

# **Straßenbepflanzung und Verkehrssicherheit**

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

**Verkehrstechnik Heft V 349**

**bast**

# **Straßenbepflanzung und Verkehrssicherheit**

**Ermittlung unfallbeeinflussender  
Merkmale auf Basis empirischer  
Modelle unter besonderer  
Berücksichtigung der Bepflanzung  
im Seitenraum an Landstraßen**

von

Benjamin Schreck-von Below

Bundesanstalt für Straßenwesen  
Bergisch Gladbach

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 349

**bast**

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

- A - Allgemeines
- B - Brücken- und Ingenieurbau
- F - Fahrzeugtechnik
- M - Mensch und Sicherheit
- S - Straßenbau
- V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Kommunikation.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt bei der Carl Ed. Schünemann KG, Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen, Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in der Regel in Kurzform im Informationsdienst **Forschung kompakt** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos angeboten; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Kommunikation.

Die **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)** stehen zum Teil als kostenfreier Download im elektronischen BASt-Archiv ELBA zur Verfügung.  
<https://bast.opus.hbz-nrw.de>

## **Impressum**

### **Bericht zum Forschungsprojekt 6114015**

Modelle für die Verkehrssicherheit von Landstraßenabschnitten unter besonderer Berücksichtigung der Seitenraumgestaltung

Hinweis: Der vorliegende Bericht ist inhaltlich gleichzeitig die Dissertationsschrift des Autors an der Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“ der Technischen Universität Dresden.

### **Referat**

Straßenentwurf, Verkehrsablauf, Verkehrsregelung; Sicherheitskonzeptionen, Sicherheitskommunikation

### **Herausgeber**

Bundesanstalt für Straßenwesen  
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach  
Telefon: (0 22 04) 43 - 0

### **Redaktion**

Stabsstelle Presse und Kommunikation

### **Druck und Verlag**

Fachverlag NW in der  
Carl Ed. Schünemann KG  
Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen  
Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53  
Telefax: (04 21) 3 69 03 - 48  
[www.schuenemann-verlag.de](http://www.schuenemann-verlag.de)

ISSN 0943-9331

ISBN 978-3-95606-617-7

Bergisch Gladbach, Oktober 2021

## Kurzfassung – Abstract

### **Straßenbepflanzung und Verkehrssicherheit – Ermittlung unfallbeeinflussender Merkmale auf Basis empirischer Modelle unter besonderer Berücksichtigung der Bepflanzung im Seitenraum an Landstraßen**

Landstraßen in Deutschland weisen im Vergleich zu Autobahnen eine große Gesamtlänge und einen hohen Netzanteil auf. Dazu kommt eine große Vielfalt der Straßenbepflanzung im Seitenraum, die von einseitigen und zweiseitigen Baumreihen, Baumgruppen, Alleen, Waldbereichen, Einzelbäumen, Sträuchern, Feldhecken bis zu Feld- und Wiesenflächen reicht. Die Verkehrssicherheit auf Landstraßen steht hinsichtlich der Unfallfolgen in engem Zusammenhang mit der Bepflanzung. Die Unfälle mit einem Aufprall auf einen Baum neben der Fahrbahn sind durch eine besonders hohe Unfallschwere gekennzeichnet.

Das Ziel dieser Arbeit ist es, auf Basis empirischer Modelle mit einem Ansatz der Bayes-Inferenz die unfallbeeinflussenden Merkmale unter besonderer Berücksichtigung der Straßenbepflanzung im Seitenraum zu ermitteln und dabei das methodische Vorgehen für dieses empirische Bayes-Modell zu entwickeln und zu validieren. Der entwickelte Ablauf zur Erstellung der Unfallmodelle leistet einen Beitrag zur Erweiterung der Verfahren und Methoden der Sicherheitsuntersuchungen im Straßenwesen.

Vielen der bisherigen Sicherheitsuntersuchungen liegen monokausale Analysemethoden zugrunde. Es zeigt sich, dass ein wissenschaftlicher Nachweis auf der Grundlage von monokausalen Unfallanalysen nur unzureichend möglich ist. Die Erkenntnislücken bei den Zusammenhängen der verschiedenen Typen sowie weiterer Merkmale der Straßenbepflanzung mit dem Unfallgeschehen bildeten den Schwerpunkt der Untersuchung. Damit sollten weitergehende qualitative Aussagen und Abschätzungen über die Verkehrssicherheit und quantitative Abschätzungen des Unfallgeschehens in Abhängigkeit von möglichen Einflussmerkmalen abgeleitet werden.

Mit den entwickelten Unfallvorhersagemodellen sollen genauere Risikobewertungen von Landstraßenabschnitten vorgenommen werden. Das Ziel ist die Verbesserung der Verkehrssicherheit mit gezielt wirksamen Maßnahmen sowie der gleichzeitige

Schutz der Verkehrsteilnehmer und der Straßenbepflanzung.

Die Analyse der Einzeldaten der amtlichen Straßenverkehrsunfallstatistik zeigte, dass die Unfallschwere im Zusammenhang mit einem Hindernisaufprall 5-mal höher, bei einem Baumaufprall 8-mal höher und bei einem Schutzplankenaufprall 3-mal höher ist als ohne Aufprall. Die Auswertung der detaillierten Daten von Straßenverkehrsunfällen (In-Depth Study) brachte neueste Erkenntnisse zur Unfallentstehung und deren Randbedingungen. In dieser Auswertung zeigten sich zahlreiche signifikante Zusammenhänge, wie z. B. zwischen den jeweiligen Unfallabläufen und der Deformationstiefe am Fahrzeug sowie zwischen dem Durchmesser des Baumes und der höchsten Verletzungsschwere der Personen im Fahrzeug.

Auf Basis eines umfangreichen und detaillierten Datensatzes mit über 2.600 fahrestreifenbezogenen Abschnitten und knapp 3.000 km Gesamtlänge standen einbahnige, zweistreifige Landstraßen außerhalb von Netzknoten im Fokus der Untersuchung. Die differenzierten Unfallmodelle zeigten, dass die Allee und der Waldbereich besonders unfallauffällige Bepflanzungstypen sind. Baumreihen, Waldmantel und Einzelbäume sind ebenfalls auffällig. Es konnte gezeigt werden, dass es einen deutlichen Zusammenhang zwischen der fahrlleistungsbezogenen Häufigkeit von amtlich registrierten Fahrnfällen mit Abkommen von der Fahrbahn und der Straßenbepflanzung gibt. Maßgebliche und signifikante unfallbeeinflussende Entwurfs-elemente auf Fahrnfälle mit Abkommen von der Fahrbahn sind insbesondere Singularitäten (Kurvenradius unter 200 m einschließlich Mindestlänge von 50 m), aber auch Kurvenradien von 200 bis 400 m sowie Relationstrassierungen benachbarter Elemente des Lageplans im „zu vermeidenden Bereich“ oder „brauchbaren Bereich“ nach den Richtlinien für die Anlage von Landstraßen 2012. In Bezug auf die Unfallohäufigkeit mit Aufprall auf einen Baum hat sich gezeigt, dass mit steigendem Anteil der Straßenbepflanzung Allee und Waldbereich sich die Unfallohäufigkeit deutlich erhöht. Die Baumreihe sowie die Kombination Baumreihe und Allee erhöhen mit einem mittleren bis sehr hohen Einfluss die Unfallohäufigkeit.

Die Ergebnisse stellen Grundlagen für die Überarbeitung der technischen Regelwerke, wie z. B. des Handbuchs für die Bewertung der Verkehrssicherheit von Straßen, des Merkblatts „Bäume an Stra-

ßen“ und für den Leitfaden bzw. die Entwicklung von Sonderlösungen zum Baum- und Objektschutz an Landstraßen dar.

### **Roadside planting and road safety – Determination of characteristics influencing accidents on the basis of empirical models with special consideration of planting on rural road verge**

Compared to motorways, rural roads in Germany have a large total length and account for a high proportion of the network. In addition, there is a great variety of roadside planting, ranging from rows of trees on one side or both sides, groups of trees, avenues, wooded areas, individual trees, shrubs, field hedges to fields and meadows. Rural road safety is closely related to planting in terms of accident consequences. Collisions with a tree next to the roadway are characterised by a particularly high accident severity.

The aim of this work is to determine the characteristics influencing accidents on the basis of empirical models using a Bayesian inference approach, with special consideration of roadside planting, and to develop and validate the methodological procedure for this empirical Bayesian model in the process. The procedure developed for the creation of the accident models contributes to extending the procedures and methods of safety investigations in the road sector.

Many of the safety investigations to date are based on monocausal analysis methods. It has been shown that scientific proof based on monocausal accident analyses is only insufficiently possible. The gaps in our knowledge of the correlations between the different types and other characteristics of roadside planting and accident occurrence formed the focus of the study. The aim was to derive further qualitative statements and road safety estimates as well as quantitative estimates of accident occurrence depending on possible influencing characteristics.

With the developed accident prediction models, more accurate risk assessments of rural road sections are to be carried out. The aim is to improve road safety by implementing targeted, effective measures while protecting both road users and roadside planting.

The analysis of the individual data of the official road traffic accident statistics showed that the

accident severity is 5 times higher in collisions with a fixed obstacle, 8 times higher in collisions with a tree and 3 times higher in collisions with a crash barrier than without such impacts. The evaluation of detailed data from road traffic accidents (In-Depth Study) provided the latest findings on accident causation and its boundary conditions. This evaluation revealed numerous significant correlations, such as between the respective accident sequences and the depth of vehicle deformation as well as between the diameter of the tree and the highest injury severity of the vehicle occupants.

Based on an extensive and detailed data set with over 2,600 lane-related sections and almost 3,000 km total length, the focus of the investigation was on single carriageway with two-lanes outside of network junctions. The differentiated accident models showed that the avenue and the forest area are particularly accident-prone plantation types. Tree rows, forest mantles and individual trees are also conspicuous. It was shown that there is a clear correlation between the mileage-related frequency of officially recorded run-off-road accidents and roadside planting. Decisive and significant design elements influencing accidents caused by driving off the carriageway are, in particular, singularities (curve radius less than 200 m including minimum length of 50 m), but also curve radii of 200 to 400 m as well as relative alignments of neighbouring elements of the site plan in the „area to be avoided“ or „usable area“ according to the guidelines for the Design of Rural Roads 2012. With regard to collisions with a tree, it has been shown that the accident frequency increases significantly as the proportion of roadside planting of avenues and wooded areas increases. Row of trees as well as the combination of row of trees and avenue lead to medium to very high increases in accident frequency.

These results form the basis for the revision of technical regulations, such as the manual for the assessment of road safety, the recommendations „Roadside Trees“ and for the recommendations of special solutions for tree and object protection on rural roads.

## Inhalt

<b>Abkürzungen</b> .....	7	<b>3 Verfahren und Methoden der Unfalluntersuchungen im Straßenwesen</b> .....	39
<b>1 Einleitung</b> .....	11	3.1 Klassische Sicherheitsverfahren .....	39
1.1 Ausgangssituation.....	11	3.2 Weitere Verfahrensansätze und Basis der Modellerstellung .....	40
1.2 Fragestellungen.....	12	3.3 Grundlagen der Bayes-Statistik.....	44
1.3 Vorgehen, Ziele und Abgrenzung der Arbeit.....	12	3.3.1 Unterschiede zu klassischen Verfahren.....	44
<b>2 Erkenntnisstand zu Verkehrssicherheit und Fahrverhalten auf Strecken mit Straßenbepflanzung</b> .....	14	3.3.2 Anwendung von Bayes-Ansätzen in Sicherheitsanalysen .....	45
2.1 Allgemein.....	14	3.4 Zusammenfassung und Folgerungen für die Untersuchung .....	48
2.2 Typen der Straßenbepflanzung .....	16	<b>4 Gesamtunfallgeschehen</b> .....	49
2.3 Netz-, Regional- und Gebietsmerkmale ....	17	4.1 Analyseziel und Datenbasis .....	49
2.4 Knotenpunkte und deren Einflussbereiche, Abschnittsteilung .....	18	4.2 Allgemein.....	50
2.5 Straßenentwurf und Bepflanzung.....	19	4.3 Unfallhergang .....	51
2.5.1 Mitwirkende Faktoren bei Unfällen mit Abkommen von der Fahrbahn.....	19	4.4 Hauptunfallszenarien auf Landstraßen .....	52
2.5.2 Studien mit dem Schwerpunkt Bepflanzung und Unfallgeschehen .....	20	4.5 Ohne und mit Aufprall auf ein Hindernis .....	54
2.5.3 Merkmale der Bepflanzung in Vorgaben ...	24	4.6 Analyse von Unfallkonstellationen.....	56
2.6 Verhaltensmerkmale und Bepflanzung.....	27	4.6.1 Ermittlung und Einordnung.....	56
2.6.1 Studien mit dem Schwerpunkt Geschwindigkeiten .....	27	4.6.2 Beschreibung der Konstellationen und Analyse der Unterschiede .....	58
2.6.2 Studien mit dem Schwerpunkt Orientierung, Blickverhalten und weitere physiologische, psychologische Einflüsse .....	31	4.6.3 Generelle Zusammenhänge.....	62
2.7 Kraftfahrzeugbezogene Einflüsse .....	34	4.6.4 Analyse des dreistelligen Unfalltypencodes.....	63
2.8 Zusammenfassung.....	35	4.6.5 Straßennetz (Straßenklasse und Bundesland) .....	65
2.8.1 Unfallentstehung bis Schadensereignis.....	35	4.6.6 Charakteristik der Unfallstelle, zeitliche Verteilung und weitere infrastrukturelle Unfallumstände.....	69
2.8.2 Straßenbepflanzung und Unfallgeschehen.....	37	4.6.7 Unfallursachen, Verhalten und Personencharakteristik.....	72
2.9 Schlussfolgerungen für die Untersuchung .....	37	4.7 Zusammenfassung.....	74
		4.8 Folgerungen .....	77

<b>5</b>	<b>Datenaufbereitung und Analysen</b> .....	79	<b>Literatur</b> .....	135
5.1	Datengrundlagen .....	80	<b>Abbildungen</b> .....	155
5.2	Auswahl der Netzknotenabschnitte .....	81	<b>Tabellen</b> .....	156
5.3	Merkmale und weitere Parameter .....	83		
5.4	Teilung der Abschnitte .....	85	Der Anhang zum Bericht ist im elektronischen BAST-Archiv ELBA unter <a href="https://bast.opus.hbz-nrw.de">https://bast.opus.hbz-nrw.de</a> abrufbar.	
5.4.1	Netzknotenbereich und freie Streckenabschnitte .....	85		
5.4.2	Freie Streckenabschnitte und gleichartige Abschnitte .....	86		
5.5	Deskriptive Analysen .....	89		
5.5.1	Sicherheitsbewertung (Datenbank I) .....	89		
5.5.2	Unfallentstehung und Verletzungsschweren (Datenbank II) .....	96		
5.5.3	Sichtweiten (Datenbank II) .....	101		
5.5.4	Zusammenfassung .....	102		
<b>6</b>	<b>Methodik und Ergebnisse der Unfallmodelle</b> .....	103		
6.1	Verfahrensablauf .....	103		
6.1.1	Grundmodell .....	104		
6.1.2	EB-Teilmodelle .....	105		
6.2	Selektion der Merkmale nach Teilmodellen .....	107		
6.3	Modellerkenntnisse und Diskussion .....	110		
6.3.1	Exposition .....	110		
6.3.2	Lageplan, Elementfolgen und Höhenplan .....	113		
6.3.3	Querschnitt und Gebietsmerkmal .....	117		
6.3.4	Straßenbepflanzung .....	118		
6.3.5	Zusammenfassung der unfallbeeinflussenden Merkmale .....	124		
6.3.6	Allgemeine und methodische Aspekte ....	126		
6.4	Validierung der Teilmodelle .....	127		
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b> .....	132		

## Abkürzungen

AADT	Annual Average Daily Traffic (Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke)	Cooks D	Cook-Distanz
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials	DDR	Deutsche Demokratische Republik
ADAC	Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e. V.	DE	Bundesrepublik Deutschland
APM	Accident Prediction Model (Unfallvorhersagemodell)	DEKRA	Deutscher Kraftfahrzeug-Überwachungsverein e. V.
ARS	Allgemeines Rundschreiben Straßenbau	Destatis	Statistisches Bundesamt
ASB	Anweisung Straßeninformationsbank	DIN VDE	Deutsches Institut für Normung Verband deutscher Elektrotechnik
ASTRA	Bundesamt für Straßen (Schweiz)	DTV	Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke [Kfz/24 h]
BAB	Bundesautobahn	E( $\lambda$ )	Erwartete Anzahl an Unfällen
BASt	Bundesanstalt für Straßenwesen	e. V.	Eingetragener Verein
BB	Brandenburg	EB	Empirische Bayes
BBSR	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung	EG	Europäische Gemeinschaft
BE	Berlin	EKL	Entwurfsklasse für Landstraße
bfu	Beratungsstelle für Unfallverhütung (Schweiz)	EP	Europäisches Parlament
BMV	Bundesministerium für Verkehr (historisch)	ESAB	Empfehlungen zum Schutz vor Unfällen mit Aufprall auf Bäume
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (historisch)	ESLa	Empfehlungen für die Einbindung von Straßen in die Landschaft
BMVBW	Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (historisch)	ESN	Empfehlungen für die Sicherheitsanalyse von Straßennetzen
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur	ESP	Fahrdynamikregelungen
BN	Bayes-Netze	EU	Europäische Union
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz	Euro NCAP	European New Car Assessment Programme
BT	Deutscher Bundestag	FB	Full Bayes (volle Bayes-Ansatz)
BW	Baden-Württemberg	FE	Forschung und Entwicklung
BY	Bayern	FGS	Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen e. V. (historisch)
CMF	Crash Modification Factors (Unfallmodifikationsfaktoren)	FGSV	Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V.
		FHWA	Federal Highway Administration

