendet werden. Aufgrund der Datenstrukturen lässt sich dieser Anteil nicht ermitteln. Zudem wäre die Interpretation problematisch, da ein Fehlen von Schutzplanken nicht zwangsläufig bedeutet, dass es ungesicherte Hindernisse gibt, sondern auch bedeuten kann, dass keine Hindernisse vorhanden sind. Um eine Aussage treffen zu können, müsste dieses Merkmal zwingend mit anderen Merkmalen korreliert werden, z.B. dem Vorhandensein von Bauwerken oder anderen Hindernissen im Seitenraum. Diese Daten liegen jedoch – wie oben beschrieben – nur sehr lückenhaft vor. Auf diesem Grund wird auf die Berücksichtigung der Straßenausstattung und der Fahrzeug-Rückhaltesysteme verzichtet.

Jedem Unterabschnitt werden die Angaben über das Unfallgeschehen in dem jeweiligen Beobachtungsjahr beigefügt. Dazu werden über das Beobachtungsjahr die Unfälle und geschädigten Personen auf diesen Unterabschnitten summiert. In sechs Variablen werden die Anzahlen der Unfälle der Kategorien 1 bis 3 sowie die Anzahl der Getöteten, der Schwerverletzten und der Leichtverletzten erfasst. Hinzugefügt werden die pauschalierten Unfallkosten.

4.3.2 Unfallkennzahlen

Für das betrachtete Netz liegen Unfalldaten der Jahre 2011 bis 2016 vor, in Nordrhein-Westfalen der Jahre 2011 bis 2017. Nicht enthalten sind die entsprechenden Unfallhergangsbeschreibungen.

Als wesentliche Indikatoren für die Beschreibung der Verkehrssicherheit werden die Unfallkostenrate (für Abschnitte der knotenpunktfreien Strecke und für Unterabschnitte) bzw. die Unfallkostendichte (für Rampen, Einfahrten und Ausfahrten) verwendet. Diese werden gemäß Merkblatt zur Örtlichen Unfalluntersuchung in Unfallkommissionen (M Uko) berechnet.

Außerdem wird jeweils die Unfallschwere einbezogen. Diese wird definiert als Anzahl der Getöteten und Schwerverletzten, bezogen auf die Anzahl der Unfälle mit Personenschaden.

Ergänzend wird auch der Anteil an unfallbehafteten Strecken ermittelt. Dabei handelt es sich um eine dichotome Variable, die angibt, ob in den betrachteten Jahren mindestens ein Unfall der Kategorien 1 bis 3 erfasst wurde. Unter anderem kann diese Angabe als Filter für separate Betrachtungen tatsächlicher Unfallstrecken genutzt werden.

Außerdem werden Unfallhäufungsstellen einbezogen. Aus den Angaben für drei aufeinanderfolgende Beobachtungsjahre wird ermittelt, ob der Unterabschnitt die Kriterien für eine Unfallhäufungsstelle erfüllt. Dabei wird die Strecke durch Einbeziehung der Länge auf 1 Kilometer standardisiert. Bei Erfüllung der Kriterien werden die Datensätze für die 3 eingeschlossenen Jahre entsprechend markiert. Auch diese Variable enthält lediglich die Kategorien „ja“ und „nein“.

Die letzten beiden Unfallkennzahlen sind dichotom, die ersten beiden metrisch, was für die Auswertung zu unterschiedlichen Beschreibungs- und Analyseverfahren führt.

4.4 Datenaufbereitung für die obere Analyseebene (Abschnitte der knotenpunktfreien Strecke)

Die 73.329 Datensätze der unteren Analyseebene wurden auf diese Weise zu 14.082 Datensätze der oberen Analyseebene verschmolzen. In ihnen ist das Unfallgeschehen auf 2.242 Abschnitten der knotenpunktfreien Strecken erfasst. Für 94,1% dieser Abschnitte liegen Datensätze über 6 oder 7 Beobachtungsjahre vor. Wie bei der unteren Analyseebene werden auch die übrigen Datensätze, die sich auf Abschnitte der knotenpunktfreien Strecken mit weniger Beobachtungsjahren beziehen, in die Analyse mit einbezogen.

Gegenüber der unteren Analyseebene ergeben sich einige Abweichungen. Sie betreffen die Merkmale:

Geschwindigkeitsbeschränkungen

Falls unterschiedliche Angaben zu den Unterabschnitten vorliegen, wird eine entsprechend neu gebildete Kategorie „wechselnde Vorgaben“ zugeordnet. Ansonsten werden sowohl die niedrigste wie die höchste zulässige Höchstgeschwindigkeit auf dem gesamten Abschnitt ermittelt. Für die Auswertung wird zusätzlich eine dichotome Variable gebildet, die den Abschnitten die Kategorien „gesamte Strecke unbegrenzt“ bzw. „mindestens zum Teil begrenzt“ zuweist.

Kurvigkeit

Auf der Ebene der Abschnitte der knotenpunktfreien Strecke werden die Lageplanelemente zu Kurvigkeiten aggregiert. Hierunter wird die aufsummierte absolute Richtungsänderung je Kilometer betrachtet.

Die Verteilung der Kurvigkeiten zeigt eine Konzentration im Bereich zwischen 0 und 40 gon/km. Lediglich 13 % der Abschnitte weisen eine größere Kurvigkeit auf.

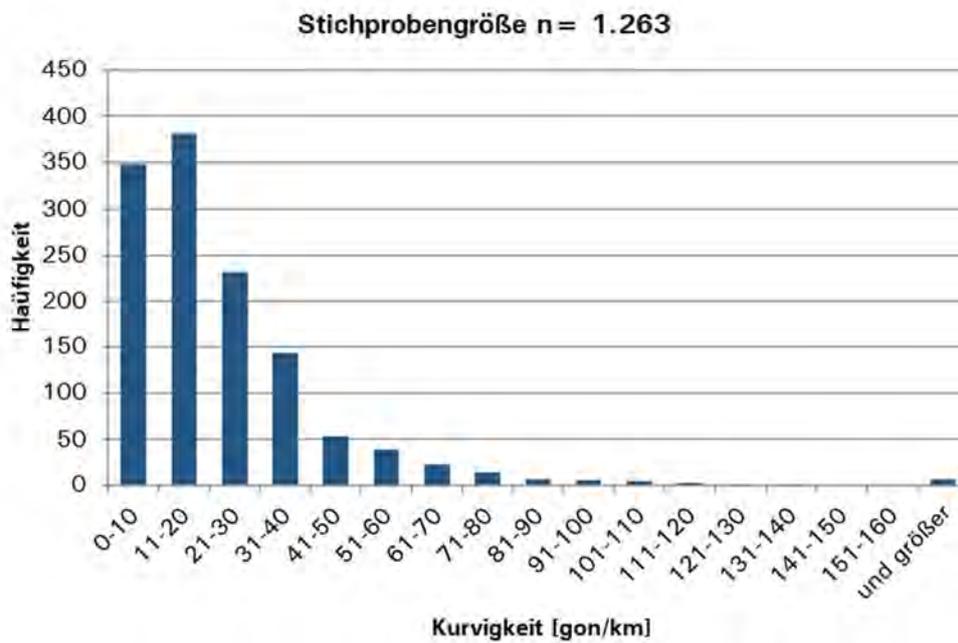


Abbildung 49: Häufigkeitsverteilung der Kurvigkeiten

Hügeligkeit

Während bei den Unterabschnitten die Längsneigungen betrachtet werden, werden die Daten bei den Abschnitten der knotenpunktfreien Strecken zur Hügeligkeit und Welligkeit aggregiert. Unter Hügeligkeit wird die gemittelte absolute Längsneigung der Tangenten verstanden.

Bei der Hügeligkeit zeigt sich eine Konzentration in Bereichen zwischen 0 % und 1,5 %. Größere Hügeligkeiten bis 3 % haben einen geringeren Anteil. Hügeligkeiten über 3 % haben nur einen sehr geringen Anteil (unter 3 %).

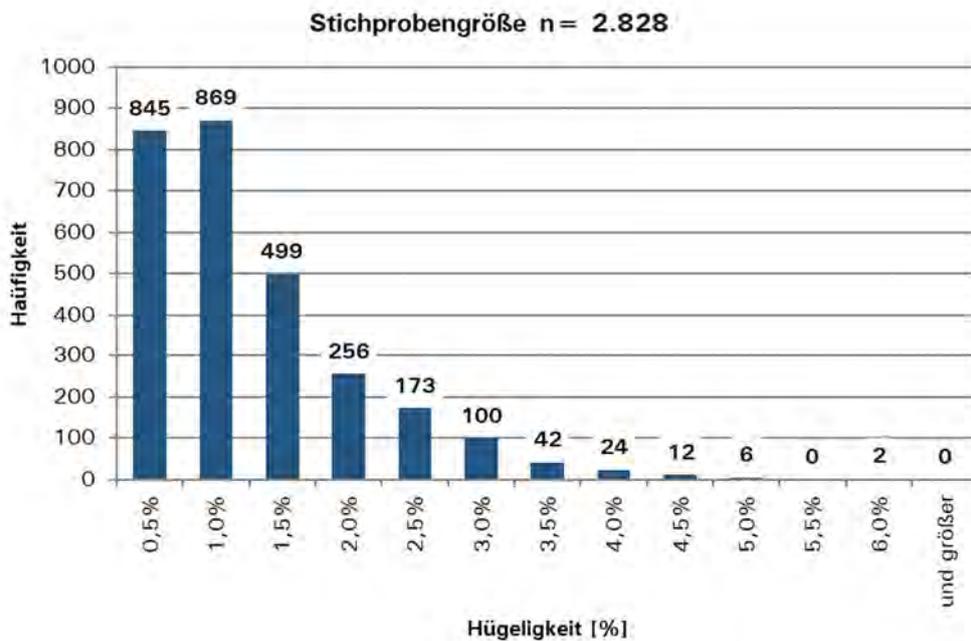


Abbildung 50: Häufigkeitsverteilung der Hügeligkeit

Welligkeit

Zusätzlich wird als weiterer Index die Welligkeit, ein Maß für die Summe aller Winkeldifferenzen an den Neigungswechseln, ebenfalls auf Einheitslänge standardisiert, verwendet.

Die Angaben zu den Regelquerschnitten, der Verkehrsstärke und des Schwerverkehrsanteils sind ohnehin auf die gesamten Abschnitte der knotenpunktfreien Strecken bezogen, also bei allen dazu zählenden Unterabschnitten identisch.

Abschließend werden dieselben Unfallparameter beigeordnet wie bei den Unterabschnitten und die abhängigen Variablen der Analyse – Unfallschwere und Unfallkostenrate – ermittelt. Alle Merkmale werden auf Plausibilität überprüft, unplausible Ausprägungen ausgeschlossen.

4.5 Ein- und Ausfahrten

Für die statistische Auswertung werden als Rohdatei 34.018 Datensätze verwendet. Darin enthalten sind auch Datensätze für Ein- und Ausfahrten außerhalb Nordrhein-Westfalens im Jahre 2017, für die keine Angaben zum Unfallgeschehen vorliegen, die also ausgeschlossen werden. Die restlichen konnten 2.309 Einfahrten und 2.458 Ausfahrten zugeordnet werden. Allerdings fehlen zum Teil relevante Angaben (z.B. zur zulässigen Höchstgeschwindigkeit oder zur Verkehrsstärke). Es werden daher noch einige weitere Datensätze herausgenommen. Die Auswertungsdatei enthält damit schließlich 29.319 Datensätze, 14.632 davon betreffen Einfahrten, 14.687 beziehen

sich auf Ausfahrten. Die Datensätze enthalten Angaben zum Unfallgeschehen an 2.151 Einfahrten sowie zu 1.832 Ausfahrten.

Die Auswertungsdatei enthält die gleichen Angaben wie die Auswertungsdatei der unteren Analyseebene (Unterabschnitte). Dazu kommt die Typisierung der Ein- oder Ausfahrten gemäß RAA. 94,4 % der Datensätze über Einfahrten gehören zu Einfahrten des Typs E1, daneben finden sich vereinzelt die Typen E3, E4 und E5. 92,7 % der Datensätze über Ausfahrten beschreiben den Typ A1, vereinzelt sind daneben Ausfahrten der Typen A2, A3, A4, A5, A6 und A8 zu finden.

4.6 Rampen

Zum Unfallgeschehen auf Rampen können 1.201 Datensätze für ebenso viele Rampen verwendet werden. Einige unvollständige Datensätze werden gelöscht. Außerdem werden nur Rampen in die Auswertung einbezogen, die zu Einfahrten des Typs E1 oder Ausfahrten des Typs A1 gehören. Es verbleiben 612 Einfahrtrampen und 523 Ausfahrtrampen, zusammen 1.135 Datensätze.

Die Auswertungsdatei enthält die gleichen Angaben wie die Auswertungsdatei der unteren Analyseebenen (Unterabschnitte) mit einigen Modifikationen. Es fehlen Angaben zur zulässigen Höchstgeschwindigkeit, zur Verkehrsstärke und zum Schwerverkehrsanteil. Die Radien werden abweichend gruppiert, um die bei den Rampen vorkommenden sehr kleinen Radien ausreichend zu differenzieren. Da aufgrund fehlender Angaben zur Verkehrsstärke keine Unfallkostenrate ermittelt werden kann, wird die Unfallkostendichte berechnet. Wegen der aggregierten Aufbereitung über den gesamten Zeitraum können keine Unfallhäufungsstellen ermittelt werden.

4.7 Zeitscheiben

Da die Tageszeit eventuell für die untersuchten Einflussgrößen auf das Unfallgeschehen als Confounder wirken könnte, werden den Auswertungsdateien Unfalldaten für verschiedene Zeitscheiben differenziert zugespielt. Die vier verwendeten Zeitscheiben sind

- 06:00 Uhr – 10.00 Uhr
- 10.00 Uhr – 15.00 Uhr
- 15.00 Uhr – 19.00 Uhr
- 19.00 Uhr – 06.00 Uhr

Für jede Zeitscheibe werden die o.g. Outcomevariablen ermittelt. Durch die zeitliche Differenzierung zeigt sich in den Zeitscheiben ein deutlich geringeres Unfallgeschehen als bei der 24-Stunden-Betrachtung.

Während 24,1 % aller Unterabschnitte in der ganztägigen Auswertungsdatei mindestens einen Unfall der Unfallkategorien 1 bis 3 aufweisen, sind dies bei den einzelnen Zeitscheiben nur zwischen 6,8 % und 8,9 %, wobei nur jeweils unter 2 % der Unterabschnitte mehr als einen Unfall aufweisen. Die Fallzahlen erweisen sich damit als zu klein für eine differenzierende Betrachtung, für eine multivariate Analyse sind sie nicht geeignet.

4.8 Längsschnittbetrachtungen

Bei der beschreibenden und der modellierenden Analyse zeigt sich jeweils für alle betrachteten Teilgruppen mit einer Geschwindigkeitsbeschränkung eine Erhöhung der Unfallkennzahlen. Da es sich dabei jeweils um eine Querschnittbetrachtung handelt – Exposition und Outcome stehen in keiner zeitlichen Abfolge –, können keine Rückschlüsse auf die Beziehung der beiden Merkmale gezogen werden.

Um die Frage zu untersuchen, ob die Anordnung einer Geschwindigkeitsbeschränkung oder eine Herabsetzung einer vorhandenen Höchstgeschwindigkeit zu einer Abnahme des Unfallgeschehens führt, werden Unterabschnitte identifiziert, in denen drei Jahre lang (2011 bis 2014) eine unveränderte Geschwindigkeitsvorgabe galt, dann eine einmalige Änderung erfolgte mit anschließenden weiteren drei Jahren unveränderter Vorgabe.

Diese Bedingung erfüllen allerdings lediglich 88 Unterabschnitte, und nur bei 66 von ihnen handelt es sich bei der Änderung um eine (schärfere) Beschränkung. Obwohl aufgrund der Fallzahl keine validen Ergebnisse erwartet werden können, werden einmal die Unfallkostenraten für die Zeit vor und nach der Änderung der Beschränkung ermittelt und verglichen. Es zeigt sich eine minimale Zunahme der Unfallkostenrate. Im gebräuchlichen Effektmaß Cohen's d ausgedrückt beträgt der Effekt $d=0,07$; dieser Wert liegt weit unter der Schwelle von $d=0,3$, ab der nach Cohen von einem kleinen Effekt gesprochen werden darf. Von weiteren Analysen wird nach diesen ersten Betrachtungen abgesehen.

4.9 Stratifizierte Beschreibungen und Vergleiche („Cluster“)

Nach der einleitenden Beschreibung der Auswertungsdateien wird die Analyse für die Unterabschnitte (untere Analyseebene) und die Abschnitte der knotenpunktfreien Strecken (obere Analyseebene) in zwei Schritten durchgeführt.

Zunächst erfolgt eine stratifizierende Beschreibung. Stratifizierung meint die Zerlegung einer Datei in verschiedene, durch eine ausgewählte Variable definierten Schichten. Eine solche Stratifizierung bewirkt, dass der potentielle Einfluss der schichtdefinierenden Variablen auf das Outcome innerhalb einer Schicht nivelliert ist. Zeigen sich

zwischen Teilgruppen einer solchen Schicht Unterschiede, können diese nicht auf die stratifizierende Variable zurückgeführt werden. Durch mehrfache Stratifizierungen kann so – bei genügend großen Datenkörpern und um den Preis immer kleinerer Untergruppen – schrittweise der Einfluss einer interessierenden unabhängigen Variablen auf das Outcome sichtbar werden.

Voraussetzung für Stratifizierungen ist eine Klassifikation der Schichtungsvariablen. Diese erwies sich schon bei vorbereitenden Testanalysen als sinnvoll, da sich – z.B. in Streudiagrammen – keine linearen Zusammenhänge zwischen den unabhängigen und den abhängigen Variablen zeigten. Stattdessen wurden z.T. U-förmige oder J-förmige, aber auch ein- oder mehrmodale Verteilungen mit unterschiedlich starken Anstiegen und Gefällen sichtbar.

Daher werden nun auch die noch nicht gruppierten unabhängigen Variablen – also die Kurvigkeit, die Hügeligkeit und die Welligkeit bei den Abschnitten der knotenpunktfreien Strecken (obere Analyseebene) – in ordinale Variablen mit jeweils 4 Klassen umgewandelt.

Bei der Durchführung der Analyse wird auf eine nachvollziehbare Abfolge der stratifizierenden Variablen geachtet. Beginnend mit Autobahnart und Fahrstreifenanzahl, gefolgt von Radius bzw. Kurvigkeit und Höchstgeschwindigkeit wird die Gruppenbildung exemplarisch je nach Analyseebene und Zweig der Schichtung bis zur Verkehrsstärke, der Längsneigung (bzw. Welligkeit und Hügeligkeit) und dem Schwerververkehrsanteil verfolgt. Für die immer kleiner und homogener werdenden Teilgruppen werden dann – nach weiteren Merkmalen vergleichend – die passenden Unfallkennwerte ermittelt.

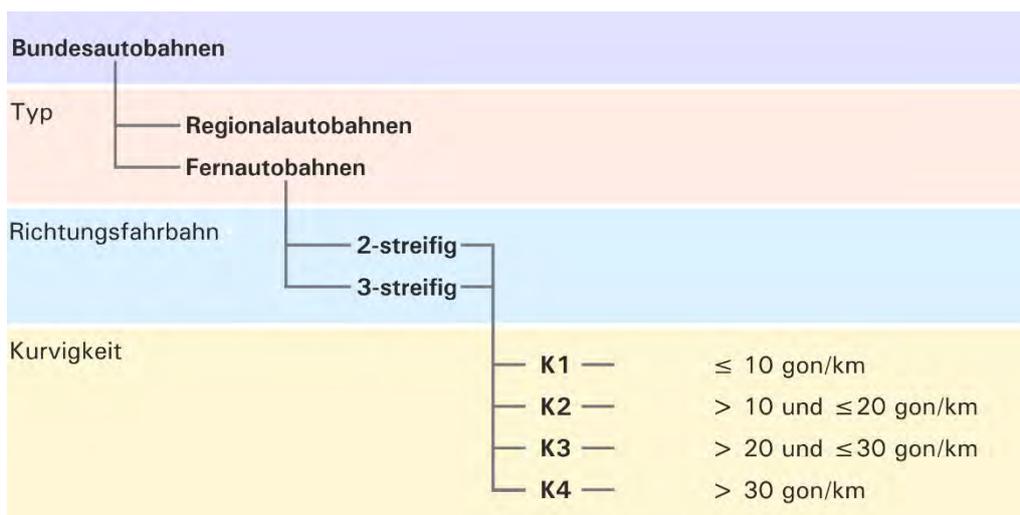


Abbildung 51: Darstellung der Stratifizierung für die Abschnitte der knotenpunktfreien Strecke

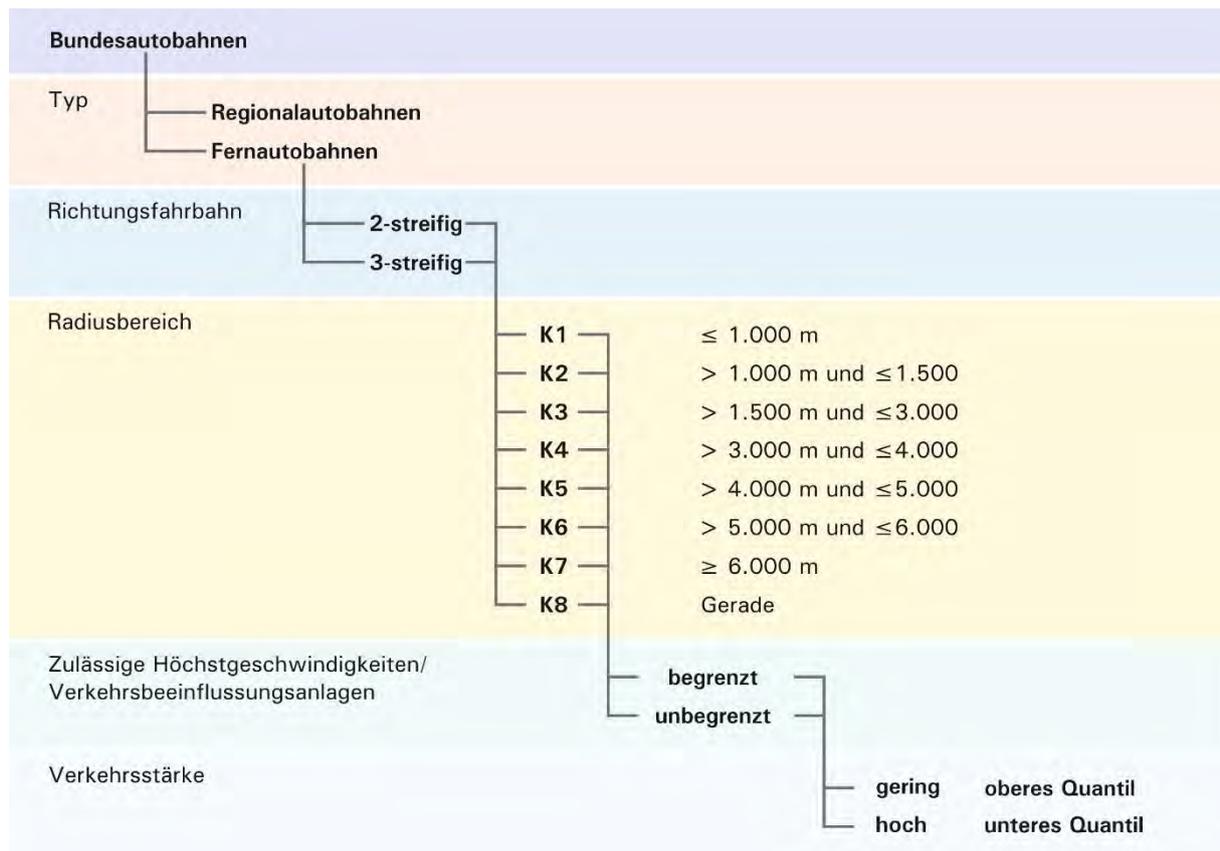


Abbildung 52: Darstellung der Stratifizierung für die Unterabschnitte

Der Vergleich betrifft dann jeweils Anteile (relative Häufigkeiten) von Unfallstrecken und Unfallhäufungsstellen sowie die durchschnittlichen Unfallkostenraten und Unfallschweren. Da insbesondere letztere nur sinnvoll definiert sind für Strecken, auf denen tatsächlich Unfälle geschahen, werden die Unfallkostenraten und Unfallschweren meist auch separat für die Unfallstrecken der jeweiligen Strata ermittelt.

