

**Fachveröffentlichung der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

bast

Maßnahmen zur Vermeidung von Abkommensunfällen auf BAB

FE 03.0473/2011/CRB

Schlussbericht

Auftragnehmer:

Professur für Integrierte Verkehrsplanung und Straßenverkehrstechnik
der Technischen Universität Dresden

in Zusammenarbeit mit der

Professur für Gestaltung von Straßenverkehrsanlagen
der Technischen Universität Dresden

Bearbeiter:

Dipl.-Ing. Martin Bärwolff
Dr.-Ing. Ralf Berger
Prof. Dr.-Ing. Christian Lippold
Dr.-Ing. Martin Schmotz
Dipl.-Ing. Juliane Martin
Dipl.-Ing. Bettina Schröter

im Auftrag der
Bundesanstalt für
Straßenwesen

Dresden, Oktober 2019

Kurzfassung

Die Einsatzkriterien von Fahrzeug-Rückhaltesystemen nach den Richtlinien für passiven Schutz an Straßen durch Fahrzeug-Rückhaltesysteme (RPS 2009) beruhen u. a. auf einer Einschätzung der Abkommenswahrscheinlichkeit. Bislang existieren jedoch keine konkreten Kriterien zur Bewertung der Abkommenswahrscheinlichkeit. Ziel dieses Forschungsvorhabens war es, den Einfluss bestimmter Infrastruktur- und Betriebscharakteristika auf das Abkommensunfallgeschehen an Autobahnen zu untersuchen.

Die aus der Literatur bekannten sowie weitere mutmaßliche Einflussgrößen bildeten die Grundlage für die Zusammenstellung eines knapp 2.000 km langen Streckenkollektivs. Anschließend wurden die Streckenmerkmale über eigene Befahrungen erhoben und mit Daten aus den Straßeninformationsbanken, der Zustandserfassung und -bewertung (ZEB) auf Bundesfernstraßen sowie den Unfalldaten zusammengeführt.

Der Einfluss der aufbereiteten Infrastruktur- und Betriebscharakteristika auf die Häufigkeit potenzieller Abkommensunfälle wurde mithilfe multivariater Regressionsmodelle identifiziert und quantifiziert, die auch nichtlineare Einflüsse auf das Unfallgeschehen abbilden können. In deskriptiven Analysen wurde zudem der Anteil potenzieller Abkommensunfälle am Gesamtunfallgeschehen auf Autobahnen eingeordnet und die Unfallschwere analysiert.

Als Ergebnis sollte aus dem Forschungsvorhaben ein mit dem Betreuerkreis abgestimmtes, unabhängig getestetes und mit einzelnen Straßenbauverwaltungen diskutiertes Verfahren zur Identifikation von Streckenabschnitten mit erhöhter Abkommenswahrscheinlichkeit hervorgehen. In Form eines proaktiven Ansatzes sollte das Verfahren auch angewendet werden können, ohne dass auf dem Abschnitt

erst Abkommensunfälle abgewartet werden müssen.

Bei der testweisen Anwendung zeigte sich, dass das entwickelte Verfahren nur eingeschränkt zur Vorhersage von Unfallhäufungsstellen mit einem relevanten Anteil an Abkommensunfällen geeignet ist. Es wird angenommen, dass das Abkommens-Unfallgeschehen zu stark von nicht infrastrukturellen Faktoren (Fahrzeug, Mensch) abhängt. Analysen auf Basis der polizeilichen Unfalldaten werden für dieses Unfallkollektiv als zielführender eingeschätzt.

Abstract

According to the guidelines for passive protection on roads by vehicle restraint systems (RPS 2009), one of the criteria for the installation of protection barriers is an evaluation of the "run-off-road probability". So far, however, there are no concrete criteria to classify locations in this regard. The aim of this research project was to investigate the influence of certain infrastructure and operating characteristics on run-off-road (ROR) accidents on motorways.

For the investigation, nearly 2,000 km of motorways were selected taking into account the findings from literature as well as other presumed influencing factors. Subsequently, the route characteristics were collected specifically for the project and merged with data from the road information databases, the condition recording and evaluation (ZEB) on federal motorways and accident data.

The influence of the infrastructure and operating characteristics on the frequency of potential ROR accidents was identified and quantified with the help of multivariate regression models, which can also depict non-linear influences. Descriptive analyses also classified the share of potential ROR accidents in all accidents on motorways and analysed their severity.

The aim of the research project was to develop a procedure to identify sections with a higher ROR probability, which should be coordinated with the project supervisors, independently tested and discussed with specific road authorities. As a proactive approach, the procedure was intended to be applied without waiting for ROR accidents to occur.

During test applications the developed procedure showed only limited suitability for the prediction of accident black spots with a relevant share of ROR accidents. The authors assume, that ROR accidents strongly depend on non-infrastructural factors (vehicle, driver). Analyzes based on local police accident data are considered to be more effective for these accidents.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	7	3.9	Unfalldaten	32	
1 Einleitung	8	3.10	Aufbereitetes Streckenkollektiv	34	
1.1	Ausgangslage	8	4 Unfallmodelle.....	36	
1.2	Ziel	8	4.1	Modellerstellung	36
1.3	Untersuchungsablauf	9	4.2	Modellergebnisse	41
2 Literaturanalyse	11	4.3	Modellqualität	53	
2.1	Einfluss ausgewählter Entwurfparameter.....	11	4.4	Zusammenfassung.....	56
2.2	Einfluss von betrieblichen und verkehrlichen Merkmalen	15	5 Deskriptive Unfallanalyse.....	57	
2.3	Einflüsse der Ausstattung und des Umfeldes	18	5.1	Methodisches Vorgehen.....	57
2.4	Einfluss der Fahrbahnoberfläche auf die Verkehrssicherheit.....	20	5.2	Unfallniveau.....	59
2.5	Zusammenfassung.....	20	5.3	Unfallschwere.....	62
3 Datenerhebung und -aufbereitung	23	5.4	Deskriptive Analyse der Knotenpunktbereiche	62	
3.1	Zusammenstellung Streckenkollektiv	23	5.5	Zusammenfassung.....	65
3.2	Daten zu Betriebsform, Achse und Gradienten aus Befahrungen	28	6 Verfahren zur Bestimmung einer erhöhten Abkommens- wahrscheinlichkeit	67	
3.3	Netzeinteilung	29	6.1	Ableitung des Verfahrens	67
3.4	Quer- und Längsneigungsdaten aus den SIB	30	6.2	Testweise Anwendung des Verfahrens	69
3.5	Griffigkeitsdaten	30	6.3	Beurteilung des Verfahrens.....	70
3.6	Verkehrsstärkedaten	31	7 Empfehlungen für die Praxis.....	71	
3.7	Siedlungsstrukturdaten	31	8 Fazit und Ausblick	73	
3.8	Baustellendaten	32	8.1	Fazit	73
			8.2	Ausblick.....	75
			9 Literaturverzeichnis	76	

10 **Abbildungsverzeichnis.....I**

11 **TabellenverzeichnisIII**

12 **Verzeichnis der Anhänge V**

Abkürzungsverzeichnis

AO	Außerorts	U _{Typ1}	Unfälle des Unfalltyps 1
BAB	Bundesautobahn	U _{Typ6Art3,8,9}	Unfälle des Unfalltyps 6 mit Unfallart 3, 8 oder 9
BASt	Bundesanstalt für Straßenwesen	UD	Unfalldichte [U/(km*a)]
EDV	Elektronische Datenverarbeitung	UH	Unfallhäufung
ESN	Empfehlungen für die Sicherheitsanalyse von Straßennetzen	UKD	Unfallkostendichte [10 ^{3€} /km*a]
EUSka	Elektronische Unfalltypen-Steckkarte	UKR	Unfallkostenrate [€/(10 ³ Kfz*km*a)]
FGSV	Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen	UR	Unfallrate [U/(10 ⁶ Kfz*km*a)]
GLM	Generalisierte bzw. Verallgemeinerte Lineare Modelle	U(LS)	Sonstiger Unfall mit Sachschaden
IO	Innerorts	U(LV)	Unfall mit Leichtverletzten
KP	Knotenpunkt	U(P)	Unfall mit Personenschaden
PSE	passive Schutzeinrichtungen bzw. Fahrzeug-Rückhaltesysteme	U(SP)	Unfall mit schwerem Personenschaden
ROR	Run off Road accidents	U(SS)	Unfall mit schwerwiegendem Sachschaden
SIB	Straßeninformationsbanken	VBA	Verkehrsbeeinflussungsanlage
StVO	Straßenverkehrsordnung	V	Verunglückte
U	Unfall	V _{zul}	Zulässige Höchstgeschwindigkeit
U _{Abk}	Abkommensunfälle nach Definition dieses Forschungsvorhabens (Unfälle des Unfalltyps 1 oder Unfalltyps 6 mit Unfallart 3, 8 oder 9)	Z	(Verkehrs-) Zeichen nach StVO
		ZEB	Zustandserfassung und -bewertung

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Im Jahr 2015 wurden in Deutschland auf Autobahnen 20.113 Unfälle mit Personenschaden registriert, davon 4.579 Unfälle mit schwerem Personenschaden. Die Unfallart „Abkommen von der Fahrbahn“ stellt bei den Unfällen mit Personenschaden mit 36,6 % nach dem „Zusammenstoß mit einem Fahrzeug, das vorausfährt oder wartet“ die zweithäufigste Unfallart dar (DESTATIS, 2016). Abkommensunfälle nach links führen demnach gegenüber den Abkommensunfällen nach rechts tendenziell zu einer geringeren Unfallschwere. So kam es bei 35 % der Unfälle mit Personenschaden, denen ein Abkommen nach rechts vorausgegangen war, zu schwerem Personenschaden. Bei Unfällen mit einem Abkommen nach links waren es hingegen nur 27 %. Die Autoren einer Studie aus dem Jahr 1985 vermuten, dass die durchgängige Ausstattung der Mittelstreifen mit passiven Schutzeinrichtungen der Grund für die geringere Unfallschwere beim Abkommen nach links ist (DOMHAN 1985).

Eine Untersuchung von FLUNKERT/GERLACH (2010) zeigte, dass Unfällen mit einem Durchbruch der Schutzeinrichtung in Mittellage zumeist Abkommensunfälle nach links – und in geringerem Maße auch Abkommensunfälle nach rechts – vorausgegangen waren. Aus der Untersuchung geht darüber hinaus hervor, dass diese Unfälle zwar relativ selten, jedoch häufig mit einer besonderen Schwere verbunden sind, da meist Fahrzeuge des Schwerverkehrs beteiligt sind. Es wird deutlich, welche hohe Bedeutung die Vermeidung von Unfällen der Unfallart „Abkommen von der Fahrbahn nach rechts/links“ für die Verkehrssicherheit hat. Die Ursachen für Abkommensunfälle sind unterschiedlicher Natur. Generell wird das Fahrverhalten der Fahrzeugführenden über einen Regelkreis beschrieben. Dieser resultiert aus dem Zu-

sammenwirken zwischen dem Fahrzeugführenden, dem Fahrzeug und dem Fahrraum (DURTH, 1974). Aus Untersuchungen, wie z. B. von BERGER (2016) und HELLER (2015), geht hervor, dass vor allem infrastrukturelle Einflussgrößen, wie die Kurvigkeit, die Längsneigung, die Verkehrsstärken und die Griffigkeit, einen maßgebenden Einfluss auf die Verkehrssicherheit von Außerortsstraßen haben. Vertiefende Untersuchungen zu den Einflussgrößen auf Unfälle mit einem Abkommen von der Fahrbahn nach rechts/links liegen derzeit noch nicht vor. Die Kenntnis zu maßgebenden Einflussgrößen ist dabei von großem Interesse, um wirksame Maßnahmen zur Vermeidung bzw. zur Folgeminderung von Abkommensunfällen empfehlen zu können.

1.2 Ziel

Als Ziel des Projektes soll ein anwenderfreundliches Verfahren entwickelt werden, das zur Bestimmung von Autobahnabschnitten dient, die ein besonderes Gefährdungspotenzial für das Auftreten von Abkommensunfällen aufweisen. Für diese Abschnitte soll das Verfahren einen Ansatz enthalten, Maßnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit auf Basis der identifizierten defizitären Merkmale abzuleiten. Die Identifikation und Quantifizierung dieser Merkmale beruht dabei auf der Anwendung multivariater Regressionen. Abschließend soll das Verfahren an ausgewählten Autobahnabschnitten angewendet und auf seine Praktikabilität überprüft werden. Das entwickelte Verfahren soll für die Fortschreibung von Regelwerken und für konkrete Maßnahmenentscheidungen in der Entwurfspraxis dienen.

Das volkswirtschaftlich erwartete Nutzenpotenzial besteht allgemein in der Verbesserung der Verkehrssicherheit auf Autobahnen und der besseren Erkennbarkeit, Vermeidbarkeit bzw. Beseitigung von Unfallschwerpunkten oder Abschnitten mit einem hohen Potential zur Verbesserung der Verkehrssicherheit und

damit in der Reduzierung volkswirtschaftlicher Kosten, die aus Abkommensunfällen resultieren. Wissenschaftlich sollen Erkenntnisse zur Verkehrssicherheit auf Autobahnen gewonnen bzw. vertieft werden, die bei der Gestaltung von Autobahnen Berücksichtigung finden können.

1.3 Untersuchungsablauf

Das methodische Vorgehen in der Untersuchung ist in Abbildung 1 dargestellt. Das Untersuchungsdesign enthält sieben Arbeitsschritte, die aufeinander inhaltlich aufbauen.

In Deutschland liegen bisher nur wenige Untersuchungen über die Zusammenhänge zwischen den streckengeometrischen sowie fahrverhaltensrelevanten Merkmalen und dem Unfallgeschehen auf Autobahnen vor. Die Verkehrssicherheit wird durch das Zusammenspiel von Fahrer, Fahrzeug und Fahrraum bestimmt. Im Rahmen der Literaturanalyse im folgenden Kapitel wird ein Überblick über den aktuellen Kenntnisstand zu mutmaßlichen und nachgewiesenen Einflussgrößen bezüglich Abkommensunfällen sowie Unfällen, deren Charakteristika Abkommensunfällen ähneln, gegeben. Ein besonderes Augenmerk liegt hierbei auf der Anwendung multivariater statistischer Verfahren. Die Übertragbarkeit internationaler Erkenntnisse wird geprüft. Als Ergebnis werden alle potentiellen Einflussgrößen zusammengestellt.

Diese aus der Literatur bekannten sowie weitere mutmaßliche Einflussgrößen sollen die Grundlage für die Zusammenstellung des zu untersuchenden Kollektivs bilden und anschließend auf deren unfallbegünstigende Wirkung überprüft werden (Kapitel 3.1). Die Zusammenstellung des Streckenkollektivs

setzt sich dabei aus drei Auswahlebenen zusammen.

Eine einheitliche und vollständige Datenbank ist das notwendige Grundgerüst für die Anwendung multivariater Regressionsmodelle. Deshalb werden im Anschluss die Streckenmerkmale über die Befahrungen erhoben und mit Daten aus den SIB, der ZEB sowie den Unfalldaten zusammengeführt (Kapitel 3.2 bis 3.9).

Inhalt des Bearbeitungsschrittes Modellerstellung ist es, aussagekräftige Modelle zur Erklärung von Abkommensunfällen zu erstellen und damit nachweisbare Einflussfaktoren auf das Unfallgeschehen sowohl zu identifizieren als auch zu quantifizieren (Kapitel 4). Mit deskriptiven Analysen soll zudem das Niveau des Abkommensunfallgeschehens auf BAB eingeordnet und die Unfallstruktur analysiert werden (Kapitel 5).

Die anschließende Ableitung des Verfahrens zur Identifikation auffälliger Autobahnabschnitte beruht auf einer Prüfung der als maßgebend erkannten Einflussgrößen (Kapitel 6.1).

Die Überprüfung und Optimierung des erarbeiteten Verfahrens erfolgt mehrstufig. Zum einen wird das mit den Fachbetreuern final abgestimmte Verfahren durch unabhängige Personen angewendet und gegebenenfalls angepasst, um die Anwendbarkeit zu gewährleisten und den Zeitaufwand zu minimieren. Zum anderen werden die Verfahrensergebnisse ausgewählter Streckenzüge mit den jeweiligen Unfalldaten abgeglichen sowie mit Mitgliedern der zuständigen Verwaltungen diskutiert (Kapitel 6.2).

Arbeitsschritt	Vorgehen	Ergebnis
Literaturanalyse	- Sichtung nationaler und internationaler (übertragbarer) Quellen	- Übersicht zu potenziellen Einflussgrößen
Aufstellung pot. Einflussfaktoren	- Klassifizierung und Kategorisierung als maßgebend angesehener Einflussfaktoren	- Liste zu betrachtender potenzieller Einflussgrößen
Zusammenstellung Streckenkollektiv	<p>1. Vorauswahl</p> <ul style="list-style-type: none"> - Auswahl geeigneter Bundesländer (5 bis 8 Stück) <p>2. Vorauswahl</p> <ul style="list-style-type: none"> - Auswahl von 4.000 km Richtungsfahrbahn - Anfrage Daten (SIB, ZEB, Unfalldaten) für dieses Kollektiv <p>Finale Auswahl</p> <ul style="list-style-type: none"> - Auswahl von ca. 2.000 km Richtungsfahrbahn - Auswahl auf Basis der Sichtung der Daten (Umfang Merkmale) 	<ul style="list-style-type: none"> - Zusammenstellung Untersuchungskollektiv (2.000 km Länge) - Berücksichtigung der Streckeneigenschaften für Modellerstellung
Erhebung der maßgebenden Merkmale	<ul style="list-style-type: none"> - Zuordnung der Merkmale aus SIB, ZEB, Unfalldatenbanken zu Streckenabschnitten - Streckenbefahrung und Fotodokumentation - Nachtrassierung Elemente Höhen-, Lageplan - Gliederung Netzabschnitte (KP, Einflussbereich, freie Strecke) 	<ul style="list-style-type: none"> - Datenbank für Streckenabschnitte - Einheitliche Datengrundlage auf Basis der Befahrungen und Nachtrassierung - Kollektive zwei- und dreistreifig
Modellerstellung	<ul style="list-style-type: none"> - Erstellung von Unfallmodellen (GLM) - Trennung der Kollektive nach <ul style="list-style-type: none"> - Fahrzeugart - Fahrstreifenanzahl des Querschnitts - Differenzierung Unfallgeschehen nach Unfalltyp, Unfallumstand „Nässe/Glätte“ und ggf. nach Unfallschwere 	<ul style="list-style-type: none"> - Modelle zur Erklärung von Einflussgrößen - Identifikation und Quantifizierung signifikanter Einflussgrößen - Definition gefährdeter Abschnitte
Ableitung eines Verfahrens	<ul style="list-style-type: none"> - Priorisierung und Kategorisierung der identifizierten Einflüsse - Beschreibung/Verknüpfung der Einflussgrößen als/zu Defizite - Zuordnung von Maßnahmen zu Defiziten - Erstellen Verfahren zu Überprüfung von Abschnitten und Ableitung geeigneter Maßnahmen 	<ul style="list-style-type: none"> - Verfahren zur Überprüfung von Defiziten → Ableitung gefährdeter Strecken - Maßnahmenauswahl anhand erkannter Defizite
Anwendung des Verfahrens	<ul style="list-style-type: none"> - Validierung auf Basis vorgehaltenen Kollektivs - Anwendung/Erprobung an ausgewählten Strecken in der Praxis - Ggf. Anpassung auf Basis der Empfehlungen aus der Praxis 	<ul style="list-style-type: none"> - Bereitstellung eines validen praktikablen Verfahrens

Abbildung 1: Methodik Untersuchungsablauf

2 Literaturanalyse

Die folgende Literaturanalyse berücksichtigt Untersuchungen, denen das gesamte Unfallgeschehen auf BAB zu Grunde liegt. Wurden in der Untersuchung gezielt Abkommensunfälle analysiert, wird dies jeweils erwähnt.

Zudem enthält die Literaturanalyse Erkenntnisse sowohl aus monokausalen als auch aus multikausalen Untersuchungen. Ergebnisse aus multikausalen Untersuchungen werden in der Literaturanalyse entsprechend erwähnt, nähere Informationen zu multikausalen Untersuchungen befinden sich in Kapitel 4 sowie in Anhang C.

In der Literaturanalyse wurden auch Forschungsergebnisse zu vierstreifigen Richtungsfahrbahnen von BAB sowie von Landstraßen berücksichtigt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass diese Strecken zum Teil deutliche Unterschiede bezüglich Trassierung und Fahrverhalten aufweisen und die Ergebnisse nur beschränkt auf zwei- und dreistreifige Richtungsfahrbahnen auf BAB übertragbar sind.

2.1 Einfluss ausgewählter Entwurfsparameter

2.1.1 Querschnitt

Bei der vorliegenden Untersuchung sollen infrastrukturelle Einflussgrößen auf die Verkehrssicherheit von Autobahnen mit zwei- und dreistreifigen Richtungsfahrbahnen genauer betrachtet werden.

Bezüglich der Ausprägung der Unfallkenngrößen dieser beiden Kollektive finden sich in der Literatur teils unterschiedliche Angaben. Im Rahmen einer streckenbezogenen Unfallanalyse ermittelten PÖPPEL-DECKER U. A. (2003) Unfallraten und Unfallkostenraten für zwei- und dreistreifige Richtungsfahrbahnen. Für Unfälle der Unfallkategorien 1 bis 4 ergaben sich für dreistreifige Richtungsfahrbahnen

geringfügig höhere Unfallraten als bei zweistreifigen Richtungsfahrbahnen, die Unfallkostenraten dreistreifiger Richtungsfahrbahnen lagen hingegen leicht unter denen der zweistreifigen Richtungsfahrbahnen. Bei den von LEMKE (2007) vier Jahre später durchgeführten streckenbezogenen Unfallanalysen wurden für zweistreifigen Richtungsfahrbahnen ebenfalls geringere Unfallraten ermittelt, jedoch wurde den dreistreifigen Richtungsfahrbahnen die höhere Unfallkostenrate zugewiesen. Die Autorin führt diese Abweichung auf das wesentlich kleinere Untersuchungskollektiv der sechsstreifigen Querschnitte zurück. Aus der empirischen Analyse von BARK U. A. (2015) geht hervor, dass die Unterschiede in der Unfallkostenrate zwischen zwei- und dreistreifigen Richtungsfahrbahnen marginal sind.

Bei seiner Untersuchung zum Einfluss baulicher Parameter auf die Verkehrssicherheit hat BRÜHNING (1977) festgestellt, dass das Vorhandensein eines Seitenstreifens auf zweistreifigen Richtungsfahrbahnen zu geringeren Unfallraten führt. Bei HEIDEMANN U. A. (1998) zeigten sich diese Tendenzen auch auf dreistreifigen Richtungsfahrbahnen. Diese Ergebnisse wurden von BARK U. A. (2015) bestätigt. BARK U. A. wiesen darüber hinaus nach, dass schmale Seitenstreifen (unter 2,25 m) eine Zunahme der Unfallhäufigkeit zur Folge hatten.

Weiterhin zeigte die Untersuchung von HEIDEMANN U. A. (1998), dass die Unfallrate bei Strecken ohne Seitenstreifen mit zunehmendem Lkw-Anteil steigt, wohingegen die Unfallrate bei Strecken mit Seitenstreifen mit zunehmendem Lkw-Anteil konstant bleibt. Zudem stellten die Autoren fest, dass Fahrstreifenbreiten unter 3,75 m zu einer höheren Unfallhäufigkeit führen.

Im Rahmen der Untersuchung von BRILON U. A. (2007) wurden Autobahnen mit vierstreifigen Richtungsfahrbahnen u.a. im Hinblick auf die Entwurfsmerkmale analysiert. Die Vermutung, dass ein Seitenstreifen auf

der linken Seite der Richtungsfahrbahn notwendig wird, da Pannenfahrzeuge eventuell nicht mehr auf den rechten Seitenstreifen ausweichen können, wurde dabei nicht bestätigt. Der RQ 43,5 wurde somit bestätigt.

2.1.2 Kurvenradien

In seiner Untersuchung zum Unfallgeschehen auf ausgewählten vierstreifigen Abschnitten der A 72 stellte REINHARD (2003) fest, dass die Unfallkostendichte bei Kurvenradien unter 1.000 m sehr hoch ist, mit Zunahme der Kurvenradien aber sinkt. Ab einem Kurvenradius von 1.100 m zeigten sich für Fahrurfälle annähernd gleichbleibende Unfallkostendichten.

REINHARD (2003) beobachtete ebenfalls, dass das Unfallgeschehen bei gleichgerichteten Kurven mit kurzen Zwischengeraden abhängig von der Größe der Radien und der Länge der Zwischengeraden ist. Bei zunehmenden Werten dieser beiden Größen zeigte sich eine Abnahme der Unfallanzahl.

Bei der Untersuchung der Auswirkungen von geringen Sichtweiten in Linkskurven durch KRÜGER U.A. (2004) konnte festgestellt werden, dass sich Links- und Rechtskurven mit einem Radius über 1.000 m bezüglich ihres Unfallrisikos kaum unterscheiden. Bei Radien unter 1.000 m zeigten Linkskurven mit Sichtbehinderungen bezüglich der Fahrurfälle ein deutlich höheres Unfallrisiko als die gegenüberliegenden Rechtskurven, ebenso gegenüber Linkskurven ohne Sichtbehinderungen.

Bei einer weiteren Unterteilung des Untersuchungskollektivs in zwei- und dreistreifige Abschnitte wurde festgestellt, dass Kurven in dreistreifigen Abschnitten ein höheres Unfallrisiko aufweisen als in zweistreifigen Abschnitten. Auch hier waren die Linkskurven unsicherer als die Rechtskurven. Eine Erklärung hierfür konnten die Autoren nicht geben, da Einflüsse durch Geschwindigkeitsbeschränkungen und Entwässerungsprobleme ausgeschlossen werden konnten.

LIPPOLD U.A. (2011) untersuchten Entwurfsparameter im Hinblick auf den sicheren sechsstreifigen Ausbau von Autobahnen. Hierbei zeigte sich ein deutlicher Anstieg von Unfallrate und Unfallschwere ab Richtungsänderungswinkeln von 37,5 gon. Ebenso war festzustellen, dass Radien bis 1.200 m dann gefährlich sind, wenn deren Richtungsänderungswinkel für den Fahrer „unerwartet groß“ ist. Dies untermauert die Aussage der „Richtlinien für passiven Schutz an Straßen durch Fahrzeug-Rückhaltesysteme (RPS)“ (FGSV 2009). Demnach weisen „Strecken mit untypisch großen Richtungsänderungen“ eine erhöhte Abkommenswahrscheinlichkeit auf.

2.1.3 Kurvigkeit

REINHARD (2003) beobachtete in seiner Untersuchung eine Zunahme von Fahrurfällen ab einer Kurvigkeit von 40 gon/km, jedoch keine Zunahme von Unfällen im Längsverkehr.

Die Untersuchung von BARK U. A. (2015) zeigte, dass mit einem Anstieg der Kurvigkeit (gon/km) und der absoluten Hügeligkeit (%) die Unfallhäufigkeit steigt. Da beide Größen mittelstark miteinander korrelieren, sei eine klare Zuordnung, welche von beiden Größen zur Erhöhung beiträgt, nicht zweifelsfrei möglich.

PETRITSCH U. A. (2007) haben die Zusammenhänge zwischen der Verkehrssicherheit sowie den geometrischen und betrieblichen Merkmalen von sechsstreifigen Fahrbahnen in Florida untersucht. Als Einflussfaktoren haben sie u. a. die Kurvigkeit identifiziert, es zeigten sich jedoch divergierende Einflüsse. So verringerte die Kurvigkeit einer Strecke zwar die Anzahl der Unfälle mit Sach- und leichten Personenschäden, erhöhte jedoch solche mit schweren Personenschäden. Die Autoren vermuten, dass eine höhere Kurvigkeit die Wahrscheinlichkeit eines Unfalls verringert, die Unfallfolgen jedoch erhöht.

Die Untersuchungen an Landstraßen von KREBS/KLÖCKNER (1977) und LEUTZ-

BACH/ZOELLMER (1989) zeigten übereinstimmend eine generelle leichte Zunahme der Unfallkennzahlen mit zunehmender Kurvigkeit einer Strecke. LEUTZBACH/ZOELLMER (1989) stellten darüber hinaus fest, dass sich die Kurvigkeit sowohl bei den Unfalltypen 1 und 6 als auch bei nasser/glatter Fahrbahn gegenüber anderen Unfalltypen bzw. Fahrbahnzuständen deutlich ungünstiger auswirkt. Im Vergleich zur Größe der Kurvenradien schrieben die Autoren der Kurvigkeit einen geringeren Einfluss auf das Unfallgeschehen zu. Auch wenn auf Landstraßen ein anderes Fahrverhalten vorliegt und kleinere Trassierungsparameter verwendet werden, so können die Ergebnisse der Untersuchungen in ihren Tendenzen auch auf Autobahnen übertragen werden.

2.1.4 Elementfolgen

Die Untersuchung von LIPPOLD U.A. (2011) zeigte, dass Unfallraten sowie Unfallkostenraten bei der Elementfolge Gerade – Kreisbogen erhöht werden, wenn Radien von $1.000 \text{ m} \leq R \leq 1.500 \text{ m}$ auf Geraden mit $L < 1.000 \text{ m}$ folgten. Dies galt in besonderem Maße für Unfälle des Unfalltyps 1.

Im Hinblick auf die Elementfolge Kreisbogen - Gerade - Kreisbogen ergab die Untersuchung von REINHARD (2003), dass die Abfolge kleiner, gleichgerichteter Radien bis 1.000 m in Verbindung mit kurzen Zwischengeraden von etwa 400 m als kritisch zu bewerten ist. Dies gilt insbesondere für Elementfolgen, bei denen $R_2 < R_1$ (Korbbogeneffekte). Die Länge einer als kritisch zu bewertenden Zwischengeraden nimmt mit steigendem Radius ab. Bei Radien mit $R \geq 1.500 \text{ m}$ liegt diese bei etwa 200 m.

2.1.5 Querneigung und Entwässerung

LAMM U.A. (1985) haben Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen Geradenabschnitten oder großen Radien ($R \geq 10.000 \text{ m}$) und dem Unfallgeschehen auf Autobahnen durchgeführt. Dabei haben sie sich

speziell auf unterschiedliche positive Querneigungen von $q = 1,5 \%$ bis $q = 2,5 \%$ konzentriert. Ergebnis war, dass mit zunehmender positiver Querneigung auch das Unfallrisiko steigt. Der Anstieg der Unfallkostenrate ist bei Fahrunfällen ausgeprägter als der des Gesamtunfallkollektivs.

LIPPOLD U. A. (2013) haben Untersuchungen zur Vermeidung von entwässerungsschwachen Zonen auf Autobahnen durchgeführt. Dazu haben sie die Möglichkeiten der Schrägverwindung und der negativen Querneigung untersucht, wobei sie u. a. das Unfallgeschehen analysiert haben. Es wurde festgestellt, dass bei der Schrägverwindung keine Auffälligkeiten vorlagen. Die Schrägverwindung ist sicherer als eine Standardverwindung. Bei der Anordnung einer negativen Querneigung hat sich ergeben, dass die Verkehrssicherheit von Radien mit negativer Querneigung bei steigender Geschwindigkeit abnimmt. Das Unfallaufkommen ist in Kurven mit negativer Querneigung im Vergleich zu Abschnitten, die keine negative Querneigung haben, unauffällig.

Im Vergleich zwischen Schrägverwindung und negativer Querneigung empfehlen die Autoren den Einsatz von negativen Querneigungen bei Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit. Bei höheren Geschwindigkeiten jenseits 130 km/h erwiesen sich die Schrägverwindungen als sicherer.

Bei der Anlage von negativen Querneigungen sind grundsätzlich die Vorgaben der RAA 2008 zu den Mindestradien zu beachten (4.000 m bei EKA 1A). In den Defizitlisten der R SAS (FGSV 2019) werden negative Querneigungen auf Autobahnen bei Radien $R < 3.000 \text{ m}$ in den Auditphasen 1 bis 3 als mögliches Defizit aufgeführt.

Auch BARK U. A. (2015) weisen einen deutlichen Einfluss des Auftretens entwässerungsschwacher Zonen auf die Unfallhäufigkeit nach. Entwässerungsschwache Zonen wurden dabei durch eine Schrägneigung $p < 1 \%$ definiert.

2.1.6 Längsneigungen

Aus Unfalluntersuchungen an Landstraßen ist bekannt, dass aus der Zunahme der Längsneigung ein Anstieg der Unfallrate folgt. Bezüglich der Größenordnung gibt es jedoch teils unterschiedliche Erkenntnisse.

KREBS/KLÖCKNER (1977) stellten fest, dass Längsneigungen unter 1,0 % unterdurchschnittlich häufig von Unfällen betroffen sind, es oberhalb von 1,0 % zu einer leichten Zunahme der Unfallrate kommt. Erst ab 7 % steigt die Unfallrate deutlich an. LEUTZ-BACH/ZOELLNER (1989) hingegen fanden heraus, dass die Zunahme des Unfallrisikos bis 3,0 – 4,0 % am stärksten ausgeprägt ist. Darüber hinaus stellten sie fest, dass sich der negative Einfluss der Längsneigung vor allem bei geringer Verkehrsstärke und großen Fahrbahnbreiten manifestiert. HIERSCHKE U. A. (1984) stellten im Bereich von – 2 % bis + 2 % die geringsten Unfallraten fest, sowie eine leichte Zunahme bei positiver Längsneigung (Steigung), aber eine exponentielle Zunahme bei negativer Längsneigung (Gefälle). Die Unfallkostenraten nehmen von hohen Gefällewerten zu hohen Steigungswerten konstant ab.

Mit der Untersuchung von BRÜHNING (1977) konnte ebenfalls für Autobahnen nachgewiesen werden, dass es mit Zunahme der mittleren Steigung einer Strecke zu einem Anstieg der Unfallrate von Unfällen mit Personenschaden kommt. HEIDEMANN U. A. (1998) ermittelten bei mittleren Längsneigungen über 2 % eine Zunahme der Gesamt-Unfallrate (Unfälle mit Personenschaden und schwerwiegendem Sachschaden) von 13 % gegenüber Abschnitten mit geringerer Längsneigung.

Auch REINHARD (2003) stellte fest, dass größere Längsneigungen zur Erhöhung der Unfallzahlen und Unfallkostendichten, aber nicht der Unfallkosten führten. Allerdings merkte er an, dass sich die Längsneigungen zum Teil mit Kurvenradien überlagerten. Er

stellte ebenso heraus, dass die Abhängigkeit des Unfallgeschehens von der Längsneigung bedeutend geringer ausfällt als von der Radiengröße.

In Untersuchungen zum Zusammenhang von Unfallrisiko und Entwurfparametern auf australischen Landstraßen wurde von FISHBURN U. A. (2001) ebenfalls festgestellt, dass der Einfluss der Längsneigung auf das Unfallgeschehen gegenüber dem der Kurvigkeit und der Radien geringer ausfällt. In den Untersuchungen war bis zu Längsneigungen von $\pm 4,0$ % kaum ein Anstieg der Unfallraten zu verzeichnen.

Untersuchungen zum Zusammenhang von Straßenentwurfparametern und Unfallhäufigkeiten von MILTON/MANNERING (1998) im US-Bundesstaat Washington zeigten, dass die Längsneigung ab 1 % im Westteil des Staates bzw. ab 2,5 % im Ostteil des Staates einen Einfluss auf die Unfallhäufigkeit hat. Die Unterscheidung der beiden Kollektive erfolgte, da sich beide Landesteile anhand des Wettergeschehens und der Topografie unterscheiden.

2.1.7 Wannenh- und Kuppenhalbmesser

Im Ergebnis der Untersuchungen von LIPPOLD U. A. (2010) wurden Empfehlungen für Grenz- und Richtwerte für sichere Elemente und Elementrelationen sowie für die Sicherstellung der Straßenflächenentwässerung für den Entwurf von sechsstreifigen Autobahnen erarbeitet. Für Wannenhalmesser wurde dabei der Mindestwannenhalmesser $\min H_W = 8.800$ m für die EKA 1 A aus den RAA bestätigt. REINHARD (2003) empfahl ebenfalls, Wannenhalmesser $H_W < 8.000$ m zu vermeiden.

Für Kuppen der EKA 1 A sehen die RAA Mindesthalbmesser $\min H_K = 13.000$ m vor. Im Bereich von 13.000 bis 15.000 m für Kuppenhalbmesser zeigten sich bei LIPPOLD U. A. (2010) relativ geringe Unfallkennwerte. Kuppenhalbmesser im Bereich von 15.000 bis 21.000 m wurden als tendenziell unsicherer

eingeschätzt und empfohlen, diese nach Möglichkeit zu vermeiden. Kuppenhalbmesser ab einem Wert von 21.000 m zeigten eine Verringerung des Unfallrisikos, weshalb empfohlen wurde, generell Kuppenhalbmesser $H_k \geq 21.000$ m einzusetzen.

2.1.8 Räumliche Linienführung

Die Untersuchungen von LIPPOLD U. A. (2011) zeigten, dass gekrümmte Wannens besonders bei kleinen und mittleren Kurvenradien bis $R \leq 2.000$ m und kleinen Wannenshalbmessern ein erhöhtes Unfallgeschehen aufweisen. Deshalb wurde für den Entwurf ein Verhältnis von Radius zu Wannenshalbmesser $R : H_w \leq 1 : 7,5$ empfohlen.

Im Entwurf für das Handbuch für die Bewertung der Verkehrssicherheit von Straßen (HVS-Entwurf 2019) wird zudem die Kombination aus hoher Hügeligkeit ($> 1\%$) und hoher Kurvigkeit (> 10 gon/km) auf Autobahnen als defizitär eingestuft.

Weitere Zusammenhänge zwischen der Gestaltung der räumlichen Linienführung und der Verkehrssicherheit haben LIPPOLD U. A. (2015) untersucht. Im Ergebnis konnte für die einzelnen möglichen Defizite der räumlichen Linienführung kein ausgeprägter nachteiliger Einfluss auf das Unfallgeschehen festgestellt werden.

2.1.9 Sichtweiten

Dass die vorhandenen Sichtweiten einen Einfluss auf die Verkehrssicherheit auf Autobahnen nehmen, zeigten die Untersuchungen von STEINAUER/MAYER (1999). Bei der Interpretation der Ergebnisse ist jedoch zu berücksichtigen, dass die vorhandene Sichtweite aus der Überlagerung der Trassierungselemente und der gefahrenen Geschwindigkeit resultiert. Daher wurden die Unfälle, die auf unzureichende Sichtweiten zurückzuführen waren, noch einmal differenziert nach den Geschwindigkeiten untersucht. Dabei ergab sich, dass vor allem in Linkskurven bei kleinen Radien ($R \leq 1.050$ m) und fehlenden Haltesichtweiten

ein hohes Unfallgeschehen vorliegt. STEINAUER/MAYER (1999) führen dies auf die zu hohen gefahrenen Geschwindigkeiten zurück.

Weiterhin legten die Untersuchungen von KRÜGER U. A. (2004) nahe, dass in Abhängigkeit vom Ausmaß der Sichtweitenunterschreitung eine höhere Unfallzahl in Linkskurven zu verzeichnen ist.

2.2 Einfluss von betrieblichen und verkehrlichen Merkmalen

2.2.1 Zulässige Höchstgeschwindigkeit

Auf Veranlassung des Bundesrates wurde Mitte der 70er Jahre ein Großversuch zur Klärung der Frage durchgeführt, welche Auswirkungen eine Festsetzung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit (V_{zul}) auf Autobahnen auf 130 km/h auf das Fahrverhalten und das Unfallgeschehen hätte (ERNST U. A. 1977). Dabei zeigte sich, dass sich die Zahl der Unfälle und besonders die der schweren Unfälle bei einer V_{zul} von 130 km/h gegenüber der Richtgeschwindigkeit verringern. Allerdings zeigten sich diese Verringerungen nicht an allen Strecken des Kollektivs.

Aufbauend auf den Ergebnissen von ERNST U. A. (1977) errechnete die BASt (1984) für die allgemeine Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf BAB auf 130 km/h eine theoretische Abnahme der Zahl der Getöteten auf BAB um 20 %. Für eine Beschränkung auf 100 km/h wurde sogar eine Abnahme von 37 % errechnet. Weiterhin zeigen die Ergebnisse eines Großversuchs auf hessischen Autobahnen, dass neben der Unfallrate auch die Unfallkostenrate bei Geschwindigkeitsbeschränkungen sinkt (DURTH U. A. 1986). Zu berücksichtigen ist hierbei, dass sich seit den 70er und 80er Jahren einige Rahmenbedingungen geändert haben. So haben u. a. der Motorisierungsgrad und der Anteil von Strecken mit Geschwindigkeitsbeschränkung zugenommen. Weiterhin kam es zu Verbesserungen der aktiven und passiven Fahrzeugsicherheit.

Spätere Untersuchungen konnten jedoch ebenfalls bestätigen, dass in den jeweils untersuchten Streckenabschnitten sowohl die Einführung einer V_{zul} als auch das Herabsetzen der V_{zul} zu abnehmenden Unfall- und Unfallkostenraten führen (SCHNÜLL U. A. 1995, SCHOLZ U. A. 2007, BARK U. A. 2015).

Aus der Untersuchung von LIPPOLD U. A. (2011) ging hervor, dass Verwindungsbereiche auf Autobahnen, auf denen die V_{zul} beschränkt ist, ein geringeres Unfallgeschehen aufweisen als Verwindungsbereiche, bei denen keine Geschwindigkeitsbeschränkungen vorliegen. LIPPOLD U. A. (2013) haben festgestellt, dass in Kurven mit einer negativen Querneigung weniger Unfälle und eine geringere Unfallschwere vorliegen, wenn die V_{zul} beschränkt ist.

2.2.2 Überholverbote

Aus der Vorher-/Nachher-Untersuchung zu Auswirkungen von Überholverbot für Lkw auf hessischen Autobahnen von BARK (1994) geht hervor, dass die Unfallrate auf den untersuchten Strecken mit Einführung von Überholverboten abnimmt. Ebenso zeigte sich eine Abnahme der Unfallkostenraten bei vierstreifigen Strecken. Diese Veränderungen waren nur bei einem Teil des Kollektivs signifikant.

HEIDEMANN U. A. (1998) zeigten, dass streckenanteilig längere Überholverbote zu einer Abnahme der Unfallhäufigkeit führen. Sie betonen jedoch, dass Überholverbote für Lkw nur dann signifikant die Verkehrssicherheit verbessern, wenn sie in Kombination mit Geschwindigkeitsbeschränkungen wirken.

BRILON/DREWS (1996) untersuchten ebenfalls die Auswirkungen der Einführung von Überholverboten für den Schwerverkehr auf Autobahnen im Vorher-/Nachher-Vergleich. Bezüglich der Auswirkungen auf die Gesamtunfallzahl zeigten sich keine klaren Entwicklungen. Aufgrund einer sehr umfangreichen Stichprobe stufen die Autoren ihre Ergebnisse als verallgemeinerbar ein. Positive Auswir-

kungen der Anordnung von Überholverboten wurden vor allem in jenen Abschnitten festgestellt, in denen die Unfallbeteiligung von Lkw deutlich über dem Schwerverkehrsanteil liegt. Überholverbote für den Schwerverkehr im Bereich von Fahrstreifenreduktionen resultierten in einer deutlichen Verringerung der Unfallrate und in besonderem Maße der Unfallkostenrate. Für starke Steigungsstrecken zeigen sich ebenfalls positive Tendenzen.

2.2.3 Verkehrsbeeinflussungsanlagen

Die Untersuchung von HEIDEMANN U. A. (1998) zeigte für BAB-Teilabschnitte mit Verkehrsbeeinflussungsanlagen (VBA) um 22 % erhöhte Unfallraten gegenüber Teilabschnitten ohne VBA. Grund für dieses Phänomen ist nicht die schlechte Verkehrssicherheitswirkung der VBA. Vielmehr vermuten die Autoren, dass VBA bevorzugt an jenen Bereichen angewendet werden, an denen bereits hohe Unfallzahlen vorliegen und es sich somit um eine reaktive Maßnahme handelt.

SIEGENER U. A. (2000) untersuchten mittels Vorher-/Nachher-Vergleich die Auswirkungen des Einsatzes von VBA auf das Unfallgeschehen. Die Autoren stellten fest, dass es bei hohen Verkehrsbelastungen (≥ 1.500 Fz/h pro Richtung bei zweistreifigen, ≥ 3.000 Fz/h pro Richtung bei dreistreifigen Richtungsfahrbahnen) zu einer signifikanten Reduktion der Unfallrate auf Streckenabschnitten mit VBA gegenüber Abschnitten ohne VBA kommt. Darüber hinaus wurde eine Abnahme der Unfallrate von Unfällen bei Nebel um 80 % ermittelt.

2.2.4 Verkehrsstärke

In HEIDEMANN U. A. (1998) und BARK U. A. (2015) wird ein nicht linearer Zusammenhang zwischen Unfallhäufigkeit und Verkehrsstärke nachgewiesen. Darüber hinaus zeigten die Untersuchungen von BARK U. A. (2015), dass mit zunehmender Verkehrsstärke eine anteilbezogene Verlagerung des Unfallgeschehens weg vom Fahrnfall (Typ 1) hin zum Unfall im Längsverkehr (Typ 6) auftritt. Zu ähnlichen

Erkenntnissen kamen auch ROQUE/CARDOSO (2014) und LORD U. A. (2005) (s. Anhang 3).

Weiterhin variiert nach HEIDEMANN U. A. (1998) und BARK U. A. (2015) auch die Größe und Richtung des Einflusses von Defiziten auf die Unfallzahl in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke (Vergleiche auch TAYLOR U. A. 2002 und BERGER (2016) für Landstraßen). Defizite in der Streckentrassierung kommen stärker bei geringen Verkehrsbelastungen zum Tragen, während bei hohen Verkehrsbelastungen eher betriebliche Defizite in den Vordergrund treten. Speziell für die Gruppe der Abkommensunfälle (run-off-roads (ROR) accidents) weist MIAOU (1996) einen degressiven Zusammenhang zwischen Unfallhäufigkeit und Verkehrsstärke auf Landstraßen nach.

Die Entwicklung der Unfalltypenverteilung in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke ist laut BARK U. A. (2015) auf Veränderungen im Verkehrsablauf zurückzuführen. Bei geringen Verkehrsstärken bzw. in verkehrssarmen Zeiten liegen nur wenige Interaktionen zwischen den Verkehrsteilnehmern vor. Die meisten Verkehrsteilnehmer fahren mit ihrer Wunschgeschwindigkeit – welche eine breite Streuung aufweisen – und sind in ihrem Verhalten relativ autark. Mit Zunahme der Verkehrsstärke steigt die Zahl der Interaktionen, der Verkehr geht in den teilgebundenen und gebundenen Zustand über. Der Großteil der Verkehrsteilnehmer kann seine Wunschgeschwindigkeit nicht mehr frei wählen, die Geschwindigkeiten werden homogenisiert (FGSV 2015). Das Konfliktpotential im Längsverkehr (geringe Abstände, kritische Fahrstreifenwechsel) nimmt zu.

ROQUE U. A. (2015) untersuchten Einflussgrößen auf die Verletzungsschwere von Abkommensunfällen auf portugiesischen Autobahnen. Sie ermittelten dabei, dass während Zeiten hoher Verkehrsbelastungen die Häufigkeit von Abkommensunfällen mit

schweren Unfallfolgen gegenüber Zeiten mit geringer Verkehrsbelastung niedriger ist.

PÖPPEL-DECKER U. A. (2003) untersuchten den Zusammenhang zwischen stündlicher Verkehrsstärke und dem Unfallgeschehen auf deutschen Autobahnen. Dafür wurde auf Daten von automatischen Dauerzählstellen zurückgegriffen. Dabei wurden die höchsten Unfallraten jeweils bei extrem geringen stündlichen Verkehrsstärken (< 500 Fz/h) verzeichnet. Dies gilt sowohl für zwei- als auch für dreistreifige Richtungsfahrbahnen, wenngleich für dreistreifige Richtungsfahrbahnen hohe Unfallraten bis zu einer Belastung von etwa 1.000 Fz/h ermittelt wurden. Mit zunehmenden stündlichen Verkehrsstärken nimmt die Unfallrate sowohl bei zwei- als auch dreistreifigen Richtungsfahrbahnen deutlich ab. Das Minimum wird in den Zeiten mit den höchsten Fahrleistungsanteilen erreicht: 1.000 bis 2.000 Fz/h für zweistreifige, 2.000 bis 3.000 Fz/h für dreistreifige Richtungsfahrbahnen. Mit zunehmender Verkehrsstärke steigen die Unfälle mit leichtem Personenschaden deutlich an, Unfälle mit schwerem Personenschaden sowie schwerwiegende Unfälle mit Sachschaden verzeichnen hingegen eine weitere, schwächere Abnahme. Wie bei den Unfallraten zeigten sich bei den Unfallkostenraten ebenso exponentielle Abnahmen mit zunehmenden Verkehrsstärken.

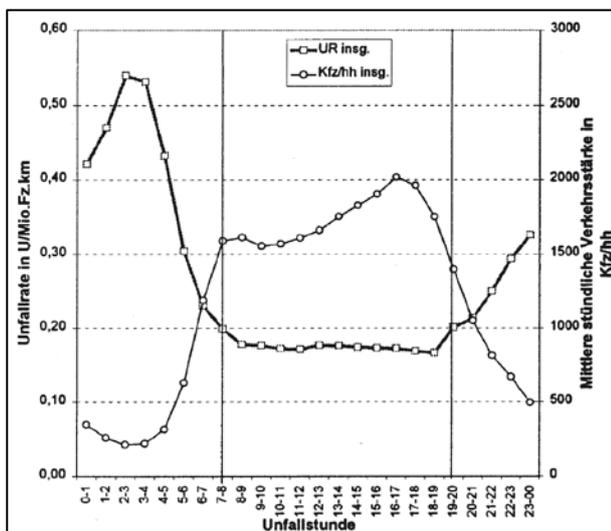


Abbildung 2: Mittlere stündliche Verkehrsstärke und Unfallrate auf BAB nach der Tageszeit (aus PÖPPEL-DECKER U. A. 2003)

Die Betrachtung der zeitlichen Verteilung der Verkehrsstärke und der Unfallrate von PÖPPEL-DECKER U. A. (2003) zeigte, dass die Unfallrate tagsüber und in den frühen Abendstunden (7.00 bis 20.00 Uhr) sehr konstante Werte von $0,2 \text{ U}/(\text{Mio. Fz} \cdot \text{km})$ einnimmt. Erst in den verkehrsschwachen späten Abend- und Nachtstunden kam es zu einem deutlichen Anstieg der Unfallrate auf $0,5 \text{ U}/(\text{Mio. Fz} \cdot \text{km})$ (siehe Abbildung 2).