FLL	Forschungsgesellschaft Landschafts-entwicklung Landschaftsbau e. V.	MKULNV	Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen
GIDAS	German In-Depth Accident Study		
Gkz	Güterkraftfahrzeug	MLA	Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Landes Brandenburg
GLM	Generalized Linear Model (verallgemeinerte lineare Modelle)	MLUR	Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung Landes Brandenburg
GLMM	Generalized Linear Mixed Model (verallgemeinertes lineares gemischtes Modell)	MSWV	Ministerium für Stadtentwicklung, Wohnen und Verkehr Brandenburg
GT	Getötete		
gUKR	Grundunfallkostenrate	MV	Mecklenburg-Vorpommern
H Uks	Hinweise zu Unfallkostensätzen	MVM	Ministerium für Energie, Infrastruktur und Landesentwicklung Brandenburg
HB	Bremen		
HB-Modelle	Hierarchische Bayes-Modelle	MVMot	Merkblatt zur Verbesserung der Verkehrssicherheit auf Motorradstrecken
HE	Hessen		
HH	Hamburg	MVPLN	Multivariate Poisson-Lognormal Regression
HNL-StB	Hinweise zur Berücksichtigung des Naturschutzes und der Landschaftspflege beim Bundesfernstraßenbau	N	Grundgesamtheit
		n	Stichprobenumfang
HSM	Highway Safety Manual	Nds. MW	Niedersächsisches Ministerium für Wirtschaft, Arbeit, Verkehr und Digitalisierung
HVS	Handbuch für die Bewertung der Verkehrssicherheit von Straßen (Arbeitstitel)	n. e.	nicht ermittelt
HW	Hebelwert	NI	Niedersachsen
KI	Konfidenzintervall	NKA	Netzknottenabschnitt
LBV	Landesamt für Bauen, Verkehr und Straßenwesen Brandenburg	NKB	Netzknottenbereich
		NW	Nordrhein-Westfalen
LSA	Lichtsignalanlage	p	Signifikanz
LV	Leichtverletzte	Pkw	Personenkraftwagen
M Uko	Merkblatt zur Örtlichen Unfalluntersuchung in Unfallkommissionen	QGIS®	Open Source Geospatial Foundation Projekt
MAIS	Maximum Abbreviated Injury Scale	r	Korrelationskoeffizient
MA-StB	Merkblatt Allelen	R <sup>2</sup>	Bestimmtheitsmaß
MCMC	Markov-Chain-Monte-Carlo	RAL	Richtlinien für die Anlage von Landstraßen
MI	Ministerium des Innern Brandenburg		
MIL	Ministerium für Stadtentwicklung, Wohnen und Verkehr Brandenburg	RAL-L	Richtlinien für die Anlage von Landstraßen – Teil: Linienführung

RAL-Q	Richtlinien für die Anlage von Landstraßen – Teil: Querschnitte	TU	Technische Universität
		U(GT)	Unfall mit Getöteten
RAS-LG	Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil: Landschaftsgestaltung	U(LS)	Sonstiger Unfall mit Sachschaden
RAS-LP	Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil: Landschaftspflege	U(LV)	Unfall mit Leichtverletzten
		U(P)	Unfall mit Personenschaden
RAS-Q	Richtlinien für die Anlage von Straßen – Teil: Querschnitte	U(P,SS)	Unfall mit Personenschaden und schwerwiegender Unfall mit Sachschaden
RAT EU	Rat der Europäischen Union		
RIN	Richtlinien für integrierte Netzgestaltung	U(SP)	Unfall mit schwerem Personenschaden = U(GT) + U(SV)
RISER	Roadside Infrastructure for Safer European Roads	U(SS)	Schwerwiegender Unfall mit Sachschaden
RLBP	Richtlinien für die landschaftspflegerische Begleitplanung im Straßenbau	U(SV)	Unfall mit Schwerverletzten
RP	Rheinland-Pfalz	U <sub>Baum</sub>	Unfall mit Aufprall auf einen Baum neben der Fahrbahn
RPS	Richtlinien für passiven Schutz an Straßen durch Fahrzeug-Rückhaltesysteme	U <sub>FaAb</sub>	Fahrerunfälle mit Abkommen von der Fahrbahn nach links und rechts
RQ	Regelquerschnitt	U <sub>FaAb-Baum</sub>	Fahrerunfälle mit Abkommen von der Fahrbahn nach links und rechts mit Aufprall auf einen Baum
SH	Schleswig-Holstein		
SIB	Straßeninformationsbank	U <sub>FR</sub>	Unfall pro (Fahrt-)Richtung
SL	Saarland	UD	Unfalldichte
SN	Sachsen	UD <sub>FR</sub>	Unfalldichte pro (Fahrt-)Richtung
SP	Schwerer Personenschaden = GT + SV	UHL	Unfallhäufungslinien
		UHS	Unfallhäufungsstelle
SPF	Safety Performance Function (Unfallhäufigkeitsfunktion)	UK	Unfallkategorie
ST	Sachsen-Anhalt	UKD <sub>FR</sub>	Unfallkostendichte pro (Fahrt-)Richtung
StVO	Straßenverkehrs-Ordnung	UKR <sub>FR</sub>	Unfallkostenrate pro (Fahrt-)Richtung
StVUnfStatG	Straßenverkehrsunfallstatistikgesetz	UR <sub>FR</sub>	Unfallrate pro (Fahrt-)Richtung
SV	Schwerverletzte	USA	Vereinigte Staaten von Amerika
SWOV	Institute for Road Safety Research (Niederlande)	v <sub>0</sub>	Ausgangsgeschwindigkeit [km/h]
TH	Thüringen	v <sub>85</sub>	Geschwindigkeit [km/h], welche von 85 % der Fahrzeuge nicht überschritten wird
TRB	Transportation Research Board		
Tsd.	Tausend	v <sub>K</sub>	Kollisionsgeschwindigkeit [km/h]

$v_{zul.}$	Zulässige Höchstgeschwindigkeit [km/h]
VUFO	Verkehrsunfallforschung an der TU Dresden GmbH
VZ	Verkehrszeichen
ZEB	Zustandserfassung und -bewertung
ZIP	Zero-inflated Poisson
zUKR	Zuschlag für Abweichung (zur Grund- unfallkostenrate)

# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangssituation

Die Verkehrssicherheit auf Landstraßen steht hinsichtlich der Unfallfolgen in engem Zusammenhang mit der Straßenbepflanzung<sup>1</sup> im Seitenraum. Im Jahr 2019 wurden auf Deutschlands Straßen 3.046 Verkehrsteilnehmer<sup>2</sup> im Straßenverkehr getötet. 793 Getötete und 8.658 Schwerverletzte wurden auf Landstraßen bei einem Unfall mit einem Aufprall auf ein Hindernis neben der Fahrbahn amtlich registriert. 55 % der Getöteten und 39 % der Schwerverletzten davon waren auf einen Baum geprallt (Destatis 2020). Diese Unfälle sind durch eine besonders hohe Unfallschwere gekennzeichnet. Vier von fünf Unfällen mit Getöteten bei einem Aufprall an einen Baum auf Landstraßen waren Unfälle ohne fremde Beteiligung (Alleinunfälle). Bei denen hatte der Fahrer oder die Fahrerin zuvor die Kontrolle über das Fahrzeug verloren (Heinrich et al. 2010).

Landstraßen in Deutschland weisen im Vergleich zu Autobahnen eine große Gesamtlänge und einen hohen Netzanteil auf. Deren Gesamtnetzlänge<sup>3</sup> von ca. 166.000 km sind nach den Angaben der Straßenbaulastträger zu einem Fünftel Bundesstraßen und zu jeweils rund zwei Fünfteln Landes- bzw. Staatsstraßen und Kreisstraßen (BMVI 2019). Landstraßen bilden ein sehr heterogenes Netz mit sehr unterschiedlich gewachsenen Netzbedeutungen und Verkehrsbelastungen. Durch die historische Entwicklung der Entwurfsvorgaben ist weiterhin eine Inhomogenität in der Ausbildung der Straßenquerschnitte und -knotenpunkte zu erkennen. Dazu kommt eine große Vielfalt der Straßenbepflanzung, die von einseitigen und zweiseitigen Baumreihen, Baumgruppen, Alleen, Waldbereichen, Einzelbäumen, Sträuchern, Feldhecken bis zu Feld- und Wiesenflächen reicht. Die Bepflanzung an Straßen hat eine wechselhafte Geschichte und

Entwicklung vollzogen. Sie wird je nach Bundesland und Typ der Bepflanzung als regionales Natur- und Kulturerbe, Landschaftsbestandteil sowie als wichtiger Teil des Biotopschutzes angesehen und durch Neu- und Nachpflanzungen gefördert.

Die Sicherheitsforschung hat im Bereich der außerörtlichen Straßenbepflanzung insbesondere aufgrund des hohen Unfallanteils und der hohen Unfallschwere einen besonderen Stellenwert. Dabei zeigen die in der Literatur dokumentierten Sicherheitsuntersuchungen unterschiedliche und zum Teil nur tendenzielle Aussagen zum Einfluss der Straßenraumgestaltung und der Bepflanzung auf die Verkehrssicherheit. Die Unterschiede liegen oft in der Analysemethoden selbst begründet. Im Gegensatz zu den in der Vergangenheit oft verwendeten monokausalen und rein deskriptiven Analysemethoden von Merkmalen (z. B. von Lippold & Schulz 2009 ohne Nachweis eines statistisch signifikanten Einflusses von Straßenbepflanzungstypen auf die Verkehrssicherheit) konnten Maier et al. (2013), Berger (2016) und Bark et al. (2017) auf der Basis von Unfallmodellen auf der Grundlage von verallgemeinerten linearen Modellen einen signifikanten Einfluss von Straßenbepflanzungstypen auf die Verkehrssicherheit in Deutschland ermitteln. Dagegen konnten Maier et al. (2012) bei Verwendung von Unfallmodellen keinen signifikanten Einfluss von Bäumen auf die Landstraßensicherheit in Österreich nachweisen, welches mit der Datenqualität begründet wurde. Die Einsatzhäufigkeit von Unfallmodellen auf der Grundlage von verallgemeinerten linearen Modellen bei Sicherheitsanalysen ist in Deutschland noch vergleichsweise sehr gering. Diese Unfallmodellerstellung mit multivariaten Verfahren erweist sich als zweckmäßig, um die Einflüsse von Merkmalen genauer und unabhängiger voneinander zu quantifizieren. Sie sind jedoch sehr abhängig von der Datenverfügbarkeit und dabei vom Aufwand, Realisierbarkeit, Messtechnik und Datenverarbeitung.

Das in Deutschland erreichte hohe Verkehrssicherheitsniveau führt zu der Aufgabe, die weiteren Potenziale initiativ und systematisch zu ermitteln sowie effektiv und effizient mit entsprechender Prioritätenreihung zu erschließen. Die seit Jahren bekannten Verfahren zur Verbesserung der Verkehrssicherheit und im Sicherheitsmanagement der Straßeninfrastruktur in Deutschland sind die Methoden der Bundesverkehrswegeplanung, das Sicherheitsaudit, die Sicherheitsanalyse von Straßennetzen, Sicherheitsüberprüfungen wie die Streckenkontrol-

<sup>1</sup> Der Begriff „Straßenbepflanzung“ wird im Folgenden als Oberbegriff für die unterschiedlichen Arten der Vegetation im Straßenseitenraum verwendet.

<sup>2</sup> In diesem Bericht erfolgt der besseren Lesbarkeit wegen keine geschlechtsneutrale Schreibweise. Die in dieser Arbeit gewählten Begriffe schließen jeweils alle Genderformen mit ein.

<sup>3</sup> Längenstatistik der Straßen des überörtlichen Verkehrs (BMVI 2019), ohne Bundesautobahnen, Gemeindestraßen/andere Straßen und Ortsdurchfahrten.

le, die Verkehrsschau, das Bestandsaudit und die örtliche Unfalluntersuchung. Diese Verfahren dienen zugleich der Umsetzung der Richtlinie 2008/96/EG der Europäischen Union in nationales Recht (EP & RAT EU 2008)<sup>4</sup>. Jedoch wird in der aktuellen Praxis der Fokus auf eine zurückblickende (reaktive) Analyse des Unfallgeschehens bzw. ein „Nachsorgeprinzip“ gelegt, anders als beispielsweise in der gegenwärtigen Umwelt- und Gesundheitspolitik, bei der das (präventive) „Vorsorgeprinzip“ gilt. Ein Regelwerk, insbesondere zur Folgenabschätzung der Straßenverkehrssicherheit, ist derzeit mit dem Handbuch für die Bewertung der Verkehrssicherheit von Straßen in der Erarbeitung (Weber 2012). Es liegen in der Praxis eine Vielzahl an Verfahren zur Erhebung und Verbesserung der Straßenverkehrssicherheit mit unterschiedlichen Einsatzbereichen in den Phasen der Planung und im Betrieb vor.

## 1.2 Fragestellungen

Die Untersuchung soll folgende Fragestellungen beantworten:

- Welchen Einfluss haben die ortsfesten Hindernisse (z. B. Baum, Schutzplanke, Mast und Widerlager) und insbesondere die straßenbegleitende Bepflanzung im Seitenraum auf die Verkehrssicherheit auf Landstraßen? Welche Bedeutung hat dabei der hindernisfreie Seitenraum auf die Landstraßensicherheit?
- Welche Konstellationen, Abläufe und Ursachen<sup>5</sup> weisen die Unfälle mit der Merkmalsausprägung „Aufprall auf Hindernis neben der Fahrbahn“ auf und welche Unterschiede sind zu anderen Landstraßenunfällen festzustellen?
- Gibt es besonders auffällige und/oder unauffällige Bepflanzungstypen hinsichtlich der Unfallanzahl und -schwere? Wie hoch ist die Aufprallwahrscheinlichkeit von einem abkommen-

den Fahrzeug auf ein einzelnes Hindernis in Abhängigkeit von verschiedenen Merkmalen?

- Welche Zusammenhänge können zwischen Entwurfselementen, Abkommenshäufigkeit und der Straßenbepflanzung ermittelt werden? Ist dabei die Straßenbepflanzung ein unfallbegünstigender und -auslösender Parameter oder hat die Bepflanzung ausschließlich Einfluss auf die Unfallfolgen?

Als Ergebnis sollen Kriterien für unfallauffällige Bereiche mit erhöhten Abkommenshäufigkeiten differenziert nach Bepflanzungstypen und deren Unfallfolgen aus der Untersuchung abgeleitet werden.

Verschiedene weitere Fragestellungen stehen im Kontext der Untersuchung, werden jedoch nur am Rande betrachtet, zum Beispiel:

- Ist zur Verdeutlichung des Straßenverlaufs bzw. zur Verbesserung der Verkehrssicherheit eine Bepflanzung nötig?
- Trägt das Vorhandensein bzw. der Einsatz von passiven Schutzeinrichtungen (Schutzplanken) zur Verbesserung oder zu einer negativen Entwicklung der Verkehrssicherheit bei?

Methodisch soll außerdem geklärt werden, ob durch die Anwendung der Verfahren der Unfallvorhersagemodelle eine Aufwandsreduzierung hinsichtlich der empirischen Datengrundlage möglich ist.

## 1.3 Vorgehen, Ziele und Abgrenzung der Arbeit

Auf Grundlage von Datensätzen von Landstraßenabschnitten und einer detaillierten Analyse der Merkmale der Straßenraum- und Seitenraumgestaltung sollen unter besonderer Berücksichtigung der Merkmale der Straßenbepflanzung (multivariate) Unfallmodelle erstellt und Aussagen über das Unfallgeschehen von Landstraßenabschnitten abgeleitet werden. Damit sollen qualitative Aussagen und Abschätzungen über die Verkehrssicherheit und quantitative Abschätzungen des Unfallgeschehens in Abhängigkeit von möglichen Einflussmerkmalen abgeleitet werden. Darauf aufbauend kann eine Bewertung von Unfallrisiko und -schwere für Streckenabschnitte unter der Berücksichtigung der Straßenbepflanzung im Bestand, aber auch in der Planungsphase, im Sicherheitsmanagement abgeleitet werden. Mit den zu entwickelnden Unfallvor-

<sup>4</sup> Die EU-Richtlinie 2008/96/EG wurde von der EU-Richtlinie 2019/1936 (EP & RAT EU 2019) ersetzt und soll in nationales Recht umgesetzt werden. Die EU-Richtlinie 2019/1936 erweitert den Geltungsbereich und stärkt proaktive Verfahren der Sicherheitsbewertungen.

<sup>5</sup> Hierbei ist der Begriff weiter zu betrachten, als die Definition der Unfallursachen nach dem Unfallursachenverzeichnis der amtlichen Straßenverkehrsunfallstatistik.

hersagemodellen soll eine genauere Risikobewertung von Landstraßenabschnitten vorgenommen werden und damit wissenschaftlich abgesicherte Grundlagen für die Überarbeitung der technischen Regelwerke erarbeitet werden. Das Ziel ist die Verbesserung der Verkehrssicherheit mit gezielt wirksamen Maßnahmen sowie der gleichzeitige Schutz der Verkehrsteilnehmer und der Straßenbepflanzung.

Der methodische Ansatz der Untersuchung ist in der Abbildung 1 dargestellt. Der Arbeitsschritt Erkenntnisstand (Kapitel 2) zum nationalen und internationalen Stand der Forschung und der Technik dient schwerpunktmäßig der interdisziplinären Analyse der Verkehrssicherheit auf Landstraßen und der Identifikation der möglichen Merkmale mit ihren Eigenschaften sowie Ausprägungen und deren Einfluss auf das Unfallgeschehen. Diese Auswertung legt die Grundlage der zu berücksichtigenden infrastrukturellen und betrieblichen Merkmale für die weiteren Arbeitsschritte. Weiterhin werden im Rahmen der Literaturanalyse (Kapitel 3) die Verfahren in der Sicherheitsanalyse, die statistischen Grundlagen und die Modelldiskussion dargelegt. Im Kapi-

tel 4 wird eine deskriptive Detailanalyse der amtlichen Straßenverkehrsunfallstatistik als Grundgesamtheit durchgeführt.