Auf weitere Effektmaße als Differenzen und Anteile wird verzichtet, zum Teil weil sie sehr klein und uneinheitlich ausfallen, zum Teil, weil es hier weniger um standardisierte Effekte, sondern um Illustration von möglichen Zusammenhängen geht. Eine quantitative Betrachtung der Unterschiede (und ggf. Wirkungszusammenhänge) soll dann im folgenden Analyseschritt erfolgen.

Ähnlich zu den mit stratifizierten Vergleichen erfolgt die Analyse des Unfallgeschehens bei den Ein- und Ausfahrten und den Rampen. Aufgrund der erheblich kleineren Fallzahlen wird für diese beiden Fallgruppen keine multivariate Analyse vorgenommen.

Multivariate Analyse

Multivariate Analysen können sehr unterschiedliche Ziele verfolgen. Beim vorliegenden Projekt geht es um die Identifikation der Merkmale mit den stärksten Einflüssen auf die Zielparameter und – falls möglich – eine (vergleichende) Quantifizierung dieser Einflüsse. Dabei stehen nur die oben genannten Merkmale zur Verfügung. Dazu ist ein

konfirmatorisches (strukturprüfendes) Verfahren geeignet. Grob betrachtet kommen drei unterschiedliche Methoden in Betracht:

- Multifaktorielle Varianzanalyse/Regressionsanalyse
- Logistische Regression
- Verallgemeinerte Lineare Modelle

Prinzipiell bietet sich aufgrund des stetigen metrischen Datenniveaus der abhängigen Variablen Unfallkostenrate und Unfallschwere entweder eine multifaktorielle Varianzanalyse (bzw. ein nichtparametrisches Surrogat) oder eine Regressionsanalyse an. Da beide mittlerweile bei den einschlägigen Softwares auf dem allgemeinen linearen Modell beruhen, sind die mathematischen Grundlagen und Anforderungen weitgehend identisch. Testanalysen zeigten jedoch, dass die statistischen Voraussetzungen für varianzanalytische Modelle nicht erfüllt waren (z.B. fehlende Homoskedastizität), und lineare Regressionsanalysen scheiterten daran, dass sich Zusammenhänge als nicht linear darstellen oder Effektmodifikationen zu unanschaulichen verwirrenden Ergebnissen führen.

Da das Ziel der Analyse nicht in einer möglichst guten Prognose, sondern in der Beurteilung des – gegenüber wechselseitigen Störungen adjustierten – Einflusses der verschiedenen unabhängigen Variablen besteht, könnte abweichend auch ein deutlich einfacheres Modell (mit weniger einschränkenden Randbedingungen) gewählt werden, wenn die Zielparameter vorab in dichotome Variablen verwandelt werden. Wird z.B. nur unterschieden, ob die Unfallschwere auf einem (Unter-)abschnitt über oder unterhalb der mittleren Unfallschwere aller anderen liegt, geht zwar die Information über die Streuung der Werte verloren, aber der Einfluss der unabhängigen Variablen auf den Zielparameter lässt sich anschaulich bestimmen und verständlich interpretieren. Ein anderer der verwendeten Unfallkennwerte, der aussagt, ob es sich bei der Strecke um eine Unfallhäufungsstelle handelt, hat dagegen ohnehin den Charakter einer binären abhängigen Variablen, die für dieses Analyseverfahren, die logistische Regression, geeignet ist. Diese Methode liefert transparente und leicht zu interpretierende Effektmaße. Wie bei einer Varianzanalyse können außerdem durch ausgewählte Klassifizierungen der unabhängigen Variablen auch nichtlineare Zusammenhänge beliebiger Natur in ihren Wirkungen aufgedeckt werden.

Schließlich kommen – vor allem aufgrund möglicherweise besonderen Verteilungsfunktionen der abhängigen Variablen – verschiedene Varianten der Verallgemeinerten Linearen Modelle in Frage. Die Qualität eines statistischen Modells – bzw. einer multivariaten Analyse – bemisst sich freilich nicht an der Modernität und Komplexität des benutzten Verfahrens. Der mathematische Hintergrund, das Vorgehen, der Output und die Interpretation Verallgemeinerter Linearer Modelle sind formal diffizil und schwer verständlich. Sie kommen nur in Betracht, wenn sich die vorherigen Alternativen als ungeeignet erweisen. Einige Testanalysen wurden nach der Datenaufbereitung gleichwohl durchgeführt mit durchgängig unbefriedigenden (weil uneinheitlichen, wenig anschaulichen und schwer zu interpretierenden Resultaten).

Daher wird schließlich die zweite Alternative gewählt. In verschiedenen Modellen wird die Wahrscheinlichkeit für das Vorliegen einer Unfallhäufungsstelle durch die Berücksichtigung der Einflüsse aller Wirkungsfaktoren ermittelt. Die Besonderheit der logistischen Regression liegt nun nicht in der Einbeziehung vieler unabhängiger Merkmale, sondern in der Ausgabe eines einfachen Effektmaßes, das die – hinsichtlich aller anderen eingeschlossenen Einflüsse adjustierte – Wirkung jeder Kategorie aller unabhängigen Variablen zeigt.

Zum einen lässt sich die mit definierten Ausprägungskombinationen begründete Wahrscheinlichkeit für das Eintreten des Zielereignisses (also das Vorliegen einer Unfallhäufungsstelle) berechnen. (Eine Kombination ist z.B.: zweistreifige Fahrbahn, enger Radius, Geschwindigkeitsbeschränkung, hohe Verkehrsstärke). Dieses Resultat entspricht einer Zusammenfassung der Effekte der verschiedenen Schichten bei der stratifizierenden Analyse.

Zum anderen kann für jede Ausprägung einer unabhängigen Variablen die Chance für das Eintreten des Zielereignisses mit der gleichen Chance bei Vorliegen einer Referenzausprägung verglichen werden. Das Verhältnis dieser beiden Chancen wird als das Odds Ratio bezeichnet. Es gibt also an, wie viel höher (oder geringer) die Chance für das Vorliegen einer Unfallhäufung bei einer Ausprägung (z.B. Geschwindigkeit beschränkt) im Vergleich zu einer anderen Ausprägung (Geschwindigkeit nicht beschränkt) ist. Und dieses Chancenverhältnis ist dann nach allen in das Modell aufgenommenen weiteren Einflussgrößen adjustiert, d.h. um deren möglicherweise störende Wirkung bereinigt.

Für beide Analyseebenen wurden mehrere Dutzend Modelle errechnet. Die besten Modellierungen werden hier zusammenfassend wiedergegeben.

4.10 Technische Anmerkung

Die Rohdaten wurden für die statistische Auswertung im Excel-Format erstellt. Die anschließende Aufbereitung und Auswertung erfolgte mit dem Software-Paket IBM® SPSS® Statistics Version 26.0.0.

5 Infrastrukturbezogene Unfallanalyse - Ergebnisse

5.1 Abschnitte der knotenpunktfreien Strecke

Fernautobahn/Regionalautobahn

Die Differenzierung in Fernautobahnen und Regionalautobahnen zeigt im Hinblick auf die Unfallkostenrate leicht günstigere Werte zugunsten der Fernautobahnen. Bei der Unfallschwere werden vergleichbare Werte erreicht, in der Tendenz jedoch zugunsten der Regionalautobahnen (vgl. Tabelle 1, Spalte „Gesamt“). Dies ist jedoch auch damit begründbar, dass Regionalautobahnen einen etwas geringeren Anteil an unfallbehafteten Strecken aufweisen als Fernautobahnen (vgl. Tabelle 1). Insgesamt lassen sich damit keine belastbaren Tendenzen herleiten.

Tabelle 1: Anteil unfallbehafteter Strecken nach Regionalautobahn und Fernautobahn

Unfälle	Art Autobahn	Regionalautobahn	Fernautobahn	Gesamt
kein Unfall	Anzahl	1.007	4.246	5.253
	Anteil	45,20%	35,80%	37,30%
mindestens 1 Unfall	Anzahl	1.223	7.606	8.829
	Anteil	54,80%	64,20%	62,70%
Gesamt Gesamt	Anzahl	2.230	11.852	14.082
	Anteil	100%	100%	100%

Zweistreifige/dreistreifige Abschnitte

Bei der Unterscheidung zwischen zweistreifigen und dreistreifigen Abschnitten ergeben sich leichte Vorteile zugunsten der zweistreifigen Abschnitte, sowohl im Hinblick auf die Unfallkostenrate als auch im Hinblick auf die Unfallschwere.

Dieses Ergebnis widerspricht der Untersuchung von Meewes und Eckstein 2002, die zu dem Ergebnis kommen, dass die etwas breiteren Regelquerschnitte der Fernautobahnen eine geringfügig niedrigere Unfallkostenrate aufweisen als die Regelquerschnitte für Regionalautobahnen. Das Ergebnis widerspricht auch dem Stand 3/19 des HVS, wonach außerhalb von Ballungsräumen die Grund-UKR des RQ 36 etwa 9 % geringer ist als die des RQ 31.

Kurvigkeit

Im Hinblick auf die Unfallschwere stellt sich eine hohe Kurvigkeit (über 30 gon/km) als besonders günstig dar, sowohl bei den zweistreifigen als auch den dreistreifigen Abschnitten. Bei der Unfallkostenrate zeigt sich eine geringe Kurvigkeit (bis 10 gon/km) als besonders ungünstig, sowohl bei den zweistreifigen als auch den dreistreifigen Abschnitten. Bei den zweistreifigen Abschnitten sind die übrigen Kurvigkeitsklassen vergleichbar zu bewerten, während es bei den dreistreifigen Abschnitten einen deutlichen Trend gibt: je höher die Kurvigkeit ist, desto geringer ist die Unfallkostenrate.

Tabelle 2: Unfallkostenrate und Unfallschwere differenziert nach Fahrstreifenanzahl und nach Kurvigkeitsklasse

Kurvigkeit [gon/km]		K1: bis 10	K2: über 10 bis 20	K3: über 20 bis 30	K4: über 30	Gesamt
2- streifig	US	0,31	0,29	0,21	0,14	0,25
	UKR	4,26	3,60	3,68	3,70	3,82
3- streifig	US	0,31	0,33	0,36	0,18	0,28
	UKR	4,33	4,18	4,16	3,84	4,16

Kurvigkeit [gon/km]

Unfallkostenrate [EUR/(1000 Kfz·km·a)]

Unfallschwere [Personen(GT, SV)/Unfälle(PS)]

Beide Indikatoren zeigen damit übereinstimmend, dass geringe Kurvigkeiten ungünstig und hohe Kurvigkeiten günstig zu bewerten sind.

Um eine Schnittstelle zum HVS herstellen zu können, wurde die Klasse bis 10 gon/km nochmals geteilt, sodass eine Klasse 0 bis 5 gon/km dargestellt werden kann. Auch diese weitere Betrachtung stützt die Ergebnisse.

Hügeligkeit

Die Hügeligkeit wird in vier Klassen betrachtet: minimal (0 % bis 0,5 %), gering (über 0,5 % bis 0,75 %), mittel (über 0,75 % bis 1,5 %) und hoch (über 1,5 %). Die Unfallkostenrate der vier Hügeligkeitsklassen unterscheiden sich nur minimal: es werden Werte zwischen 3,89 und 4,03 erreicht. Bei der Unfallschwere weisen die beiden Klassen „minimal“ und „gering“ geringfügig höhere Werte auf als die beiden Klassen „mittel“ und „hoch“ (vgl. Tabelle 3).

Wird nach den vier Kurvigkeitsklassen differenziert, so zeigen sich in fast allen Kurvigkeitsklassen uneinheitliche Ergebnisse. Lediglich in der Kurvigkeitsklasse I (bis zu 10 gon/km) ist ein leichter Trend erkennbar: mit zunehmender Hügeligkeit steigt die Unfallkostenrate. Bei der Unfallschwere werden in allen Kurvigkeitsklassen uneinheitliche Ergebnisse erreicht.

Insgesamt zeigt sich keine klare Wirkung der Hügeligkeit auf die Verkehrssicherheit.

Tabelle 3: Unfallkostenrate und Unfallschwere der Hügeligkeit, differenziert nach Kurvigkeit

			Kurvigkeit in 4 Gruppen				Gesamt
			Kurvigkeit I: bis zu 10	Kurvigkeit II: über 10 bis 20	Kurvigkeit III: über 20 bis 30	Kurvigkeit IV: über 30	
UKR	minimal	MW	4,28	3,68	3,40	3,81	3,93
		N	1.786	1.270	505	421	3.982
		SD	5,98	5,91	5,99	7,62	6,16
	gering	MW	4,28	3,86	4,16	3,62	4,03
		N	930	897	450	365	2.642
		SD	6,22	5,75	7,24	9,87	6,87
	mittel	MW	4,54	3,66	3,84	4,01	3,96
		N	890	1.478	978	1.181	4.527
		SD	8,66	5,15	6,12	8,25	7,02
	hoch	MW	5,11	4,54	3,77	3,33	3,89
		N	238	725	804	1.164	2.931
		SD	6,52	7,55	6,33	7,02	6,96
US	minimal	MW	0,32	0,28	0,20	0,17	0,28
		N	1.786	1.270	505	421	3.982
		SD	0,52	0,52	0,44	0,38	0,50
	gering	MW	0,34	0,31	0,23	0,15	0,29
		N	930	897	450	365	2.642
		SD	0,60	0,54	0,46	0,57	0,56
	mittel	MW	0,27	0,31	0,22	0,12	0,23
		N	890	1.478	978	1.181	4.527
		SD	0,48	0,58	0,46	0,32	0,48
	hoch	MW	0,25	0,29	0,27	0,16	0,23
		N	238	725	804	1.164	2.931
		SD	0,56	0,49	0,65	0,37	0,51

Kurvigkeit [gon/km]

Hügeligkeit [%]

Unfallkostenrate [EUR/(1000 Kfz·km·a)]

Unfallschwere [Personen(GT, SV)/Unfälle(PS)]

MW = Mittelwert, N = Fallzahl, SD = Standardabweichung

Welligkeit

Die Welligkeit wird in vier Klassen betrachtet: minimal (0 % bis 0,10 %), gering (über 0,10 % bis 0,25 %), mittel (über 0,25 % bis 0,75 %) und hoch (über 0,75 %). Bei der Unfallkostenrate zeigt sich keine klare Tendenz. Die Werte in allen Klassen sind vergleichbar, mit Ausnahme minimaler Welligkeiten: Hier ist die Unfallkostenrate erkennbar niedriger als bei den anderen Klassen. Wird nach Kurvigkeitsklassen differenziert, so zeigen sich durchgängig uneinheitliche Ergebnisse (vgl. Tabelle 4).

Bei der Betrachtung der Unfallschwere werden wieder in allen Klassen vergleichbare Werte erreicht, mit Ausnahme der Klasse geringer Welligkeiten: Hier liegt die Unfallschwere merklich über den anderen Werten. Eine vergleichbare Tendenz zeigt sich bei der Differenzierung nach Kurvigkeitsklassen mit Ausnahme der Kurvigkeitsklasse IV.

Insgesamt zeigt sich keine klare Wirkung der Welligkeit auf die Verkehrssicherheit.

Tabelle 4: Unfallkostenraten und Unfallschwere der Welligkeit, differenziert nach Kurvigkeit

			Kurvigkeit in 4 Gruppen				Gesamt
			Kurvigkeit I: bis zu 10	Kurvigkeit II: über 10 bis 20	Kurvigkeit III: über 20 bis 30	Kurvigkeit IV: über 30	
UKR	minimal	MW	4,45	3,82	3,20	2,90	3,71
		N	1.293	1.350	743	889	4.275
		SD	6,40	5,32	5,64	6,51	6,00
	gering	MW	4,46	4,15	3,91	2,94	4,03
		N	921	1.006	566	417	2.910
		SD	6,92	6,74	5,86	8,13	6,87
	mittel	MW	4,25	3,73	4,07	4,34	4,09
		N	680	892	741	907	3.220
		SD	7,86	6,72	7,33	8,99	7,79
	hoch	MW	4,34	3,72	4,03	4,12	4,04
		N	950	1.122	687	918	3.677
		SD	6,31	5,22	6,32	7,96	6,47
US	minimal	MW	0,32	0,31	0,22	0,14	0,26
		N	1.293	1.350	743	889	4.275
		SD	0,56	0,55	0,62	0,33	0,54
	gering	MW	0,34	0,36	0,26	0,13	0,30
		N	921	1.006	566	417	2.910
		SD	0,52	0,58	0,48	0,41	0,53
	mittel	MW	0,28	0,25	0,24	0,15	0,23
		N	680	892	741	907	3.220
		SD	0,51	0,51	0,51	0,35	0,47
	hoch	MW	0,29	0,28	0,22	0,15	0,24
		N	950	1.122	687	918	3.677
		SD	0,53	0,51	0,45	0,45	0,49

Kurvigkeit [gon/km]

Welligkeit [gon/km]

Unfallkostenrate [EUR/(1000 Kfz·km·a)]

Unfallschwere [Personen(GT, SV)/Unfälle(PS)]

MW = Mittelwert, N = Fallzahl, SD = Standardabweichung

5.2 Unterabschnitte

Fernautobahn/Regionalautobahn

Wie auch bei den Abschnitten der knotenpunktfreien Strecke liegt die Unfallkostenrate bei den Fernautobahnen etwas unter denen der Regionalautobahnen (vgl. Tabelle 5, rechte Spalte). Die Unfallschwere ist hingegen in der Tendenz etwas größer.

Zweistreifige/dreistreifige Abschnitte

Die Differenzierung in zweistreifige und dreistreifige Unterabschnitte zeigt eine klare Tendenz: sowohl bei den Fernautobahnen als auch bei den Regionalautobahnen liegt die Unfallkostenrate der zweistreifigen Unterabschnitte immer spürbar unter denen der dreistreifigen Unterabschnitte (vgl. Tabelle 5, Zeilen „insgesamt“). Gleiches gilt für die Unfallschwere.

Radius

Bei den zweistreifigen Fernautobahnen ist ein klarer Trend erkennbar: mittlere Radien zwischen 3.000 und 5.000 m weisen deutlich die geringsten Unfallkostenraten auf, während kleinere und größere Radien deutlich ungünstiger zu bewerten sind. Bei den zweistreifigen Regionalautobahnen ist hingegen kein klarer Trend erkennbar: die Werte sind in den verschiedenen Radienklassen uneinheitlich. Bei den dreistreifigen Fernautobahnen ist wieder ein deutlicher Trend zu erkennen: mit zunehmendem Radius steigt die Unfallkostenrate. Bei den dreistreifigen Regionalautobahnen ergibt sich ein vergleichbarer Trend wie bei den zweistreifigen Fernautobahnen: Radien zwischen 3.000 und 5.000 m sind am günstigsten zu bewerten, während kleinere und größere Radien schlechter abschneiden. Eine Ausnahme bilden hier die Radien zwischen 1.000 und 1.500 m, die nochmals günstiger zu bewerten sind (vgl. Tabelle 5).

Bei der Unfallschwere ist bei den zweistreifigen Fernautobahnen ein klarer Trend erkennbar: je größer der Radius desto höher die Unfallschwere. Bei den dreistreifigen Fernautobahnen ist dieser Trend hingegen nicht erkennbar. Lediglich die sehr engen Radien (bis 1.000 m) sind deutlich am günstigsten zu bewerten. Bei den zweistreifigen Regionalautobahnen stellen sich geringe Radien (bis 3.000 m) als besonders günstig dar, während die übrigen Radien ähnlich höhere Unfallschweren aufweisen. Ein ähnliches Ergebnis zeigt sich bei den dreistreifigen Regionalautobahnen.

Auch wenn die Trends in den vier Gruppen nicht immer übereinstimmen, lässt sich ein klarer Einfluss des Radius auf das Unfallgeschehen erkennen. Es zeigt sich durchgängig, dass große Radien ungünstig zu bewerten sind, sowohl im Hinblick auf die Unfallkostenrate als auch auf die Unfallschwere. Mittlere Radienklassen stellen sich häufig als günstig dar.

Tabelle 5: Unfallkostenrate der Radien, differenziert nach Fern-/Regionalautobahn und zwei-/dreistreifigen Abschnitten

Autobahnart	UKR	2-streifig			3-streifig			Gesamt	
	Radius [m]	MW	N	SD	MW	N	SD		
Fern	bis 1.000 m	4,34	4.408	22,44	3,96	1.824	14,39		
	über 1.000 m bis 1.500 m	4,04	4.345	23,29	3,74	1.861	12,34		
	über 1.500 m bis 3.000 m	3,59	10.031	15,61	3,95	4.564	12,33		
	über 3.000 m bis 4.000 m	3,20	3.175	13,32	4,28	895	11,82		
	über 4.000 m bis 5.000 m	3,40	2.536	12,80	4,71	554	14,65		
	über 5.000 m bis 6.000 m	4,22	1.674	24,82	4,87	607	14,86		
	über 6.000 m	4,48	5.789	22,12	4,83	2.482	15,26		
	keine Krümmung	4,08	10.278	16,46	4,38	6.173	12,36		
	Insgesamt	3,94	42.236	18,63	4,25	18.960	13,10		4,03
	Regional	bis 1.000 m	4,99	957	33,56	3,84	548		17,84
über 1.000 m bis 1.500 m		2,94	897	14,59	2,58	317	7,86		
über 1.500 m bis 3.000 m		4,93	2.079	32,32	4,96	1.096	19,74		
über 3.000 m bis 4.000 m		3,95	596	16,30	3,23	347	11,81		
über 4.000 m bis 5.000 m		4,05	345	20,33	3,41	181	8,28		
über 5.000 m bis 6.000 m		3,62	183	18,66	4,53	83	14,39		
über 6.000 m		4,53	883	18,39	5,44	463	18,77		
keine Krümmung		3,83	2.167	14,97	5,17	991	18,46		
Insgesamt		4,24	8.107	23,79	4,50	4.026	17,28	4,33	

Unfallkostenrate [EUR/(1000 Kfz-km-a)]

MW = Mittelwert, N = Fallzahl, SD = Standardabweichung

Maximale Längsneigung

Die maximale Längsneigung wird in fünf Klassen unterschieden: Gefälle steiler als -3 %, Gefälle steiler als -2 % bis -3 %, Neigungen zwischen -2 % und 2 %, Steigungen steiler als 2 % bis 3 % und Steigungen über 3 %.