2.2.5 Schwerververkehrsanteil

Bezüglich des Einflusses des Schwerververkehrsanteils (SV-Anteil) gibt es in der Literatur unterschiedliche Erkenntnisse. BRÜHNING (1977) konnte seinerzeit die Hypothese nicht bestätigen, dass ein höherer SV-Anteil zu erhöhten Unfallraten führt. Die Untersuchungen von HEIDEMANN U. A. (1998) zeigten hingegen, dass erhöhte SV-Anteile auf Strecken ohne Seitenstreifen mit einer erhöhten Unfallrate einhergehen.

GRANDEL U. A. (1993) kommen zu dem Schluss, dass der Schwerverkehr fahrleistungsbezogen unterproportional am Unfallgeschehen beteiligt ist. Eine überproportionale Beteiligung zeigte sich indes hinsichtlich der Unfallschwere. BARK (1994) stellt dem gegenüber, dass die Unfallbeteiligung von Gü-

terkraftfahrzeugen in seinen Untersuchungen auf hochbelasteten Strecken über dem SV-Anteil liege.

MILTON/MANNERING (1996) nutzten GLM mit dem methodischen Ansatz der negativen Binomialverteilung zur Identifikation von Einflussgrößen auf das Unfallgeschehen von Highways in den USA. Eine Zunahme der Unfallrate lässt sich u. a. aus höheren Anteilen des Schwerverkehrs am Verkehrsaufkommen ableiten.

2.2.6 Ballungsräume

Aus HEIDEMANN U. A. (1998) und BARK U. A. (2015) geht hervor, dass Abschnitte außerhalb von Ballungsräumen gegenüber ihren Pendants eine höhere Unfallhäufigkeit aufweisen. Das von HEIDEMANN U. A. (1998) aufgestellte Modell zeigt zudem für Strecken außerhalb von Ballungsräumen eine höhere Unfallrate bezüglich der Unfälle mit schwerem Personenschaden. Inwieweit Korrelationen zwischen dem Kriterium Ballungsraum und Strecken mit Beschränkung der V_{zul} vorliegen, lässt sich aus der Untersuchung nicht zweifelsfrei klären.

2.3 Einflüsse der Ausstattung und des Umfeldes

2.3.1 Passive Schutzeinrichtungen

DOMHAN (1985) untersuchte einen Teil des hessischen Landstraßennetzes hinsichtlich des Unfallgeschehens. Dabei wurde für Unfälle an Strecken mit passiven Schutzeinrichtungen ein halb so großer Anteil von Unfällen mit Personenschaden gegenüber Unfällen an Strecken ohne Schutzeinrichtungen ermittelt.

Darüber hinaus zeigte die Unfallauswertung von Autobahnabschnitten, dass das Abkommen nach links gegenüber dem Abkommen nach rechts mit einer geringeren Unfallschwere verbunden ist. Der Autor sieht den Grund hierfür vor allem in der bereits damals flächendeckenden Ausstattung der Mittelstreifen mit Schutzeinrichtungen.

MONTELLA/PERNETTI (2010) führten eine vertiefte Untersuchung von Abkommensunfällen (run-off-road crashes (ROR)) auf einer süditalienischen Autobahn durch. Strecken mit Betonschutzwänden an Mittelstreifen wiesen dabei einen Anteil von Unfällen mit Personenschaden am Gesamtunfallgeschehen von 49 % auf, bei Strecken mit Stahlschutzplanken an Mittelstreifen lag der Anteil lediglich bei 24 %. Die Autoren verweisen darauf, dass sich diese Ergebnisse auch mit Ergebnissen zweier französischer Untersuchungen auf Autobahnen decken (MARTIN 2000, MARTIN/QUINCY 2001). Weiterhin wurde für stumpfe Anfangs- und Endkonstruktionen ein deutlich höherer Anteil von Unfällen mit Personenschaden gegenüber längsseitigen Schutzeinrichtungen nachgewiesen.

2.3.2 Seitenraumgestaltung

Grundsätzlich wird in allen zu diesem Thema gefundenen Untersuchungen festgestellt, dass bei hindernisfreien Seitenräumen und ebenerdiger Fahrbahnführung (kein Damm oder Einschnitt) die geringste Unfallschwere auftritt (ROQUE U. A. 2015, MONTELLA/PERNETTI 2010, LEE/MANNERING 2002).

Zudem bestätigt die Untersuchung von MONTELLA/PERNETTI (2010) die Erkenntnis von DOMHAN (1985), dass passive Schutzeinrichtungen die Unfallschwere bei Führung der Fahrbahn auf einem Damm und in einem Einschnitt mindern. So waren die Anteile von Unfällen mit Personenschaden bei Unfällen in Dammlage gegenüber Unfällen mit Kontakt von fahrbahnparallelen Stahlschutzplanken um den Faktor 2,6 erhöht. Bei der Lage im Einschnitt entspricht der Faktor 2,4. Grund für die hohen Anteile von Personenschäden war in beiden Fällen die erhöhte Neigung zum Überschlagen des Fahrzeuges. Für beide Formen nahm die Unfallschwere mit der Böschungshöhe/-tiefe zu. Auch die Anteile von Unfällen mit Personenschaden am Gesamtunfallgeschehen bei Gräben und Mauern im Seitenraum waren um die Hälfte erhöht.

Bestätigt wird dies durch die Untersuchung von ROQUE U. A. (2015) sowie LEE/MANNERING (2002). Diese wiesen bei Abkommensunfällen an Böschungen sowie Hindernissen im Seitenraum eine erhöhte Unfallschwere gegenüber Abkommensunfällen an Stellen ohne Böschungen oder Hindernisse im Seitenraum nach.

2.3.3 Witterung

Eine Zusammenfassung bestehender Erkenntnisse zum Unfallgeschehen in Abhängigkeit von der Witterung liefern ANDREY U. A. (2001). Grundsätzlich zeigte sich dabei eine Zunahme des Unfallrisikos bei Regen und Schneefall, wobei Schneefall gegenüber Regen eine erhöhte Unfallhäufigkeit aufweist, jedoch auch mit einer geringeren Unfallschwere einhergeht (vgl. auch FLUNKERT/GERLACH 2010). Das erhöhte Unfallrisiko bei Regen scheint durch die verschlechterten Sichtbedingungen bedingt, da das Unfallrisiko nach Ende des Regens bald auf das Normalniveau absinkt. Nach Ende des Schneefalls bleibt das Unfallrisiko hingegen erhöht, was auf Einflüsse durch die heruntergesetzte Reibung schließen lässt.

Bei Aussagen zu witterungsbedingten Untersuchungen gilt dabei zu beachten, dass die Exposition sowie die Verkehrsmittelwahl ebenfalls von der Witterung abhängig sind und somit das Unfallgeschehen indirekt beeinflussen (BIJLEVELD/CHURCHILL 2009).

LEE/MANNERING (2002) fanden speziell für Abkommensunfälle bei klarem oder bewölktem Wetter sowie auf nassen Fahrbahnen eine erhöhte Unfallschwere gegenüber Unfällen bei Nebel, Regen oder Schneefall bzw. Schnee oder Eis auf der Fahrbahn, nicht jedoch gegenüber trockenen Fahrbahnen.

2.4 Einfluss der Fahrbahnoberfläche auf die Verkehrssicherheit

Von den Oberflächeneigenschaften der Fahrbahn haben vor allem die Griffigkeit und die Ebenheit einen Einfluss auf die Verkehrssicherheit. Diese Eigenschaften der Fahrbahn werden vor allem dann kritisch, wenn es zu Nässe oder Glätte kommt. Dadurch wird die Griffigkeit vermindert und es können sich bei starkem Regen in Unebenheiten bzw. Spurrinnen größere Wassermengen sammeln, was zur Aquaplaning-Gefahr führen kann (LIPOLD U. A. 2011).

STEINAUER U. A. (2002) stellten fest, dass bei Nässeunfällen in unfallauffälligen Bereichen ein deutlich niedrigeres Griffigkeitsniveau vorlag als im restlichen Netz. Es konnten jedoch keine Schwellenwerte abgeleitet werden. Bei hohen Niederschlagsmengen hat die Griffigkeit nur noch eine untergeordnete Bedeutung und es besteht Aquaplaning-Gefahr. Da aus geringen Querneigungen geringe Fließgeschwindigkeiten und große Wasserfilmdicken resultieren, halten die Autoren Verwindungsbereiche in diesem Zusammenhang für besonders problematisch.

Aus den Untersuchungen von RESSEL/HERRMANN (2008) wird deutlich, dass Verwindungsbereiche bei Nässe auf Autobahnen problematisch sind und einen Einfluss auf das Unfallgeschehen haben.

Nach ROOS U. A. (2005) führt eine verminderte Griffigkeit zu geringeren Bremsverzögerungen und damit in der Regel zu längeren Bremswegen. Gegenüber der Griffigkeit spielen die Geschwindigkeit und die Reifenprofiltiefe nur eine untergeordnete Rolle bezüglich des Einflusses auf die Bremsverzögerung.

2.5 Zusammenfassung

In der Literaturanalyse zeigen sich folgende Einflüsse auf das Unfallgeschehen an BAB:

- Negative Einflüsse auf das Unfallgeschehen zeigten sich bei geringen Fahrstreifen- und Fahrbahnbreiten sowie fehlenden bzw. schmalen Seitenstreifen
- Bei der Trassierung im Lageplan ist eine Zunahme des Unfallgeschehens bei Kurven mit kleinen Radien, bei Kurven mit größeren Richtungsänderungen, bei Streckenverläufen mit größerer Kurvigkeit sowie bei kurzen Geraden zwischen gleichgerichteten Kreisbögen festzustellen.
- Der Einfluss der Längsneigung auf das Unfallgeschehen wird von einigen Autoren gegenüber dem Einfluss des Kurvenradius als untergeordnet eingestuft, erscheint aber in multivariaten Modellen häufig als signifikante Kenngröße. Demnach ist auch eine Abhängigkeit des Unfallgeschehens von der mittleren Längsneigung zu erwarten.
- Die sich aus geringen Längs- und Querneigungen ergebenden entwässerungsschwachen Zonen haben vor allem in Verwindungsbereichen negative Auswirkungen auf die Unfallhäufigkeit. Begleitend ist das Merkmal Fahrbahngriffigkeit zu untersuchen. Zumindest bei kritischen Witterungsverhältnissen ist dem Merkmal ein Einfluss zu unterstellen.
- Die Gestaltung von gekrümmten Kuppen mit kleinen Lage- und Höhenplanradien zeigt aufgrund der defizitären optischen Führung Auffälligkeiten im Unfallgeschehen. Weiterhin wurde festgestellt, dass bei fehlenden Sichtweiten vor allem in Linkskurven eine erhöhte Unfallzahl zu verzeichnen ist.
- Die Gestaltung des Seitenraums hat primär Einfluss auf die Schwere der Unfallfolgen. Bei Hindernissen im Seitenraum oder Führung auf einem Damm bzw. in einem Einschnitt sind höhere Unfallschweren zu verzeichnen. Diese können durch passive Schutzeinrichtungen gesenkt werden.
- Bezüglich der Witterung zeigt sich eine Zunahme der Unfallhäufigkeit bei Regen

und Schneefall, gleichzeitig jedoch auch eine Abnahme der Unfallschwere.

- Die Verkehrsstärke hat einen deutlichen Einfluss auf die Unfallrate. In verkehrsschwachen Zeiten ereignen sich überwiegend Fahrurfälle. Bedingt dadurch zeigen sich auch Abhängigkeiten des Unfallgeschehens vom Tagesgang.
- Für Streckenabschnitte außerhalb von Ballungsräumen wurde eine höhere Unfallhäufigkeit nachgewiesen.
- Über die Ausmaße des Einflusses des Schwerverkehrsanteils auf die Verkehrssicherheit herrscht Uneinigkeit. Es ist jedoch gewiss, dass ein hoher Schwerverkehrsanteil einen negativen Einfluss auf den Verkehrsablauf hat. Außerdem zeigte sich, dass Überholverbote für den Schwerverkehr den Verkehrsfluss homogenisieren und an geeigneten Stellen zu einer geringeren Unfallhäufigkeit führen.
- In der Literatur finden sich viele Belege für die sicherheitsfördernde Wirkung der Beschränkung der V_{zul} – insbesondere auf die Unfallschwere. Für tiefergehende Interpretationen sind jedoch die Randbedingungen und damit entstehende Effekte für die Beschränkung der V_{zul} , insbesondere für den Einsatz von VBA, zu beachten.

Unfälle resultieren meist nicht nur aus dem Vorhandensein eines Defizits, sondern aus dem Zusammenspiel mehrerer unfallbegünstigender Faktoren. Das können Faktoren aus den Bereichen Mensch, Fahrzeug, Fahrweg und Umwelt sein. Zum Teil treten auch innerhalb eines dieser Bereiche mehrere Defizite gleichzeitig auf und führen so zum Unfall (M Uko, FGSV 2012). Die Auswertung oben aufgeführter Quellen belegt die Komplexität dieser Einflüsse auf das Unfallgeschehen auf Autobahnen. Aus der Literaturanalyse ist übergreifend festzuhalten, dass die Merkmale des Entwurfs die Unfallanzahl beeinflussen, jedoch nur ein Teil der Faktoren durch den Planer oder den Fahrer aktiv beeinflusst werden kann.

Tabelle 1 zeigt eine Übersicht der in der Literaturanalyse erkannten Einflüsse auf das Unfallgeschehen an BAB.

Tabelle 1: Übersichtstabelle Literaturanalyse – Einflussgrößen auf das Unfallgeschehen an BAB

Bereich	Kriterium	Bewertung des Einfluss
Querschnitt	Anzahl Fahrstreifen (Fahrbahnbreite)	höheres Unfallgeschehen bei geringeren Breiten
	Seitenstreifen	höheres Unfallgeschehen bei Fehlen oder zu geringen Breiten
	Negative Querneigung	höheres Unfallgeschehen bei negativer Querneigung und $v_{zul} > 130$ km/h
Lageplan	Bogen – Größe	höheres Unfallgeschehen bei kleinen Radien
	Bogen – Richtungsänd.	Höheres Unfallgeschehen bei größerer Richtungsänderung
	Bogen – Richtung	Linkskurven tendenziell unfallauffälliger
	Kurvigkeit	höheres Unfallgeschehen bei hohen Kurvigkeiten
	Elementfolgen	höheres Unfallgeschehen bei kurzen Geraden und gleichgerichteten Radien
Höhenplan	Längsneigung	höheres Unfallgeschehen bei hohen Längsneigungen
Entwässerung	Querneigung	negativer Einfluss, wenn keine richtlinienkonforme Gestaltung
	Verwindungsbereiche	Einfluss vorhanden
Fahrbahnzustand	Griffigkeit	höheres Unfallgeschehen bei geringen Griffigkeiten
Raumelemente	Abfolge/Gestaltung	höheres Unfallgeschehen bei Defiziten in der optischen Führung
Sichtweiten	Haltesicht	höhere Unfallgefahr bei fehlenden Sichtweiten
Ausstattung	Vorhandensein passive Schutzeinrichtung	Einfluss auf Unfallschwere (Folgen)
	Art der Schutzeinrichtung	Einfluss auf Unfallschwere (Folgen)
Umfeld	Seitenraumgestaltung	Einfluss auf Unfallschwere (Folgen)
	Witterung	Regen/Winterglätte
Verkehr	Verkehrsstärke	direkter Einfluss Unfallhäufigkeit
	Schwerverkehr (Anteil)	Beeinflussung Verkehrsablauf; Einfluss auf Verkehrssicherheit nicht eindeutig
	Tagesganglinien	Beeinflussung Unfallhäufigkeit
	Ballungsraum	höhere Unfallhäufigkeiten außerhalb von Ballungsräumen
Betrieb	Zulässige Höchstgeschwindigkeit v_{zul}	höhere Unfallhäufigkeit bei höheren Geschwindigkeiten
	Überholverbote	geringe Unfallhäufigkeit
	Verkehrsbeeinflussungsanlagen (VBA)	Homogenisierung der Geschwindigkeiten

3 Datenerhebung und -aufbereitung

Die Datenerhebung erfolgt durch Anfragen bei den für die Datenhaltung zuständigen Institutionen auf Bundes- und Landesebene.

Die Datenaufbereitung erfolgt in den folgenden fünf zum Teil iterativen Arbeitsschritten.

Harmonisierung der Daten

Allen in Kapitel 3 aufgeführten Daten wird entweder eine Station auf einem Netzknotenabschnitt oder einem Streckenzug des Streckenkollektivs (3.1) sowie eine Richtungsinformation zugeordnet.

Teilung des Streckenkollektivs in Streckenabschnitte

Die Einteilung erfolgt gem. der Erläuterung in Kapitel 3.3 auf Basis der Befahrungsdaten in Streckenabschnitte mit Längen zwischen 300 und 3000 m.

Zuordnung der Einflussgrößen

Den nun vorliegenden Streckenabschnitten werden die in diesem Kapitel aufgeführten Daten mithilfe der Station auf dem Netzknotenabschnitt oder auf dem Streckenzug sowie der Richtungsinformation zugeordnet.

Ableitung kombinierter Einflussgrößen

Einflussgrößen, die sich aus einer Kombination der Daten aus verschiedenen Quellen ergeben (z. B. der räumlichen Linienführung) werden berechnet.

Datenprüfung

Die aufbereiteten Daten aller Einflussgrößen werden sowohl einer systematischen Logikprüfung als auch einer stichprobenhaften Detailprüfung unterzogen. Je nach Ursprung und Ausprägung eines festgestellten Datenfehlers erfolgen entweder eine Korrektur und damit die erneute Durchführung der relevanten Arbeitsschritte der Datenaufbereitung oder der Ausschluss des Streckenabschnitts aus der weiteren Betrachtung.

Eine Liste der aufbereiteten Daten befindet sich im digitalen Anhang des Forschungsberichts.

3.1 Zusammenstellung Streckenkollektiv

Ziel ist die Zusammenstellung eines Streckenkollektivs mit einer Gesamtlänge von ca. 2.000 km Richtungsfahrbahn und möglichst heterogenen Eigenschaften. Von diesem Streckenkollektiv sollen ca. 90 % zur Erstellung der Unfallmodelle und zur Durchführung der deskriptiven Analyse verwendet werden (Analysekollektiv) und ca. 10 % zur Validierung der Unfallmodelle (Validierungskollektiv).

3.1.1 Vorauswahl

Übergeordnet wird das potenzielle Streckenkollektiv in zweibahnig, vier-, sechs- und achtstreifige Streckenzüge gegliedert. Stadt- und Autobahnen (EKA 3) sind aufgrund ihrer besonderen Charakteristik – hohe Knotenpunktdichte, deutlich herabgesetzte V_{zul} – nicht Untersuchungsgegenstand des Forschungsvorhabens. Unberücksichtigt bleiben auch überwiegend zweibahnig achtstreifige Streckenzüge. Diese Streckenzüge sind im deutschen Straßennetz bisher nur in sehr geringem Umfang vorzufinden und weisen im Bestand nur eine beschränkte Ausprägung bestimmter Merkmale, wie z. B. unterschiedliche Längsneigungen, auf. Die Aussagekraft der zu erstellenden Modelle wäre aufgrund dieser Randbedingungen erheblich eingeschränkt. Außerdem stuft GEISTEFELDT (2007) den Verkehrsablauf auf achtstreifigen Streckenabschnitten als vergleichsweise sicher ein.

Zur Detektion von maßgebenden Einflüssen auf das Unfallgeschehen setzt der gewählte Untersuchungsansatz, basierend auf der Anwendung von GLM¹, zum einen eine ausreichende Kollektivgröße mit einer heterogenen Merkmalsverteilung voraus. Zum anderen kor-

¹ Eine genaue Beschreibung der Modellerstellung erfolgt in Kapitel 4.1

respondiert die Zusammenstellung geeigneter Streckenabschnitte mit den Ansprüchen der späteren Modellbildung (s. Kapitel 4). Zum Beispiel muss zur Klärung, ob ein Merkmal einen Einfluss auf die abhängige Variable hat, das Merkmal in ausreichender Größenordnung und Ausprägung im Kollektiv vorliegen (BERGER, 2016). Die zu untersuchenden Einflussgrößen nehmen daher ebenso Einfluss auf die Streckenauswahl, wie die Verfügbarkeit und Vergleichbarkeit der zur Verfügung stehenden Daten. Für eine zielführende Modellbildung ist nicht ausschließlich die Kollektivgröße, sondern vielmehr die Auswahl geeigneter Streckenabschnitte für das Kollektiv von entscheidender Bedeutung. Aus der Datenerhebung im FE 16.0012/2009 „Bewertung der Sicherheitsbelange der Straßeninfrastruktur“ (BARK U. A., 2015) ist bekannt, dass Daten mitunter nicht vollständig vorliegen bzw. sich die Aufnahmequalität in den einzelnen Bundesländern deutlich unterscheidet². Zur Gewährleistung eines bezüglich der Datenverfügbarkeit vollständigen Kollektivs erfolgt die Zusammenstellung der Streckenabschnitte über eine zweistufige Vorauswahl von Streckenzügen. Anhand der Vorauswahl wird das endgültige Untersuchungskollektiv ausgewählt und angepasst.

In der ersten Stufe der Vorauswahl wird die Anzahl in Frage kommender Bundesländer eingegrenzt, wobei topografische Einflüsse Beachtung finden. Für die Untersuchung werden Streckenzüge folgender acht Bundesländer näher betrachtet:

- Baden-Württemberg
- Bayern
- Brandenburg
- Hessen
- Niedersachsen
- Nordrhein-Westfalen

- Sachsen
- Sachsen-Anhalt

Mit dem Ziel, eine Vielzahl möglicher Einflussgrößen im Kollektiv zu berücksichtigen, erfolgt die zweite Stufe der vorläufigen Auswahl. Es werden ca. 4.000 km Richtungsfahrbahn ausgewählt, die in Streckenzügen zusammengefasst sind. Als Streckenzüge werden hier längere Autobahnabschnitte über mehrere Anschlussknotenpunkte hinweg definiert. Die ausgewählten Streckenzüge weisen Längen zwischen 27 und 200 km auf. Die Auswahl erfolgt u. a. auf Grundlage der Erkenntnisse zu Streckenkollektiven bisher vorliegender Forschungsprojekte (BARK U. A. 2015, LIPPOLD U. A. 2010), sowie folgender Kriterien:

- Anzahl Fahrstreifen je Richtungsfahrbahn,
- allgemeine Topografie,
- Höhe der V_{zul} ,
- mittlere Verkehrsstärke (DTV) und
- Sicherheitspotenzial (SIPO).

Während sich in der ersten Stufe die Vorauswahl der Bundesländer auf deren allgemeine topografische Eigenschaften beschränkt, erfolgt die Streckenzugauswahl in der zweiten Stufe der Vorauswahl auf Basis von verschiedenen Quellen. Zur Aufbereitung der oben aufgeführten Kriterien werden allgemein zugängliches Kartenmaterial, Datenbanken mit Informationen zu Höhe der V_{zul} und dem DTV³ der Streckenabschnitte herangezogen.

Neben einer heterogenen Auswahl von Einflussgrößen und Randbedingungen ist die Quantifizierung der Wirkung von Einflussgrößen maßgebend. Um die Aussagekraft der Modelle zu stärken, soll das Streckenkollektiv bezüglich der abhängigen Variable – der Unfallanzahl – ebenfalls eine große Varianz aufweisen. Da flächendeckende Angaben zu Unfallraten oder Unfallkostenraten der Autobahnen nicht zur Verfügung stehen, wird die

² Es liegen z. B. die Daten zu den Lageplanelementen einzelner Autobahnabschnitte nur lückenhaft vor. Weiterhin bestehen deutliche Unterschiede bei der Aufnahme bzw. Erfassung von Hindernissen im Seitenraum in den SIB der verschiedenen Bundesländer.

³ Quellen: Autobahnaltas-online.de, bast.de (Automatische Zählstellen auf Autobahnen und Bundesstraßen)

Kenngroße des Sicherheitspotenzials (SIPO)⁴, welche bei der BASt für das gesamte Netz vorliegt, als Bezugswert der Verkehrssicherheit in der Vorauswahl herangezogen. Von der BASt wurde die Ermittlung des Sicherheitspotenzials auf Grundlage des Verfahrens nach den ESN (FGSV 2003) für das gesamtdeutsche Autobahnnetz mit dem Unfallgeschehen der Kategorie 1 bis 4 für die Jahre 2012 bis 2014 durchgeführt und veröffentlicht⁵. Das SIPO wurde abschnittsbezogen ermittelt – ein Abschnitt entspricht dem Bereich zwischen zwei Anschlussstellen/Knotenpunkten. Im Ergebnis der BASt-Analyse wurde die im Netz ermittelte SIPO-Spannbreite der Abschnitte in vier Stufen unterteilt. Diese Einteilung wird bei der Auswahl übernommen und verbal beschrieben (Tabelle 2).

Tabelle 2: Einstufung Sicherheitspotenziale BAB Netz (2012 bis 2014) nach BASt und verbale Beschreibung

Stufen Sicherheitspotenzial SIPO [1.000€/km*Jahr]	Verbale Beschreibung SIPO
bis einschließlich 0	keins
0 bis 50	gering
50 bis 150	hoch
150 und mehr	extrem

Abbildung 3 zeigt die Lage der 36 ausgewählten Streckenzüge in Deutschland. Die Einteilung nach Anzahl der Fahrstreifen je Richtungsfahrbahn ist an der überwiegend auftretenden Querschnittseinteilung des Streckenzugs orientiert und kann abschnittsweise abweichen. Nach dieser Einteilung liegen ca. 2.600 km zweistreifige und ca. 1.800 km dreistreifige Richtungsfahrbahn für die weitere Auswahl vor. Mit ca. 1.180 km hat der Freistaat Bayern den umfangreichsten Anteil von

⁴ Das Sicherheitspotenzial beschreibt, um wieviel die Kosten aus Straßenverkehrsunfällen auf dem Abschnitt über demjenigen Wert liegen, der bei der gegebenen Verkehrsbelastung zu erwarten wäre, wenn der Autobahnabschnitt allen Anforderungen der einschlägigen Richtlinien entsprechen würde.

⁵ Quelle: bast.de (Unfälle auf Bundesautobahnen und auf Strecken des TEN-T)

Strecken. Für Sachsen-Anhalt und Baden-Württemberg sind lediglich Abschnitte mit dreistreifigen Richtungsfahrbahnen erfasst.



Abbildung 3: Vorauswahl Streckenkollektiv, Umfang 4.000 km, Hintergrundkarte: Autobahnatlas-online.de

Die auftretenden querschnittsbezogenen Verkehrsstärken bewegen sich für das Kollektiv der zweistreifigen Richtungsfahrbahnen zwischen 10.000 und 80.000 Kfz/24h, für dreistreifige Richtungsfahrbahnen zwischen 30.000 und 120.000 Kfz/24h. Mit den gegebenen Verkehrsstärken der Streckenauswahl wird in beiden Kollektiven der Verkehrsstärkenbereich, für den die Querschnitte nach den RAA (FGSV 2008) geeignet sind, ausreichend abgedeckt.

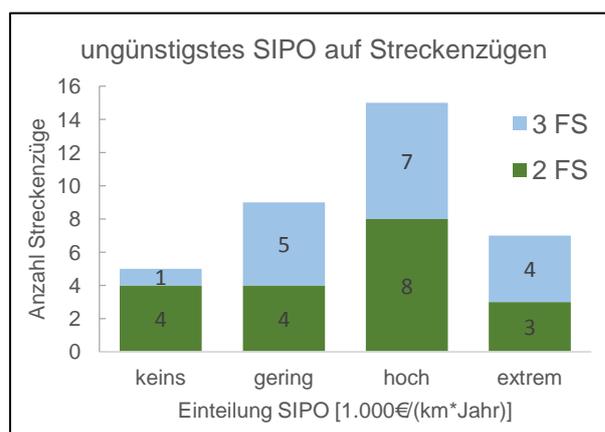


Abbildung 4: Verteilung Sicherheitspotenzial des ungünstigsten Abschnitts eines jeden Streckenzugs

Aus Abbildung 4 ist das ungünstigste SIPO eines Abschnitts innerhalb einer der Streckenzüge nach gewählter verbaler Einteilung zu entnehmen. Die Darstellung vermittelt einen Eindruck der Streuung des SIPO im Kollektiv. Mit Ausnahme eines Streckenzugs (A4 zwischen Glauchau und Chemnitz) haben alle Streckenzüge mindestens einen Abschnitt, der kein SIPO aufweist. Der überwiegende Teil der Streckenzüge weist aber auch Abschnitte auf, die ein hohes oder gar extremes SIPO haben.

3.1.2 Finale Streckenauswahl

Die finale Streckenauswahl erfolgte anhand der Auswertung der Merkmale, die bereits im Vorfeld der Befahrung vorliegen:

- Lageplandaten,
- Höhenplandaten,
- DTV und Schwerverkehrsanteil,
- Sicherheitspotenzial und den
- Griffigkeitsdaten.

Um eine möglichst heterogene Merkmalsverteilung – Minima und Maxima – mutmaßlicher Einflussgrößen zu erhalten, wurden die vorliegenden Daten einzeln für die 359 Netzknoten-Abschnitte betrachtet und weitere als relevant angesehene Kenngrößen generiert. Dazu zählen z. B.:

- mittlere, maximale Längsneigung,
- Querneigungswechsel je Kilometer,
- kleinster Radius,
- Kurvigkeit und
- mittlere und geringste Griffigkeit.

Über eine Excel-Makro-Funktion wurden für jede Kenngröße die 25 niedrigsten und höchsten Werte im Kollektiv ermittelt. Die jeweilige Summe der Minima und Maxima der einzelnen Merkmale wurde für jeden der 36 Streckenzüge ausgegeben. Aus diesen war eine Zusammenstellung für die Befahrung derart zu wählen, dass:

- die Kollektivgrößen (Länge) für zwei- und dreistreifige Richtungsfahrbahnen eingehalten werden,
- eine möglichst heterogene und umfangreiche Merkmalverteilung von Extremwerten vorliegt und
- die Streckenzüge nach Möglichkeit so verteilt sind, dass eine einheitliche Befahrung gewährleistet wird.

Extremwerte stellen u. U. eine Einschränkung in der Modellgüte dar. Durch verschiedene Prüfgrößen der Modelle kann es zum Ausschluss dieser Werte kommen. Hier ist jedoch davon auszugehen, dass durch die Berücksichtigung dieser weiten Spanne zwangsläufig Werte im Kollektiv enthalten sind, die nicht durch Prüfgrößen ausgeschlossen werden.

Mit Hilfe des Excel-Solvers wurden die ersten beiden o. g. Randbedingungen definiert und eine Prioritätenreihung aufgestellt. Unter Berücksichtigung des dritten Anstrichs wurden die Streckenzüge final ausgewählt. Tabelle 3 zeigt einen Auszug der betrachteten Merkmale und die Angabe der auftretenden Minima (MIN) und Maxima (MAX), sowohl für beide Kollektive als auch aggregiert. Es wurden 25 Streckenzüge ausgewählt (Abbildung 5). Diese weisen eine Länge von ca. 2.970 km auf, welche sich durch den Ausschluss von Streckenabschnitten mit fehlerbehafteten oder unvollständigen Daten, von Streckenabschnitten unterhalb der definierten Mindestlängen (s. Kapitel 3.3), in Knotenpunktbereichen sowie im Bereich von Tunneln und Rastanlagen nochmals reduziert.

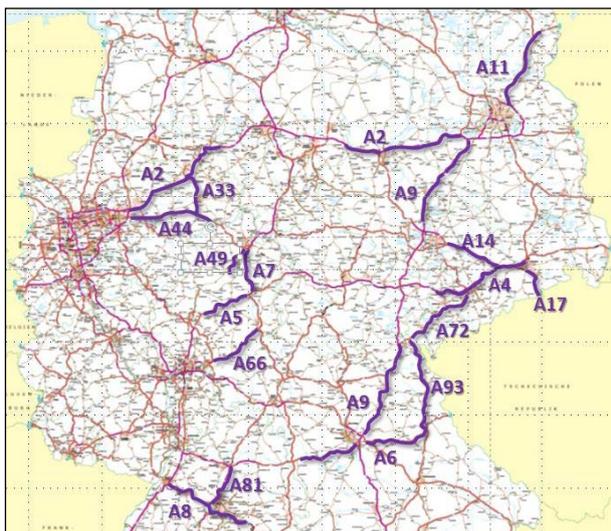


Abbildung 5: Streckenzüge (stellenweise mit Unterteilung) der Untersuchung, Hintergrundkarte: Autobahnatlas-online.de

Tabelle 3: Ausschnitt der berücksichtigten Minima und Maxima (Anzahl) für verschiedene Kenngrößen der einzelnen Kollektive der zur Befahrung vorgesehenen Streckenzüge

			mittlere Längsneigung MLN	absolute Längsneigung ALN (Hügeligkeit)	maximale auftretene Längsneigung	MLN/ALN	Längsneigungswechsel je km	Querneigungswechsel je km	Kurvigkeit	kleinster Radius
Untersuchungskollektiv (BAB)*	800 km [2 FS]	Σ MIN	8	11	13	7	14	9	7	16
		Σ MAX	10	10	8	14	1	3	17	9
	686 km [3 FS]	Σ MIN	11	6	4	12	9	7	10	6
		Σ MAX	7	11	13	9	19	13	6	4
	1486 Summe Kollektiv	Σ MIN	19	17	17	19	23	16	17	22
		Σ MAX	17	21	21	23	20	16	23	13

*Angaben auf BAB (für Fahrrichtung Wert mal 2)
Balkenlänge Maximum entspricht Wert von 25

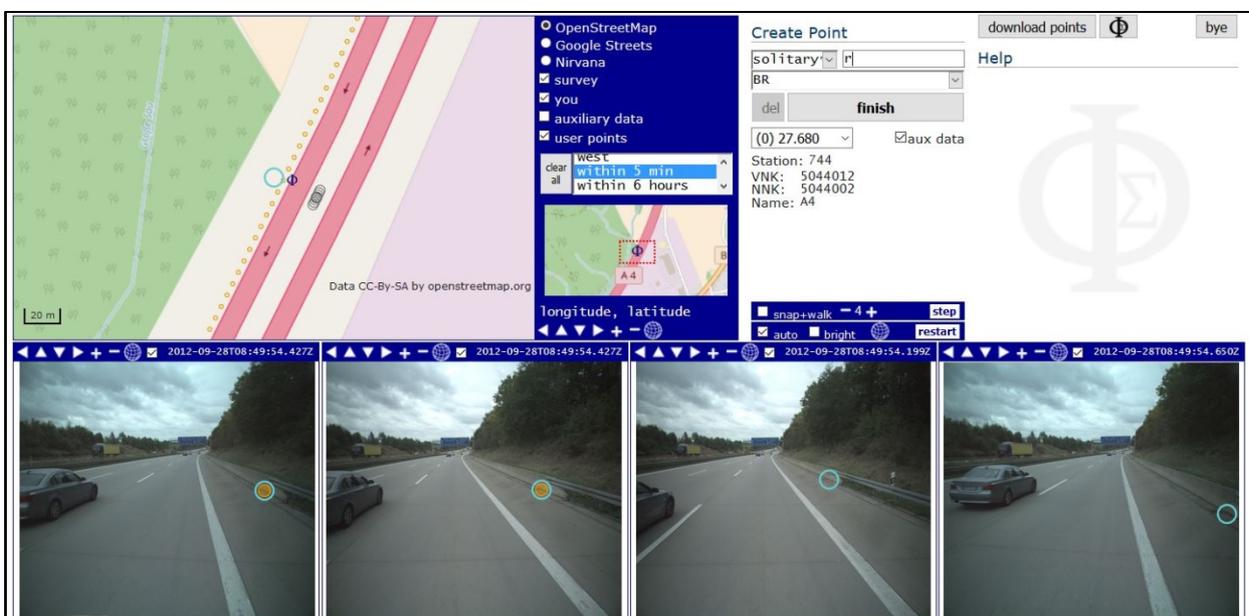


Abbildung 6: Benutzeroberfläche Phoros

3.2 Daten zu Betriebsform, Achse und Gradiente aus Befahrungen

Die Streckenzüge wurden im Zeitraum von Februar bis Juni 2017 mit dem Messfahrzeug „UNO“ fahrtrichtungsfein befahren. Die gesammelten Bilddaten dienen zur Aufnahme der verkehrstechnischen Merkmale, die GPS-Kleinpunkte zur Trassierung von Achse und Gradiente.

Zur Erhebung der Merkmale des Lage- und Höhenplans werden die Achse und die Gradiente der Autobahn mit dem Straßenentwurfprogramm CARD/1 nachtrassiert. Grundlage dafür sind die Trajektorien der Befahrungen mit dem Messfahrzeug „UNO“.

Bei der Nachtrassierung der Achsen werden ausschließlich Geraden und Kreisbögen verwendet. Mit den im Entwurf von Autobahnen verwendeten Radienbereichen über 1.000 m können Kurven ausreichend genau nachgebildet werden. Die Nachtrassierung der Gradiente erfolgt ebenfalls mit den Elementen Gerade und Kreisbogen.

Über die photogrammetrische Vermessungssoftware „Phoros“ werden die Bilddaten der Befahrung visualisiert. Das Programm Phoros ist vom Lehrstuhl Gestaltung von Straßenverkehrsanlagen der Technischen Universität Dresden entwickelt worden. Durch diese „Bilddokumentation“ wird das nachträgliche, stationsfeine Erheben von u. a. Ausstattungsmerkmalen (z. Bsp. Verkehrszeichen, Baumreihen usw.) ermöglicht (Abbildung 6). Für die Bilddatenauswertung wurde ein Katalog der aufzunehmenden Merkmale erstellt, der als Grundlage einer einheitlichen Auswertung dient. Folgende übergeordnete Kategorien wurden bei der Aufnahme dokumentiert:

- Knotenpunkte und Tunnel
- Rastanlagen
- Anzahl Fahrstreifen
- Verkehrszeichen zur zulässigen Höchstgeschwindigkeit (V_{zul})
- Verkehrsbeeinflussungsanlagen (VBA)

- Verkehrszeichen zur Regelung von Überholverböten
- schmale Seitenstreifen
- Bestand passiver Schutzeinrichtungen
- Hindernisse im Seitenraum

Der Beginn von Knotenpunkten wird dabei durch den baulichen Beginn des Ausfädelungsstreifens markiert, das Ende von Knotenpunkten durch das bauliche Ende des Einfädelungsstreifens (Vergleiche Kapitel 3.3). Sowohl Anschlussstellen als auch Autobahnknotenpunkte werden als Knotenpunkte zusammengefasst. Tunnel werden ebenfalls über den baulichen Beginn und das Ende definiert. Erfolgt im Vorfeld die Beschränkung der V_{zul} auf 80 km/h, gilt ab diesen Punkt, bis zur Aufhebung der 80 km/h, der Bereich als Tunnel.

Gleichermaßen wie bei den Knotenpunkten definieren der Beginn/das Ende von Aus- bzw. Einfädelungsstreifen den Bereich von Rastanlagen. Diese Bereiche finden keine Berücksichtigung, da sich das Unfallgeschehen auf Rastanlagen räumlich nicht eindeutig von dem Unfallgeschehen der freien Strecke abgrenzen lässt.

Wechsel in der Fahrstreifenanzahl dienen u. a. zur Abgrenzung dreistreifiger Abschnitte auf sonst zweistreifigen Richtungsfahrbahnen, beispielsweise im Rahmen von Zusatzfahrstreifen in Steigungsstrecken. Dabei wurde die Fahrstreifenanzahl am Ende der Aufweitung bzw. am Beginn der Rückverziehung erfasst. Eine Änderung der Fahrstreifenanzahl führt zur Abschnittstrennung.

Neben den zeitlich uneingeschränkt geltenden Verkehrszeichen zur Regelung der V_{zul} wird weiterhin nach Beschränkungen differenziert, die witterungsabhängig (z. B. bei Nässe) oder zeitlich (z. B. in den Nachtstunden) zur Geltung kommen. Die Station zeitlich uneingeschränkt geltender Verkehrszeichen markiert den Beginn/das Ende eines neuen, separaten Streckenabschnitts, sofern es sich nicht um eine Wiederholung handelt. Witterungs- und

zeitliche Restriktionen der V_{zul} bilden keine Abschnittsgrenzen. Ursache ist die Vielfalt möglicher Beschränkungen, die eine klare Differenzierung nicht ermöglicht. Diese beiden Arten der Beschränkungen werden über ihren Anteil an der Länge des betrachteten Streckenabschnitts definiert.

Abschnitte mit VBA bilden eigene Streckenabschnitte. VBA werden als eigenständige Form der Geschwindigkeitsbeschränkung geführt. Bei der Interpretation der Modellergebnisse wird berücksichtigt, dass VBA auch andere Informationen wie Überholverbote anzeigen können.

Auch Überholverbote werden stationsfein erfasst, deren Länge wird als Anteil an der Streckenlänge berücksichtigt. Bei den Überholverboten werden lediglich Regelungen für Kfz mit einem zulässigen Gesamtgewicht über 3,5 t (Z 277 StVO u. ä.) betrachtet, da Überholverbote für Kraftfahrzeuge aller Art (Z 276 StVO) in der Regel im normalen Betrieb keine Relevanz besitzen. Auch hier erfolgt eine Differenzierung in permanent, witterungsabhängig und zeitlich eingeschränkt geltende Überholverbote.

Auch wenn eher eine Wirkung auf die Unfallschwere als auf die Unfallhäufigkeit vermutet wird, werden für den rechten Fahrbahnrand der Beginn und das Ende von passiven Schutzeinrichtungen dokumentiert. Am linken Fahrbahnrand sind im Untersuchungsgebiet nahezu durchgehend Fahrzeugrückhaltesysteme vorhanden. Die bauliche Ausführung der Fahrzeugrückhaltesysteme wurde in Absprache mit dem Betreuerkreis des Forschungsvorhabens nicht weiter berücksichtigt.

Auch mit dem Auftreten von Hindernissen im Seitenraum ist eher eine Veränderung der Unfallschwere als der Unfallzahl in Verbindung zu bringen. Daher erfolgt hier keine weitere Differenzierung, um welche Art von Hindernis es sich handelt. Allgemein erfolgt eine Unterscheidung in punktuelle – Länge < 100 m – und linienhafte – Länge ≥ 100 m – Hindernis-

se. Hindernisse im Mittelstreifen (linker Fahrbahnrand) sind per se durch passive Schutzeinrichtungen geschützt. Für den rechten Fahrbahnrand werden Hindernisse nur dann erfasst, wenn sich zwischen ihnen und der Fahrbahn keine passive Schutzeinrichtung befindet. Sind passive Schutzeinrichtungen vor Hindernissen am rechten Fahrbahnrand vorhanden, ist es aus Sicht der Aufgabenstellung redundant, das Hindernis als solches zu erfassen, da es i. d. R. keinen Einfluss auf die Unfallhäufigkeit nimmt.

Sollten während der Befahrungen Baustellen eingerichtet sein, wird der Abschnitt nicht mit betrachtet.

3.3 Netzeinteilung

Die Einteilung des Streckennetzes stützt sich auf die Erkenntnisse in BARK U. A. (2015) und greift diese auf. Es wird nach drei übergeordneten Netzelementen

- Knotenpunkt,
- Einflussbereich und
- freie Strecke

unterschieden (Abbildung 7).

Autobahnknotenpunkte und Anschlussstellen werden als Knotenpunkt definiert. Die Länge richtet sich nach der maximalen baulichen Ausprägung des Knotens. Maßgebend sind der Beginn bzw. das Ende von Aus- und Einfädelsstreifen (Vergleiche Kapitel 3.2).

In Fahrtrichtung schließt sich an den Knotenpunkt ein Einflussbereich der Einfahrt mit einer Länge von $L_E = 300$ m an. Hier ist zu unterstellen, dass der Verkehrsablauf sich aufgrund des Geschwindigkeitsniveaus der einfahrenden Fahrzeuge und entsprechender Fahrstreifenwechsellvorgänge von der allgemeinen Strecke unterscheidet. In diesem Sinne liegt vor dem Beginn des Ausfädelsstreifens der Einflussbereich der Ausfahrt. Dieser weist eine Länge von $L_A = 500$ m auf. Die größere Länge begründet sich aus der frühzeitigen Anpassung des Fahrverhaltens

von Verkehrsteilnehmern, welche ausfahren möchten. Außerdem befindet sich hier der Standpunkt der zweiten Ankündigungstafel für Anschlussstellen (mit Abstandsangabe zur Ausfahrt, Z 449 StVO).

Der verbleibende Bereich zwischen den Einflussbereichen der Ein- und Ausfahrt wird als freie Strecke definiert. Überlappen sich der Einflussbereich von Aus- und der davorliegenden Einfahrt, erfolgt keine Differenzierung des Einflussbereichs. Unterschreitet die verbleibende freie Strecke zwischen den Einflussbereichen die Länge von 250 m wird sie ebenfalls als Einflussbereich definiert, da nach BETZ (2008) kurze Streckenabschnitte zwischen Anschlussknoten eine veränderte Fahrstreifenaufteilung der Fahrzeuge aufweisen.

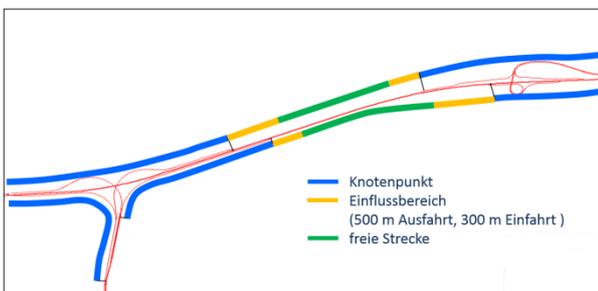


Abbildung 7: Abgrenzung Netzelemente

Freie Strecken werden durch eine Veränderung folgender Merkmale in einzelne Streckenabschnitte unterteilt (Vergleiche Kapitel 3.2):

- Änderung der Anzahl der Fahrstreifen
- Änderung der Größenordnung zeitlich unbeschränkter V_{zul}
- Verkehrsbeeinflussungsanlagen VBA
- Tunnel (nicht mit betrachtet)
- Rastanlagen (nicht mit betrachtet)

Abschnitte der freien Strecken weisen eine Mindestlänge L_{min} von 250 m auf. Eine Veränderung des Fahrverhaltens erfolgt bei hohen Geschwindigkeiten über entsprechende Distanzen. Bei Abschnitten kleiner L_{min} ist zu erwarten, dass das vorherrschende Fahrverhalten nicht den Bedingungen des Abschnitts entspricht (z. B. Geschwindigkeitsniveau).

Verbleibende Streckenabschnitte mit Längen kleiner L_{min} werden dem stromaufwärts liegenden Nachbarabschnitt zugeordnet⁶, da zu unterstellen ist, dass das Fahrverhalten aus dem zuvor durchfahrenen Abschnitt den folgenden Bereich prägt.

Für Einflussbereiche wird die V_{zul} erfasst, die im überwiegenden Teil des Einflussbereichs vorzufinden ist.

Für Knotenpunkte wird keine V_{zul} erfasst, da diese Netzelemente nur deskriptiv bewertet werden.

3.4 Quer- und Längsneigungsdaten aus den SIB

Großräumige Längsneigungsdaten liegen bereits aus der Nachtrassierung der Streckenzüge auf Basis der Befahrungsdaten vor (s. Kapitel 3.2). Informationen zur Querneigung können jedoch aus der Nachtrassierung nicht abgeleitet werden. Daher wird zur Aufbereitung der Daten zur Quer- und Längsneigung auf ZEB-Daten der Jahre 2013 und 2014 aus den SIB der Länder – bereitgestellt durch die Bundesanstalt für Straßenwesen – zurückgegriffen. Die ZEB-Daten enthalten Angaben zur Querneigung und Längsneigung in einer Schrittweite von 25 m, welche allerdings nur als Zusatzinformationen zur eigentlichen Griffigkeitsmessung erhoben werden. Aufgrund der geringen Messgenauigkeit werden die Querneigungsinformationen in diesem Forschungsvorhaben ausschließlich zur Bestimmung der Richtung (bzw. des Vorzeichens) der Querneigung und von Querneigungswechseln verwendet. Bei fehlenden Bereichen wird auf eine Auswertung dieser Abschnitte verzichtet.

3.5 Griffigkeitsdaten

Die ZEB-Daten aus den Jahren 2013 und 2014 – bereitgestellt durch die Bundesanstalt

⁶ Gilt, wenn stromaufwärts liegender Abschnitt länger als L_{min} ist und keinen Einflussbereich darstellt. Sonst erfolgt eine Verknüpfung mit dem nachfolgenden Abschnitt

für Straßenwesen – enthalten neben den Daten zu Quer- und Längsneigung verschiedene Griffigkeitsdaten für die einzelnen Fahrstreifen in einem 100 m Raster. Für die Bewertung wird auf den GRI_80-Wert als beschreibende Zustandsgröße für die Griffigkeit zurückgegriffen. Die Zustandsgröße GRI_80 beschreibt den ermittelten Seitenreibungsbeiwert (μ_{SKM}) bei einer Geschwindigkeit von 80 km/h des Messfahrzeugs (FGSV 2007). Die Klassifizierung der Zustandsgröße ist Tabelle 4 zu entnehmen. Es gilt, je höher der Wert, desto besser ist die Griffigkeit der Oberfläche.

Tabelle 4: Klassifizierung Zustandswerte GRI_80 für Autobahnen

Zustandsbeschreibung	Größenordnung GRI_80 (μ_{SKM})
1,5-Wert (ehem. „Zielwert“)	0,53
Warnwert	0,39
Schwellwert	0,32

Es ist anzumerken, dass die ZEB-Werte jeweils gemittelte Griffigkeiten über 100m-Abschnitte darstellen. Einzelne Stellen mit sehr schlechter Griffigkeit können somit durch die restliche Strecke mit besserer Griffigkeit im 100m-Abschnitt kompensiert werden und der 100m-Abschnitt stellt keine Auffälligkeit dar.