Mit zwei Forschungsvorhaben „Datenerfassung I“ (FE 89.0317/2015) und „Datenerfassung II“ (FE 89.0318/2015), deren Leistungsbeschreibungen vom Autor erstellt wurden (siehe Anhang, Anlage 1.1), wurden die Datengrundlagen der vorliegenden Arbeit geschaffen. Im Projekt Datenerfassung I wurden unterschiedliche Landstraßenbefahrungen von Messfahrzeugen aufbereitet. Die geometrischen und verkehrlichen Merkmale und die Ausstattung der Straßen wurden mit Daten der Straßenverkehrsunfallstatistik verknüpft. Insgesamt standen damit Daten von ca. 2.050 km Landstraßen aus sieben Bundesländern zur Verfügung. Im Projekt Datenerfassung II wurde auf Basis der Unfälle der German In-Depth Accident Study (GIDAS) eine Verknüpfung von geometrischen und verkehrlichen Straßenmerkmalen, Ausstattung und Geschwindigkeitsparametern auf einer Länge von knapp 80 km Landstraße in zwei Erhebungsgebieten vorgenommen. Im Rahmen dieser Untersuchung und Datenerfassung ist der Fokus auf einbahnige, zweistreifige

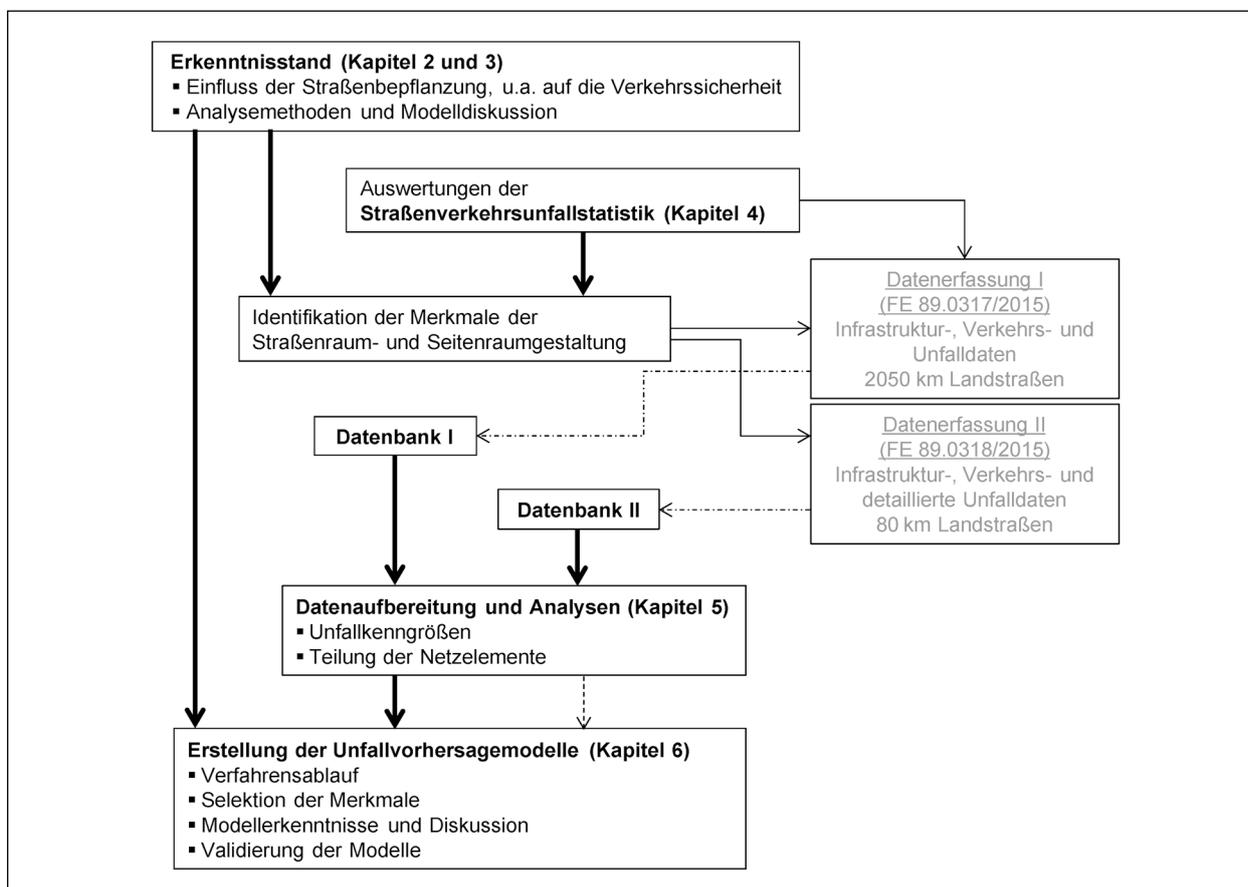


Abbildung 1: Übersicht über die methodische Vorgehensweise in der Untersuchung

ge Landstraßenabschnitte außerhalb von Netzknoten und deren Einflussbereiche gerichtet. Die Datengrundlagen und die vom Autor durchgeführten Arbeiten (insbesondere die Erstellung der Methodik zur Abschnittsauswahl im Projekt Datenerfassung I mit dem Ziel einer möglichst heterogenen Streuung der Abschnitte im Datenkollektiv) werden im Kapitel 5 beschrieben.

Im Kapitel 6 erfolgt die Erstellung der Unfallvorhersagemodelle und deren Validierung. Die Einflüsse von Merkmalen auf das Unfallgeschehen (Unfallhäufigkeit und -schwere) werden unter der besonderen Berücksichtigung der Straßenbepflanzung ermittelt und damit unfallbeeinflussende Merkmale auf Landstraßen aufgezeigt.

## 2 Erkenntnisstand zu Verkehrssicherheit und Fahrverhalten auf Strecken mit Straßenbepflanzung

Die möglichen Einflussgrößen und Erkenntnisse zum Einfluss der Merkmale der Streckencharakteristik, verkehrstechnischer Maßnahmen sowie verkehrlicher Kenngrößen auf die Verkehrssicherheit und das Fahrverhalten werden in der Literaturanalyse zusammengefasst. Dabei ist das Interesse schwerpunktmäßig auf das Herausarbeiten der Einflüsse der Bepflanzung einschließlich der Betrachtung der verwendeten statistischen Analyseverfahren gerichtet. In diesem Zusammenhang werden psychologische, physiologische sowie kraftfahrzeugbezogene Einflüsse auf das Fahrverhalten und Unfallgeschehen sowie Maßnahmen zur Verbesserung der Verkehrssicherheit betrachtet.

### 2.1 Allgemein

Mit der deutschen Wiedervereinigung und der Zusammenführung zweier zuvor getrennter Straßennetze war auch ein unterschiedlich stark ausgeprägter Baumbestand verbunden, z. B. hinsichtlich des Bestands an Streckenabschnitten mit Alleeen. Der Ausbau des Verkehrsnetzes in den neuen Bundesländern hatte Einfluss auf die Straßenbepflanzung, da unter anderem die Fahrbahnen verbreitert wurden und damit der Abstand der Bepflanzung vom Fahrbahnrand sank.

Die Straßenbepflanzung (Bezeichnung vor dem geschichtlichen Hintergrund auch als Straßenbegrünung) wird heutzutage von der Politik und Gesellschaft teilweise als regionales Natur- und Kulturerbe angesehen. Das Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG)) besagt in § 29 Absatz 1 BNatSchG „Geschützte Landschaftsbestandteile“, dass sich „auf den gesamten Bestand an Alleeen, einseitigen Baumreihen, Bäumen, Hecken oder anderen Landschaftsbestandteilen“ für den Bereich oder Teile eines Landes ein Schutz erstrecken kann (BNatSchG 2009). „Die Vorschriften des Landesrechts über den gesetzlichen Schutz von Alleeen [bleiben] unberührt“ (§ 29 Absatz 3 BNatSchG 2009)<sup>6</sup>. Dessen ungeachtet gelten die Vorschriften zum allgemeinen Schutz wild lebender Tiere und Pflanzen vor dem Hintergrund der Gewährleistung der Verkehrssicherheit nicht (§ 39 Abs.1 und Abs. 5 BNatSchG 2009).

Die Zielvorstellungen der Begrünung der Straßen gehen über Jahrhunderte zurück. Sie entwickelten sich über den vorrangigen Schutz vor Sonneneinstrahlung und weiteren Witterungseinflüssen sowie der Holz- und Obstgewinnung zum gestalterischen, landschaftspflegerischen und naturschutzrechtlichen Mittel (Thomas 1999, Hönes 2007). Einige Verwaltungen der Bundesländer sehen den Erhalt und die Entwicklung der „historischen Bepflanzung“ an Straßen – insbesondere der Alleeen und Baumreihen – als wichtigen Beitrag für geschichtliche Entwicklung und für den Umweltschutz an. Deshalb wird in einigen Bundesländern die Nach- und Neupflanzung der Straßenbäume durch Mittelbereitstellung gefördert<sup>7</sup>. Ebenso werden im Bundeshaushalt Finanzmittel zum Alleenschutz für Bundesfernstraßen bereitgestellt (BT 2019). Dagegen bewertet Manssen (2001 und 2005) die Neuanpflanzung von Straßenbäumen ohne das gleichzeitige Anbringen von passiven Schutzeinrichtungen aufgrund der Verpflichtung der Straßenbauverwaltung im Hinblick auf Risikominimierung und -vorbeugung als unvereinbar und verfassungswidrig. Diese Ein-

<sup>6</sup> Hinsichtlich weiterer Angaben zu Maßnahmen aus Gründen der Verkehrssicherheit, naturschutzrechtlichen Eingriffsregelungen, Ersatz- und Ausgleichsmaßnahmen usw. wird auf die Naturschutzgesetze (der Bundesländer) und auf BMVBW (1999) sowie deren Vorgängerregelwerke (z. B. BMV 1987) verwiesen.

<sup>7</sup> Siehe z. B. Alleekonzepte und -erlasse (MIL 2007, MVM & MLA 2015) sowie Peters (2005).

schätzung wird jedoch nicht von allen Juristen geteilt (Schneider 2011).

Weitere Vorteile der Straßenbepflanzung werden häufig ohne wissenschaftlichen Nachweis in der Literatur genannt, wie z. B. eine Verbesserung der Festigkeit und Dauerhaftigkeit der Erdbauwerke (Rumpf 1991). Die Frage der Beeinträchtigung und Schädigung der Bauwerke und der Straßenbefestigung durch die Pflanzenwurzeln betrachtet der Autor nicht. Im Rahmen von Untersuchungen zeigten sich sehr differenzierte, geringe ökologische Effekte durch „Straßenbegleitflächen“ (Reck & Kaule 1993). Weitere Untersuchungen zeigten unterschiedliche und keine eindeutigen ökologische Tendenzen bei Untersuchungen von verkehrlich vergleichsweise höher belasteten Straßen mit höheren Emissionen und Aufwirbelungspotenzial (Düring et al. 2005, Bracke et al. 2010).

Smidt (2008) hat die Wirkungen zahlreicher atmosphärischer Spurenstoffe auf Pflanzen zusammengestellt. In dieser Arbeit werden die organischen Spurenstoffe und viele weitere Luftschadstoffe dargestellt. Die Stoffe, welche u. a. vom Fahrverkehr emittiert werden, führen bei einer Einwirkung auf die Pflanzen zur Erzeugung eines Stresshormons, welches sich negativ auf Pflanzen auswirkt. Weitere pflanzenphysiologische Untersuchungen zeigten, dass Pflanzen an Straßen höheren Stressfaktoren ausgesetzt werden, dabei können Feinstaub allein sowie zusätzlich andere Luftschadstoffe oder ungünstige Wachstumsbedingungen einen Stressbeitrag leisten (Düring et al. 2005, Bracke et al. 2010). Bereits Deiss et al. (1978) zeigten, dass die Standortbedingungen aufgrund der Bodenverhältnisse, Wasserzufuhr und Wurzelraum sowie betrieblicher Effekte und Emissionen aufgrund der Straßennutzung im Straßenraum schlechter sind als solche der weiteren Umgebung. Der Einfluss von Fahrzeugverkehr, baulichen und betrieblichen Maßnahmen (Bodenverdichtungen, Tausalzen) schränken die

Lebensdauer der Straßenbäume deutlich ein (Wirtz 2007).

Die Sicherheitsuntersuchungen und die Verkehrssicherheitsbewertung an Landstraßen sind oftmals netz- oder gebietsweit nach Streckenabschnitten und Knotenpunkten unter Berücksichtigung deren Einflussbereiche getrennt. Die Untersuchungsmethodik und der Detaillierungsgrad der möglichen zahlreichen Einflussmerkmale auf das Unfallgeschehen sind u. a. abhängig von der Datenverfügbarkeit und dabei vom Aufwand der Datenbeschaffung, Realisierbarkeit, Messtechnik und Datenverarbeitung. Untersuchungen zu Landstraßenentwurf und -sicherheit sowie Maßnahmen und deren Wirksamkeitsbewertung sind sehr vielfältig.

Das räumliche Fahrbahnband, welches überwiegend den Fahrraum bestimmt, setzt sich aus dem Lageplan, Höhenplan und Querschnitt zusammen. Der räumliche Verlauf einer Straße hat in seiner Gesamtheit einen wesentlichen Einfluss auf das Fahrverhalten, das Blickverhalten und damit auf die Verkehrssicherheit. Deshalb können die Merkmale des Fahrraumes nicht unabhängig voneinander betrachtet werden. Die Elemente sind gekennzeichnet durch die Lageplanelemente Gerade, Kreisbogen, Klothoide, die Höhenplanelemente der Längsneigung, Kuppen- und Wannenhalmmesser und im Querschnitt durch die Fahrbahnbreite, Querneigung und das Bankett. Der Entwurf bestimmt folglich Elementfolgen, die räumliche Linienführung sowie die Relationstrassierung, die Sichtweiten und damit auch mögliche Defizite in Abhängigkeit von der Wahl oder Überlagerung der Einzelelemente (u. a. Leutzbach & Zoellmer 1989, Lippold 1997, Weise et al. 2002, FGSV 2012).

Die Tabelle 1 fasst die allgemeinen Einflussmerkmale auf Unfallgeschehen von Landstraßenelementen zusammen.

Tab. 1: Maßgebende Einflussmerkmale auf die Straßenverkehrssicherheit von Streckenabschnitten (modifiziert nach Berger 2016 und HVS 2018 (Entwurf))

Untersuchungsgegenstand	Maßgebende Kenngrößen/Einteilungen	Erkenntnisse und deren Wirkung auf das Unfallgeschehen
Lageplan und Elementfolgen	Verhältnis aufeinander folgender Radien	Anstieg der Unfallrate, Abstimmung des Verhältnisses der Kreisbogenradien notwendig
	Radien im Anschluss an Gerade	Anstieg der Unfallrate, Abstimmung Abfolge Radius und Gerade notwendig
	Entwässerungsschwache Zonen	Erhöhung des Unfallgeschehens

Tab. 1: Fortsetzung

Untersuchungsgegenstand	Maßgebende Kenngrößen/Einteilungen	Erkenntnisse und deren Wirkung auf das Unfallgeschehen
Lageplan und Höhenplan	Sichtweite < 100 m	Zunahme der Unfallsauffälligkeit
	Welligkeit (Hügeligkeit)	
Radius	< 400 m	Anstieg der Unfallrate
	< 200 m	Deutlich negativer Einfluss auf Unfallrate
Kurvigkeit	> 225 gon/km	Maßgebend für Geschwindigkeit
	Stetiger Einfluss	Wirkung auf das Unfallgeschehen
Höhenplan	Längsneigung > 4 %	Zunahme Unfallsauffälligkeit
Querschnitt	Fahrbahnbreite < 6 m	Unterschiedliche Erkenntnisse zur Wirkung auf das Unfallgeschehen
	Fahrbahnbreite > 8,5 m (zweistreifig)	Verringerung der Verkehrssicherheit
	Breitere Randstreifen	Zunahme der Verkehrssicherheit
Umfeld	Seitenraumgestaltung	Beeinflussung Unfallschwere
	Gebietsstruktur	Wirkung zu vermuten
Verkehrsablauf/-technik	DTV	Wirkung in Abhängigkeit von der Gestaltung der Verkehrsanlage
	Beschränkung $v_{zul}$	Meist reaktive Maßnahme mit unterschiedlicher Wirkung
	Straßenausstattung	Unterschiedliche Erkenntnisse zur Wirkung auf das Unfallgeschehen

## 2.2 Typen der Straßenbepflanzung

Das aufgrund von Netzbedeutung und Verkehrsbelastung sehr heterogene Landstraßennetz weist eine große Vielfalt an Typen der Bepflanzung an Straßen auf. Eine Einteilung der Straßenbepflanzung kann nach verschiedenen Kriterien vorgenommen werden. So ist eine Differenzierung nach punktueller, linienhafter oder flächiger Gestaltung einschließlich der Einbindung in die vorhandene Vegetation ebenso möglich wie nach den Bepflanzungstypen: Allee, ein- oder zweiseitige Baumreihen, Baumgruppen, Einzelbäume, Waldstrecken, Buschwerk/Sträucher sowie Wiese/Feld und nach den Baumarten- bzw. -gattungen/Habitus (Laub-, Nadelhölzer oder Sträucher und Buche, Eiche, Kastanie, Obstgehölze usw.) (BMVBW 1992, Lippold & Dietze 2005). Allees sind „beidseitig mit relativ gleichaltrigen und vom Habitus her gleichartigen Bäumen in gleichmäßigem Abstand sowohl vom Fahrbahnrand als auch innerhalb der Reihe bestandene Straßen“ (BMVBW 1992). Eine Baumreihe ist eine augenscheinlich zusammenhängende Reihe von Einzelbäumen<sup>8</sup>. Eine Abgrenzung von beidseitigen Baumreihen und Allees erfolgt, wenn die Kriterien an eine Allee nicht erfüllt sind (BMVI 2014). Jedoch ist es keine bundesweit einheitliche Definiti-

on der einzelnen Bepflanzungstypen vorhanden. Polzin (2007) zeigte für den Begriff der Allee die Schwierigkeit und die ungenaue Begriffsnutzung im Vergleich zu anderen Bäumen in der Literatur auf. Eine Abgrenzung der Typen der Straßenbepflanzung für diese Arbeit und eine Darstellung von Beispielbildern erfolgt in Kapitel 5.3.

Der Bestand an Allees und einseitigen Baumreihen an Straßen des überörtlichen Verkehrs ohne Bundesautobahn (BAB) (ohne Baden-Württemberg (BW) und Rheinland-Pfalz (RP)) weist nach Erkenntnissen der Bundesregierung derzeit eine Länge von ca. 17.000 km auf. Davon sind um die 4.000 km Alleestrecken (BT 2010, BT 2013, BMVI 2015b). Damit weisen in diesen 14 Bundesländern ca. 8 % der Landstraßen eine einseitige Baumreihe und ca. 2 % der Landstraßen eine Allee auf. Davon haben Nordrhein-Westfalen (NW), BB und Mecklenburg-Vorpommern (MV) hohe Alleeanteile und Niedersachsen (NI) und BB einen hohen Anteil an einseitigen Baumreihen. Lehmann (2008) nennt eine bundesweite Gesamtlänge von 23.200 km mit Allees oder einseitigen Baumreihen an überörtlichen Straßen in Deutschland. In zahlreichen Bundesländern (z. B. BB, MW, NW) wurden Konzepte mit dem Schwerpunkt der Entwicklung von Allees mit dem Ziel von Nach-, Neupflanzungen und der besonderen Pflege erarbeitet.