Tabelle 6: Unfallkostenrate der Längsneigung

UKR			
Höhenverlauf verfeinert	MW	N	SD
Gefälle steiler als -3	4,55	6.956	16,26
Gefälle steiler als -2	4,03	4.773	13,57
eben - Neigung höchstens 2	4,06	47.054	19,27
Steigung steiler als + 2	3,87	4.616	16,09
Steigung steiler als + 3	3,84	6.654	16,15
Insgesamt	4,07	70.053	18,16

Höhenverlauf = Längsneigung [%]

Unfallkostenrate [EUR/(1000 Kfz·km·a)]

MW = Mittelwert, N = Fallzahl, SD = Standardabweichung

Bei Betrachtung der Unfallkostenrate fällt auf, dass bei Gefällen steiler als -3 % erheblich höhere Unfallkostenrate auftreten als bei den übrigen Klassen. Die übrigen Klassen weisen annähernd gleiche Werte auf, wobei die Steigungen noch etwas günstiger abschneiden als leichtes Gefälle oder ebene Strecken. Die Unfallschwere hingegen zeigt kein vergleichbares Bild: in allen Klassen werden ähnliche Unfallschweren erreicht.

Tabelle 7: Unfallschwere der Längsneigung

US			
Höhenverlauf verfeinert	MW	N	SD
Gefälle steiler als -3	0,10	6.956	0,38
Gefälle steiler als -2	0,11	4.773	0,43
eben - Neigung höchstens 2	0,09	47.054	0,47
Steigung steiler als + 2	0,11	4.616	0,40
Steigung steiler als + 3	0,09	6.654	0,37
Insgesamt	0,10	70.053	0,44

Höhenverlauf = Längsneigung [%]

Unfallschwere [Personen(GT, SV)/Unfälle(PS)]

MW = Mittelwert, N = Fallzahl, SD = Standardabweichung

Aufbauend auf diesen Ergebnissen wurde eine Verfeinerung der Klassen durchgeführt, um einen Grenzwert für unfallauffällige Gefälle abzuleiten: bei Gefälle über 2 % wurden die Klassen in 0,5%-Intervallen gebildet. Betrachtet man die Ergebnisse für alle Unterabschnitte, so wird das Ergebnis gestützt: je steiler das Gefälle, desto größer die Unfallkostenrate (vgl. Tabelle 8). Differenziert man nun zwischen zweistreifigen und dreistreifigen Unterabschnitten, zeigt sich dieser Trend nicht mehr eindeutig. Bei den zweistreifigen Unterabschnitten wird beim Gefälle zwischen 3,5 und 4 % eine Unfallkostenrate deutlich unter dem Mittelwert erreicht. Vernachlässigt man diese Klasse, so zeigt sich dennoch ein Trend einer mit dem Gefälle ansteigenden Unfallkostenrate

(vgl. Tabelle 9). Bei den dreistreifigen Unterabschnitten hingegen sind die Unfallkostenraten bei den steilen Gefällen geringer als bei den flachen Gefällen und es gibt einen besonders hohen Wert in der Klasse zwischen 3,5 und 4 % Gefälle (vgl. Tabelle 10). Aufgrund dieser Detailergebnisse wird auf die Ableitung einer Empfehlung für das Richtlinienwerk verzichtet.

Tabelle 8: Unfallkostenrate der Längsneigung aller Unterabschnitte

UKR			
Höhenverlauf verfeinert feinmaschig	MW	N	SD
Gefälle steiler als -4,5	5,03	897	17,16
Gefälle steiler als -4	4,58	1.300	15,67
Gefälle steiler als -3,5	4,49	1.553	18,56
Gefälle steiler als -3	4,40	2.072	15,29
Gefälle steiler als -2,5	4,11	3.086	13,68
Gefälle steiler als -2	4,12	2.821	13,81
eben - Neigung höchstens 2	4,06	47.054	19,27
Steigung steiler als + 2	3,69	9.240	16,56
Steigung steiler als + 4,5	4,57	2.030	13,96
Insgesamt	4,07	70.053	18,16

Höhenverlauf = Längsneigung [%]

Unfallkostenrate [EUR/(1000 Kfz·km·a)]

MW = Mittelwert, N = Fallzahl, SD = Standardabweichung

Tabelle 9: Unfallkostenrate der Längsneigung aller zweistreifigen Unterabschnitte

UKR			
Höhenverlauf verfeinert feinmaschig	MW	N	SD
Gefälle steiler als -4,5	5,47	553	19,22
Gefälle steiler als -4	4,71	875	17,75
Gefälle steiler als -3,5	3,24	966	14,88
Gefälle steiler als -3	4,35	1.316	16,93
Gefälle steiler als -2,5	3,82	1.998	13,94
Gefälle steiler als -2	3,76	1.829	14,61
eben - Neigung höchstens 2	4,03	33.268	20,94
Steigung steiler als + 2	3,61	6.109	18,69
Steigung steiler als + 4,5	3,81	1.183	13,84
	3,97	48.097	19,77

Höhenverlauf = Längsneigung [%]

Unfallkostenrate [EUR/(1000 Kfz·km·a)]

MW = Mittelwert, N = Fallzahl, SD = Standardabweichung

Tabelle 10: Unfallkostenrate der Längsneigung aller dreistreifigen Unterabschnitte

UKR			
Höhenverlauf verfeinert feinmaschig	MW	N	SD
Gefälle steiler als -4,5	4,34	344	13,17
Gefälle steiler als -4	4,33	425	10,15
Gefälle steiler als -3,5	6,55	587	23,26
Gefälle steiler als -3	4,49	756	11,91
Gefälle steiler als -2,5	4,66	1.088	13,20
Gefälle steiler als -2	4,79	992	12,18
eben - Neigung höchstens 2	4,15	13.786	14,44
Steigung steiler als + 2	3,85	3.131	11,30
Steigung steiler als + 4,5	5,64	847	14,05
Insgesamt	4,30	21.956	14,01

Höhenverlauf = Längsneigung [%]

Unfallkostenrate [EUR/(1000 Kfz·km·a)]

MW = Mittelwert, N = Fallzahl, SD = Standardabweichung

Geschwindigkeitsbeschränkung

Die Geschwindigkeitsbeschränkungen werden differenziert nach Radien, DTV und Fahrstreifenzahl betrachtet. Es wird unterschieden in mit Geschwindigkeitsbeschränkung (einschließlich Verkehrsbeeinflussungsanlagen) und ohne Geschwindigkeitsbeschränkung. Bei den zweistreifigen Autobahnen zeigt sich ein leichter Trend, dass bei eher engen Radien die Unfallkostenrate ohne Geschwindigkeitsbeschränkung etwas geringer ist als mit Geschwindigkeitsbeschränkung und bei mittleren und eher weiten Radien eine vorhandene Geschwindigkeitsbeschränkung zu geringeren Unfallkostenraten führt. Dies stellt sich sowohl bei hohem als auch bei geringem DTV so dar, wobei die Tendenz bei geringem DTV geringer ist. Bei den dreistreifigen Autobahnen zeigt sich keine derartige Tendenz. Sowohl bei geringem als auch bei hohem DTV wechselt das Ergebnis mit jeder Radiengruppe. Wird hingegen auf eine Differenzierung nach hohem und geringem DTV verzichtet, so zeigen sich leichte Vorteile ohne Geschwindigkeitsbeschränkung in fast allen Radiengruppen (mit Ausnahme der mittleren Radiengruppe).

Im Hinblick auf die Unfallschwere zeigt sich bei den zweistreifigen Unterabschnitten eine klare Tendenz: sowohl bei hohem als auch geringem DTV führt eine Geschwindigkeitsbeschränkung durchgängig in allen Radiengruppen zu einer geringeren Unfallschwere. Bei den dreistreifigen Unterabschnitten zeigt sich dies jedoch nicht. Bei geringem DTV wechselt das Ergebnis mit jeder Radiengruppe. Bei hohem DTV wird ohne eine Geschwindigkeitsbeschränkung eine geringere Unfallschwere bei den eher engen Radien erreicht, während dies bei den weiteren Radien mit Geschwindigkeitsbeschränkung der Fall ist. Wird auf eine Differenzierung nach dem DTV verzichtet, so zeigt sich eine leichte Tendenz: bei eher engen Radien ergibt sich eine günstigere Unfallschwere ohne Geschwindigkeitsbeschränkung, während es bei mittleren und

großen Radien mit Geschwindigkeitsbeschränkung günstiger zu bewerten ist. Insgesamt lässt sich im Hinblick auf die Unfallschwere folgern, dass bei mittleren und weiten Radien (sowie Geraden) eine Geschwindigkeitsbeschränkung die Unfallschwere reduziert. Bei eher engen Radien zeigt sich diese Tendenz nicht, es ergeben sich uneinheitliche Ergebnisse.

Verkehrsstärke

sowohl bei den zweistreifigen als auch den dreistreifigen Unterabschnitten zeigen sich im Hinblick auf die Unfallkostenrate keine Tendenzen, die Ergebnisse sind sehr uneinheitlich.

5.3 Rampen

Im Rahmen der Auswertung hat sich gezeigt, dass eine Differenzierung in Einfahrrampen und Ausfahrrampen sinnvoll ist. Durch die unterschiedliche Funktionalität (bei Ausfahrrampen geprägt durch das Abbremsen auf geringe Geschwindigkeiten und bei Einfahrrampen durch das Beschleunigen auf höhere Geschwindigkeiten) ergeben sich hier Unterschiede in den Ergebnissen.

Ausfahrrampen – Radien

Im Hinblick auf die Unfallschwere zeigt sich, dass sie tendenziell mit größerem Radius zunimmt. Ein Ausreißer ist jedoch in der Klasse von 50 bis 80 m zu erkennen, dort ist die Unfallschwere sehr hoch. Bei der Unfallkostendichte zeigt sich ein etwas anderes Bild: hierbei sind mittlere Radien (80 bis 125 m) als günstig zu bewerten. Deutlich kleinere und deutlich größere Radien weisen höhere Unfallkostendichten auf. Bei Hinzunahme des Anteils an unfallbehafteten Rampen als Kriterium wird dieses Bild bestätigt: extrem kleine und sehr weite Radien zeigen sich ungünstig.

Tabelle 11: Unfallschwere und Unfallkostendichte der Ausfahrrampen (differenziert nach Radienklassen)

Radius [m]	Unfallschwere			Unfallkostendichte		
	MW	N	SD	MW	N	SD
bis 50 m	0,11	81	0,36	22,06	81	58,74
über 50 m bis 80 m	0,13	128	0,34	25,10	128	51,58
über 80 m bis 125 m	0,11	66	0,30	18,34	66	36,47
über 125 m bis 250 m	0,12	87	0,39	13,06	87	28,92
über 250 m	0,15	250	0,43	24,32	250	45,60
Insgesamt	0,13	612	0,38	21,94	612	46,14

Höhenverlauf = Längsneigung [%]

Unfallkostendichte [1000 EUR/(km·a)]

Unfallschwere [Personen(GT, SV)/Unfälle(PS)]

MW = Mittelwert, N = Fallzahl, SD = Standardabweichung

Ergänzend betrachtet wurden die Längsneigungen. Hierbei treten jedoch hohe Standardabweichungen bei geringen Fallzahlen auf, sodass die Ergebnisse nicht belastbar sind. Zudem zeigt sich auch kein klares Ergebnis.

Ausfahrrampen – Längsneigungen

Sowohl bei der Unfallkostenrate als auch der Unfallschwere zeigen sich in allen Klassen ähnliche Ergebnisse. Jedoch sticht das Gefälle zwischen 2 % und 3 % heraus: hier wird ein erheblich geringerer Wert erreicht, sowohl bei der Unfallkostenrate als auch der Unfallschwere.

Tabelle 12: Unfallschwere und Unfallkostendichte der Ausfahrrampen (differenziert nach Längsneigungsklassen)

Höhenverlauf verfeinert	Unfallschwere			Unfallkostendichte		
	MW	N	SD	MW	N	SD
Gefälle steiler als -3	0,14	176	0,42	21,66	176	40,73
Gefälle steiler als -2	0,05	41	0,22	12,87	41	35,00
Eben - Neigung höchstens 2	0,15	73	0,40	26,70	73	64,88
Steigung steiler als + 2	0,21	59	0,45	24,94	59	46,24
Steigung steiler als + 3	0,14	189	0,36	23,07	189	45,35
Insgesamt	0,14	538	0,39	22,53	538	46,45

Höhenverlauf = Längsneigung [%]

Unfallkostendichte [1000 EUR/(km·a)]

Unfallschwere [Personen(GT, SV)/Unfälle(PS)]

MW = Mittelwert, N = Fallzahl, SD = Standardabweichung

Einfahrrampen – Radien

die Unfallschwere verhält sich ähnlich wie bei den Ausfahrrampen. Sehr kleine Radien (kleiner 50 m) stellen sich als sehr günstig dar (vgl. Tabelle 13). Ebenfalls günstig sind Radien bis 125 m. Oberhalb sind die Radien deutlich ungünstiger zu bewerten. Ein sehr ähnliches Bild zeigt sich bei den Unfallkostendichten. Auch hier sind sehr kleine Radien unter 50 m als sehr günstig zu bewerten bis 125 m als günstig und danach als deutlich ungünstiger. Bei zusätzlicher Betrachtung des Anteils an unfallbehafteten Rampen (vgl. Tabelle 14) wird diese Aussage gestützt: günstig sind Radien bis 80 m zu bewerten bis 125 m sind die Ergebnisse mäßig, danach sehr ungünstig.

Tabelle 13: Unfallschwere und Unfallkostendichte der Einfahrrampen (differenziert nach Radienklassen)

Radius [m]	Unfallschwere			Unfallkostendichte		
	MW	N	SD	MW	N	SD
bis 50 m	0,01	73	0,12	4,03	73	12,92
über 50 m bis 80 m	0,11	85	0,38	14,75	85	44,77
über 80 m bis 125 m	0,08	57	0,23	14,97	57	34,09
über 125 m bis 250 m	0,16	48	0,41	20,32	48	41,34
über 250 m	0,14	260	0,39	19,63	260	39,32
Insgesamt	0,11	523	0,35	16,22	523	37,68

Unfallkostendichte [1000 EUR/(km·a)]

Unfallschwere [Personen(GT, SV)/Unfälle(PS)]

MW = Mittelwert, N = Fallzahl, SD = Standardabweichung

Tabelle 14: Anteil unfallbehafteter Rampen differenziert nach Radius

Unfälle		Radius in 6 Gruppen					Gesamt
		extrem - bis 50 m	eng - 50 m bis 80 m	mittel - 80 m bis 125 m	weit - 125 m bis 250 m	sehr weit - über 250 m	
kein Unfall	Anzahl	62	71	41	25	155	354
	Anteil	84,90%	83,50%	71,90%	52,10%	59,60%	67,70%
mind. 1 Unfall	Anzahl	11	14	16	23	105	169
	Anteil	15,10%	16,50%	28,10%	47,90%	40,40%	32,30%
Gesamt	Anzahl	73	85	57	48	260	523
	Anteil	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Auch hier ergeben sich keine Erkenntnisse im Hinblick auf die Längsneigung: es treten hohe Standardabweichung bei geringen Fallzahlen auf.

Einfahrrampen – Längsneigungen

Bei der Unfallkostendichte werden in allen Längsneigungsklassen vergleichbare Werte erreicht. Eine Ausnahme ist jedoch das steile Gefälle (über 3 %): Hier liegt die Unfallkostenrate deutlich über den Werten der anderen Klassen. Ähnlich – wenn auch nicht so ausgeprägt – verhält es sich bei der Unfallschwere. Auch hier weist das steile Gefälle einen deutlich höheren Wert auf als die anderen Klassen. Die Werte sind hier jedoch deutlich uneinheitlicher als bei der Unfallkostendichte. Offenbar sind aber Einfahrrampen mit steilem Gefälle ungünstiger zu bewerten als mit anderen Längsneigungen.

Tabelle 15: Unfallschwere und Unfallkostendichte der Einfahrrampen (differenziert nach Längsneigungsklassen)

Höhenverlauf verfeinert	Unfallschwere			Unfallkostendichte		
	MW	N	SD	MW	N	SD
Gefälle steiler als -3	0,13	148	0,41	16,18	148	39,43
Gefälle steiler als -2	0,11	45	0,33	18,55	45	43,37
Eben - Neigung höchstens 2	0,12	67	0,36	14,21	67	32,44
Steigung steiler als +2	0,11	47	0,43	14,05	47	33,09
Steigung steiler als +3	0,09	151	0,30	15,68	151	37,93
Insgesamt	0,11	458	0,36	15,74	458	37,64

Höhenverlauf = Längsneigung [%]

Unfallkostendichte [1000 EUR/(km·a)]

Unfallschwere [Personen (GT, SV)/Unfälle(PS)]

MW = Mittelwert, N = Fallzahl, SD = Standardabweichung

5.4 Einfahrten

Typ

Bei der Unfallkostendichte zeigen sich sehr deutliche Unterschiede: am besten ist der Typ E1 zu bewerten, gefolgt vom Typ E4. Deutlich schlechter schneiden die Typen E5 und dann E3 ab. Der Typ E2 lässt sich in diesem Rahmen nicht auswerten, da er sich im Bereich der eigentlichen Einfahrt nicht vom Typ E1 unterscheidet, sondern lediglich in der Rampe.

Tabelle 16: Unfallkostendichte der Einfahrten nach Einfahrttyp

Typ	Unfallkostendichte		
	MW	N	SD
E1	105,87	13.811	387,80
E3	156,90	461	515,09
E4	121,99	261	314,17
E5	145,34	99	551,95
Insgesamt	108,03	14.632	392,65

Unfallkostendichte [1000 EUR/(km·a)]

Bei der Unfallschwere zeigt sich ein anderes Bild: der Typ E5 schneidet deutlich am besten ab. Im Mittelfeld liegen die Typen E1 und E3, während E4 deutlich am ungünstigsten zu bewerten ist.

Tabelle 17: Unfallschwere der Einfahrten nach Einfahrttyp

Typ	Unfallschwere		
	MW	N	SD
E1	0,05	13.811	0,29
E3	0,07	461	0,30
E4	0,11	261	0,35
E5	0,04	99	0,16
Insgesamt	0,06	14.632	0,29

Unfallschwere [-]

MW = Mittelwert, N = Fallzahl, SD = Standardabweichung

Wird zusätzlich der Anteil an unfallbehafteten Einfahrten hinzugenommen, so zeigt sich der Typ E1 als besonders günstig. Im Mittelfeld liegen die Typen E3 und E5, der Typ E4 ist deutlich am ungünstigsten zu bewerten.

Tabelle 18: Unfallschwere der Unfallbehafteten Strecken in Einfahrten

Typ	Unfallschwere (Unfallbehaftete Strecken)		
	MW	N	SD
E1	0,33	2.239	0,66
E3	0,35	91	0,61
E4	0,36	78	0,57
E5	0,17	20	0,32
Insgesamt	0,33	2.428	0,65

Unfallschwere [Personen(GT, SV)/Unfälle(PS)]

MW = Mittelwert, N = Fallzahl, SD = Standardabweichung

Die Ergebnisse zeigen keine einheitliche Tendenz zugunsten eines der Typen. Wird vorrangig die Unfallkostendichte zugrunde gelegt, so zeigen sich Vorteile für die Typen E1 und E4. Es ist zu vermuten, dass die beiden anderen Typen E3 und E5 aufgrund der Fahrstreifenaddition ungünstiger abschneiden.

Die Untersuchung von Friedrich et al. betrachtet die Typen E1, E4 und E5. Hier konnten keine Auffälligkeiten herausgearbeitet werden, wobei auch nur drei Einfahrten insgesamt betrachtet wurden. Es wurden keine Empfehlungen abgeleitet.

Fernautobahn/Regionalautobahn

Die Unfallkostenrate (berechnet mit dem DTV der knotenpunktfreien Strecke unterhalb der Einfahrt) zeigt einen spürbar geringeren Wert für Fernautobahnen. Bei der Unfallschwere sind die Werte hingegen fast vergleichbar, wobei sich die Regionalautobahnen tendenziell etwas günstiger darstellen. Bei der Betrachtung der Unfallschwere nur auf den unfallbehafteten Einfahrten zeigt sich, dass die Unfallschwere nahezu identisch ist. Erklärbar ist dies durch den etwas höheren Anteil an unfallbehafteten Einfahrten bei den Fernautobahnen.

Tabelle 19: Mittelwerte der Unfallkostenrate, Unfallschwere sowie Unfallschwere auf unfallbehafteten Strecken

Einfahrten	Fernautobahn	Regionalautobahn
UKR	5,17	6,11
Unfallschwere	0,06	0,05
Anteil Unfallbehaftete Strecken	16,9%	14,6%
Unfallschwere auf Unfallstrecken	0,33	0,34

UKR = Unfallkostenrate [EUR/(1.000 Kfz·km·a)]

Unfallschwere [Personen(GT, SV)/Unfälle(PS)]

Zweistreifige/dreistreifige Abschnitte

Die Unfallkostenrate zeigt im Hinblick auf Einfahrten an zweistreifigen und dreistreifigen Abschnitten nur sehr leichte Unterschiede zugunsten dreistreifiger Abschnitte. Bei der Unfallschwere schneiden jedoch zweistreifige Abschnitte spürbar günstiger ab. Bei

der Betrachtung der Unfallschwere nur auf den unfallbehafteten Abschnitten, so ergeben sich hingegen vergleichbare Werte mit leichter Tendenz zugunsten der dreistreifigen Abschnitte.

Tabelle 20: Mittelwerte der Unfallkostenrate, Unfallschwere sowie Unfallschwere auf unfallbehafteten Strecken

Einfahrten	2-streifig	3-streifig
UKR	5,40	4,89
Unfallschwere	0,05	0,07
Unfallschwere auf unfallbehafteten Strecken	0,34	0,32

UKR = Unfallkostenrate [EUR/(1.000 Kfz·km·a)]

Unfallschwere [Personen(GT, SV)/Unfälle(PS)]

DTV

Die Auswertung erfolgte in zwei Klassen: DTV-Werte oberhalb des Mittelwerts und DTV-Werte unterhalb des Mittelwerts. Die Unfallkostenrate zeigt im Hinblick auf den DTV sehr uneinheitliche Ergebnisse. Die Unterschiede sind teilweise sehr deutlich, jedoch teilweise zugunsten eines geringen DTV und teilweise zugunsten eines hohen DTV. Auch bei der Differenzierung in zweistreifige und dreistreifige Abschnitte sowie der Differenzierung in enge, mittlere oder ohne Radien lässt sich keine Systematik erkennen (vgl. Tabelle 21).

Tabelle 21: Mittelwerte der Unfallkostenrate nach Fahrstreifenanzahl und Radien

Radien	DTV	Unfallkostenrate	
		2-streifig	3-streifig
enge Radien	gering	5,69	4,42
	hoch	5,90	4,95
mittlere Radien	gering	4,80	8,70
	hoch	6,40	4,10
ohne Radien	gering	4,70	6,60
	hoch	5,90	4,70

UKR = Unfallkostenrate [EUR/(1.000 Kfz·km·a)]

DTV = durchschnittliche Tägliche Verkehrsstärke [Kfz/24h]

Geschwindigkeitsbeschränkung

Die Auswertung der Geschwindigkeitsbeschränkung erfolgt in zwei Klassen: mit Geschwindigkeitsbeschränkung (einschließlich Streckenbeeinflussungsanlagen) und ohne Geschwindigkeitsbeschränkung. Die Auswertung der Unfallkostenrate zeigt sehr unterschiedliche, aber auch sehr uneinheitliche Ergebnisse. Teilweise ergeben sich Vorteile mit Geschwindigkeitsbeschränkung und teilweise ohne Geschwindigkeitsbeschränkung. Eine Differenzierung in zweistreifige und dreistreifige Abschnitte zeigt keine Systematik. Eine Differenzierung nach Radien zeigt ebenfalls keine durchgehende Systematik (vgl. Tabelle 22)

Tabelle 22: Mittelwerte der Unfallkostenrate nach Fahrstreifenanzahl und Radian

Radian	Geschwindigkeitsbeschränkung	Unfallkostenrate	
		2-streifig	3-streifig
enge Radian	begrenzt	4,9	5,2
	unbegrenzt	7,0	4,3
mittlere Radian	begrenzt	4,9	4,3
	unbegrenzt	5,8	4,2
ohne Radian	begrenzt	6,0	5,0
	unbegrenzt	4,8	4,8

UKR = Unfallkostenrate [EUR/(1.000 Kfz·km·a)]

5.5 Ausfahrten

Typ

Bei der Unfallkostendichte schneidet der Typ A1 sehr günstig ab (vgl. Tabelle 23). Auch der Typ A3 weist ähnlich geringe Unfallkostendichten auf. Im mittleren Bereich ist der Typ A5 zu finden, noch deutlich höhere Unfallkostendichten weisen die Typen A2, A6, A8 und insbesondere A4 auf. Einschränkend muss jedoch gesehen werden, dass vor allem die Typen A4, A5 und A8 vergleichsweise geringe Fallzahlen aufweisen.