In der Auswertung werden abschnittsbezogen und fahrstreifenfein der Mittelwert und das Minimum der 100m-Griffigkeitswerte des Streckenabschnitts erhoben. Es ist außerdem zu beachten, dass die Griffigkeiten temporäre Größen darstellen, die im Laufe des Untersuchungszeitraums Veränderungen unterliegen.

3.6 Verkehrsstärkedaten

Von den Bundesländern wurden die Verkehrsmengen der Autobahnabschnitte (Netzknotenabschnitte) zur Verfügung gestellt. Grundlage bilden die Verkehrsmengen nach der Zählung aus dem Jahre 2010, da der Zeitraum für 2015 noch nicht einheitlich zur Ver-

fügung stand. Primär maßgebend sind die Angaben zu dem durchschnittlichen täglichen Verkehr (DTV) für alle Fahrzeuge sowie dem DTV des Schwerververkehrs.

3.7 Siedlungsstrukturdaten

Es erfolgt eine Zuordnung der untersuchten Streckenabschnitte zu folgenden siedlungsstrukturellen Regionsgrundtypen gem. BBSR (2011) anhand deren Lage (s. Abbildung 8):

- Agglomerationsräume,
- verstädterte Räume und
- ländliche Räume.

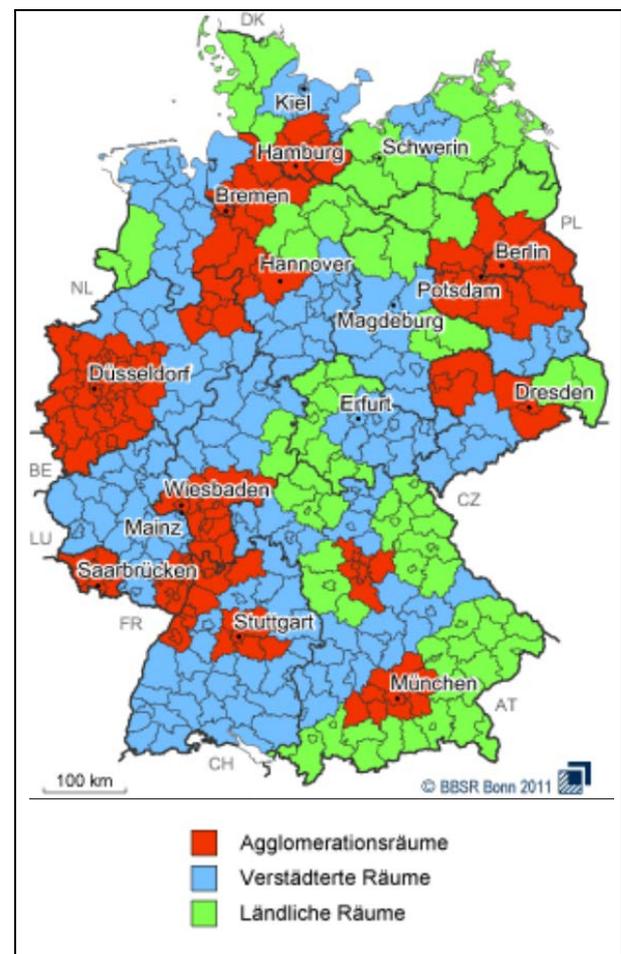


Abbildung 8: Siedlungsstrukturelle Regionsgrundtypen gem. BBSR (2011)

Die Verteilung der Regionsgrundtypen auf die nach der Anzahl der Fahrstreifen getrennten Kollektive kann Tabelle 5 entnommen werden. Es ist zu erkennen, dass die drei Regions-

grundtypen in beiden Kollektiven ausreichend vertreten sind.

Tabelle 5: Verteilung siedlungsstrukturelle Regionsgrundtypen gem. BBSR (2011)

Regionsgrundtyp	Länge 2 FS [km]	Länge 3 FS [km]
Agglomerationsraum	304	285
Verstädterter Raum	420	174
Ländlicher Raum	349	353

3.8 Baustellendaten

Arbeitsstellen bzw. Baustellen führen zu einer Veränderung des Verkehrsablaufs und der Verkehrssicherheit (MAIER U. A. 2012). Daher sind diese Zeiträume für die Untersuchung ungeeignet. Aus der Historie der Baustellenregister der Bundesländer liegen Informationen (Dauer, Art, Regelplan) zu den Baustellen vor. Baustellenzeiträume von über einem Monat wurden aus der Betrachtung ausgeschlossen. Bei „deutlicher Veränderung der Verkehrsführung“ (FGSV 1995) wurde nur der aus der Befahrung bekannte Zustand des Nachherzeitraums berücksichtigt. Dazu zählt z. B. die Veränderung der Anzahl der durchgehenden Fahrstreifen. Dabei wurde bei der Analyse der Regelpläne sowohl die Hin- als auch Gegenrichtung bezüglich Interdependenzen geprüft.

Stellt das Resultat der abgeschlossenen Bautätigkeiten eine maßgebende Veränderung der Streckencharakteristik dar – z. B. Umbau der Richtungsfahrbahn von zwei auf drei Fahrstreifen – geht lediglich der Nachher-Zeitraum in die Bewertung des Unfallgeschehens ein. Bei einer nicht eindeutigen Datenlage wurden die betroffenen Netzknotenabschnitte ausgeschlossen.

3.9 Unfalldaten

Für alle sieben Bundesländer liegen die polizeilich erfassten Unfalldaten für die Jahre 2011 bis einschließlich 2015 aus den Programmen der elektronischen Unfalldatenhaltung vor (Tabelle 6). Diese wurden von den

Behörden und Institutionen der jeweiligen Bundesländer bezogen, die für die Unfalldatenhaltung verantwortlich sind. Die Wahl des Betrachtungszeitraums von fünf Jahren stellt einen Kompromiss dar. Auf der einen Seite erhöht die Betrachtung mehrjähriger Zeiträume die Stabilität der Ergebnisse. Auf der anderen Seite bedingen zu lange Zeiträume eine Vielzahl von Änderungen in der Infrastruktur und den verkehrlichen Randbedingungen, welche die Aussagekraft oder das auswertbare Kollektiv einschränken.

Das vollumfängliche Unfallgeschehen der Unfallkategorie 5 – sonstiger Unfall mit Sachschaden – liegt nur für die Bundesländer Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt vor. In den anderen Bundesländern werden Unfälle dieser Kategorie in der Regel nur dann erhoben, wenn ein Straftatbestand vorliegt. Somit ist für alle Bundesländer eine Auswertung der Unfallkategorien 1 bis 4, einschließlich 6, möglich. Die Auswertung der Unfallkategorie 5 beschränkt sich auf die o. g. Bundesländer.

Tabelle 6: Betrachtete Zeiträume und Unfallkategorien für die einzelnen Bundesländer

Bundesland	Zeitraum (Jahr)		Unfälle der Kategorien
	von	bis	
BB	2011	2015	1 bis 4 & 6
BW			1 bis 4 & 6
BY			1 bis 4 & 6
HE			1 bis 6
NW			1 bis 4 & 6
SN			1 bis 6
ST			1 bis 6

Folgende Unfallmerkmale fanden in der Auswertung Berücksichtigung (Vergleiche FGSV 2012):

- Datum/Zeitpunkt,
- Unfallkategorie,
- Unfalltyp,
- Unfallart,
- Unfallursache,
- Unfallumstände (z. B. Witterung) und

- Art der Verkehrsbeteiligung.

Der Unfalltyp beschreibt die verkehrstechnische Konfliktsituation, in deren Folge der Unfall entstanden ist (FGSV 2012). In der Regel wird der Unfalltyp über die Bewegungsrichtung und die Beteiligungsart der Verkehrsteilnehmer – bei Alleinunfällen gibt es nur einen Beteiligten – vor dem Zusammentreffen beschrieben. Es werden nach M Uko (FGSV 2012) sieben Unfalltypen beschrieben. Maßgebend für den Verkehrsablauf auf Streckenabschnitten von Autobahnen außerhalb von Knotenpunkten sind:

- Fahrnfall (Unfallauslösendes Element ist der Verlust der Kontrolle über das Fahrzeug, ohne das andere Verkehrsteilnehmer dazu beigetragen haben),
- Unfall im Längsverkehr (Der Unfall wird ausgelöst zwischen zwei Verkehrsteilnehmern, die sich in gleicher oder entgegengesetzter Richtung zueinander bewegen, solange nicht abgebogen wird oder der Unfall einem anderen Konflikttyp entspricht) und
- Sonstiger Unfall (Dieser Typ vereint Unfälle, die sich nicht den anderen sechs Unfalltypen zuordnen lassen. Dazu zählen z. B. Unfälle mit Wild, Fahrzeugschäden o. Ä.)

„Die Unfallart beschreibt vom gesamten Unfallablauf die Bewegungsrichtung der beteiligten Fahrzeuge zueinander beim ersten Zusammenstoß auf der Fahrbahn oder, wenn es nicht zum Zusammenstoß gekommen ist, die erste mechanische Einwirkung auf einen Verkehrsteilnehmer.“ (DESTATIS 2016) Für die Bewertung der Unfallart ist die unfallauslösende Konfliktsituation nicht entscheidend.

Das Abkommen von der Fahrbahn nach rechts oder links (Unfallart 8/9) wird wie folgt definiert (DESTATIS 2016): Zu den Unfallarten 8/9 gehören Unfälle, bei denen Fahrzeuge von der Fahrbahn abgekommen sind, ohne dass es vorher zu einem Zusammenstoß mit

einem anderen Verkehrsteilnehmer oder einem Aufprall auf ein Hindernis gekommen ist.

Sowohl die Definition des Merkmals Unfallart als auch speziell der Unfallart 8/9 verdeutlichen, dass dieses Merkmal für die Beschreibung konfliktverursachender Defizite nicht geeignet und abhängig vom Verkehrsablauf während bzw. kurz nach dem Unfall ist. Folgende Beispiele unterlegen dies:

- Der Fahrnfall beschreibt den Verlust der Kontrolle über das Fahrzeug. Häufig sekundieren Defizite der Verkehrsanlage, wie schlechte Griffigkeiten oder ein schlecht einschätzbarer Streckenverlauf, das Entstehen von Fahrnfällen. Kommt ein Fahrzeug ohne vorausgehende Kollision mit Anderen von der Fahrbahn ab, handelt es sich gleichzeitig um einen Abkommensunfall.
- Bei der gleichen konfliktauslösenden Situation handelt es sich nicht mehr um einen Abkommensunfall, wenn der Verkehrsteilnehmer vor dem Verlassen der Fahrbahn mit anderen Verkehrsteilnehmern oder mit einem Hindernis auf der Fahrbahn kollidiert.
- Weicht ein Verkehrsteilnehmer vor einem anderen in gleicher Richtung Fahrenden aufgrund eines Fahrstreifenwechsels aus und schleudert ohne vorherige Kollision von der Fahrbahn, handelt es sich um einen Abkommensunfall des Typs 6 (Längsverkehr).
- Bei der zuvor beschriebenen Konfliktsituation handelt es sich nicht um einen Abkommensunfall, wenn beide Fahrzeuge im Vorfeld kollidieren.
- Kommt ein Fahrzeug aufgrund eines technischen Defekts oder körperlichen Versagens des Fahrzeugführenden ohne vorherige Kollision mit anderen Fahrzeugen oder Hindernissen von der Fahrbahn ab, handelt es sich um den Unfalltyp „Sonstiger Unfall“ und einen Abkommensunfall. Auf Autobahnen gilt für diesen Unfalltyp mutmaßlich, dass er nur marginal in Zu-

sammenhang mit möglichen Einflüssen aufgrund der Streckencharakteristik oder dem Verkehrsablauf steht.

Der Vergleich der Konfliktsituationen für die Unfalltypen 1 (Fahrerunfall) und 6 (Längsverkehr) verdeutlicht, dass der Unfalltyp am ehesten geeignet erscheint, Konfliktsituationen zu beschreiben, die u. a. aufgrund äußerer Randbedingungen entstehen. Ob es sich um einen Abkommensunfall handelt, ist rein zufällig und durch die Verkehrsstärke bzw. ferner durch das Auftreten von Hindernissen (z. B. PSE) geprägt. Für Unfälle im Längsverkehr (Typ 6) lässt sich im Nachhinein die konfliktauslösende Konstellation nicht immer eindeutig festlegen. Mit dem Ziel, Streckenabschnitte mit einer erhöhten Unfallwahrscheinlichkeit (für Abkommensunfälle) zu identifizieren, werden nach Abstimmung im Betreuerkreis des Projekts folgende, potenzielle Abkommensunfälle in der Untersuchung vertiefend analysiert:

- Alle Unfälle des Typs Fahrerunfall (nachfolgend als „ U_{Typ1} “ bezeichnet) sowie
- Unfälle im Längsverkehr der Unfallart 3 – Zusammenstoß mit anderem Fahrzeug, das seitlich in gleicher Richtung fährt – sowie den Unfallarten 8 und 9. Für diese Unfallarten ist anzunehmen, dass die konfliktauslösende Situation auch mit der Infrastruktur in Zusammenhang steht (nachfolgend als $U_{Typ6Art3,8,9}$ bezeichnet).

Die Summe dieser Unfälle wird fortfolgend als „ U_{Abk} “ bezeichnet. Das vollumfängliche Unfallgeschehen wird als „Gesamtunfallgeschehen“ oder „alle erfassten Unfälle“ bezeichnet.

Sonstige Unfälle (Typ 7) sind i. d. R. nicht infrastrukturbezogen. Sie werden nicht separat betrachtet.

Um die Besonderheit des Fahrerunfalls (U_{Typ1}) bezüglich seiner Aussagekraft hinsichtlich von Defiziten zu konkretisieren, erfolgt im weiteren Verlauf des Projektes eine gesonderte Modellbildung für U_{Typ1} und $U_{Typ6Art3,8,9}$.

3.10 Aufbereitetes Streckenkollektiv

3.10.1 Umfang

Nach der finalen Streckenauswahl (s. Kapitel 3.1.2) liegen Daten zu insgesamt 2.970 km BAB für die Datenaufbereitung vor. Durch den Ausschluss von Streckenabschnitten mit fehlerbehafteten oder unvollständigen Daten und mit Längen unterhalb der definierten Mindestlängen (s. Kapitel 3.3) sowie von Knotenpunktbereichen und Bereichen mit Tunneln und Rastanlagen reduziert sich die Gesamtstreckenlänge entsprechend.

Jeweils ca. 100 km der zwei- und dreistreifigen Streckenkollektive werden nicht für die Modellbildung und die deskriptive Analyse (Analysekollektiv), sondern für die Validierung der aufgestellten Unfallmodelle verwendet (Validierungskollektiv). Die für die Modellbildung und die Validierung zur Verfügung stehenden Gesamtlängen der Kollektive können Tabelle 7 entnommen werden.

Tabelle 7: Gesamtlänge Streckenabschnitte nach Datenaufbereitung

Teilkollektive	Länge 2 FS [km]	Länge 3 FS [km]	Gesamt [km]
Analyse	1.070	705	1.775
Validierung	97	100	197
gesamt	1.167	805	1.972

Zusätzlich zum Analysekollektiv werden im Rahmen deskriptiver Analysen die durchgehenden Hauptfahrbahnen in Knotenpunktbereichen betrachtet.

3.10.2 Verteilung der Einflussgrößen

Insgesamt wurden 83 Infrastruktur-, Betriebs- und Verkehrsmerkmale aufbereitet und sowohl am zweistreifigen, als auch am dreistreifigen Analysekollektiv im Rahmen der Modellerstellung auf ihren Einfluss auf das Abkommensunfallgeschehen geprüft. Eine Übersicht aller 83 Merkmale ist in Tabelle 27 und Tabelle 28 in Anhang 4 enthalten.

Um einen Eindruck vom Auftreten der Merkmale im Analysekollektiv zu vermitteln, werden die Merkmalsverteilungen grafisch dargestellt. Abbildung 9 zeigt beispielhaft die Verteilung der generellen Geschwindigkeitsbeschränkungen im Analysekollektiv.

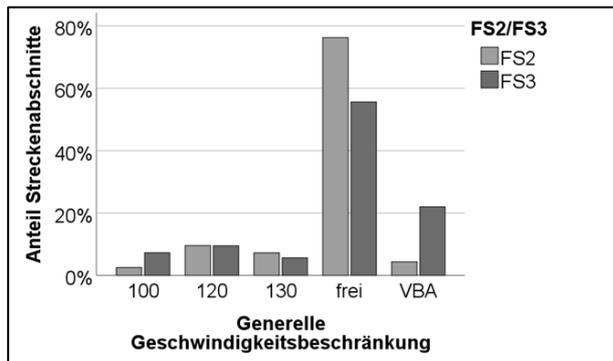


Abbildung 9: Verteilung der generellen Geschwindigkeitsbeschränkungen im Analysekollektiv

Anhang 6 enthält die grafischen Darstellungen der wichtigsten Merkmalsverteilungen.

3.10.3 Unfallgeschehen

Ohne Berücksichtigung der Baustellenzeiträume umfasst das Gesamtunfallkollektiv auf den Streckenabschnitten der Analyse 8.833 Unfälle (Tabelle 8).

Tabelle 8: Gesamtunfallanzahl in den Streckenabschnitten

Teilkollektive	U(P,SS) 2 FS [-]	U(P,SS) 3 FS [-]	U(P,SS) Gesamt [-]
Analyse	3.909	4.924	8.833
Validierung	485	788	1.273
gesamt	4.394	5.712	10.106

Abbildung 10 zeigt mithilfe von Lorenzkurven, wie sich die Unfälle räumlich auf das Analysekollektiv verteilen. Dabei stellt die schwarze Linie eine fiktive Gleichverteilung der Unfälle über ein Streckennetz dar. Es zeigt sich, dass die potenziellen Abkommensunfälle (definiert als U(Typ 1 & Typ 6 Art 3, 8, 9) im Analysekollektiv der zweistreifigen Richtungsfahrbahnen ungleicher verteilt sind als die Gesamtheit aller erfassten Unfälle in

diesem Bereich. Im Analysekollektiv der dreistreifigen Richtungsfahrbahn zeigt sich diesbezüglich zwischen den Abkommensunfällen und der Gesamtheit aller erfassten Unfälle ein kleinerer Unterschied. Dies lässt vermuten, dass die räumlichen Unterschiede im Streckennetz (z. B. Infrastruktur, Betriebsform, Verkehrsnachfrage) an BAB mit zweistreifigen Richtungsfahrbahnen einen höheren Einfluss auf die Entstehung von Abkommensunfällen haben als an BAB mit dreistreifigen Richtungsfahrbahnen.

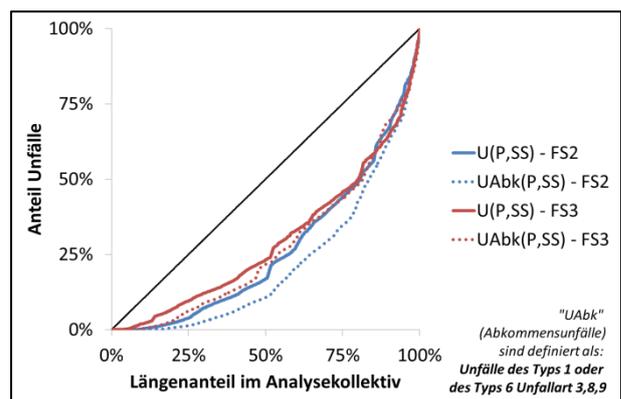


Abbildung 10: Verteilungen der Unfälle im Analysekollektiv (Lorenzkurven)

4 Unfallmodelle

4.1 Modellerstellung

Sowohl für die unabhängigen Variablen (Einflussgrößen) als auch für die abhängige Variable (Unfallgeschehen) erfolgte eine Überprüfung auf deren Eignung für die Modellerstellung.

4.1.1 Erstellte Teilmodelle

Grundsätzlich wurde das Kollektiv vorab in Streckenabschnitte mit zwei- bzw. dreistreifigen Richtungsfahrbahnen eingeteilt. Die Ergebnisse der Literaturanalyse zeigen darüber hinaus die Notwendigkeit einer getrennten Modellbildung für die U_{Typ1} und $U_{\text{Typ6Art3,8,9}}$. Eine gemeinsame Modellbildung für alle U_{Abk} erfolgt daher ausschließlich auf der ersten Modellebene für die $U(\text{P, SS})$ sowie für die $U(\text{SP})$ ohne weitere Einschränkung der Unfalldaten.

Weiterhin wurden die Unfalldaten hinsichtlich folgender Merkmale aufbereitet:

- Art der Verkehrsbeteiligung des Unfallverursachers (Fzg-Art „Bet. 01“ Pkw oder Lkw),
- Fahrbahnzustand (Nässe/Glätte oder Trockenheit) und
- Hauptverkehrszeit (06:00 – 10:00 und 16:00 – 20:00 Uhr).

Die Zuordnung zur Fahrzeugart erfolgt dabei auf Basis der in der amtlichen Straßenverkehrsunfallstatistik vermerkten Beteiligungsart des „Beteiligten 01“, der i. d. R. als Hauptverursacher eines Unfalls gilt. Dabei werden die Beteiligungsarten 21, 22 und 92 als Pkw, die Beteiligungsarten 31 bis 58 als Lkw vermerkt.

Alle so aufbereiteten Kombinationen (potenzielle Teilmodelle, ohne das Merkmal Hauptverkehrszeit) sind in Tabelle 9 aufgelistet. Mit dem Ziel der Bildung aussagekräftiger Unfallmodelle werden nur Teilmodelle erstellt, bei denen die abhängige Variable (Unfallanzahl)

in mindestens 25 % der Streckenabschnitte einen Wert größer Null aufweist (Besetzungsgrad $> 0,25$). Für das Merkmal Hauptverkehrszeit können daher keine Teilmodelle gebildet werden. Einzelne weitere Teilmodelle können aufgrund dieser Bedingung ebenfalls nicht gebildet werden. Eine Übersicht hierfür bietet ebenfalls Tabelle 9.

Auf Basis der erläuterten Kriterien werden insgesamt 24 Teilmodelle erstellt. Diese und deren Modellnummern sind in Abbildung 11 dargestellt und in Tabelle 10 aufgelistet.

Neben der Auswahl möglicher Teilmodelle wurden die Streckenabschnitte der Kollektive FS2 und FS3 auf Ausreißer in den Unfalldaten überprüft und gegebenenfalls nicht für die Modellbildung verwendet. Dafür wurden jeweils die Unfallraten der $U(\text{P, SS})$ sowie $U(\text{SP})$ der U_{Typ1} und $U_{\text{Typ6Art3,8,9}}$ herangezogen.

Tabelle 9: Zu geringe Besetzungsgrade einiger Unfallkollektive als Ausschlusskriterium bestimmter Teilmodelle

Kombinationsmöglichkeiten				Besetzungsgrad		Teilmodell mgl.?	
FS	Typ/Art	Fzg-Art	FB-Zustand	U(P+SS)	U(SP)	U(P+SS)	U(SP)
2	Alle	Alle	Alle	70%	26%	Ja	Ja
	Typ 1	Alle	Alle	62%	22%	Ja	Nein
			Nässe/Glätte	50%	11%	Ja	Nein
			Trockenheit	34%	13%	Ja	Nein
		Pkw	Alle	58%	19%	Ja	Nein
			Nässe/Glätte	51%	11%	Ja	Nein
		Lkw	Alle	17%	3%	Nein	Nein
	Typ 6 & Art 3,8,9	Alle	Alle	36%	7%	Ja	Nein
			Nässe/Glätte	14%	2%	Nein	Nein
			Trockenheit	28%	6%	Ja	Nein
		Pkw	Alle	29%	6%	Ja	Nein
			Nässe/Glätte	14%	1%	Nein	Nein
		Lkw	Alle	13%	1%	Nein	Nein
	3	Alle	Alle	Alle	83%	37%	Ja
Typ 1		Alle	Alle	76%	28%	Ja	Ja
			Nässe/Glätte	64%	11%	Ja	Nein
			Trockenheit	48%	20%	Ja	Nein
		Pkw	Alle	72%	23%	Ja	Nein
			Nässe/Glätte	65%	12%	Ja	Nein
		Lkw	Alle	31%	7%	Ja	Nein
Typ 6 & Art 3,8,9		Alle	Alle	57%	16%	Ja	Nein
			Nässe/Glätte	26%	4%	Ja	Nein
			Trockenheit	51%	12%	Ja	Nein
		Pkw	Alle	51%	14%	Ja	Nein
			Nässe/Glätte	25%	3%	Ja	Nein
		Lkw	Alle	22%	3%	Nein	Nein

Tabelle 10: Erstellte Teilmodelle

Nr.	FS	Teilmodelle nach Unfallgeschehen			
		Typ/Art	Bet. 01	FB-Zustand	Kategorie
01	2	Typ1 & Typ6 & Art3,8,9	Alle	Alle	U(P,SS)
02				Alle	U(SP)
03		Typ 1	Alle	Alle	U(P,SS)
04				Nässe/Glätte	U(P,SS)
05				Trockenheit	U(P,SS)
06			Pkw	Alle	U(P,SS)
07				Nässe/Glätte	U(P,SS)
08				Alle	U(P,SS)
09		Typ 6 & Art 3,8,9	Alle	Trockenheit	U(P,SS)
10				Pkw	Alle
11	3	Typ1 & Typ6 & Art3,8,9	Alle	Alle	U(P,SS)
12				Alle	U(SP)
13		Typ 1	Alle	Alle	U(P,SS)
14				Alle	U(SP)
15				Nässe/Glätte	U(P,SS)
16			Trockenheit	U(P,SS)	
17			Pkw	Alle	U(P,SS)
18				Nässe/Glätte	U(P,SS)
19		Typ 6 & Art 3,8,9	Alle	Alle	U(P,SS)
20				Nässe/Glätte	U(P,SS)
21				Trockenheit	U(P,SS)
22			Pkw	Alle	U(P,SS)
23				Nässe/Glätte	U(P,SS)
24				Nässe/Glätte	U(P,SS)

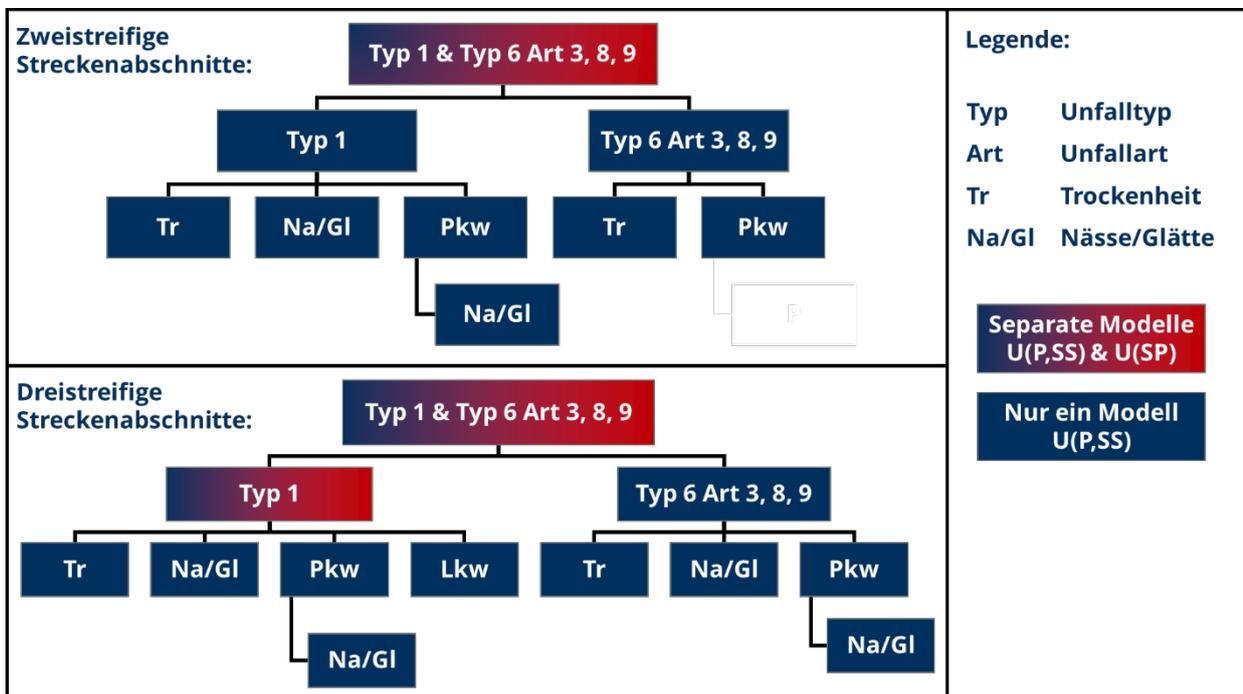


Abbildung 11: Baumdiagramm der Unfallkollektive der Teilmodelle

4.1.2 Vorauswahl von Einflussgrößen

Ebenfalls getrennt für die Kollektive der zwei- und dreistreifigen Streckenabschnitte erfolgt eine Prüfung der aufbereiteten Einflussgrößen (unabhängige Variablen) auf deren Eignung für die Erstellung der Unfallmodelle.

Zur Modellbildung werden nur Einflussgrößen verwendet, deren Besetzungsgrad im Kollektiv über 0,05 und deren Variationskoeffizient über 0,1 liegt. Das bedeutet, dass jede Ausprägung eines kategorialen Merkmals in mindestens 5 % der Streckenabschnitte vertreten sein soll und metrische Merkmale in mindestens 5 % der Streckenabschnitte einen Wert größer Null sowie eine gewisse Streuung aufweisen sollen.

Außerdem wurde mithilfe von Spearmans Rangkorrelationskoeffizient geprüft, welche der Einflussgrößen paarweise miteinander korrelieren. Paare von Einflussgrößen mit Rangkorrelationskoeffizienten über 0,6 werden in der Folge nicht gemeinsam in ein Unfallmodell aufgenommen, da in diesem Fall nicht klar wäre, welche der korrelierenden Einflussgrößen tatsächlich einen Einfluss auf das Unfallgeschehen hat.

4.1.3 Modellform

Verkehrsunfälle gelten als vergleichsweise seltene Ereignisse, weshalb deren zufälliges Auftreten als poissonverteilt angenommen werden kann. Allgemeine lineare Regressionsmodelle lassen sich auf Zielgrößen mit poissonverteiltem Erwartungswert jedoch nicht verlässlich anwenden und sind deshalb nicht dazu geeignet, die Einflüsse verschiedener Kenngrößen auf das Unfallgeschehen zu quantifizieren. Deshalb erfolgt die Modellbildung mithilfe Generalisierter Linearer Modelle (GLM).

Während die Bildung der GLM auf Basis poissonverteilter Erwartungswerte erfolgt, wird für die finale Version jedes Teilmodells zusätzlich ein GLM auf Basis der negativen Binomialverteilung erstellt. Die negative Binomi-

alverteilung stellt eine Überlagerung der Poissonverteilung und der Gammaverteilung dar. Die Gammaverteilung eignet sich, um mögliche zufällige Abweichungen der Unfallanzahl zwischen den einzelnen Streckenabschnitten bei der Modellbildung zu berücksichtigen.

Während durch die Anwendung der o. g. Verteilungsfunktionen die stochastische Komponente des Unfallgeschehens abgebildet wird, erfolgt die Berücksichtigung der systematischen Komponente durch einen linearen Prädiktor. Dieser wird aus dem Wert der Einflussgröße sowie einem Regressionsparameter gebildet. Die Verknüpfung zwischen dem Erwartungswert der abhängigen Variable und diesem linearen Prädiktor erfolgt mithilfe einer logarithmischen Linkfunktion. Das Unfallmodell für den Erwartungswert der Unfallanzahl kann daher mithilfe von Gleichung 1 beschrieben werden.

$$U_{Erw} = e^{\beta_0 + \sum \beta_i * x_i} \quad \text{Gleichung 1}$$

mit:

U_{Erw}	Erwartungswert Unfallanzahl [-]
x_i	Einflussgröße i [divers]
β_i	Regressionsparameter von x_i [-]
β_0	Konstanter Term

Der lineare Prädiktor setzt sich aus den beschreibenden Variablen (Einflussgrößen) einerseits und aus Expositionsgrößen (DTV, Abschnittslänge, Betrachtungszeitraum) andererseits zusammen. Kategoriale Einflussgrößen werden dabei in binäre Dummy-Variablen umgewandelt. Die Einflussgrößen werden multiplikativ mit einem Regressionsparameter verknüpft.

Den metrischen Expositionsgrößen wie Abschnittslänge, Betrachtungszeitraum und DTV kann ein natürlicher Einfluss auf die Unfallanzahl unterstellt werden, da ein Wert von Null einer dieser Größen immer zur Folge hat, dass auch die Unfallanzahl bei Null liegt. Um

diese Bedingung zu berücksichtigen, werden die Expositionsgrößen logarithmiert in die Modellgleichung aufgenommen (Gleichung 2).

$$U_{Erw} = e^{\beta_0 + \sum \beta_i * x_i + \sum \beta_j * \ln(x_j)} \quad \text{Gleichung 2}$$

mit:

U_{Erw}	Erwartungswert Unfallanzahl [-]
x_i	Einflussgröße i [divers]
x_j	Expositionsgröße j [divers]
β_i	Regressionsparameter von x_i [-]
β_j	Regressionsparameter von x_j [-]
β_0	Konstanter Term [-]

Zwischen der Unfallanzahl und den Expositionsgrößen Abschnittslänge sowie Betrachtungszeitraum wird generell ein linearer Zusammenhang angenommen, weshalb diese als sogenannter Offset-Term mit dem konstanten Regressionsparameter Eins im Unfallmodell berücksichtigt werden. Wie aus der Literaturanalyse hervorgeht, kann zwischen dem DTV und der Unfallanzahl nicht von einem solchen linearen Zusammenhang ausgegangen werden. Durch Berücksichtigung dieser Randbedingungen und Umformen lässt sich das Unfallmodell Gleichung 3 beschreiben:

$$U_{Erw} = k * T * L * DTV^{\beta_1} * e^{\sum \beta_i * x_i} \quad \text{Gleichung 3}$$

$$k = e^{\beta_0}$$

mit:

U_{Erw}	Erwartungswert Unfallanzahl [-]
x_i	Einflussgröße i [divers]
x_j	Expositionsgröße j [divers]
β_i	Regressionsparameter von x_i [-]
β_j	Regressionsparameter von x_j [-]
k	Konstanter Term [-]
T	Betrachtungszeitraum [a]
L	Abschnittslänge [km]

Die finalen Unfallmodelle stellen jeweils das Optimum der multivariaten Regression zwischen einer abhängigen Variable (Unfallanzahl) und mehreren unabhängigen Variablen (relevante Einflussgrößen) dar. Als Optimierungskriterium dienen hierbei die Residuen

zwischen dem modellierten Erwartungswert und der tatsächlichen Unfallanzahl (Aggregiert über alle Streckenabschnitte mit Pearsons χ^2).

4.1.4 Modellbildung

Die Modellbildung erfolgt mit dem Ziel einer bestmöglichen Anpassungsgüte bei gleichzeitiger Signifikanz der Einflussgrößen sowie des Gesamtmodells (s. Kapitel 4.3).

Für alle zu erstellenden Teilmodelle erfolgt als Referenz zunächst die Bildung eines sogenannten Nullmodells auf Basis eines konstanten Terms sowie des bereits zuvor erläuterten Offset-Terms aus Betrachtungszeitraum und Abschnittslänge.

Im nächsten Schritt wird der DTV in das Unfallmodell aufgenommen. Anschließend erfolgt analog zu ROQUE/CARDOSO (2014, s. Anhang 3) für alle Teilmodelle die Überprüfung, ob die erneute Aufnahme des DTV, diesmal jedoch als Einflussgröße (DTV-Korrektur) zu einer Verbesserung der Anpassungsgüte bei gleichzeitiger Signifikanz aller Koeffizienten sowie des Gesamtmodells führt. Ist dies der Fall, wird auch der DTV-Korrekturfaktor ins Modell aufgenommen⁷.

Nachfolgend werden alle zur Verfügung stehenden Einflussgrößen einzeln in sogenannte Anwärtermodelle aufgenommen. Anschließend erfolgt ein Vergleich der Anpassungsgüte sowie der Signifikanz dieser Anwärtermodelle untereinander sowie mit der aktuellen Modellstufe. Auf diese Weise werden Modellstufen mit einer oder mehreren Einflussgrößen bestimmt, die in der Folge jeweils erneut in Anwärtermodellen mit allen anderen zu Verfügung stehenden Einflussgrößen kombiniert werden.

⁷ Der DTV wird an dieser Stelle durch 10.000 geteilt, um einen anschaulichen Regressionsparameter zu generieren. Dies hat keinen Einfluss auf das Unfallmodell.

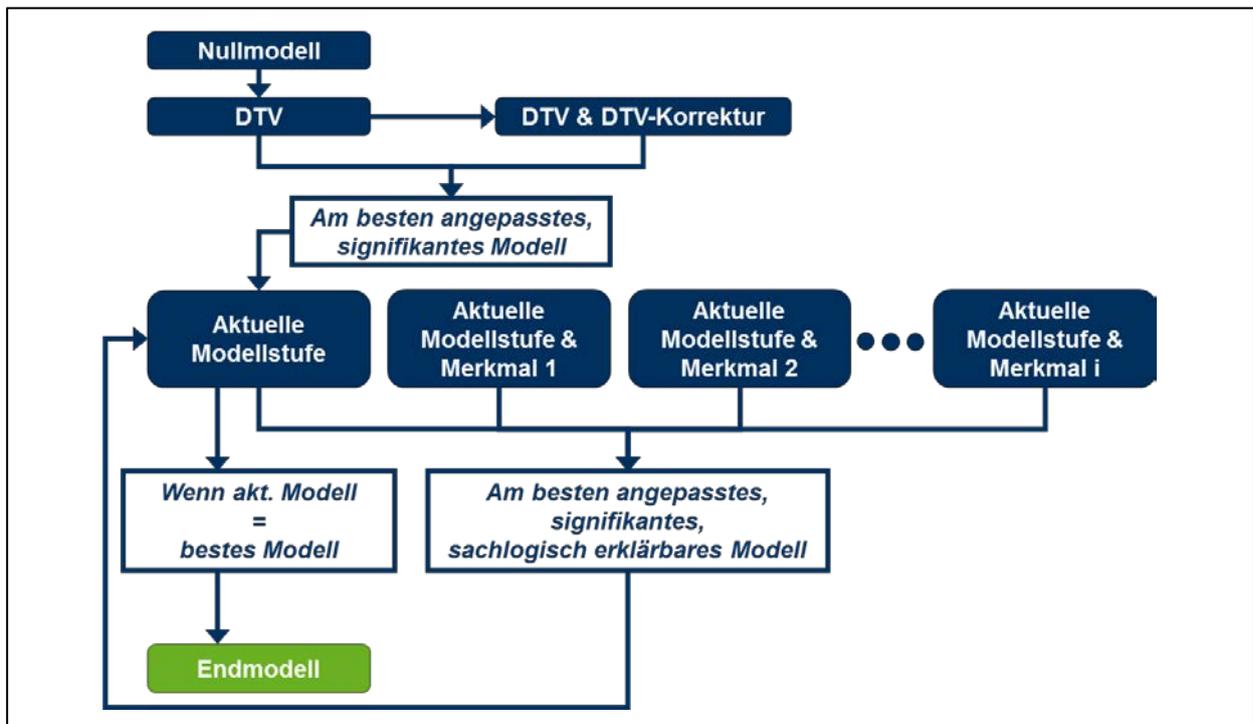


Abbildung 12: Ablauf der Modellbildung

Die Modellbildung wird abgeschlossen, wenn kein weiteres Anwartermodell gefunden wird, dass eine merkliche Verbesserung der Anpassungsgüte oder Signifikanz gegenüber der aktuellen Modellstufe darstellt. Neben den erläuterten modelltheoretischen Voraussetzungen (s. auch Kapitel 4.3) für die Aufnahme einer Einflussgröße in die nächste Modellstufe gilt der Grundsatz, dass die Wirkungsrichtung der Einflussgröße einem nachvollziehbaren, sachlogischen Zusammenhang mit der Unfallanzahl entsprechen muss (z. B. ist es nicht plausibel, dass sich eine hohe Fahrbahngriffigkeit unfallbegünstigend auswirkt, auch wenn diese Aussage aus einem Modell hervorgehen sollte).

Auf die dargelegte Weise wird für jedes Teilmodell eine Vorzugsvariante mit optimaler Modellgüte erarbeitet. Zum Teil zeigten sich weitere Modelle mit anderen Einflussgrößen mit einer Modellgüte im ähnlichen Bereich für weitere Kombinationen von Einflussgrößen. Solche Modelle werden als sogenannte Komplementärmodelle gelistet und finden ebenfalls Eingang in die Diskussion der Modellergebnisse.

Das Vorgehen bei der Modellerstellung ist in Abbildung 12 dargestellt.

4.2 Modellergebnisse

4.2.1 Vorbemerkungen

Die erstellten Unfallmodelle repräsentieren das Unfallgeschehen in den untersuchten Streckenabschnitten. Die berechneten Wirkungszusammenhänge sind daher nur innerhalb der auf den betrachteten Streckenabschnitten vorkommenden Bereiche und Ausprägungen der unabhängigen Variablen (Einflussgrößen) repräsentativ. Dies gilt insbesondere für die in diesem Bericht erläuterten Wirkungszusammenhänge zwischen dem DTV und der Unfallanzahl.

Da aus den erstellten Unfallmodellen ausschließlich Aussagen über die Unfallanzahl abgeleitet werden können, kann eine Bewertung des Einflusses eines Merkmals auf die Unfallschwere nur durch einen Vergleich der Modelle für verschiedene Unfallkategorien erfolgen.

Die Parametersets der erstellten Teilmodelle inklusive statistischer Kenngrößen befinden sich in Anhang 7 und Anhang 8. Tabelle 11 und Tabelle 14 beinhalten jeweils eine Zusammenfassung der bei der Modellerstellung erforschten Wirkrichtung der Einflussgrößen auf die Unfallanzahl für die Unfallkollektive aller Teilmodelle, ohne Berücksichtigung der Größe des Einflusses.

Zudem lassen sich die Modellergebnisse quantifizieren, indem die jeweilige Modellformel auf alle Streckenabschnitte des Analysekollektivs angewendet wird. Um den Einfluss eines Merkmals auf die modellierte Unfallanzahl isoliert betrachten zu können, werden dessen Ausprägungen in dem Bereich systematisch variiert, in dem sie im Analysekollektiv tatsächlich vorkommen. Dabei wird für die restlichen, im jeweiligen Unfallmodell vorkommenden Merkmale jeweils der Mittelwert im Analysekollektiv bzw. bei kategorialen Merkmalen die am häufigsten vorkommende Ausprägung verwendet. Auf diese Weise lässt sich die modellierte Unfalldichte in Abhängigkeit der Ausprägung des interessierenden Merkmals darstellen. Abbildung 13 zeigt den Verlauf der Modellfunktion beispielhaft für das Merkmal „Griffigkeit des rechten Fahrstreifens“ im Teilmodell 01.

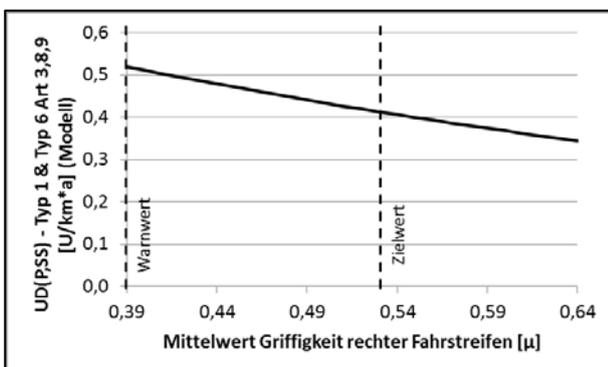


Abbildung 13: Beispiel für die Quantifizierung der Modellergebnisse

Auch wenn die Modellfunktion theoretisch extrapoliert werden kann, werden diese Verläufe jeweils nur für die im Analysekollektiv tatsächlich beobachteten Ausprägungen bzw. den

beobachteten Wertebereich der Einflussgrößen dargestellt.

Für die weitere Untersuchung werden bei metrischen Einflussgrößen zudem die 2,5%-Quantile an den Rändern des beobachteten Wertebereichs nicht berücksichtigt, um Ausreißer auszuschließen. Für die verbleibenden Ausprägungen und Wertebereiche weisen die Modellfunktionen der Unfalldichte für jede signifikante Einflussgröße (außer für den DTV) Maxima und Minima an den Rändern auf. Der „Einflussfaktor auf die Unfalldichte“ wird definiert als der Quotient aus dem jeweiligen Maximum und dem Minimum der modellierten Unfalldichte für ein Unfallmodell und eine Einflussgröße. Er beschreibt, um welchen Faktor die modellierte Unfalldichte der unsichersten Ausprägung einer Einflussgröße über der Unfalldichte der sichersten Ausprägung einer Einflussgröße im Analysekollektiv liegt (bezogen auf ein bestimmtes Unfallmodell). Abbildung 14 veranschaulicht die Berechnung des „Einflussfaktors auf die Unfalldichte“.

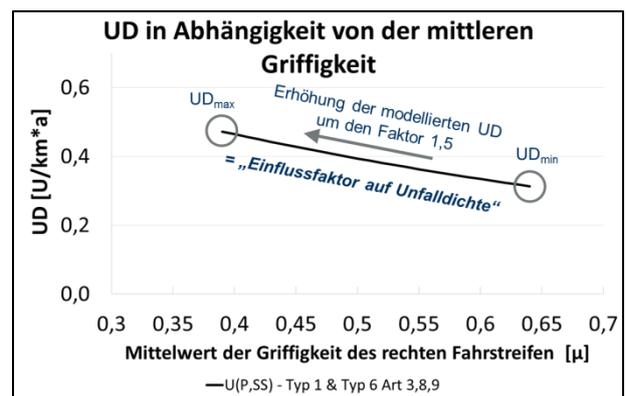


Abbildung 14: Beispiel der Berechnung des „Einflussfaktors auf die Unfalldichte“

Die Größe des „Einflussfaktors auf die Unfalldichte“ wird nachfolgend herangezogen, um die Relevanz der Einflussgrößen auf das Abkommensunfallgeschehen im Analysekollektiv bzw. die jeweiligen Teil-Unfallkollektive zu bewerten. Für die verkehrlichen Kenngrößen DTV und Schwerverkehrsanteil wird von diesem Vorgehen abgewichen.

4.2.2 Modelle für zweistreifige Abschnitte Verkehrliche Einflussgrößen

In den Unfallmodellen für zweistreifige Autobahnabschnitte zeigt sich für alle erstellten Teilmodelle eine signifikante Abhängigkeit der Unfallanzahl vom DTV. In fast allen Teilmodellen, die auf U_{Typ1} basieren, führt der zusätzlich eingeführte DTV-Korrekturfaktor zu einer besseren Anpassung der Modelle. Während der DTV als Expositionsgröße den direkten Zusammenhang zwischen Unfallanzahl und DTV im unteren DTV-Bereich beschreibt, wird durch den Korrekturfaktor der indirekte Zusammenhang im oberen DTV-Bereich berücksichtigt (Abbildung 15). Einzig Teilmodell 05 kann nicht durch eine DTV-Korrektur verbessert werden. Hier zeigt jedoch mit dem Schwerververkehrsanteil ebenfalls eine weitere verkehrliche Größe einen unfallmindernden Einfluss. Dies kann auf die geschwindigkeitsdämpfende Wirkung des Schwerverkehrs auf die Pkw zurückgeführt werden (FGSV 2015).

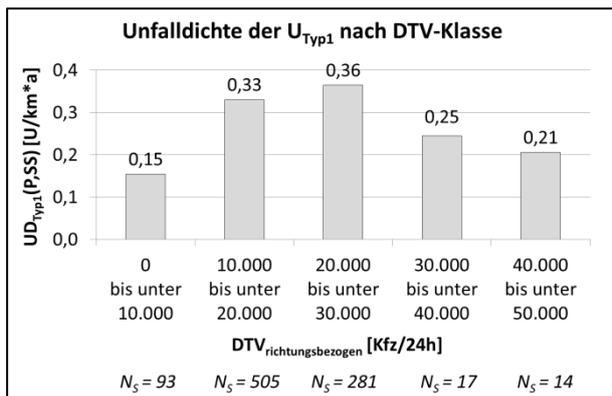


Abbildung 15: Zusammenhang zwischen Unfalldichte und DTV für Unfalltyp 1 (FS2)

Da das Gesamtkollektiv der U_{Abk} (U_{Typ1} und $U_{Typ6Art3,8,9}$) von U_{Typ1} dominiert wird, führt auch hier die Berücksichtigung des DTV-Korrekturfaktors zu einer besseren Modellanpassung.

Die verbesserte Modellanpassung durch Berücksichtigung des DTV-Korrekturfaktors bestätigt die Erkenntnisse aus der Literaturanalyse, nach denen nicht für alle Unfalltypen/Unfallarten ein streng monoton steigender Zusammenhang mit der Verkehrsstärke existiert.

In dieser Untersuchung zeigt sich dieser komplexere Zusammenhang vor allem für die U_{Typ1} des zweistreifigen Streckenkollektivs.

Bei $U_{Typ6Art3,8,9}$ nimmt die Stärke des Zusammenhangs zwischen der Unfallanzahl und dem DTV für das betrachtete Kollektiv im oberen DTV-Bereich zwar ebenfalls ab, jedoch tritt dieser DTV-Bereich nur in einer geringen Stichprobe auf (Abbildung 16).

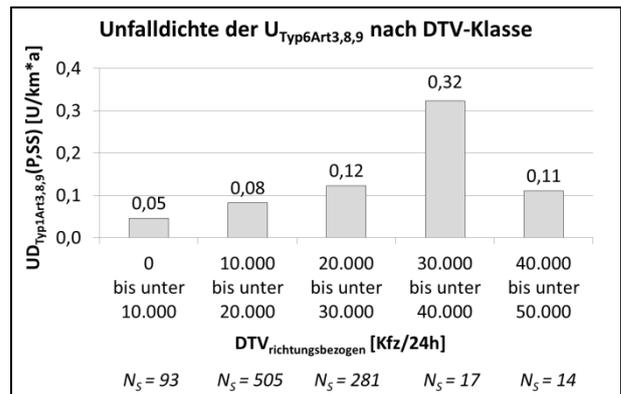


Abbildung 16: Zusammenhang zwischen Unfalldichte und DTV für Unfalltyp 6, Unfallart 3, 8 und 9 (FS2)

Der Schwerverkehrsanteil zeigt einzig beim Teilmodell 05, $U_{Typ1}(P,SS)$ bei Trockenheit, einen signifikanten Einfluss. Dies kann ebenfalls auf die geschwindigkeitsdämpfende Wirkung des Schwerverkehrs zurückgeführt werden (FGSV 2015).