Die Straßenbepflanzung und das damit einhergehende Unfallgeschehen sind für die einzelnen Bundesländer sehr unterschiedlich. Das Land Brandenburg (BB) weist mit 32 % der Länge den höchsten

<sup>8</sup> Bäume als Untergruppe des Bewuchses werden als „verholzte Pflanzen, die einen Stamm und eine Baumkrone entwickeln“ im Sinne des Straßenbetriebsdienstes definiert (BMVBW 2004).

Alleeananteil aller Bundesländer an Bundes- und Landesstraßen (oder vergleichbar) auf. Im Unfallgeschehen zeigt sich, dass 51 % der Getöteten in BB bei einem Aufprall auf einen Alleebaum registriert wurden. Bayern (BY) und RP (Daten sind im Gegensatz zu oben vorhanden) weisen hingegen einen Alleeananteil von jeweils nur ca. 1,5 % am Straßennetz auf. Dennoch wurden in BY 11 % aller Unfälle mit schwerer Unfallfolge bei einem Aufprall auf einen Alleebaum registriert (Gumz & Niehoff 2011, Spahn 2015). Ein weiteres Problem für allgemeingültige Verkehrssicherheitsaussagen im Zusammenhang mit der Straßenbepflanzung ist, dass eine Bestandsaufnahme der Straßenbepflanzung<sup>9</sup> (z. B. als Baumkataster) nicht flächendeckend vorliegt und bundesweit nicht einheitlich ist. Teilweise werden einzelne Bepflanzungstypen (z. B. Alleebäume und einseitige Baumreihen) oder einzelne Straßenkategorien in den Bundesländern kartiert.

In der Straßenverkehrsunfallstatistik wird bei der Beschreibung des Unfallgeschehens nicht nach den Typen der Straßenbepflanzung unterschieden. Damit sind keine weiträumigen differenzierten Unfallanalysen nach den Typen der Straßenbepflanzung auf Basis der Straßenverkehrsunfallstatistik möglich. Da allgemeingültige Definitionen der Typen der Straßenbepflanzung bundesweit fehlen, ist eine Erweiterung der Straßenverkehrsunfallstatistik derzeit nicht sinnvoll.

### 2.3 Netz-, Regional- und Gebietsmerkmale

Weitere Merkmale eines bestimmten Netzes und Gebietes mit Einfluss auf die Verkehrssicherheit neben der Straßenbepflanzung, wie siedlungsstrukturelle und sozioökonomische Merkmale sowie Witterungsbedingungen, sind weitgehend ungeklärt. Gebietsmerkmale und deren Einfluss auf das Unfallgeschehen wurden bislang national nur in geringem Maße explizit betrachtet. Gründe hierfür sind u. a. die für eine Untersuchung nötige Datenverfügbarkeit, der Detaillierungsgrad und die Frage nach der

praktischen Nutzung bei Sicherheitsbewertungen, die nur mit erheblichem Aufwand erstellt werden können.

Miaou (1996 und 1996b) stellte auf Grundlage eines Unfallvorhersagemodells für die Häufigkeit von Abkommensunfällen an zweistreifigen Landstraßen einen Einfluss von Witterungsbedingungen und sozioökonomischen Merkmalen zwischen den Bundesstaaten der USA fest. Das grundsätzlich unterschiedliche Unfallgeschehen zwischen Bundesstaaten wird auf unterschiedliche siedlungsstrukturelle und sozioökonomische Merkmale sowie Witterungsbedingungen zurückgeführt und im Unfallvorhersagemodell als Variable besonders berücksichtigt. Mäder & Pöppel-Decker (2001) und Pöppel-Decker (2002) untersuchten nächtliche Freizeitunfälle mit bivariaten Analyseverfahren<sup>10</sup> und ermittelten einen Einfluss der Siedlungsstruktur auf das Unfallgeschehen, wie das höhere Unfallgeschehen bei ländlichen Kreisen. Maier et al. (2013) und Berger (2016) orientierten sich an dem Vorgehen von Mäder & Pöppel-Decker (2001) und stellten einen signifikanten Einfluss auf die Unfallhäufigkeit für die Regelquerschnitte (RQ) 9- und RQ 11-ähnlich fest (Erhöhung des Unfallgeschehens bei ländlichen Kreisen). Letztendlich wurde aber festgestellt, dass der Kreisstrukturtyp eine mögliche Stellvertretervariable darstellt und damit andere Entwurfsmerkmale oder Verkehrsablaufkenngrößen abbilden kann und für ein Bewertungsverfahren nicht widerspruchsfrei ist. Clark & Cushing (2004) ermittelten mit linearen Regressionen einen Zusammenhang mit Einschränkungen zwischen der Getötetenrate und der Fahrleistung in den USA. Dabei führt eine Erhöhung der Bevölkerungsdichte zur Verringerung der Getötetenrate. Noland & Quddus (2004) ermittelten Zusammenhänge zwischen siedlungsstrukturellen und sozioökonomischen Merkmalen mit einem negativen binomischen Modell für England. Es konnten Zusammenhänge zwischen Unfallanzahl/-schwere und Kreisstrukturtypen sowie Beschäftigungsdichte entdeckt werden. Eksler et al. (2008) ermittelte einen hohen Zusammenhang zwischen Bevölkerungsdichte und Getötetenrate auf Basis der Daten von 24 europäischen Ländern. In der Ge-

<sup>9</sup> Im Rahmen von verschiedenen Projekten wird aus unterschiedlichen Zielfeldern die Thematik der Erfassungsmethode und die Bestandsaufnahme beleuchtet, wie aus Sicht der Sturmgefahren für die Bundesfernstraßen (Hänsel et al. 2017) und die bundesweite Sicherung von Alleen (Forschungsprojekt „Alleen als schützenswerte Landschaftselemente – Bundesweite Erfassung und Sicherung von Alleen“ der Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde).

<sup>10</sup> Eine bivariate Analyse ist eine Untersuchung der Abhängigkeit zwischen zwei Merkmalen.

samtheit führt ein Anstieg der Bevölkerungsdichte zu einem Rückgang der Getötetenrate.

Heuel et al. (2014) konnten auf Basis multivariater Analysen einen signifikanten Einfluss der Lufttemperatur auf das Unfallgeschehen in der Schweiz nachweisen. Aufgrund sommerlicher Temperaturen wird eine Erhöhung der Unfallhäufigkeiten mit der Beteiligung von Langsamverkehr und Motorrädern ohne verkehrsbezogene Exposition nachgewiesen. Auch Schneefall (Schneeanteil und -höhe) steht im Zusammenhang mit einer Erhöhung des Unfallrisiko, vor allem bei Unfällen mit Leichtverletzten. Die Merkmale der potenziellen Sonnenblendung, Nebel und Wind konnten aufgrund der Datengrundlage nur ansatzweise untersucht werden (Heuel et al. 2014).

## 2.4 Knotenpunkte und deren Einflussbereiche, Abschnittsteilung

Im Rahmen von vorangegangenen Sicherheitsuntersuchungen wird die Abschnittsteilung des Netzes nach entwurfstechnischen und betrieblichen Merkmalen sowie nach dem Unfallgeschehen vorgenommen. Bei der Einteilung müssen Abschnittslängen, die Annäherungsbereiche an innerörtliche Straßen (z. B. Ortsdurchfahrten), der Einflussbereich von Knotenpunkten und die Randbedingungen der Untersuchung beachtet werden, da diese Kriterien maßgebend die Ergebnisse von Sicherheitsuntersuchungen beeinflussen (Vieten et al. 2010, Maier et al. 2013). Wilke (2003) entwickelte mehrere Klassifizierungsvarianten in Abhängigkeit von Entwurfs- und Straßenbepflanzungsmerkmalen mit dem Ziel der Zusammenführung ähnlicher Abschnitte. Dieses Verfahren ist sehr aufwendig und macht eine Zusammenführung von Merkmalen der Straßenbepflanzung nötig. Nach Wilke (2003) sollte ein neuer Abschnitt beginnen, wenn bereits auf einer Straßenseite Änderungen in der Bepflanzung auftreten.

Knotenpunkte werden aus planerischer Sicht nach der baulichen Grundform und der Betriebsform unterschieden. Nach den Richtlinien für die Anlage von Landstraßen (RAL) 2012 sind die baulichen Knotenpunktgrundformen: planfrei, teilplanfrei, teilplangleich (bestehen aus mehreren Teilknoten-

punkten) und plangleich (Einmündung, Kreuzung/Kreisverkehr). Die Betriebsform wird nach Vorfahrtregelung mit oder ohne (außerorts nicht üblich) Verkehrszeichen sowie mit oder ohne Lichtsignalanlagen unterschieden (FGSV 2012). Weiterhin kann nach verkehrsbedeutenden Netzknoten und weiteren Knotenpunkten sowie Anschlussknotenpunkten (Grundstücksein- und -ausfahrten, Feldwegzufahrten usw.) differenziert werden. Berger (2016) untersuchte aufbauend auf Eckstein & Meewes (2002) sehr detailliert die Wirkung von Einflussbereichen und ermittelte einen signifikanten Einfluss von Verkehrszeichengeregelten Kreuzungen und Einmündungen auf das Unfallgeschehen. Berger (2016) vermutet, dass ein Knotenpunkt vor allem Auswirkungen auf den Verkehrsablauf und das Geschwindigkeitsniveau und damit auf den Sicherheitsgrad hat. Dabei weist die Zufahrtregelung des Knotenpunktes eine untergeordnete Rolle für das Unfallgeschehen auf.

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung erfolgt die Abschnittsteilung in den Datenbanken im Kapitel 5.4. Als Grundlage wird die Tabelle 2 verwendet, welche die Kenngrößen für die Unterteilung nach den Elementen Netzknoten, Einflussbereich und freien Streckenabschnitten in Anlehnung an Berger (2016) und Bark et al. (2015) darlegt. Der Netzknotenbereich (NKB), besteht aus dem Knotenpunkt- und Einflussbereich in Abhängigkeit von der Übergangsart und verkehrstechnischen und -regelnden Merkmalen.

Hinsichtlich einer umfassenden Literaturrecherche zur Netz- und Abschnittsteilung wird auf Berger (2016) verwiesen.

Tab. 2: Kenngrößen der NKB und Innerortsbereich in Anlehnung an Berger 2016 und Bark et al. 2015

Art des Übergangs	Maßgebende Kenngrößen	Länge NKB/ Annäherungsbereich [m]
Innerortsbereich (z. B. Ortsdurchfahrt)	- VZ 310 StVO („Ortstafel“), gleich Bezugspunkt	200 m
Plangleicher Knotenpunkt (LSA oder VZ 306 StVO)	- verkehrsrechtlich bevorzugt - bauliche Änderung der Zufahrt - Regelung durch LSA oder VZ 306 StVO	400 m
Plangleicher Knotenpunkt (LSA oder VZ 306 StVO, $v_{zul}$ )	- verkehrsrechtlich bevorzugt - keine bauliche Änderung der Zufahrt - Regelung durch LSA oder VZ 306 StVO mit Beschränkung $v_{zul}$ im Zusammenhang mit Knotenpunkt	400 m
Plangleicher Knotenpunkt (VZ 205, VZ 206 sowie VZ 215 StVO)	- verkehrsrechtlich untergeordnet - keine oder mit baulicher Änderung der Zufahrt - Regelung durch VZ 205, VZ 206 und VZ 215 StVO („Kreisverkehr“), ggf. Beschränkung $v_{zul}$ im Zusammenhang mit Knotenpunkt	300 m
Plangleicher Knotenpunkt (VZ 306 StVO, baulich)	- verkehrsrechtlich bevorzugt - keine bauliche Änderung der Zufahrt - Regelung durch VZ 306 StVO ohne Beschränkung $v_{zul}$ im Zusammenhang mit Knotenpunkt	100 m (Abschnittsgrenze), sonst Berücksichtigung als Anschlussknoten (Abschnittsmerkmal)
(Teil-)Planfreie Knotenpunkte mit Ein-/ Ausfahrtbereich	- Ein-/Ausfahrtbereich auf dem betrachteten Streckenabschnitt - variabler Knotenpunktbereich (maßgebend ist der Beginn und das Ende der baulichen Veränderung)	300 m und veränderlicher Knotenpunktbereich

## 2.5 Straßenentwurf und Bepflanzung

Analysen des Unfallgeschehens auf Streckenabschnitten mit Straßenbepflanzungen sind sehr zahlreich und basieren überwiegend auf Analysen der Daten der amtlichen Straßenverkehrsunfallstatistik. Im europäischen Raum sind solche Analysen vor dem Hintergrund der Datengrundlagen ebenfalls die Regel. Vor der einheitlichen Merkmalsausprägung erfolgten insbesondere regionale Untersuchungen z. B. von Rusteberg (1992 und 1993). Die Datengrundlage konnte mit der Einführung des einheitlichen Merkmals „Aufprall auf einen Baum“ in die deutsche Verkehrsunfallanzeige im Jahr 1995 verbessert werden und nahm Einfluss auf die Sicherheitsforschung. Die Problematik der Unfälle mit dem Umstand „Aufprall auf einen Baum“ und der besonderen Unfallschwere ist seitdem besser bekannt. Der Vergleich mit einem Aufprall auf einen Mast, ein Widerlager, eine Schutzplanke oder ein sonstiges Hindernis sowie kein Aufprall auf ein seitliches Hindernis neben der Fahrbahn als Unfallumstand ist möglich.

### 2.5.1 Mitwirkende Faktoren bei Unfällen mit Abkommen von der Fahrbahn

Unfälle mit einem Aufprall auf ein Hindernis<sup>11</sup> neben der Fahrbahn setzen das Abkommen von der Fahrbahn voraus. Dabei werden häufig Defizite in der Griffigkeit der Fahrbahnoberfläche als mitwirkende Faktoren bei diesen Unfällen genannt. Ein mangelhafter Zustand der Oberfläche kann sich bei schlechten Witterungsbedingungen (z. B. Nässe) negativ auf die Verkehrssicherheit auswirken. Schulze et al. (1975) ermittelten eine große Streuung zwischen Griffigkeitskennwert und Verkehrssicherheit. Dabei wurde hervorgehoben, dass bei besonderer Kurvigkeit einer Strecke und bei besonders ungünstigen Bedingungen für den Wasserabfluss außergewöhnlich hohe Unfallanteile bei Nässe auftreten (Schulze et al. 1975). Kamplade (1995) stellte bei Abnahme der Griffigkeit eine Zunahme der Unfallrate von Nässeunfällen fest. Steinauer et al. (2002) zeigte ein geringeres Griffigkeitsniveau von unfallauffälligen Bereichen (Unfallmerkmal

<sup>11</sup> Studien mit dem Schwerpunkt der Unfälle mit Abkommen von der Fahrbahn im Zusammenhang mit einer Straßenbepflanzung werden im Kapitel 2.5.2 dargelegt.

Nässe) im Vergleich mit dem restlichen Straßennetz auf. Einen Einfluss von Mängeln wie Unebenheiten, Oberflächenschäden, Flickstellen oder Spurrinnen auf Unfälle bei Nässe ermittelte Butterwegge (2002). Im Rahmen einer Betrachtung von Strecken für die Verwendung von Rüttelstreifen wurde von Lank & Steinauer (2009) aufgrund einer unzureichenden Griffigkeit der nassen Fahrbahn bekräftigt, dass auch eine nur geringfügig zu hohe Geschwindigkeit oder ein kleiner Fahrfehler ausreichen, damit es zum Kontrollverlust über das Fahrzeug kommt. Stadt & Grosshans (2003) untersuchten die Fahrbahngriffigkeit in sechs Alleen mit Asphaltdecke in Abhängigkeit von den unterschiedlichen Wachstumsperioden und dem jahreszeitlichen Verlauf ohne Verknüpfung mit dem Unfallgeschehen. Es ergaben sich auf zwei Strecken für die Frühlings- und Sommermessung in der Tendenz geringere Griffigkeitsmesswerte, jedoch konnten insgesamt keine signifikanten Unterschiede der Griffigkeitswerte zwischen Alleen und baumfreien Abschnitten ermittelt werden (Stadt & Grosshans 2003). Die Autoren verweisen auf eine unveröffentlichte Untersuchung vom LBV (2001), in der Unfälle bei Nässe auf Bundesstraßen untersucht und eine deutlich höhere Unfalldichte bei einem Griffigkeitsniveau gleich oder kleiner als der ZEB-Schwellenwert im Vergleich zu übrigen Streckenabschnitten mit höherer Fahrbahngriffigkeit festgestellt wurden (nach Stadt & Grosshans 2003). Balck et al. (2017) führten verschiedene netzweite Datenbanksysteme mit dem Ziel der Optimierung der ZEB und ESN zusammen. Auf Basis der ZEB, Straßeninformationsdatenbanken, Straßenverkehrszählungen und dem Unfallgeschehen wurden nur für Fahr- und Längsverkehrsunfälle auf Bundes- und Landesstraßen signifikante Zusammenhänge für DTV, Kurvigkeitsäquivalent (nur für Fahrnfälle), Längsneigungskategorie (außer Fahrnfälle mit Personenschaden) und Griffigkeit bei Nässe nachgewiesen. Das Kurvigkeitsäquivalent entspricht in der Untersuchung einem Ersatzwert für die Kurvigkeit. Die Näherung wurde dabei auf Basis der Raster-Rohdaten bestimmt und gemittelt. Der Einfluss der Griffigkeit, ausgedrückt als Mittelwert auf 400 m Abschnitten, wurde bis zu einer Signifikanzschwelle von 0,60 nachgewiesen. Über dieser Schwelle bleibt die Unfallanzahl anschließend konstant. Im Rahmen der Untersuchung wurde der Griffigkeitseinfluss intensiv diskutiert. Dabei wurde hervorgehoben, dass eine Korrelation zwischen DTV und Griffigkeit besteht und damit Multikollinearität stattfinden kann. Weiterhin konnte für die absoluten Grenzwerte des

Griffigkeitseinflusses nur ein sehr geringer Zusammenhang zum Unfallgeschehen nachgewiesen werden. Zwischen Fahr- und Längsverkehrsunfällen bei Nässe und Griffigkeitseinfluss besteht ein Zusammenhang (Balck et al. 2017). Die Empfehlungen zum Schutz vor Unfällen mit Aufprall auf Bäume (ESAB) 2006 (FGSV 2006) sehen als wichtige Maßnahme zur Verbesserung der Verkehrssicherheit die Prüfung der Entwässerung, Griffigkeit und deren Verbesserung aufgrund einer hohen Anzahl von Unfällen mit Aufprall auf einem Baum bei Nässe vor.