Tabelle 23: Unfallkostendichte nach Typ

Typ	Unfallkostendichte		
	MW	N	SD
A1	110,63	13.614	399,39
A2	173,39	260	344,10
A3	119,04	280	384,99
A4	217,41	57	878,15
A5	138,59	42	295,17
A6	175,02	401	387,20
A8	176,33	33	352,08
Insgesamt	114,30	14.687	400,66

MW = Mittelwert, N = Fallzahl, SD = Standardabweichung

Auch im Hinblick auf den Anteil an unfallbehafteten Ausfahrten schneiden die Typen A1 und A3 besonders gut ab, gefolgt vom Typ A4. Die übrigen Typen weisen fast doppelt so hohe Anteile auf.

Bei der Unfallschwere sticht der Typ A5 mit besonders niedriger Unfallschwere heraus (vgl. Tabelle 24). Die Typen A1, A3 und A8 liegen im Mittelfeld, gefolgt vom Typ A6. Die Typen A2 und A4 sind besonders ungünstig zu bewerten. Auch hier muss wieder auf die vergleichsweise geringen Fallzahlen bei den Typ A4, A5 und A8 hingewiesen werden.

Tabelle 24: Anteil unfallbehaftete Ausfahrt nach Typ

Typ	Unfallschwere		
	MW	N	SD
A1	0,06	13.614	0,31
A2	0,12	260	0,39
A3	0,05	280	0,29
A4	0,15	57	0,52
A5	0,02	42	0,08
A6	0,07	401	0,27
A8	0,05	33	0,19
Insgesamt	0,06	14.687	0,31

Unfallschwere [Personen(GT, SV)/Unfälle(PS)]

MW = Mittelwert, N = Fallzahl, SD = Standardabweichung

Bei Ausschluss der Typen mit den geringen Fallzahlen aus der Betrachtung zeigt sich ein relativ einheitliches Bild: Die Typen A1 und A3 stellen sich bei allen betrachteten Kriterien als besonders günstig dar, die Typen A2 und A6 als deutlich ungünstiger – wobei der Typ A2 noch etwas ungünstiger abschneidet als der Typ A6.

Die Ergebnisse weichen teilweise von Forschungsergebnissen von Weiser et al. ab. Dort kommt man zu der Erkenntnis, dass insbesondere der Typ A3 deutlich ungünstiger zu bewerten ist als die Typen A4 und A5. Es wird insbesondere empfohlen, Ausfahrten des Typs A3 in Verbindung mit einer Fahrstreifenreduktion zu vermeiden.

Fernautobahn/Regionalautobahn

Die Verkehrssicherheit von Ausfahrten zeigt keine Auffälligkeiten im Hinblick auf die Funktion der Autobahn: sowohl die Unfallkostenrate (berechnet mit dem DTV der knotenpunktfreien Strecke oberhalb der Ausfahrt) als auch die Unfallschwere zeigt vergleichbare Werte. Tendenziell ist bei beiden Indikatoren die Fernautobahn leicht ungünstiger zu bewerten als die Regionalautobahn.

Tabelle 25: Mittelwerte der Unfallkostenrate und Unfallschwere auf Ausfahrten (differenziert nach Autobahnfunktion)

Ausfahrten	Fernautobahn	Regionalautobahn
UKR	5,38	5,33
Unfallschwere	0,06	0,05

UKR = Unfallkostenrate [EUR/(1.000 Kfz·km·a)]

Unfallschwere [Personen(GT, SV)/Unfälle(PS)]

Zweistreifige/dreistreifige Abschnitte

Die Auswertung sowohl der Unfallkostenrate als auch der Unfallschwere differenziert nach Ausfahrten an zweistreifigen und an dreistreifigen Abschnitte zeigt jeweils geringere Werte für die zweistreifigen Abschnitte. Insbesondere bei der Unfallschwere ist

der Unterschied sehr deutlich. Bei Betrachtung des Anteils an unfallbehafteten Strecken zeigt sich, dass der Anteil bei zweistreifigen Strecken nur halb so groß ist wie bei dreistreifigen Strecken. Wird die Unfallschwere nur für die unfallbehafteten Abschnitte ausgewertet, so zeigt sich eine vergleichbare Unfallschwere – jedoch auch wieder tendenziell zugunsten der zweistreifigen Abschnitte.

Tabelle 26: Mittelwerte der Unfallkostenrate, Unfallkostenrate auf unfallbehaftete Strecken Unfallschwere und Unfallschwere auf unfallbehafteten Strecken

Ausfahrten	2-streifig	3-streifig
UKR	5,07	6,09
UKR auf unfallbehafteten Strecken	35,94	21,45
Anteil unfallbehaftete Strecken	14,0%	28,4%
Unfallschwere	0,04	0,01
Unfallschwere auf unfallbehafteten Strecken	0,32	0,35

UKR = Unfallkostenrate [EUR/(1.000 Kfz·km·a)]

Unfallschwere [Personen(GT, SV)/Unfälle(PS)]

DTV

Die Auswertung erfolgte in zwei Klassen: DTV-Werte oberhalb des Mittelwerts und DTV-Werte unterhalb des Mittelwerts. Die Unfallkostenrate zeigt im Hinblick auf den DTV sehr uneinheitliche Ergebnisse. Die Unterschiede sind sehr deutlich, jedoch teilweise zugunsten eines geringen DTV und teilweise zugunsten eines hohen DTV. Auch bei der Differenzierung in zweistreifige und dreistreifige Abschnitte sowie der Differenzierung in enge, mittlere oder ohne Radian lässt sich keine Systematik erkennen.

Tabelle 27: Mittelwerte der Unfallkostenrate differenziert nach Fahrstreifenanzahl und Radian

Radian	DTV	Unfallkostenrate	
		2-streifig	3-streifig
enge Radian	gering	4,22	7,08
	hoch	5,27	4,10
mittlere Radian	gering	4,82	9,14
	hoch	5,90	5,33
ohne Radian	gering	5,54	6,76
	hoch	5,06	6,68

UKR = Unfallkostenrate [EUR/(1.000 Kfz·km·a)]

DTV = durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke [Kfz/24h]

Geschwindigkeitsbeschränkung

Die Auswertung der Geschwindigkeitsbeschränkung erfolgt in zwei Klassen: mit Geschwindigkeitsbeschränkung (einschließlich Streckenbeeinflussungsanlagen) und ohne Geschwindigkeitsbeschränkung. Die Auswertung der Unfallkostenrate zeigt sehr unterschiedliche, aber auch sehr uneinheitliche Ergebnisse. Teilweise ergeben sich Vorteile mit Geschwindigkeitsbeschränkung und teilweise ohne Geschwindigkeitsbeschränkung. Eine Differenzierung in zweistreifige und dreistreifige Abschnitte zeigt

keine Systematik. Eine Differenzierung nach Radien zeigt ebenfalls keine durchgehende Systematik. Lediglich bei engen Radien ergibt sich jeweils mit Geschwindigkeitsbeschränkung ein geringer Vorteil.

Tabelle 28: Mittelwerte der Unfallkostenrate differenziert nach Fahrstreifenanzahl und Radien

Radien	Geschwindigkeitsbeschränkung	Unfallkostenrate	
		2-streifig	3-streifig
enge Radien	begrenzt	4,21	4,23
	unbegrenzt	5,32	4,70
mittlere Radien	begrenzt	6,82	4,95
	unbegrenzt	4,26	6,46
ohne Radien	begrenzt	4,42	7,39
	unbegrenzt	5,67	6,23

UKR = Unfallkostenrate [EUR/(1.000 Kfz·km·a)]

5.6 Multivariate Analyse

In die Modelle werden sieben unabhängige Variablen aufgenommen. Im strengen Sinne geben die Modelle lediglich die Verhältnisse in den einbezogenen Unterschnitten wieder. Da es sich bei dieser Gesamtheit nicht um eine Zufallsstichprobe handelt, sondern – je nach potentieller Zielpopulation – um eine nichtzufällige Auswahl oder eine Vollerhebung, sind Signifikanzprüfungen statistisch ohne Aussagekraft. Sie werden bei der Modellbildung gleichwohl wie üblich berücksichtigt, da sie hilfreich sind, um zu einfachen und konsistenten Modellen zu gelangen. (Eine vergleichbare Modellgüte wäre eventuell mit wesentlich höherem Aufwand durch den Umweg über jeweils mehrere deutlich kleinere Zufallsauswahlen aus der vorliegenden Datei möglich, was jedoch die Präzision aufgrund der abnehmenden Fallzahlen erheblich beeinträchtigt hätte.)

Als Indikator für die Präzision der Effektschätzungen werden auch die 95%-Konfidenzintervalle mit angegeben. Sie fallen grundsätzlich bei geringem Standardfehler, vor allem durch hohe Fallzahlen begründet, schmal aus. Breite Konfidenzintervalle sind gleichbedeutend mit sehr grober Schätzung. Schließt das Konfidenzintervall die 1 mit ein, ist der Effekt zudem im klassischen Sinne „nichtsignifikant“, was bei den hohen Fallzahlen hier regelmäßig mit sehr kleinen Effekten verbunden ist. Diese werden bei der Interpretation in der Regel nicht berücksichtigt.

Für jede in das Modell aufgenommene Variable muss, sofern sie nicht metrisch definiert und behandelt wird, eine Referenzkategorie festgelegt werden. Bei dem für jede Kategorie der unabhängigen Variablen ermittelten Odds Ratio wird die Chance für das Eintreten des Zielereignisses bei den zu dieser Kategorie zählenden Fällen verglichen mit derselben Chance bei den Fällen, die zur durch die Referenzkategorie definierte

Gruppe gehören. Dabei werden nicht die jeweiligen Chancen, sondern nur das Chancenverhältnis (=Odds Ratio) ermittelt. Es gibt an, um welchen Faktor die mit der betreffenden Kategorie indizierte Chance von der in der Referenzgruppe geltenden Chance abweicht.

Alle unabhängigen Variablen, auch ursprünglich metrisch skalierte, werden für die Modellbildung, ggf. nach entsprechender Umkodierung, als nominalskaliert behandelt. Grundsätzlich wird auch überprüft, ob und ggf. wie stark Effektmodifikationen durch Interaktionen zweier unabhängiger Variablen auftreten. Wo dies der Fall ist und die Ergebnisse tangiert werden, werden diese Interaktionen entweder als zusätzliche Modellglieder aufgenommen oder sie begründen eine Spezifizierung des Modells für bestimmte Teilgruppen.

5.6.1 Unfallhäufungen auf Unterabschnitten

Bei 4,5 % der Unterabschnitte konnte keine Zuordnung zu einer Längsneigungsklasse vorgenommen werden, da Gefälle und Steigung in gleicher Stärke vorkommen. Diese 3.276 Fälle müssen daher bei der Modellbildung ausgeschlossen werden. Für die Modellierung des Unfallgeschehens in den Unterabschnitten wurden die folgenden Referenzkategorien definiert:

- Autobahnart
 - Referenzkategorie: Regionalautobahn
- Anzahl der Fahrstreifen
 - Referenzkategorie: 2 Fahrstreifen
- Radius
 - Referenzkategorie: mittlerer Radius: über 3.500 m bis 4.500 m
- Längsneigung
 - Referenzkategorie: eben: Neigung höchstens 2 %
- Zulässige Höchstgeschwindigkeit
 - Referenzkategorie: unbegrenzt
- Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke
 - Referenzkategorie: gering
- Schwerverkehrsanteil
 - Referenzkategorie: niedrig

Es zeigt sich in allen Stadien der Modellbildung und –prüfung, dass die beiden Autobahnarten keine Unterschiede hinsichtlich des Auftretens von Unfallhäufungen aufweisen, auch kein Confounding oder Effektmodifikationen verursachen. Diese Differenzierung wird daher aus den Modellen entfernt. Alle anderen Variablen zeigen Effekte und verblieben in den endgültigen Modellen.

Folgende Modelle werden für Unfallhäufungen auf Unterabschnitten betrachtet:

- I Unfallhäufungsstellen bei allen Unterabschnitten
- II Unfallhäufungsstellen bei Unterabschnitten zweistreifiger Strecken
- III Unfallhäufungsstellen bei Unterabschnitten dreistreifiger Strecken
- IV Unfallhäufungsstellen auf Unfallstrecken aller Unterabschnitte
- V Unfallhäufungsstellen auf Unfallstrecken zweistreifiger Unterabschnitte
- VI Unfallhäufungsstellen auf Unfallstrecken dreistreifiger Unterabschnitte

Die Ergebnisse der Modellberechnungen sind im Folgenden beschrieben. Eine detaillierte Beschreibung der Modellergebnisse sowie zugehöriger Tabellen findet sich in Anhang A.

Die Modellergebnisse zeigen, dass eine dreistreifige Fahrbahn eine deutlich erhöhte Chance auf Unfallhäufungen (gegenüber der zweistreifigen Variante) impliziert (vgl. Modelle I und IV in Anhang A). Hier ist eine Effektmodifikation zu beachten: bei begrenzter Geschwindigkeit fällt diese Erhöhung merklich schwächer aus.

Ein hoher Schwerverkehrsanteil dagegen vermindert die Chance auf Unfallhäufung. Diese Verminderung ist bei zweistreifigen Unterabschnitten deutlich ausgeprägter als bei dreistreifigen Unterabschnitten (vgl. Modelle II bis VI im Anhang A). Diese Verminderung wird bei Vorliegen einer Geschwindigkeitsbeschränkung noch verstärkt (vgl. Modelle I und IV in Anhang A).

Der auffälligste Effekt ist bei den Radien zu beobachten: verglichen mit einem moderaten Radius (zwischen 3.500 m und 4.500 m) steigt die Chance auf Unfallhäufung sowohl bei Erhöhung wie bei Verminderung der Krümmung (vgl. Modelle I und IV in Anhang A). Dieser Effekt ist noch deutlich ausgeprägter, wenn man nur die zweistreifigen Unterabschnitte betrachtet (vgl. Modelle II und V in Anhang A). Bei den dreistreifigen Abschnitten ist dieser Effekt jedoch nicht zu erkennen (vgl. Modelle III und VI in Anhang A).

5.6.2 Unfallhäufungen auf Abschnitten der knotenpunktfreien Strecken

Für die Modellierung des Unfallgeschehens auf den Abschnitten der knotenpunktfreien Strecken wurden die folgenden Referenzkategorien definiert:

- Autobahnart
 - Referenzkategorie: Regionalautobahn
- Anzahl der Fahrstreifen
 - Referenzkategorie: 2 Fahrstreifen
- Kurvigkeit
 - Referenzkategorie: bis 10 gon/km
- Welligkeit
 - Referenzkategorie: minimal - bis 0,1 gon/km
- Zulässige Höchstgeschwindigkeit
 - Referenzkategorie: unbegrenzt
- Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke
 - Referenzkategorie: gering
- Schwerverkehrsanteil
 - Referenzkategorie: niedrig

Es zeigt auch bei den Abschnitten der knotenpunktfreien Strecken, dass die beiden Autobahnarten keine Unterschiede hinsichtlich des Auftretens von Unfallhäufungen aufweisen, ebenso wenig Confounding oder Effektmodifikationen verursachen. Daher wird im Folgenden auf dieses Merkmal verzichtet. Alle anderen Variablen zeigen Effekte und verblieben in den endgültigen Modellen.

Folgende Modelle werden für Unfallhäufungen auf Abschnitten der knotenpunktfreien Strecken betrachtet:

- VII Unfallhäufungsstellen bei allen Abschnitten der knotenpunktfreien Strecken
- VIII Unfallhäufungsstellen bei zweistreifigen Abschnitten der knotenpunktfreien Strecken
- IX Unfallhäufungsstellen bei dreistreifigen Abschnitten der knotenpunktfreien Strecken
- X Unfallhäufungsstellen auf Unfallstrecken aller Abschnitte der knotenpunktfreien Strecken
- XI Unfallhäufungsstellen auf Unfallstrecken von zweistreifigen Abschnitten der knotenpunktfreien Strecken
- XII Unfallhäufungsstellen auf Unfallstrecken von dreistreifigen Abschnitten der knotenpunktfreien Strecken
- XIII Unfallhäufungsstellen in Abhängigkeit von der Kurvigkeit auf Abschnitten der knotenpunktfreien Strecken mit minimaler Welligkeit

- XIV Unfallhäufungsstellen in Abhängigkeit von der Kurvigkeit auf Abschnitten der knotenpunktfreien Strecken mit geringer Welligkeit
- XV Unfallhäufungsstellen in Abhängigkeit von der Kurvigkeit auf Abschnitten der knotenpunktfreien Strecken mit mittlerer Welligkeit
- XVI Unfallhäufungsstellen in Abhängigkeit von der Kurvigkeit auf Abschnitten der knotenpunktfreien Strecken mit hoher Welligkeit

Die Ergebnisse der Modellberechnungen sind im Folgenden beschrieben. Eine detaillierte Beschreibung der Modellergebnisse sowie zugehöriger Tabellen findet sich in Anhang A.

Die Betrachtung der Abschnitte knotenpunktfreier Strecken zeigt, dass eine dreistreifige Fahrbahn eine erheblich erhöhte Chance auf Unfallhäufungen (gegenüber der zweistreifigen Variante) impliziert (vgl. Modelle VII bis XII in Anhang A). Hier ist eine Effektmodifikation zu bemerken, bei begrenzter Geschwindigkeit fällt diese Erhöhung deutlich schwächer aus.

Eine hohe Verkehrsstärke führt zu einer Vervielfachung der Chance auf Unfallhäufungen verglichen mit Unterabschnitten mit niedriger Verkehrsstärke (vgl. Modelle VII und X in Anhang A). Dies ist bei zweistreifigen Abschnitten erheblich ausgeprägter als bei dreistreifigen Abschnitten (vgl. Modelle VIII, IX, XI und XII in Anhang A). Hier wirkt eine Geschwindigkeitsbegrenzung dämpfend, sie reduziert diese Erhöhung wieder (vgl. Modelle VII und X in Anhang A).

Ein hoher Schwerverkehrsanteil reduziert die Chance auf Unfallhäufung (vgl. Modelle VII und X in Anhang A). Dies ist bei zweistreifigen Abschnitten deutlich ausgeprägter als bei dreistreifigen Abschnitten (vgl. Modelle VIII, IX, XI und XII in Anhang A).

Eine geringe und mittlere Kurvigkeit führt gegenüber minimaler und hoher Kurvigkeit zu merklich geringeren Chancen auf Unfallhäufungen (vgl. Modelle VII, VIII, IX, X, XI und XII in Anhang A).

5.7 Hohe und sehr hohe Unfallkostenrate auf Unterabschnitten

Die Unfallkostenrate als metrische Größe lässt sich durch Dichotomisierung ebenfalls als Outcomevariable einer logistischen Regression modellieren. Dazu wird zunächst anhand der Verteilung der Unfallkostenrate in der Gesamtheit aller Unterabschnitte eine Unfallkostenrate von 7,50 als Grenze zwischen niedrig und hoch definiert. Der Median der Unfallkostenrate auf den 17.695 Unfallstrecken liegt bei 7,42; damit bekommt etwa die Hälfte aller Unfallstrecken eine hohe Unfallkostenrate zugeschrieben (n=8.781).

Da diese Einteilung willkürlich erfolgt, wird eine weitere vorgenommen, die sich am 3. Quartil (18,25) der Unfallkostenraten auf Unfallstrecken und dem arithmetischen Mittelwert (16,93) orientiert und als Grenzwert 17,50 definiert. Darüber liegende Werte werden als sehr hohe Unfallkostenraten bezeichnet. Darunter fielen 4.612 Unterabschnitte.

Bei der Modellierung werden wie bei der Modellierung der Unfallhäufungsstellen die Fälle ausgeschlossen, denen keine eindeutige Längsneigung zugeordnet werden kann. Die Referenzkategorien werden unverändert beibehalten. Diesmal zeigt sich bei verschiedenen Modellen auch ein Effekt bei der Autobahnart. Daher wird das Merkmal wie die anderen bei jedem Modell zunächst eingeschlossen und geprüft.

Folgende Modelle werden für hohe und sehr hohe Unfallkostenraten auf Unterabschnitten betrachtet:

- I Hohe Unfallkostenrate auf allen Unterabschnitten
- II Hohe Unfallkostenrate auf den Unfallstrecken der Unterabschnitte
- III Sehr hohe Unfallkostenrate auf allen Unterabschnitten
- IV Sehr hohe Unfallkostenrate auf den Unfallstrecken der Unterabschnitte

Die Ergebnisse der Modellberechnungen sind im Folgenden beschrieben. Eine detaillierte Beschreibung der Modellergebnisse sowie zugehöriger Tabellen findet sich in Anhang B.

Die Berechnungen zeigen, dass mittlere Radienbereiche günstiger zu bewerten sind als niedrige und hohe (vgl. Modelle I bis IV im Anhang B). Auch Geschwindigkeitsbeschränkungen verringern das Unfallgeschehen (vgl. Modelle II und IV im Anhang B). Gleiches gilt – zumindest in geringem Maße – auch für einen hohen Schwerverkehrsanteil (vgl. Modelle II und IV im Anhang B).

5.8 Hohe und sehr hohe Unfallkostenrate auf Abschnitten der knotenpunktfreien Strecken

Der Median der Unfallkostenrate auf den 8.829 Unfallstrecken liegt bei 4,00; das Überschreiten dieses Wertes wurde als Kriterium für eine hohe Unfallkostenrate festgelegt. Diese wurde 4.410 Abschnitten zugeschrieben.

Da diese Einteilung willkürlich erfolgt, wird eine weitere vorgenommen, die sich am 3. Quartil (8,12) der Unfallkostenraten auf Unfallstrecken orientiert und als Grenzwert 8,00 definiert. Darüber liegende Werte werden als sehr hohe Unfallkostenraten bezeichnet. Darunter fallen 2.254 Abschnitte. Die Referenzkategorien werden unverändert beibehalten.

Folgende Modelle werden für hohe und sehr hohe Unfallkostenraten auf Abschnitten der knotenpunktfreien Strecken betrachtet:

- V Hohe Unfallkostenrate auf Abschnitten der knotenpunktfreien Strecken
- VI Hohe Unfallkostenrate auf den Unfallstrecken der Abschnitte der knotenpunktfreien Strecken
- VII Sehr hohe Unfallkostenrate auf Abschnitten der knotenpunktfreien Strecken
- VIII Sehr hohe Unfallkostenrate auf den Unfallstrecken der Abschnitte der knotenpunktfreien Strecken

Die Ergebnisse der Modellberechnungen sind im Folgenden beschrieben. Eine detaillierte Beschreibung der Modellergebnisse sowie zugehöriger Tabellen findet sich in Anhang B.