Einflussgrößen des Lageplans und des Querschnitts

Auf U_{Typ1} zeigen sich im betrachteten Kollektiv signifikante Einflüsse einiger Lageplangrößen. So kann bei allen Teilmodellen bis auf Teilmodell 05 ($U_{Typ1}(P,SS)$ bei Trockenheit) der unfallbegünstigende Einfluss kleiner Radien festgestellt werden, was die Ergebnisse der Literaturanalyse bestätigt. Jedoch fällt dieser Einfluss bei Betrachtung des „Einflussfaktors auf die Unfalldichte“ vergleichsweise gering aus.

In der Mehrzahl dieser Teilmodelle zeigt sich in Kombination mit dem kleinsten Radius im Abschnitt auch ein unfallbegünstigender Einfluss der Anzahl von Linkskurven im Ab-

schnitt. Hier ergeben sich durch den Mittelstreifen mit durchgängigen, passiven Schutzeinrichtungen und teilweisem Bewuchs tendenziell geringere Sichtweiten als in Rechtskurven.

Zudem zeigt sich für U_{Typ1} mit Pkw-Beteiligung eine erhöhte Unfalldichte bei Streckenabschnitten, in denen der Übergang von einer Gerade in einen Bogen (Kreisbogen oder Übergangsbogen) liegt.

Des Weiteren zeigt sich in den Teilmodellen 02, 03 und 05 der unfallbegünstigende Einfluss einer negativen (nach außen gerichteten) Querneigung in der Kurve. Bei einer negativen Querneigung erhöht sich die Abkommenswahrscheinlichkeit im betrachteten Kollektiv vor allem bei geringen Radien und geringen Griffigkeitswerten signifikant, was die Erkenntnisse der Literaturanalyse bestätigt. Jedoch ist dieser Zusammenhang hinsichtlich des „Einflussfaktors auf die Unfalldichte“ vergleichsweise gering.

In den Teilmodellen 03 und 06 zeigt sich zudem ein unfallbegünstigender Einfluss hoher Richtungsänderungswinkel von über 60 gon/km. Wie bereits aus der Literaturanalyse hervorgeht, können geringe Kurvenradien in Verbindung mit unerwartet hohen Richtungsänderungswinkeln zu unangepassten Geschwindigkeiten der Verkehrsteilnehmer und damit zu einer erhöhten Abkommenswahrscheinlichkeit führen.

Die Teilmodelle des Gesamtunfallkollektivs der U_{Abk} sind durch U_{Typ1} geprägt und haben daher ähnliche Einflüsse der Lageplangrößen. Für die Teilmodelle der Kollektive des $U_{Typ6Art3,8,9}$ kann dagegen kein signifikanter Einfluss der Größen des Lageplans auf die Unfallanzahl ermittelt werden.

Einflussgrößen der Entwässerung und der Griffigkeit

In fast allen Teilmodellen des U_{Typ1} (außer Modell 04) zeigt sich ein stark unfallbegünstigender Einfluss für Streckenabschnitte mit geringen mittleren Griffigkeitswerten.

Hier ergibt sich für das betrachtete Kollektiv insbesondere bei geringen Radien sowie bei Nässe/Glätte ein erhöhtes Unfallrisiko, wobei sich dieser Zusammenhang zwar in Teilmodell 06 ($U_{Typ1}(P, SS)$ bei Nässe/Glätte von Pkw) zeigt, nicht jedoch in Teilmodell 05 (alle $U_{Typ1}(P, SS)$ bei Nässe/Glätte).

Neben den mittleren Griffigkeitswerten wurden auch die 100 m-Abschnitte mit der jeweils geringsten Griffigkeit bestimmt. Diese konnten jedoch nicht als signifikante Einflussgröße auf das Unfallgeschehen identifiziert werden.

In allen Teilmodellen der U_{Typ1} (außer Modell 05) zeigt sich eine erhöhte Unfallanzahl in den untersuchten Strecken mit Querneigungswechsel, die auch bei vorhandener Längsneigung entwässerungsschwache Zonen darstellen können. Die Anzahl von Querneigungswechseln (ggf. stellvertretend für entwässerungsschwache Zonen) ist in fast allen Teilmodellen der U_{Typ1} bzw. des Gesamtkollektivs der U_{Abk} signifikant unfallbegünstigend und damit häufiger und vor allem bedeutsamer (deutlich höherer „Einflussfaktor auf die Unfalldichte“) als der Anteil der negativen Querneigung im Bogen. Eine negative Querneigung im Bogen zu Gunsten des Verzichts auf einen Querneigungswechsel (ggf. stellvertretend für entwässerungsschwache Zonen) vor dem Bogen sollte jedoch nur bei großen Radien und wie von LIPPOLD U. A. (2013) vorgeschlagen bei geringen Fahrgeschwindigkeiten in Betracht gezogen werden. Des Weiteren sollte gerade in solchen Bereichen auf eine ausreichende Fahrbahngriffigkeit geachtet werden.

Die Teilmodelle des Gesamtunfallkollektivs der U_{Abk} sind durch U_{Typ1} geprägt und haben daher ähnliche Einflüsse bezüglich Entwässerung und Griffigkeit. Für die Teilmodelle der Unfallkollektive der $U_{Typ6Art3,8,9}$ kann dagegen kein signifikanter Einfluss dieser Größen auf die Unfallanzahl ermittelt werden.

Einflussgrößen des Höhenplans

Eine tendenziell geringere Anzahl von U_{Typ1} sowie des Gesamtkollektivs der U_{Abk} zeigen die betrachteten Steigungsstrecken mit Längsneigungen oberhalb des in den RAA 2008 festgelegten Maximalwerts von 4 %. Grund hierfür kann das generell geringere Geschwindigkeitsniveau in Steigungsstrecken sein (FGSV 2015). Für diesen Zusammenhang zeigt sich jedoch nur ein geringer „Einflussfaktor auf die Unfalldichte“. Anhand der Unfallmodelle kann nicht nachgewiesen werden, dass sich Gefälle von mehr als 4 % unfallbegünstigend auswirken.

Für die betrachteten $U_{Typ6Art3,8,9}$ bei Trockenheit zeigt sich hingegen ein stark unfallbegünstigender Einfluss (hoher „Einflussfaktor auf die Unfalldichte“) bei hohen maximalen Längsneigungen (i. d. R. Steigungen). Dies kann ein Indiz dafür sein, dass an diesen Strecken vermehrt Unfälle durch Fahrstreifenwechsel beim Überholen langsamerer Fahrzeuge (bspw. Schwerverkehr) auftreten. Ein Zusammenhang mit dem Schwerverkehrsanteil zeigt sich hier jedoch nicht.

Darüber hinaus weisen betrachtete Streckenabschnitte, in denen eine Wanne auf eine Gerade folgt, eine geringere Unfallanzahl der $U_{Typ6Art3,8,9}$ auf. Dort kann im Gegensatz zu einigen anderen Elementkombinationen von einem ungestörten Blick auf die Verkehrslage in größerer Entfernung ausgegangen werden.

Betriebliche Einflussgrößen

In den betrachteten Streckenabschnitten mit witterungsbedingter Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit (inkl. VBA-Strecken) zeigt sich in den Teilmodellen 01, 04 und 07 ein durchschnittlich höheres Unfallgeschehen vor allem bei Nässe/Glätte (Modelle 04 und 07). Dies lässt sich damit erklären, dass witterungsbedingte Geschwindigkeitsbeschränkungen meist dort angeordnet werden, wo ein erhöhtes Unfallgeschehen bei Näs-

se/Glätte registriert wurde⁸. Es lässt sich jedoch ableiten, dass die alleinige Anordnung der witterungsbedingten Geschwindigkeitsbeschränkung nicht ausreicht, um den Einfluss der eigentlich vorhandenen Defizite auf das Unfallgeschehen bei Nässe/Glätte auszugleichen.

Darüber hinaus weisen betrachtete Streckenabschnitte mit generellen Geschwindigkeitsbeschränkungen erhöhte Unfallzahlen der U_{Typ1} von Pkw bei Nässe/Glätte auf, was ebenfalls darauf hindeutet, dass die eigentlichen Defizite wie bspw. eine geringe Griffigkeit oder entwässerungsschwache Zonen, die zu einem auffälligen Unfallgeschehen und damit ggf. zur Anordnung der Geschwindigkeitsbeschränkung geführt haben, durch diese nicht vollständig ausgeglichen werden (oder die Geschwindigkeitsbeschränkung nicht eingehalten wird).

Ein tendenziell höheres Unfallgeschehen der U_{Typ1} bei Trockenheit (Teilmodell 05) zeigt sich in betrachteten Streckenabschnitten mit Überholverbot für Lkw. Wie bereits erwähnt wird für dieses Unfallkollektiv auch ein unfallmindernder Einfluss hoher Schwerverkehrsanteile registriert. Genau wie bei geringen Schwerverkehrsanteilen sind auch bei Überholverböten für Lkw tendenziell höhere Fahrgeschwindigkeiten der Pkw möglich, was U_{Typ1} begünstigen kann. Es kann also geschlussfolgert werden, dass Fahrunfälle infolge hoher Geschwindigkeiten häufiger dort auftreten, wo entweder wenig Schwerverkehr zu verzeichnen ist oder wo der Schwerverkehr den linken Fahrstreifen nicht befahren darf.

Auf die betrachteten $U_{Typ6Art3,8,9}$ wirken sich allgemeine Geschwindigkeitsbeschränkungen und Lkw-Überholverbote (inkl. VBA-Strecken) im Vergleich zu Strecken ohne diese Verkehrszeichen unfallbegünstigend aus (Teilmodelle 08 und 09). Auch hier kann die Anordnung dieser Verkehrszeichen die Folge ei-

⁸ Diese Effekte lassen sich nur durch Vorher-Nachher-Studien untersuchen. Diesem Forschungsvorhaben liegt eine Mit-Ohne-Betrachtung zugrunde.

nes erhöhten Unfallgeschehens sein. Der eigentlich unfallbegünstigende Verkehrsablauf – in diesem Fall hohe Pkw-Fahrgeschwindigkeiten in Verbindung mit Fahrstreifenwechsellvorgängen durch Lkw – wird durch diese Maßnahmen scheinbar nicht ausreichend unterbunden. Ein Grund dafür kann auch sein, dass in der Mehrzahl der entsprechenden Streckenabschnitte nicht wie von HEIDEMANN U. A. (1998) betont eine Kombination aus Geschwindigkeitsbeschränkung und Lkw-Überholverbot angeordnet wurde, sondern nur eines der beiden Verkehrszeichen.

Auf der anderen Seite zeigen die Ergebnisse der Teilmodelle 08 und 10, dass temporäre Überholverbote für Lkw einen unfallvermeidenden Einfluss haben können. Da temporäre Überholverbote vorwiegend für Zeiten hoher Verkehrsstärken zur Harmonisierung des Verkehrsflusses aus Gründen der Verkehrsqualität und weniger aus Gründen der Verkehrssicherheit angeordnet werden, sind auf diesen Streckenabschnitten nicht zwangsläufig Sicherheitsdefizite mit Relevanz für $U_{\text{Typ6Art3,8,9}}$ zu vermuten. Der Anordnung des temporären Überholverbots kann demnach ein beiläufiger Sicherheitsgewinn zugeschrieben werden.

Grundsätzlich spiegeln die hier betrachteten betrieblichen Einflussgrößen den Zustand während der Befahrung im Jahr 2017 wieder. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass einige Verkehrszeichen erst gegen Ende oder nach Ablauf der Analysejahre von 2011 bis 2015 angeordnet wurden. Bei Anordnung der Verkehrszeichen wegen Verkehrssicherheitsdefiziten kann dies ein weiterer Grund dafür sein, dass gerade in diesen Strecken ein erhöhtes Unfallgeschehen zu verzeichnen ist.

Einflussgrößen der Ausstattung

Für die betrachteten $U_{\text{Typ1}}(\text{SP})$ (Teilmodell 02) und $U_{\text{Typ1}}(\text{P,SS})$ bei Trockenheit (Teilmodell 05) zeigt sich auf Streckenabschnitten mit einem hohen Anteil passiver Schutzeinrichtungen am rechten Fahrbahnrand tendenziell eine geringere Unfallanzahl. Hier kann vermutet

werden, dass die Gesamtunfallanzahl zwar nicht durch das Vorhandensein passiver Schutzeinrichtungen beeinflusst wird, jedoch ggf. mehr leichtere Unfälle auftreten, die jedoch nicht Gegenstand der Untersuchung sind.

Es kann angenommen werden, dass das Vorhandensein passiver Schutzeinrichtungen zwar einen Einfluss auf die Unfallschwere, jedoch nicht auf die Unfallanzahl hat. Zwar kann für die betrachteten komplementären Unfallkollektive mit geringerer Unfallschwere kein negativer Einfluss festgestellt werden, jedoch kann aufgrund der mindernden Wirkung auf die genannten Unfallkollektive die Vermutung aufgestellt werden, dass das Vorhandensein passiver Schutzeinrichtungen am rechten Fahrbahnrand sich mindernd auf die Unfallschwere auswirken kann. Dies wirkt sich vorwiegend auf U_{Typ1} aus, da hier ein Abkommen nach rechts (in Linkskurven) wahrscheinlicher ist.

Tabelle 11: Ergebnisse der Unfallmodelle für zweistreifige Streckenabschnitte: Wirkrichtung der Einflussgrößen

Modell für zweistreifige Abschnitte		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
Unfallkategorie		U(P,SS)	U(SP)	U(P,SS)	U(P,SS)	U(P,SS)	U(P,SS)	U(P,SS)	U(P,SS)	U(P,SS)	U(P,SS)
Unfalltyp/Unfallart		Typ1 & Typ6 Art 3,8,9		Typ 1				Typ 6 Art 3,8,9			
Bet. 01 (Unfallverursacher)		Alle		Alle			Pkw		Alle		Pkw
Fahrbahnzustand		Alle	Alle	Alle	Na/Gl	Trock.	Alle	Na/Gl	Alle	Trock.	Alle
DTV	[Kfz/24h]	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
DTV-Korrektur	[Kfz/24h]	-	-	-	-		-	-			
SV-Anteil	[%]					-					
Kleinsten Radius im Abschnitt	[km]	-	(-)	-	-		-	-			
Anz. RÄW > 60 gon	[km ⁻¹]			(+)			(+)				
Anz. Linksbögen	[km ⁻¹]	(+)		(+)	+		(+)	+			
Anz. Übergang Gerade-Bogen	[km ⁻¹]						(+)				
Ant. Falsche Querneigung FS2	[%]		+	(+)		+					
Mittelwert GRI_80 FS 1	[μ _{sKM}]	-		-		(-)	-	-			
Mittelwert GRI_80 FS 2	[μ _{sKM}]					-	(-)				
Ant. Querneigungswechsel	[%]	+	+	+	+		+	+			
Ant. Längsneigung > 4%	[%]	(-)		-	-		-	-			
Maximale Längsneigung	[%]									+	
Anz. Wanne auf Gerade	[km ⁻¹]								-	-	-
Ant. PSR Rechts	[%]		-			-					

Legende:

-	Unfallanzahl sinkt
+	Unfallanzahl steigt
(-)	Unfallanzahl sinkt (Einflussgröße in Komplementärmodell vertreten)
(+)	Unfallanzahl steigt (Einflussgröße in Komplementärmodell vertreten)

Tabelle 12: Ergebnisse der Unfallmodelle für zweistreifige Streckenabschnitte: „Einflussfaktor auf die Unfalldichte“ (Teil 1/2)

Modell für zweistreifige Abschnitte	01	01_KM-1	01_KM-2	02	02_KM-1	03	03_KM-1	03_KM-2	04	04_KM-1	05	05_KM-1
Unfallkategorie	U(P,SS) - Typ 1 & Typ 6 Art 3,8,9			U(SP) - Typ 1 & Typ 6 Art 3,8,9		U(P,SS) - Typ 1			U(P,SS) - Typ 1 - Na/Gl		U(P,SS) - Typ 1 - Trockenheit	
Unfalltyp/Unfallart												
Bet. 01 (Unfallverursacher)	Alle					Alle						
Fahrbahnzustand	Alle					Alle			Na/Gl		Trock.	
Kleinster Radius im Abschnitt [km]	1,06	1,06			1,08	1,07			1,05			
Anz. RÄW > 60 gon [km ⁻¹]							1,37					
Anz. Linksbögen [km ⁻¹]			1,39				1,66		1,49	2,00		
Anz. Übergang Gerade-Bogen [km ⁻¹]												
Ant. Falsche Querneigung FSz [%]				1,16	1,15			1,10			1,12	
Mittelwert GRI_80 FS 1 [μ _{SKM}]	1,51					1,57	1,40					1,50
Mittelwert GRI_80 FS 2 [μ _{SKM}]											1,58	
Ant. Querneigungswechsel [%]	1,58	1,52	1,44	1,54		1,75		1,77	1,72			
Ant. Längsneigung > 4% [%]		1,09				1,14	1,14		1,16	1,14		
Maximale Längsneigung [%]												
Anz. Wanne auf Gerade [km ⁻¹]												
Ant. PSR Rechts [%]				1,54	1,59						1,50	1,51

KM ... Komplementärmodell

Tabelle 13: Ergebnisse der Unfallmodelle für zweistreifige Streckenabschnitte: „Einflussfaktor auf die Unfalldichte“ (Teil 2/2)

Modell für zweistreifige Abschnitte	06	06_KM-1	06_KM-2	06_KM-3	07	07_KM-1	08	08_KM-1	09	09_KM-1	10
Unfallkategorie	U(P,SS) - Typ 1 - Pkw				U(P,SS) - Typ 1 - Pkw - Na/Gl		U(P,SS) - Typ 6 Art 3,8,9		U(P,SS) - Typ 6 - Trockenheit		U(P,SS) - Typ 6 - Pkw
Unfalltyp/Unfallart											
Bet. 01 (Unfallverursacher)	Pkw						Alle				
Fahrbahnzustand	Alle				Na/Gl		Alle		Trock.		Alle
Kleinster Radius im Abschnitt [km]	1,08	1,08			1,06						
Anz. RÄW > 60 gon [km ⁻¹]				1,46							
Anz. Linksbögen [km ⁻¹]			1,50		1,42						
Anz. Übergang Gerade-Bogen [km ⁻¹]				1,32							
Ant. Falsche Querneigung FSz [%]											
Mittelwert GRI_80 FS 1 [μ _{SKM}]	1,57				1,91						
Mittelwert GRI_80 FS 2 [μ _{SKM}]		1,57									
Ant. Querneigungswechsel [%]	1,93	1,92	1,74	1,75	1,93	2,21					
Ant. Längsneigung > 4% [%]	1,16	1,14	1,16	1,17	1,16	1,14					
Maximale Längsneigung [%]									1,96		
Anz. Wanne auf Gerade [km ⁻¹]							1,41	1,43	1,76	1,62	1,70
Ant. PSR Rechts [%]											

KM ... Komplementärmodell

4.2.3 Modelle für dreistreifige Abschnitte

Verkehrliche Einflussgrößen

Im Vergleich mit den erläuterten Zusammenhängen zwischen DTV und Unfalldichte der betrachteten zweistreifigen Streckenabschnitte zeigt sich im Analysekollektiv der dreistreifigen Streckenabschnitte ein anderes Bild. Für U_{Abk} und U_{Typ1} ist hier ein geringfügig indirekter Zusammenhang erkennbar, weshalb fast alle Teilmodelle für U_{Typ1} auf den dreistreifigen Streckenabschnitten des Analysekollektivs einen DTV-Term mit geringem (negativem) Regressionsparameter aufweisen (Ausnahme: Teilmodell 19). Abbildung 17 zeigt beispielhaft die Unfalldichte der $U_{Typ1}(P,SS)$ für verschiedene DTV-Bereiche.

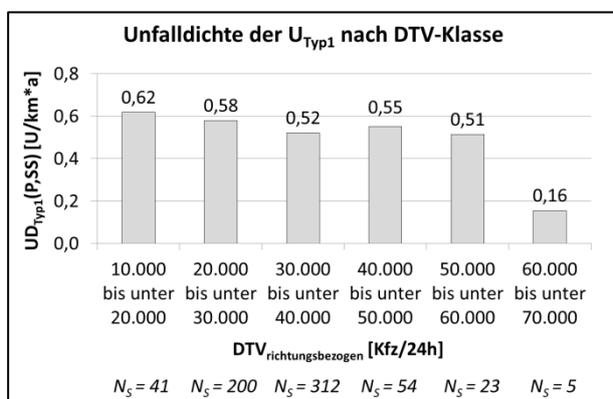


Abbildung 17: Zusammenhang zwischen Unfalldichte und DTV für Unfalltyp 1 (FS3)

Für die Teilmodelle 12, 14 und 16 konnten neben dem DTV keine weiteren signifikanten Einflussgrößen ermittelt werden. Nur in den Teilmodellen 11 und 19 kann durch die Verwendung des DTV-Korrekturfaktors eine verbesserte Modellanpassung erreicht werden.

Für alle Teilmodelle zu $U_{Typ6Art3,8,9}$ wird durch die Hinzunahme des DTV-Korrekturfaktors eine Verbesserung der Modellanpassung erzielt (Abbildung 18). Der Regressionsparameter des Korrekturfaktors hat in diesem Fall ein positives Vorzeichen, was zu einer besseren Modellanpassung im oberen DTV-Bereich führt.

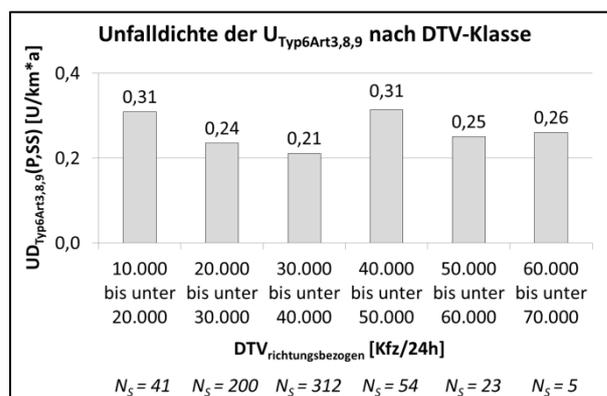


Abbildung 18: Zusammenhang zwischen Unfalldichte und DTV für Unfalltyp 6, Unfallart 3, 8 oder 9 (FS3)

Für Strecken mit dreistreifigen Richtungsfahrbahnen beginnt der Einsatzbereich bei einem querschnittsbezogenen DTV von knapp 60.000 Kfz/24h (nach RAA [FGSV 2008], Abbildung 19). Insgesamt weist mehr als ein Drittel der Strecken (241) einen richtungsbezogenen DTV von unter 30.000 Kfz/24h auf und liegt somit unterhalb des Einsatzbereichs des RQ 36 nach den RAA. Gegebenenfalls erklärt das die im Gegensatz zu zweistreifigen Streckenabschnitten sehr hohen Unfalldichten auf geringbelasteten dreistreifigen Streckenabschnitten des Analysekollektivs.

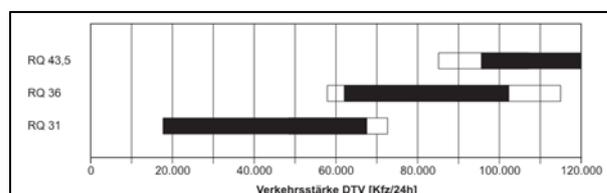


Abbildung 19: Einsatzbereiche der Regelquerschnitte (RQ) für Autobahnen der EKA 1 gem. RAA

Bei der Erstellung einiger Teilmodelle für das Kollektiv der dreistreifigen Streckenabschnitte zeigt sich nur in Verbindung mit der Aufnahme weiterer Einflussgrößen ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem DTV (mit oder ohne Korrekturfaktor) und der Unfallanzahl.

Für die Unfallkollektive der Teilmodelle 20, 21, 23 und 24 kann kein Anwartermodell mit einer Verbesserung der Modellanpassung im Vergleich zu den Zwischenmodellen mit ausschließlich DTV und ggf. DTV-Korrektur bestimmt werden. Die Berücksichtigung des

DTV als Expositionsgröße ist notwendige Randbedingung bei der Erstellung der Anwärtermodelle. Auch durch Verwendung des DTV_{SV} bzw. des DTV_{LV} können keine geeigneten Anwärtermodelle für inhaltliche Einflussgrößen bestimmt werden.

Für die Unfallkollektive der Teilmodelle 12, 14 und 16 kann kein signifikantes DTV-Modell bestimmt werden (weder ohne noch mit DTV-Korrektur).

U_{Typ1} bei Nässe/Glätte (Teilmodelle 15 und 18) treten tendenziell häufiger bei niedrigen Schwerverkehrsanteilen auf, was Folge des in diesem Fall höheren Geschwindigkeitsniveaus der Pkw sein kann. Dagegen treten $U_{Typ6Art3,8,9}$ bei Trockenheit eher bei hohen Schwerverkehrsanteilen auf.

Einflussgrößen des Lageplans und des Querschnitts

Ähnlich zu den zweistreifigen Streckenabschnitten kann auch bei fast allen Teilmodellen des U_{Typ1} (bis auf Teilmodell 19) der unfallbegünstigende Einfluss kleiner Radien festgestellt werden, jedoch zeigt sich auch hier nur ein geringer „Einflussfaktor auf die Unfalldichte“. Da Bögen seltener vorkommen und Bogenradien durchschnittlich größer ausfallen als auf zweistreifigen Streckenabschnitten, kann auf dreistreifigen Streckenabschnitten vor allem die fehlende Erwartungshaltung für kleine Radien einen unfallbegünstigenden Effekt darstellen.

Für U_{Typ1} bei Nässe/Glätte (Teilmodelle 15 und 18) zeigt sich in Kombination mit dem kleinsten Radius im Abschnitt analog zu den zweistreifigen Abschnitten im Analysekollektiv ein unfallbegünstigender Einfluss der Anzahl von Linkskurven im Abschnitt. Einen Einfluss auf diese Unfälle hat auf dreistreifigen Abschnitten auch der Anteil an Geraden im Abschnitt (unfallmindernd) und die Anzahl der Übergänge von Gerade auf Bogen (unfallbegünstigend). Es kann demnach geschlussfolgert werden, dass U_{Typ1} bei Nässe/Glätte auf

Streckenabschnitten mit Geraden seltener auftreten.

Es zeigt sich für das Gesamtunfallgeschehen auf den dreistreifigen Streckenabschnitten ein unfallbegünstigender Einfluss von Richtungsänderungswinkeln über 40 gon/km (gegenüber 60 gon/km auf zweistreifigen Streckenabschnitten).

Analog zu den zweistreifigen Streckenabschnitten kann für die Teilmodelle $U_{Typ6Art3,8,9}$ kein signifikanter Einfluss der Größen des Lageplans auf die Unfallanzahl ermittelt werden.

Einflussgrößen der Entwässerung und der Griffigkeit

Analog zu den zweistreifigen Streckenabschnitten treten sowohl Unfälle des Gesamtkollektivs als auch U_{Typ1} tendenziell häufiger in Streckenabschnitten mit Querneigungswechseln auf (ggf. stellvertretend für entwässerungsschwache Zonen). Im Gegensatz zu den zweistreifigen Streckenabschnitten kann aufgrund der generell größeren Radien kein unfallbegünstigender Einfluss negativer Querneigungen festgestellt werden. Daher kann eine negative Querneigung im Bogen zu Gunsten des Verzichts auf einen Querneigungswechsel (ggf. stellvertretend für entwässerungsschwache Zonen) vor dem Bogen hier eher empfohlen werden. Trotzdem sollten auch hier die Einsatzbedingungen (große Radien, geringe Fahrgeschwindigkeiten, ausreichende Griffigkeit) geprüft werden.

Analog zu den zweistreifigen Streckenabschnitten zeigt sich für einige Unfallkollektive (Teilmodelle 11, 13 und 19) ein bedeutsamer unfallbegünstigender Einfluss geringerer Griffigkeitswerte auf dem rechten Fahrstreifen. Für U_{Typ1} bei Nässe/Glätte kann auf dreistreifigen Streckenabschnitten entgegen der Erkenntnisse aus der Literaturanalyse kein Einfluss der Fahrbahngriffigkeit festgestellt werden.

Analog zu den zweistreifigen Streckenabschnitten kann für die Teilmodelle der $U_{Typ6Art3,8,9}$ kein signifikanter Einfluss der Grö-

ßen der Entwässerung oder der Griffigkeit auf die Unfallanzahl ermittelt werden.

Einflussgrößen des Höhenplans

Wie bei zweistreifigen Streckenabschnitten weisen auch hier einige Unfallkollektive in Abschnitten auf Geraden folgenden Wannengeringere Unfallzahlen auf. Im Gegensatz zu zweistreifigen Abschnitten wirkt sich dieses Merkmal hier jedoch nicht auf $U_{\text{Typ6Art3,8,9}}$, sondern auf Fahrurfälle (U_{Typ1}) aus. Die mindernde Wirkung auf Fahrurfälle (Teilmodelle 15, 17 und 18) kann hier ebenfalls die Folge des ungestörten, weitläufigen Blicks der Verkehrsteilnehmer sein. Neben dem Verkehrsablauf sind dadurch auch die in größerer Entfernung liegenden Trassierungselemente besser erkennbar.

Für die Teilmodelle der $U_{\text{Typ6Art3,8,9}}$ kann kein signifikanter Einfluss des Höhenplans auf die Unfallanzahl ermittelt werden.

Betriebliche Einflussgrößen

Im Gegensatz zum Kollektiv der zweistreifigen Streckenabschnitte zeigt sich hier für die Anordnung witterungsbedingter Geschwindigkeitsbeschränkungen und Lkw-Überholverbote eher eine mindernde Wirkung auf das Unfallgeschehen. Ein Grund dafür kann sein, dass auf dreistreifigen Streckenabschnitten, wie von HEIDEMANN U. A. (1998) empfohlen, häufiger eine Kombination aus Geschwindigkeitsbeschränkung und Lkw-Überholverbot angeordnet wurde, als nur eines der beiden Verkehrszeichen (s. Abbildung 20). Auf dreistreifigen Streckenabschnitten wird vor allem das Lkw-Überholverbot nur selten ohne gleichzeitige Geschwindigkeitsbeschränkung angeordnet, was sich positiv auf das Geschwindigkeitsniveau der Pkw und damit auch auf die Anzahl der U_{Typ1} auswirkt sowie zu einer Harmonisierung der Geschwindigkeiten und damit zu weniger $U_{\text{Typ6Art3,8,9}}$ führt.

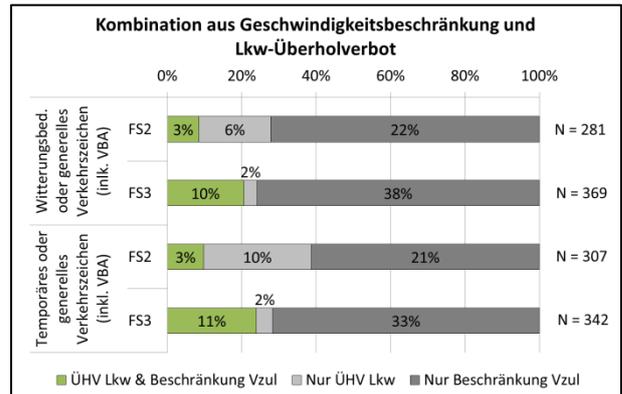


Abbildung 20: Kombination aus Geschwindigkeitsbeschränkung und Lkw-Überholverbot nach Fahrstreifenanzahl

Es zeigt sich allgemein, dass die Anordnung einer witterungsbedingten Geschwindigkeitsbeschränkung oder einer VBA eine unfallmindernde Wirkung auf Fahrurfälle (U_{Typ1}) bei Nässe/Glätte in dreistreifigen Streckenabschnitten hat.

Grundsätzlich spiegeln die hier betrachteten betrieblichen Einflussgrößen den Zustand während der Befahrung im Jahr 2017 wieder. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass einige Verkehrszeichen erst gegen Ende oder nach Ablauf der Analysejahre von 2011 bis 2015 angeordnet wurden. Bei Anordnung der Verkehrszeichen wegen Verkehrssicherheitsdefiziten kann dies ein weiterer Grund dafür sein, dass gerade in diesen Strecken ein erhöhtes Unfallgeschehen zu verzeichnen ist.

Tabelle 14: Ergebnisse der Unfallmodelle für dreistreifige Streckenabschnitte: Wirkrichtung der Einflussgrößen

Modell für dreistreifige Abschnitte	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Unfallkategorie	U(P,SS)	U(SP)	U(P,SS)	U(SP)	U(P,SS)	U(P,SS)	U(P,SS)	U(P,SS)	U(P,SS)	U(P,SS)	U(P,SS)	U(P,SS)	U(P,SS)	U(P,SS)
Typ/Art	Typ1 & Typ6 Art 3,8,9		Typ 1						Typ 6 & Art 3,8,9					
Bet. 01	Alle		Alle			Pkw			Lkw	Alle			Pkw	
FB-Zustand	Alle	Alle	Alle	Alle	Na/Gl	Trock.	Alle	Na/Gl	Alle	Alle	Na/Gl	Trock.	Alle	Na/Gl
DTV [Kfz/24h]	-		-		-		-	-	-		-			-
DTV-Korrektur [Kfz/24h]	+		+		+		+	+			+			
SV-Anteil [%]					(-)			-						
Kleinster Radius im Abschnitt [km]	(-)		(-)				-	(-)						
Anz. RÄW > 40 gon [km ⁻¹]	+													
Anz. Linksbögen [km ⁻¹]					(+)			(+)						
Ant. Gerade [%]					(-)									
Anz. Übergang Gerade-Bogen [km ⁻¹]					(+)			(+)						
Mittelwert GRI_80 FS 1 [μ _{skm}]	-		(-)						-					-
Ant. Querneigungswechsel [%]	+		+		+		+	+						
Anz. Wanne auf Gerade [km ⁻¹]					(-)		(-)	(-)						

Legende:

- Unfallanzahl sinkt
- + Unfallanzahl steigt
- (-) Unfallanzahl sinkt (Einflussgröße in Komplementärmodell vertreten)
- (+) Unfallanzahl steigt (Einflussgröße in Komplementärmodell vertreten)

Tabelle 15: Ergebnisse der Unfallmodelle für dreistreifige Streckenabschnitte: „Einflussfaktor auf die Unfalldichte“ (Teil 1/2)

Modell für zweistreifige Abschnitte	11	11-KM-1	13	13-KM-1	15	15-KM-1	15-KM-2	15-KM-3	15-KM-4
Unfallkategorie	U(P,SS)								
Unfalltyp/Unfallart	Typ1 & Typ 6 Art 3,8,9		Typ 1						
Bet. 01 (Unfallverursacher)	Alle		Alle						
Fahrbahnzustand	Alle		Alle			Na/Gl			
Kleinster Radius im Abschnitt [km]		1,03		1,03					
Anz. RÄW > 40 gon [km ⁻¹]	1,38								
Anz. Linksbögen [km ⁻¹]						1,54			
Ant. Gerade [%]							1,59		
Anz. Übergang Gerade-Bogen [km ⁻¹]								1,42	
Mittelwert GRI_80 FS 1 [μ _{skm}]	1,36	1,32		1,30					
Ant. Querneigungswechsel [%]	1,56	1,60	1,87	1,84	2,48	2,04		1,88	
Anz. Wanne auf Gerade [km ⁻¹]									1,27

KM ... Komplementärmodell

Tabelle 16: Ergebnisse der Unfallmodelle für dreistreifige Streckenabschnitte: „Einflussfaktor auf die Unfalldichte“ (Teil 2/2)

Modell für zweistreifige Abschnitte	17	17-KM-1	18	18-KM-1	18-KM-2	18-KM-3	18-KM-4	19	21	24	
Unfallkategorie	U(P,SS)										
Unfalltyp/Unfallart	Typ 1							Typ 6 & Art 3,8,9			
Bet. 01 (Unfallverursacher)	Alle			Pkw				Lkw	Alle	Pkw	
Fahrbahnzustand	Alle			Na/Gl				Alle	Na/Gl	Na/Gl	
Kleinster Radius im Abschnitt [km]	1,04			1,06							
Anz. RÄW > 40 gon [km ⁻¹]											
Anz. Linksbögen [km ⁻¹]							1,47				
Ant. Gerade [%]											
Anz. Übergang Gerade-Bogen [km ⁻¹]					1,43						
Mittelwert GRI_80 FS 1 [μ _{skm}]								2,46		2,17	
Ant. Querneigungswechsel [%]	1,98		2,41	2,30	2,08		2,19				
Anz. Wanne auf Gerade [km ⁻¹]		1,19					1,25				

KM ... Komplementärmodell

4.3 Modellqualität

4.3.1 Anpassungsgüte

Pearsons Chi-Quadrat

Pearsons χ^2 -Prüfung dient der Anpassungsgüte eines Einzelmodells und dem Vergleich verschiedener Anwärtermodelle. Dabei wird anhand der quadrierten Residuen die Anpassung des modellseitig berechneten Erwartungswerts der Unfallanzahl an die empirische Unfallanzahl geprüft. Im Idealfall liegt der Quotient aus dem χ^2 -Wert und der Anzahl der Freiheitsgrade („df“: Anzahl der Streckenabschnitte – Anzahl der Modellparameter) exakt beim Wert Eins. In diesem Fall lassen sich die Residuen zur empirischen Unfallanzahl vollständig auf die stochastische Komponente des Unfallgeschehens (Poissonverteilung) zurückführen, während systematische Abweichungen vollständig durch die ins Modell aufgenommenen Einflussgrößen erklärt werden können.

Liegt der Quotient über dem Wert Eins, so spricht man von Überdispersion, d. h. die systematischen Unterschiede im Unfallgeschehen zwischen den Streckenabschnitten sind nicht vollständig erklärt. Bei einem Wert unter Eins werden durch das Modell hingegen mehr als die systematischen Unterschiede zwischen den Streckenabschnitten erklärt, das Modell gilt als „over-fitted“ (Unterdispersion).

Die Verbesserung der Anpassungsgüte wurde bei der Modellerstellung fortwährend geprüft. Die Anpassungsgüte der relevanten Modellstufen ist den Parametern der Unfallmodelle in Anhang 7 und Anhang 8 zu entnehmen.

4.3.2 Signifikanz

Wald-Test der Koeffizienten

Anhand des Wald-Tests wird die Aussagekraft jeder Einflussgröße im Modell überprüft. Dabei wird getestet, inwieweit die im Analysekollektiv zu beobachtenden Ausprägungen der einzelnen Einflussgrößen eine Änderung des

Erwartungswerts der Unfallanzahl nach sich ziehen. Es sind Werte unter 0,05 anzustreben.

Der Wald-Test der Koeffizienten wurde bei der Modellerstellung fortwährend durchgeführt. Die Ergebnisse der relevanten Modellstufen ist den Parametern der Unfallmodelle in Anhang 7 und Anhang 8 zu entnehmen.

Likelihood-Ratio-Test der Modelleffekte

Anhand des Likelihood-Ratio-Tests wird für jede Einflussgröße im Modell geprüft, welchen zusätzlichen Informationsgewinn diese verglichen mit allen anderen Einflussgrößen im Modell hat. Ein hoher Wert bei dieser Teststatistik lässt vermuten, dass eine oder mehrere andere Einflussgrößen auf ähnliche Weise mit der beobachteten Unfallanzahl korrelieren. Auch hier sind Werte unter 0,05 anzustreben.

Der Likelihood-Ratio-Test der Modelleffekte wurde bei der Modellerstellung fortwährend durchgeführt. Die Ergebnisse der relevanten Modellstufen ist den Parametern der Unfallmodelle in Anhang 7 und Anhang 8 zu entnehmen.

Informationskriterium nach Akaike

Das Informationskriterium nach Akaike (AIC) berücksichtigt neben der Signifikanz der Modelleffekte auch die Anzahl der im Modell verwendeten Einflussgrößen. Eine hohe Komplexität des Modells wird durch diese Größe bestraft. Es eignet sich zum Vergleich von Anwärtermodellen auf Basis der gleichen Stichprobe. Ein Anwärtermodell mit einem geringeren AIC stellt dabei die bessere Wahl dar.

Die Verbesserung des AIC wurde bei der Modellerstellung fortwährend geprüft. Die AIC-Werte der relevanten Modellstufen ist den Parametern der Unfallmodelle in Anhang 7 und Anhang 8 zu entnehmen.

4.3.3 Residuenanalyse

Die Differenz zwischen modellierter und tatsächlich erfasster Unfallanzahl wird als Residuum bezeichnet. Die Residuenanalyse dient

der Detektion von Ausreißern in den aufgestellten Unfallmodellen. Detektierte Ausreißer werden auf sachlogisch fehlerbehaftete Daten der abhängigen Variablen geprüft. Werden fehlerbehaftete Daten gefunden, wird der entsprechende Streckenabschnitt aus dem Unfallmodell ausgeschlossen, andernfalls verbleibt der Streckenabschnitt im Unfallmodell.

Um zu erkennen, in welchem DTV-Bereich die tatsächliche Unfallanzahl durch die Unfallmodelle systematisch unter- bzw. überschätzt wird und welche Ausreißer einen großen Einfluss darauf haben, werden die Residuen nach dem DTV-Wert des Streckenabschnitts geordnet und kumuliert über der DTV-Achse aufgetragen (in sogenannten CURE-Plots). Im Idealfall oszilliert die entstandene Funktion um die DTV-Achse und tritt nicht aus den Zuverlässigkeitsgrenzen (doppelte Standardabweichung an der jeweiligen Stelle) aus. Da Bereiche niedriger bzw. hoher Verkehrsstärken in den Streckenkollektiven eher selten vorkommen, ist ein Austreten der Kurve aus den Zuverlässigkeitsgrenzen an den Rändern des DTV-Bereichs in einigen Fällen unvermeidbar.

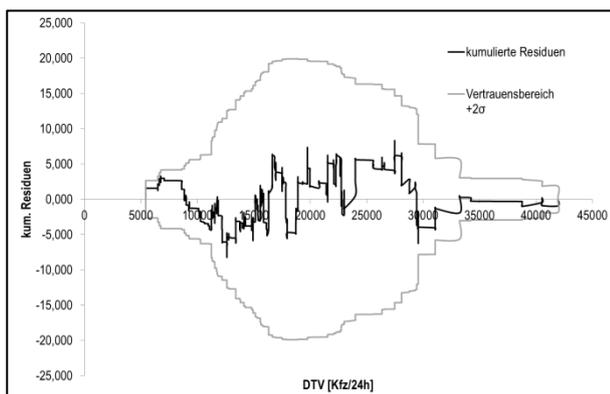


Abbildung 21: CURE-Plot der kumulierten Residuen für Teilmodell 2

Ein weiteres Mittel zur Veranschaulichung der Abweichungen zwischen modellierter und tatsächlich erfasster Unfallanzahl ist die Verwendung von Streudiagrammen (Abbildung 22).

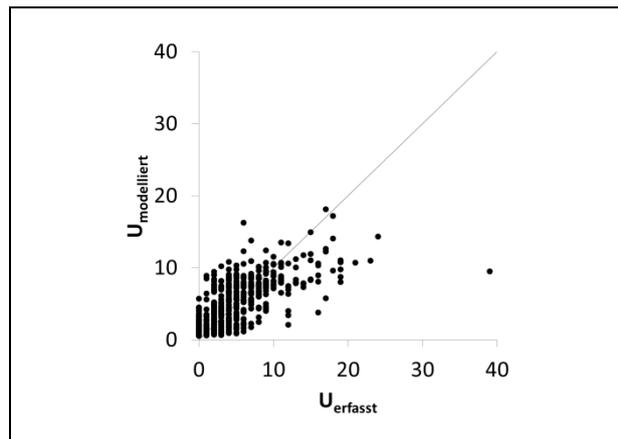


Abbildung 22: Streudiagramm der modellierten und erfassten Unfälle im Analysekollektiv (Teilmodell 11)

Zudem wurden für die aufgestellten Unfallmodelle Hebelwerte und Cook-Distanzen bestimmt. Der Hebelwert ist ein Maß dafür, wie weit ein Merkmalswert von den restlichen Merkmalswerten entfernt liegt. Ein hoher Hebelwert bedeutet, dass sich in der Umgebung des Merkmalswertes keine weiteren Merkmalswerte befinden. Die Cook-Distanz misst, wie sehr die Modellfunktion sich ändern würde, wenn der betrachtete Streckenabschnitt aus dem Modell entfernt werden müsste. Alle Streckenabschnitte mit auffälligen Hebelwerten oder Cook-Distanzen wurden geprüft und – falls ein Datenfehler erkannt wurde – aus dem Analysekollektiv und der Modellbildung ausgeschlossen.

4.3.4 Modellvalidierung

Vom gesamten Streckenkollektiv wurden jeweils ca. 100 km der zweistreifigen und dreistreifigen Streckenabschnitte als Validierungskollektive von der Modellbildung ausgeschlossen. Ziel war es, die an die Analysekollektive angepassten Modellgleichungen auf ein unabhängiges Streckenkollektiv anzuwenden. Da die zuvor genannten Indikatoren für die Modellqualität allesamt auf den Variablen der Analysekollektive basieren, kann die tatsächliche Repräsentativität der Modellergebnisse für das gesamte deutsche Streckennetz nur auf diese Weise eingeschätzt werden.

Der Nachteil der Modellvalidierung an einem unabhängigen Streckenkollektiv ist, dass damit vor dem Hintergrund begrenzter Ressourcen eine Reduzierung des Umfangs des eigentlichen Analysekollektivs einhergeht. Daher wird diese Form der Modellvalidierung bei Modellen auf Basis von Daten mit hohem Beschaffungs- und Aufbereitungsaufwand sehr selten angewendet.

Zur Visualisierung der Ergebnisse der Modellvalidierung werden Streudiagramme verwendet, die die Abweichung zwischen der mit der Modellformel berechneten Unfallanzahl und der tatsächlich im Validierungskollektiv erfassten Unfallanzahl zeigen. Die Modellvalidierung der im Rahmen dieses Forschungsvorhabens aufgestellten Unfallmodelle zeigt unterschiedliche Ergebnisse. Für einige Teilmodelle zeigen sich akzeptable Validierungsergebnisse (z. B. Teilmodell 11, Abbildung 23).

Für viele Teilmodelle zeigen sich hingegen schlechte Übereinstimmungen zwischen der auf Basis der Einflussgrößen des Validierungskollektivs berechneten Unfallanzahl und der tatsächlich erfassten Unfallanzahl (z. B. Teilmodell 1, Abbildung 24).

Es zeigt sich, dass die Modellvalidierung vor allem für die Teilmodelle schlechte Ergebnisse liefert, deren Modellformeln wenige Einflussgrößen enthalten. Grund dafür ist die fehlende Varianz der Einflussgrößen im Validierungskollektiv. Dies wiederum hat zwei Gründe:

- Den geringen Umfang des Validierungskollektivs im Verhältnis zum Analysekollektiv sowie
- die Zusammenstellung des Validierungskollektivs aus zusammenhängenden Streckenabschnitten, bei denen sich wichtige Einflussgrößen zum Teil nicht oder nur marginal unterscheiden.

Für zukünftige Forschungsvorhaben wird daher empfohlen, für das Validierungskollektiv mindestens den Umfang von ca. einem Viertel des Analysekollektivs zu wählen und die Stre-

ckenabschnitte für das Validierungskollektiv nach dem Zufallsprinzip aus dem Gesamtkollektiv auszuwählen. Können diese Empfehlungen nicht umgesetzt werden, wird zu einem Verzicht auf die Validierung der Unfallmodelle an einem unabhängigen Streckenkollektiv zugunsten des maximalen Umfangs des Analysekollektivs geraten.

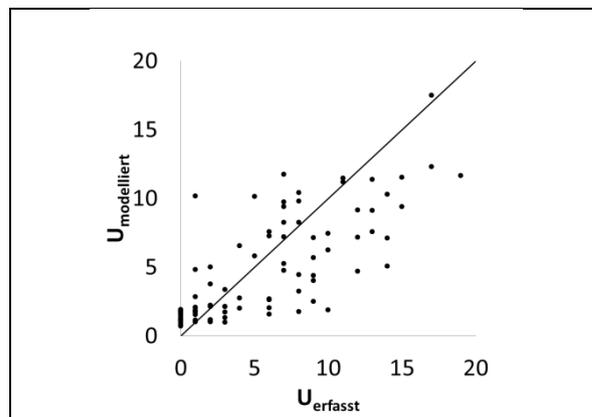


Abbildung 23: Streudiagramm der modellierten und erfassten Unfälle im Validierungskollektiv (Teilmodell 11)

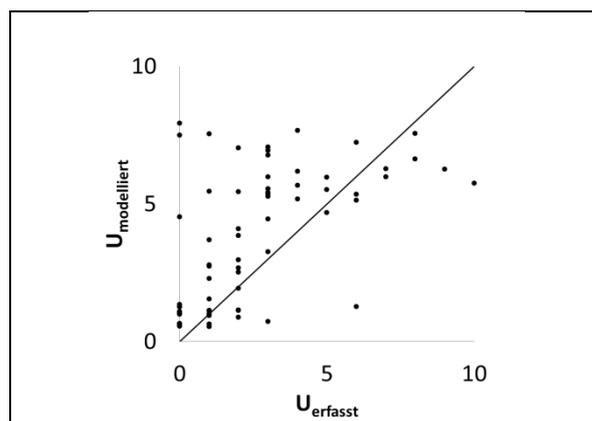


Abbildung 24: Streudiagramm der modellierten und erfassten Unfälle im Validierungskollektiv (Teilmodell 1)

Für die Interpretation der Modellergebnisse in diesem Forschungsvorhaben lässt sich ableiten, dass bei optimalen Voraussetzungen (eine Vielzahl von Einflussgrößen in der Modellformel, die im Validierungskollektiv eine hohe Varianz aufweisen) von einer akzeptablen Repräsentativität ausgegangen werden kann. Auf der anderen Seite kann bei schlechten Validierungsergebnissen nicht zwangsläufig von einer geringen Modell-Repräsentativität

ausgegangen werden, da meist auch die Voraussetzungen für die Validierung ungünstig sind. Aufgrund dieser fehlenden Gewissheit werden die Modellergebnisse im Rahmen dieses Forschungsvorhabens einzig für das untersuchte Analysekollektiv als repräsentativ bezeichnet.