### 2.5.2 Studien mit dem Schwerpunkt Bepflanzung und Unfallgeschehen

Die regionalen und bundesweiten Untersuchungen des Unfallgeschehens mit einem Aufprall auf einen Baum, u. a. von Ernst (1985), Hülsen & Meewes (1997), Meewes & Eckstein (1999) zeigen die Besonderheiten der hohen Unfallschwere und weitere Unfall- und Personenmerkmale auf. Palm & Schmidt (1999) ermittelten auf einbahnig zweistreifigen Untersuchungsstrecken in den neuen Bundesländern einen höheren Anteil an Fahrnfällen als auf Untersuchungsstrecken in den alten Bundesländern (insgesamt: 115 Strecken mit einer Gesamtlänge von 760 km). Auf den Untersuchungsstrecken in den alten Bundesländern erfolgte eine Zunahme der Anteile von Fahr- und Längsunfällen mit schmaler werdenden Querschnittsbreiten. Weiterhin waren auf den Untersuchungsstrecken in den neuen Bundesländern hauptsächlich Alleen vertreten, welches insgesamt zu ungünstigeren Unfallkenngrößen (Unfall- und Unfallkostenrate) führt.

Eine bundesweite Untersuchung des Unfallgeschehens auf Landstraßen ohne Differenzierung in Streckenabschnitte und Knotenpunkte von Heinrich et al. (2010) für das Jahr 2007 zeigte, dass 13 % der untersuchten Landstraßenunfälle mit einem Aufprall auf einen Baum neben der Fahrbahn (10.867 Unfälle) erfolgten. Jedoch wurden bei diesen Unfällen 30 % (N = 896) aller Getöteten registriert. Das zeigt abermals die hohe Unfallschwere, die mit einem Aufprall auf einen Baum einhergeht. Bei den untersuchten Pkw-Unfällen mit Aufprall auf einen Baum beträgt die Unfallschwere 82 Getötete je 1.000 Unfälle, im Vergleich zu einem durchschnittlichen Pkw-Unfall mit 35 Getöteten je 1.000 Unfälle mit Personenschaden. Unfälle mit einem Aufprall auf einen Baum neben der Fahrbahn sind überwiegend mit dem Unfalltyp Fahrnfall und den Unfallarten

Abkommen von der Fahrbahn nach rechts oder nach links verbunden. Es ist ein charakteristischer Pkw-Alleinunfall, die Unfallstelle liegt zu 56 % in einer Kurve, 14 % in einem Gefälle, 6 % in einer Steigung und zu 4 % an Kreuzungen, Einmündungen und Grundstückszufahrten (Heinrich et al. 2010).

Otte (2000) untersuchte auf Basis der Landstraßenunfälle im Erhebungsgebiet Hannover aus der GIDAS-Datenbank die anteilmäßig größte Gruppe der Unfälle auf einbahnigen breiten und schmalen (maximale Fahrstreifenbreite 3,50 m) Straßen mit Mittelmarkierung. Straßen ohne Fahrbahnmittelmarkierung wurden aufgrund des geringen Unfallanteils in der Datenbank nicht betrachtet. Insgesamt muss beachtet werden, dass die GIDAS-Datenbank aufgrund der Erhebungsmethodik grundsätzlich nur Unfälle mit Personenschaden enthält. Bei der durchgeführten bivariaten Analyse wurde kein Abgleich mit dem niedersächsischen Netz hinsichtlich des Anteils im Erhebungsgebiet sowie keine Verknüpfung mit betrieblichen Merkmalen (z. B. DTV) durchgeführt. Die wesentlichen Ergebnisse in Bezug auf die Seitenraumgestaltung und Bepflanzung zeigen, dass 84 von 90 Pkw-Alleinunfällen im Fahrbahnabstand bis 5 m mit einem Einzel- oder Alleebaum kollidieren. Es konnte kein Einfluss des Baumabstandes vom Fahrbahnrand auf die Verletzungsschwere bei „schmalen“ Straßen (bei „breiten“ Straßen nicht untersucht) festgestellt werden. Bei den untersuchten Unfällen kommt es überdurchschnittlich häufig in Kurven zu Alleinunfällen von Pkw, was u. a. auf eine höhere Kurvenanzahl und un stetige Radienrelationen zurückgeführt werden kann. Bei diesen Unfällen wurde eine Überschreitung der  $v_{zul.}$  mit 60 % auf „breiten“ und mit 29 % auf „schmalen“ Straßen festgestellt. Pkw-Alleinunfälle treten vergleichsweise häufiger bei Nacht und Dämmerung auf (Otte 2000).

Steyer (2004) untersuchte zweistreifige Landstraßenkurvenbereiche, weil in Kurven vergleichsweise mehr Unfälle mit einem Aufprall auf einen Baum auftreten, als auf Geraden. Es wurden Zusammenhänge zwischen dem Unfallgeschehen, dem Fahrverhalten und der Kurvengeometrie ermittelt. Die Datengrundlage bestand aus Vorher-Nachher-Vergleichen verkehrsregelnder und -leitender Zusatzausstattungen in 54 Kurvenbereichen mit erhöhter Unfallauffälligkeit sowie einer Untersuchung des Fahr- und Geschwindigkeitsverhaltens. Aufgrund der Stichprobengröße wurden keine gesicherten Erkenntnisse zum Einsatz der Zusatzausstattungen

und deren Auswirkung auf die Verkehrssicherheit abgeleitet.

Weber & Hegewald (2007) und Hegewald & Weber (2008) betrachteten Unfälle auf schmalen Landstraßenquerschnitten (Breite: 4 bis 6 m) anhand der Straßenverkehrsunfallstatistik und der GIDAS-Datenbank. Diese Unfälle weisen eine vergleichsweise hohe Unfallschwere auf. Die Anzahl und Unfallschwere von Unfällen mit einem Aufprall auf einen Baum wurde nach der Abkommensart differenziert. Den 101 analysierten Unfällen konnten 58 Unfälle der Unfallart „Abkommen von der Fahrbahn nach rechts“ und 43 Unfälle der Unfallart „Abkommen von der Fahrbahn nach links“ zugeordnet werden. Die mittlere Unfallschwere beim Abkommen nach links war um 34 % niedriger als die mittlere Unfallschwere beim Abkommen nach rechts.

Auf Basis eines negativ-binominalen Regressionsmodells ermittelte Miaou (1996b) die Häufigkeit von Abkommensunfällen in den USA, welche bei steigenden Häufigkeiten durch ein bewegtes Gelände und steigende Böschungen erklärt wird. Eine Verringerung der Unfallhäufigkeit wird durch einen hindernisfreien Seitenraum und ein befestigtes Bankett erreicht.

Meurer (1968 und 1968b) stellte in seinen Untersuchungen fest, dass die Fahrstreifenbreite und der Abstand der Bepflanzung zum Fahrbahnrand die „Verkehrsgefährdung“ beeinflussen. Dabei zeigte sich, dass mit steigender Fahrbahnbreite der Einfluss der Straßenbepflanzung auf die Gefährdung geringer wurde. Als Empfehlung wurde ein seitlicher Abstand und ein Maximalabstand aufgrund des Hauptzwecks – der optischen Führung – von 1,50 m bis 2,40 m empfohlen. Bitzl (1968 und 1968b) stellte mit größer werdendem Baumabstand zur Fahrbahn eine sinkende Unfallschwere sowie einen Einfluss des Längsabstandes der Bäume auf die Unfallhäufigkeit fest. Bei Strecken mit Längsabständen von unter 10 m im Vergleich zu Abständen von 31 bis 40 m wurden viermal höhere Unfallhäufigkeiten (alle Unfälle) festgestellt (Bitzl 1968 und 1968b). Untersuchungen in Frankreich zeigten, dass eine geringere Unfallanzahl bei „ausreichendem“ Abstand der Bäume im Vergleich zu Strecken ohne Bepflanzung auftreten (Thédic 1959). Cantilli & Lee (1970) entwickelten in den USA ein Punktesystem, in dem die Notwendigkeit für die Aufstellung passiver Schutzeinrichtungen in Abhängigkeit von Baumabständen, Linienführung, Längsneigung und betrieblichen Bedingungen (DTV, Geschwin-

digkeit) ermittelt wird. Die von Zegeer et al. (1987) im Rahmen von Experteneinschätzungen auf Basis von Beispielen ermittelte Gefahrenskala von Seitenraumhindernissen und weiteren Entwurfsmerkmalen wurde in ein Unfallvorhersagemodell integriert. Die siebenstufige Skala zeigt, dass Hindernisabstände über 9 m zur Skalenbewertung 1 und Baumabstände von unter 3 m zur Bewertung 4 führen. Die Skalenbewertung hatte einen signifikanten Zusammenhang zur Unfallanzahl und -risiko in den USA (Zegeer et al. 1987, Vogt & Bared 1998). Der Zusammenhang wurde im Rahmen der Untersuchung von Pardillo-Mayora et al. (2010) in Spanien bestätigt. Zegeer et al. (1992) ermittelten keinen signifikanten Zusammenhang – begründet auf der geringen Varianz der Seitenraummerkmale innerhalb der Datengrundlage – zwischen Unfallhäufigkeit und freiem „Seitenraumbereich“ für Kurvenbereiche in den USA.

Knoflacher & Gatterer (1974) und Knoflacher (1975) empfehlen, auf einer eher geringen Datengrundlage von sechs österreichischen Landstraßen, den seitlichen Abstand von beidseitigen Bäumen bei Neupflanzungen auf mindestens 4,50 m und den Mindestlängsabstand auf 40 m zu erhöhen. Einseitige Bäume sollen laut den Autoren aufgrund der hohen Unfallschwere und fehlendem Einfluss auf das Fahrverhalten vermieden werden. Knoflacher & Gatterer (1981) ermittelten auf Streckenabschnitten in (West-)Deutschland mit Baumbestand im Vergleich zu Strecken ohne Bäume ein signifikant höheres Unfallgeschehen, insbesondere hinsichtlich der Unfallschwere. Sie empfehlen in der Untersuchung, den seitlichen Abstand von Bäumen von 2 m auf mindestens 3 m zu erhöhen, Mindestlängsabstände von 35 m bis 40 m und bei Strecken mit Baumbestand eine Fahrbahnbreite von 8,50 m bis 9 m vorzusehen. Rustenberg (1992 und 1993) ermittelte einen hohen Anteil von Unfällen mit Getöteten und Aufprall auf einen Baum mit einem Baumabstand von der Fahrbahn bis 3 m im Regierungsbezirk Lüneburg. Wenk (1999) stellte eine überproportional hohe Unfallanzahl bei Baumabständen (Allee und einseitige Baumreihen) unter 1,50 m fest und ermittelte, dass die Unfallanzahl erst über 2,50 m abnimmt. Weiterhin wurde eine zunehmende Gefährlichkeit in der Reihenfolge geschlossene, lückige, stark lückige Alleen ermittelt (Wenk 1999).

Meewes (2001) untersuchte Unfälle und Folgen von Unfällen mit einem Aufprall sowie Aufprallgeschwindigkeiten. Das Ziel sollte sein, geeignete Baumabstände vom Fahrbahnrand zu ermitteln, welche für

eine Neuanpflanzung erforderlich sind. Der Abstand soll gewährleisten, dass ein Aufprall von der Fahrbahn abkommender Fahrzeuge nicht oder nur mit geringer Wahrscheinlichkeit und einer geringen Aufprallgeschwindigkeit erfolgt. Die Auswertungen von Unfällen ergaben, dass sich bei einem seitlichen Baumabstand zum Fahrbahnrand von 9,00 m die mittlere Unfallschwere um nur 23 % im Vergleich zu einem Abstand von 1,50 m verringert. Meewes (2001) zeigte weiterhin, dass Unfälle mit Baumaufprall überwiegend in verkehrsschwachen Zeiten geschehen und die Unfallkosten bei ungünstigem Fahrbahnzustand (Nässe und Glätte) besonders hoch sind. Die positive Wirkung von Schutzplanken vor Bäumen konnte bestätigt werden, jedoch hält der Autor fest, dass Schutzeinrichtungen auch Hindernisse darstellen, die die Kraftfahrzeuge nach Aufprall wieder in den Gegenverkehr lenken können. Er empfahl daher, falls möglich, Schutzsysteme mit einem großen Wirkungsbereich einzusetzen. Meewes (2001) kam zu dem Ergebnis, dass ein Baumabstand von 8 m zu gering sei, um Unfälle mit einem Aufprall auf einem Baum zu verhindern. Dabei stellte er geringere mittlere Unfallkosten beim Abkommen von der Fahrbahn nach links als nach rechts fest.

Schnüll et al. (2004) untersuchten geschlossene und lückige Alleen in Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern und Niedersachsen (ohne Knotenpunkte). Im Rahmen der streckenbezogenen, jedoch fahrtrichtungsunabhängigen monokausalen Bestimmung der Unfallkenngrößen nach Streckenmerkmalen konnten kaum Abhängigkeiten ermittelt und deshalb nur vereinzelt maßnahmenbezogene Erkenntnisse gewonnen werden. Die meisten Gegenüberstellungen weisen enorme Streuungen auf.

Die Untersuchungen von Lippold & Dietze (2005), Lippold et al. (2006) und Lippold & Schulz (2009) umfassten Untersuchungen des Spur-, Geschwindigkeitsverhaltens und der Orientierung in Probandenfahrten und Fahrsimulatorversuchen sowie Unfallanalysen nach unterschiedlichen Bepflanzungstypen (hier u. a. einseitige und beidseitige aufragende Bepflanzung, freies Umfeld) und nach den Parametern Kurvigkeit und Fahrbahnbreite insbesondere in Landstraßenkurven in Sachsen und Brandenburg ohne Knotenpunktuntersuchungen. In Abhängigkeit von der vorhandenen Linienführung stellte sich ein unterschiedliches Fahrverhalten ein, was sich auch zum Teil im Unfallgeschehen widerspiegelt. Bei kurvigen Strecken und bei Abschnitten mit Singularitäten zeigte sich, dass außenseitige

Bepflanzungen die Erkennbarkeit des Richtungsinns der Kurve erleichtern. Innenseitige Bepflanzungen bei Einzelkurven führen aufgrund der Sicht Einschränkungen zu einer vorsichtigeren Fahrweise. In beiden Fällen traten aber hohe Unfallraten und -kosten auf. Bei engen Kurven mit freiem Umfeld wurden größere Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen dem Vorbereich und der Kurvenmitte festgestellt. Die Unfallzahlen deuten aber auf eine (noch) rechtzeitige Anpassung des Fahrverhaltens hin. Fahrunfälle waren hier seltener und aufgrund des freien Umfeldes auch weniger schwer. Bei Abschnitten mit gestreckter Linienführung orientierten sich die Fahrzeugführer an der zulässigen Höchstgeschwindigkeit und weniger an der Bepflanzung im Seitenraum. Auch hier stellten sich Abschnitte mit freiem Umfeld als am sichersten heraus (Lippold & Dietze 2005, Lippold et al. 2006 und Lippold & Schulz 2009). Bereits Knoflacher & Gatterer (1981) konnten ähnliche Tendenzen in Österreich beobachten.

Die Auswertungen von Lippold & Schulz (2009) der längen- und fahrleistungsbezogenen Unfallkenngrößen der Unfalltypen 1 (Fahrerunfall) und 6 (Längsverkehr) zeigten, dass die Unfallraten und -dichten auf Strecken mit freiem Umfeld über denen mit ein- oder beidseitiger Bepflanzung lagen. Unter der Berücksichtigung der schwereren Unfallfolgen traten in Bereichen mit freiem Umfeld höhere Unfallkosten auf als in Waldgebieten oder auf Strecken mit einseitiger Bepflanzung. Die Autoren sehen die (unerwarteten) Ergebnisse unter dem Aspekt der Verzerrung der Stichprobe, da keine Abschnitte mit Schutzplanken betrachtet wurden. Besonders Unfallschwerpunkte und teilweise Strecken mit höheren Verkehrsstärken waren damit nicht Bestandteil des Vergleichs. Die Straßengeometrie und der Fahrbahnzustand wurden in der Untersuchung nicht berücksichtigt. Stark kurvige Linienführungen und schlechtere Straßenzustände sind vorwiegend in den vorhandenen, ausgedehnten Waldgebieten zu finden, was dort oft zu geringeren Fahrgeschwindigkeiten und weniger Überholversuchen führt. Sehr hohe Unfallkostenraten traten beim Fahrerunfall bei Bepflanzung der Kurvenaußenseite auf. Es gab jedoch nur geringe Unterschiede zwischen einseitiger Bepflanzung der Kurveninnenseite und freiem Umfeld. Weiterhin zeigte sich, dass die Wahrscheinlichkeit, im Fall eines Unfalls in Bereichen mit beidseitig, aufragender Bepflanzung ums Leben zu kommen, doppelt so hoch ist wie bei einem freien Umfeld, das Risiko schwerer Verletzungen ist

1,5-mal höher. Hinsichtlich der Unterscheidung in breite und schmale Fahrbahnen zeigten sich nur äußerst geringe Differenzen im Unfallgeschehen. „Vermutungen, dass eine bessere optische Führung durch aufragende Bepflanzung zu geringeren Anteilen an Fahrerunfällen führt, konnten nicht bestätigt werden. Im Gegenteil wiesen die entsprechenden Bereiche sogar höhere Anteile an Fahrerunfällen auf.“ (Lippold & Schulz 2009). Letztlich wurde vermutet, dass die Bepflanzung nie die Unfallursache darstellt, aber die Unfallfolgen dramatisch erhöhen kann (Lippold & Schulz 2009).