Die Berechnungen zeigen im Hinblick auf die Kurvigkeit tendenziell, dass eine minimale Kurvigkeit ungünstiger zu bewerten ist als höhere Kurvigkeiten. Geschwindigkeitsbeschränkungen wirken leicht abschwächend auf das Unfallgeschehen, ebenso ein hoher Schwerverkehrsanteil (vgl. Modelle V bis VIII im Anhang B).

6 Empfehlungen und Ausblick

6.1 Empfehlungen zu Knotenpunktfreien Strecken

Die Ergebnisse im Hinblick auf die Kurvigkeit zeigt, dass geringe Kurvigkeiten (unter 10 gon/km) und hohe Kurvigkeiten (über 30 gon/km) merklich ungünstiger zu bewerten sind als mittlere Kurvigkeiten. **Es wird daher empfohlen, die Kurvigkeit zur Überprüfung des Entwurfs einzubeziehen und Kurvigkeiten zwischen 10 und 30 gon/km anzustreben.**

Bei den zweistreifigen Autobahnabschnitten zeigt sich, dass sowohl die Unfallkostenrate als auch die Wahrscheinlichkeit für Unfallhäufungsstellen in den mittleren Radienklassen am geringsten ist (zwischen 3.000 und 6.000 m). Bei geringeren und größeren Radien steigt die Unfallkostenrate an. **Für zweistreifige Autobahnabschnitte wird daher empfohlen, zusätzlich zum Mindestwert einen Regelbereich einzuführen, der Radien zwischen 3.000 und 6.000 m vorsieht.**

Ein vergleichbares Ergebnis lässt sich für dreistreifige Autobahnabschnitte nicht formulieren. Jedoch kann auch hier eine höhere Unfallkostenrate und eine größere Wahrscheinlichkeit für Unfallhäufungsstellen bei Radien über 6.000 m gefunden werden. **Entsprechend ist sowohl für zweistreifige als auch für dreistreifige Autobahnabschnitte zu empfehlen, Radien über 6.000 m (einschließlich Geraden) nur in zu begründenden Ausnahmefällen zu verwenden.**

6.2 Empfehlungen zu Einfahrten

Die Ergebnisse stellen die Einfahrtstypen E1 und E4 im Hinblick auf die Unfallkostendichte als besonders günstig dar, während die Typen E3 und E5 deutlich ungünstiger zu bewerten sind. Letztere weisen jeweils Fahrstreifenadditionen auf, wodurch die Fahrzeuge auf dem oberhalb der Einfahrt liegenden rechten Fahrstreifen (insbesondere der Schwerverkehr) einen Fahrstreifenwechsel nach rechts durchführen müssen, um den unterhalb der Einfahrt liegenden rechten Fahrstreifen zu erreichen. Die Unfallschwere als Indikator stützt dieses Ergebnis jedoch nur teilweise: die Typen E1 und E4 liegen hier nur im Mittelfeld. Im Hinblick auf den Anteil unfallbehafteter Einfahrten sticht wiederum der Typ E1 positiv hervor.

Aus den Ergebnissen können keine eindeutigen Empfehlungen abgeleitet werden. Bei geringeren Verkehrsstärken wird der Typ E1 gewählt, was als günstig bestätigt wurde. Fahrstreifenadditionen sollten vermieden werden und dort wo es baulich und verkehrstechnisch möglich ist, durch einen vorher aufgezogenen linken Zusatzfahrstreifen ersetzt werden.

6.3 Empfehlungen zu Ausfahrten

Entsprechend der Ergebnisse zeigt sich ein ähnliches Bild wie bei den Einfahrten: die Typen mit Fahrstreifensubtraktion sind deutlich ungünstiger zu bewerten als die übrigen Typen. Die Fahrzeuge, die nicht die Ausfahrt nutzen wollen, müssen sämtlich einen Fahrstreifenwechsel nach links durchführen (insbesondere der Schwerverkehr).

Die Untersuchung von Weiser et al. kommt hingegen zu dem Ergebnis, dass der Typ A3, verbunden mit einer Fahrstreifensubtraktion, ungünstig ist.

Entsprechend ist zu empfehlen, Fahrstreifensubtraktion kritisch zu prüfen und gegebenenfalls zugunsten der Typen A1, A2 und A3 abzuwägen. Wenn nach dem Knotenpunkt nur eine geringere Anzahl an Fahrstreifen erforderlich sind, sollte diese erst nach der Einfahrt eingezogen werden.

6.4 Empfehlungen zu Rampen

Die Unfallschwere nimmt mit zunehmendem Radius zu, während die Unfallkostendichte bei mittleren Radien (80 bis 125 m) besonders niedrig ist. Entsprechend wird empfohlen, für die Rampenradien einen Regelbereich zwischen 80 und 125 m vorzusehen. Zudem sollte ein Hinweis ergänzt werden, dass Radien über 125 m nur in begründeten Ausnahmefällen zu verwenden sind.

6.5 Empfehlungen aus Sicht der Fahrzeugsicherheit

In der makroskopischen Unfallanalyse wurde mit 61 % ein hoher Anteil an Unfällen im Längsverkehr ermittelt, insbesondere unter Beteiligung von Schwerverkehrsfahrzeugen. Hierauf kann nicht infrastrukturseitig reagiert werden. Zu empfehlen ist jedoch der Einsatz von Assistenzsystemen zur Kollisionswarnung und Kollisionsvermeidung. Diese sollten für Lkw verpflichtend und nicht abschaltbar sein.

Die Auswertung zeigt zudem, dass Unfälle bei Dunkelheit eine große Rolle spielen, insbesondere bei Unfällen mit Getöteten. Hier sind einerseits hohe Geschwindigkeiten zu vermuten, andererseits jedoch auch Einflüsse durch Müdigkeit. Da insbesondere auch der Schwerverkehr die Nachtstunden nutzt, werden Müdigkeitswarner ergänzend zu den o.g. Systemen zur Kollisionswarnung und -vermeidung empfohlen. Zudem könnten Kampagnen, die die Unfallgefahr bei Dunkelheit thematisieren, zu einer an die reduzierte Sicht angepasste Fahrweise beitragen.

Zu den häufigsten Unfallarten gehören der Zusammenstoß mit einem Fahrzeug, das vorausfährt, der Zusammenstoß mit einem Fahrzeug, das seitlich in gleicher Richtung fährt und das Abkommen von der Fahrbahn. Unfallursachen sind vorwiegend nicht angepasste Geschwindigkeit und ungenügender Sicherheitsabstand. Entsprechende

Assistenzsysteme könnten einen deutlichen Beitrag zur Reduzierung der Unfallzahlen leisten, beispielsweise Fahrerzustandserkennung, Spurverlassenswarner sowie Abstands- und Geschwindigkeitsregler.

6.6 Empfehlungen zur Verbesserung von Straßeninformationsbanken

Die Datenformate und die Aufbereitung der Inhalte der Straßeninformationsbanken haben sich in mehreren Aspekten als ungünstig erwiesen. Es wäre hilfreich, die Straßeninformationsbanken auf eine einheitliche Grundlage zu stellen. Trotz übergeordneter Vorgaben wie die Netzknotenstationierung werden die Daten in den einzelnen Bundesländern dennoch uneinheitlich aufbereitet. Teilweise sind die Merkmale ungünstig bezeichnet, sodass nicht ersichtlich ist, ob ein Merkmal nicht vorhanden ist, oder keine Daten vorhanden sind. Zudem sind nicht selten Teile von Strecken nicht in den Straßeninformationsbanken erfasst, was sich zum einen nur indirekt über die entsprechenden Daten im geographischen Informationssystem feststellen lässt und zum anderen die Daten des jeweiligen Abschnitts unbrauchbar machen. Nicht vorhanden oder nicht verwendbar sind Daten zu Geschwindigkeitsbeschränkungen und Streckenbeeinflussungsanlagen. Dieser Aspekt spielt jedoch bei Auswertungen eine große Rolle, sodass Wert auf eine entsprechende Datenhaltung gelegt werden sollte. Dabei sollte nicht nur das jeweilige Merkmal vorhanden sein, sondern auch ein zeitlicher Bezug, ab wann das jeweilige Merkmal in Kraft getreten ist.

Die Netzknotenstationierung bietet vielfältige Vorteile. Es fehlt jedoch eine einheitliche Richtungsdefinition. Abschnittsübergreifende Auswertungen sind damit nicht unmittelbar möglich. Eine abschnittsübergreifende Richtungsdefinition wäre entsprechend hilfreich.

Mit entsprechend aufbereiteten Straßeninformationsbanken (bzw. perspektivisch einer bundesweit einheitlichen Datenbank) ließe sich mit vergleichsweise geringem Aufwand ein regelmäßiges Sicherheitsscreening realisieren.

Eine mikroskopische Unfallanalyse war in dieser Untersuchung vorgesehen, scheiterte jedoch daran, dass Unfallhergänge von einem Großteil der entsprechenden Polizeidienststellen nicht zur Verfügung gestellt wurden.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung zeigen teilweise, dass verschiedene Indikatoren und auch verschiedene Methoden zu unterschiedlichen Ergebnissen führen – teilweise sogar zu gegensätzlichen Aussagen. Es ist daher empfehlenswert, bei vergleichbaren Untersuchungen eine große Bandbreite an Indikatoren und Methoden anzuwenden.

Literaturverzeichnis

Maier, R., Berger, R. (2017). Bewertungsmodelle für die Verkehrssicherheit von Autobahnen und von Landstraßenknotenpunkten, BAST, Verkehrstechnik Heft V283.

Maier, R., Berger, R. (2013). Bewertungsmodell für die Verkehrssicherheit von Landstraßen, BAST, Verkehrstechnik Heft V226.

Statistisches Bundesamt (2011). Demografischer Wandel in Deutschland, Heft 1, Bevölkerungs- und Haushaltentwicklung im Bund und in den Ländern.

Straßgütl, L., Sander, D. (2021). Einfluss von Notbremssystemen auf die Entwicklung von Lkw-Auffahrunfällen auf Bundesautobahnen, BAST Heft F 139.

Geistefeldt, J., Finkbeiner, J. (2018). Evaluierung von Baumaßnahmen auf der Autobahn A2 in Niedersachsen, Schlussbericht

Bark, A., Baier, R. (2005). Handbuch der Verkehrssicherheit von Straßen, FE 03.389/2005/FGB, Schlussbericht.

American Association of State Highway and Transportation Officials, (2010). Highway Safety Manual, 1st Edition.

Yannis, G., Dragomanovits, A., Laiou, A., Richter, T., Ruhl, S., La Torre, F., Domenichini, L., Fanfani, F., Graham, D., Karathodorou, N., Li, H. (2016). Inventory and Critical Review of existing APMs and CMFs and related Data Sources, Deliverable 4, PRACT project for Conference of European Directors of Roads.

Lemmer, K. et al. (DLR, TUB, TUD, MHH) (2010). Konzept zur Erhöhung der Verkehrssicherheit und Leistungsfähigkeit auf der A2, Abschlussbericht.

Brilon, W., Lohoff, J. (2012). Lange Verteilerfahrbahnen an Autobahnen mit dichter Knotenpunktfolge, BAST, Heft 1073.

BMVI, MiD, Infas (2008). Mobilität in Deutschland.

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2012). M Uko Merkblatt zur Örtlichen Unfalluntersuchung in Unfallkommissionen

Roos, R., Zimmermann, M. (2013). Neue Erkenntnisse zu den Einsatzbereichen und zum Entwurf von Rampen gemäß den RAA, BAST, Heft 1085.

Yannis, G., Dragomanovits, A., Laiou, A., Richter, T., Ruhl, S., La Torre, F., Domenichini, L., Fanfani, F., Graham, D., Karathodorou, N., Li, H. (2015). Overview

of existing Accident Prediction Models and Data Sources, Deliverable 1, PRACT project for Conference of European Directors of Roads.

Bundesanstalt für Straßenwesen (Juli 2018). Projektplan Straßenverkehrstelematik, https://www.bast.de/BAST_2017/DE/Verkehrstechnik/Fachthemen/v5-verkehrsbeeinflussungsanlagen.html.

European Transport Safety Council ETSC (2015). Ranking EU Progress on Improving Motorway Safety, PIN Flash Report 28

Durth, W., Weise, G. (1997). Straßenbau – Planung und Entwurf. 3. Auflage.

Straßen.NRW, Polizei NRW Bielefeld (2014). Projekt Erhöhung der Verkehrssicherheit auf den Autobahnen in OWL.

Lippold, C., Zösch, J., Zimmermann, M. (2020). Räumliche Linienführung von Autobahnen, BAST Verkehrstechnik Heft V 332.

Bogenberger, K., Dinkel, A. (2012). Sicherheitswirkung von Verkehrsinformation, BAST, Fahrzeugtechnik Heft F84

Bakaba, J. E., Ortlepp, J. (März 2010). UDV, Verbesserung der Verkehrssicherheit älterer Verkehrsteilnehmer.

Straßenverkehrszentrale Baden-Württemberg (Juli 2018). Verkehrsbeeinflussungsanlagen, <http://www.svz-bw.de/vba.html>.

Drewes, J. (2009). Verkehrssicherheit im systemischen Kontext, Technische Universität Braunschweig.

Baier, M. et al. (2017). Verkehrssicherheit in Einfahrten auf Autobahnen, BAST, Verkehrstechnik Heft V277.

BMVI (2011). Verkehrssicherheitsprogramm

Weiser F, Sillus A, Lippold C. (2006). Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf an planfreien Knotenpunkten mit Fahrstreifensubtraktion

Statistisches Bundesamt (2016). Verkehrsunfälle, Fachserie 8 Reihe 7.

Friedrich, B, Hoffmann, S, Irzik, M, Marschke, I (2008). Zweistreifige Einfahrt an dreistreifigen Richtungsfahrbahnen - Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Regelkreis nach Durth	12
Abbildung 2:	Übersicht der vorhandenen und geplanten VBA in Deutschland, Stand 2015 (Quelle: BAST (2015). Projektplan Straßenverkehrstelematik.)	15
Abbildung 3:	Bevölkerungsentwicklung in Deutschland bis 2030 (Quelle: Destatis (2011). Demografischer Wandel in Deutschland.)	17
Abbildung 4:	Maßnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit älterer Verkehrsteilnehmer (Quelle: Bakaba/Ortlepp (2010))	17
Abbildung 5:	Übersicht der betrachteten CMF in Forschungsprojekt PRACT (Quelle: PRACT (2016))	20
Abbildung 6:	Unfälle mit Personenschaden je 1000 km Straßenlänge bezogen auf die Ortslage (Quelle: Destatis (2016). Fachserie 8 Reihe 7.)	27
Abbildung 7:	Unfälle mit Getöteten je 1000 km Straßenlänge bezogen auf die Ortslage (Quelle: Destatis (2016). Fachserie 8 Reihe 7)	27
Abbildung 8:	Übersicht über die Bevölkerungsanteile in Deutschland (Quelle: Destatis (2016). Fachserie 8 Reihe 7)	28
Abbildung 9:	Übersicht über Getötete je 1 Millionen Einwohner der jeweiligen Altersgruppe (Quelle: Destatis (2016). Fachserie 8 Reihe 7)	28
Abbildung 10:	Übersicht über den Kraftfahrzeugbestand Deutschlands (Quelle: Destatis (2016). Fachserie 8 Reihe 7)	28
Abbildung 11:	Übersicht der erbrachten Fahrleistung in Abhängigkeit des Geschlechts für die Jahre 2002 und 2008 (Quelle: MiD (2008))	29
Abbildung 12:	Zeitliche Entwicklung der Unfälle mit Personenschaden auf Autobahnen (Quelle: Destatis (2016). Fachserie 8 Reihe 7)	29
Abbildung 13:	Zeitliche Entwicklung der Unfälle mit Getöteten auf Autobahnen (Quelle: Destatis (2016). Fachserie 8 Reihe 7)	30
Abbildung 14:	Übersicht über die Unfalltypen der Unfälle mit Personenschaden der Jahre 2011 bis 2016 (Quelle: Destatis (2016). Fachserie 8 Reihe 7)	30
Abbildung 15:	Übersicht der Unfalltypen der Unfälle mit Getöteten der Jahre 2011 bis 2016 (Quelle: Destatis (2016). Fachserie 8 Reihe 7)	31
Abbildung 16:	Unfallkategorie von Fahrunfällen bezogen auf die Altersklasse des Hauptverursachers (Quelle: Sonderabfrage, Destatis)	32
Abbildung 17:	Unfallfolgen (Beteiligte) von Fahrunfällen differenziert nach Altersklasse des Hauptverursachers (Quelle: Sonderabfrage, Destatis)	32
Abbildung 18:	Unfallkategorie bei Fahrunfällen bezogen auf das Geschlecht des Hauptverursachers (Quelle: Sonderabfrage, Destatis)	33
Abbildung 19:	Verteilung der Unfallkategorie bei Unfällen im Längsverkehr bezogen auf die Altersklasse des Unfallverursachers (Quelle: Sonderabfrage, Destatis)	34

Abbildung 20:	Unfallfolgen (Beteiligte) von Unfällen im Längsverkehr differenziert nach der Altersklasse des Hauptverursachers (Quelle: Sonderabfrage, Destatis)	34
Abbildung 21:	Verteilung der Unfallkategorie bei Unfällen im Längsverkehr bezogen auf das Geschlecht des Hauptverursachers (Quelle: Sonderabfrage, Destatis)	35
Abbildung 22:	Anteil der Arten der Verkehrsbeteiligung bei Fahrurfällen und Unfällen im Längsverkehr (Quelle: Sonderabfrage, Destatis)	35
Abbildung 23:	Unfallfolgen (Beteiligte) von Unfällen mit Getöteten in Bezug auf die Art der Verkehrsbeteiligung (Quelle: Sonderabfrage, Destatis)	36
Abbildung 24:	Übersicht der Unfallarten der Unfälle mit Personenschaden der Jahre 2011 bis 2016 (Quelle: Destatis (2016). Fachserie 8 Reihe 7)	37
Abbildung 25:	Übersicht der Unfallarten der Unfälle mit Personenschaden der Jahre 2011 bis 2016 (Quelle: Destatis (2016). Fachserie 8 Reihe 7)	38
Abbildung 26:	Verteilung der häufigsten Unfallarten auf Autobahnen der Unfälle mit Getöteten in Bezug auf die Altersklasse des Hauptverursachers (Quelle: Sonderabfrage, Destatis)	39
Abbildung 27:	Verteilung der häufigsten Unfallarten auf Autobahnen der Unfälle mit Schwer-verletzten in Bezug auf die Altersklasse des Hauptverursachers (Quelle: Sonderabfrage, Destatis)	40
Abbildung 28:	Unfallarten von Unfällen mit Getöteten differenziert nach Geschlecht des Hauptverursachers (Quelle: Sonderabfrage, Destatis)	40
Abbildung 29:	Verteilung der Unfälle mit Getöteten mit der Unfallart „Abkommen nach rechts“ nach Art der Verkehrsbeteiligung (Quelle: Sonderabfrage, Destatis)	41
Abbildung 30:	Verteilung der Unfälle mit Getöteten mit der Unfallart „Abkommen nach links“ nach Art der Verkehrsbeteiligung (Quelle: Sonderabfrage, Destatis)	42
Abbildung 31:	Verteilung der Unfälle mit Getöteten mit der Unfallart „Zusammenstoß mit einem Fahrzeug das seitlich in gleicher Richtung fährt“ nach Art der Verkehrsbeteiligung (Quelle: Sonderabfrage, Destatis)	42
Abbildung 32:	Verteilung der Unfälle mit Getöteten mit der Unfallart „Zusammenstoß mit einem Fahrzeug das vorausfährt oder wartet“ nach Art der Verkehrsbeteiligung (Quelle: Sonderabfrage, Destatis)	43
Abbildung 33:	Verteilung der Unfallursachen auf Autobahnen bei Unfällen mit Personenschaden (Quelle: Destatis (2016). Fachserie 8 Reihe 7)	44
Abbildung 34:	Verteilung der Unfallursachen nach Geschlecht des Hauptverursachers (Quelle: Sonderabfrage, Destatis)	45
Abbildung 35:	Zeitliche Verteilung (Wochentage) von Unfällen mit Personenschaden bezogen auf die Altersklasse des Unfallverursachers (Quelle: Sonderabfrage, Destatis)	46

Abbildung 36:	Zeitliche Verteilung (Wochentag) von Unfällen mit Personenschaden in Abhängigkeit der Art der Verkehrsbeteiligung des Hauptverursachers (Quelle: Sonderabfrage, Destatis)	46
Abbildung 37:	Zeitliche Verteilung (Monate) von Unfällen mit Personenschaden in Abhängigkeit der Art der Verkehrsbeteiligung des Hauptverursachers (Quelle: Sonderabfrage, Destatis)	47
Abbildung 38:	Unfälle auf Autobahnen nach Unfallkategorie und Lichtverhältnissen (Quelle: Destatis (2016). Fachserie 8 Reihe 7)	48
Abbildung 39:	Unfälle auf Autobahnen nach Unfallkategorie und Straßenzustand (Quelle: Destatis (2016). Fachserie 8 Reihe 7)	48
Abbildung 40:	Verfügbarkeiten der SIB Daten	50
Abbildung 41:	Grafische Darstellung der Elemente	53
Abbildung 42:	Häufigkeitsverteilung der zulässigen Höchstgeschwindigkeiten auf Unterabschnitten; Unterabschnitte mit in verschiedenen Jahren unterschiedlichen Geschwindigkeitsbeschränkungen sind in „nicht eindeutig“ enthalten	56
Abbildung 43:	Häufigkeitsverteilung der zulässigen Höchstgeschwindigkeiten auf Unterabschnitten; jeder Unterabschnitt wird mit der in jedem einzelnen Jahr vorhanden Geschwindigkeitsbeschränkung aufgeführt	57
Abbildung 44:	Häufigkeitsverteilung der Radien (einschließlich Geraden)	58
Abbildung 45:	Häufigkeitsverteilung der Fahrstreifenzahl von Abschnitten der knotenpunktfreien Strecke	59
Abbildung 46:	Häufigkeitsverteilung der Regelquerschnitte	60
Abbildung 47:	Häufigkeitsverteilung der Verkehrsstärken (DTV)	61
Abbildung 48:	Häufigkeitsverteilung des Schwerverkehrsanteils	62
Abbildung 49:	Häufigkeitsverteilung der Kurvigkeiten	65
Abbildung 50:	Häufigkeitsverteilung der Hügeligkeit	66
Abbildung 51:	Darstellung der Stratifizierung für die Abschnitte der knotenpunktfreien Strecke	69
Abbildung 52:	Darstellung der Stratifizierung für die Unterabschnitte	70