4.4 Zusammenfassung

Methodik

Die Analyse der Einflüsse der Streckenmerkmale auf die U_{Abk} und deren Teil-Unfallkollektive erfolgt mithilfe Generalisierter Linearer Modelle (GLM). Der Vorteil gegenüber einer deskriptiven Analyse des Unfallgeschehens besteht darin, dass gegenseitige Korrelationen zwischen den Streckenmerkmalen berücksichtigt werden und die Einflüsse der einzelnen Streckenmerkmale deutlicher herausgearbeitet werden können. Zudem wird im Rahmen von deskriptiven Analysen häufig auf Unfalldichten oder Unfallraten zurückgegriffen. Unfalldichten berücksichtigen den Zusammenhang zwischen der Unfallanzahl und der Verkehrsstärke nicht (außer bei expliziter Auswertung über Verkehrsstärkeklassen), während Unfallraten einen (oft unrealistischen) direkt proportionalen Zusammenhang zwischen der Verkehrsstärke und der Unfallanzahl unterstellen. Die Verwendung von GLM ermöglicht dagegen die Berücksichtigung nichtlinearer Zusammenhänge zwischen der Verkehrsstärke und der Unfallanzahl.

Ergebnisse

Allgemein zeigen sich für zweistreifige Streckenabschnitte vergleichsweise geringe Unfalldichten auf Strecken mit geringem DTV. Dagegen weisen dreistreifige Streckenabschnitte mit geringem DTV ähnliche Unfalldichten auf wie dreistreifige Streckenabschnitte mit vergleichsweise hohem DTV. Grund dafür könnte sein, dass der DTV in etlichen betrachteten Streckenabschnitten unterhalb des Einsatzbereichs nach RAA (FGSV 2008) liegt.

U_{Typ1} (Fahrurfälle) weisen erhöhte Unfalldichten in Streckenabschnitten mit Linkskurven, mit einem Übergang von einer Gerade auf einen Bogen und mit hohen Richtungsänderungswinkeln auf. Ein signifikanter Einfluss kleiner Kurvenradien wurde festgestellt, jedoch ist dieser vergleichsweise gering. Für dreistreifige Streckenabschnitte zeigen sich im Analysekollektiv verringerte Unfalldichten in Streckenabschnitten mit hohen Anteilen von Geraden. Für zweistreifige Streckenabschnitte wurde außerdem ein signifikant unfallbegünstigender Einfluss negativer Querneigung im Bogen ermittelt, dieser Einfluss ist jedoch ebenfalls gering.

Die Fahrbahngriffigkeit hat im Analysekollektiv einen sehr hohen Einfluss auf die Abkommenswahrscheinlichkeit. Genauso wird in Streckenabschnitten mit Querneigungswechseln eine deutlich erhöhte Unfalldichte registriert (als Indiz für möglicherweise entwässerungsschwache Zonen).

Für $U_{Typ6Art3,8,9}$ zeigen sich in den zweistreifigen Streckenabschnitten des Analysekollektivs erhöhte Unfalldichten in starken Steigungen, während in Streckenabschnitten mit Wannen, die auf Geraden folgen, geringere Unfalldichten zu verzeichnen sind.

Für alle Unfalltypen kann zudem unterstellt werden, dass sich passive Schutzeinrichtungen positiv auf die Unfallschwere auswirken, wobei die generelle Installation am rechten Fahrbahnrand sich in erster Linie positiv auf die betrachteten Fahrurfälle (U_{Typ1}) auswirkt.

Für einzelne Teil-Unfallkollektive war eine Modellerstellung aufgrund der zu geringen Unfalldichte (Kapitel 5) nicht möglich. So konnte bspw. die infrastrukturellen und betrieblichen Einflussfaktoren auf Lkw-Abkommensunfälle aus diesem Grund nicht untersucht werden. Für zukünftige Untersuchungen wird empfohlen, für Unfallkollektive mit geringen Unfalldichten eher qualitative Einzelfallanalysen durchzuführen, anstatt wie hier quantitative Analysen.

5 Deskriptive Unfallanalyse

Mithilfe der Unfallmodelle (Kapitel 4) wird der Einfluss der Infrastruktur- und Betriebsmerkmale auf das Unfallgeschehen in den einzelnen Unfallkollektiven bestimmt. Dabei bleibt offen, welchen Anteil das Unfallgeschehen im jeweils betrachteten Unfallkollektiv am Gesamtunfallgeschehen hat und wie schwer diese Unfälle ausfallen. Ziel der deskriptiven Unfallanalyse ist es daher, das Sicherheitsniveau der in Abbildung 25 dargestellten Unfallkollektive einzustufen. Dazu werden für diese Unfallkollektive folgende, in Anhang 1 beschriebene, Unfallkenngrößen berechnet und gegenübergestellt:

- Falldichte,
- Unfallrate,
- Unfallkostendichte und
- Unfallkostenrate

5.1 Methodisches Vorgehen

Bei der Berechnung von Falldichten, Unfallkostendichten, Unfallraten und Unfallkostenraten wird die Unfallanzahl je Länge und Zeiteinheit berechnet, d. h. die Unfallanzahl wird durch die Länge und den Betrachtungszeitraum dividiert (Expositionsgröße). Da bestimmte Witterungs- und Verkehrszustände nicht während des gesamten Betrachtungszeitraums auftreten, werden als Expositionsgröße nur die Zeitanteile berücksichtigt, in denen die Witterungs- und Verkehrszustände im Betrachtungszeitraum tatsächlich auftraten.

So umfasst die Hauptverkehrszeit (jeweils von Montag bis Freitag vier Stunden am Vormittag und vier Stunden am Nachmittag) je Woche einen Zeitraum von 40 Stunden und somit einen Zeitanteil von ca. 24 % im Betrachtungszeitraum. Die Nebenverkehrszeit umfasst demnach einen Zeitanteil von ca. 76 %.

Eine Näherung der Zeitanteile mit Nässe/Glätte sowie Trockenheit am Betrachtungszeitraum wird unter Berücksichtigung der Niederschlagsstunden des Jahres 2013 in der

Stadt Göttingen bestimmt⁹. Laut Deutschem Wetterdienst wurden durch die Messstation Göttingen in 10 % der Jahresstunden in 2013 Niederschläge registriert. Da Nässe/Glätte nach dem Niederschlagsereignis noch einige Zeit bis zum Verdunsten/Tauen fortbesteht, wird für die deskriptive Analyse als Zeitanteil 25 % angenommen¹⁰. Demzufolge wird Trockenheit ein Zeitanteil von 75 % angenommen.

Bei der Berechnung von Unfallraten bzw. Unfallkostenraten wird zudem die Verkehrsstärke als Expositionsgröße berücksichtigt. Die folgenden Annahmen basieren auf dem Mittelwert der von FITSCHEN & NORDMANN (2018) ermittelten Tages- und Wochengangliedertypen C („ausgeglichene Verkehrsverteilung“) und D („Doppelspitze“) auf BAB. Es wird angenommen, dass im Analysekollektiv ca. 50 % des werktäglichen Verkehrs in den acht Stunden der Hauptverkehrszeit auftreten und ca. 25 % des Wochenverkehrs am Wochenende. Das bedeutet dass die Verkehrsstärke in der Hauptverkehrszeit ca. 58 % über dem DTV liegt und die Verkehrsstärke in der Nebenverkehrszeit ca. 18 % unter dem DTV.

Zudem wird bei der Berechnung von Unfallraten und Unfallkostenraten für den Unfalltyp 1 mit Beteiligung von Pkw bzw. Lkw jeweils nicht der DTV als Expositionsgröße verwendet, sondern jeweils der DTV_{LV} und der DTV_{SV} . Für Unfälle des Unfalltyps 6 mit den Unfallarten 3, 8 oder 9 wird auf dieses Vorgehen verzichtet, da diese im Gegensatz zu Unfällen des Unfalltyps 1 durch einen Konflikt zwischen zwei Verkehrsteilnehmern ausgelöst werden. Hier können demnach bei Unfällen mit Lkw-Beteiligung zusätzlich Pkw beteiligt sein und umgekehrt.

⁹ Göttingen wurde als Referenz gewählt, da es relativ zentral liegt und laut STATISTA (2019) eine im Bundesvergleich mittlere Anzahl an Regentagen aufweist.

¹⁰ Dies ist eine defensive Annahme im Hinblick auf die berechnete Falldichte, da diese umso höher liegt, je niedriger der Zeitanteil mit Nässe/Glätte angesetzt wird.

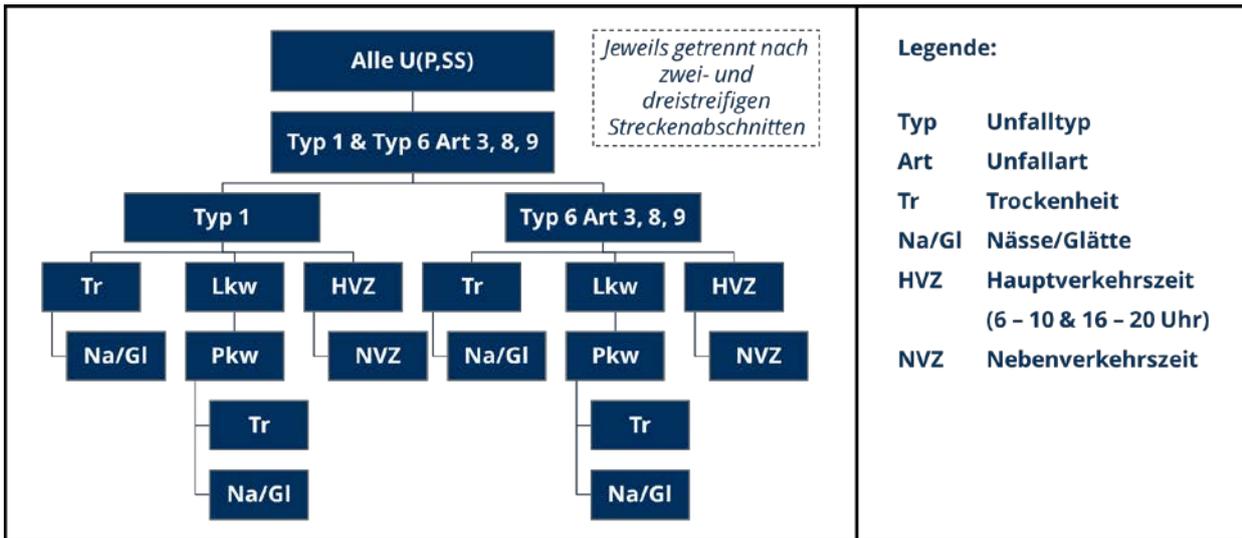


Abbildung 25: Baumdiagramm der Unfallkollektive der deskriptiven Analyse

Es liegen keine Erkenntnisse vor, nach denen die Witterungsbedingungen einen maßgeblichen Einfluss auf die Verkehrsnachfrage auf BAB haben.

Tabelle 17 zeigt ein Laborbeispiel zur Verdeutlichung der getroffenen Annahmen bezüglich der Expositionsgrößen bei der Berechnung der Unfallkenngrößen.

Tabelle 17: Laborbeispiel zu den Annahmen bezüglich der Expositionsgrößen

Unfallkollektiv	Unfallanzahl	Zeitraum	DTV	Unfalldichte	Unfallrate
(L = 1 km)	[-]	[a]	[Kfz/24h]	[U/km*a]	[U/10 ⁶ Kfz*km]
Alle Unfälle	10	10,0	60.000	1,0	0,05
Nässe/Glätte	3	2,5	60.000	1,2	0,05
Trockenheit	7	7,5	60.000	0,9	0,04
HVZ	6	2,5	94.500	2,4	0,07
NVZ	4	7,5	49.219	0,5	0,03

*HVZ = Hauptverkehrszeit, **NVZ = Nebenverkehrszeit

Zur Berechnung von Unfallkostendichten und Unfallkostenraten kommt die Anwendung direkt angepasster Unfallkosten nur für Unfallkollektive infrage, die mindestens 100 U(P) umfassen (FGSV 1998). Für die restlichen Teil-Unfallkollektive werden indirekt angepasste Unfallkosten mithilfe der Kostensätze des nächsthöheren Unfallkollektivs (gem. Abbildung 25) berechnet, dem sie angehören. Grundlage dafür bilden die differenzierten Kostensätze der BAST des Jahres 2016 (Tabelle 18).

Tabelle 18: Angewendete differenzierte Unfallkostensätze

Personenschadenkosten je verunglückte Person [€/V]:	
V(GT)	1.164.328
V(SV)	123.964
V(LV)	5.094
Sachschadenkosten je Unfall [€/U]:	
U(GT)	47.626
U(SV)	22.889
U(LV)	14.865
U(SS)	22.114

Preisstand: 2016

Quelle: BAST

Da sich die Unfall- und Verunglücktenstruktur zwischen den zweistreifigen und dreistreifigen Streckenabschnitten im Analysekollektiv kaum unterscheidet (Abbildung 30), werden für diese gemeinsame, direkt angepasste Kostensätze berechnet. Damit weisen vier Teil-Unfallkollektive eine ausreichende Anzahl der U(P) zur Berechnung direkt angepasster Unfallkostensätze gemäß FGSV (1998) auf. Die berechneten, direkt angepassten Unfallkostensätze sind in Tabelle 19 dargestellt. Die Kostensätze für Unfälle des Unfalltyps 1 sowie für Unfälle des Unfalltyps 6 mit den Unfallarten 3, 8, 9 werden auf deren jeweilige Teil-Unfallkollektive gem. Abbildung 25 angewendet.

Tabelle 19: Berechnete, direkt angepasste Unfallkostensätze

	Alle U	Typ 1 & Typ 6 Art 3, 8, 9	Typ 1	Typ 6 Art 3, 8, 9
WUa(SP) [€/U]	326.335	289.585	301.146	258.027
WUa(LV) [€/U]	22.608	21.857	21.524	22.452
WU(SS)* [€/U]	22.114	22.114	22.114	22.114

*Kostensatz gem. BASt (Preisstand 2016)

5.2 Unfallniveau

Abkommensunfälle (U_{Abk}) nach der Definition dieses Forschungsvorhabens (U_{Typ1} oder $U_{Typ6Art3,8,9}$) machen bezüglich aller berechneten Unfallkenngrößen ungefähr die Hälfte des Unfallgeschehens auf den Streckenabschnitten des Analysekollektivs aus. Dabei zeigen sich keine Unterschiede zwischen den Streckenabschnitten mit zweistreifigen und dreistreifigen Richtungsfahrbahnen (Abbildung 26).

Zudem zeigt sich generell, dass im Analysekollektiv das Niveau der U_{Typ1} deutlich über dem der $U_{Typ6Art3,8,9}$ liegt (Abbildung 26). Je nach berechneter Unfallkenngröße machen Unfälle des U_{Typ1} 70 bis 80 % des Abkommens-Unfallgeschehens und 30 bis 40 % des Gesamtunfallgeschehens aus. Diese Anteile sind auf den zweistreifigen Richtungsfahrbahnen des Analysekollektivs etwas höher als auf den dreistreifigen. Der Großteil der Abkommensunfälle entsteht demnach hauptsächlich durch den Verlust der Fahrzeugkontrolle ohne Einfluss anderer Verkehrsteilnehmer.

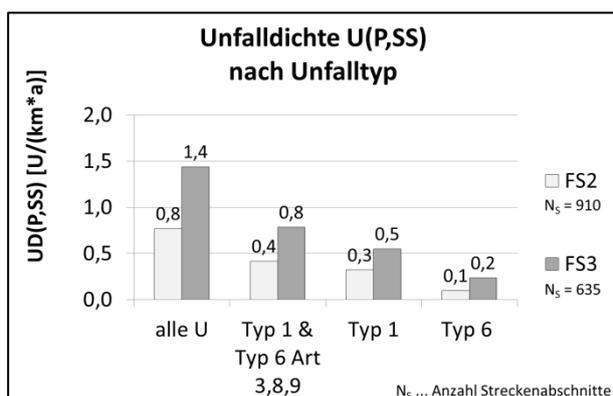


Abbildung 26: Unfalldichte der Streckenabschnitte im Analysekollektiv nach Unfalltyp

Alle berechneten Unfallkenngrößen liegen für U_{Typ1} bei Nässe/Glätte deutlich über jenen bei Trockenheit. Da der angenommene Zeitanteil mit Nässe/Glätte bei der Berechnung aller Unfallkenngrößen explizit betrachtet wurde, ist ein Vergleich der Abkommensunfälle bei Nässe/Glätte mit dem Gesamtunfallgeschehen möglich. Dabei zeigt sich, dass sowohl auf zweistreifigen als auch auf dreistreifigen Streckenabschnitten die Unfalldichten und Unfallraten der U_{Typ1} bei Nässe/Glätte deutlich über jenen aller U_{Typ1} und sogar leicht über denen aller im Analysekollektiv erfassten Unfälle liegen. Dies unterstreicht, dass Nässe/Glätte U_{Typ1} deutlich begünstigt. Für $U_{Typ6Art3,8,9}$ konnte keine entsprechende Tendenz im Analysekollektiv festgestellt werden.

U_{Typ1} mit Lkw-Beteiligung weisen im Analysekollektiv sowohl auf zweistreifigen als auch auf dreistreifigen Streckenabschnitten deutlich geringere Unfalldichten und Unfallkostendichten auf als U_{Typ1} mit Pkw-Beteiligung. Dieser Unterschied ist hinsichtlich der Unfallraten und Unfallkostenraten deutlich geringer, da hier der DTV_{LV} für Unfälle des Unfalltyps 1 mit Pkw-Beteiligung und der DTV_{SV} für U_{Typ1} mit Lkw-Beteiligung zugrunde liegen (Abbildung 27). Bei $U_{Typ6Art3,8,9}$ zeigt sich im Analysekollektiv für alle berechneten Unfallkenngrößen ein vergleichsweise geringes Niveau von Unfällen mit Lkw-Beteiligung, wobei hier aus methodischen Gründen nicht DTV_{LV} und DTV_{SV} zugrunde liegen.

Im Analysekollektiv weisen alle Unfallkenngrößen, vor allem aber die Unfallraten und Unfallkostenraten für U_{Typ1} in der Hauptverkehrszeit ein höheres Niveau auf als in der Nebenverkehrszeit. Diese Tendenz ist auch für $U_{Typ6Art3,8,9}$ erkennbar.

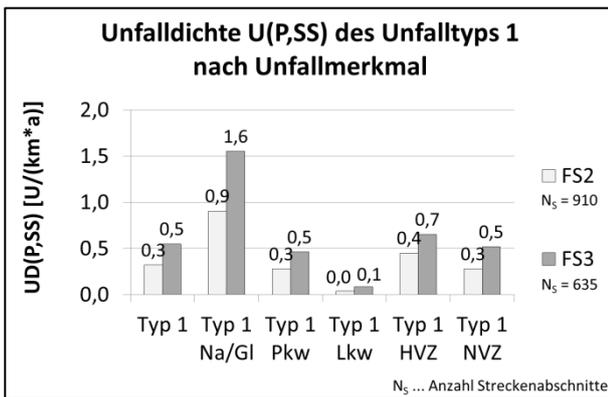


Abbildung 27: Unfalldichte des Unfalltyps im Analysekollektiv nach Unfallmerkmalen (angepasste Zeitbereiche für Na/Gl, HVZ & NVZ)

Neben den bisher erläuterten Auffälligkeiten sind für die $U_{\text{Typ6Art3,8,9}}$ nur schwache Tendenzen erkennbar, die aufgrund des insgesamt geringen Unfallniveaus nicht näher erläutert werden.

Generell zeigt sich im Vergleich der zweistreifigen und dreistreifigen Streckenab-

schnitte des Analysekollektivs für fast alle Unfallkollektive, dass die Unfalldichten und Unfallkostendichten auf den dreistreifigen Streckenabschnitten um ca. ein Drittel bis zwei Drittel über jenen der zweistreifigen Streckenabschnitte liegen. Die Unfallraten und Unfallkostenraten aller Unfallkollektive der zweistreifigen Streckenabschnitte liegen dagegen in etwa auf dem Niveau der dreistreifigen Streckenabschnitte. Grund hierfür ist, dass die Raten den DTV berücksichtigen, der auf dreistreifigen Streckenabschnitten tendenziell höher ist. Zwischen den berechneten Dichten und Raten zeigen sich überdies kaum Unterschiede.

Eine Übersicht der berechneten Unfallkenngrößen für die Streckenabschnitte des Analysekollektivs zeigt Tabelle 20.

Tabelle 20: Übersicht der für die Streckenabschnitte des Analysekollektivs berechneten Unfallkenngrößen

Streckenabschnitte: Unfallkollektiv U(P,SS)				Unfalldichte		Unfallrate		Unfallkostendichte		Unfallkostenrate	
Unfalltyp	Fahrzeugtyp	Fahrbahnzustand	Zeitraum	[U/km*a]		[U/10 ⁶ Kfz*km*a]		[1000€/km*a]		[€/1000Kfz*km*a]	
				FS2	FS3	FS2	FS3	FS2	FS3	FS2	FS3
Alle	Alle	Alle	Alle	0,77	1,44	0,115	0,129	59,4	106,2	8,9	9,5
1 & 6 Art 3,8,9	Alle	Alle	Alle	0,41	0,78	0,062	0,070	26,3	45,7	4,0	4,1
1	Alle	Alle	Alle	0,32	0,55	0,048	0,049	21,2	32,1	3,2	2,9
		Nässe/Glätte ¹	Alle	0,91	1,55	0,136	0,139	46,2	60,8	6,9	5,4
		Trockenheit ¹	Alle	0,12	0,21	0,018	0,019	12,2	21,5	1,8	1,9
	Pkw ⁴	Alle	Alle	0,28	0,46	0,051	0,050	17,2	25,1	3,2	2,7
	Lkw ⁴	Alle	Alle	0,04	0,08	0,030	0,041	2,3	5,6	1,9	2,8
	Alle	Alle	HVZ ²	0,45	0,65	0,043	0,037	30,7	36,0	2,9	2,0
		Alle	NVZ ³	0,28	0,52	0,051	0,056	17,6	29,8	3,2	3,3
	Pkw ⁴	Nässe/Glätte ¹	Alle	0,80	1,34	0,121	0,120	41,1	51,4	6,2	4,6
		Trockenheit ¹	Alle	0,10	0,17	0,015	0,015	9,2	16,3	1,4	1,5
		Alle	HVZ ²	0,39	0,56	0,037	0,032	25,6	29,5	2,4	1,7
		Alle	NVZ ³	0,24	0,43	0,044	0,047	14,5	23,7	2,7	2,6
	6 Art 3,8,9	Alle	Alle	Alle	0,10	0,23	0,014	0,021	5,2	13,3	0,8
Nässe/Glätte ¹			Alle	0,12	0,25	0,018	0,023	5,4	11,4	0,8	1,0
Trockenheit ¹			Alle	0,09	0,23	0,013	0,020	5,2	14,0	0,8	1,3
Pkw		Alle	Alle	0,07	0,18	0,010	0,016	4,0	10,7	0,6	1,0
Lkw		Alle	Alle	0,03	0,05	0,004	0,004	1,2	2,5	0,2	0,2
Alle		Alle	HVZ ²	0,14	0,32	0,013	0,018	6,8	16,6	0,6	0,9
		Alle	NVZ ³	0,08	0,21	0,015	0,023	4,8	12,3	0,9	1,3
Pkw		Nässe/Glätte ¹	Alle	0,09	0,20	0,003	0,004	4,3	9,7	0,2	0,2
		Trockenheit ¹	Alle	0,06	0,17	0,007	0,012	3,9	11,1	0,4	0,7
		Alle	HVZ ²	0,10	0,25	0,004	0,005	4,9	14,3	0,2	0,3
	Alle	NVZ ³	0,06	0,16	0,007	0,011	3,8	9,6	0,4	0,7	

HVZ = Hauptverkehrszeit, NVZ = Nebenverkehrszeit

¹ Annahme: Zeitanteil mit Nässe/Glätte beträgt 25 %, Zeitanteil mit Trockenheit beträgt 75 %

² Annahme: Zeitanteil der HVZ beträgt 25 %, Verkehrsstärke in HVZ liegt ca. 58 % über dem DTV

³ Annahme: Zeitanteil der NVZ beträgt 75 %, Verkehrsstärke in NVZ liegt ca. 18 % unter dem DTV

⁴ Annahme bei Unfall(kosten)raten des Unfalltyps 1: Berücksichtigung des DTVLV bei Pkw-Unfällen bzw. des DTVSV bei Lkw-Unfällen

5.3 Unfallschwere

Zur Einstufung der Unfallschwere im Analysekollektiv werden sowohl die Unfallkosten je Unfall (WUa) als auch Unfall- und Verunglücktenstrukturen bestimmt. Dabei muss jedoch berücksichtigt werden, dass die Definition der Abkommensunfälle (U_{Abk}) nicht nur Unfälle umfasst, bei denen ein Verkehrsteilnehmer von der Fahrbahn abgekommen ist (Unfallarten 8 und 9), sondern auch alle Unfälle, bei denen potenziell ein Verkehrsteilnehmer hätte abkommen können, jedoch (zufällig) ein anderer Verkehrsteilnehmer oder ein Hindernis „im Weg“ war und eine Kollision erfolgte.

Für U_{Abk} zeigt sich eine etwas geringere Unfallschwere als für das Gesamtunfallgeschehen im Analysekollektiv (Abbildung 28).

Innerhalb des Kollektivs der U_{Abk} zeigt sich, dass die $U_{Typ1}(P)$ deutlich schwerer ausfielen als die $U_{Typ6,Art3,8,9}(P)$ (Abbildung 28).

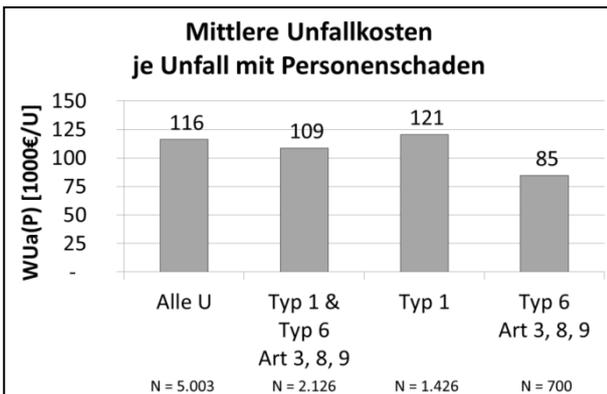


Abbildung 28: Mittlere Unfallkosten je Unfall mit Personenschaden im Analysekollektiv

Betrachtet man nicht die $U(P)$, sondern die $U(P,SS)$, zeigt sich zwischen den U_{Typ1} und den $U_{Typ6,Art3,8,9}$ nur ein geringer Unterschied in der Unfallschwere (Abbildung 29). Dies liegt daran, dass der Anteil der $U(SS)$ bei den U_{Typ1} vergleichsweise hoch ist.

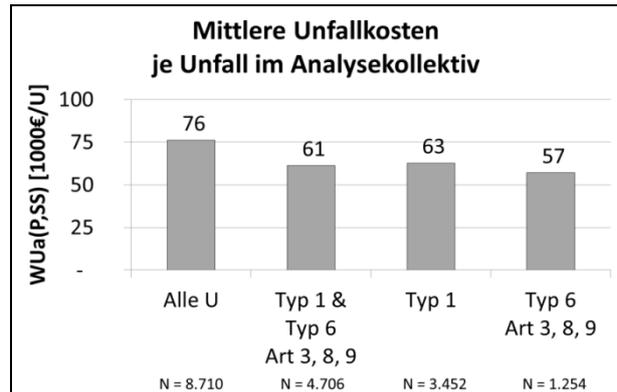


Abbildung 29: Mittlere Unfallkosten je Unfall im Analysekollektiv

Zwischen den zweistreifigen und den dreistreifigen Richtungsfahrbahnen zeigen sich im Analysekollektiv bezüglich der Unfall- und Verunglücktenstruktur kaum Unterschiede (Abbildung 30).

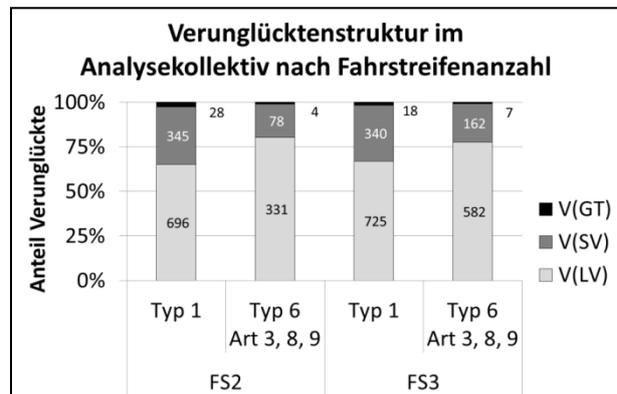


Abbildung 30: Verunglücktenstruktur im Analysekollektiv nach Fahrstreifen je Richtung

5.4 Deskriptive Analyse der Knotenpunktbereiche

Um das Niveau der Verkehrssicherheit und die Unfallschwere der U_{Abk} auf den Streckenabschnitten des Analysekollektivs mit jenem in Knotenpunktbereichen zu vergleichen, werden die Unfalldaten zusätzlich für die durchgehenden Hauptfahrbahnen aufbereitet, die an die Streckenabschnitte des Analysekollektivs angrenzen. Anschließend wurden die Unfallkenngrößen analog zu den Streckenabschnitten des Analysekollektivs berechnet, wobei nach demselben Vorgehen eigene Kostensätze für die Knotenpunktbereiche berechnet

wurden. Nachfolgend werden hauptsächlich die Unterschiede zwischen Knotenpunktbereichen und Streckenabschnitten erläutert.

Generell zeigen die berechneten Unfallkenngrößen für fast alle Unfallkollektive, dass das Sicherheitsniveau auf dreistreifigen Streckenabschnitten des Analysekollektivs deutlich höher ist, als in den angrenzenden Knotenpunktbereichen. Ausnahmen sind hier zum einen die U_{Typ1} mit Lkw-Beteiligung, bei denen die Werte der Unfallkenngrößen in den Knotenpunktbereichen etwas unter denen der Streckenabschnitte liegen. Zum anderen zeigt sich für die Unfallkostendichten und Unfallkostenraten der $U_{Typ6Art3,8,9}$ und dessen Unterkollektive keine eindeutige Tendenz für dreistreifige Richtungsfahrbahnen.

Für zweistreifige Richtungsfahrbahnen liegt das Sicherheitsniveau in den Streckenabschnitten des Analysekollektivs leicht über dem der Knotenpunktbereiche. Für U_{Typ1} sind die Unfallkostendichten und Unfallkostenraten der Lkw-Unfälle höher als in den Streckenabschnitten, während jene der Pkw-Unfälle bei Trockenheit unter denen der Streckenabschnitte liegen. Für $U_{Typ6Art3,8,9}$ zeigt sich das gleiche Bild, hier jedoch auch bei Betrachtung der Unfalldichten und Unfallraten.

Der Vergleich des Unfallniveaus zeigt, dass das Sicherheitsniveau allgemein sowie bezo-

gen auf Abkommensunfälle in den betrachteten Streckenabschnitten bei zweistreifigen Richtungsfahrbahnen leicht, bei dreistreifigen Richtungsfahrbahnen deutlich über dem in Knotenpunktbereichen liegt.

Außerdem zeigt sich für zweistreifige Richtungsfahrbahnen, dass im Vergleich zu Knotenpunktbereichen auf Streckenabschnitten bei U_{Typ1} die Pkw mehr und die Lkw weniger gefährdet sind, wohingegen dort bei $U_{Typ6Art3,8,9}$ die Lkw mehr und die Pkw weniger gefährdet sind.

Auf dreistreifigen Streckenabschnitten des Analysekollektivs zeigt sich im Gegensatz zu den zweistreifigen Streckenabschnitten ein erhöhtes Niveau der Lkw-Unfälle des Unfalltyps 1 gegenüber den Knotenpunktbereichen.

Tabelle 21 zeigt die prozentualen Unterschiede der Knotenpunktbereiche gegenüber den Streckenabschnitten des Analysekollektivs für alle berechneten Unfallkenngrößen.

Tabelle 29 in Anhang 9 zeigt die absoluten Werte der berechneten Unfallkenngrößen für die an das Analysekollektiv angrenzenden durchgehenden Hauptfahrbahnen in Knotenpunktbereichen.

Tabelle 21: Prozentualer Unterschied der berechneten Unfallkenngrößen an durchgehenden Hauptfahrbahnen in Knotenpunktbereichen gegenüber den Streckenabschnitten des Analysekollektivs

Unterschied Knotenpunktbereiche zu Streckenabschnitten: Unfallkollektiv U(P,SS)				Unfalldichte		Unfallrate		Unfallkostendichte		Unfallkostenrate	
Unfalltyp	Fahrzeugtyp	Fahrbahn-zustand	Zeitraum	Unterschied gegenüber Strecken des Analysekollektivs [%]							
				FS2	FS3	FS2	FS3	FS2	FS3	FS2	FS3
Alle	Alle	Alle	Alle	-17%	-48%	-17%	-33%	+9%	-23%	+9%	-10%
1 & 6 Art 3,8,9	Alle	Alle	Alle	-12%	-51%	-12%	-35%	+8%	-34%	+8%	-20%
1	Alle	Alle	Alle	-11%	-55%	-11%	-39%	+6%	-49%	+6%	-34%
		Nässe/Glätte ¹	Alle	+8%	-55%	+8%	-39%	-12%	-76%	-12%	-58%
		Trockenheit ¹	Alle	-17%	-57%	-18%	-41%	-18%	+6%	-17%	-5%
	Pkw ⁴	Alle	Alle	+7%	-64%	+6%	-47%	-12%	-50%	-13%	-35%
	Lkw ⁴	Alle	Alle	+7%	-9%	-11%	-18%	-25%	-17%	-30%	-25%
	Alle	Alle	HVZ ²	+3%	-78%	+3%	-60%	-6%	-59%	-5%	-43%
		Alle	NVZ ³	-14%	-46%	-14%	-31%	+1%	-32%	+1%	-19%
	Pkw ⁴	Nässe/Glätte ¹	Alle	+9%	-63%	+9%	-46%	+4%	-83%	+4%	-64%
		Trockenheit ¹	Alle	+0%	-67%	+0%	-50%	-36%	-16%	-36%	+4%
		Alle	HVZ ²	+2%	-92%	+2%	-72%	-15%	-74%	-15%	-56%
Alle		NVZ ³	+9%	-53%	+9%	-37%	-11%	-41%	-11%	-27%	
6 Art 3,8,9	Alle	Alle	Alle	-17%	-40%	-17%	-26%	+8%	-1%	+8%	-12%
		Nässe/Glätte ¹	Alle	-5%	-17%	-5%	+5%	+5%	-16%	+5%	-25%
		Trockenheit ¹	Alle	-27%	-49%	-27%	-34%	+9%	+3%	+9%	-8%
	Pkw	Alle	Alle	-38%	-34%	-38%	-20%	-26%	-6%	-26%	-15%
	Lkw	Alle	Alle	-39%	-62%	-39%	-45%	-53%	-18%	-53%	+6%
	Alle	Alle	HVZ ²	+1%	-49%	+1%	-33%	+7%	-30%	+7%	-17%
		Alle	NVZ ³	-26%	-36%	-26%	-22%	+8%	-15%	+9%	-23%
	Pkw	Nässe/Glätte ¹	Alle	-18%	-11%	-19%	-0%	+25%	-26%	+26%	-33%
		Trockenheit ¹	Alle	-47%	-43%	-48%	-28%	-26%	+0%	-26%	-10%
		Alle	HVZ ²	-33%	-28%	-33%	-15%	-44%	-11%	-44%	-0%
Alle		NVZ ³	-41%	-37%	-41%	-23%	-19%	-13%	-19%	-22%	

HVZ = Hauptverkehrszeit, NVZ = Nebenverkehrszeit

¹ Annahme: Zeitanteil mit Nässe/Glätte beträgt 25 %, Zeitanteil mit Trockenheit beträgt 75 %

² Annahme: Zeitanteil der HVZ beträgt 25 %, Verkehrsstärke in HVZ liegt ca. 58 % über dem DTV

³ Annahme: Zeitanteil der NVZ beträgt 75 %, Verkehrsstärke in NVZ liegt ca. 18 % unter dem DTV

⁴ Annahme bei Unfall(kosten)raten des Unfalltyps 1: Berücksichtigung des DTVLV bei Pkw-Unfällen bzw. des DTVSV bei Lkw-Unfällen

Bezogen auf die U(P) liegt die Unfallschwere aller Unfälle auf den Streckenabschnitten des Analysekollektivs etwas über der in den angrenzenden Knotenpunktbereichen, während dieser Unterschied bei den Abkommensunfällen noch geringer ausfällt. U_{Typ1}(P) haben hingegen in Knotenpunktbereichen etwas schwerere Folgen, während U_{Typ6Art3,8,9}(P) in Knotenpunktbereichen deutlich leichter ausfallen als auf den Streckenabschnitten des Analysekollektivs (Abbildung 31).

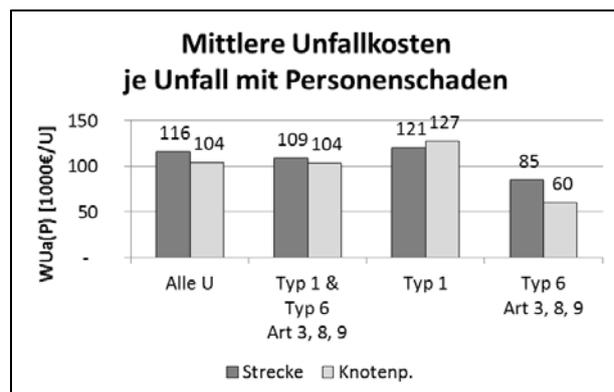


Abbildung 31: Mittlere Unfallkosten je U(P) nach Strecke und Knotenpunktbereich

Betrachtet man statt den $U(P)$ die $U(P,SS)$, zeigt sich ein ähnliches Bild mit der Ausnahme, dass Unfälle des Unfalltyps 1 in den Knotenpunktbereichen und auf den Streckenabschnitten des Analysekollektivs ähnlich schwer ausfallen (Abbildung 32).

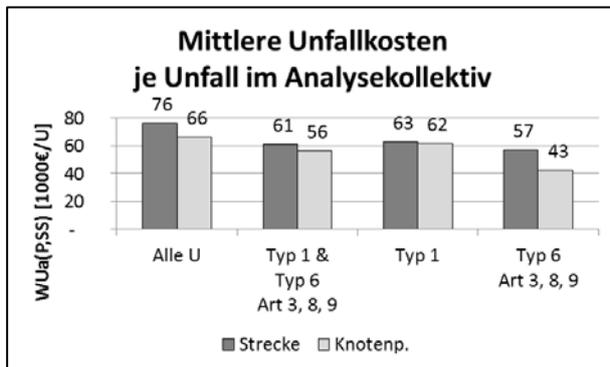


Abbildung 32: Mittlere Unfallkosten je $U(P,SS)$ nach Strecke und Knotenpunktbereich

An zweistreifigen und an dreistreifigen Richtungsfahrbahnen zeigt sich bezüglich der Unterschiede in der Unfallschwere ein einheitliches Bild (Abbildung 33).

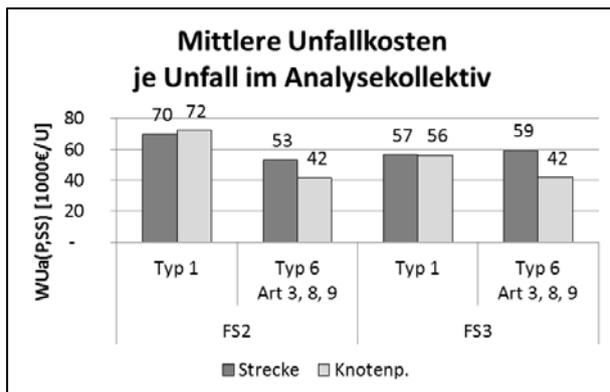


Abbildung 33: Mittlere Unfallkosten je $U(P,SS)$ nach Strecke/Knotenpunktbereich sowie Anzahl der Richtungsfahrfahrbahnen

5.5 Zusammenfassung

Methodik

Während mithilfe der Unfallmodelle der Einfluss der Infrastruktur- und Betriebsmerkmale auf das Unfallgeschehen in den jeweiligen Unfallkollektiven bestimmt wurde, erfolgt mithilfe der deskriptiven Analyse eine Einordnung bezüglich des Sicherheitsniveaus dieser Unfallkollektive. Dazu werden die Unfallkenngrößen Unfalldichte, Unfallrate, Unfallkostendichte

und Unfallkostenrate betrachtet. Die Unfallkosten wurden direkt an die Unfall- und Verunglücktenstruktur des Gesamtunfallgeschehens im Analysekollektiv, sowie an die U_{Typ1} bzw. $U_{Typ6Art3,8,9}$ angepasst. Zudem wurden die abweichenden Zeitanteile der Witterungszustände und Verkehrszeiten berücksichtigt.

Unfallhäufigkeit

U_{Abk} machen unabhängig von der Fahrstreifenanzahl ca. die Hälfte aller Unfälle auf den Streckenabschnitten des Analysekollektivs aus. Das Kollektiv der Abkommensunfälle wird dabei deutlich von den U_{Typ1} dominiert, während die $U_{Typ6Art3,8,9}$ eher eine untergeordnete Rolle spielen. Der Großteil der Abkommensunfälle entsteht demnach hauptsächlich durch den Verlust der Fahrzeugkontrolle ohne Einfluss anderer Verkehrsteilnehmer.

Alle berechneten Unfallkenngrößen liegen für U_{Typ1} bei Nässe/Glätte deutlich über jenen bei Trockenheit und sogar leicht über denen des Gesamtunfallgeschehens. Fahrnfälle bei Nässe/Glätte machen demnach das größte Sicherheitsproblem im Analysekollektiv aus

Das Lkw-Unfallgeschehen spielt bezüglich der Unfallhäufigkeit im Kollektiv der Abkommensunfälle unabhängig von der Fahrstreifenanzahl eine untergeordnete Rolle.

Generell liegt das Sicherheitsniveau auf den zweistreifigen Streckenabschnitten des Analysekollektivs bezogen auf die Streckenlänge über jenem der dreistreifigen Streckenabschnitte. Wird zusätzlich der DTV als Expositionsgröße berücksichtigt, weisen zwei- und dreistreifige Streckenabschnitt dagegen ein ähnliches Sicherheitsniveau auf.

Unfallschwere

Für U_{Abk} zeigt sich im Mittel eine etwas geringere Unfallschwere als für das Gesamtunfallgeschehen im Analysekollektiv. Innerhalb des Kollektivs der U_{Abk} zeigt sich, dass die $U_{Typ1}(P)$ deutlich schwerer ausfallen als die

$U_{\text{Typ6Art3,8,9}}(P)$. Zwischen den zweistreifigen und den dreistreifigen Richtungsfahrbahnen zeigen sich im Analysekollektiv bezüglich der Unfall- und Verunglücktenstruktur kaum Unterschiede.

Vergleich mit Knotenpunktbereichen

Das Sicherheitsniveau liegt sowohl insgesamt als auch bezogen auf Abkommensunfälle in den betrachteten Streckenabschnitten bei zweistreifigen Richtungsfahrbahnen leicht, bei dreistreifigen Richtungsfahrbahnen deutlich über dem in Knotenpunktbereichen. Ausnahmen sind Fahrurfälle mit Lkw-Beteiligung sowie die $U_{\text{Typ6Art3,8,9}}$. Während U_{Typ1} auf Streckenabschnitten und in Knotenpunktbereichen eine ähnliche Unfallschwere aufweisen, sind die $U_{\text{Typ6Art3,8,9}}$ auf den Streckenabschnitten deutlich schwerer als in den Knotenpunktbereichen.

6 Verfahren zur Bestimmung einer erhöhten Abkommenswahrscheinlichkeit

6.1 Ableitung des Verfahrens

Das Verfahren soll Stellen im BAB-Netz identifizieren, die aufgrund ihrer Infrastruktur- und Betriebscharakteristika möglicherweise eine erhöhte Abkommenswahrscheinlichkeit aufweisen. In Form eines proaktiven Ansatzes soll das Verfahren auch ohne Unfalldaten angewendet werden können, d. h. ohne dass auf dem Abschnitt erst Abkommensunfälle abgewartet werden müssen, bevor der Abschnitt geprüft und ggf. durch Maßnahmen abgesichert wird.

Aus dem „Einflussfaktor auf die Unfalldichte“ (Kapitel 0) kann abgeschätzt werden, welchen Einfluss die einzelnen Einflussgrößen auf bestimmte Teil-Unfallkollektive im Analysekollektiv haben. Aus der mittleren Unfalldichte des jeweiligen Unfallkollektivs im Analysekollektiv (Kapitel 5.2) kann abgeschätzt werden, welchen Anteil diese Teil-Unfallkollektive auf das Gesamtunfallgeschehen bzw. auf die U_{Abk} haben.

Bei der Ableitung des Verfahrens werden nur Größen berücksichtigt, die einen bedeutsamen Einfluss auf jene Teil-Unfallkollektive von Abkommensunfällen haben, die wiederum einen bedeutsamen Anteil am Gesamtunfallgeschehen ausmachen (Abbildung 34).

Ein bedeutsamer Einfluss einer Größe im jeweiligen Unfallmodell wird unterstellt, wenn der in Kapitel 0 definierte „Einflussfaktor auf die Unfalldichte“ mindestens 1,2 beträgt, d. h. im Analysekollektiv eine Veränderung der Unfalldichte über den betrachteten Wertebereich der jeweiligen Einflussgröße von mindestens 20 % aus den Unfallmodellen hervorgeht (Tabelle 22).

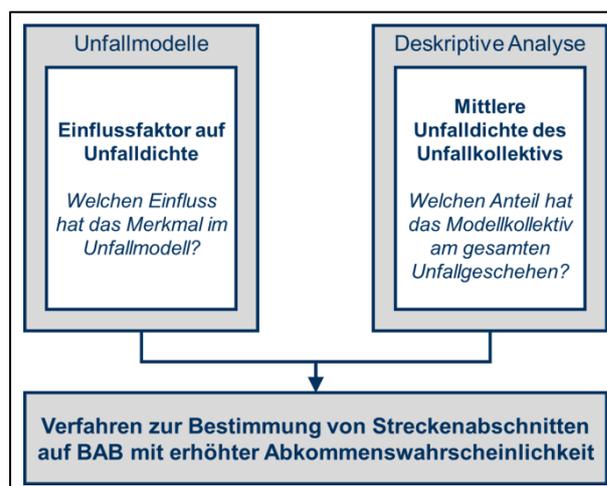


Abbildung 34: Vorgehen bei der Ableitung des Verfahrens

Tabelle 22: Festlegung Grenzwert für bedeutsame Einflussfaktoren

Einflussfaktor auf Unfalldichte [-]	Bedeutsamer Einfluss im Unfallmodell
> 1,2	ja
≤ 1,2	nein

Ein bedeutsamer Anteil des Unfallkollektivs am Gesamtunfallgeschehen wird unterstellt, wenn die mittlere Unfalldichte des im jeweiligen Unfallmodell zugrundeliegenden Unfallkollektivs mindestens ein Drittel der Gesamtunfalldichte im Analysekollektiv beträgt. Diese Werte liegen für zweistreifige Streckenabschnitten bei ca. 0,25 U/km*a und für dreistreifige Streckenabschnitte bei ca. 0,5 U/km*a (Tabelle 23).

Tabelle 23: Festlegung Grenzwert für bedeutsame Unfallkollektive

Unfalldichte des Unfallkollektivs [U/km*a]		Bedeutsamer Anteil des Unfallkollektivs am Gesamtunfallgeschehen
FS2	FS3	
> 0,25	> 0,5	ja
≤ 0,25	≤ 0,5	nein

Für die zweistreifigen Streckenabschnitte können gemäß dem erläuterten Vorgehen folgende bedeutsame Einflussfaktoren auf die U_{Abk} im Analysekollektiv abgeleitet werden:

- Anzahl der Richtungsänderungswinkel größer 60 gon
- Anzahl der Linksbögen
- Vorhandensein eines Übergangs von Gerade auf Bogen
- Mittelwert der Griffigkeit des rechten Fahrstreifens
- Mittelwert der Griffigkeit des linken Fahrstreifens
- Längenanteil der Querneigungswechsel
- Beschränkung der Geschwindigkeit auf 120 km/h oder weniger
- Längenanteil der witterungsbedingten Geschwindigkeitsbeschränkungen (oder VBA)

Analog dazu werden für die dreistreifigen Streckenabschnitte folgende bedeutsame Einflussfaktoren auf die U_{Abk} im Analysekollektiv ermittelt:

- Anzahl der Richtungsänderungswinkel über 40 gon
- Anzahl der Linksbögen
- Längenanteil der Geraden
- Anzahl der Übergänge von Gerade auf Bogen
- Mittelwert der Griffigkeit des rechten Fahrstreifens
- Längenanteil der Querneigungswechsel
- Anzahl der Wannens, die auf Geraden folgen
- Längenanteil der witterungsbedingten Geschwindigkeitsbeschränkungen (oder VBA)
- Längenanteil der Überholverbote für Lkw (oder VBA)

In Abstimmung mit dem Betreuerkreis des Forschungsprojekts wird ein Verfahren angestrebt, das nicht nach zwei- und dreistreifigen Streckenabschnitten unterscheidet, weshalb bedeutsame Einflussgrößen aus beiden Streckenkollektiven Eingang in das Verfahren fanden.