Bösl & Spahn (2010) untersuchten Landstraßen in Bayern auf einer Länge von 158 km nach Streckenparametern zur Ermittlung der Unfallwahrscheinlichkeit für das Abkommen von der Fahrbahn und Unfallkenngrößen. Sie ermittelten signifikante Zusammenhänge zwischen den Unfallraten, mittleren Unfallkostenraten und der Linienführung, bei der sich die Größe der Radien und die Radienrelation als wesentliche Einflussmerkmale herausstellten. Ein Einfluss wurde auch durch das Merkmal Längsneigung ermittelt. Ebenso wurde ein Einfluss des Straßenumfeldes (freier Seitenraum, Wald, Einzelbaum) auf die Unfallrate nachgewiesen. Diesbezüglich wurden Sichtverhältnisse in Kurven und Licht-Schatten-Grenzen als Ursache für höhere Unfallraten auf Waldstrecken vermutet und auf den Untersuchungsbedarf verwiesen. Eine Analyse des außerörtlichen Bundes- und Staatstraßennetzes von Bayern ergab einen Einfluss des Fahrbahnzustands anhand des Zustandsindikators Griffigkeit auf das Unfallrisiko. Weiterhin wurden höhere Unfallkosten beim Vorhandensein von Bäumen im Vergleich zu freiem Seitenraum und Vorhandensein von Schutzeinrichtungen nachgewiesen. Die Analyse der Unfallschwere von Bösl & Spahn (2010) im Hinblick auf die Abstände der Bäume vom Fahrbahnrand zeigten bei geringen Abständen (unter 3 m, 44 Unfälle) höhere mittlere Unfallkosten als bei Abständen zwischen 3 und 7 m (237 Unfälle). Jedoch waren die mittleren Unfallkosten bei Abständen über 7 m (90 Unfälle) höher als bei Abständen von 3 bis 7 m.

Im Rahmen der Untersuchungen von Maier et al. (2013) und Berger (2016) wurden die Bepflanzungstypen Einzelbaum (als punktuelle Gefahrenstelle), Baumreihe auf dem Bankett und waldartige Anpflanzung auf Basis verallgemeinerter linearer Modelle (GLM) analysiert. Die Merkmale „Baum auf Bankett“ und „Wald im Seitenraum“ ergaben signifikante Einflüsse auf das Unfallgeschehen. Die lini-

enhaften Merkmale (Baumreihe ohne passive Schutzeinrichtung, Schutzeinrichtung, linienhafte Gefahrenstelle) wurden richtungsgetrennt erhoben. Falls sich eine Baumreihe hinter der passiven Schutzeinrichtung befand, wurde diese nicht messtechnisch aufgenommen. Weiterhin wurde in straßennahe Baumreihen (auf Bankett) und straßenferne Baumreihen (hinter der Entwässerungsmulde) unterschieden. Dabei wurden Bäume hinter der Entwässerungsmulde aufgrund der Sonderrolle (weder als Zuschlag für Abweichung zur Grundunfallkostenrate (zUKR) noch der Grundunfallkostenrate (gUKR) eindeutig zuzuordnen) in der volkswirtschaftlichen Bewertung des Unfallgeschehens eher als Streckeneigenschaft zugeordnet und nicht einem Defizit nach dem HVS (Handbuch für die Bewertung der Verkehrssicherheit von Straßen) (Maier et al. 2013). Einzelbäume mit einem Längsabstand von größer ca. 100 m wurden im Modell als punktuelle Gefahrenstellen berücksichtigt.

Besonders Unfälle mit einem Aufprall auf einen Baum werden z. B. vor dem Hintergrund des hohen Anteils an (schweren) Alleinunfällen mit suizidalen Ereignissen in Verbindung gebracht. Bäumler (2017) konnte aus etwa 500 rekonstruierten Straßenverkehrsunfällen nachweislich 5 Unfälle mit Suizid ermitteln und weist dabei auf eine gute Aufklärungsmöglichkeit in der Unfallrekonstruktion hin. Ein mögliches Hinweismerkmal für einen Suizid bei einem Straßenverkehrsunfall ist beispielsweise das Abkommen ohne Handlung durch den Fahrzeugführer wie Bremsen oder Ausweichen (Bäumler 2017). Rübenach (2007) ermittelte für das Jahr 2006 einen Anteil von unter 1 % der Sterbefälle bei suizidalen Straßenverkehrsunfällen (39 von 5.091) bei einem „absichtlich verursachten Kraftfahrzeugunfall“ in Deutschland. Damit können suizidale Ereignisse als nicht bedeutend zur Erklärung der Häufigkeit von Unfällen mit einem Aufprall auf einen Baum verwendet werden.

### 2.5.3 Merkmale der Bepflanzung in Vorgaben

Die Ausstattung im Straßenraum und die Maßnahmen zur Verbesserung der Verkehrssicherheit sind sehr vielfältig. Die standardisierte und „selbsterklärende“ Straße soll als proaktive Maßnahme zur Fehlervermeidung dienen. Dafür bilden in Deutschland die RAL 2012 die Grundlagen (FGSV 2012). Mit den RAL 2012 wurde von der FGSV e. V. ein Regelwerk für den Landstraßenentwurf für den Neu-, Um- und Ausbau entwickelt. Um „sichere Sei-

tenräume“ umzusetzen sollen Bäume zur Verdeutlichung des Straßenverlaufs nur in Bereichen angepflanzt werden, die von abkommenden Fahrzeugen nicht erreicht werden können, wie beispielsweise hinter Fahrzeug-Rückhaltesystemen oder auf Einschnittsböschungen. Dabei sollen Bäume hinter Fahrzeug-Rückhaltesystemen mindestens 3,00 m vom Rand der befestigten Fläche gepflanzt werden, damit deren Wirkung nicht beeinträchtigt ist. Diesen ungeachtet sollen hindernisfreie Seitenräume und für Wild unattraktive Bepflanzung in ausreichender Breite vorgesehen werden (FGSV 2012).

Die Wirksamkeit von passiven Schutzeinrichtungen zur Verbesserung der Verkehrssicherheit durch Minderung der Unfallfolgen zumindest bei Pkw-Insassen ist bekannt (siehe u. a. Lipphard & Meewes 1994, Buss 1997, ADAC 1997, Rohloff 1999, Meewes & Eckstein 1999, Otte 2000, Bösl & Spahn 2010, Spahn 2015b).

Fahrzeug-Rückhaltesysteme sind selbst Hindernisse und stellen beim Abkommen von der Fahrbahn höhere Gefährdungen als hindernisfreie Seitenräume hinsichtlich der Unfallschwere, insbesondere auch für den Motorradverkehr dar. Sie sollen daher nur dort aufgestellt werden, wo sie zum Schutz der Fahrzeuginsassen oder Dritter erforderlich sind (FGSV 2009). Die Richtlinien für passiven Schutz an Straßen durch Fahrzeug-Rückhaltesysteme (RPS) 2009 unter Beachtung des ARS 28/2010 (BMVBS 2010) sowie der Handlungsempfehlungen (Maier et al. 2014) sind im Gegensatz zu den ESAB 2006 (FGSV 2006) u. a. bei der Schaffung neuer Hindernisse oder beim Neu-, Um- oder Ausbau von Straßen sowie Erneuerungen von Fahrzeug-Rückhaltesystemen sowie an vorhandenen Straßen bei Vorhandensein von unfallauffälligen Bereichen nach M Uko 2012 (FGSV 2012b) anzuwenden. Hierbei sind an erster Stelle ausreichende hindernisfreie Seitenräume vorzusehen oder bei Bedarf Fahrzeug-Rückhaltesysteme aufzustellen. Als hindernisfreien Seitenraum kann man grundsätzlich die kritischen Abstände für Straßen nach RPS unterstellen, welche hauptsächlich nach zulässigen Höchstgeschwindigkeiten und Böschungshöhen variieren. Bäume werden ab einem Stammumfang von 25 cm<sup>12</sup> als nicht verformbare punktuelle Ein-

<sup>12</sup> Stammumfang abgeleitet aus der Definition umfahrbarer, unverformbarer und leichtverformbarer Einzelhindernisse (BMVBS 2010, BMVBW 2000).

zelhindernisse angesehen und in die Gefährdungsstufe 3 eingeordnet. Damit dürfen die Schutzzeineinrichtungen auch bei geringen Verkehrsstärken ( $DTV \leq 3.000 \text{ Kfz}/24 \text{ h}$ ) nicht weggelassen werden. Die Straßenbepflanzung an „schwach befahrenen Straßen“ ist ein regelmäßiges Diskussionsthema (u. a. Praxenthaler 2006). Die RPS 2009 sehen beispielsweise vor, erst bei einem Gefahrenabstand von mindestens 7,5 m (zulässige Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h bis 100 km/h, ebenes Gelände) auf Schutzzeineinrichtungen zu verzichten (FGSV 2009)<sup>13</sup>. Dabei soll an „Motorradstrecken“ und an unfallauffälligen Strecken mit Motorradfahrerbetrieiligung zusätzlich ein Unterfahrschutz vorgesehen werden (FGSV 2007). Der Leitfaden (BASt 2017) zeigt den Straßenbauverwaltungen Vorschläge für Sonderlösungen zum Baum- und Objektschutz bei beengten Verhältnissen an Bestandsstrecken auf, wo eine Regellösung nach den RPS 2009 (FGSV 2009) nicht umsetzbar ist.

Die RPS 1989<sup>14</sup> definierten den Baumabstand in Abhängigkeit von der Unfallsituation und der Abkommenswahrscheinlichkeit. Neben der Linienführung, Seitenraumgestaltung (Damm, Einschnitt) sowie deren Neigung ergab sich der Abstand von 4,50 m bis 14 m vom Rand der befestigten Fläche in Abhängigkeit von Vorhandensein einer Geraden, Innen- oder Außenkurven sowie deren Radius (FGSV 1989). Die Richtlinien für abweisende Schutzzeineinrichtungen an Bundesfernstraßen 1972 zählen die Seitenraumbepflanzung nicht als gefährlich im Sinne der Richtlinien. Jedoch wurde ergänzend im zugehörigen ARS empfohlen, bei Bäumen im Abstand von unter 4,50 m die Zweckmäßigkeit von Schutzplanken abzuwägen (BMV 1972). Die Vorgängerrichtlinien RAS-/RAL-Q 1996, 1982, 1974 (FGSV 1996, FGSV 1982, FGS 1974) verweisen allgemein auf die RPS und auf die Vorgaben der Landschaftsgestaltung und -pflege. Die RAL-Q 1956 (FGS 1956) forderten einen Abstand von 3 m bezogen auf die Baummittelachse und die RAS-Q

1982 einen Abstand von 3 m und bei größerer Abkommenswahrscheinlichkeit mindestens 4,50 m sowie die Einhaltung der Sichtverhältnisse (FGSV 1982). Ebenfalls treffen diese auch Vorgaben zum Baumabstand von Geh- und Radwegen und betonen den erforderlichen Schutzraum bei Fahrbahnverbreiterungen. Die RAS-Q 1982 geben einen Baummindestabstand vom 0,50 m und die RAS-Q 1996 von 1,50 m zum Geh- und Radweg (FGSV 1982, FGSV 1995, FGSV 1996) vor. Die Richtlinien für die Linienführung betonen in Hinblick auf die Seitenraumbepflanzung die notwendigen Sichtweiten und dabei eine Notwendigkeit der Sichtfeldfreilegung (FGS 1963, FGS 1973, FGSV 1988, FGSV 1996). Die Richtlinien für die Querschnittsgestaltung in der ehemaligen DDR gaben geringere Abstände (z. B. einen Baumabstand von 1,50 m) vor (Ministerium für Verkehrswesen 1977).

Im europäischen Projekt RISER (Roadside Infrastructure for Safer European Roads) wurden im Zeitraum von 2003 bis 2006 die Empfehlungen zur Seitenraumgestaltung in Europa analysiert. Die am häufigsten vorkommenden empfohlenen Mindestabstände liegen zwischen 6 bis 10 m bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit um 100 km/h und 4,50 bis 7 m bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit um 80 km/h (Dupré & Bisson 2006)<sup>15</sup>. Die Beratungsstelle für Unfallverhütung der Schweiz empfiehlt ein Mindestabstand von 6,00 m von festen Hindernissen vom Straßenrand entlang von schweizerischen Haupt- und Nebenstraßen auf Landstraßen (Ewert & Eberling 2009).

Im Jahre 2006 wurden die ESAB (FGSV 2006)<sup>16</sup> mit dem ARS 15/2006 (BMVBS 2006) veröffentlicht. Die ESAB enthalten kurz- bis langfristige bauliche, betriebliche, verkehrstechnische oder straßenverkehrsrechtliche Maßnahmen. Neben straßenverkehrsrechtlichen Maßnahmen, wie Verkehrszeichen (Zeichen, Markierung) existieren Leiteinrichtungen (Leitbaken und -pfosten, Richtungstafeln,

<sup>13</sup> Beispielsweise sieht das Naturschutzgesetz von Baden-Württemberg vor, dass „Neupflanzungen von Bäumen an Straßen sollen grundsätzlich außerhalb des in den RPS definierten kritischen Abstandes erfolgen sollen, soweit es sich nicht um den Ersatz einzelner Bäume in Alleen handelt.“ (§ 31 Abs. 7 NatSchG-BW 2015)

<sup>14</sup> Die Regelwerke u. ä. in diesem Abschnitt stellen nicht mehr den aktuellen Stand der Technik und Forschung dar. Die Zusammenstellung soll die Entwicklung der Vorgaben zur Straßenbepflanzung – auch vor dem Hintergrund des heutigen Bestandes – aufzeigen.

<sup>15</sup> Weitere internationale Empfehlungen siehe z. B. La Torre (2012).

<sup>16</sup> Seit dem Jahr 2017 wird von der FGSV und der FLL im Rahmen der ad-hoc Gruppe 3.03 das „Merkblatt Bäume an Straßen“ (Arbeitstitel) erarbeitet. Das Merkblatt soll das Merkblatt Allees (BMVBW 1992) und die ESAB 2006 (FGSV 2006) ersetzen.

Baumspiegel) sowie profilierte Randmarkierungen und Rüttelstreifen. In der Fachwelt gelten passive Schutzeinrichtungen sowie mobile und ortsfeste Anlagen der Geschwindigkeitsüberwachung des Kraftfahrzeugverkehrs als zwei der effektivsten Maßnahmen zur Verbesserung der Verkehrssicherheit bei Hindernissen wie Bäumen an Straßen. Daneben existieren geeignete bauliche Maßnahmen (u. a. Bankett- und Deckenerneuerung) zur Verbesserung der Verkehrssicherheit mit Aufprall auf einen Baum. Zu den eher weniger wirkungsvollen Maßnahmen gehören die Verkehrssicherheitskommunikationsmaßnahmen Dialog-Displays, Plakate usw. (u. a. ESAB 2006). Weiterhin existieren laut den ESAB 2006 weitere wirksame – jedoch nicht auf Dauer ausreichende – Sofortmaßnahmen, wie z. B. die Verringerung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit. Die ESAB empfehlen, bei Neupflanzung von Bäumen einen Abstand von mindestens 4,50 m vom Rand der befestigten Fläche vorzusehen. Kann der Abstand von 4,50 m nicht eingehalten werden, sind passive Schutzeinrichtungen erforderlich. Die ESAB sehen als geeignete Vermeidungsmaßnahmen eine Absenkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit und Verkehrsüberwachung (mobil oder ortsfest) vor.

Meewes (in Eid et al. 2005) erarbeitete auf Basis der ESAB ein gestuftes Verfahren für die Straßenverwaltungen, wie u. a. in unfallauffälligen Bereichen im Bestandsnetz Maßnahmen zu ergreifen sind (siehe Abbildung 2). Vergleichbare Empfehlungen bei unfallauffälligen Bereichen mit Aufprall auf einen Baum und bei Abkommensunfällen geben internationale Werke (Neumann et al. 2003 und 2003b).

Die Prüfung der Wirksamkeit von verschiedenen Maßnahmen gegen Aufprall auf Seitenraumhindernisse im gesamten Netz von Mecklenburg-Vorpommern untersuchte Heilmann (2008) auf Basis der Straßenverkehrsunfallstatistik. Der Autor führte den deutlichen Rückgang auf die umgesetzten Maßnahmen im übergeordneten Straßennetz zurück und sah die Probleme im untergeordneten Straßennetz der Kreis- und sonstigen Straßen, ohne jedoch eine differenzierte Verknüpfung zum Netz durchzuführen. Bei einem Modellprojekt auf 325 Untersuchungsstrecken im Zeitraum zwischen 01.07.2014 bis 30.06.2017 in Niedersachsen wurden verschiedene Maßnahmen, wie u. a. die Verringerung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit, polizeiliche Überwachungsmaßnahmen und eine Öffentlich-

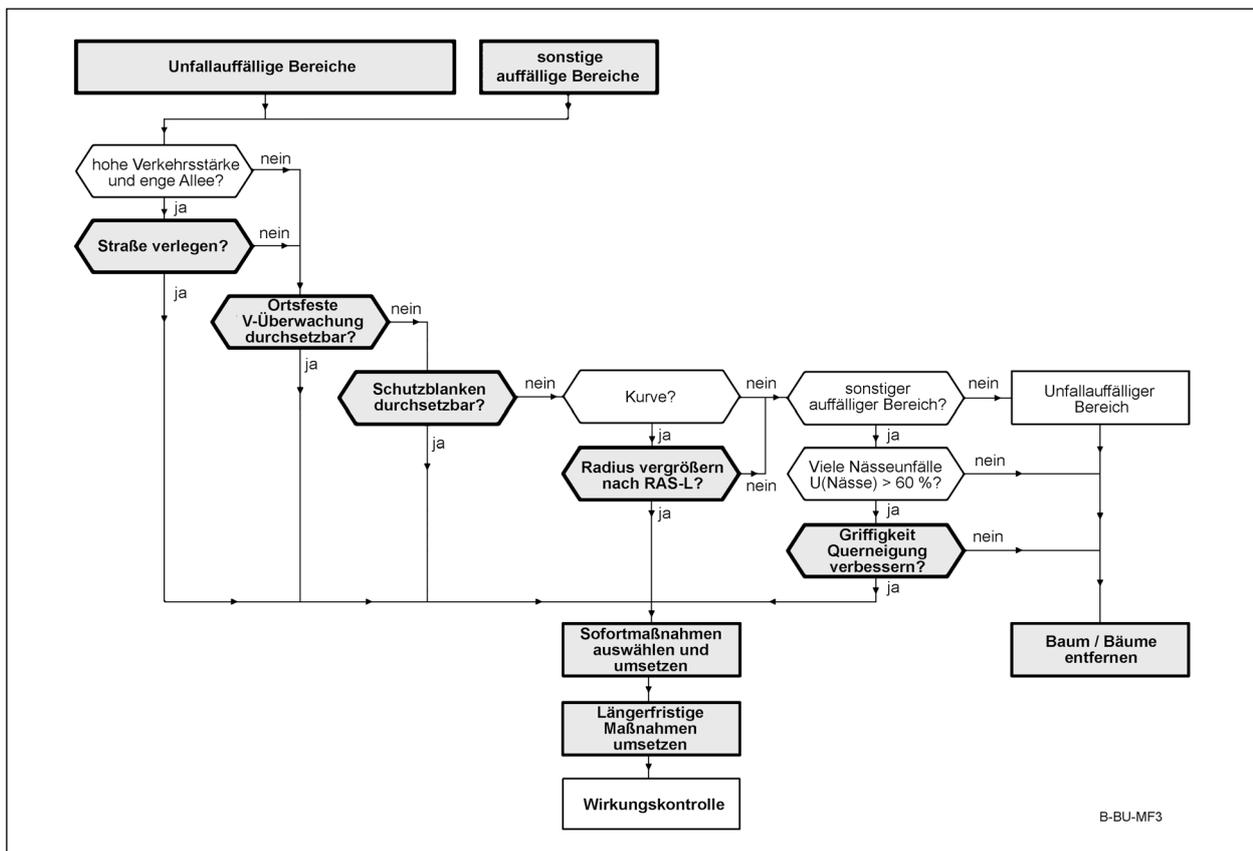


Abbildung 2: Maßnahmenfindung für auffällige Bereiche (Eid et al. 2005)

keitsarbeit hinsichtlich deren Wirkung evaluiert. Es zeigten sich überproportionale Rückgänge der Unfallzahlen, jedoch keine Zusammenhänge zwischen einzelnen Maßnahmen und dem Unfallgeschehen (Nds. MW 2018).