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Anteil unfallbehafteter Strecken nach Regionalautobahn und Fernautobahn	73
Tabelle 2:	Unfallkostenrate und Unfallschwere differenziert nach Fahrstreifenzahl und nach Kurvigkeitsklasse	74
Tabelle 3:	Unfallkostenrate und Unfallschwere der Hügeligkeit, differenziert nach Kurvigkeit	75
Tabelle 4:	Unfallkostenraten und Unfallschwere der Welligkeit, differenziert nach Kurvigkeit	76
Tabelle 5:	Unfallkostenrate der Radien, differenziert nach Fern-/Regionalautobahn und zwei-/dreistreifigen Abschnitten	78
Tabelle 6:	Unfallkostenrate der Längsneigung	79
Tabelle 7:	Unfallschwere der Längsneigung	79
Tabelle 8:	Unfallkostenrate der Längsneigung aller Unterabschnitte	80
Tabelle 9:	Unfallkostenrate der Längsneigung aller zweistreifigen Unterabschnitte	80
Tabelle 10:	Unfallkostenrate der Längsneigung aller dreistreifigen Unterabschnitte	81
Tabelle 11:	Unfallschwere und Unfallkostendichte der Ausfahrtrampen (differenziert nach Radienklassen)	82
Tabelle 12:	Unfallschwere und Unfallkostendichte der Ausfahrtrampen (differenziert nach Längsneigungsklassen)	83
Tabelle 13:	Unfallschwere und Unfallkostendichte der Einfahrtrampen (differenziert nach Radienklassen)	83
Tabelle 14:	Anteil unfallbehafteter Rampen differenziert nach Radius	84
Tabelle 15:	Unfallschwere und Unfallkostendichte der Einfahrtrampen (differenziert nach Längsneigungsklassen)	84
Tabelle 16:	Unfallkostendichte der Einfahrten nach Einfahrttyp	85
Tabelle 17:	Unfallschwere der Einfahrten nach Einfahrttyp	85
Tabelle 18:	Unfallschwere der unfallbehafteten Strecken in Einfahrten	86
Tabelle 19:	Mittelwerte der Unfallkostenrate, Unfallschwere sowie Unfallschwere auf unfallbehafteten Strecken	86
Tabelle 20:	Mittelwerte der Unfallkostenrate, Unfallschwere sowie Unfallschwere auf unfallbehafteten Strecken	87
Tabelle 21:	Mittelwerte der Unfallkostenrate nach Fahrstreifenzahl und Radien	87
Tabelle 22:	Mittelwerte der Unfallkostenrate nach Fahrstreifenzahl und Radien	88
Tabelle 23:	Unfallkostendichte nach Typ	88
Tabelle 24:	Anteil unfallbehaftete Ausfahrt nach Typ	89
Tabelle 25:	Mittelwerte der Unfallkostenrate und Unfallschwere auf Ausfahrten (differenziert nach Autobahnfunktion)	89
Tabelle 26:	Mittelwerte der Unfallkostenrate, Unfallkostenrate auf unfallbehaftete Strecken Unfallschwere und Unfallschwere auf unfallbehafteten Strecken	90

Tabelle 27:	Mittelwerte der Unfallkostenrate differenziert nach Fahrstreifenanzahl und Radien	90
Tabelle 28:	Mittelwerte der Unfallkostenrate differenziert nach Fahrstreifenanzahl und Radien	91
Tabelle 29:	Ergebnisse Modell I: Unfallhäufungsstellen bei allen Unterabschnitten	110
Tabelle 30:	Ergebnisse Modell II: Unfallhäufungsstellen bei Unterabschnitten zweistreifiger Strecken	111
Tabelle 31:	Ergebnisse Modell III: Unfallhäufungsstellen bei Unterabschnitten dreistreifiger Strecken	112
Tabelle 32:	Ergebnisse Modell IV: Unfallhäufungsstellen auf Unfallstrecken aller Unterabschnitte	114
Tabelle 33:	Ergebnisse Modell V: Unfallhäufungsstellen auf Unfallstrecken zweistreifiger Unterabschnitte	115
Tabelle 34:	Ergebnisse Modell VI: Unfallhäufungsstellen auf Unfallstrecken dreistreifiger Unterabschnitte	116
Tabelle 35:	Ergebnisse Modell VII: Unfallhäufungsstellen bei allen Abschnitten der knotenpunktfreien Strecken	118
Tabelle 36:	Ergebnisse VIII: Unfallhäufungsstellen bei zweistreifigen Abschnitten der knotenpunktfreien Strecken	119
Tabelle 37:	Ergebnisse Modell IX: Unfallhäufungsstellen bei dreistreifigen Abschnitten der knotenpunktfreien Strecken	120
Tabelle 38:	Ergebnisse Modell X: Unfallhäufungsstellen auf Unfallstrecken aller Abschnitte der knotenpunktfreien Strecken	121
Tabelle 39:	Ergebnisse Modell XI: Unfallhäufungsstellen auf Unfallstrecken von zweistreifigen Abschnitten der knotenpunktfreien Strecken	122
Tabelle 40:	Ergebnisse Modell XII: Unfallhäufungsstellen auf Unfallstrecken von dreistreifigen Abschnitten der knotenpunktfreien Strecken	123
Tabelle 41:	Ergebnisse Modell XIII: Unfallhäufungsstellen in Abhängigkeit von der Kurvigkeit auf Abschnitten der knotenpunktfreien Strecken mit minimaler Welligkeit	124
Tabelle 42:	Ergebnisse Modell XIV: Unfallhäufungsstellen in Abhängigkeit von der Kurvigkeit auf Abschnitten der knotenpunktfreien Strecken mit geringer Welligkeit	125
Tabelle 43:	Ergebnisse Modell XV: Unfallhäufungsstellen in Abhängigkeit von der Kurvigkeit auf Abschnitten der knotenpunktfreien Strecken mit mittlerer Welligkeit	125
Tabelle 44:	Ergebnisse Modell XVI: Unfallhäufungsstellen in Abhängigkeit von der Kurvigkeit auf Abschnitten der knotenpunktfreien Strecken mit hoher Welligkeit	126
Tabelle 45:	Ergebnisse Modell I: Hohe Unfallkostenrate auf allen Unterabschnitten	128
Tabelle 46:	Ergebnisse Modell II: Hohe Unfallkostenrate auf den Unfallstrecken der Unterabschnitte	129

Tabelle 47:	Ergebnisse Modell III: Sehr hohe Unfallkostenrate auf allen Unterabschnitten	130
Tabelle 48:	Ergebnisse Modell IV: Sehr hohe Unfallkostenrate auf den Unfallstrecken der Unterabschnitte	131
Tabelle 49:	Ergebnisse Modell V: Hohe Unfallkostenrate auf Abschnitten der knotenpunktfreien Strecken	132
Tabelle 50:	Ergebnisse Modell VI: Hohe Unfallkostenrate auf den Unfallstrecken der Abschnitte der knotenpunktfreien Strecken	133
Tabelle 51:	Ergebnisse Modell VII: Sehr hohe Unfallkostenrate auf Abschnitten der knotenpunktfreien Strecken	134
Tabelle 52:	Ergebnisse Modell VIII: Sehr hohe Unfallkostenrate auf den Unfallstrecken der Abschnitte der knotenpunktfreien Strecken	135

Anhang A: Multivariate Analysen – Modellergebnisse zu Unfallhäufungen

Modell I: Unfallhäufungsstellen bei allen Unterabschnitten

In Modell I gehen 70.053 Fälle ein. Es zeigt, dass eine dreistreifige Fahrbahn eine um den Faktor 2,99 erhöhte Chance auf Unfallhäufungen (gegenüber der zweistreifigen Variante) impliziert. Hier ist eine Effektmodifikation zu beachten: bei begrenzter Geschwindigkeit fällt diese Erhöhung um 23% schwächer aus.

Ein hoher Schwerverkehrsanteil dagegen vermindert die Chance auf Unfallhäufung um 22%, diese Verminderung wird, ausweislich der zweiten Effektmodifikation in diesem Modell, um weitere 20% bei Vorliegen einer Geschwindigkeitsbeschränkung verstärkt.

Geschwindigkeitsbeschränkungen sind – noch ohne Berücksichtigung der erwähnten Effektmodifikationen – mit einer um den Faktor 1,63 erhöhten Chance auf Unfallhäufung assoziiert. Dieser Effekt fällt bei dreistreifigen Fahrbahnen und bei hohem Schwerverkehrsanteil um 23% bzw. 20% geringer aus.

Eine hohe Verkehrsstärke führt zu einer mehr als verdoppelten Chance ($OR=2,38$) auf Unfallhäufungen (verglichen mit Unterabschnitten mit niedriger Verkehrsstärke). Dies ist jedoch zu relativieren, da der Mittelwert mit niedriger Verkehrsstärke bei 28.700 Kfz/d bei zweistreifigen Abschnitten und bei 60.700 Kfz/d bei dreistreifigen Abschnitten liegt, während er mit hoher Verkehrsstärke bei 58.900 Kfz/d bei zweistreifigen Abschnitten und bei 95.100 Kfz/d bei dreistreifigen Abschnitten liegt. Dies entspricht bereits einem Verhältnis von 2,05 bei zweistreifigen Abschnitten und von 1,57 bei dreistreifigen Abschnitten.

Unterschiedliche Längsneigungen führen zu uneinheitlichen Wirkungen. Gegenüber einem ebenen Verlauf führt ein starkes Gefälle zu einer Erhöhung der Chance um 16%, eine geringe Steigung dagegen reduziert die Chance um 11%. Geringes Gefälle und stärkere Steigung dagegen weisen dieselben Chancen auf wie ebene Strecken.

Der auffälligste Effekt ist bei den Radien zu beobachten: verglichen mit einem moderaten Radius (zwischen 3.500 m und 4.500 m) steigt die Chance auf Unfallhäufung sowohl bei Erhöhung wie bei Verminderung der Krümmung. Die Chance auf Unfallhäufung ist bei sehr großem Radius oder bei Geraden stärker erhöht als bei sehr engen Radien.

Nicht aufgenommen ist in Modell I eine weitere Effektmodifikation, die den Radius und die Anzahl der Fahrstreifen betrifft. Transparenter ist eine spezifische Modellierung für die beiden Teilgruppen zweistreifiger und dreistreifiger Fahrbahnen.

Tabelle 29: Ergebnisse Modell I: Unfallhäufungsstellen bei allen Unterabschnitten

Unterabschnitte Unfallhäufungsstellen	Sig.	OR	95% Konfidenzintervall	
			Unterer Wert	Oberer Wert
Fahrbahn: 3streifig	0,00	2,99	2,80	3,19
Radius:	0,00			
bis 1.500 m	0,00	1,26	1,13	1,40
über 1.500 m bis 2.500 m	0,01	1,16	1,04	1,30
über 2.500 m bis 3.500 m	0,04	1,14	1,01	1,29
Ref: über 3.500 m bis 4.500 m				
über 4.500 m bis 5.500 m	0,87	1,01	0,87	1,18
über 5.500 m	0,00	1,48	1,32	1,65
keine Krümmung	0,00	1,40	1,26	1,55
Höhenverlauf	0,00			
Gefälle steiler als -3	0,00	1,16	1,08	1,25
Gefälle steiler als -2	0,70	1,02	0,93	1,11
Ref: eben - Neigung höchstens 2				
Steigung steiler als + 2	0,02	0,89	0,82	0,98
Steigung steiler als + 3	0,30	0,96	0,89	1,04
Geschwindigkeit: begrenzt	0,00	1,63	1,53	1,74
Verkehrsstärke: hoch	0,00	2,38	2,27	2,50
Schwerverkehrsanteil: hoch	0,00	0,78	0,73	0,85
Effektmodifikation: Geschwindigkeitsbegrenzung und 3streifig	0,00	0,77	0,70	0,84
Effektmodifikation: Geschwindigkeitsbegrenzung und hoher Schwerverkehrsanteil	0,00	0,80	0,71	0,89

Sig. = Signifikanz

OR = Odds Ratio

Modell II: Unfallhäufungsstellen bei Unterabschnitten zweistreifiger Strecken

Berücksichtigt werden 48.097 Fälle. Die in Modell I beobachtete Effektmodifikation der Geschwindigkeitsbeschränkung durch den Schwerverkehrsanteil erweist sich bei separater Betrachtung zweistreifiger Unterabschnitte vernachlässigbar klein und kann ausgeschlossen werden.

Unverändert, wenn auch wie erwartet mit jeweils geringfügig veränderter Stärke, sind die Effekte begrenzter Geschwindigkeit, hoher Verkehrsstärke und hohem Schwerverkehrsanteil zu erkennen.

Steiler Anstieg führt zu geringerer Chance auf Unfallhäufung, während Gefälle und moderate Steigung keine Effekte zeigen.

Verstärkt sichtbar wird der bereits bekannte Effekt, der mit engen oder sehr weiten Radien assoziiert ist. Die Extreme weisen die am stärksten erhöhten Chancen auf, sie steigen gegenüber dem mittleren Radius um 62% bzw. 75%.

Tabelle 30: Ergebnisse Modell II: Unfallhäufungsstellen bei Unterabschnitten zweistreifiger Strecken

Unterabschnitte 2-streifig Unfallhäufungsstellen	Sig.	OR	95% Konfidenzintervall	
			Unterer Wert	Oberer Wert
Radius:	0,00			
bis 1.500 m	0,00	1,62	1,41	1,87
über 1.500 m bis 2.500 m	0,00	1,33	1,15	1,54
über 2.500 m bis 3.500 m	0,00	1,37	1,16	1,61
Ref: über 3.500 m bis 4.500 m				
über 4.500 m bis 5.500 m	0,19	0,87	0,71	1,07
über 5.500 m	0,00	1,68	1,45	1,94
keine Krümmung	0,00	1,75	1,52	2,01
Höhenverlauf	0,00			
Gefälle steiler als -3	0,56	1,03	0,93	1,15
Gefälle steiler als -2	0,94	1,00	0,88	1,12
Ref: eben - Neigung höchstens 2				
Steigung steiler als + 2	0,66	0,97	0,86	1,10
Steigung steiler als + 3	0,00	0,79	0,70	0,89
Geschwindigkeit: begrenzt	0,00	1,51	1,42	1,61
Verkehrsstärke: hoch	0,00	2,83	2,64	3,03
Schwerverkehrsanteil: hoch	0,00	0,61	0,56	0,67

Sig. = Signifikanz

OR = Odds Ratio

Modell III: Unfallhäufungsstellen bei Unterabschnitten dreistreifiger Strecken

Eingeschlossen werden 21.956 Fälle. Die in Modell I beobachtete Effektmodifikation der Geschwindigkeitsbeschränkung durch den Schwerverkehrsanteil kann auch hier vernachlässigt werden.

Gegenüber Modell II sind die Effekte der Geschwindigkeitsbeschränkung, der Verkehrsstärke und des Schwerverkehrsanteils deutlich geringer, aber ebenso deutlich noch vorhanden.

Dagegen zeigt sich bei der Längsneigung ausgeprägt, dass sowohl steiles Gefälle wie steile Steigung eine erhöhte Chance auf Unfallhäufung implizieren.

Bei den Radien zeigt sich ebenfalls ein verändertes Bild. Die OR schwanken um die 1 ohne erkennbaren Trend (und die Konfidenzintervalle schließen stets die 1 ein). Ein Effekt enger und weiter Radien ist bei Unterabschnitten dreistreifiger Strecken nicht zu erkennen.

Tabelle 31: Ergebnisse Modell III: Unfallhäufungsstellen bei Unterabschnitten dreistreifiger Strecken

Unterabschnitte 3-streifig Unfallhäufungsstellen	Sig.	OR	95% Konfidenzintervall	
			Unterer Wert	Oberer Wert
Radius:	0,00			
bis 1.500 m	0,14	0,88	0,74	1,04
über 1.500 m bis 2.500 m	0,41	0,93	0,78	1,10
über 2.500 m bis 3.500 m	0,15	0,87	0,71	1,05
Ref: über 3.500 m bis 4.500 m				
über 4.500 m bis 5.500 m	0,16	1,18	0,94	1,48
über 5.500 m	0,08	1,17	0,98	1,40
keine Krümmung	0,82	1,02	0,86	1,20
Höhenverlauf	0,00			
Gefälle steiler als -3	0,00	1,33	1,20	1,46
Gefälle steiler als -2	0,41	1,06	0,93	1,20
Ref: eben - Neigung höchstens 2				
Steigung steiler als + 2	0,01	0,82	0,72	0,95
Steigung steiler als + 3	0,01	1,16	1,05	1,28
Geschwindigkeit: begrenzt	0,00	1,24	1,16	1,32
Verkehrsstärke: hoch	0,00	2,02	1,89	2,17
Schwerverkehrsanteil: hoch	0,00	0,77	0,71	0,84

Sig. = Signifikanz

OR = Odds Ratio

Modell IV: Unfallhäufungsstellen auf Unfallstrecken aller Unterabschnitte

Bei den Modellen I bis III werden auch die Unterabschnitte eingeschlossen, bei denen im jeweiligen Jahr gar kein relevantes Unfallgeschehen verzeichnet wurde. Bezogen auf das Unfallgeschehen besteht zwischen allen Unfallhäufungsstellen und dem Rest daher im Schnitt eine sehr hohe Diskrepanz. Geringer ist sie zwischen Strecken, auf denen Unfälle vorkamen, aber selten, und den Unfallhäufungsstellen. Daher wurden die Modelle für diese Teilgruppen der jeweiligen Unterabschnitte ein weiteres Mal entwickelt. Jetzt geben sie wider, ob bestimmte Merkmale die Chance auf das Eintreten vieler statt nur weniger Unfälle beeinflussen.

In Modell IV gehen 16.709 Fälle ein. Es zeigt, dass eine dreistreifige Fahrbahn eine um den Faktor 2,71 erhöhte Chance auf Unfallhäufungen (gegenüber der zweistreifigen Variante) impliziert. Hier ist eine Effektmodifikation vorhanden, bei begrenzter Geschwindigkeit fällt diese Erhöhung um 20% schwächer aus.

Ein hoher Schwerverkehrsanteil dagegen vermindert die Chance auf Unfallhäufung um 27%, diese Verminderung wird, ausweislich der zweiten Effektmodifikation in diesem Modell, um weitere 33% bei Vorliegen einer Geschwindigkeitsbeschränkung reduziert. Geschwindigkeitsbeschränkungen sind – noch ohne Berücksichtigung der erwähnten Effektmodifikationen – mit einer um den Faktor 2,10 erhöhten Chance auf Unfallhäufung assoziiert. Dieser Effekt fällt bei dreistreifigen Fahrbahnen und bei hohem Schwerverkehrsanteil um 20% bzw. 33% geringer aus.

Eine hohe Verkehrsstärke führt zu einer mehr als verdoppelten Chance ($OR=2,39$) auf Unfallhäufungen (verglichen mit Unterabschnitten mit niedriger Verkehrsstärke). Unterschiedliche Längsneigungen führen zu uneinheitlichen Wirkungen. Geringes Gefälle und geringe Steigung sind mit einer Reduktion der Chance auf Unfallhäufung verknüpft, dieser Effekt verschwindet bei starkem Gefälle und wird geringer bei steilem Anstieg.

Bei den Radien zeigt sich der bereits bekannte Effekt: verglichen mit einem moderaten Radius (zwischen 3.500 m und 4.500 m) steigt die Chance auf Unfallhäufung sowohl bei Verstärkung wie bei Verminderung der Krümmung. Die Chance auf Unfallhäufung ist bei sehr großem Radius oder bei Geraden stärker erhöht als bei sehr engen Radien. Auch aus diesem Modell wird, wie bei Modell I, die Effektmodifikation ausgeklammert, die den Radius und die Anzahl der Fahrstreifen berührt. Stattdessen wurden zwei weitere Modelle für die Teilgruppen mit zweistreifigen bzw. dreistreifigen Fahrbahnen berechnet.

Tabelle 32: Ergebnisse Modell IV: Unfallhäufungsstellen auf Unfallstrecken aller Unterabschnitte

Unterabschnitte Unfallstrecken Unfallhäufungsstellen	Sig.	OR	95% Konfidenzintervall	
			Unterer Wert	Oberer Wert
Fahrbahn: 3streifig	0,00	2,71	2,46	2,99
Radius:	0,00			
bis 1.500 m	0,00	2,08	1,77	2,44
über 1.500 m bis 2.500 m	0,00	1,41	1,20	1,65
über 2.500 m bis 3.500 m	0,00	1,44	1,20	1,74
Ref: über 3.500 m bis 4.500 m				
über 4.500 m bis 5.500 m	0,64	1,05	0,85	1,31
über 5.500 m	0,00	1,66	1,42	1,95
keine Krümmung	0,00	1,70	1,46	1,98
Höhenverlauf	0,00			
Gefälle steiler als -3	0,79	1,02	0,91	1,13
Gefälle steiler als -2	0,01	0,84	0,73	0,96
Ref: eben - Neigung höchstens 2				
Steigung steiler als + 2	0,00	0,71	0,62	0,81
Steigung steiler als + 3	0,01	0,86	0,76	0,97
Geschwindigkeit: begrenzt	0,00	2,10	1,90	2,32
Verkehrsstärke: hoch	0,00	2,39	2,21	2,58
Schwerverkehrsanteil: hoch	0,00	0,73	0,65	0,82
Effektmodifikation: Geschwindigkeitsbegrenzung und 3streifig	0,00	0,80	0,70	0,92
Effektmodifikation: Geschwindigkeitsbegrenzung und hoher Schwerverkehrsanteil	0,00	0,67	0,57	0,80

Sig. = Signifikanz

OR = Odds Ratio

Modell V: Unfallhäufungsstellen auf Unfallstrecken zweistreifiger Unterabschnitte

Berücksichtigt werden 9.761 Fälle. Die in Modell IV beobachtete Effektmodifikation der Geschwindigkeitsbegrenzung durch den Schwerverkehrsanteil ist auch hier zu erkennen.

Unverändert, wenn auch jeweils mit geringfügig veränderter Stärke gegenüber dem vorausgegangenem Modell, sind die Effekte begrenzter Geschwindigkeit und hohem Schwerverkehrsanteil sichtbar. Das OR für hohe Verkehrsstärke ist deutlich angestiegen auf 2,80.

Steiler Anstieg und moderates Gefälle reduzieren die Chance auf Unfallhäufung, während bei starkem Gefälle und moderatem Anstieg ähnliche Chancen wie bei ebenen Strecken bestehen.

Noch stärker hervor treten die Effekte enger oder weiter Radien. Die Extreme weisen die am stärksten erhöhten Chancen auf, sie betragen rund das 2,5-fache der Chance bei mittleren Radien.

Tabelle 33: Ergebnisse Modell V: Unfallhäufungsstellen auf Unfallstrecken zweistreifiger Unterabschnitte

Unterabschnitte 2-streifig Unfallstrecken Unfallhäufungsstellen	Sig.	OR	95% Konfidenzintervall	
			Unterer Wert	Oberer Wert
Radius:	0,00			
bis 1.500 m	0,00	2,68	2,17	3,31
über 1.500 m bis 2.500 m	0,00	1,77	1,43	2,19
über 2.500 m bis 3.500 m	0,00	1,76	1,38	2,24
Ref: über 3.500 m bis 4.500 m				
über 4.500 m bis 5.500 m	0,98	1,00	0,75	1,35
über 5.500 m	0,00	1,79	1,46	2,21
keine Krümmung	0,00	2,49	2,03	3,05
Höhenverlauf	0,01			
Gefälle steiler als -3	0,47	0,94	0,79	1,11
Gefälle steiler als -2	0,01	0,76	0,63	0,92
Ref: eben - Neigung höchstens 2				
Steigung steiler als + 2	0,12	0,86	0,71	1,04
Steigung steiler als + 3	0,01	0,78	0,65	0,94
Geschwindigkeit: begrenzt	0,00	2,02	1,82	2,25
Verkehrsstärke: hoch	0,00	2,80	2,50	3,14
Schwerverkehrsanteil: hoch	0,00	0,66	0,55	0,79
Effektmodifikation: Geschwindigkeitsbegrenzung und hoher Schwerverkehrsanteil	0,01	0,70	0,54	0,91

Sig. = Signifikanz

OR = Odds Ratio

Modell VI: Unfallhäufungsstellen auf Unfallstrecken dreistreifiger Unterabschnitte

Eingeschlossen werden 6.948 Fälle. Die in Modell IV beobachtete Effektmodifikation der Geschwindigkeitsbegrenzung durch den Schwerverkehrsanteil ist auch hier gegeben.