Aus den Merkmalen Anzahl der Linksbögen (je höher, desto mehr U_{Abk} im Analysekollektiv)

und Längenanteil der Geraden (je geringer, desto mehr U_{Abk} im Analysekollektiv) wird für das Verfahren geschlussfolgert, dass die vollständige Bogenlage des Streckenabschnittes (Kreisbogen oder Übergangsbogen) geprüft werden sollte. Die Prüffrage im Verfahren lautet demnach: „Liegt der betrachtete Streckenabschnitt vollständig im Bogen (Kreisbogen oder Übergangsbogen)?“

Zudem werden in Abstimmung mit dem Betreuerkreis folgende der oben genannten Merkmale für das abzuleitende Verfahren ausgewählt:

- „Liegt ein Übergang von einer Gerade auf einen Bogen im betrachteten Abschnitt?“
- „Liegt ein Querneigungswechsel im betrachteten Abschnitt?“ (Als erstes Indiz für eine entwässerungsschwache Zone)
- „Beträgt die absolute Summe der Richtungsänderungswinkel im betrachteten Abschnitt mehr als 40 gon?“

Es wird weiterhin festgelegt, dass dem Merkmal der Fahrbahngriffigkeit im Verfahren eine besondere Stellung zukommen soll. Grund dafür ist, dass die Fahrbahngriffigkeit vor allem bei Unfällen bei Nässe/Glätte einen hohen Einfluss hat und Unfälle bei Nässe/Glätte im untersuchten Streckenkollektiv vergleichsweise hohe Unfalldichten aufweisen. In Abstimmung mit dem Betreuerkreis wird festgelegt, dass bei einem mittleren Griffigkeitswert unter 0,39 (Warnwert) eine kurzfristige Detailprüfung des betrachteten Abschnitts erfolgen sollte, bei einem mittleren Griffigkeitswert von unter 0,46 (Abnahmewert) nur dann eine Detailprüfung durchgeführt werden sollte, wenn eines der anderen, zuvor beschriebenen Merkmale als auffällig erkannt wurde. Der Griffigkeitswert berechnet sich dabei fahrfreifin über das Mittel der einzelne 100 m Werte im Abschnitt. Maßgebend ist der Fahrstreifen mit dem geringsten Mittelwert.

Da im Analysekollektiv an zweistreifigen Streckenabschnitten mit Geschwindigkeitsbeschränkungen und an dreistreifigen Strecken-

abschnitten mit Lkw-Überholverböten tendenziell geringere Unfalldichten festgestellt werden, sollten diese nach Abstimmung mit dem Betreuerkreis als Minderungsfaktor eingehen, der dazu führt, dass diese Streckenabschnitte im Falle einer Auffälligkeit bezüglich der Griffigkeit und einem weiteren Merkmal nicht kurzfristig, sondern mittelfristig einer Detailprüfung unterzogen werden sollen.

Für die ausgewählten Einflussgrößen wird in Zusammenarbeit mit dem Betreuerkreis ein Prüfschema erarbeitet, mit dessen Hilfe Streckenabschnitte auf BAB mit potentiell erhöhter Abkommenswahrscheinlichkeit auf Basis der Infrastruktur- und Betriebscharakteristika (ohne Berücksichtigung von Unfalldaten) aufgezeigt werden können.

Die durch das Prüfschema identifizierten Streckenabschnitte sollen einen ersten Hinweis auf eine erhöhte Abkommenswahrscheinlichkeit geben. Dabei kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass neben den identifizierten Streckenabschnitten noch weitere Abschnitte eine potentiell erhöhte Abkommenswahrscheinlichkeit aufweisen.

Es wird angestrebt, die durch das Prüfschema identifizierten Streckenabschnitte im Anschluss in jedem Fall einer Detailprüfung zu unterziehen. Erst daraufhin sollten Maßnahmenentscheidungen getroffen werden.

Die erstellte Dokumentation zum Verfahren enthält Empfehlungen für die Detailprüfung und die aufgelisteten Maßnahmen. Diese Empfehlungen basieren sowohl auf den Ergebnissen dieses Forschungsvorhabens als auch auf folgenden Quellen:

- ESAS (FGSV 2002),
- RAA (FGSV 2008),
- LIPPOLD U. A. (2013),
- MAIER U. A. (2016) und
- MaKaU (2018).

Die beschriebenen Empfehlungen für die Detailprüfung und die aufgelisteten Maßnahmen

dienen als Vorschläge und bedürften in jedem Fall einer fachlichen Einzelfallprüfung unter Berücksichtigung der jeweiligen Situation vor Ort.

In Abstimmung mit dem Betreuerkreis soll das Verfahren im Sinne einer einfachen Anwendbarkeit nicht nur für Streckenabschnitte außerhalb der Knotenpunktbereiche, sondern auch für durchgehende Hauptfahrbahnen in Knotenpunktbereichen richtungsgetreunt angewendet werden. Zudem stellt eine anzustrebende Abschnittslänge von 1 km einen praktikablen Wert dar.

6.2 Testweise Anwendung des Verfahrens

Das abgeleitete Verfahren wird auf seine Praktikabilität hin geprüft, indem es durch nicht am Forschungsvorhaben beteiligte Personen angewendet wird. Es zeigt sich, dass die Aufbereitung der Rohdaten und die Anwendung des Verfahrens mithilfe eines Tabellenkalkulationsprogramms für die 170 geprüften Abschnitte mit einer Gesamtlänge von 189 Kilometern Richtungsfahrbahn ca. 10 Arbeitsstunden in Anspruch nimmt.

Die testweise Anwendung zeigt, dass die Kriterien des Prüfschemas für eine kurzfristige Detailprüfung bei 37 der 170 betrachteten Abschnitte erfüllt sind, während 7 Abschnitte die Kriterien für eine mittelfristige Detailprüfung erfüllen. Nur bei vier Abschnitten führt das Kriterium der Griffigkeit unterhalb des Warnwertes (0,39) allein zu der Empfehlung „kurzfristige Prüfung“. Die Mehrzahl der kurzfristig zu prüfenden Abschnitte wird aufgrund der Kombination aus reduzierter Griffigkeit (< 0,46) und (mindestens) einem der vier weiteren Merkmale identifiziert, darunter überwiegend „Übergang Gerade – Bogen“ und „Querneigungswechsel“. Ein ähnliches Bild zeigt sich auch für die sieben mittelfristig zu prüfenden Abschnitte (s. Tabelle 24).

Tabelle 24: Ergebnisse der Pilotanwendung des abgeleiteten Verfahrens

Geprüfte Merkmale		Relevante Steuerungsbedingungen	
Griffigkeit	Weiteres Merkmal	ja	nein
< 0,39	-	4	
>= 0,39 und < 0,46	Vollständig im Bogen	6	1
	Übergang Gerade - Bogen	27	5
	Querneigungswechsel	21	5
	Richtungsänderungswinkel > 40 gon	8	1
Abschnitte mit kurzfristiger Prüfung		37	
Abschnitte mit mittelfristiger Prüfung		7	
Gesamtzahl geprüfter Abschnitte		170	
<i>kurzfristige Prüfung</i>			
<i>mittelfristige Prüfung</i>			

Das Prüfkollektiv besteht aus drei zusammenhängenden Streckenzügen mit insgesamt 170 einzelnen Streckenabschnitten. 90 der 170 Streckenabschnitte weisen eine dreistreifige Richtungsfahrbahn auf. Bis auf drei Abschnitte sind alle Abschnitte mit dem Prüfergebnis „kurzfristige Prüfung“ dreistreifige Streckenabschnitte.

Für alle 170 Abschnitte werden die Ergebnisse der testweisen Anwendung des Verfahrens mit den durch die jeweiligen Straßenbauverwaltungen identifizierten Unfallhäufungsstellen verglichen. Dabei zeigt sich, dass nur ein Abschnitt, der mit dem entwickelten Verfahren als „kurzfristig zu prüfender“ Bereich identifiziert wird, eine Unfallhäufungsstelle enthält.

6.3 Beurteilung des Verfahrens

Da die überwiegende Anzahl der mit dem entwickelten Verfahren identifizierten Streckenabschnitte keine Unfallhäufungsstellen nach M Uko einschließt, kann eine Anwendung des Verfahrens in der beschriebenen Form für die Praxis nicht empfohlen werden.

Dafür werden folgende Gründe vermutet:

- Die Unfalldichte der Abkommensunfälle auf Autobahnen ist vergleichsweise gering.
- Das Abkommensunfallgeschehen wird stark von weiteren, nicht infrastrukturbezogenen Faktoren (Mensch, Fahrzeug)

geprägt, die nicht bei der Modell- und Verfahrensentwicklung berücksichtigt wurden.

- Folglich treten Abkommensunfälle eher über das gesamte Autobahnnetz verteilt auf und bilden damit ein flächenhaftes Problem.
- Zudem stellt die Fahrbahngriffigkeit das zentrale Kriterium des Verfahrens dar. Die gemessene Griffigkeit ist jedoch eine Momentaufnahme, während die tatsächliche Fahrbahngriffigkeit über den Betrachtungszeitraum des Unfallgeschehens starken Änderungen unterworfen ist.
- Um die Anwendung des Verfahrens nicht zu aufwändig zu gestalten, werden 1.000 m-Abschnitte definiert, in denen die 100 m-Griffigkeitswerte weiter nivelliert werden und kurze Abschnitte mit schlechter Griffigkeit nicht identifiziert werden. Evtl. weisen gerade diese Abschnitte eine hohe Abkommenswahrscheinlichkeit auf.

Aus diesen Gründen ist eine Anwendung des entwickelten Verfahrens in der Planungspraxis als nicht zielführend einzuschätzen. Das entwickelte Verfahren und die Dokumentation sind daher nicht in diesem Forschungsbericht enthalten, liegen der Bundesanstalt für Straßenwesen jedoch vor.

Es wird empfohlen die infrastrukturellen Einflüsse auf das Abkommensunfallgeschehen auf Autobahnen zukünftig weiterhin im Rahmen der örtlichen Unfalluntersuchung lokal zu identifizieren und zu beseitigen.

Es wird weiterhin empfohlen, proaktive Ansätze zur infrastrukturseitigen Verbesserung der Verkehrssicherheit zunächst auf Unfallkollektive anzuwenden die sich ungleichmäßiger im Streckennetz verteilen.

7 Empfehlungen für die Praxis

Die für das entwickelte Verfahren abgeleiteten Defizit-Maßnahmen-Kombinationen können in der Praxis – bspw. im Rahmen der örtlichen Unfalluntersuchung – bei der Bekämpfung unfallauffälliger Bereiche verwendet werden. Dafür stellt vor allem der (MaKaU 2018) ein hilfreiches Werkzeug dar.

Bisher werden im MaKaU (2018) für die Bereiche der freien Strecke zur Vermeidung von Fahrunfällen folgende Defizit-Maßnahmen-Kombinationen vorgeschlagen:

- gefahrene Geschwindigkeiten sind zu hoch für diesen Streckenabschnitt
→ Anordnung einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit und
- zulässige Höchstgeschwindigkeit wird von mehr als der Hälfte der Kraftfahrzeuge überschritten
→ Durchsetzen der zulässigen Höchstgeschwindigkeit durch ortsfeste Geschwindigkeitsüberwachung.

Zur Vermeidung von Unfällen im Längsverkehr werden nach den Erkenntnissen dieses Projekts folgende Defizit-Maßnahmen-Kombinationen zur Aufnahme in MaKaU (2018) für die Bereiche der freien Strecke vorgeschlagen:

- zulässige Höchstgeschwindigkeit wird von mehr als der Hälfte der Kraftfahrzeuge überschritten
→ Durchsetzen der zulässigen Höchstgeschwindigkeit durch ortsfeste Geschwindigkeitsüberwachung
- stark unterschiedliches Geschwindigkeitsniveau
→ Errichten einer Verkehrsbeeinflussungsanlage
- stark unterschiedliches Geschwindigkeitsniveau (z. B. bedingt durch Lkw-Verkehr)
→ zulässige Höchstgeschwindigkeit herabsetzen und Überholverbot für Lkw beidseitig anordnen

- stark unterschiedliches Geschwindigkeitsniveau (z. B. bedingt durch Lkw-Verkehr)
→ Zulässige Höchstgeschwindigkeit herabsetzen, beidseitig aufstellen (ggf. mit Hinweis auf langsamfahrende Fahrzeuge)

Folgende Defizit-Maßnahmen-Kombinationen zur Bekämpfung von Fahrunfällen werden nach den Erkenntnissen dieses Projekts und der recherchierten Literatur zur Aufnahme in den MaKaU (2018) vorgeschlagen:

- geringe Fahrbahngriffigkeit
→ Fahrbahnoberfläche erneuern
- geringe Fahrbahngriffigkeit
→ Ergänzende Maßnahmen zur Reduzierung der Wasserfilmdicke (z. B. offenporiger Asphalt, Querkastentrassen, ergänzend Grooving)
- entwässerungsschwache Zone im Bereich eines Querneigungswechsels
→ Schrägverwindung oder geteilte Verwindung
→ Negative Querneigung im Bogen in Kombination mit Geschwindigkeitsbeschränkung
→ Weitere Maßnahmen zur Reduzierung der Wasserfilmdicke (z. B. offenporiger Asphalt, Querkastentrassen, ergänzend Grooving)
- unerwarteter Kurvenbeginn
→ übergroße, aufgelöste Richtungstafeln in Kurven
- Kurven mit kleinen Radien und/oder hohen Richtungsänderungswinkeln
→ Querneigungserhöhung, ggf. zulässige Geschwindigkeit herabsetzen
- Unfälle mit Abkommen von der Fahrbahn nach rechts
→ ausreichend breite Seitenstreifen und Bankette
→ wenn möglich Hindernisse im Seitenraum entfernen
→ Fahrzeug-Rückhaltesysteme mit geeigneter Aufhaltestufe anbringen/anordnen
→ Übergang zum Gelände so ausbilden, dass keine „Rampenwirkung“ vorliegt (z. B. flache Böschungsneigung)

- Unfälle mit Abkommen von der Fahrbahn nach links
 - wenn möglich Hindernisse im Mittelstreifen entfernen
 - Fahrzeug-Rückhaltesysteme mit geeigneter Aufhaltstufe anbringen/anordnen

8 Fazit und Ausblick

8.1 Fazit

8.1.1 Literatur

Im Ergebnis der Literaturanalyse zeigen sich folgende begünstigende Einflussfaktoren für Abkommensunfälle auf BAB:

- Querschnitt: geringe Fahrstreifen- und Fahrbahnbreiten sowie fehlende oder schmale Seitenstreifen,
- Linienführung: Kurven mit kleinen Radien und/oder mit größeren Richtungsänderungswinkeln; hohe Kurvigkeiten; kurze Geraden zwischen gleichgerichteten Kreisbögen und unzureichende Sichtweiten in Linkskurven
- Höhenplan: hohe mittlere Längsneigung; gekrümmten Kuppen mit kleinen Kurvenradien und Kuppenhalbmessern,
- Entwässerungsschwache Zonen in Verwindungsbereichen mit geringen Längs- und Querneigungen (v. a. bei geringer Fahrbahngriffigkeit),
- Ausstattung: fehlende passive Schutzrichtungen (Einfluss auf Unfallschwere),
- Witterung: Regen und Schneefall (jedoch auch Abnahme der Unfallschwere) sowie
- Lage: außerhalb von Ballungsräumen.

Zudem ist der Literatur zu entnehmen, dass sich zu verkehrsschwachen Zeiten eher Fahr- unfälle (Unfalltyp 1) und bei hohen Verkehrs- stärken zunehmend Unfälle im Längsverkehr (Unfalltyp 6) ereignen. Zum Ausmaß des Ein- flusses des Schwerverkehrsanteils gibt es abweichende Aussagen. Weiterhin ist der Li- teratur zu entnehmen, dass Überholverbote für den Schwerverkehr den Verkehrsfluss ho- mogenisieren und an geeigneten Stellen zu einer geringeren Unfallhäufigkeit führen. Als unstrittig gilt in der Literatur die sicherheitsför- dernde Wirkung geringerer Geschwindigkeiten – insbesondere auf die Unfallschwere.

8.1.2 Methodik

Die aus der Literatur bekannten sowie weitere mutmaßliche Einflussgrößen bildeten die Grundlage für die Zusammenstellung des zu untersuchenden Streckenkollektivs, da diese im Streckenkollektiv möglichst heterogen auf- treten sollten. Die Einflussgrößen wurden an- schließend auf deren unfallbegünstigende Wirkung überprüft. Zu diesem Zweck wurde ein Streckenkollektiv von insgesamt knapp 2.000 Kilometern Streckenlänge zusamen- gestellt. Anschließend wurden Strecken- merkmale durch eigene Befahrungen erhoben und mit Daten aus den Straßeninformations- banken, der Zustandserfassung und - bewertung (ZEB) auf Bundesfernstraßen so- wie den Unfalldaten zusammengeführt. Die Einteilung der Streckenabschnitte wurde an- hand wesentlicher infrastruktureller und be- trieblicher Merkmale vorgenommen.

Die Analyse der Einflüsse der Streckenmerk- male auf die potenziellen Abkommensunfälle und deren Teilunfallkollektive erfolgte mithilfe Generalisierter Linearer Modelle (GLM). Dabei werden Korrelationen zwischen den Stre- ckenmerkmalen berücksichtigt und deren Ein- flüsse deutlicher herausgearbeitet. Zudem ermöglicht die Verwendung von GLM die Be- rücksichtigung nichtlinearer Zusammenhänge zwischen der Verkehrsstärke und dem Unfall- geschehen. Weiterhin erfolgte mithilfe einer deskriptiven Analyse eine nähere Betrachtung sowie Einordnung der Unfallkollektive in das Gesamtunfallgeschehen auf BAB.

8.1.3 Ergebnisse

Unfallhäufigkeit

Als potenzielle Abkommensunfälle sind in der Untersuchung alle Fahr- unfälle (Unfalltyp 1) sowie Unfälle im Längsverkehr (Unfalltyp 6) mit den Unfallarten 3, 8 und 9 definiert wor- den. Potenzielle Abkommensunfälle machen unabhängig von der Fahrstreifenanzahl ca. die Hälfte aller Unfälle auf den Streckenab- schnitten des Analysekollektivs aus. Das Kol- lektiv der potenziellen Abkommensunfälle wird

dabei deutlich von Fahrnfällen dominiert, während die Unfälle im Längsverkehr mit den Unfallarten 3, 8 und 9 eher eine untergeordnete Rolle spielen. Der Großteil der potenziellen Abkommensunfälle resultiert aus dem Verlust der Fahrzeugkontrolle ohne Einfluss anderer Verkehrsteilnehmer.

Generell liegt die Unfallhäufigkeit auf den zweistreifigen Streckenabschnitten des Analysekollektivs bezogen auf die Streckenlänge über jenem der dreistreifigen Streckenabschnitte. Wird zusätzlich der DTV als Expositionsgröße berücksichtigt, weisen zwei- und dreistreifige Streckenabschnitt dagegen ein ähnliches Sicherheitsniveau auf.

Fahrnfälle bei Nässe/Glätte bilden das größte Sicherheitsproblem im Analysekollektiv. Das Lkw-Unfallgeschehen spielt im Kollektiv der potenziellen Abkommensunfälle unabhängig von der Fahrstreifenanzahl eine untergeordnete Rolle.

Unfallschwere

Für die potenziellen Abkommensunfälle im Analysekollektiv ergibt sich eine etwas geringere Unfallschwere als für das Gesamtunfallgeschehen. Innerhalb des Kollektivs der potenziellen Abkommensunfälle zeigt sich, dass Fahrnfälle deutlich schwerer ausfielen als Unfälle im Längsverkehr mit den Unfallarten 3, 8 und 9. Zwischen den zweistreifigen und den dreistreifigen Richtungsfahrbahnen ergeben sich im Analysekollektiv bezüglich der Unfall- und Verunglücktenstruktur kaum Unterschiede.

Einflüsse von Infrastruktur- und Betriebscharakteristika

Die Unfallmodelle zeigen vergleichsweise geringe Unfalldichten auf den untersuchten zweistreifigen Abschnitten mit geringem DTV. Dagegen weisen dreistreifige Streckenabschnitte mit geringem DTV ähnliche Unfalldichten auf wie dreistreifige Streckenabschnitte mit vergleichsweise hohem DTV. Grund dafür könnte sein, dass der DTV in vielen der untersuchten dreistreifigen Streckenabschnitt

ten unterhalb des Einsatzbereichs nach RAA (FGSV 2008) liegt.

Fahrnfälle weisen erhöhte Unfalldichten in den untersuchten Streckenabschnitten mit Linkskurven, mit einem Übergang von einer Gerade auf einen Bogen und – wie aus der Literatur bekannt – mit hohen Richtungsänderungswinkeln auf. Für die untersuchten dreistreifigen Streckenabschnitte zeigen sich verringerte Unfalldichten, wenn ein hoher Anteil an Geraden zu verzeichnen ist.

Die Fahrbahngriffigkeit hat im Analysekollektiv einen hohen Einfluss auf die Abkommenswahrscheinlichkeit. Genauso ergibt sich für Streckenabschnitte mit Querneigungswechseln (als Indiz für möglicherweise entwässerungsschwache Zonen) eine erhöhte Unfalldichte.

Zudem können die Erkenntnisse aus der Literatur bestätigt werden, nach denen passive Schutzeinrichtungen sich positiv auf die Unfallschwere auswirken, wobei die generelle Installation am rechten Fahrbahnrand sich in erster Linie positiv auf die betrachteten Fahrnfälle (Unfalltyp 1) auswirkt.

8.1.4 Verfahren

Auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse wurde ein Verfahren entwickelt mit dem Stellen im BAB-Netz identifiziert werden können, die aufgrund ihrer Infrastruktur- und Betriebscharakteristika möglicherweise eine erhöhte Abkommenswahrscheinlichkeit aufweisen. In Form eines proaktiven Ansatzes soll das Verfahren auch ohne Unfalldaten angewendet werden können, d. h. ohne dass auf dem Abschnitt erst Abkommensunfälle abgewartet werden müssen, bevor der Abschnitt geprüft und ggf. durch Maßnahmen abgesichert wird.

Folgende Merkmale finden Eingang in das Verfahren:

- geringe Fahrbahngriffigkeit,
- vollständige Lage im Kreisbogen oder Übergangsbogen,

- Vorhandensein eines Übergangs von einer Gerade auf einen Bogen,
- Vorhandensein eines Querneigungswechsels (als Indiz für eine entwässerungsschwache Zone) und
- hoher Richtungsänderungswinkel.

Zudem wird eine Rangfolgenbildung der erkannten Streckenabschnitte durch Minderungsfaktoren ermöglicht, die für den betrachteten Streckenabschnitt zu einer mittelfristigen (statt kurzfristigen) Prüfung führen sollten. Der Minderungsfaktor für zweistreifige Streckenabschnitte ergibt sich, wenn bereits Geschwindigkeitsbeschränkungen vorhanden sind, und der Minderungsfaktor für dreistreifige Streckenabschnitte ergibt sich, wenn bereits Lkw-Überholverbote angeordnet sind.

Im Rahmen einer testweisen Anwendung des Verfahrens wurden die durch das entwickelte Verfahren identifizierten Streckenabschnitte mit den durch Straßenbauverwaltungen identifizierten Unfallhäufungsstellen gegenübergestellt. Dabei zeigte sich eine geringe Übereinstimmung. Das entwickelte Verfahren kann daher nicht für die praktische Anwendung empfohlen werden. Für das untersuchte Unfallkollektiv ist die Identifikation von Problemstellen im Autobahnnetz auf Basis des Unfallgeschehens als valider einzustufen.

8.2 Ausblick

Aufgrund der geringen Unfalldichten war für einzelne Teilunfallkollektive eine Modellerstellung nicht möglich (siehe Kapitel 5). So konnten bspw. die infrastrukturellen und betrieblichen Einflussfaktoren auf potenzielle Lkw-Abkommensunfälle nicht untersucht werden. Für zukünftige Untersuchungen wird empfohlen, für Unfallkollektive mit geringen Unfalldichten eher qualitative Einzelfallanalysen durchzuführen, anstatt wie hier quantitative Analysen.

Zudem lag der Fokus der vorliegenden Untersuchung vorrangig auf einer Analyse des Ein-

flusses Infrastruktur- und Betriebscharakteristika auf das Abkommensunfallgeschehen. Es wird vermutet, dass die Faktoren Mensch (z. B. Ablenkung, Müdigkeit) und Fahrzeug (z. B. Motorisierung, Reifenprofil) ebenfalls einen hohen Einfluss haben. Daher könnten Untersuchungen in diesen Forschungsfeldern weitere wertvolle Erkenntnisse liefern.

Es wird außerdem empfohlen, proaktive Ansätze zur infrastrukturseitigen Verbesserung der Verkehrssicherheit zunächst auf Unfallkollektive anzuwenden, die sich ungleichmäßiger im Streckennetz verteilen und für die stärkere Zusammenhänge mit den Infrastrukturcharakteristika gefunden werden.

9 Literaturverzeichnis

- ANDREY, J.; MILLS, B.; VANDERMOLEN, J. (2001): *Weather Information and Road Safety*, Institute for Catastrophic Loss Reduction, Paper Series – No. 15, Waterloo (Ontario) 2001
- AURICH, A. (2012): *Modelle zur Beschreibung der Verkehrssicherheit innerörtlicher Hauptverkehrsstraßennetze unter besonderer Berücksichtigung der Umfeldnutzung*, Dissertation, Hannover 2012
- BARCK, A. (1994): *Auswirkungen von Lkw-Überholverböten auf Autobahnen auf den Verkehrsablauf und das Unfallgeschehen*, Dissertation, Darmstadt 1994
- BARCK, A.; KRÄHLING, D.; KUTSCHERA, R.; BAIER, M. M.; BAIER, R.; KLEMPSKOHEN, A.; SCHUCKLISS, L.; MAIER, R.; BERGER, R. (2015): *Bewertung der Sicherheitsbelange der Straßenafrastuktur*, Schlussbericht zum FE 16.0012/2009 im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), Aachen – Dresden 2015
- BAST (Bundesanstalt für Straßenwesen) (1984): *Abschätzung der Auswirkungen einer Senkung der Höchstgeschwindigkeit auf das Unfallgeschehen im Straßenverkehr*, Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach 1984
- BAST (Bundesanstalt für Straßenwesen) (2017B): *Ermittlung durchschnittlicher Unfallkostensätze in Abhängigkeit von Unfalltyp und Unfallart – Ermittlung von Kollektivgrößen zur Berechnung von Unfallkostensätzen*, Bundesanstalt für Straßenwesen, Arbeitspapier, unveröffentlicht
- BBSR (Bundesinstitut für Bau-, Stadt und Raumforschung) (2011): *Siedlungsstrukturelle Regionsgrundtypen 2009*, Bundesinstitut für Bau- Stadt und Raumforschung, Laufende Raumbefobachtung, Bonn 2011
- BERGER, R. (2016): *Modelle zur Bewertung der Verkehrssicherheit von Landstraßen*, Dissertation am Institut für Verkehrsplanung und Straßenverkehr der Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“ der TU Dresden, Heft 17, Dresden 2016
- BETZ, C. (2008): *Verkehrsablauf auf Autobahnen mit dicht aufeinander folgenden Knotenpunkten*, Schriftenreihe des Lehrstuhls für Verkehrswesen der Ruhr-Universität Bochum, Heft 31, Bochum 2008
- BIJLEVELD, F.; CHURCHILL, T. (2009): *The influence of weather conditions on road safety*, SWOV Institute for Road Safety Research, Leidschendam (Niederlande) 2009
- BRILON, W.; DREWS, O. (1996): *Verkehrliche und ökologische Auswirkungen der Anordnung von Überholverböten für Lkw auf Autobahnen*, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 731, Bergisch Gladbach 1996
- BRILON, W., GEISTEFELD, J., LIPPOLD, C., KUZCORA, V. (2007): *Autobahnen und Autobahnknotenpunkte mit vierstreifigen Richtungsfahrbahnen – Gestaltung und Bemessung*, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 967, Bonn 2007
- BRÜHNING, E. (1977): *Untersuchung der Unfälle mit Personenschaden auf Autobahnen*, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 223, Bergisch Gladbach 1977
- DESTATIS (Statistisches Bundesamt) (2016): *Verkehrsunfälle 2015*, Fachserie 8 Reihe 7, Wiesbaden 2016
- DOMHAN, M. (1985): *Die Bewährung von Schutzplanken in der Praxis*, In: Straßenverkehrstechnik, Heft 6/1985, Bonn 1985
- DURTH, W. (1974): *Ein Beitrag zur Erweiterung des Modells für Fahrer, Fahrzeug und Straße in der Straßenplanung*, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 163, Bonn 1974

- DURTH, W.; BALD, J. S.; HABERMEHL, K.; HANKE, H.; LUTZ, R.; ROOS, R. (1986): *Großversuch zur Geschwindigkeitsbeschränkung auf Autobahnen in Hessen – Untersuchung zum Fahr- und Unfallverhalten im Auftrag des Hessischen Ministers für Wirtschaft und Technik*, Schlussbericht, Darmstadt 1986
- ERNST, R.; GLEUE, A. W.; KLEBELSBERG, D.; LENZ, K.-H.; ROTHENGATTER, W.; WIEDEMANN, R. (1977): *Auswirkungen einer Richtgeschwindigkeit im Vergleich zu einer Höchstgeschwindigkeit von 130km/h auf Autobahnen*, Bundesanstalt für Straßenwesen, Projektgruppe „Autobahngeschwindigkeiten“, Köln 1977
- FGSV (1995): *Richtlinien für die Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen RSA*, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 1995
- FGSV (1998): *Auswertung von Straßenverkehrsunfällen Teil 1: Führen und Auswerten von Unfalltypensteckkarten (MAS-1)*, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 1998
- FGSV (2002): *Empfehlungen für das Sicherheitsaudit von Straßen*, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 2002
- FGSV (2003): *Empfehlungen für die Sicherheitsanalyse von Straßennetzen ESN*, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 2003
- FGSV (2007): *Technische Prüfvorschriften für Griffmessungen im Straßenbau, Teil: Seitenkraftmessverfahren (SKM) TP Griff-StB (SKM)*, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 2007
- FGSV (2008): *Richtlinien für die Anlage von Autobahnen (RAA)*, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 2008
- FGSV (2009): *Richtlinien für passiven Schutz an Straßen durch Fahrzeug-Rückhaltesysteme (RPS)*, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 2009
- FGSV (2012): *Merkblatt zur Örtlichen Unfalluntersuchung in Unfallkommissionen M Uko*, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 2012
- FGSV (2015): *Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS)*, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 2015
- FGSV (2019): *Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS)*, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 2019
- FISHBURN, B.; JORDAN, P.; CAIRNEY, P.; MCGANN, A. (2001): *Relationship between Crash Risk and Geometric Characteristics of Rural Highways*, Austroads, Sydney 2001
- FITSCHEN, A.; NORDMANN, H. (2018): *Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2015*, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V304, Bergisch Gladbach 2018
- FLUNKERT, E.-M.; GERLACH, J. (2010): *Unfälle mit Durchbruch der Schutzeinrichtungen in Mittelstreifen auf Bundesautobahnen*, In: Zeitschrift für Verkehrssicherheit, 2/2010, Bonn 2010
- GEISTEFELDT, J. (2007): *Verkehrsablauf und Verkehrssicherheit auf Autobahnen mit vierstreifigen Richtungsfahrbahnen*, Dissertationsschrift an der Ruhr-Universität Bochum, Bochum 2007
- GOHLISCH, G./MALOW, M. (1999): *Umweltauswirkungen von Geschwindigkeitsbeschränkungen*, Umweltbundesamt, Texte 40/1999, Dessau-Roßlau 1999
- GRANDEL, J.; BERG, F. A.; NIEWÖHNER, W. (1993): *Sicherheitsanalyse im Straßengüterverkehr*, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft M7, Bergisch Gladbach 1993
- HEIDEMANN, D.; BÄUMER, M.; HAMACHER, R.; HAUTZINGER, H. (1998): *Standstreifen und Verkehrssicherheit auf BAB – Statistische Analyse*, Berichte der

- Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V55, Bergisch Gladbach 1998
- HELLER INGENIEURGESELLSCHAFT MBH (2015): *Verfahren zur Zusammenführung von Informationen unterschiedlicher Netzanalysensysteme*, Forschungsprojekt im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Darmstadt 2015
- HIERSCHKE, E.-U.; LAMM, R.; DIETERLE, K.; NIKPOUR, A. (1984): *Auswirkungen von Ausbaumaßnahmen gemäß den RAL-L auf die Verkehrssicherheit zweispuriger Straßen*, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 431, Bergisch Gladbach 1984
- HVS-Entwurf (2019): *Handbuch für die Bewertung der Verkehrssicherheit von Straßen – Unveröffentlichter Entwurf* (Stand: März 2019). BSV Büro für Stadt- und Verkehrsplanung Dr.-Ing. Reinhold Baier GmbH, Aachen; Dir. und Prof. a. D. Dipl.-Ing. Gert Hartkopf, Rösrath 2019
- KREBS, H. G.; KLÖCKNER, J. H. (1977): *Untersuchungen über Unfallraten in Abhängigkeit von Straßen- und Verkehrsbedingungen außerhalb geschlossener Ortschaften*, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 223, Bergisch Gladbach 1977
- KRÜGER, D.; WEINERT, R.; WEISER, F. (2004): *Sicherheitswirkung geringer Sichtweiten in Linkskurven von Autobahnen*, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 886, Bergisch Gladbach 2004
- LAMM, R.; DIETERLE, K.; ZOELLMER, J.; SCHLICHTER, H. G.; TAUBMANN, A. (1985): *Vergleichende Unfalluntersuchungen auf Streckenabschnitten zweibahniger Straßen mit positiven Querneigungen $q = 1,5\%$ bis $q = 2,5\%$* , Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 484, Bergisch Gladbach 1985
- LEE, J.; MANNERING, F. (2002): *Impact of roadside features on the frequency and severity of run-off-roadway accidents: an empirical analysis*, In: *Accident Analysis and Prevention*, 34/2002
- LEMKE, K. (2007): *Sicherheitswirkung 2- und 3-streifiger Regelquerschnitte auf BAB*, In: *Straßenverkehrstechnik*, Heft 8/2007, Bonn-Bad Godesberg 2007
- LEUTZBACH, W.; ZOELLMER, J. (1989): *Zusammenhang zwischen der Verkehrssicherheit und den Elementen des Straßenentwurfs*, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 545, Bergisch Gladbach 1989
- LIPPOLD, C.; RESSEL, W.; LEHMANN, T.; VETTERS, A.; BENNER, A. (2011): *Entwurfshinweise zum sicheren sechsstreifigen Ausbau von Autobahnen*, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 1057, Bergisch Gladbach 2011
- LIPPOLD, C.; RESSEL, W.; VETTERS, A.; LEHMANN, T.; KLÖTZL, S. (2013): *Entwurfstechnische Möglichkeiten zur Vermeidung entwässerungsschwacher Zonen auf Richtungsfahrbahnen*, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 1094, Bergisch Gladbach 2013
- LIPPOLD, C.; ZÖSCH, J.; ZIMMERMANN, M. (2015): *Räumliche Linienführung von Autobahnen*, Schlussbericht FE 18.0023/2013, Dresden 2015
- LORD, D.; MANAR, A.; VIZIOLI, A. (2005): *Modeling crash-flow-density and crash-flow-V/C ratio relationships for rural and urban freeway segments*, In: *Accident Analysis and Prevention*, 37/2005
- MAIER, R.; HEINE, A.; ENKE, M.; SCHULZ, R.; BAKABA, J.-E.; ORTLEPP, J. (2012): *Untersuchung der Verkehrssicherheit von Baustellen an Bundesautobahnen*, Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V., Forschungsbericht VI 04, 2012
- MAIER, R.; BERGER, R.; SCHMOTZ, M.; BÄRWOLFF, M.; SCHIMPF, M.; BUTTERWEGGE, P.; ORTLEPP, J. (2016): *Kostengünstige Maßnahmen an Unfall-*

- häufungen im Vorher/Nachher-Vergleich*, Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V., Forschungsbericht Nr. 42, 2016
- MAKAU (2018): *Maßnahmenkatalog gegen Unfallhäufungen*, <https://makau.bast.de/>, Zugriff 05.11.2018
- MARTIN, J. L. (2000): *The use of generalized linear models to test the safety impact of an infrastructure modification. Comparison between metal guardrails and concrete barriers on motorway central reservations*, Recherche Transports Sécurité 68
- MARTIN, J. L.; QUINCY, R. (2001): *Crossover Crashes at Median Strips Equipped with Barriers on a French Motorway Network*, Transportation Research Record 1758
- MIAOU, S.-P. (1996): *Estimating Vehicle Roadside Encroachment Frequency using Accident Prediction Models*, Oak Ridge National Laboratory, 1996
- MILTON, J.; MANNERING, F. (1996): *The relationship between highway geometrics, traffic-related elements and motor-vehicle accidents*, Schlussbericht, Washington State Department of Transportation, Seattle (USA) 1996
- MILTON, J.; MANNERING, F. (1998): *The relationship among highway geometrics, traffic-related elements and motor-vehicle accident frequencies*, In: Transportation, Heft 25/1998
- MONTELLA, A.; PERNETTI, M. (2010): *In-depth Investigation of Run-off-Road Crashes on the Motorway Naples-Candela*, 4th TRB International Symposium on Highway Geometric Design, Valencia (Spanien) 2010
- PETRITSCH, T.; CHALLA, S.; HUANG, H.; MUSSA, R. (2007): *Evaluation of Geometric and Operational Characteristics Affecting the Safety of Six-Lane Divided Roadways*, Final Report, Florida (USA) 2007
- PÖPPEL-DECKER, M.; SCHEPERS, A.; KOSSMANN, I. (2003): *Grundlagen streckenbezogener Unfallanalysen auf Bundesautobahnen*, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft M153, Bergisch Gladbach 2003
- REINHARD, C. (2003): *Vertiefte Unfalluntersuchung auf ausgewählten Abschnitten der Bundesautobahn A 72*, Diplomarbeit am Lehrstuhl Gestaltung von Straßenverkehrsanlagen der TU Dresden, Dresden 2003
- RESSEL, W.; HERRMANN, S. (2008): *Aqua-planing und Verkehrssicherheit in Verwindungsbereichen dreistreifiger Richtungsfahrbahnen – Berechnung der Wasserfilmdicke*, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 997, Bergisch Gladbach 2008
- ROOS, R.; ZIMMERMANN, M.; V. LOEBEN, W. (2005): *Mögliche Bremsverzögerung in Abhängigkeit von der Straßenruffigkeit*, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 912, Bergisch Gladbach 2005
- ROQUE, C.; CARDOSO, J. L. (2014): *Investigating the relationship between run-off-the-road crash frequency and traffic flow through different functional forms*, In: Accident Analysis and Prevention, 63/2014
- ROQUE, C.; MOURA, F.; CARDOSO, J. L. (2015): *Detecting unforgiving roadside contributors through the severity analysis of ran-off-road crashes*, In: Accident Analysis and Prevention, 80/2015
- SCHNÜLL, R. U. A. (1995): *Auswirkungen von Verkehrsbeschränkungen an hochbelasteten Bundesautobahnen*, In: Straßenverkehrstechnik, Heft 4/1995, Bonn-Bad Godesberg 1995
- SCHOLZ, T.; SCHMALLOWSKY, A.; WAUER, T. (2007): *Auswirkungen eines allgemeinen Tempolimits auf Autobahnen im Land Brandenburg*, [online: http://www.mil.brandenburg.de/media_fast/4055/studie_tempolimit.pdf]

SIEGENER, W.; TRÄGER, K.; MARTIN, K.; BECK, T. (2000): *Unfallgeschehen im Bereich von Streckenbeeinflussungsanlagen unter der besonderen Berücksichtigung der Verkehrsbelastung*, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 787, Bergisch Gladbach 2000

STATISTA (2019): *Städte in Deutschland mit den meisten Regentagen*, <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1892/umfrage/staedte-in-deutschland-mit-den-meisten-regentagen/>, Zugriff 02.09.2019

STEINAUER, B.; MAYER, G. (1999): *Sicherheitsdefizite in der Straßenplanung*, In: *Straße und Autobahn*, Heft 12/1999, Bonn-Bad Godesberg 1999

STEINAUER, B.; VAN DER SLUIS, S.; MAYER, G. (2002): *Griffigkeit von Fahrbahnoberflächen*, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 841, Bergisch Gladbach 2002

TAYLOR, M. C.; BARUYA, A.; V. KENNEDY, J. W. (2002): *The relationship between speed and accidents on rural single-carriageway roads*, Transport Research Laboratory, TRL Report 511, Crowthorne 2002

10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Methodik Untersuchungsablauf.....	10
Abbildung 2:	Mittlere stündliche Verkehrsstärke und Unfallrate auf BAB nach der Tageszeit (aus PÖPPEL-DECKER U. A. 2003).....	18
Abbildung 3:	Vorauswahl Streckenkollektiv, Umfang 4.000 km, Hintergrundkarte: Autobahnatlas-online.de .	25
Abbildung 4:	Verteilung Sicherheitspotenzial des ungünstigsten Abschnitts eines jeden Streckenzugs	25
Abbildung 5:	Streckenzüge (stellenweise mit Unterteilung) der Untersuchung, Hintergrundkarte: Autobahnatlas-online.de.....	27
Abbildung 6:	Benutzeroberfläche Phoros.....	27
Abbildung 7:	Abgrenzung Netzelemente.....	30
Abbildung 8:	Siedlungsstrukturelle Regionsgrundtypen gem. BBSR (2011).....	31
Abbildung 9:	Verteilung der generellen Geschwindigkeitsbeschränkungen im Analysekollektiv	35
Abbildung 10:	Verteilungen der Unfälle im Analysekollektiv (Lorenzkurven)	35
Abbildung 11:	Baumdiagramm der Unfallkollektive der Teilmodelle	38
Abbildung 12:	Ablauf der Modellbildung	41
Abbildung 13:	Beispiel für die Quantifizierung der Modellergebnisse	42
Abbildung 14:	Beispiel der Berechnung des „Einflussfaktors auf die Unfalldichte“	42
Abbildung 15:	Zusammenhang zwischen Unfalldichte und DTV für Unfalltyp 1 (FS2).....	43
Abbildung 16:	Zusammenhang zwischen Unfalldichte und DTV für Unfalltyp 6, Unfallart 3, 8 und 9 (FS2)	43
Abbildung 17:	Zusammenhang zwischen Unfalldichte und DTV für Unfalltyp 1 (FS3).....	49
Abbildung 18:	Zusammenhang zwischen Unfalldichte und DTV für Unfalltyp 6, Unfallart 3, 8 oder 9 (FS3)	49
Abbildung 19:	Einsatzbereiche der Regelquerschnitte (RQ) für Autobahnen der EKA 1 gem. RAA.....	49
Abbildung 20:	Kombination aus Geschwindigkeitsbeschränkung und Lkw-Überholverbot nach Fahrstreifenanzahl	51
Abbildung 21:	CURE-Plot der kumulierten Residuen für Teilmodell 2	54
Abbildung 22:	Streudiagramm der modellierten und erfassten Unfälle im Analysekollektiv (Teilmodell 11)	54
Abbildung 23:	Streudiagramm der modellierten und erfassten Unfälle im Validierungskollektiv (Teilmodell 11)	55
Abbildung 24:	Streudiagramm der modellierten und erfassten Unfälle im Validierungskollektiv (Teilmodell 1) .	55
Abbildung 25:	Baumdiagramm der Unfallkollektive der deskriptiven Analyse.....	58
Abbildung 26:	Unfalldichte der Streckenabschnitte im Analysekollektiv nach Unfalltyp.....	59
Abbildung 27:	Unfalldichte des Unfalltyps im Analysekollektiv nach Unfallmerkmalen (angepasste Zeitbereiche für Na/GI, HVZ & NVZ)	60
Abbildung 28:	Mittlere Unfallkosten je Unfall mit Personenschaden im Analysekollektiv.....	62
Abbildung 29:	Mittlere Unfallkosten je Unfall im Analysekollektiv	62
Abbildung 30:	Verunglücktenstruktur im Analysekollektiv nach Fahrstreifen je Richtung	62
Abbildung 31:	Mittlere Unfallkosten je U(P) nach Strecke und Knotenpunktbereich.....	64
Abbildung 32:	Mittlere Unfallkosten je U(P,SS) nach Strecke und Knotenpunktbereich.....	65
Abbildung 33:	Mittlere Unfallkosten je U(P,SS) nach Strecke/Knotenpunktbereich sowie Anzahl der Richtungsfahrstreifen	65

II

Abbildung 34:	Vorgehen bei der Ableitung des Verfahrens	67
Abbildung 35:	Charakteristischer Zusammenhang zwischen Verkehrsstärke und Unfallanzahl für (links) Modell 1 mit $\beta_0 < 1$ und für (rechts) Modell 2 mit $\beta_0 > 1$ und negativem β_2 (nach ROQUE/CARDOSO 2014).....	10
Abbildung 36:	Verlauf kumulierte Residuen mit Vertrauensbereich des Cure-Plot über die Verkehrsstärke für (links) Modell 1 und für (rechts) Modell 2 (Kollektiv zweibahniger Straßen von ROQUE/CARDOSO 2014).....	10
Abbildung 37:	Zusammenhang zwischen Verkehrsstärke und Unfallhäufigkeit für (Teil-) Modelle nach LORD U. A. (2005).....	XI
Abbildung 38:	Zusammenhang zwischen Verkehrsstärke und Auslastungsgrad für (Teil-) Modelle nach LORD U. A. (2005).....	XI
Abbildung 39:	Verteilung Einflussbereich & Strecke im Analysekollektiv	XV
Abbildung 40:	Verteilung Betriebsform im Analysekollektiv	XV
Abbildung 41:	Verteilung DTV im Analysekollektiv	XV
Abbildung 42:	Verteilung Schwerverkehrsanteil im Analysekollektiv	XV
Abbildung 43:	Verteilung Abschnitte mit Linksbögen im Analysekollektiv	XV
Abbildung 44:	Verteilung Querschnittsgestaltung im Bogen im Analysekollektiv	XV
Abbildung 45:	Verteilung Kleinster Radius im Abschnitt im Analysekollektiv	XVI
Abbildung 46:	Verteilung Mittelwert der Griffigkeit des rechten Fahrstreifens im Analysekollektiv.....	XVI
Abbildung 47:	Verteilung räumliche Linienführung im Analysekollektiv	XVI
Abbildung 48:	Verteilung nicht regelwerkskonforme Längsneigung im Analysekollektiv	XVI
Abbildung 49:	Verteilung Unterschreitung der Haltesichtweite im Analysekollektiv	XVI
Abbildung 50:	Verteilung passive Schutz Einrichtungen im Analysekollektiv	XVI
Abbildung 51:	Verteilung Hindernisse ohne PSR im Analysekollektiv	XVII
Abbildung 52:	Unfallstruktur in den Streckenabschnitten des Analysekollektivs.....	XXIX
Abbildung 53:	Verunglücktenstruktur in den Streckenabschnitten des Analysekollektivs	XXIX
Abbildung 54:	Unfallstruktur im Analysekollektiv nach Fahrstreifen je Richtung	XXX

11 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Übersichtstabelle Literaturanalyse – Einflussgrößen auf das Unfallgeschehen an BAB.....	22
Tabelle 2:	Einstufung Sicherheitspotenziale BAB Netz (2012 bis 2014) nach BAST und verbale Beschreibung.....	25
Tabelle 3:	Ausschnitt der berücksichtigten Minima und Maxima (Anzahl) für verschiedene Kenngrößen der einzelnen Kollektive der zur Befahrung vorgesehenen Streckenzüge	27
Tabelle 4:	Klassifizierung Zustandswerte GRI_80 für Autobahnen.....	31
Tabelle 5:	Verteilung siedlungsstrukturelle Regionsgrundtypen gem. BBSR (2011)	32
Tabelle 6:	Betrachtete Zeiträume und Unfallkategorien für die einzelnen Bundesländer	32
Tabelle 7:	Gesamtlänge Streckenabschnitte nach Datenaufbereitung	34
Tabelle 8:	Gesamtunfallanzahl in den Streckenabschnitten	35
Tabelle 9:	Zu geringe Besetzungsgrade einiger Unfallkollektive als Ausschlusskriterium bestimmter Teilmodelle.....	37
Tabelle 10:	Erstellte Teilmodelle.....	38
Tabelle 11:	Ergebnisse der Unfallmodelle für zweistreifige Streckenabschnitte: Wirkrichtung der Einflussgrößen	47
Tabelle 12:	Ergebnisse der Unfallmodelle für zweistreifige Streckenabschnitte: „Einflussfaktor auf die Unfalldichte“ (Teil 1/2).....	48
Tabelle 13:	Ergebnisse der Unfallmodelle für zweistreifige Streckenabschnitte: „Einflussfaktor auf die Unfalldichte“ (Teil 2/2).....	48
Tabelle 14:	Ergebnisse der Unfallmodelle für dreistreifige Streckenabschnitte: Wirkrichtung der Einflussgrößen	52
Tabelle 15:	Ergebnisse der Unfallmodelle für dreistreifige Streckenabschnitte: „Einflussfaktor auf die Unfalldichte“ (Teil 1/2).....	52
Tabelle 16:	Ergebnisse der Unfallmodelle für dreistreifige Streckenabschnitte: „Einflussfaktor auf die Unfalldichte“ (Teil 2/2)	52
Tabelle 17:	Laborbeispiel zu den Annahmen bezüglich der Expositionsgrößen.....	58
Tabelle 18:	Angewendete differenzierte Unfallkostensätze	58
Tabelle 19:	Berechnete, direkt angepasste Unfallkostensätze	59
Tabelle 20:	Übersicht der für die Streckenabschnitte des Analysekollektivs berechneten Unfallkenngrößen.....	61
Tabelle 21:	Prozentualer Unterschied der berechneten Unfallkenngrößen an durchgehenden Hauptfahrbahnen in Knotenpunktbereichen gegenüber den Streckenabschnitten des Analysekollektivs.....	64
Tabelle 22:	Festlegung Grenzwert für bedeutsame Einflussfaktoren	67
Tabelle 23:	Festlegung Grenzwert für bedeutsame Unfallkollektive	67
Tabelle 24:	Ergebnisse der Pilotanwendung des abgeleiteten Verfahrens.....	69
Tabelle 27:	Differenzierte Kostensätze für Verunglückte und Sachschäden	VII
Tabelle 28:	Liste der Streckenzüge in der Vorauswahl.....	XII
Tabelle 29:	Für die Modellerstellung verwendete Einflussgrößen (Teil 1/2)	XIII
Tabelle 30:	Für die Modellerstellung verwendete Einflussgrößen (Teil 2/2)	XIII

IV

Tabelle 31:	Übersicht der berechneten Unfallkenngrößen für an das Analysekollektiv angrenzende, durchgehende Hauptfahrbahnen in Knotenpunktbereichen.....	XXX
-------------	---	-----

12 Verzeichnis der Anhänge

- Anhang 1 Liste der Streckenzüge in der Vorauswahl**
- Anhang 2 Unfallkenngrößen**
- Anhang 3 Generalisierte Lineare Unfallmodelle**
- Anhang 4 Literatur zu Verkehrsstärke und Unfallgeschehen auf BAB**
- Anhang 5 Liste der für die Modellerstellung verwendeten Einflussgrößen**
- Anhang 6 Verteilung untersuchten Merkmale im Analysekollektiv (Auswahl)**
- Anhang 7 Parameter der Modelle für zweistreifige Richtungsfahrbahnen**
- Anhang 8 Parameter der Modelle für dreistreifige Richtungsfahrbahnen**
- Anhang 9 Ergänzende Tabellen und Diagramme zur deskriptiven Unfallanalyse**

Anhang 1 Unfallkenngrößen

Die Unfalldichte (UD) als ein Maß der Häufigkeit beschreibt die Unfallanzahl während eines Zeitbereichs für einen Netzabschnitt (Gleichung 4). Kleinere Netzelemente, wie z. B. Knotenpunkte werden in ihrer Länge dimensionslos (Länge $L = 1$ km) zur besseren Vergleichbarkeit verschiedener Elemente berücksichtigt.

$$UD = \frac{U}{L * t} \quad \text{Gleichung 4}$$

mit:

UD	Unfalldichte [U/(km*a)]
U	Anzahl Unfälle
L	Länge [km]
t	Betrachtungszeitraum [a]

Der Vergleich von Unfalldichten vernachlässigt die Berücksichtigung der Fahrleistung. Dies stellt dahingehend eine Einschränkung dar, dass sich Verkehrsanlagen mit deutlich unterschiedlichen Verkehrsaufkommen nicht unmittelbar miteinander vergleichen lassen, da in der Regel mit dem Anstieg der Fahrleistung/Verkehrsaufkommen auch ein Anstieg der Unfallanzahl einhergeht. Mit der Bewertung von Unfallraten wird diese Einschränkung aufgehoben (Gleichung 5). Dies gilt nur verallgemeinernd, da bekannt ist, dass das Unfallgeschehen mit zunehmender Verkehrsstärke (Exposition) in der Regel nicht linear sondern unterproportional zunimmt (BARK et al. 2015, BERGER 2016). Die Unfallrate (UR) stellt ein fahrleistungsbezogenes Risiko für das Auftreten von Unfällen dar.

$$UR = \frac{U * 10^6}{L * t * DTV * 365} \quad \text{Gleichung 5}$$

mit:

UR	Unfallrate[U/(10⁶*Kfz*km)]
U	Anzahl Unfälle
L	Länge [km]
t	Betrachtungszeitraum [a]
DTV	Durchschnittlicher Täglicher Verkehr [Kfz/24h]

Die Klassifizierung des Unfallgeschehens in Unfallkategorien erlaubt eine Bewertung der Unfallschwere. Mit Hilfe von Unfallkostensätzen (KS) wird der durch Unfälle entstehende volkswirtschaftliche Verlust monetär bewertet. Die Unfallkostensätze werden auf Basis des Schadenskostenansatzes berechnet und setzen sich je nach Unfallkategorie aus verschiedenen Positionen zusammen. Dazu zählen z. B. bei Unfällen mit Personenschaden der Ressourcenausfall durch die (temporäre) Erwerbsunfähigkeit einer Person, indirekte Reproduktionskosten durch den Einsatz von Polizei und Justiz oder direkte Reproduktionskosten durch Kosten bei der medizinischen Pflege. Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht in einem mehrjährigen Turnus die pauschalen Unfallkostensätze. Diese entsprechen dem gesamtdeutschen Mittel, differenziert nach der Ortslage und Straßenkategorie.