Im Einklang mit den aktuellen Regelwerken sind sinnvolle Pflanzstandorte generell bei Abständen außerhalb der in den RPS 2009 (FGSV 2009) genannten kritischen Abstände, insbesondere auf Böschungsoberkanten in Einschnitten, neben Geh- und Radwegen auf der straßenabgewandten Seite, außerhalb des Wirkungsbereiches bereits bestehender Schutzeinrichtungen und an Wirtschafts-, Rad- und Wanderwegen z. B. bei der Umstrukturierung des Wegenetzes (FGSV 2006, BMVI 2015). Weiterhin besteht ein Unterschied zwischen einer Neu- und Nachpflanzung. Nach den Vorgaben der ESAB 2006 (FGSV 2006) und des ARS 28/2010 (BMVBS 2010) kann eine Nachpflanzung in kleineren Baumlücken (bis 100 m) unter Beibehaltung der bisherigen Baumflucht vorgenommen werden, wenn ein unfallunauffälliger Bereich vorhanden ist. Jedoch sind Nachpflanzungen von Einzelbäumen nach dem Merkblatt „Alleen“ nur unter Einhaltung enger Rahmenbedingungen und in Ausnahmefällen möglich, jedoch sollen bei größeren Nachpflanzungen aufgrund der Pflanzortverbesserung und der Verkehrssicherheit die neuen Bäume aus der bestehenden Baumflucht herausgenommen werden (BMVBW 1992).

Der Erlass zum Schutz und zur Nachpflanzung von Alleen an Bundes- und Landesstraßen in Brandenburg weicht von den Vorgaben der RPS 2009 und ESAB 2006 ab, z. B. hinsichtlich der Neupflanzung ohne die Einrichtung von passiven Schutzeinrichtungen. Dabei soll mit einer (Neu-) Pflanzung die Anordnung einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit geprüft werden (MSWV & MLUR 2000). Auf Straßen mit angrenzendem dichten Baumbestand (mindestens eine Summe von 15 Bäumen auf 500 m) ohne vorgelagerte Fahrzeug-Rückhaltesysteme außerhalb geschlossener Ortschaften werden im Bundesland Brandenburg verkehrstechnische und betriebliche Maßnahmen vorgesehen (MIL & MI 2011).

Der Erlass zum Schutz, der Pflege und Neuanpflanzung von Alleen und einseitigen Baumreihen in Mecklenburg-Vorpommern sieht bei Neupflanzungen von Alleebäumen insbesondere hinter vorhandenen passiven Schutzeinrichtungen an Bundesstraßen einen Mindestabstand von 4,50 m und an

Landesstraßen von 3 m (im Einzelfall beim Vorhandensein von einem DTV unter 2.000 Kfz/24 h auch unter 3 m möglich) (MVM & MLA 2015). Weitere Bundesländer haben Vorgaben zum Alleenschutz. Beispielsweise hat Nordrhein-Westfalen Hinweise zu Ersatzpflanzungen in Alleen (mindestens eine Summe von 10 Bäumen auf 100 m) nach den grundsätzlichen Vorgaben der ESAB erlassen (MKULNV 2015).

Die Vorgaben der Richtlinien für die landschaftspflegerische Begleitplanung im Straßenbau (RLBP) 2011 bündeln die naturschutzrelevanten Planungsbeiträge in der Entwurfs- und Genehmigungsplanung (BMVBS 2011). Hinsichtlich der rechtlichen Grundlagen, Aufgaben, Methodik und des Ablaufs sowie des Planungs-, Beteiligungs- und Abstimmungsprozesses der landschaftspflegerischen Begleitplanung wird auf die Richtlinien verwiesen. Die RLBP 2011 machen keine Vorgaben zur Verkehrssicherheit, berücksichtigen sie trotzdem als Prüfkriterium mit der Einhaltung von Auflagen aus dem Sicherheitsaudit (BMVBS 2011). Die Teile u. a. zur Landschaftspflege und -gestaltung in den Richtlinien (FGSV 1983, FGSV 1993, FGSV 1999, FGSV 2013) berücksichtigen die landschaftsgerechte Einbindung sowie die Aspekte der Verkehrsführung. Zahlreiche weitere Regelwerke und ergänzenden Empfehlungen (z. B. FGSV 2003), Merkblätter, Hinweise und Handbücher sowie entsprechende Einführungserlasse des Bundes und der Bundesländer befassen sich mit der Kontrolle und der Baumschau von Bäumen (FLL 2010, FLL 2013), u. a. aus der Verkehrssicherungspflicht als Pflichtaufgabe<sup>17</sup> sowie aus betriebsdienstlichen Vorgaben (z. B. Merkblatt für den Straßenbetriebsdienst (FGSV 2019)).

## 2.6 Verhaltensmerkmale und Bepflanzung

### 2.6.1 Studien mit dem Schwerpunkt Geschwindigkeiten

Im Zusammenhang mit der Landstraßensicherheit wird oft der Einfluss des Merkmals Geschwindigkeit diskutiert. Hierbei muss nach der zulässigen Höchstgeschwindigkeit und den querschnitts- und abschnittsweisen Fahrgeschwindigkeiten (nach

<sup>17</sup> Weitere Informationen z. B. in BMV (1994), Breloer (1996) enthalten.

Fahrzeugkollektiven) differenziert werden. In mehreren Untersuchungen wurde ein Einfluss der Geschwindigkeit auf die Verkehrssicherheit auf Landstraßen bestätigt. Mit zunehmender Geschwindigkeit – diese steht dabei immer im Zusammenhang mit den Elementen des Fahrbahnbandes im Lage- und Höhenplan – steigt die Unfallschwere, insbesondere auch aus physikalischen Gründen. Die Geschwindigkeit steht aber nicht immer im Zusammenhang mit der Unfallhäufigkeit (siehe u. a. in Trapp 1971, Meewes & Gerz 1975, Köppel & Bock 1979, Al-Kassar et al. 1981, Buck 1991, Bartelt et al. 1992, Schmidt 1996, Spacek 1999, Elvik et al. 2004, Nilsson 2004, Taylor et al. 2000 und 2002, Aarts & Van Schagen 2006, SWOV 2012).

Knoflacher & Gatterer (1981) stellten fest, dass der Kurvenradius und die Längsneigung nachweislich das Unfallgeschehen beeinflussen. Die besondere Unfallschwere leiten sie vor allem aus den hohen Geschwindigkeiten ab. Sie empfehlen daher die Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf Strecken mit Baumbestand im geringen Abstand. Becher & Baier (2003) stellten in dem Übergang von langen geradlinigen Alleenabschnitten zu Kurvenbereichen zahlreiche schwere Unfälle mit überhöhten Geschwindigkeiten fest.

Für die Bestimmung von Risikofaktoren auf Schweizer Landstraßen verknüpfte Thoma (1993) das Unfallgeschehen mit Geschwindigkeitsmessungen und einer Nutzerbefragung. Das Unfallrisiko betrug aufgrund der höheren mittleren Geschwindigkeiten im Vergleich von Tag zu Nacht 1 : 2. Im Vergleich von trockenem Wetter zu Regen wurde kein Einfluss auf die mittlere Geschwindigkeit festgestellt und ein Risikofaktor von 1 : 2,5 ermittelt. In der Kombination von Tag und trocken zu Nacht und Regen ergab sich ein Risikofaktor von 1 : 6. Die Ergebnisse der Befragung zeigten, dass vor allem die Gruppe der 18- bis 34-jährigen Männer von einer falschen Geschwindigkeitswahl bei erschwerten Bedingungen betroffen sind.

Andree (1981) untersuchte zur Ermittlung der Wirksamkeit und des Einflusses von verkehrsregelnden Maßnahmen nach der StVO an 87 Unfallschwerpunkten die Fahrunfälle von Kfz mit einem zulässigen Gesamtgewicht bis 1,5 t, differenziert nach Streckenmerkmalen (u. a. Einzelkurven, Kurvenfolgen sowie Kombinationen mit Längsneigungen), im Bundesland Hessen. Die mit Regressions- und Korrelationsanalysen ermittelten Wirksamkeiten waren gering. Maßnahmen der Fahrbahndeckenerneue-

rung zeigen häufig als Folge einen Anstieg der Geschwindigkeiten insbesondere auf geraden Strecken ebenso wie in Kurvenbereichen und werden ohne weitere komplementäre Maßnahmen (z. B. entwurfstechnische Maßnahmen und Schutzrichtungen) als kritisch bewertet (Maier 1993, Schnüll et al. 1997, Wenk 1999, Zwieli et al. 2001). In Schnüll et al. (1997) wurde ein hoher Unfallanstieg (insbesondere bei Alleinunfällen mit Aufprall auf einen Baum) bei Vorher-Nachher-Vergleichen mit Kontrollgruppe nach Deckenerneuerungen u. a. bei (Rechts-)Kurven, Alleen und Waldbereichen mit Deckenerneuerung erfasst (Schnüll et al. 1997).

Lipphard & Meewes (1994) und Lipphard (1994) untersuchten Fahrgeschwindigkeiten auf Landstraßen in den neuen Bundesländern. Dabei wurde u. a. gezeigt, dass in der Nacht schneller als am Tag gefahren wird (jeweils unbeeinflusste Geschwindigkeitswahl). Es wurden die gleichen Fahrgeschwindigkeiten auf Straßen mit Alleen, Wäldern und freiem Seitenraum ermittelt. Weller (2010) stellte ebenfalls die gleiche Fahrgeschwindigkeit auf Straßen mit Alleen und freiem Seitenraum (monotone Umgebung) fest. Dabei konnte Weller (2010) für männliche Fahrer eine signifikant höhere mittlere Fahrgeschwindigkeit ermitteln. Hülsen & Meewes (1997) schätzen die Anpassung der gefahrenen Geschwindigkeiten zur Reduzierung der Abkommenswahrscheinlichkeit als wirkungsvolle Maßnahme ein, um die Unfallanzahl zu reduzieren, und empfahlen aufgrund der hohen Unfallanzahl außerdem, den Seitenraum von Hindernissen freizuhalten oder passive Schutzrichtungen vorzusehen. Eine signifikante Geschwindigkeitsdämpfung durch eine Straßenbepflanzung im Übergangsbereich einer Landstraße zum Ortseingang konnte in einer Studie in den USA nicht ermittelt werden (Dixon et al. 2008). Straßenbepflanzungen mit verschiedenen Höhen (geringe Straßenbepflanzungshöhen im nahen Fahrbahnbereich und hohe Bepflanzungshöhen im weiter entfernten Bereich) hatten keinen nachweisbaren Einfluss auf die Geschwindigkeit (Dixon et al. 2008).

Holte & Rudinger (1994) und Rudinger & Holte (1994) führten zur Bestimmung der subjektiven Sicherheit auf Alleenstrecken ein Laborexperiment durch. Die theoretische Ermittlung des Einflusses von verkehrstechnischen Maßnahmen (Markierungen, Schutzrichtungen) auf die Fahrgeschwindigkeit zeigte, dass Alleen als gefährlicher eingeschätzt werden. Je geringer die Allee mit Maßnahmen ausgestattet war, desto angepasster bzw. mit

geringerer Fahrgeschwindigkeit wurde gefahren. In der Untersuchung wurde jedoch kein objektiver Bezug zum Unfallgeschehen vorgenommen. Vom ADAC (1997) vermutet (ohne Nachweis) wird die Wirkung einer Schutzeinrichtung auch auf die subjektive Wahrnehmung des Fahrzeugführers, da diese aufgrund der Leitwirkung zu Geschwindigkeitserhöhungen und zur Risikokompensation führen, was zu schweren Unfällen führen kann.

In Brandenburg wurden seit 1995 Baumspiegel (Baumstamm mit weißem Anstrich) mit dem Ziel eingerichtet, insbesondere bei Dämmerung und Nacht „die Bäume in das optische Sichtfeld der Kraftfahrer“ zu rücken (Vollpracht 2000). Maier et al. (1999) untersuchten verschiedene Maßnahmen auf Strecken mit Straßenbepflanzungen. Auf Basis eines sehr kleinen Datenkollektivs wurde im Ergebnis eine Erhöhung der Verkehrssicherheit durch eine Verringerung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf 80 km/h in Verbindung mit mobilen Geschwindigkeitsüberwachungen festgestellt. Eine Wirkung von Baumspiegeln auf das Unfallgeschehen und Fahrverhalten wurde nicht nachgewiesen. Reker et al. (1997) wiesen jedoch auf Basis von Radarmessungen und Messfahrten mit Versuchspersonen eine signifikante Erhöhung der Fahrgeschwindigkeiten zwischen 4 bis 6 km/h und ein heterogenes Geschwindigkeitsverhalten beim Vorhandensein von Baumspiegeln in Brandenburg nach. Hingegen wurde vom ADAC (1997) eine Senkung der Unfallkostenrate durch einwandfreie

Baumspiegel berichtet, aber auch der hohe betriebliche Aufwand angesprochen. Baumspiegel werden in Verbindung mit Leitpfosten empfohlen (ADAC 1997).

Meewes (2001) ermittelte nach fahrdynamischen Merkmalen theoretisch die Aufprallgeschwindigkeiten in Abhängigkeit von der Ausgangsgeschwindigkeit der Kfz (hier: 100 km/h), des Abkommenswinkels und des Hindernisabstandes zum Fahrbahnrand. Die Abbildung 3 zeigt, dass bei 6 m Hindernisabstand nur sehr geringe Abweichungen der Aufprallgeschwindigkeit von der Ausgangsgeschwindigkeit auftreten.

Kämpfe et al. (2005) untersuchten in Fahrversuchen Fahrfehler in Abhängigkeit von Streckenmerkmalen. In Alleen wurde im Vergleich zu Landstraßen ohne Alleencharakter eine tendenziell höhere Fehlerrate (Geschwindigkeits- und Beschleunigungsfehler) als auf Geraden nachgewiesen.

In der Untersuchung von Lippold & Dietze (2005) wurde kein Einfluss der Bepflanzung auf die Fahrgeschwindigkeiten in Geraden nachgewiesen. Jedoch wurden in Linkskurven gegenüber Rechtskurven, aufgrund der höheren Ausprägung des Kurvenschneidens, höhere Fahrgeschwindigkeiten nachgewiesen. Dabei sind Unterschiede nach dem Typ der Seitenraumbepflanzung vorhanden. Weiterhin wurden im Vergleich von Kurven mit beidseitiger Bepflanzung zu Kurven mit Wiese/Feld sowie einseitiger Bepflanzung (ohne Differenzierung nach

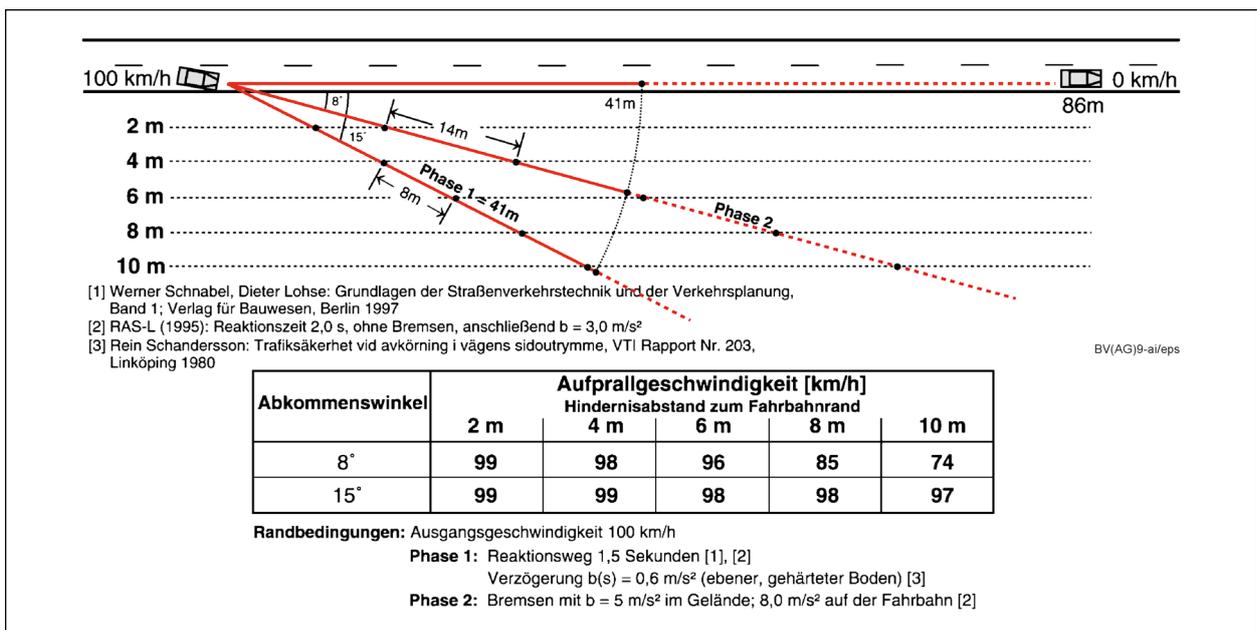


Abbildung 3: Theoretische Ermittlung der Aufprallgeschwindigkeit bei Abkommen von der Fahrbahn (Gerade, ebenes Gelände) (Meewes 2001)

Innen- und Außenseite) höhere Fahrgeschwindigkeiten gemessen.