Gegenüber Modell V sind die Effekte der Geschwindigkeitsbeschränkung, der Verkehrsstärke und des Schwerverkehrsanteils deutlich geringer, aber ebenso deutlich noch vorhanden.

Dagegen zeigt sich bei der Längsneigung klar, dass bei Gefälle und starker Steigung keine erhöhte Chance auf Unfallhäufung besteht, ein schwacher Anstieg wirkt chancenmindernd.

Bei den Radien zeigt sich das aus Modell III bekannte Bild. Die meisten OR schwanken um die 1 ohne erkennbaren Trend (und die Konfidenzintervalle schließen die 1 ein). Jedoch weisen sehr enge Radien und sehr weite Radien eine deutliche Gefährdung auf, sie erhöhen die Chance um jeweils 40%.

Tabelle 34: Ergebnisse Modell VI: Unfallhäufungsstellen auf Unfallstrecken dreistreifiger Unterabschnitte

Unterabschnitte 3-streifig Unfallstrecken Unfallhäufungsstellen	Sig.	OR	95% Konfidenzintervall	
			Unterer Wert	Oberer Wert
Radius:	0,00			
bis 1.500 m	0,01	1,41	1,08	1,84
über 1.500 m bis 2.500 m	0,97	1,00	0,77	1,28
über 2.500 m bis 3.500 m	0,64	1,07	0,80	1,44
Ref: über 3.500 m bis 4.500 m				
über 4.500 m bis 5.500 m	0,86	1,03	0,74	1,44
über 5.500 m	0,01	1,40	1,08	1,81
keine Krümmung	0,62	1,06	0,83	1,35
Höhenverlauf	0,00			
Gefälle steiler als -3	0,17	1,11	0,96	1,28
Gefälle steiler als -2	0,48	0,94	0,78	1,13
Ref: eben - Neigung höchstens 2				
Steigung steiler als + 2	0,00	0,57	0,47	0,70
Steigung steiler als + 3	0,50	0,95	0,81	1,11
Geschwindigkeit: begrenzt	0,00	1,73	1,53	1,94
Verkehrsstärke: hoch	0,00	2,15	1,93	2,39
Schwerverkehrsanteil: hoch	0,00	0,77	0,66	0,90
Effektmodifikation: Geschwindigkeitsbegrenzung und hoher Schwerverkehrsanteil	0,00	0,64	0,51	0,81

Sig. = Signifikanz

OR = Odds Ratio

Modell VII: Unfallhäufungsstellen bei allen Abschnitten der knotenpunktfreien Strecken

In Modell VII gehen alle 14.082 Abschnitte der knotenpunktfreien Strecken ein. Es zeigt, dass eine dreistreifige Fahrbahn eine um den Faktor 5,15 erhöhte Chance auf Unfallhäufungen (gegenüber der zweistreifigen Variante) impliziert. Hier ist eine Effektmodifikation zu bemerken, bei begrenzter Geschwindigkeit fällt diese Erhöhung um 40% schwächer aus.

Eine hohe Verkehrsstärke führt zu einer Vervielfachung der Chance (OR=6,23) auf Unfallhäufungen (verglichen mit Unterabschnitten mit niedriger Verkehrsstärke). Hier wirkt eine Geschwindigkeitsbegrenzung dämpfend, sie reduziert diese Erhöhung wieder um 35%.

Geschwindigkeitsbeschränkungen sind – noch ohne Berücksichtigung der erwähnten Effektmodifikationen – mit einer um den Faktor 4,06 erhöhten Chance auf Unfallhäufung assoziiert. Dieser Effekt fällt bei dreistreifigen Fahrbahnen und bei hoher Verkehrsstärke um 40% bzw. 35% geringer aus.

Ein hoher Schwerverkehrsanteil reduziert die Chance auf Unfallhäufung um 62%. Unterschiedliche Welligkeiten führen zu uneinheitlichen Wirkungen. Geringe Welligkeit erhöht die Chance nicht, aber mittlere und hohe Welligkeit erhöhen die Chance auf Unfallhäufungen um rund 50%.

Eine leicht erhöhte Kurvigkeit führt gegenüber minimaler Kurvigkeit zu einer Abnahme der Chance auf Unfallhäufung um 32%, auf demselben Niveau bleibt das Chancenverhältnis bei mittlerer Kurvigkeit, während sie sich bei hoher Kurvigkeit fast wieder dem Wert bei minimaler Kurvigkeit angleicht.

Nicht aufgenommen wird in Modell VII eine weitere Effektmodifikation, die die Kurvigkeit und die Anzahl der Fahrstreifen betrifft. Sie kann transparenter durch eine Spezifizierung des Modells auf die Teilgruppen mit unterschiedlicher Anzahl von Fahrstreifen dargestellt werden.

Tabelle 35: Ergebnisse Modell VII: Unfallhäufungsstellen bei allen Abschnitten der knotenpunktfreien Strecken

Freie Strecken Unfallhäufungsstellen	Sig.	OR	95% Konfidenzintervall	
			Unterer Wert	Oberer Wert
Fahrbahn: 3streifig	0,00	5,15	4,09	6,48
Kurvigkeit	0,00			
Ref: minimal - bis 10 gon/km				
gering - über 10 gon/km bis 20 gon/km	0,00	0,68	0,58	0,80
mittlere - über 20 gon/km bis 30 gon/km	0,00	0,71	0,59	0,86
hohe - über 30 gon/km	0,44	0,94	0,79	1,10
Welligkeit	0,00			
Ref: minimal - bis 0,1 gon/km				
gering - über 0,1 gon/km bis 0,25 gon/km	0,75	1,03	0,85	1,26
mittlere - über 0,25 gon/km bis 0,75 gon/km	0,00	1,53	1,29	1,83
hohe - über 0,75 gon/km	0,00	1,58	1,34	1,88
Geschwindigkeit: begrenzt	0,00	4,06	2,82	5,85
Verkehrsstärke: hoch	0,00	6,23	4,61	8,43
Schwerverkehrsanteil: hoch	0,00	0,38	0,31	0,48
Effektmodifikation: Geschwindigkeitsbegrenzung und 3streifig	0,00	0,60	0,46	0,79
Effektmodifikation: Geschwindigkeitsbegrenzung und hohe Verkehrsstärke	0,02	0,65	0,46	0,93

Sig. = Signifikanz

OR = Odds Ratio

Modell VIII: Unfallhäufungsstellen bei zweistreifigen Abschnitten der knotenpunktfreien Strecken

Berücksichtigt werden alle 9.855 Fälle. Die in Modell VII beobachtete Effektmodifikation der Geschwindigkeitsbeschränkung durch die Verkehrsstärke ist bei separater Betrachtung der zweistreifigen Abschnitte der knotenpunktfreien Strecke Strecken nicht mehr vorhanden. Der protektive Effekt des hohen Schwerverkehrsanteils ist deutlich stärker ausgeprägt.

Schon geringe Welligkeit führt gegenüber minimaler Welligkeit zu einer Erhöhung der Chance auf Unfallhäufung um 53%, bei stärkerer Welligkeit steigt das OR bis auf 2,42.

Gegenüber der minimalen Kurvigkeit führt eine geringe und mittlere Kurvigkeit jeweils zu einer Reduktion der Chance um etwa 30%, dagegen steigt sie bei hoher Kurvigkeit um 27% gegenüber der minimalen Kurvigkeit.

Tabelle 36: Ergebnisse VIII: Unfallhäufungsstellen bei zweistreifigen Abschnitten der knotenpunktfreien Strecken

Freie Strecken 2-streifig Unfallhäufungsstellen	Sig.	OR	95% Konfidenzintervall	
			Unterer Wert	Oberer Wert
Kurvigkeit	0,00			
Ref: minimal - bis 10 gon/km				
gering - über 10 gon/km bis 20 gon/km	0,00	0,65	0,50	0,83
mittlere - über 20 gon/km bis 30 gon/km	0,02	0,71	0,53	0,94
hohe - über 30 gon/km	0,04	1,27	1,01	1,60
Welligkeit	0,00			
Ref: minimal - bis 0,1 gon/km				
gering - über 0,1 gon/km bis 0,25 gon/km	0,01	1,53	1,12	2,10
mittlere - über 0,25 gon/km bis 0,75 gon/km	0,00	2,42	1,86	3,15
hohe - über 0,75 gon/km	0,00	2,10	1,62	2,72
Geschwindigkeit: begrenzt	0,00	2,47	2,03	3,02
Verkehrsstärke: hoch	0,00	10,72	7,44	15,45
Schwerverkehrsanteil: hoch	0,00	0,23	0,15	0,36

Sig. = Signifikanz

OR = Odds Ratio

Modell IX: Unfallhäufungsstellen bei dreistreifigen Abschnitten der knotenpunktfreien Strecken

Eingeschlossen werden alle 4.227 Fälle. Die in Modell VII beobachtete Effektmodifikation der Geschwindigkeitsbegrenzung durch die Verkehrsstärke ist auch hier zu erkennen.

Gegenüber Modell VIII sind die reinen Effekte der Geschwindigkeitsbeschränkung und der Verkehrsstärke, auch aufgrund der Effektmodifikation und des Schwerverkehrsanteils teils deutlich geringer, teils erheblich höher. (Die reinen Effekte gelten nicht für alle Konstellationen, das ist der Inhalt einer Effektmodifikation.)

Anders als bei den zweistreifigen Abschnitten der knotenpunktfreien Strecken zeigen sich die Effekte der Welligkeit. Schon geringe Welligkeit führt gegenüber minimaler Welligkeit zu einer erheblichen Minderung der Chance auf Unfallhäufung um 28%, erst hohe Welligkeit erreicht wieder das Chancenniveau minimaler Welligkeit.

Gegenüber der minimalen Kurvigkeit führt eine geringe und mittlere Kurvigkeit jeweils zu einer Reduktion der Chance um etwa 25%, anders als bei den zweistreifigen Abschnitten der knotenpunktfreien Strecken steigt die Chance allerdings auch bei hoher Kurvigkeit nicht an, sondern fällt noch etwas weiter ab.

Tabelle 37: Ergebnisse Modell IX: Unfallhäufungsstellen bei dreistreifigen Abschnitten der knotenpunktfreien Strecken

Freie Strecken 3-streifig Unfallhäufungsstellen	Sig.	OR	95% Konfidenzintervall	
			Unterer Wert	Oberer Wert
Kurvigkeit	0,00			
Ref: minimal - bis 10 gon/km				
gering - über 10 gon/km bis 20 gon/km	0,00	0,72	0,58	0,89
mittlere - über 20 gon/km bis 30 gon/km	0,03	0,76	0,59	0,97
hohe - über 30 gon/km	0,00	0,64	0,51	0,82
Welligkeit	0,00			
Ref: minimal - bis 0,1 gon/km				
gering - über 0,1 gon/km bis 0,25 gon/km	0,01	0,72	0,55	0,93
mittlere - über 0,25 gon/km bis 0,75 gon/km	0,35	0,89	0,69	1,14
hohe - über 0,75 gon/km	0,16	1,18	0,94	1,48
Geschwindigkeit: begrenzt	0,00	2,78	1,93	4,01
Verkehrsstärke: hoch	0,00	4,69	3,26	6,74
Schwerverkehrsanteil: hoch	0,00	0,48	0,37	0,62
Effektmodifikation: Geschwindigkeitsbegrenzung und hohe Verkehrsstärke	0,02	0,60	0,39	0,92

Sig. = Signifikanz

OR = Odds Ratio

Modell X: Unfallhäufungsstellen auf Unfallstrecken aller Abschnitte der knotenpunktfreien Strecken

Auch bei den Abschnitten der knotenpunktfreien Strecken sollte im nächsten Schritt die Modellierung ohne Einschluss der Abschnitte der knotenpunktfreien Strecke ohne Unfallgeschehen im jeweiligen Kalenderjahr erfolgen. In dieses Modell X gehen 8.829 Abschnitte ein.

Es zeigt, dass eine dreistreifige Fahrbahn eine um den Faktor 4,26 erhöhte Chance auf Unfallhäufungen (gegenüber der zweistreifigen Variante) impliziert. Hier ist eine Effektmodifikation zu bemerken, bei begrenzter Geschwindigkeit fällt diese Erhöhung um 36% schwächer aus.

Eine hohe Verkehrsstärke führt zu einer Vervielfachung der Chance (OR=5,20) auf Unfallhäufungen (verglichen mit Unterabschnitten mit niedriger Verkehrsstärke). Hier wirkt eine Geschwindigkeitsbeschränkung dämpfend, sie reduziert diese Erhöhung wieder um 29%.

Geschwindigkeitsbeschränkungen sind – noch ohne Berücksichtigung der erwähnten Effektmodifikationen – mit einer um den Faktor 4,12 erhöhten Chance auf Unfallhäufung assoziiert. Dieser Effekt fällt bei dreistreifigen Fahrbahnen und bei hoher Verkehrsstärke um 36% bzw. 29% geringer aus.

Ein hoher Schwerverkehrsanteil reduziert die Chance auf Unfallhäufung um 65%.

Unterschiedliche Welligkeiten führen zu uneinheitlichen Wirkungen. Geringe Welligkeit erhöht die Chance nicht, aber mittlere und hohe Welligkeit erhöhen die Chance auf Unfallhäufungen um rund 50%.

Eine leicht erhöhte Kurvigkeit führt gegenüber minimaler Kurvigkeit zu einer Abnahme der Chance auf Unfallhäufung um 27%, auf demselben Niveau bleibt das Chancenverhältnis bei mittlerer Kurvigkeit, während sie sich bei hoher Kurvigkeit ein gegenteiliger Effekt andeutet, die Chance steigt um den Faktor 1,18 gegenüber der minimalen Kurvigkeit.

Nicht aufgenommen wird in Modell VII eine weitere Effektmodifikation, die die Kurvigkeit und die Anzahl der Fahrstreifen betrifft. Sie kann transparenter durch eine Spezifizierung des Modells auf die Teilgruppen mit unterschiedlicher Anzahl von Fahrstreifen dargestellt werden.

Tabelle 38: Ergebnisse Modell X: Unfallhäufungsstellen auf Unfallstrecken aller Abschnitte der knotenpunktfreien Strecken

Freie Strecken Unfallstrecken Unfallhäufungsstellen	Sig.	OR	95% Konfidenzintervall	
			Unterer Wert	Oberer Wert
Fahrbahn: 3streifig	0,00	4,26	3,34	5,44
Kurvigkeit	0,00			
Ref: minimal - bis 10 gon/km				
gering - über 10 gon/km bis 20 gon/km	0,00	0,73	0,62	0,87
mittlere - über 20 gon/km bis 30 gon/km	0,02	0,79	0,64	0,97
hohe - über 30 gon/km	0,08	1,18	0,98	1,41
Welligkeit	0,00			
Ref: minimal - bis 0,1 gon/km				
gering - über 0,1 gon/km bis 0,25 gon/km	0,85	1,02	0,83	1,26
mittlere - über 0,25 gon/km bis 0,75 gon/km	0,00	1,52	1,25	1,84
hohe - über 0,75 gon/km	0,00	1,59	1,32	1,91
Geschwindigkeit: begrenzt	0,00	4,12	2,78	6,09
Verkehrsstärke: hoch	0,00	5,20	3,79	7,15
Schwerverkehrsanteil: hoch	0,00	0,35	0,28	0,44
Effektmodifikation: Geschwindigkeitsbegrenzung und 3streifig	0,00	0,64	0,48	0,85
Effektmodifikation: Geschwindigkeitsbegrenzung und hohe Verkehrsstärke	0,08	0,71	0,48	1,04

Sig. = Signifikanz

OR = Odds Ratio

Modell XI: Unfallhäufungsstellen auf Unfallstrecken von zweistreifigen Abschnitten der knotenpunktfreien Strecken

Berücksichtigt werden alle 5.714 Fälle. Die in Modell X beobachtete Effektmodifikation der Geschwindigkeitsbegrenzung durch die Verkehrsstärke ist bei separater Betrachtung der zweistreifigen Abschnitte nicht mehr vorhanden.

Der protektive Effekt des hohen Schwerverkehrsanteils beträgt 79%. Schon geringe Welligkeit führt gegenüber minimaler Welligkeit zu einer Erhöhung der Chance auf Unfallhäufung um 57%, bei stärkerer Welligkeit steigt das OR bis auf 2,40.

Gegenüber der minimalen Kurvigkeit führt eine geringe und mittlere Kurvigkeit jeweils zu einer Reduktion der Chance um 21%, dagegen steigt sie bei hoher Kurvigkeit um 64% gegenüber der minimalen Kurvigkeit.

Tabelle 39: Ergebnisse Modell XI: Unfallhäufungsstellen auf Unfallstrecken von zweistreifigen Abschnitten der knotenpunktfreien Strecken

Freie Strecken 2-streifig Unfallstrecken Unfallhäufungsstellen	Sig.	OR	95% Konfidenzintervall	
			Unterer Wert	Oberer Wert
Kurvigkeit	0,00			
Ref: minimal - bis 10 gon/km				
gering - über 10 gon/km bis 20 gon/km	0,09	0,79	0,60	1,04
mittlere - über 20 gon/km bis 30 gon/km	0,20	0,82	0,59	1,12
hohe - über 30 gon/km	0,00	1,64	1,27	2,13
Welligkeit	0,00			
Ref: minimal - bis 0,1 gon/km				
gering - über 0,1 gon/km bis 0,25 gon/km	0,01	1,57	1,12	2,20
mittlere - über 0,25 gon/km bis 0,75 gon/km	0,00	2,40	1,80	3,20
hohe - über 0,75 gon/km	0,00	2,06	1,55	2,73
Geschwindigkeit: begrenzt	0,00	2,75	2,22	3,40
Verkehrsstärke: hoch	0,00	8,79	5,90	13,11
Schwerverkehrsanteil: hoch	0,00	0,21	0,13	0,34

Sig. = Signifikanz

OR = Odds Ratio

Modell XII: Unfallhäufungsstellen auf Unfallstrecken von dreistreifigen Abschnitten der knotenpunktfreien Strecken

Eingeschlossen werden alle 3.115 Fälle. Die in Modell X beobachtete Effektmodifikation der Geschwindigkeitsbeschränkung durch die Verkehrsstärke ist auch hier zu erkennen.

Gegenüber Modell VIII sind die reinen Effekte der Geschwindigkeitsbeschränkung und der Verkehrsstärke, auch aufgrund der Effektmodifikation und des Schwerverkehrsanteils teils deutlich geringer, teils erheblich höher. (Die reinen Effekte gelten nicht für alle Konstellationen, das ist der Inhalt einer Effektmodifikation.)

Anders als bei den zweistreifigen Abschnitten zeigen sich die Effekte der Welligkeit. Schon geringe Welligkeit führt gegenüber minimaler Welligkeit zu einer erheblichen Minderung der Chance auf Unfallhäufung um 29%, bei hoher Welligkeit steigt das Chancenverhältnis auf über 1.

Gegenüber der minimalen Kurvigkeit führt eine geringe und mittlere Kurvigkeit jeweils zu einer Reduktion der Chance um 30% bzw. 19%, anders als bei den zweistreifigen Abschnitten steigt die Chance allerdings auch bei hoher Kurvigkeit nicht an, sondern liegt noch immer um 23% unter der Chance bei minimaler Kurvigkeit.

Tabelle 40: Ergebnisse Modell XII: Unfallhäufungsstellen auf Unfallstrecken von dreistreifigen Abschnitten der knotenpunktfreien Strecken

Freie Strecken 3-streifig Unfallstrecken Unfallhäufungsstellen	Sig.	OR	95% Konfidenzintervall	
			Unterer Wert	Oberer Wert
Kurvigkeit	0,02			
Ref: minimal - bis 10 gon/km				
gering - über 10 gon/km bis 20 gon/km	0,00	0,70	0,56	0,88
mittlere - über 20 gon/km bis 30 gon/km	0,14	0,81	0,62	1,07
hohe - über 30 gon/km	0,06	0,77	0,59	1,01
Welligkeit	0,00			
Ref: minimal - bis 0,1 gon/km				
gering - über 0,1 gon/km bis 0,25 gon/km	0,01	0,71	0,54	0,93
mittlere - über 0,25 gon/km bis 0,75 gon/km	0,27	0,86	0,66	1,13
hohe - über 0,75 gon/km	0,09	1,24	0,97	1,58
Geschwindigkeit: begrenzt	0,00	3,06	2,07	4,53
Verkehrsstärke: hoch	0,00	4,24	2,88	6,24
Schwerverkehrsanteil: hoch	0,00	0,43	0,32	0,56
Effektmodifikation: Geschwindigkeitsbegrenzung und hohe Verkehrsstärke	0,05	0,63	0,40	0,99

Sig. = Signifikanz

OR = Odds Ratio

Modell XIII: Unfallhäufungsstellen in Abhängigkeit von der Kurvigkeit auf Abschnitten der knotenpunktfreien Strecken mit minimaler Welligkeit

Insgesamt erweisen sich die Effekte der Kurvigkeit und der Welligkeit bei unterschiedlichen Zielpopulationen nicht einheitlich. Dafür verantwortlich dürfte vor allem sein, dass es in manchen Konstellationen zu starken Effektmodifikationen zwischen den beiden Merkmalen kommt. Um deren Auswirkungen transparent zu machen, werden separate Modelle für die Effekte der Kurvigkeit bei verschiedenen starker Welligkeit erstellt. Hierbei werden die weiteren Merkmale nicht weiter beachtet, aber zur Adjustierung im Modell belassen. Sie werden hier nicht dargestellt.

In Modell XIII eingeschlossen sind 4.275 Fälle mit minimaler Welligkeit. Die höchste Chance für eine Unfallhäufung liegt bei minimaler Kurvigkeit vor. Bei zunehmender Kurvigkeit fällt die Chance erheblich, um bis zu 73%. Die Fallzahlen erlauben, was bereits den Konfidenzintervallen zu entnehmen ist: Bei n zwischen 843 und 1.350 handelt es sich hier nicht um einen typischen Ausreißer bei kleinen Fallzahlen. Es lässt sich erkennen, dass fehlende (bzw. minimale) Welligkeit und Kurvigkeit zu einer deutlich erhöhten Chance für Unfallhäufungen führt.

Tabelle 41: Ergebnisse Modell XIII: Unfallhäufungsstellen in Abhängigkeit von der Kurvigkeit auf Abschnitten der knotenpunktfreien Strecken mit minimaler Welligkeit

Freie Strecken - minimale Welligkeit Unfallhäufungsstellen	Sig.	OR	95% Konfidenzintervall	
			Unterer Wert	Oberer Wert
Kurvigkeit	0,00			
Ref: minimal - bis 10 gon/km				
gering - über 10 gon/km bis 20 gon/km	0,00	0,54	0,40	0,73
mittlere - über 20 gon/km bis 30 gon/km	0,00	0,27	0,17	0,44
hohe - über 30 gon/km	0,00	0,38	0,26	0,55

Sig. = Signifikanz

OR = Odds Ratio

Modell XIV: Unfallhäufungsstellen in Abhängigkeit von der Kurvigkeit auf Abschnitten der knotenpunktfreien Strecken mit geringer Welligkeit

In Modell XIV sind 2.910 Fälle mit geringer Welligkeit eingeschlossen. Die höchste Chance für eine Unfallhäufung liegt bei minimaler Kurvigkeit vor. Bei minimaler Kurvigkeit und bei hoher Kurvigkeit liegen die Chancen auf demselben Niveau. Sie sind jedoch stark erhöht bei geringer (OR=1,75) oder mittlerer Kurvigkeit (OR=1,89). Hier liegen geringere Fallzahlen in den einzelnen Gruppen vor, sie schwanken zwischen 417 und 1.006 Fällen, weshalb die Konfidenzintervalle zum Teil sehr breit ausfallen. Gleichwohl ist die umgekehrte U-Kurve der OR bei zunehmender Kurvigkeit eindeutig zu erkennen.