Die pauschalen Unfallkostensätze für BAB berücksichtigen Strukturunterschiede und zeitliche Schwankungen im Unfallkollektiv jedoch nur unzureichend. Da in der Untersuchung der Fokus auf den Unfällen des Typs 1 und ausgewählten Unfällen des Typs 6 liegt – Analysekollektiv –, sind die pauschalen Unfallkostensätze zur Beschreibung der volkswirtschaftlichen Verluste des hier betrachteten Unfallgeschehens nicht repräsentativ. Um zutreffende Aussagen treffen zu können, ist eine direkte Anpassung der Unfallkostensätze nötig. Voraussetzung ist eine ausreichende Kollektivgröße der Unfälle mit Personenschaden

in Abhängigkeit der Verunglücktenstruktur (BASt 2017B). Für das Analysekollektiv und Teilkollektive mit mehr als 100 U(P) ergibt sich bei einer Bewertung der U(P, SS) jeweils ein Kostensatz nach Gleichung 6. Demgemäß ist auch eine Berechnung des Kostensatzes nur für U(P) möglich.

$$KS_{AK,U(P,SS)} = \frac{\left(\sum n_{AK,i} * KS_{AK,i}\right) + \sum \left(n_{U,AK,j} * KS_{S,j}\right)}{\sum n_{U,AK,j}}$$

Gleichung 6

mit:

KS_{AK}	Unfallkostensatz für U(P, SS) des Analysekollektivs AK [€]
n_{AK,i}	Anzahl Verunglückter nach Unfallschwere i
KS_{AK,i}	Kostensatz für Verunglückte nach Schwere [€]
n_{U,AK,j}	Anzahl Unfälle der Kategorie j
KS_{S,j}	Kostensatz für Sachschaden der Kategorie j [€]

Folgende Verunglückten- und Sachschadenskostensätze liegen den weiteren Berechnungen zu Grunde.

Tabelle 25: Differenzierte Kostensätze für Verunglückte und Sachschäden

Personenschadenkosten je verunglückte Person [€/U]:	
V(GT)	1.164.328
V(SV)	123.964
V(LV)	5.094
Sachschadenkosten je Unfall [€/U]:	
U(GT)	47.626
U(SV)	22.889
U(LV)	14.865
U(SS)	22.114

Preisstand: 2016

Quelle: BASt

Wenn betrachtete Teilunfallkollektive weniger als 100 U(P) aufweisen, wird der Kostensatz des übergeordneten Kollektivs angewendet.

Aus der Multiplikation von Unfallzahl mit dem jeweiligen Unfallkostensatz lassen sich die Unfallkostendichte nach Gleichung 7 und Unfallkostenrate nach Gleichung 8 ermitteln.

$$UKD = \frac{UK}{10^3 * L * t} \quad \text{Gleichung 7}$$

mit:

UKD	Unfallkostendichte [10³*€/km*a]
UK	Unfallkosten [€]
L	Länge [km]
t	Betrachtungszeitraum [a]

$$UKR = \frac{UK * 10^3}{L * t * DTV * 365} \quad \text{Gleichung 8}$$

mit:

UKR	Unfallkostenrate[€/10³*Kfz*km]
UK	Unfallkosten [€]
L	Länge [km]
t	Betrachtungszeitraum [a]
DTV	Durchschnittlicher Täglicher Verkehr [Kfz/24h]

Anhang 2 **Generalisierte Lineare Unfallmodelle**

Gegenüber monokausalen Betrachtungen bieten multivariate statistische Verfahren unter Berücksichtigung verschiedener Randbedingungen den Vorteil, den gegenüber weiteren Merkmalen (relativ) unabhängigen Einfluss betrachteter Merkmale auf das Unfallgeschehen zu bestimmen und statistisch signifikant abzusichern. Die häufig zur Anwendung kommenden Generalisierten bzw. Verallgemeinerten Linearen Modelle (GLM) ermöglichen es, Einflussgrößen zu identifizieren und ihre Wirkung zu quantifizieren. In diesem Zusammenhang wird bei der Beschreibung des Unfallgeschehens häufig von Unfallmodellen gesprochen. Die multivariate Sicherheitsbewertung von Autobahnen war im deutschen Raum bisher Untersuchungsgegenstand in den Untersuchungen von HEIDEMANN U. A. (1998) und BARK U. A. (2015). Beide Untersuchungen basieren auf einer richtungsfeinen Betrachtung der Fahrbahnen umfangreicher Streckenkollektive mit dem Ziel, Einflussfaktoren auf die Unfallhäufigkeit zu identifizieren und quantifizieren. Die Erkenntnisse beruhen auf der Anwendung log-linearer statistischer Modelle unter Verwendung der Poisson- und/oder negativen Binomialverteilung.

Anhang 3 Literatur zu Verkehrsstärke und Unfallgeschehen auf BAB

Aufbauend auf den Erkenntnissen einer umfangreichen Literaturanalyse und der Analyse beobachteter Unfallzahlen gehen ROQUE/CARDOSO (2014) davon aus, dass der häufig unterstellte und im Modell angewandte monotone Zusammenhang unzureichend ist. Ziel ihrer Untersuchung war es, die funktionale Form der Abkommensunfälle besser zu beschreiben und somit die Qualität und Aussagekraft der GLM zu erhöhen. Datengrundlage bildeten die Abschnittslänge, der DTV und das Unfallgeschehen ein- und zweibahniger Außerortsstraßen. Dabei wurde das Kollektiv mittels Monte-Carlo-Simulation erweitert. Es wurden zwei unterschiedliche Modellformen gegenübergestellt. Der klassische Modellansatz (Modell 1) umfasste dabei folgende Form nach Gleichung 9. Die Verkehrsstärke wird lediglich als Expositionsgröße im Prädiktor berücksichtigt.

$$U = \beta_0 DTV^{\beta_1} * L^{\beta_2} \quad \text{Gleichung 9}$$

mit:

U	Anzahl Unfälle [-]
β_i	Koeffizient der Größe i [-]
DTV	Durchschnittlicher Täglicher Verkehr [Kfz/24h]
L	Länge Abschnitt [km]

$$U = \beta_0 DTV^{\beta_1} * e^{\beta_2 * \frac{DTV}{10.000}} * L^{\beta_3} \quad \text{Gleichung 10}$$

mit:

U	Anzahl Unfälle
β_i	Koeffizient der Größe i
DTV	Durchschnittlicher Täglicher Verkehr [Kfz/24h]
L	Länge Abschnitt [km]

Die zweite Modellform (Modell 2) beruht auf einem Ansatz zum Wachstum und Niedergang von Populationen, betrachtet über einen längeren Zeitraum. Wesentlicher Unterschied

gegenüber der klassischen Modellform ist der nicht zwingend monotone Verlauf der Funktion. Diese besitzt ein lokales Maximum, welches, formelbasiert, auf die erneute Berücksichtigung des DTV im Exponentialterm des Modells zurückzuführen ist (Gleichung 10).

Abbildung 35 zeigt den charakteristischen Kurvenverlauf beider Modellformen für den Zusammenhang zwischen Verkehrsstärke und Unfallanzahl. Das klassische Modell 1 zeigt einen degressiven Verlauf der Funktion, während das angepasste Modell 2 bei geringen Verkehrsstärken einen Anstieg der Unfallzahl erklärt. Nach dem Erreichen eines Maximums nimmt die Unfallanzahl wieder ab. Zur Überprüfung der Aussagefähigkeit und -kraft der Modelle nutzen ROQUE/CARDOSO (2014) eine Vielzahl an Messgrößen und greifen dabei u. a. auf die Interpretation des Cure-Plots zurück (Abbildung 36, vergleiche Kapitel 4.3.3). Für das Modell 2 liegen die kumulierten Residuen innerhalb des Vertrauensbereiches. ROQUE/CARDOSO (2014) kommen zu dem Ergebnis, dass die Anwendung der Modellform 2 besser zur Beschreibung von ROR-accidents geeignet sei. Dies wird mit der höheren Modellgüte bezüglich der geringeren Differenz zwischen beobachteten und Modellwert und der Vertrauensbereiche der Modelle begründet.

Auch LORD U. A. (2005) gehen davon aus, dass die Erklärung von Unfallhäufigkeiten auf Autobahnen bzw. autobahnähnlichen Straßen allein auf Basis der Verkehrsstärke als Expositionsgröße Beschränkungen in der Aussagekraft aufweist. Auf Basis eines geringen Streckenkollektivs interpretieren LORD U. A. (2005) die Ergebnisse drei verschiedener Modellvarianten auf Basis der negativen Binomialverteilung. Für alle Varianten wurden mehrere (Teil-)Modelle in Abhängigkeit vom Unfallkollektiv für

- alle Unfälle (All),
- Alleinunfälle (Single-vehicle SV) und
- Unfälle mit Beteiligung mehrerer Fahrzeuge (Multi-vehicle MV)

erstellt. Die drei Varianten unterscheiden sich hinsichtlich der Berücksichtigung verschiede-

ner Größen zur Beschreibung der Verkehrsstärke. Variante 1 entspricht dem methodischen Ansatz nach Gleichung 9 und enthält lediglich die Verkehrsstärke (DTV) als Exposition.

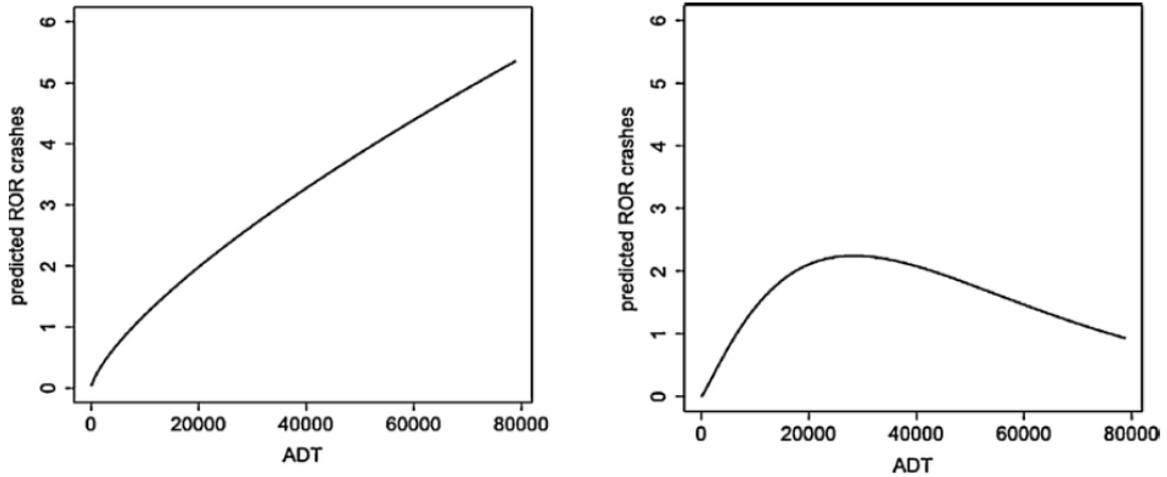


Abbildung 35: Charakteristischer Zusammenhang zwischen Verkehrsstärke und Unfallanzahl für (links) Modell 1 mit $\beta_0 < 1$ und für (rechts) Modell 2 mit $\beta_0 > 1$ und negativem β_2 (nach ROQUE/CARDOSO 2014)

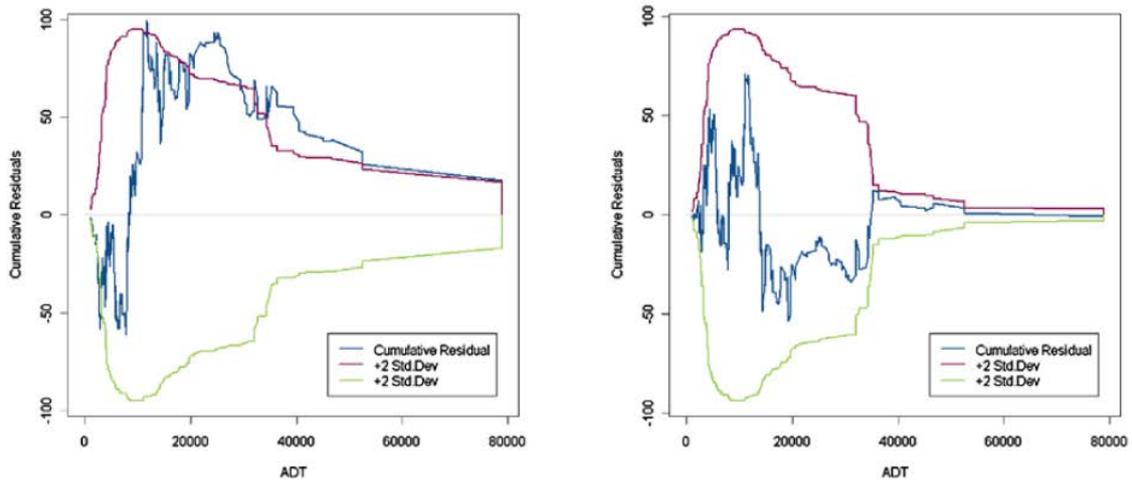


Abbildung 36: Verlauf kumulierte Residuen mit Vertrauensbereich des Cure-Plot über die Verkehrsstärke für (links) Modell 1 und für (rechts) Modell 2 (Kollektiv zweibahniger Straßen von ROQUE/CARDOSO 2014)

In Variante 2 wird zusätzlich im Exponentialterm die Verkehrsdichte (Fahrzeuge je Kilometer), in Variante 3 anstelle derer der Auslastungsgrad (Quotient aus Verkehrsstärke und Kapazität) berücksichtigt. Unter Berücksichtigung des Schwerverkehranteils erfolgte die Berechnung der Kapazität abschnittsfein. Aus dem Vergleich der Modellvarianten und der (Teil-)Modelle innerhalb der Varianten ziehen LORD U. A. (2005) die Schlüsse, dass Modelle, die lediglich die Verkehrsstärke als erklärende Variable beinhalten, den Zusammenhang zwischen Verkehrsaufkommen und Unfallhäufigkeit in nicht adäquater Form erklären. Die Ursache liegt im monotonen Verlauf der Funktionen. Den Vorteil einer flexibleren und funktionaleren Darstellung der Zusammenhänge ermöglicht die Berücksichtigung der Größen „Verkehrsdichte“ oder „Auslastungsgrad“. Der Vergleich der Kurvenverläufe in Abbildung 37 (Modellvariante 1) und Abbildung 38 (Modellvariante 3) verdeutlicht die Unterschiede.

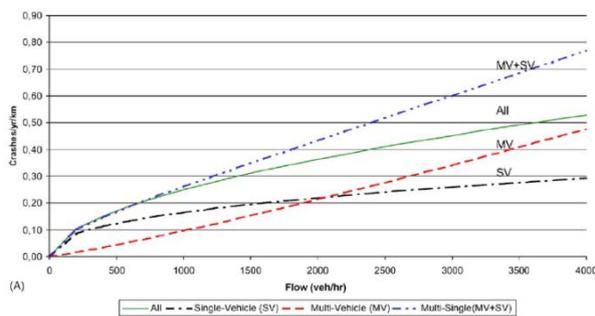


Abbildung 37: Zusammenhang zwischen Verkehrsstärke und Unfallhäufigkeit für (Teil-) Modelle nach LORD U. A. (2005)

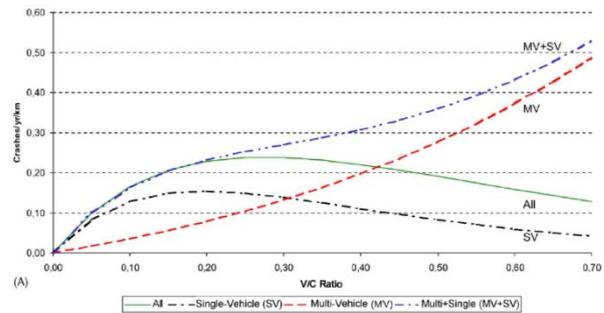


Abbildung 38: Zusammenhang zwischen Verkehrsstärke und Auslastungsgrad für (Teil-) Modelle nach LORD U. A. (2005)

Darüber hinaus empfehlen LORD U. A. (2005) zur besseren Darstellung der Zusammenhänge zwischen Verkehrsaufkommen und Unfallgeschehen, getrennte (Teil-)Modelle für unterschiedliche Konfliktsituationen zu erstellen. Modelle, die das vollständige Unfallgeschehen zur Grundlage haben, weisen nur eine eingeschränkte Eignung auf. Dies wird u. a. aus dem Unterschied der grünen (Modell für alle Unfälle) und blauen (MV + SV) Kurvenverläufe – sowohl in Abbildung 37 als auch in Abbildung 38 – unabhängig für beide Modellvarianten deutlich. Alleinunfälle (SV) weisen ein Maximum bei einem geringen Auslastungsgrad auf, während Unfälle mit Beteiligung mehrerer Fahrzeuge (MV) mit größerem Auslastungsgrad überproportional zunehmen.

Das Design umfasst getrennte Modelle nach der Verletzungsschwere des verunfallten Fahrers, von tödlich verunglückt bis unverletzt (Unfall mit Sachschaden). Die Aussagen beruhen auf der Interpretation von multinomialen logistischen Modellen und deren Erweiterung, den linearen gemischten Modellen.

Anhang 4 Liste der Streckenzüge in der Vorauswahl

Tabelle 26: Liste der Streckenzüge in der Vorauswahl

BL	BAB Nr.	von	bis	Länge BAB [km]	Anzahl Fahrstreifen
BB	11	Dreieck Barnim	Schmölln	90	2
BB	13	Schönefelder Kreuz	Ruhland	109	2
BB	15	Dreieck Spreewald	Forst	52	2
BB	24	Putlitz	Kremen	90	2
BB	2	Dreieck Werder	Ziesar	43	3
BB	9	Dreieck Potsdam	Klein Marzehns	41	3
BW	8	Dreieck Leonberg	Dreieck Karlsruhe	52	3
BW	8	Mühlhausen	Kreuz Stuttgart	50	3
BW	81	Mundelsheim	Dreieck Leonberg	31	3
BY	6	Kreuz Feuchtwangen	Kreuz Nürnberg Süd	74	2
BY	6	Kreuz Altdorf	Kreuz Oberpfälzer Wald	74	2
BY	6	Kreuz Oberpfälzer Wald	Waidhaus	30	2
BY	93	Dreieck Hochfranken	Kreuz Regensburg	200	2
BY	9	Dreieck Bayr. Vogtland	Kreuz Nürnberg	115	3
BY	9	Dreieck Nürnberg /Feucht	Dreieck Holledau	96	3
HE	5	Reiskirchener Dreieck	Hattenbacher Dreieck (W)	41	2
HE	44	Kreuz Kassel West	Breuna	37	2
HE	45	Haiger /Burbach	Wetzlaer Kreuz	35	2
HE	49	Kreuz Kassel West	Borken	29	2
HE	66	Langenselbolder Dreieck	Eichenzell	67	2
HE	3	Limburg Nord	Wiesbadener Kreuz	48	3
HE	7	Dreieck Kassel Süd	Kirchheimer Dreieck	53	3
NW	33	Kreuz Wünnenberg Haaren	Kreuz Bielefeld	46	2
NW	44	Marsberg	Kreuz Dortmund / Unna	93	2
NW	45	Westhofener Kreuz	Wilnsdorf	92	2
NW	1	Kamener Kreuz	Kreuz Wuppertal Nord (N)	47	3
NW	2	Veltheim	Gütersloh	56	3
NW	2	Gütersloh	Kamener Kreuz	65	3
SN	14	Dreieck Nossen	Naunhof	63	2
SN	17	Dresden Südvorstadt	Bad Gottleuba	27	2
SN	72	Pirk	Chemnitz Süd	76	2
SN	4	Dresden Wilder Mann	Kreuz Chemnitz	72	3
SN	4	Kreuz Chemnitz	Meerane	40	3
ST	2	Theesen	MD-Kannenstieg	38	3
ST	2	Kreuz Magdeburg	Marienborn	34	3
ST	9	Köselitz	Halle	52	3

Anhang 5 Liste der für die Modellerstellung verwendeten Einflussgrößen

Tabelle 27: Für die Modellerstellung verwendete Einflussgrößen (Teil 1/2)

Lfd. Nr.	Kurzbezeichnung	Beschreibung
1	BL	Bundesland, in dem Streckenabschnitt liegt
2	Typ	Strecke, Einflussbereich oder Knotenpunkt
3	Vzul	Zulässige Höchstgeschwindigkeit
4	Länge[m]	Länge des Abschnitts
5	Vzul W	Längenteil witterungsbedingte Geschwindigkeitsbeschränkung
6	Vzul Z	Längenteil temporäre Geschwindigkeitsbeschränkung
7	ÜH	Längenteil Lkw-Überholverbot
8	ÜH W	Längenteil witterungsbedingtes Lkw-Überholverbot
9	ÜH Z	Längenteil temporäres Lkw-Überholverbot
10	SL	Längenteil PSE aus Stahl auf der linken Seite
11	BL	Längenteil PSE aus Beton auf der linken Seite
12	SR	Längenteil PSE aus Stahl auf der rechten Seite
13	BR	Längenteil PSE aus Beton auf der rechten Seite
14	SU_R	Längenteil PSE auf der rechten Seite
15	PHL	Anzahl punktueller Hindernisse auf der linken Seite je Kilometer
16	PHRoSE	Anzahl punktueller Hindernisse ohne PSE auf der rechten Seite je Kilometer
17	LHL	Längenteil linienhafte Hindernisse auf der linken Seite
18	LHRoSE	Längenteil linienhafte Hindernisse ohne PSE auf der linken Seite
19	FS	Anzahl der Fahrstreifen
20	Seitenstreifen schmal	Breite des Seitenstreifens (schmal, nicht schmal)
21	DTV	Richtungsbezogener DTV in Kfz/24h
22	DTV_SV	Richtungsbezogener DTV des Schwerverkehrs in Kfz/24h
23	SVA	Schwerverkehrsanteil
24	Anteil < Schwellwert FS1	Längenteil mit Griffigkeit unterhalb des Schwellwertes auf dem ersten FS von rechts
25	Anteil < Schwellwert FS2	Längenteil mit Griffigkeit unterhalb des Schwellwertes auf dem zweiten FS von rechts
26	Anteil < Schwellwert FS3	Längenteil mit Griffigkeit unterhalb des Schwellwertes auf dem dritten FS von rechts
27	Anteil < Warnwert FS1	Längenteil mit Griffigkeit unterhalb des Warnwertes auf dem ersten FS von rechts
28	Anteil < Warnwert FS2	Längenteil mit Griffigkeit unterhalb des Warnwertes auf dem zweiten FS von rechts
29	Anteil < Warnwert FS3	Längenteil mit Griffigkeit unterhalb des Warnwertes auf dem dritten FS von rechts
30	MW GRI_80ES 1	Mittelwert der 100m-Werte der Griffigkeit auf dem ersten FS von rechts
31	MW GRI_80ES 2	Mittelwert der 100m-Werte der Griffigkeit auf dem zweiten FS von rechts
32	MW GRI_80ES 3	Mittelwert der 100m-Werte der Griffigkeit auf dem dritten FS von rechts
33	Minima GRI_80ES 1	Minimum der 100m-Werte der Griffigkeit auf dem ersten FS von rechts
34	Minima GRI_80ES 2	Minimum der 100m-Werte der Griffigkeit auf dem zweiten FS von rechts
35	Minima GRI_80ES 3	Minimum der 100m-Werte der Griffigkeit auf dem dritten FS von rechts
36	Anz krit_Grif_QNES 1	Längenteil mit Überlagerung von Querneigungswechsel und Griffigkeit unterhalb des Warnwertes auf dem ersten FS von rechts
37	Anz krit_Grif_QNES 2	Längenteil mit Überlagerung von Querneigungswechsel und Griffigkeit unterhalb des Warnwertes auf dem zweiten FS von rechts
38	Anz krit_Grif_QNES 3	Längenteil mit Überlagerung von Querneigungswechsel und Griffigkeit unterhalb des Warnwertes auf dem dritten FS von rechts
39	krit_SNES 1	Längenteil mit Schrägneigung unter 0,5% auf dem ersten FS von rechts
40	krit_SNES 2	Längenteil mit Schrägneigung unter 0,5% auf dem zweiten FS von rechts
41	krit_SNES 3	Längenteil mit Schrägneigung unter 0,5% auf dem dritten FS von rechts
42	LN_MW	Mittelwert der Längsneigungen der Tangenten des Höhenplans im Abschnitt in Prozent
43	abs_LN	Mittelwert der absoluten Längsneigungen der Tangenten des Höhenplans im Abschnitt in Prozent
44	LN_MAX	Maximale Längsneigung der Tangenten des Höhenplans im Abschnitt in Prozent
45	LN_MIN	Minimale Längsneigung der Tangenten des Höhenplans im Abschnitt in Prozent
46	MW/ABS	Quotient aus Mittelwert der Längsneigung der Tangenten des Abschnitts und Mittelwert der absoluten Längsneigungen der Tangenten des Höhenplans im Abschnitt (Maß für die Homogenität der Gradienten)

Tabelle 28: Für die Modellerstellung verwendete Einflussgrößen (Teil 2/2)

XIV

Lfd. Nr.	Kurzbezeichnung	Beschreibung
47	LN_Wechs./km	Anzahl der Längsneigungswechsel je Kilometer
48	QN_Wechsel	Längenanteil der Querneigungswechsel
49	RAD_MIN	Kleinster Radius im Abschnitt
50	Ger_Bo/km	Anzahl der Übergänge von einer Gerade auf einen Bogen je Kilometer
51	RÄW > 60	Anzahl der Richtungsänderungswinkel größer 60 gon
52	RÄW > 50	Anzahl der Richtungsänderungswinkel größer 50 gon
53	RÄW > 40	Anzahl der Richtungsänderungswinkel größer 40 gon
54	RÄW > 30	Anzahl der Richtungsänderungswinkel größer 30 gon
55	RÄW > 20	Anzahl der Richtungsänderungswinkel größer 20 gon
56	Ger_BO_15	Anzahl von Bögen mit R < 1500m die auf Geraden mit L > 1000m folgen je Kilometer
57	Ger_BO_20	Anzahl von Bögen mit R < 2000m die auf Geraden mit L > 1000m folgen je Kilometer
58	Anteil_Ger	Längenanteil an Geraden im Abschnitt
59	Ger < 400 m	Längenanteil an Geraden unter 400m im Abschnitt
60	Gleichges_Bog	Anzahl gleichgesinnter Bögen pro Kilometer mit Zwischengerade kürzer als die doppelte Klothoidenlänge
61	Ger_2000	Längenanteil an Geraden über 2000m im Abschnitt
62	Falsch_QN _{ES} 1	Längenanteil negative Querneigung (nach Kurvenaußen) im Bogen auf dem ersten FS von rechts (wenn: R < 4000 und Vzul = frei; R < 3200 und Vzul = 120 oder Vzul = 130 oder R < 1900 und Vzul = 100 oder Vzul = VBA; ansonsten = 0)
63	Falsch_QN _{ES} 2	Längenanteil negative Querneigung (nach Kurvenaußen) im Bogen auf dem zweiten FS von rechts (wenn: R < 4000 und Vzul = frei; R < 3200 und Vzul = 120 oder Vzul = 130 oder R < 1900 und Vzul = 100 oder Vzul = VBA; ansonsten = 0)
64	Falsch_QN _{ES} 3	Längenanteil negative Querneigung (nach Kurvenaußen) im Bogen auf dem dritten FS von rechts (wenn: R < 4000 und Vzul = frei; R < 3200 und Vzul = 120 oder Vzul = 130 oder R < 1900 und Vzul = 100 oder Vzul = VBA; ansonsten = 0)
65	WelligkeitTangente [%]	Mittlere absolute Längsneigung der Tangenten in Prozent
66	Anteil_LN>4%	Längenanteil mit Längsneigung der Tangente über 4 Prozent
67	Anteil_LN<4%	Längenanteil mit Längsneigung der Tangente unter 4 Prozent
68	Anz_gekrümmt_wanne/km	Anzahl gekrümmter Wannens pro Kilometer
69	wanne_auf_gerade/km	Anzahl an Wannens, die auf eine Gerade folgen, pro Kilometer
70	Art Ballungsraum	Siedlungsstruktureller Regionsgrundtyp gem. BBSR (2011)
71	Anz Linksbögen	Anzahl der Linksbögen pro Kilometer
72	Anz Rechtsbögen	Anzahl der Rechtsbögen pro Kilometer
73	Sh erf (VBA,frei=130)	Erforderliche Haltesichtweite für die vorhandene zulässige Höchstgeschwindigkeit (für Vzul = VBA und Vzul = frei werden 130 km/h angesetzt) in Metern
74	Sh erf (VBA,frei=160)	Erforderliche Haltesichtweite für die vorhandene zulässige Höchstgeschwindigkeit (für Vzul = VBA und Vzul = frei werden 160 km/h angesetzt) in Metern
75	MIN Hk vorh	Mindestkuppenhalbmesser im Abschnitt in Metern
76	Sh vorh	Vorhandene minimale Haltesichtweite bezogen auf den Mindestkuppenhalbmesser
77	Untersch Sh erf (VBA,frei=130)	Unterschreitung der erforderlichen Haltesichtweite für die vorhandene zulässige Höchstgeschwindigkeit (für Vzul = VBA und Vzul = frei werden 130 km/h angesetzt) [ja;nein]
78	Untersch Sh erf (VBA,frei=160)	Unterschreitung der erforderlichen Haltesichtweite für die vorhandene zulässige Höchstgeschwindigkeit (für Vzul = VBA und Vzul = frei werden 160 km/h angesetzt) in Metern [ja;nein]
79	MIN R Linksk	Kleinster Radius einer Linkskurve im Abschnitt
80	a erf Linksk (VBA,frei=130)	Erforderliches Abrückmaß in Linkskurven für die vorhandene zulässige Höchstgeschwindigkeit (für Vzul = VBA und Vzul = frei werden 130 km/h angesetzt) in Metern
81	a erf Linksk (VBA,frei=160)	Erforderliches Abrückmaß in Linkskurven für die vorhandene zulässige Höchstgeschwindigkeit (für Vzul = VBA und Vzul = frei werden 160 km/h angesetzt) in Metern
82	a erf Linksk (VBA,frei=130) > 4m	Erforderliches Abrückmaß in Linkskurven für die vorhandene zulässige Höchstgeschwindigkeit (für Vzul = VBA und Vzul = frei werden 130 km/h angesetzt) beträgt mehr als 4 Meter [ja;nein]
83	a erf Linksk (VBA,frei=160) > 4m	Erforderliches Abrückmaß in Linkskurven für die vorhandene zulässige Höchstgeschwindigkeit (für Vzul = VBA und Vzul = frei werden 160 km/h angesetzt) beträgt mehr als 4 Meter [ja;nein]

Anhang 6 Verteilung untersuchten Merkmale im Analysekollektiv (Auswahl)

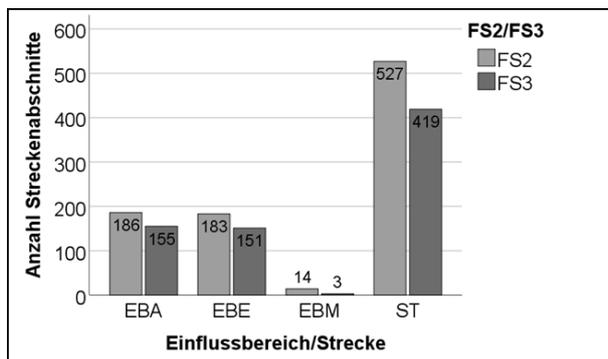


Abbildung 39: Verteilung Einflussbereich & Strecke im Analysekollektiv

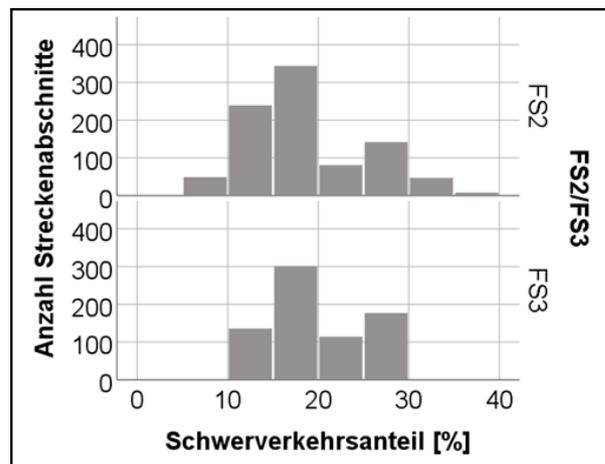


Abbildung 42: Verteilung Schwerverkehrsanteil im Analysekollektiv

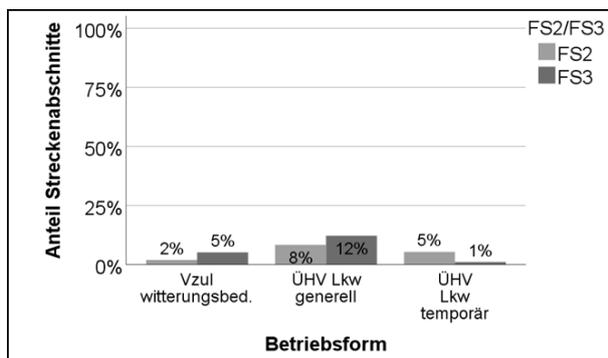


Abbildung 40: Verteilung Betriebsform im Analysekollektiv

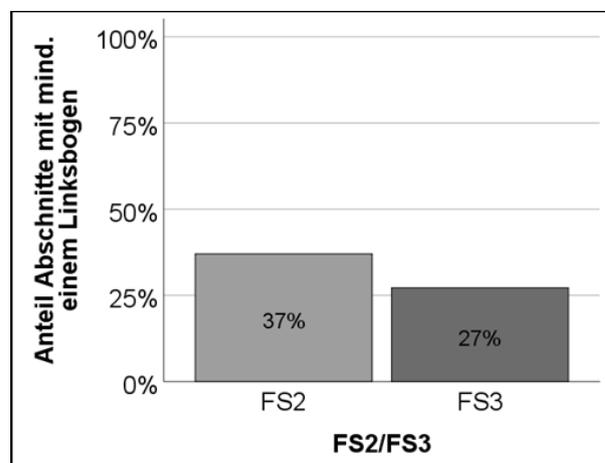


Abbildung 43: Verteilung Abschnitte mit Linksbögen im Analysekollektiv

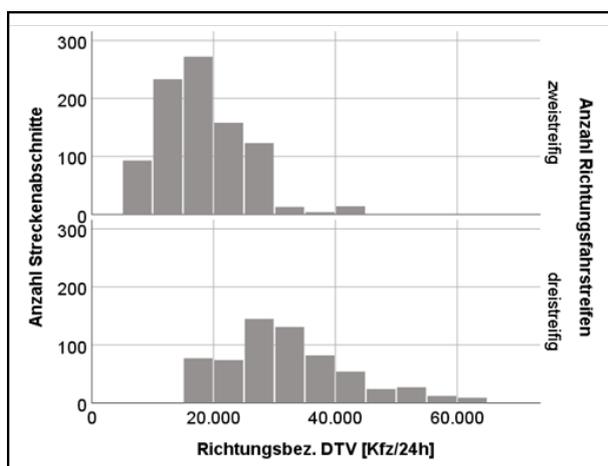


Abbildung 41: Verteilung DTW im Analysekollektiv

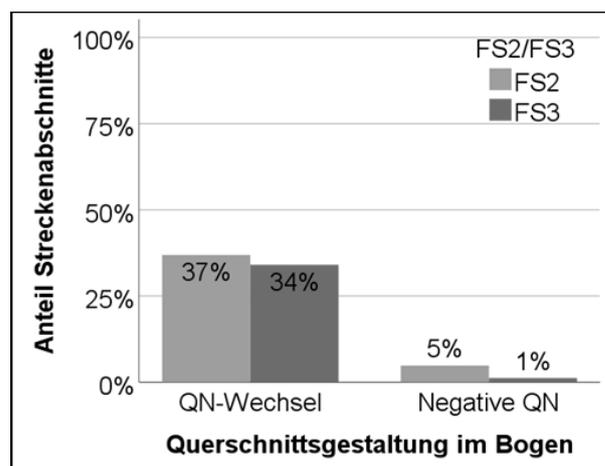


Abbildung 44: Verteilung Querschnittsgestaltung im Bogen im Analysekollektiv

XVI

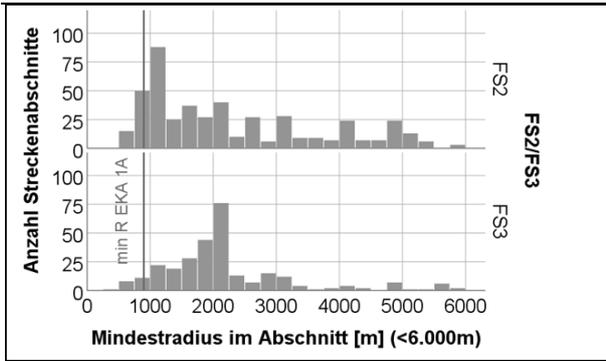


Abbildung 45: Verteilung Kleinster Radius im Abschnitt im Analysekollektiv

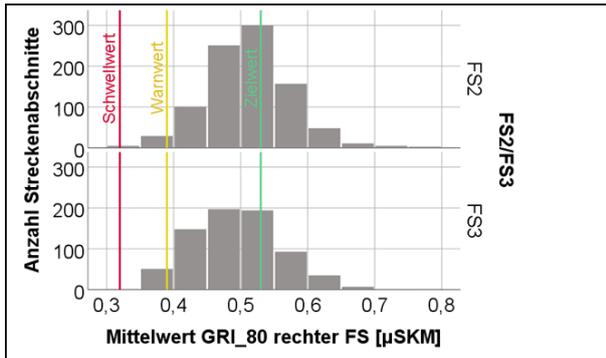


Abbildung 46: Verteilung Mittelwert der Griffigkeit des rechten Fahrstreifens im Analysekollektiv

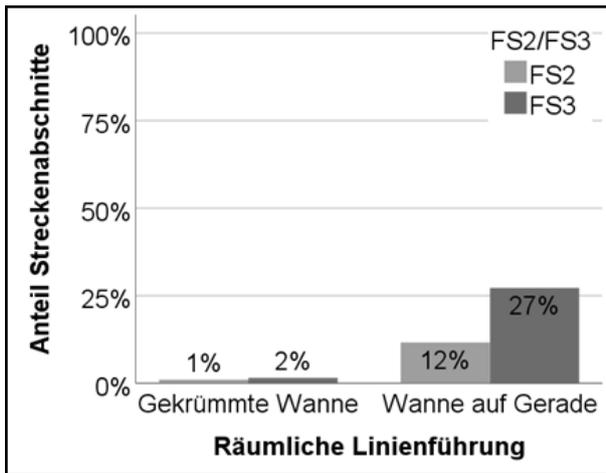


Abbildung 47: Verteilung räumliche Linienführung im Analysekollektiv

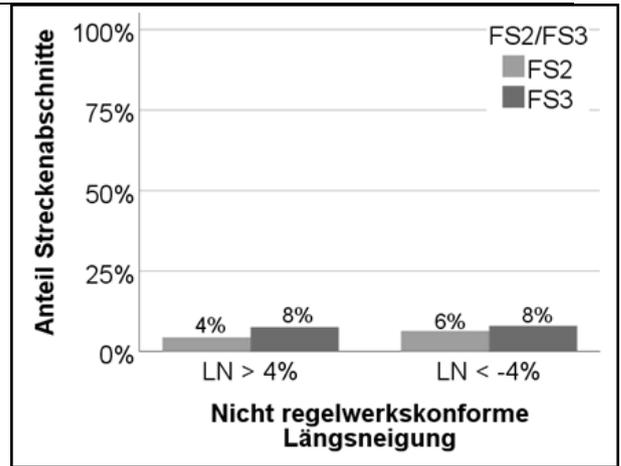


Abbildung 48: Verteilung nicht regelwerkskonforme Längsneigung im Analysekollektiv

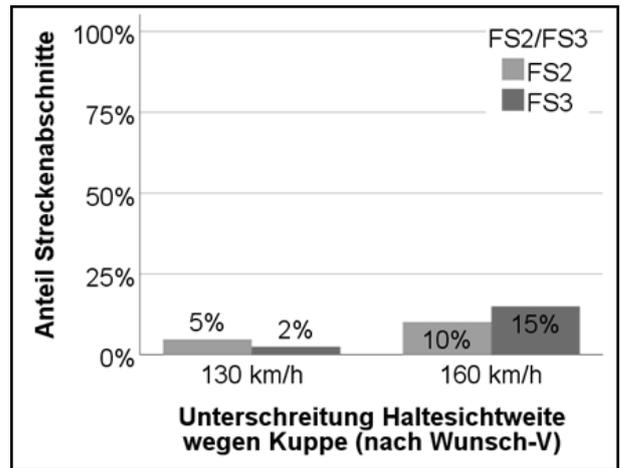


Abbildung 49: Verteilung Unterschreitung der Haltesichtweite im Analysekollektiv

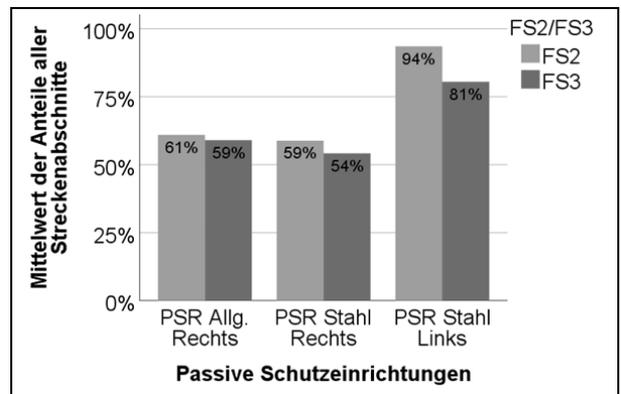


Abbildung 50: Verteilung passive Schutzvorrichtungen im Analysekollektiv

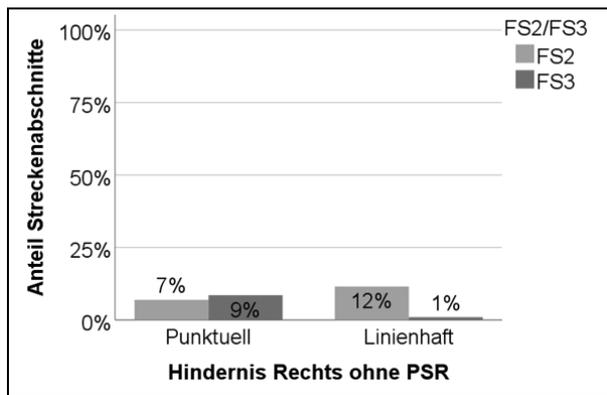


Abbildung 51: Verteilung Hindernisse ohne PSR im Analysekollektiv

Anhang 7 Parameter der Modelle für zweistreifige Richtungsfahrbahnen

Teilmodell 01: U(P,SS) – Typ 1 & Typ 6 Art 3,8,9

U(P,SS) Typ 1 & Typ 6 Art 3,8,9	Parameter	Koeff. ^a	Sign. ^b	Standard- fehler	95%-K.-Intervall		p ^c	Neg. Bin.-Verteilung			Poisson-Verteilung		
					Min	Max		Vert.- Param.	Pearson- χ^2	AIC	Pearson- χ^2	df	χ^2/df
Nullmodell	(Konstanter Term)	- 0,879	0,000	0,033	- 0,94	- 0,82	-	0,388	956,9	3261	1795,9	909	1,976
DTV	(Konstanter Term)	- 5,590	0,000	0,784	- 7,13	- 4,05	0,000	0,363	958,8	3227	1752,1	908	1,930
	In_DTV	0,483	0,000	0,080	0,33	0,64	0,000						
DTV-Korrektur	(Konstanter Term)	- 13,491	0,000	2,858	- 19,09	- 7,89	0,000	0,352	956,9	3220	1723,0	907	1,900
	In_DTV	1,394	0,000	0,327	0,75	2,03	0,000						
	DTV_durch_10000	- 0,532	0,004	0,187	- 0,90	- 0,17	0,006						
Endmodell	(Konstanter Term)	- 13,019	0,000	3,234	- 19,36	- 6,68	0,000	0,294	939,8	3165	1583,6	903	1,754
	In_DTV	1,424	0,000	0,366	0,71	2,14	0,000						
	DTV_durch_10000	- 0,512	0,013	0,205	- 0,91	- 0,11	0,008						
	Anz QN-Wechsel	1,143	0,000	0,242	0,67	1,62	0,000						
	Ant Vzwl witterungsbed. oder VBA	0,360	0,006	0,130	0,11	0,62	0,004						
	MW GRI_80 FS 1	- 1,643	0,001	0,500	- 2,62	- 0,66	0,002						
	MIN RAD [km]	- 0,003	0,000	0,001	- 0,00	- 0,00	0,000						

^a Schätzung basierend auf der angepassten negativen Binomialverteilung

^b Wald-Test der Koeffizienten

^c Signifikanz der Modelleffekte (basierend auf dem Likelihood-Ratio-Test)

Weitere Einflussgrößen mit positiver Wirkung: Ant. Längsneigung > 4%

Weitere Einflussgrößen mit negativer Wirkung: Anz Linksbögen

Teilmodell 02: U(SP) – Typ 1 & Typ 6 Art 3,8,9

U(SP) Typ 1 & Typ 6 Art 3,8,9	Parameter	Koeff. ^a	Sign. ^b	Standard- fehler	95%-K.-Intervall		p ^c	Neg. Bin.-Verteilung			Poisson-Verteilung		
					Min	Max		Vert.- Param.	Pearson- χ^2	AIC	Pearson- χ^2	df	χ^2/df
Nullmodell	(Konstanter Term)	- 2,743	0,000	0,063	- 2,87	- 2,62	-	0,534	897,0	1297	1077,1	909	1,185
DTV	(Konstanter Term)	- 10,155	0,000	1,368	- 12,84	- 7,47	0,000	0,459	881,3	1276	1035,9	908	1,141
	In_DTV	0,757	0,000	0,139	0,48	1,03	0,000						
DTV-Korrektur	(Konstanter Term)	- 37,373	0,000	7,837	- 52,73	- 22,01	0,000	0,385	865,5	1260	995,3	907	1,097
	In_DTV	3,873	0,000	0,891	2,13	5,62	0,000						
	DTV_durch_10000	- 1,726	0,000	0,481	- 2,67	- 0,78	0,000						
Endmodell	(Konstanter Term)	- 37,114	0,000	8,057	- 52,91	- 21,32	0,000	0,330	832,6	1251	944,3	904	1,045
	In_DTV	3,858	0,000	0,916	2,06	5,65	0,000						
	DTV_durch_10000	- 1,719	0,000	0,491	- 2,68	- 0,76	0,000						
	Ant PSR Allg. Re	- 0,434	0,032	0,202	- 0,83	- 0,04	0,024						
	Ant Falsche QN FS2	2,292	0,000	0,589	1,14	3,45	0,012						
	Anz QN-Wechsel	1,087	0,011	0,428	0,25	1,93	0,019						

^a Schätzung basierend auf der angepassten negativen Binomialverteilung

^b Wald-Test der Koeffizienten

^c Signifikanz der Modelleffekte (basierend auf dem Likelihood-Ratio-Test)