Tabelle 42: Ergebnisse Modell XIV: Unfallhäufungsstellen in Abhängigkeit von der Kurvigkeit auf Abschnitten der knotenpunktfreien Strecken mit geringer Welligkeit

Freie Strecken - geringe Welligkeit Unfallhäufungsstellen	Sig.	OR	95% Konfidenzintervall	
			Unterer Wert	Oberer Wert
Kurvigkeit	0,00			
Ref: minimal - bis 10 gon/km				
gering - über 10 gon/km bis 20 gon/km	0,00	1,75	1,20	2,56
mittlere - über 20 gon/km bis 30 gon/km	0,00	1,89	1,24	2,89
hohe - über 30 gon/km	0,60	0,86	0,51	1,48

Sig. = Signifikanz

OR = Odds Ratio

Modell XV: Unfallhäufungsstellen in Abhängigkeit von der Kurvigkeit auf Abschnitten der knotenpunktfreien Strecken mit mittlerer Welligkeit

In Modell XV sind 3.220 Fälle mit mittlerer Welligkeit eingeschlossen. Bei minimaler Kurvigkeit und bei hoher Kurvigkeit liegen die Chancen etwa auf demselben Niveau. Sie sind jedoch deutlich niedriger bei geringer (um 49%) oder mittlerer Kurvigkeit (um 30%). Die Fallzahlen in den einzelnen Gruppen schwanken zwischen 680 und 907 Fällen. Das U – erst abnehmende, dann wieder ansteigende Chance – tritt deutlich hervor.

Tabelle 43: Ergebnisse Modell XV: Unfallhäufungsstellen in Abhängigkeit von der Kurvigkeit auf Abschnitten der knotenpunktfreien Strecken mit mittlerer Welligkeit

Freie Strecken - mittlere Welligkeit Unfallhäufungsstellen	Sig.	OR	95% Konfidenzintervall	
			Unterer Wert	Oberer Wert
Kurvigkeit	0,00			
Ref: minimal - bis 10 gon/km				
gering - über 10 gon/km bis 20 gon/km	0,00	0,51	0,36	0,72
mittlere - über 20 gon/km bis 30 gon/km	0,05	0,70	0,49	0,99
hohe - über 30 gon/km	0,71	1,06	0,78	1,44

Sig. = Signifikanz

OR = Odds Ratio

Modell XVI: Unfallhäufungsstellen in Abhängigkeit von der Kurvigkeit auf Abschnitten der knotenpunktfreien Strecken mit hoher Welligkeit

In Modell XVI sind 3.677 Fälle mit hoher Welligkeit eingeschlossen. Bei minimaler Kurvigkeit und bei hoher Kurvigkeit liegen die Chancen auf Unfallhäufungen etwa auf demselben Niveau. Sie sind jedoch deutlich niedriger bei geringer (um 30%) oder mittlerer Kurvigkeit (um 36%). Die Fallzahlen in den einzelnen Gruppen schwanken zwischen 687 und 1.122 Fällen. Es zeigt sich erneut das U, auch bei hoher Welligkeit sind die moderaten Kurvigkeiten weniger unfallträchtig als minimale oder starke.

Tabelle 44: Ergebnisse Modell XVI: Unfallhäufungsstellen in Abhängigkeit von der Kurvigkeit auf Abschnitten der knotenpunktfreien Strecken mit hoher Welligkeit

Freie Strecken - hohe Welligkeit Unfallhäufungsstellen	Sig.	OR	95% Konfidenzintervall	
			Unterer Wert	Oberer Wert
Kurvigkeit	0,01			
Ref: minimal - bis 10 gon/km				
gering - über 10 gon/km bis 20 gon/km	0,01	0,70	0,53	0,93
mittlere - über 20 gon/km bis 30 gon/km	0,01	0,64	0,46	0,88
hohe - über 30 gon/km	0,67	0,94	0,72	1,23

Sig. = Signifikanz

OR = Odds Ratio

Anhang B: Multivariate Analysen – Modellergebnisse zu hoher und sehr hoher Unfallkostenrate

Modell I: Hohe Unfallkostenrate auf allen Unterabschnitten

In Modell I gehen 70.053 Fälle ein. Bei Fernautobahnen ist eine geringe Erhöhung der Chance auf eine hohe Unfallkostenrate zu sehen. Dreistreifige Unterabschnitte weisen eine um den Faktor 1,31 erhöhte Chance auf, diese steigt weiter um den Faktor 1,13 bei einer Geschwindigkeitsbeschränkung. Geschwindigkeitsbeschränkungen reduzieren die Chance auf eine hohe Unfallkostenrate. Bei dreistreifigen Unterabschnitten fällt dieser Effekt geringer aus.

Eine hohe Verkehrsstärke führt zu einer mäßigen Erhöhung der Chance (OR=1,22) auf eine hohe Unfallkostenrate (verglichen mit Unterabschnitten mit niedriger Verkehrsstärke). Aus dem Modell entfernt wird die in jeder Hinsicht einflusslose Variable Schwerverkehrsanteil.

Unterabschnitte mit Steigung oder Gefälle weisen durchgängig eine höhere Chance auf als ebene Unterabschnitte. Bei engen Radien ist die Chance kleiner als bei mittleren und weiten, wobei sich die weiten von den mittleren nicht unterscheiden.

Weitere Einflüsse sind nicht zu identifizieren, auch keine Effektmodifikationen, die gesonderte Betrachtung erfordert hätten.

Tabelle 45: Ergebnisse Modell I: Hohe Unfallkostenrate auf allen Unterabschnitten

Unterabschnitte Hohe Unfallkostenrate	Sig.	OR	95% Konfidenzintervall	
			Unterer Wert	Oberer Wert
Autobahnart: Fernautobahn	0,05	1,07	1,00	1,14
Fahrbahn: 3streifig	0,00	1,31	1,23	1,40
Radius:	0,00			
bis 1.500 m	0,00	0,76	0,68	0,84
über 1.500 m bis 2.500 m	0,03	0,89	0,80	0,99
über 2.500 m bis 3.500 m	0,01	0,84	0,74	0,95
Ref: über 3.500 m bis 4.500 m				
über 4.500 m bis 5.500 m	0,89	1,01	0,88	1,16
über 5.500 m	0,13	1,09	0,98	1,21
keine Krümmung	0,97	1,00	0,90	1,10
Höhenverlauf	0,00			
Gefälle steiler als -3	0,00	1,30	1,20	1,40
Gefälle steiler als -2	0,00	1,22	1,12	1,33
Ref: eben - Neigung höchstens 2				
Steigung steiler als + 2	0,00	1,18	1,08	1,30
Steigung steiler als + 3	0,08	1,07	0,99	1,17
Geschwindigkeit: begrenzt	0,00	0,83	0,78	0,88
Verkehrsstärke: hoch	0,00	1,22	1,16	1,28
Effektmodifikation: Geschwindigkeitsbegrenzung und 3streifig	0,01	1,13	1,03	1,25

Sig. = Signifikanz

OR = Odds Ratio

Modell II: Hohe Unfallkostenrate auf den Unfallstrecken der Unterabschnitte

In Modell II gehen 16.709 Fälle ein. Unter allen Unterabschnitten, auf denen tatsächlich mindestens ein Unfall im betreffenden Jahr zu verzeichnen war, erweisen sich Fernautobahnen, Dreistreifigkeit, hohe Verkehrsstärke und hoher Schwerverkehrsanteil als protektiv hinsichtlich einer hohen Unfallkostenrate, die Minderung der Chancen geht bis zu 41% (hohe Verkehrsstärke).

Keine Unterschiede zeigen sich zwischen Unterabschnitten mit und Unterabschnitten ohne Geschwindigkeitsbeschränkung, die deswegen aus dem Modell entfernt wird.

Sowohl Gefälle wie Steigung mindern ebenfalls moderat die Chance auf eine hohe Unfallkostenrate. Diese Chance steigt aber deutlich bei engeren Radien (bis auf ein OR von 1,91 im Extrem) und bei weiten Radien bzw. Geraden (auf ein OR von 1,62 im Extrem).

Tabelle 46: Ergebnisse Modell II: Hohe Unfallkostenrate auf den Unfallstrecken der Unterabschnitte

Unterabschnitte Unfallstrecken hohe Unfallkostenrate	Sig.	OR	95% Konfidenzintervall	
			Unterer Wert	Oberer Wert
Fahrbahn: Fernautobahn	0,00	0,78	0,70	0,85
Fahrbahn: 3streifig	0,00	0,64	0,59	0,69
Radius:	0,00			
bis 1.500 m	0,00	1,91	1,62	2,26
über 1.500 m bis 2.500 m	0,00	1,52	1,29	1,79
über 2.500 m bis 3.500 m	0,05	1,21	1,00	1,47
Ref: über 3.500 m bis 4.500 m				
über 4.500 m bis 5.500 m	0,35	1,11	0,89	1,38
über 5.500 m	0,01	1,25	1,06	1,48
keine Krümmung	0,00	1,62	1,38	1,89
Höhenverlauf	0,00			
Gefälle steiler als -3	0,04	0,89	0,79	1,00
Gefälle steiler als -2	0,01	0,84	0,73	0,96
Ref: eben - Neigung höchstens 2				
Steigung steiler als + 2	0,01	0,83	0,72	0,96
Steigung steiler als + 3	0,00	0,83	0,73	0,94
Verkehrsstärke: hoch	0,00	0,59	0,55	0,63
Schwerverkehrsanteil: hoch	0,03	0,91	0,84	0,99

Sig. = Signifikanz

OR = Odds Ratio

Modell III: sehr hohe Unfallkostenrate auf allen Unterabschnitten

In Modell III gehen 70.053 Fälle ein. Die Art der Autobahn macht keinen Unterschied. Auch die Verkehrsstärke und der Schwerverkehrsanteil können aus dem Modell entfernt werden. Dreistreifige Unterabschnitte weisen eine geringfügig (um 9%) erhöhte Chance auf, diese steigt weiter um den Faktor 1,15 bei einer Geschwindigkeitsbeschränkung.

Geschwindigkeitsbeschränkungen reduzieren die Chance auf eine höhere Unfallkostenrate. Bei dreistreifigen Unterabschnitten fällt dieser Effekt geringer aus.

Unterabschnitte mit Gefälle weisen durchgängig eine höhere Chance auf als ebene Unterabschnitte. Steigungen zeigen keinen Effekt. Engere Radien tangieren die Chance nicht, aber weitere Radien und Geraden sind mit einer höheren Chance assoziiert.

Tabelle 47: Ergebnisse Modell III: Sehr hohe Unfallkostenrate auf allen Unterabschnitten

Unterabschnitte sehr hohe Unfallkostenrate	Sig.	OR	95% Konfidenzintervall	
			Unterer Wert	Oberer Wert
Fahrbahn: 3streifig	0,04	1,09	1,00	1,19
Radius:	0,00			
bis 1.500 m	0,73	1,03	0,88	1,19
über 1.500 m bis 2.500 m	0,14	1,12	0,97	1,30
über 2.500 m bis 3.500 m	0,21	0,90	0,75	1,07
Ref: über 3.500 m bis 4.500 m				
über 4.500 m bis 5.500 m	0,38	1,09	0,90	1,33
über 5.500 m	0,02	1,19	1,02	1,39
keine Krümmung	0,01	1,22	1,06	1,41
Höhenverlauf	0,00			
Gefälle steiler als -3	0,00	1,21	1,10	1,34
Gefälle steiler als -2	0,02	1,15	1,02	1,29
Ref: eben - Neigung höchstens 2				
Steigung steiler als + 2	0,22	1,08	0,95	1,22
Steigung steiler als + 3	0,50	1,04	0,93	1,16
Geschwindigkeit: begrenzt	0,00	0,79	0,73	0,86
Effektmodifikation: Geschwindigkeitsbegrenzung und 3streifig	0,04	1,15	1,01	1,31

Sig. = Signifikanz

OR = Odds Ratio

Modell IV: sehr hohe Unfallkostenrate auf den Unfallstrecken der Unterabschnitte

In Modell IV gehen 16.709 Fälle ein. Unter allen Unterabschnitten, auf denen tatsächlich mindestens ein Unfall im betreffenden Jahr zu verzeichnen war, erweisen sich Fernautobahnen, Dreistreifigkeit, hohe Verkehrsstärke und hoher Schwerverkehrsanteil als protektiv hinsichtlich einer sehr hohen Unfallkostenrate. Der höchste Effekt ist mit einer hohen Verkehrsstärke assoziiert und beträgt 40%.

Keine Unterschiede zeigen sich zwischen Unterabschnitten mit und Unterabschnitten ohne Geschwindigkeitsbeschränkung, die deswegen aus dem Modell entfernt wird.

Sowohl Gefälle wie Steigung mindern die Chance auf eine sehr hohe Unfallkostenrate. Diese Chance steigt aber deutlich bei engeren Radien (bis auf ein OR von 1,93 im Extrem) und bei weiten Radien bzw. Geraden (auf ein OR von 1,62 im Extrem).

Tabelle 48: Ergebnisse Modell IV: Sehr hohe Unfallkostenrate auf den Unfallstrecken der Unterabschnitte

Unterabschnitte Unfallstrecken sehr hohe Unfallkostenrate	Sig.	OR	95% Konfidenzintervall	
			Unterer Wert	Oberer Wert
Autobahnart: Fernautobahn	0,00	0,77	0,70	0,85
Fahrbahn: 3streifig	0,00	0,64	0,59	0,69
Radius:	0,00			
bis 1.500 m	0,00	1,93	1,63	2,28
über 1.500 m bis 2.500 m	0,00	1,51	1,28	1,78
über 2.500 m bis 3.500 m	0,05	1,21	1,00	1,46
Ref: über 3.500 m bis 4.500 m				
über 4.500 m bis 5.500 m	0,35	1,11	0,89	1,38
über 5.500 m	0,01	1,25	1,06	1,48
keine Krümmung	0,00	1,62	1,38	1,90
Höhenverlauf	0,00			
Gefälle steiler als -3	0,05	0,89	0,79	1,00
Gefälle steiler als -2	0,01	0,84	0,73	0,96
Ref: eben - Neigung höchstens 2				
Steigung steiler als + 2	0,01	0,83	0,72	0,96
Steigung steiler als + 3	0,00	0,83	0,73	0,94
Verkehrsstärke: hoch	0,00	0,60	0,55	0,64
Schwerverkehrsanteil: hoch	0,03	0,91	0,84	0,99

Sig. = Signifikanz

OR = Odds Ratio

Modell V: Hohe Unfallkostenrate auf Abschnitten der knotenpunktfreien Strecken

In Modell VII gehen alle 14.082 Abschnitte der knotenpunktfreien Strecken ein. Bei Fernautobahnen ist eine geringe Erhöhung der Chance auf eine hohe Unfallkostenrate zu sehen. Dreistreifige Abschnitte weisen eine um den Faktor 1,33 erhöhte Chance auf.

Geschwindigkeitsbeschränkungen reduzieren die Chance auf eine hohe Unfallkostenrate um 17%. Eine hohe Verkehrsstärke führt zu einer mäßigen Erhöhung der Chance (OR=1,11) auf eine hohe Unfallkostenrate (verglichen mit Abschnitten mit niedriger Verkehrsstärke). Aus dem Modell entfernt wird die in jeder Hinsicht einflusslose Variable Schwerverkehrsanteil.

Ein eindeutiger Trend zeigt, dass mit höherer Welligkeit die Chance auf eine hohe Unfallkostenrate sinkt. Dasselbe gilt für die Kurvigkeit: Mit zunehmender Kurvigkeit fällt das OR bis auf einen Wert von 0,63 bei hoher Kurvigkeit.

Weitere Einflüsse sind nicht zu identifizieren, auch keine Effektmodifikationen, die gesonderte Betrachtung erfordern.

Tabelle 49: Ergebnisse Modell V: Hohe Unfallkostenrate auf Abschnitten der knotenpunktfreien Strecken

Freie Strecken hohe Unfallkostenrate	Sig.	OR	95% Konfidenzintervall	
			Unterer Wert	Oberer Wert
Autobahnart: Fernautobahn	0,10	1,09	0,98	1,21
Fahrbahn: 3streifig	0,00	1,33	1,23	1,43
Kurvigkeit	0,00			
Ref: minimal - bis 10 gon/km				
gering - über 10 gon/km bis 20 gon/km	0,00	0,82	0,75	0,90
mittlere - über 20 gon/km bis 30 gon/km	0,00	0,79	0,71	0,88
hohe - über 30 gon/km	0,00	0,63	0,56	0,70
Welligkeit	0,01			
Ref: minimal - bis 0,1 gon/km				
gering - über 0,1 gon/km bis 0,25 gon/km	0,97	1,00	0,90	1,11
mittlere - über 0,25 gon/km bis 0,75 gon/km	0,04	0,90	0,81	1,00
hohe - über 0,75 gon/km	0,01	0,87	0,79	0,96
Geschwindigkeit: begrenzt	0,00	0,83	0,77	0,90
Verkehrsstärke: hoch	0,01	1,11	1,03	1,20

ig. = Signifikanz

OR = Odds Ratio

Modell VI: Hohe Unfallkostenrate auf den Unfallstrecken der Abschnitte der knotenpunktfreien Strecken

In Modell VI gehen 8.829 Fälle ein. Unter allen Abschnitten, auf denen mindestens ein Unfall im betreffenden Jahr zu verzeichnen war, erweisen sich Dreistreifigkeit, Geschwindigkeitsbeschränkung und hohe Verkehrsstärke als protektiv hinsichtlich einer hohen Unfallkostenrate.

Die Welligkeit hat keinen Effekt auf die Chance einer hohen Unfallkostenrate. Eine geringe Kurvigkeit erweist sich als günstiger als minimale oder höhere Kurvigkeit.

Tabelle 50: Ergebnisse Modell VI: Hohe Unfallkostenrate auf den Unfallstrecken der Abschnitte der knotenpunktfreien Strecken

Freie Strecken Unfallstrecken hohe Unfallkostenrate	Sig.	OR	95% Konfidenzintervall	
			Unterer Wert	Oberer Wert
Fahrbahn: 3streifig	0,01	0,88	0,81	0,97
Kurvigkeit	0,01			
Ref: minimal - bis 10 gon/km				
gering - über 10 gon/km bis 20 gon/km	0,00	0,83	0,75	0,92
mittlere - über 20 gon/km bis 30 gon/km	0,47	0,96	0,84	1,08
hohe - über 30 gon/km	0,20	0,92	0,81	1,05
Welligkeit	0,24			
Ref: minimal - bis 0,1 gon/km				
gering - über 0,1 gon/km bis 0,25 gon/km	0,92	1,01	0,89	1,13
mittlere - über 0,25 gon/km bis 0,75 gon/km	0,64	0,97	0,86	1,10
hohe - über 0,75 gon/km	0,07	0,90	0,80	1,01
Geschwindigkeit: begrenzt	0,00	0,87	0,79	0,95
Verkehrsstärke: hoch	0,00	0,80	0,73	0,88

Sig. = Signifikanz

OR = Odds Ratio

Modell VII: sehr hohe Unfallkostenrate auf Abschnitten der knotenpunktfreien Strecken

In Modell VII gehen alle 14.082 Abschnitte ein. Es lassen sich kaum Einflussgrößen identifizieren. Lediglich ein hoher Schwerverkehrsanteil ist eindeutig protektiv, aber in geringem Ausmaß.

Hohe Kurvigkeit erscheint als günstiger als geringere Kurvigkeiten. Anders bei der Welligkeit: Die Chance für eine sehr hohe Unfallkostenrate steigt mit zunehmender Welligkeit.

Tabelle 51: Ergebnisse Modell VII: Sehr hohe Unfallkostenrate auf Abschnitten der knotenpunktfreien Strecken

Freie Strecken sehr hohe Unfallkostenrate	Sig.	OR	95% Konfidenzintervall	
			Unterer Wert	Oberer Wert
Kurvigkeit	0,00			
Ref: minimal - bis 10 gon/km				
gering - über 10 gon/km bis 20 gon/km	0,00	0,84	0,74	0,94
mittlere - über 20 gon/km bis 30 gon/km	0,06	0,88	0,77	1,00
hohe - über 30 gon/km	0,00	0,72	0,63	0,82
Welligkeit	0,00			
Ref: minimal - bis 0,1 gon/km				
gering - über 0,1 gon/km bis 0,25 gon/km	0,14	1,10	0,97	1,26
mittlere - über 0,25 gon/km bis 0,75 gon/km	0,02	1,17	1,03	1,33
hohe - über 0,75 gon/km	0,00	1,25	1,10	1,41
Schwerverkehrsanteil: hoch	0,01	0,85	0,76	0,96

Sig. = Signifikanz

OR = Odds Ratio

Modell VIII: sehr hohe Unfallkostenrate auf den Unfallstrecken der Abschnitte der knotenpunktfreien Strecken

In Modell VIII gehen wieder 8.829 Fälle ein. Unter allen Abschnitten, auf denen mindestens ein Unfall im betreffenden Jahr zu verzeichnen war, erweisen sich Fernautobahn, Dreistreifigkeit, Geschwindigkeitsbeschränkung, hohe Verkehrsstärke und ein hoher Schwerverkehrsanteil als protektiv hinsichtlich einer sehr hohen Unfallkostenrate. Aufgrund einer Effektmodifikation sind die Wirkungen von Geschwindigkeitsbeschränkung (bei Dreistreifigkeit) und Dreistreifigkeit (bei Geschwindigkeitsbeschränkung) zum Teil aufgehoben. Mit zunehmender Welligkeit steigt die Chance auf eine sehr hohe Unfallkostenrate. Am günstigsten ist eine geringe Kurvigkeit, bei noch kleinerer oder höherer Kurvigkeit steigt die Chance auf eine sehr hohe Unfallkostenrate.

Tabelle 52: Ergebnisse Modell VIII: Sehr hohe Unfallkostenrate auf den Unfallstrecken der Abschnitte der knotenpunktfreien Strecken

Freie Strecken Unfallstrecken sehr hohe Unfallkostenrate	Sig.	OR	95% Konfidenzintervall	
			Unterer Wert	Oberer Wert
Autobahnart: Fernautobahn	0,05	0,87	0,76	1,00
Fahrbahn: 3streifig	0,00	0,65	0,56	0,76
Kurvigkeit	0,04			
Ref: minimal - bis 10 gon/km				
gering - über 10 gon/km bis 20 gon/km	0,02	0,87	0,77	0,98
mittlere - über 20 gon/km bis 30 gon/km	0,66	1,03	0,90	1,19
hohe - über 30 gon/km	0,90	1,01	0,87	1,17
Welligkeit	0,00			
Ref: minimal - bis 0,1 gon/km				
gering - über 0,1 gon/km bis 0,25 gon/km	0,09	1,13	0,98	1,30
mittlere - über 0,25 gon/km bis 0,75 gon/km	0,00	1,29	1,12	1,48
hohe - über 0,75 gon/km	0,00	1,35	1,19	1,54
Geschwindigkeit: begrenzt	0,18	0,92	0,81	1,04
Verkehrsstärke: hoch	0,00	0,72	0,65	0,80
Schwerverkehrsanteil: hoch	0,00	0,79	0,69	0,89
Effektmodifikation: Geschwindigkeitsbegrenzung und 3streifig	0,02	1,29	1,05	1,60

Sig. = Signifikanz

OR = Odds Ratio



Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V.
Wilhelmstraße 43 / 43 G, 10117 Berlin
Postfach 08 02 64, 10002 Berlin
Tel. 030 2020-5000, Fax 030 2020-6000
www.gdv.de, berlin@gdv.de