Weitere Einflussgrößen mit positiver Wirkung: MIN RAD

Weitere Einflussgrößen mit negativer Wirkung: -

Teilmodell 03: U(P,SS) – Typ 1

U(P,SS) Typ 1	Parameter	Koeff. ^a	Sign. ^b	Standard- fehler	95%-K.-Intervall		p ^c	Neg. Bin.-Verteilung			Poisson-Verteilung		
					Min	Max		Vert.- Param.	Pearson- χ^2	AIC	Pearson- χ^2	df	χ^2/df
Nullmodell	(Konstanter Term)	- 1,149	0,000	0,038	- 1,22	- 1,07	-	0,525	952,5	2942	1845,1	909	2,030
DTV	(Konstanter Term)	- 4,743	0,000	0,908	- 6,52	- 2,96	0,000	0,513	959,9	2929	1835,8	908	2,022
	ln_DTV	0,369	0,000	0,093	0,19	0,55	0,000						
DTV-Korrektur	(Konstanter Term)	- 16,857	0,000	3,230	- 23,19	- 10,53	0,000	0,487	955,6	2917	1781,5	907	1,964
	ln_DTV	1,767	0,000	0,370	1,04	2,49	0,000						
	DTV_durch_10000	- 0,824	0,000	0,212	- 1,24	- 0,41	0,000						
Endmodell	(Konstanter Term)	- 14,947	0,000	3,536	- 21,88	- 8,02	0,000	0,407	921,5	2865	1609,8	903	1,783
	ln_DTV	1,641	0,000	0,399	0,86	2,42	0,000						
	DTV_durch_10000	- 0,697	0,002	0,226	- 1,14	- 0,25	0,002						
	Anz QN-Wechsel	1,393	0,000	0,289	0,83	1,96	0,000						
	Ant LN > 4%	- 1,869	0,001	0,575	- 2,99	- 0,74	0,013						
	MW GRI_80 FS 1	- 1,783	0,003	0,591	- 2,94	- 0,63	0,003						
	MIN RAD [km]	- 0,004	0,000	0,001	- 0,01	- 0,00	0,000						

^a Schätzung basierend auf der angepassten negativen Binomialverteilung

^b Wald-Test der Koeffizienten

^c Signifikanz der Modelleffekte (basierend auf dem Likelihood-Ratio-Test)

Weitere Einflussgrößen mit positiver Wirkung:

Weitere Einflussgrößen mit negativer Wirkung: Ant Falsche QN FS2, Anz Linksbögen, Anz RÄW > 60

Teilmodell 04: U(P,SS) – Typ 1 – Nässe/Glätte

U(P,SS) Typ 1 Na/Gl	Parameter	Koeff. ^a	Sign. ^b	Standard- fehler	95%-K.-Intervall		p ^c	Neg. Bin.-Verteilung			Poisson-Verteilung		
					Min	Max		Vert.- Param.	Pearson- χ^2	AIC	Pearson- χ^2	df	χ^2/df
Nullmodell	(Konstanter Term)	- 1,492	0,000	0,047	- 1,58	- 1,40	-	0,827	985,5	2547	2005,3	909	2,206
DTV	(Konstanter Term)	- 2,265	0,037	1,083	- 4,39	- 0,14	0,000	0,829	986,5	2549	2005,8	908	2,209
	ln_DTV	0,079	0,473	0,111	- 0,14	0,30	0,506						
DTV-Korrektur	(Konstanter Term)	- 15,171	0,000	3,856	- 22,73	- 7,61	0,000	0,793	979,1	2540	1943,2	907	2,142
	ln_DTV	1,572	0,000	0,444	0,70	2,44	0,001						
	DTV_durch_10000	- 0,892	0,001	0,264	- 1,41	- 0,37	0,002						
Endmodell	(Konstanter Term)	- 14,901	0,000	4,198	- 23,13	- 6,67	0,000	0,668	955,1	2496	1763,7	903	1,953
	ln_DTV	1,509	0,002	0,483	0,56	2,46	0,002						
	DTV_durch_10000	- 0,788	0,006	0,284	- 1,35	- 0,23	0,005						
	Anz QN-Wechsel	1,356	0,000	0,380	0,61	2,10	0,000						
	Ant LN > 4%	- 2,054	0,007	0,758	- 3,54	- 0,57	0,029						
	Anz Linksbögen	0,405	0,008	0,153	0,10	0,71	0,010						
	MIN RAD [km]	- 0,003	0,011	0,001	- 0,00	- 0,00	0,016						

^a Schätzung basierend auf der angepassten negativen Binomialverteilung

^b Wald-Test der Koeffizienten

^c Signifikanz der Modelleffekte (basierend auf dem Likelihood-Ratio-Test)

Weitere Einflussgrößen mit positiver Wirkung: -

Weitere Einflussgrößen mit negativer Wirkung: Ant Vzul witterungsbed. oder VBA

Teilmodell 05: U(P,SS) – Typ 1 – Trockenheit

U(P,SS) Typ 1 Trockenheit	Parameter	Koeff. ^a	Sign. ^b	Standard- fehler	95%-K.-Intervall		p ^c	Neg. Bin.-Verteilung			Poisson-Verteilung		
					Min	Max		Vert.- Param.	Pearson- χ^2	AIC	Pearson- χ^2	df	χ^2/df
Nullmodell	(Konstanter Term)	- 2,384	0,000	0,053	- 2,49	- 2,28	-	0,076	1038,4	1607	1082,5	909	1,191
DTV	(Konstanter Term)	-12,514	0,000	1,183	- 14,83	- 10,19	0,000	0,031	954,1	1539	971,7	908	1,070
	In_DTV	1,032	0,000	0,120	0,80	1,27	0,000						
DTV-Korrektur	(Konstanter Term)	- 33,697	0,000	6,058	- 45,57	- 21,82	0,000	0,035	961,3	1523	980,6	907	1,081
	In_DTV	3,443	0,000	0,684	2,10	4,78	0,000						
	DTV_durch_10000	- 1,271	0,000	0,347	- 1,95	- 0,59	0,000						
Endmodell	(Konstanter Term)	- 8,938	0,000	1,521	- 11,92	- 5,96	0,000	0,017	916,9	1523	926,1	904	1,024
	In_DTV	0,842	0,000	0,132	0,58	1,10	0,000						
	Ant PSR Allg. Re	- 0,405	0,008	0,153	- 0,71	- 0,11	0,005						
	Ant Falsche QN FS2	1,807	0,001	0,551	0,73	2,89	0,012						
	MW GRI_80 FS 2	- 1,805	0,012	0,722	- 3,22	- 0,39	0,010						
	SVA	- 2,277	0,011	0,899	- 4,04	- 0,52	0,006						

^a Schätzung basierend auf der angepassten negativen Binomialverteilung

^b Wald-Test der Koeffizienten

^c Signifikanz der Modelleffekte (basierend auf dem Likelihood-Ratio-Test)

Weitere Einflussgrößen mit positiver Wirkung: MW GRI_80 FS 1

Weitere Einflussgrößen mit negativer Wirkung: Ant ÜHV Lkw allg

Teilmodell 06: U(P,SS) – Typ 1 – Bet. 01 Pkw

U(P,SS) Typ 1 Pkw	Parameter	Koeff. ^a	Sign. ^b	Standard- fehler	95%-K.-Intervall		p ^c	Neg. Bin.-Verteilung			Poisson-Verteilung		
					Min	Max		Vert.- Param.	Pearson- χ^2	AIC	Pearson- χ^2	df	χ^2/df
Nullmodell	(Konstanter Term)	- 1,287	0,000	0,041	- 1,37	- 1,21	-	0,577	973,6	2779	1840,4	909	2,025
DTV	(Konstanter Term)	- 4,024	0,000	0,971	- 5,93	- 2,12	0,000	0,570	978,1	2773	1838,2	908	2,024
	In_DTV	0,281	0,005	0,099	0,09	0,47	0,006						
DTV-Korrektur	(Konstanter Term)	-16,882	0,000	3,489	- 23,72	- 10,04	0,000	0,543	974,8	2762	1788,5	907	1,972
	In_DTV	1,765	0,000	0,400	0,98	2,55	0,000						
	DTV_durch_10000	- 0,877	0,000	0,232	- 1,33	- 0,42	0,000						
Endmodell	(Konstanter Term)	-15,060	0,000	3,888	- 22,68	- 7,44	0,000	0,441	935,7	2703	1594,0	903	1,765
	In_DTV	1,645	0,000	0,439	0,79	2,50	0,000						
	DTV_durch_10000	- 0,747	0,003	0,250	- 1,24	- 0,26	0,002						
	Anz QN-Wechsel	1,645	0,000	0,304	1,05	2,24	0,000						
	Ant LN > 4%	- 2,043	0,002	0,674	- 3,36	- 0,72	0,012						
	MW GRI_80 FS 1	- 1,776	0,006	0,649	- 3,05	- 0,50	0,006						
	MIN RAD [km]	- 0,004	0,000	0,001	- 0,01	- 0,00	0,000						

^a Schätzung basierend auf der angepassten negativen Binomialverteilung

^b Wald-Test der Koeffizienten

^c Signifikanz der Modelleffekte (basierend auf dem Likelihood-Ratio-Test)

Weitere Einflussgrößen mit positiver Wirkung: MW GRI_80 FS 2

Weitere Einflussgrößen mit negativer Wirkung: Anz Übergang Ger-Bo, Anz Linksbögen, Anz RÄW > 60

Teilmodell 07: U(P,SS) – Typ 1 – Bet. 01 Pkw – Nässe/Glätte

U(P,SS) Typ 1 Pkw Na/Gl	Parameter	Koeff. ^a	Sign. ^b	Standard- fehler	95%-K.-Intervall		p ^c	Neg. Bin.-Verteilung			Poisson-Verteilung		
					Min	Max		Vert.- Param.	Pearson- χ^2	AIC	Pearson- χ^2	df	χ^2/df
Nullmodell	(Konstanter Term)	- 1,506	0,000	0,047	- 1,60	- 1,41	-	0,800	1010,3	2531	2009,1	909	2,210
DTV	(Konstanter Term)	- 1,882	0,083	1,085	- 4,01	0,25	0,000	0,801	1011,2	2533	2008,4	908	2,212
	In_DTV	0,039	0,727	0,111	- 0,18	0,26	0,747						
DTV-Korrektur	(Konstanter Term)	- 14,889	0,000	3,951	- 22,63	- 7,15	0,000	0,770	999,8	2524	1948,6	907	2,148
	In_DTV	1,542	0,001	0,455	0,65	2,43	0,002						
	DTV_durch_10000	- 0,897	0,001	0,270	- 1,43	- 0,37	0,002						
Endmodell	(Konstanter Term)	- 12,798	0,008	4,787	- 22,18	- 3,42	0,000	0,597	983,1	2459	1719,7	901	1,909
	In_DTV	1,417	0,009	0,541	0,36	2,48	0,005						
	DTV_durch_10000	- 0,766	0,014	0,312	- 1,38	- 0,15	0,009						
	Anz QN-Wechsel	1,649	0,000	0,362	0,94	2,36	0,000						
	Ant LN > 4%	- 2,070	0,005	0,733	- 3,51	- 0,63	0,027						
	Ant Vzul witterungsbed. oder VBA	0,409	0,015	0,168	0,08	0,74	0,025						
	MW GRI_80 FS 1	- 2,551	0,002	0,809	- 4,14	- 0,97	0,001						
	Anz Linksbögen	0,355	0,021	0,154	0,05	0,66	0,021						
	Kleinster Radius	- 0,003	0,005	0,001	- 0,01	- 0,00	0,007						

^a Schätzung basierend auf der angepassten negativen Binomialverteilung

^b Wald-Test der Koeffizienten

^c Signifikanz der Modelleffekte (basierend auf dem Likelihood-Ratio-Test)

Weitere Einflussgrößen mit positiver Wirkung: Vzul_klg_120=ja

Weitere Einflussgrößen mit negativer Wirkung: -

Teilmodell 08: U(P,SS) – Typ 6 Art 3,8,9

U(P,SS) Typ 6 Art 3,8,9	Parameter	Koeff. ^a	Sign. ^b	Standard- fehler	95%-K.-Intervall		p ^c	Neg. Bin.-Verteilung			Poisson-Verteilung		
					Min	Max		Vert.- Param.	Pearson- χ^2	AIC	Pearson- χ^2	df	χ^2/df
Nullmodell	(Konstanter Term)	- 2,340	0,000	0,050	- 2,44	- 2,24	-	0,017	1111,1	1661	1121,6	909	1,234
DTV	(Konstanter Term)	- 10,028	0,000	1,290	- 12,56	- 7,50	0,000	0,043	994,0	1614	1019,0	908	1,122
	In_DTV	0,785	0,000	0,131	0,53	1,04	0,000						
DTV-Korrektur	(Konstanter Term)	- 7,942	0,065	4,303	- 16,38	0,49	0,000	0,042	993,4	1616	1018,0	907	1,122
	In_DTV	0,546	0,265	0,490	- 0,41	1,51	0,082						
	DTV_durch_10000	0,131	0,624	0,266	- 0,39	0,65	0,165						
Endmodell	(Konstanter Term)	- 9,861	0,000	1,234	- 12,28	- 7,44	0,000	0,025	967,3	1595	980,9	906	1,083
	In_DTV	0,766	0,000	0,126	0,52	1,01	0,000						
	Anz Wanne auf Gerade	- 2,581	0,008	0,972	- 4,49	- 0,68	0,007						
	Ant ÜHV Lkw allg oder VBA	0,543	0,000	0,127	0,29	0,79	0,000						

^a Schätzung basierend auf der angepassten negativen Binomialverteilung

^b Wald-Test der Koeffizienten

^c Signifikanz der Modelleffekte (basierend auf dem Likelihood-Ratio-Test)

Weitere Einflussgrößen mit positiver Wirkung: Ant ÜHV Lkw temporär

Weitere Einflussgrößen mit negativer Wirkung: Vzul_100_o_VBA=ja

Teilmodell 09: U(P,SS) – Typ 6 Art 3,8,9 – Trockenheit

U(P,SS) Typ 6 Trockenheit	Parameter	Koeff. ^a	Sign. ^b	Standard- fehler	95%-K.-Intervall		p ^c	Neg. Bin.-Verteilung			Poisson-Verteilung		
					Min	Max		Vert.- Param.	Pearson- χ^2	AIC	Pearson- χ^2	df	χ^2/df
Nullmodell	(Konstanter Term)	- 2,695	0,000	0,061	- 2,81	- 2,58	-	0,359	1061,9	1364	1197,4	909	1,317
DTV	(Konstanter Term)	- 11,632	0,000	1,545	- 14,66	- 8,60	0,000	0,249	976,1	1327	1070,7	908	1,179
	In_DTV	0,911	0,000	0,157	0,60	1,22	0,000						
DTV-Korrektur	(Konstanter Term)	- 6,895	0,173	5,060	- 16,81	3,02	0,000	0,251	976,4	1328	1071,4	907	1,181
	In_DTV	0,369	0,522	0,576	- 0,76	1,50	0,016						
	DTV_durch_10000	0,296	0,343	0,313	- 0,32	0,91	0,370						
Endmodell	(Konstanter Term)	- 12,027	0,000	1,464	- 14,90	- 9,16	0,000	0,113	973,4	1302	1016,4	905	1,123
	In_DTV	0,998	0,000	0,148	0,71	1,29	0,000						
	Anz Wanne auf Gerade	- 4,248	0,000	1,168	- 6,54	- 1,96	0,001						
	MAX LN	0,087	0,012	0,035	0,02	0,16	0,008						
	[Vzul_100_o_VBA=nein]	- 0,578	0,000	0,158	- 0,89	- 0,27	0,001						
	[Vzul_100_o_VBA=ja]	-											

^a Schätzung basierend auf der angepassten negativen Binomialverteilung

^b Wald-Test der Koeffizienten

^c Signifikanz der Modelleffekte (basierend auf dem Likelihood-Ratio-Test)

Weitere Einflussgrößen mit positiver Wirkung: -

Weitere Einflussgrößen mit negativer Wirkung: Ant ÜHV Lkw allg oder VBA, VBA=ja

Teilmodell 10: U(P,SS) – Typ 6 Art 3,8,9 – Bet. 01 Pkw

U(P,SS) Typ 6 Pkw	Parameter	Koeff. ^a	Sign. ^b	Standard- fehler	95%-K.-Intervall		p ^c	Neg. Bin.-Verteilung			Poisson-Verteilung		
					Min	Max		Vert.- Param.	Pearson- χ^2	AIC	Pearson- χ^2	df	χ^2/df
Nullmodell	(Konstanter Term)	- 2,665	0,000	0,058	- 2,78	- 2,55	-	0,303	977,4	1394	1094,1	909	1,204
DTV	(Konstanter Term)	- 10,788	0,000	1,401	- 13,53	- 8,04	0,000	0,202	959,3	1362	1037,3	908	1,142
	In_DTV	0,829	0,000	0,142	0,55	1,11	0,000						
DTV-Korrektur	(Konstanter Term)	- 9,744	0,039	4,716	- 18,99	- 0,50	0,000	0,202	960,2	1364	1038,1	907	1,145
	In_DTV	0,709	0,186	0,536	- 0,34	1,76	0,233						
	DTV_durch_10000	0,066	0,819	0,287	- 0,50	0,63	0,840						
Endmodell	(Konstanter Term)	- 11,866	0,000	1,420	- 14,65	- 9,08	0,000	0,103	946,2	1346	985,4	905	1,089
	In_DTV	0,990	0,000	0,143	0,71	1,27	0,000						
	Anz Wanne auf Gerade	- 3,973	0,001	1,162	- 6,25	- 1,70	0,000						
	Ant ÜHV Lkw temporär	- 0,667	0,029	0,306	- 1,27	- 0,07	0,012						
	[Vzul_100_o_VBA=nein]	- 0,430	0,012	0,171	- 0,76	- 0,10	0,020						
	[Vzul_100_o_VBA=ja]	-											

^a Schätzung basierend auf der angepassten negativen Binomialverteilung

^b Wald-Test der Koeffizienten

^c Signifikanz der Modelleffekte (basierend auf dem Likelihood-Ratio-Test)

Weitere Einflussgrößen mit positiver Wirkung: -

Weitere Einflussgrößen mit negativer Wirkung: -

Anhang 8 Parameter der Modelle für dreistreifige Richtungsfahrbahnen

Teilmodell 11: U(P,SS) – Typ 1 & Typ 6 Art 3,8,9

FS3 U(P,SS) Typ 1 & Typ 6 Art 3,8,9	Parameter	Koeff. ^a	Sign. ^b	Standard- fehler	95%-K.-Intervall		p ^c	Neg. Bin.-Verteilung			Poisson-Verteilung		
					Min	Max		Vert.- Param.	Pearson- χ^2	AIC	Pearson- χ^2	df	χ^2/df
Nullmodell	(Konstanter Term)	- 0,256	0,000	0,031	- 0,32	- 0,20	-	0,232	757,5	2768	1408,6	634	2,222
DTV	(Konstanter Term)	1,424	0,169	1,035	- 0,61	3,45	0,000	0,228	777,2	2767	1428,6	633	2,257
	In_DTV	- 0,163	0,107	0,101	- 0,36	0,04	0,121						
DTV-Korrektur	(Konstanter Term)	11,437	0,009	4,352	2,91	19,97	0,000	0,225	776,0	2763	1418,6	632	2,245
	In_DTV	- 1,238	0,008	0,466	- 2,15	- 0,32	0,020						
	DTV_durch_10000	0,339	0,021	0,147	0,05	0,63	0,039						
Endmodell	(Konstanter Term)	19,326	0,000	4,322	10,86	27,80	0,000	0,176	716,1	2714	1198,4	628	1,908
	In_DTV	- 2,039	0,000	0,460	- 2,94	- 1,14	0,000						
	DTV_durch_10000	0,638	0,000	0,146	0,35	0,92	0,000						
	Anz QN-Wechsel	0,679	0,001	0,197	0,29	1,06	0,000						
	Ant ÜHV Lkw allg oder VBA	- 0,327	0,000	0,073	- 0,47	- 0,18	0,000						
	MW GRI_80 FS 1	- 1,216	0,010	0,469	- 2,14	- 0,30	0,012						
	Anz RÄW > 40	0,651	0,000	0,187	0,28	1,02	0,000						

^a Schätzung basierend auf der angepassten negativen Binomialverteilung

^b Wald-Test der Koeffizienten

^c Signifikanz der Modelleffekte (basierend auf dem Likelihood-Ratio-Test)

Weitere Einflussgrößen mit positiver Wirkung: *Kleinster Radius*

Weitere Einflussgrößen mit negativer Wirkung:

Teilmodell 12: U(SP) – Typ 1 & Typ 6 Art 3,8,9

FS3 U(SP) Typ 1 & Typ 6 Art 3,8,9	Parameter	Koeff. ^a	Sign. ^b	Standard- fehler	95%-K.-Intervall		p ^c	Neg. Bin.-Verteilung			Poisson-Verteilung		
					Min	Max		Vert.- Param.	Pearson- χ^2	AIC	Pearson- χ^2	df	χ^2/df
Nullmodell	(Konstanter Term)	- 2,242	0,000	0,057	- 2,35	- 2,13	-	0,047	689,7	1169	709,1	634	1,118
DTV	(Konstanter Term)	- 1,526	0,398	1,804	- 5,06	2,01	0,000	0,049	692,7	1171	712,7	633	1,126
	In_DTV	- 0,070	0,693	0,176	- 0,42	0,28	0,147						
DTV-Korrektur	(Konstanter Term)	- 13,552	0,147	9,343	- 31,86	4,76	0,000	0,039	694,0	1171	710,2	632	1,124
	In_DTV	1,224	0,222	1,004	- 0,74	3,19	0,075						
	DTV_durch_10000	- 0,420	0,197	0,326	- 1,06	0,22	0,074						

^a Schätzung basierend auf der angepassten negativen Binomialverteilung

^b Wald-Test der Koeffizienten

^c Signifikanz der Modelleffekte (basierend auf dem Likelihood-Ratio-Test)

Weitere Einflussgrößen mit positiver Wirkung: -

Weitere Einflussgrößen mit negativer Wirkung: -

Teilmodell 13: U(P,SS) – Typ 1

FS3 U(P,SS) Typ 1	Parameter	Koeff. ^a	Sign. ^b	Standard- fehler	95%-K.-Intervall		p ^c	Neg. Bin.-Verteilung			Poisson-Verteilung		
					Min	Max		Vert.- Param.	Pearson- χ^2	AIC	Pearson- χ^2	df	χ^2/df
Nullmodell	(Konstanter Term)	- 0,612	0,000	0,037	- 0,69	- 0,54	-	0,330	761,5	2473	1430,8	634	2,257
DTV	(Konstanter Term)	2,236	0,064	1,207	- 0,13	4,60	0,000	0,317	789,7	2469	1451,2	633	2,293
	ln_DTV	- 0,277	0,019	0,118	- 0,51	- 0,05	0,029						
DTV-Korrektur	(Konstanter Term)	10,619	0,036	5,057	0,71	20,53	0,000	0,316	792,2	2469	1447,8	632	2,291
	ln_DTV	- 1,177	0,030	0,542	- 2,24	- 0,12	0,067						
	DTV_durch_10000	0,286	0,093	0,170	- 0,05	0,62	0,153						
Endmodell	(Konstanter Term)	17,176	0,001	5,348	6,69	27,66	0,000	0,268	726,6	2432	1266,4	630	2,010
	ln_DTV	- 1,894	0,001	0,573	- 3,02	- 0,77	0,002						
	DTV_durch_10000	0,537	0,003	0,184	0,18	0,90	0,006						
	Anz QN-Wechsel	0,964	0,000	0,212	0,55	1,38	0,000						
	Ant ÜHV Lkw allg oder VBA	- 0,326	0,000	0,087	- 0,50	- 0,16	0,000						

^a Schätzung basierend auf der angepassten negativen Binomialverteilung

^b Wald-Test der Koeffizienten

^c Signifikanz der Modelleffekte (basierend auf dem Likelihood-Ratio-Test)

Teilmodell 14: U(SP) – Typ 1

FS3 U(SP) Typ 1	Parameter	Koeff. ^a	Sign. ^b	Standard- fehler	95%-K.-Intervall		p ^c	Neg. Bin.-Verteilung			Poisson-Verteilung		
					Min	Max		Vert.- Param.	Pearson- χ^2	AIC	Pearson- χ^2	df	χ^2/df
Nullmodell	(Konstanter Term)	- 2,637	0,000	0,073	- 2,78	- 2,49	-	0,535	635,3	946	764,3	634	1,206
DTV	(Konstanter Term)	- 1,527	0,516	2,351	- 6,14	3,08	0,000	0,536	639,6	947	768,6	633	1,214
	ln_DTV	- 0,108	0,639	0,230	- 0,56	0,34	0,000						
DTV-Korrektur	(Konstanter Term)	- 10,164	0,398	12,022	- 33,73	13,40	0,000	0,529	639,3	949	767,0	632	1,214
	ln_DTV	0,821	0,524	1,289	- 1,71	3,35	0,000						
	DTV_durch_10000	- 0,301	0,464	0,411	- 1,11	0,51	0,000						

^a Schätzung basierend auf der angepassten negativen Binomialverteilung

^b Wald-Test der Koeffizienten

^c Signifikanz der Modelleffekte (basierend auf dem Likelihood-Ratio-Test)

Weitere Einflussgrößen mit positiver Wirkung: -

Weitere Einflussgrößen mit negativer Wirkung: -

Teilmodell 15: U(P,SS) – Typ 1 – Nässe/Glätte

FS3 U(P,SS) Typ 1 Na/Gl	Parameter	Koeff. ^a	Sign. ^b	Standard- fehler	95%-K.-Intervall		p ^c	Neg. Bin.-Verteilung			Poisson-Verteilung		
					Min	Max		Vert.- Param.	Pearson- χ^2	AIC	Pearson- χ^2	df	χ^2/df
Nullmodell	(Konstanter Term)	- 0,974	0,000	0,048	- 1,07	- 0,88	-	0,597	782,2	2192	1621,4	634	2,557
DTV	(Konstanter Term)	4,524	0,004	1,565	1,46	7,59	0,000	0,552	849,1	2180	1666,1	633	2,632
	ln_DTV	- 0,535	0,000	0,153	- 0,84	- 0,23	0,001						
DTV-Korrektur	(Konstanter Term)	19,937	0,001	6,072	8,04	31,84	0,000	0,547	854,2	2176	1654,8	632	2,618
	ln_DTV	- 2,191	0,001	0,651	- 3,47	- 0,91	0,010						
	DTV_durch_10000	0,527	0,010	0,205	0,13	0,93	0,046						
Endmodell	(Konstanter Term)	26,652	0,000	6,128	14,64	38,66	0,000	0,449	739,3	2129	1372,5	629	2,182
	ln_DTV	- 2,935	0,000	0,657	- 4,22	- 1,65	0,000						
	DTV_durch_10000	0,807	0,000	0,213	0,39	1,22	0,001						
	Anz QN-Wechsel	1,395	0,000	0,254	0,90	1,89	0,000						
	Ant Vzul witterungsbed. oder VBA	- 0,267	0,015	0,110	- 0,48	- 0,05	0,027						
	Ant ÜHV Lkw allg	- 0,493	0,005	0,174	- 0,83	- 0,15	0,005						

^a Schätzung basierend auf der angepassten negativen Binomialverteilung

^b Wald-Test der Koeffizienten

^c Signifikanz der Modelleffekte (basierend auf dem Likelihood-Ratio-Test)

Weitere Einflussgrößen mit positiver Wirkung: Ant Gerade, Anz Wanne auf Gerade, V/A

Weitere Einflussgrößen mit negativer Wirkung: Anz Linksbögen, Anz Übergang Ger-Bo

Teilmodell 16: U(P,SS) – Typ 1 – Trockenheit

FS3 U(P,SS) Typ 1 Trock	Parameter	Koeff. ^a	Sign. ^b	Standard- fehler	95%-K.-Intervall		p ^c	Neg. Bin.-Verteilung			Poisson-Verteilung		
					Min	Max		Vert.- Param.	Pearson- χ^2	AIC	Pearson- χ^2	df	χ^2/df
Nullmodell	(Konstanter Term)	- 1,818	0,000	0,049	- 1,91	- 1,72	-	0,249	691,5	1468	830,6	634	1,310
DTV	(Konstanter Term)	- 5,787	0,001	1,695	- 9,11	- 2,46	0,000	0,075	757,8	1469	806,0	633	1,273
	ln_DTV	0,385	0,019	0,164	0,06	0,71	0,422						
DTV-Korrektur	(Konstanter Term)	- 14,532	0,108	9,033	- 32,24	3,17	0,000	0,069	764,0	1470	808,8	632	1,280
	ln_DTV	1,322	0,170	0,964	- 0,57	3,21	0,017						
	DTV_durch_10000	- 0,293	0,320	0,295	- 0,87	0,29	0,034						

^a Schätzung basierend auf der angepassten negativen Binomialverteilung

^b Wald-Test der Koeffizienten

^c Signifikanz der Modelleffekte (basierend auf dem Likelihood-Ratio-Test)

Weitere Einflussgrößen mit positiver Wirkung:

Weitere Einflussgrößen mit negativer Wirkung:

Teilmodell 17: U(P,SS) – Typ 1 – Bet. 01 Pkw

FS3 U(P,SS) Typ 1 Pkw	Parameter	Koeff. ^a	Sign. ^b	Standard- fehler	95%-K.-Intervall		p ^c	Neg. Bin.-Verteilung			Poisson-Verteilung		
					Min	Max		Vert.- Param.	Pearson- χ^2	AIC	Pearson- χ^2	df	χ^2/df
Nullmodell	(Konstanter Term)	- 0,787	0,000	0,041	- 0,87	- 0,71	-	0,390	791,8	2329	1493,7	634	2,356
DTV	(Konstanter Term)	1,452	0,266	1,307	- 1,11	4,01	0,000	0,381	816,0	2328	1520,5	633	2,402
	In_DTV	- 0,217	0,089	0,128	- 0,47	0,03	0,120						
DTV-Korrektur	(Konstanter Term)	12,649	0,020	5,459	1,95	23,35	0,000	0,377	823,9	2326	1518,8	632	2,403
	In_DTV	- 1,420	0,015	0,585	- 2,57	- 0,27	0,046						
	DTV_durch_10000	0,381	0,038	0,184	0,02	0,74	0,084						
Endmodell	(Konstanter Term)	18,118	0,002	5,803	6,74	29,49	0,000	0,352	767,3	2310	1399,9	630	2,222
	In_DTV	- 2,000	0,001	0,623	- 3,22	- 0,78	0,005						
	DTV_durch_10000	0,590	0,003	0,198	0,20	0,98	0,008						
	Anz Wanne auf Gerade	- 0,576	0,031	0,267	- 1,10	- 0,05	0,050						
	Ant ÜHV Lkw allg oder VBA	- 0,390	0,000	0,096	- 0,58	- 0,20	0,000						

^a Schätzung basierend auf der angepassten negativen Binomialverteilung

^b Wald-Test der Koeffizienten

^c Signifikanz der Modelleffekte (basierend auf dem Likelihood-Ratio-Test)

Weitere Einflussgrößen mit positiver Wirkung: *Kleinster Radius*

Weitere Einflussgrößen mit negativer Wirkung: *Anz QN-Wechsel*

Teilmodell 18: U(P,SS) – Typ 1 – Bet. 01 Pkw – Nässe/Glätte

FS3 U(P,SS) Typ 1 Pkw NaGl	Parameter	Koeff. ^a	Sign. ^b	Standard- fehler	95%-K.-Intervall		p ^c	Neg. Bin.-Verteilung			Poisson-Verteilung		
					Min	Max		Vert.- Param.	Pearson- χ^2	AIC	Pearson- χ^2	df	χ^2/df
Nullmodell	(Konstanter Term)	- 0,976	0,000	0,049	- 1,07	- 0,88	-	0,638	817,9	2198	1729,3	634	2,728
DTV	(Konstanter Term)	1,981	0,210	1,579	- 1,12	5,08	0,000	0,622	860,0	2196	1789,3	633	2,827
	In_DTV	- 0,287	0,064	0,155	- 0,59	0,02	0,088						
DTV-Korrektur	(Konstanter Term)	20,822	0,001	6,120	8,83	32,82	0,000	0,609	875,0	2190	1778,8	632	2,815
	In_DTV	- 2,309	0,000	0,656	- 3,59	- 1,02	0,008						
	DTV_durch_10000	0,636	0,002	0,204	0,24	1,04	0,018						
Endmodell	(Konstanter Term)	25,521	0,000	6,715	12,36	38,68	0,000	0,462	717,9	2116	1378,8	629	2,192
	In_DTV	- 2,711	0,000	0,727	- 4,14	- 1,29	0,001						
	DTV_durch_10000	0,710	0,003	0,235	0,25	1,17	0,007						
	SVA	- 4,728	0,000	1,150	- 6,98	- 2,47	0,000						
	Anz QN-Wechsel	1,349	0,000	0,264	0,83	1,87	0,000						
Ant ÜHV Lkw allg oder VBA	- 0,527	0,000	0,114	- 0,75	- 0,30	0,000							

^a Schätzung basierend auf der angepassten negativen Binomialverteilung

^b Wald-Test der Koeffizienten

^c Signifikanz der Modelleffekte (basierend auf dem Likelihood-Ratio-Test)

Weitere Einflussgrößen mit positiver Wirkung: *Ant Vzwl witterungsbed. oder VBA, Kleinster Radius, Anz Wanne auf Gerade*

Weitere Einflussgrößen mit negativer Wirkung: *Anz Übergang Ger-Bo, Anz Linksbögen*

Teilmodell 19: U(P,SS) – Typ 1 – Bet. 01 Lkw

FS3 U(P,SS) Typ 1 Lkw	Parameter	Koeff. ^a	Sign. ^b	Standard- fehler	95%-K.-Intervall		p ^c	Neg. Bin.-Verteilung			Poisson-Verteilung		
					Min	Max		Vert.- Param.	Pearson- χ^2	AIC	Pearson- χ^2	df	χ^2/df
Nullmodell	(Konstanter Term)	- 2,490	0,000	0,064	- 2,61	- 2,36	-	0,311	585,4	1014	667,7	634	1,053
DTV	(Konstanter Term)	4,735	0,043	2,344	0,14	9,33	0,000	0,268	611,8	1006	684,0	633	1,081
	ln_DTV	- 0,704	0,002	0,229	- 1,15	- 0,25	0,000						
DTV-Korrektur	(Konstanter Term)	- 10,510	0,452	13,959	- 37,87	16,85	0,000	0,252	636,6	1006	708,9	632	1,122
	ln_DTV	0,943	0,533	1,513	- 2,02	3,91	0,000						
	DTV_durch_10000	- 0,556	0,300	0,537	- 1,61	0,50	0,000						
Endmodell	(Konstanter Term)	6,793	0,006	2,474	1,94	11,64	0,000	0,225	600,5	997	662,2	632	1,048
	ln_DTV	- 0,735	0,001	0,230	- 1,18	- 0,29	0,000						
	MW GRI_80 FS 1	- 3,531	0,003	1,209	- 5,90	- 1,16	0,000						

^a Schätzung basierend auf der angepassten negativen Binomialverteilung

^b Wald-Test der Koeffizienten

^c Signifikanz der Modelleffekte (basierend auf dem Likelihood-Ratio-Test)

Weitere Einflussgrößen mit positiver Wirkung: -

Weitere Einflussgrößen mit negativer Wirkung: -

Teilmodell 20: U(P,SS) – Typ 6 Art 3,8,9

FS3 U(P,SS) Typ 6 Art 3,8,9	Parameter	Koeff. ^a	Sign. ^b	Standard- fehler	95%-K.-Intervall		p ^c	Neg. Bin.-Verteilung			Poisson-Verteilung		
					Min	Max		Vert.- Param.	Pearson- χ^2	AIC	Pearson- χ^2	df	χ^2/df
Nullmodell	(Konstanter Term)	- 1,457	0,000	0,041	- 1,54	- 1,38	-	0,188	663,2	1707	808,0	634	1,274
DTV	(Konstanter Term)	- 2,655	0,064	1,432	- 5,46	0,15	0,000	0,185	655,5	1708	795,9	633	1,257
	ln_DTV	0,116	0,405	0,140	- 0,16	0,39	0,402						
DTV-Korrektur	(Konstanter Term)	7,974	0,176	5,887	- 3,56	19,51	0,000	0,184	649,4	1707	788,0	632	1,247
	ln_DTV	- 1,024	0,104	0,631	- 2,26	0,21	0,132						
	DTV_durch_10000	0,359	0,071	0,199	- 0,03	0,75	0,087						

^a Schätzung basierend auf der angepassten negativen Binomialverteilung

^b Wald-Test der Koeffizienten

^c Signifikanz der Modelleffekte (basierend auf dem Likelihood-Ratio-Test)

Weitere Einflussgrößen mit positiver Wirkung: -

Weitere Einflussgrößen mit negativer Wirkung: -

Teilmodell 21: U(P,SS) – Typ 6 Art 3,8,9 – Nässe/Glätte

FS3 U(P,SS) Typ 6 Art 3,8,9 Na/Gl	Parameter	Koeff. ^a	Sign. ^b	Standard- fehler	95%-K.-Intervall		p ^c	Neg. Bin.-Verteilung			Poisson-Verteilung		
					Min	Max		Vert.- Param.	Pearson- χ^2	AIC	Pearson- χ^2	df	χ^2/df
Nullmodell	(Konstanter Term)	- 2,772	0,000	0,074	- 2,92	- 2,63	-	0,356	635,6	854	706,1	634	1,114
DTV	(Konstanter Term)	- 5,139	0,069	2,827	- 10,68	0,40	0,000	0,356	614,7	855	633,0	633	1,083
	In_DTV	0,230	0,403	0,275	- 0,31	0,77	0,068						
DTV-Korrektur	(Konstanter Term)	14,677	0,170	10,684	- 6,26	35,62	0,000	0,353	590,9	854	661,1	632	1,046
	In_DTV	- 1,895	0,097	1,143	- 4,13	0,34	0,097						
	DTV_durch_10000	0,662	0,062	0,355	- 0,03	1,36	0,058						
Endmodell	(Konstanter Term)	23,767	0,028	10,838	2,53	45,01	0,000	0,293	568,9	845	626,9	631	0,993
	In_DTV	- 2,878	0,013	1,158	- 5,15	- 0,61	0,001						
	DTV_durch_10000	1,040	0,004	0,360	0,34	1,75	0,004						
	Ant ÜHV Lkw allg oder VBA	- 0,644	0,001	0,200	- 1,04	- 0,25	0,001						

^a Schätzung basierend auf der angepassten negativen Binomialverteilung

^b Wald-Test der Koeffizienten

^c Signifikanz der Modelleffekte (basierend auf dem Likelihood-Ratio-Test)

Weitere Einflussgrößen mit positiver Wirkung: -

Weitere Einflussgrößen mit negativer Wirkung: -

Teilmodell 22: U(P,SS) – Typ 6 Art 3,8,9 – Trockenheit

FS3 U(P,SS) Typ 6 Art 3,8,9 Trock	Parameter	Koeff. ^a	Sign. ^b	Standard- fehler	95%-K.-Intervall		p ^c	Neg. Bin.-Verteilung			Poisson-Verteilung		
					Min	Max		Vert.- Param.	Pearson- χ^2	AIC	Pearson- χ^2	df	χ^2/df
Nullmodell	(Konstanter Term)												
DTV	(Konstanter Term)												
	In_DTV												
DTV-Korrektur	(Konstanter Term)												
	In_DTV												
	DTV_durch_10000												

^a Schätzung basierend auf der angepassten negativen Binomialverteilung

^b Wald-Test der Koeffizienten

^c Signifikanz der Modelleffekte (basierend auf dem Likelihood-Ratio-Test)

Weitere Einflussgrößen mit positiver Wirkung: -

Weitere Einflussgrößen mit negativer Wirkung: -

Teilmodell 23: U(P,SS) – Typ 6 Art 3,8,9 – Bet. 01 Pkw

FS3 U(P,SS) Typ 6 Art 3,8,9 Pkw	Parameter	Koeff. ^a	Sign. ^b	Standard- fehler	95%-K.-Intervall		p ^c	Neg. Bin.-Verteilung			Poisson-Verteilung		
					Min	Max		Vert.- Param.	Pearson- χ^2	AIC	Pearson- χ^2	df	χ^2/df
Nullmodell	(Konstanter Term)	- 1,709	0,000	0,046	- 1,80	- 1,62	-	0,221	677,4	1529	812,4	634	1,281
DTV	(Konstanter Term)	- 3,196	0,052	1,647	- 6,42	0,03	0,000	0,216	667,7	1530	796,8	633	1,259
	In_DTV	0,144	0,368	0,160	- 0,17	0,46	0,358						
DTV-Korrektur	(Konstanter Term)	8,787	0,188	6,677	- 4,30	21,87	0,000	0,214	661,9	1529	789,1	632	1,249
	In_DTV	- 1,141	0,110	0,714	- 2,54	0,26	0,138						
	DTV_durch_10000	0,404	0,070	0,223	- 0,03	0,84	0,089						

^a Schätzung basierend auf der angepassten negativen Binomialverteilung

^b Wald-Test der Koeffizienten

^c Signifikanz der Modelleffekte (basierend auf dem Likelihood-Ratio-Test)

Weitere Einflussgrößen mit positiver Wirkung: -

Weitere Einflussgrößen mit negativer Wirkung: -

Teilmodell 24: U(P,SS) – Typ 6 Art 3,8,9 – Bet. 01 Pkw – Nässe/Glätte

FS3 U(P,SS) Typ 6 Art 3,8,9 Pkw Na/GI	Parameter	Koeff. ^a	Sign. ^b	Standard- fehler	95%-K.-Intervall		p ^c	Neg. Bin.-Verteilung			Poisson-Verteilung		
					Min	Max		Vert.- Param.	Pearson- χ^2	AIC	Pearson- χ^2	df	χ^2/df
Nullmodell	(Konstanter Term)	- 2,756	0,000	0,074	- 2,90	- 2,61	-	0,422	527,4	847	607,3	634	0,958
DTV	(Konstanter Term)	10,230	0,000	2,594	5,15	15,31	0,000	0,276	577,8	825	629,9	633	0,995
	ln_DTV	- 1,268	0,000	0,255	- 1,77	- 0,77	0,000						
DTV-Korrektur	(Konstanter Term)	1,752	0,910	15,477	- 28,58	32,09	0,000	0,262	631,0	826	673,4	632	1,066
	ln_DTV	- 0,349	0,836	1,683	- 3,65	2,95	0,803						
	DTV_durch_10000	- 0,322	0,599	0,612	- 1,52	0,88	0,495						
	(Konstanter Term)	12,133	0,000	2,748	6,75	17,52	0,000	0,250	559,8	820	608,7	632	0,963
	ln_DTV	- 1,307	0,000	0,256	- 1,81	- 0,80	0,000						
	MW GRI_80 FS 1	- 3,053	0,016	1,267	- 5,54	- 0,57	0,008						

^a Schätzung basierend auf der angepassten negativen Binomialverteilung

^b Wald-Test der Koeffizienten

^c Signifikanz der Modelleffekte (basierend auf dem Likelihood-Ratio-Test)

Weitere Einflussgrößen mit positiver Wirkung: -

Weitere Einflussgrößen mit negativer Wirkung: SVA

Anhang 9 Ergänzende Tabellen und Diagramme zur deskriptiven Unfallanalyse

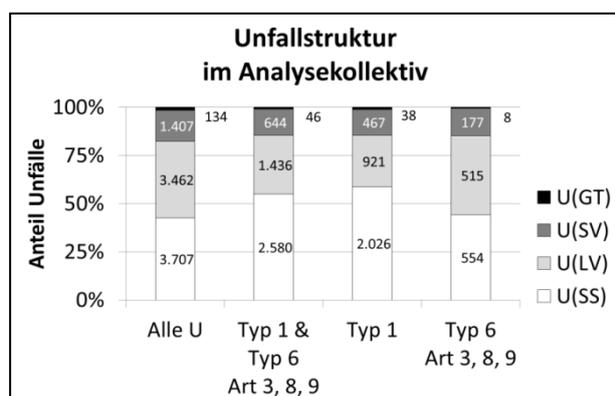


Abbildung 52: Unfallstruktur in den Streckenabschnitten des Analysekollektivs

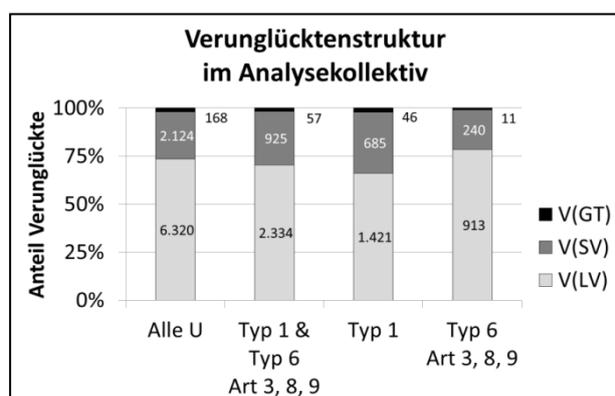


Abbildung 53: Verunglücktenstruktur in den Streckenabschnitten des Analysekollektivs

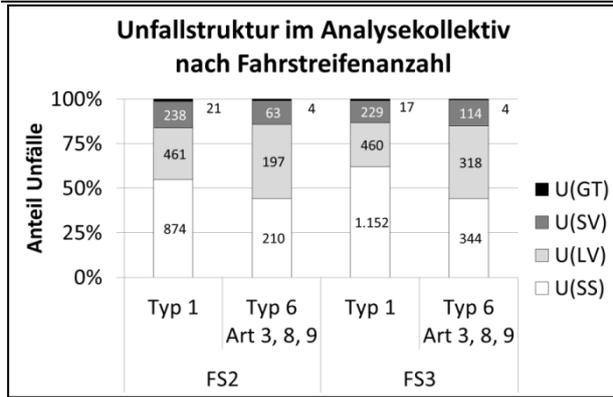


Abbildung 54: Unfallstruktur im Analysekollektiv nach Fahrstreifen je Richtung

Tabelle 29: Übersicht der berechneten Unfallkenngrößen für an das Analysekollektiv angrenzende, durchgehende Hauptfahrbahnen in Knotenpunktbereichen

Knotenpunktbereiche: Unfallkollektiv U(P,SS)				Unfalldichte		Unfallrate		Unfallkostendichte		Unfallkostenrate		
				[U/km*a]		[U/10 ⁶ Kfz*km*a]		[1000€/km*a]		[€/1000Kfz*km*a]		
Unfalltyp	Fahrzeugtyp	Fahrbahnzustand	Zeitraum	FS2_KP	FS3_KP	FS2_KP	FS3_KP	FS2_KP	FS3_KP	FS2_KP	FS3_KP	
Alle	Alle	Alle	Alle	0,90	2,13	0,135	0,171	65,0	130,7	9,8	10,5	
1 & 6 Art 3,8,9	Alle	Alle	Alle	0,47	1,18	0,070	0,095	28,4	61,1	4,3	4,9	
1	Alle	Alle	Alle	0,35	0,85	0,053	0,069	22,6	47,9	3,4	3,9	
		Nässe/Glätte ¹	Alle	0,98	2,40	0,147	0,193	51,7	106,8	7,8	8,6	
		Trockenheit ¹	Alle	0,14	0,34	0,022	0,027	10,0	22,8	1,5	1,8	
	Pkw ⁴	Alle	Alle	0,30	0,76	0,054	0,074	15,1	37,7	2,8	3,7	
	Lkw ⁴	Alle	Alle	0,04	0,08	0,033	0,034	2,9	4,6	2,5	2,1	
	Alle	Alle	HVZ ²	Alle	0,46	1,16	0,044	0,059	29,0	57,3	2,8	2,9
		Alle	NVZ ³	Alle	0,32	0,76	0,058	0,074	17,8	39,5	3,3	3,9
	Pkw ⁴	Nässe/Glätte ¹	Alle	Alle	0,88	2,18	0,132	0,175	42,7	94,1	6,4	7,6
		Trockenheit ¹	Alle	Alle	0,10	0,28	0,015	0,023	5,9	18,9	0,9	1,5
		Alle	HVZ ²	Alle	0,40	1,08	0,038	0,055	21,8	51,3	2,1	2,6
Alle		NVZ ³	Alle	0,26	0,66	0,048	0,064	13,0	33,4	2,4	3,3	
6 Art 3,8,9	Alle	Alle	Alle	0,11	0,33	0,017	0,026	5,7	13,1	0,9	1,1	
		Nässe/Glätte ¹	Alle	0,11	0,29	0,017	0,024	5,6	9,6	0,8	0,8	
		Trockenheit ¹	Alle	0,11	0,34	0,017	0,027	5,7	14,3	0,9	1,2	
	Pkw	Alle	Alle	0,10	0,24	0,014	0,020	5,1	10,1	0,8	0,8	
	Lkw	Alle	Alle	Alle	0,02	0,08	0,002	0,007	0,6	2,9	0,1	0,2
		Alle	HVZ ²	Alle	0,14	0,47	0,013	0,024	7,3	21,5	0,7	1,1
	Alle	Alle	NVZ ³	Alle	0,10	0,28	0,019	0,028	5,2	10,5	0,9	1,0
		Nässe/Glätte ¹	Alle	Alle	0,10	0,22	0,004	0,004	5,4	7,2	0,2	0,1
	Pkw	Trockenheit ¹	Alle	Alle	0,09	0,25	0,010	0,015	5,0	11,1	0,6	0,7
		Alle	HVZ ²	Alle	0,13	0,32	0,005	0,006	7,1	15,9	0,3	0,3
Alle		NVZ ³	Alle	0,08	0,22	0,010	0,013	4,5	8,3	0,5	0,5	

HVZ = Hauptverkehrszeit, NVZ = Nebenverkehrszeit

¹ Annahme: Zeitanteil mit Nässe/Glätte beträgt 25 %, Zeitanteil mit Trockenheit beträgt 75 %

² Annahme: Zeitanteil der HVZ beträgt 25 %, Verkehrsstärke in HVZ liegt ca. 58 % über dem DTV

³ Annahme: Zeitanteil der NVZ beträgt 75 %, Verkehrsstärke in NVZ liegt ca. 18 % unter dem DTV

⁴ Annahme bei Unfall(kosten)raten des Unfalltyps 1: Berücksichtigung des DTVLV bei Pkw-Unfällen bzw. des DTVSV bei Lkw-Unfällen