Die Abbildung 4 zeigt das von Matena et al. (2008) beobachtete Verhältnis zwischen der Unfallschwere und der Kollisionsgeschwindigkeit. Die Analyse von 330 Unfällen mit Baumaufprall aus der GIDAS-Datenbank ergab einen signifikanten Zusammenhang zwischen Fahrgeschwindigkeit und Unfallschwere. Es konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen Hindernisabstand und Unfallschwere nachgewiesen werden. Es zeigte sich in der Tendenz aber ein leichter Rückgang der Unfallschwere mit zunehmender Hindernisentfernung. Eine Extrapolation der Daten – welche aufgrund der Methodik jedoch problematisch zu bewerten ist – ergab eine Schätzung eines Baumabstandes von rund 10 m, um eine Reduzierung von Unfallanzahl mit Getöteten bei einem Aufprall auf einen Baum bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h zu bewirken. Im Falle des Vorhandenseins von Bäumen am Fahrbahnrand sollte die zulässige Höchstgeschwindigkeit nicht höher als 70 km/h sein (Matena et al. 2008).

Bella (2013) untersuchte im Simulator die Geschwindigkeitswahl und beobachtete, dass diese nicht von der Seitenraumgestaltung bestimmt wurde, sondern von der Querschnittsgestaltung und der Streckentrassierung. Weiterhin konnten hohe Geschwindigkeiten erst in Verknüpfung mit weiteren Streckeneigenschaften erklärt werden, welche

damit einen Einfluss auf die Zunahme von Unfallhäufigkeit und Unfallschwere haben können.

Die Durchsetzung der zulässigen Regelhöchstgeschwindigkeit auf Landstraßen bzw. die Anordnung einer geringeren zulässigen Höchstgeschwindigkeit in Verbindung mit einer Durchsetzung der Regelung kann eine Maßnahme sein, um die Verkehrssicherheit bei Fahrnfällen unabhängig vom Hindernisaufprall zu verbessern. An Stellen, an denen sich häufig Unfälle ereignet haben, oder an denen nach den örtlichen Umständen eine erhöhte Wahrscheinlichkeit dafür besteht, dass sich Unfälle ereignen werden, können Überwachungsmaßnahmen einen entsprechenden Beitrag leisten. Hinsichtlich der Wirksamkeit von mobilen und (linienhaften) ortsfesten Geschwindigkeitsüberwachungsanlagen wird auf Meewes (1993), Steyer (2004), Lippold et al. (2012) und Jährg (2012) verwiesen, welche einen deutlichen Rückgang der Unfallanzahl und -schwere aufzeigten. Bei der Festlegung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit ist zu berücksichtigen, dass Straßen hinsichtlich ihrer Widmung und Verkehrsbedeutung eine angestrebte Pkw-Fahrgeschwindigkeit gemäß ihrer Netzfunktion nach Vorgaben der RIN 2008 (FGSV 2008) sicherstellen soll.

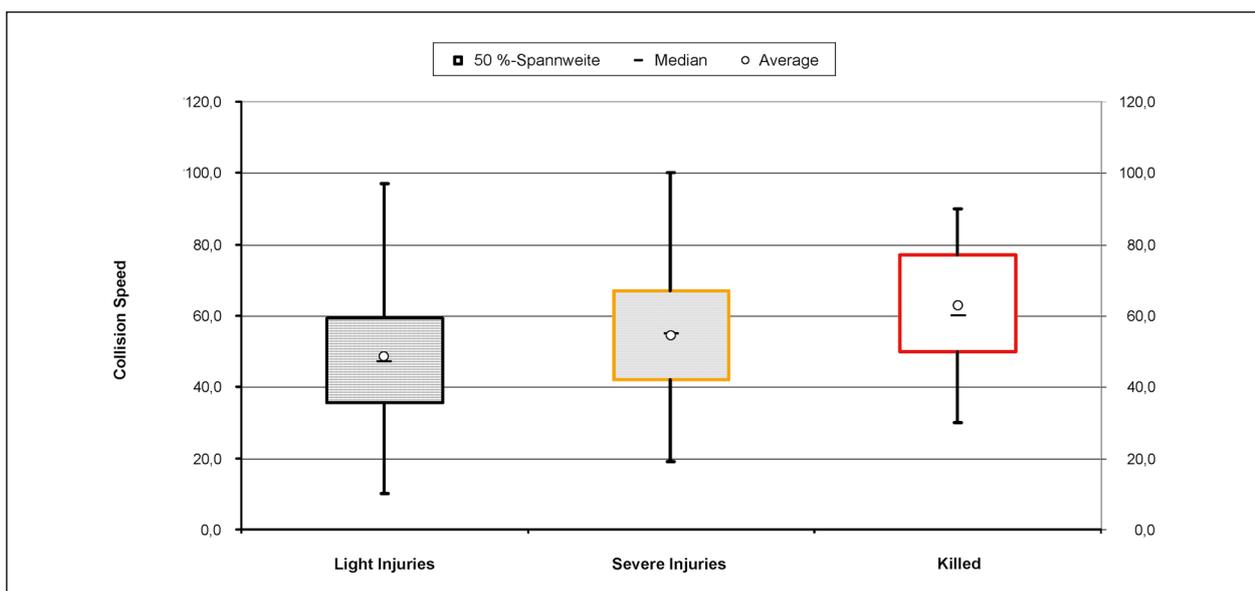


Abbildung 4: Box-Whisker-Plot für Spannweite der Kollisionsgeschwindigkeit und Unfallschwere (Matena et al. 2008)

### 2.6.2 Studien mit dem Schwerpunkt Orientierung, Blickverhalten und weitere physiologische, psychologische Einflüsse

Das Fahrverhalten einschließlich der Betrachtung der Sichtweiten war Gegenstand zahlreicher Untersuchungen. Dilling (1972 und 1973) befasste sich mit den Anforderungen an die Fahrzeugführer insbesondere in Kurvenbereichen auf Landstraßen. Er bestätigte, dass im Wahrnehmungsverhalten die Bewältigung der Strecke stark von den Fahrerfähigkeiten abhing, und wies einen Zusammenhang zwischen Wahrnehmungsverhalten und Fahrgeschwindigkeit nach (Dilling 1972). Leutner (1974) befasste sich mit dem Einfluss der entwurfstechnischen Elemente auf das fahrdynamische Verhalten und den örtlichen Zusammenhang von Anspannung und Aufmerksamkeit des Fahrers. Mit der Erweiterung des Zusammenwirkens von Fahrer, Fahrzeug und Straße als Regelkreis befasste sich Durth (1974). Neben den Führungsgrößen des Straßenraumes sowie den Störgrößen des Verkehrs und der Witterung hat die Bepflanzung als optische Führung einen Einfluss auf die Wahrnehmung (Durt 1974). Deiss et al. (1978) untersuchten die Bedeutung der Bepflanzung im System Fahrer, Fahrzeug und Straße und zeigten, dass diese auf Grundlage informationstheoretischer Überlegungen eine entscheidende Bedeutung im Nah- und Fernbereich aufweisen. Dabei wurden u. a. Straßenverläufe mit Bepflanzung richtiger und Entfernungen und Geschwindigkeiten genauer eingeschätzt (Deiss et al. 1978). Im Rahmen der Untersuchung wurden weitere Besonderheiten der Bepflanzung untersucht. Die Abrückung oder Entfernung der Straßenbepflanzung in Kurveninnenseiten ist nach bestimmten Bedingungen zur Gewährleistung der Haltsichtweite erforderlich. Die Untersuchung des Wind- und Schneeschutzes zeigte, dass durch bestimmte Anlageformen der Bepflanzung Windgeschwindigkeitsreduktionen ohne Schneeablagerungen erzielt werden konnten. Die Untersuchungen zum Blend- und Lärmschutz bezogen sich insbesondere auf mehrbahnige, hochbelastete Straßen.

Schlichter (1985) stellte für die Trassierung und Gestaltung Hauptforderungen zur Verbesserung der optischen Führung und der Erhöhung der Fahrersicherheit bei Dämmerung/Nacht. Er empfahl eine Bepflanzung entlang der freien Strecken sowie eine Anordnung von Bauwerken unter Vermeidung von Einengungen und Sichtweitenreduzierungen. Knoflacher & Gatterer (1981) konnten die Führungseigenschaften des seitlichen Baumbestandes mittels

Augenbewegungskameras bei Messfahrten bestätigen. Allerdings wurden ungünstige Bepflanzungen an der Kurveninnenseite als störend empfunden.

Zwielich et al. (2001) untersuchten das Fahrverhalten von Probanden im Raum Berlin/Brandenburg auf Straßen mit Alleebepflanzung. Es wurden Zusammenhänge zwischen dem Geschwindigkeits- sowie dem Seitenabstandsverhalten und den Einflussgrößen des Straßenraums untersucht. Dabei wurden Merkmale und Gruppen von Merkmalen (Fahrbahnmarkierungen, zulässige Höchstgeschwindigkeiten, passive Schutzeinrichtungen, Baumspiegel oder auch die Qualität der Fahrbahnoberfläche) betrachtet. Es wurde nachgewiesen, dass bei Geraden in Alleebepflanzungen zusammenstoßende Baumkronen eine Geschwindigkeitszunahme bewirken (Tunneleffekt) und das 9 cm weiter links gefahren wurde. Falls Bäume mit einer Entfernung von 1,4 m vom Fahrbahnrand standen, wurde 5 cm weiter links gefahren als bei Bäumen in 1,6 m Entfernung. Eine Geschwindigkeitserhöhung in Linkskurven wurde durch die Bepflanzung am rechten Fahrbahnrand bewirkt. Der Grund für die Erhöhung wurde bei der optischen Leitwirkung gesehen. Weiterhin wurde in Kurven eine Verlagerung des Spurverhaltens beobachtet, welches je nach Abstand der Baumbepflanzung variierte. Letztendlich schien das Abstandsverhalten zum Fahrbahnrand von der Fahrbahnbreite, dem Abstand der Bäume zum Fahrbahnrand und den verkehrlichen Merkmalen abzuhängen. Underwood et al. (2003) beobachteten auf Basis von Blickverhaltensanalysen in Großbritannien, dass in Kurven mit Sichtbehinderungen ein größerer Aufmerksamkeitsanteil für Suche nach Hindernissen aufgebracht wurde.

Für die Berücksichtigung bei der Straßenplanung wurden von Schlag & Heger (2002) die Erkenntnisse von physiologischen und psychologischen Fähigkeiten und Grenzen der Kraftfahrer insbesondere für das Spur- und Geschwindigkeitsverhalten aufbereitet. Es wurden Vorschläge für die optische Leitwirkung durch die Straßenbepflanzung erarbeitet, jedoch nur qualitativ diskutiert (siehe Abbildung 5).

In den Bundesländern existieren weitere Vorgaben zur Gestaltung von Straßenverkehrsanlagen. Die Hinweise zur Verkehrslenkung und optischen Orientierung durch Bepflanzung (MIL 2004) sollen die Regelwerke ergänzen und betreffen den Neubau von außerörtlichen Bundes- und Landesstraßen in Brandenburg. Der Planer soll verschiedene Gestal-

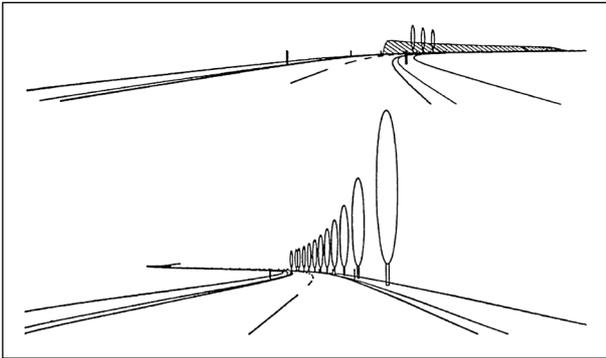


Abbildung 5: Leiteneffekt von straßenbegleitenden Elementen (oben) und Leiteneffekt von Bäumen (unten) (Nauermann 1977)

tungsvarianten prüfen und jeweils die Verkehrssicherheit bewerten, ohne dass jedoch ein Vorgehen zur Prüfung vorgegeben wird. Die Hinweise empfehlen u. a. eine außenseitige Kurvenbepflanzung und auf der freien, geraden Strecke eine Bepflanzung u. a. zur Minderung der Monotonie und zur Geschwindigkeitsdämpfung (MIL 2004).

In der Untersuchung von Lippold & Dietze (2005) wurden bei der Betrachtung der Messstrecken hinsichtlich des Spurverhaltens/-position potenzielle Einflüsse einer einseitigen Bepflanzung auf das Spurverhalten diskutiert. Das Spurverhalten ist von einem Großteil der Verkehrsteilnehmer auf Geraden unabhängig von der Bepflanzung und der Fahrbahnbreite „links versetzt von der Mitte des eigenen Fahrstreifens (bezogen auf die Fahrzeugachse)“ (Lippold & Dietze 2005). Im Vergleich zwischen den aufragenden Bepflanzungen (z. B. Wald, Baum, Busch) und Wiese/Feld konnte eine rechtsversetzte Fahrweise hin zur aufragenden Bepflanzung nachgewiesen werden. Weiterhin wurde eine Betrachtung nach der Kurveninnen- und -außenseite auf Basis von bivariaten Analysemethoden durchgeführt. Das Spurverhalten in der Kurveninnenseite mit Bepflanzung zeigte eine geringe Ausprägung des Kurvenschneidens, wobei ohne Bepflanzung eine höhere Ausprägung vorhanden war. Hierbei war aber die Sichtbeziehung durch die Seitenraumgestaltung von großer Bedeutung. Trotz vergleichbarer Sichtbedingungen wurde bei der Betrachtung der Kurvenaußenseite (unabhängig von Kurveninnenseite) eine höhere Ausprägung des Kurvenschneidens ohne Bepflanzung (Wiese/Feld) im Vergleich zur Bepflanzung nachgewiesen. Becher et al. (2006) analysierten den Erkenntnisstand zu psychologischen und physiologischen Einflüssen auf das Fahrerverhalten auf Außerortsstraßen und dessen mögliche Übertragung auf den Straßenentwurf.

Dazu wurden Hypothesen zu potenziellen Einflussfaktoren abgeleitet. Die diskutierte These, dass der Einfluss der Seitenraumgestaltung und die angrenzende Nutzung, insbesondere einer straßenseitigen Bepflanzung, das Fahrerverhalten stärker beeinflusst als die Querschnittsbreite, konnte nicht bestätigt werden.

Weller (2010) konnte einen Stresseffekt durch Alleen nachweisen. In der Untersuchung nahmen die Probanden u. a. eine hohe Gefährlichkeit wahr, jedoch ohne eine Reduzierung der Fahrgeschwindigkeit vorzunehmen. Dabei schätzten die Frauen die Gefährlichkeit von Alleen als geringer ein. Beim „Tunneleffekt“ in Alleen führe die entstehende Reizarmut, aufgrund der monotonen Sehfeldbegrenzung seitens des Fahrers zu einer Kompensation in eine erhöhte Geschwindigkeit (Becher et al. 2006). Dies zeigte sich auf schmalen Fahrbahnen als ein mögliches Unfallmerkmal. Ein weiteres Phänomen, der Licht-Schatten Wechsel und die Hell-Dunkel Anpassung könne ein zusätzliches Unfallrisiko darstellen (Becher & Baier 2003).

Petermann et al. (2007) untersuchten mithilfe von Verhaltensbefragungen und Probandenfahrten paarweise unfallunauffällige und -auffällige Kurvenbereiche mit ähnlichen Lageplanmerkmalen. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass aufgrund einer Verhaltensregulierung und ungünstiger Kompensationshandlungen die Annäherungsgeschwindigkeit vor unfallauffälligen (gekennzeichnet durch wenig Anregung und kaum Abwechslung) im Vergleich zu unfallunauffälligen Kurven höher ist. Diese „subjektive Unterschätzung der Gefährlichkeit“ führt dazu, „dass wahrnehmungsbasierte, psychologische Einflussgrößen einen wesentlichen Beitrag zur Erklärung des Unfallgeschehens in Kurvenbereichen [...] leisten.“ (Petermann et al. 2007). Diese Untersuchung untermauert die Überlegungen und das ohne Datengrundlagen entwickelte Konzept von Anhäuser (1997), dass planvoll angepflanzte Sträucher und Bäume eine optische Wirkung entfalten und damit einhergehend ein Sicherheitspotenzial bieten.

Nach der Auffassung von Lippold & Schulz (2009) besitzen die im Allgemeinen parallel zur Fahrbahn linienhaft und künstlich geschaffenen Bepflanzungen als Reihenformation praktisch keine Ausdehnung in die Raumtiefe. Die Bepflanzung kann dem Kraftfahrer bei der Orientierung und dem Erkennen des Straßenverlaufs helfen. Verschiedene Elemente wie Leitpfosten und passive Schutzeinrichtungen

oder auch die Bepflanzung können für den Fahrer zur Vorausrorientierung bei größeren Entfernungen helfen, aber die Bepflanzung kann die Sichtweite einschränken bzw. Sichthindernisse darstellen (Lipold et al. 2006). Kühn et al. (2007) betonen, dass, falls Bäume, Masten usw. dem Streckenverlauf folgen und somit dem Fahrzeugführer den Straßenverlauf visualisieren, dass eine Abweichung von dieser Situation im weiteren Verlauf ein Defizit darstellt. Antonson et al. (2009) folgern aus Probandenfahrten und Befragungen, dass auf bewaldeten Strecken u. a. mehr zur Straßenmitte gefahren wird und dass subjektiv mehr Stress im Vergleich zu freiem Seitenraum besteht. Sie leiten daraus ab, dass auf Bestandsstrecken Bäume und Sträucher entfernt werden sollen, welche den Blick in die Landschaft blockieren.

Zierke (2010) stellte das Geschwindigkeits- und Spurverhalten anhand von Straßentypen mit verschiedenen verkehrstechnischen und betrieblichen Straßenelementen (abgeleitet und differenziert nach den Entwurfsklassen eines Entwurfs der RAL 2012) gegenüber. Er konnte ein nach dem Straßentyp differenziertes Fahrverhalten (Geschwindigkeit- und Spurverhalten), wie z. B. die Verringerung der Fahrgeschwindigkeiten bei „niederrangigen“ Straßentypen – gekennzeichnet durch eine an die örtlichen Verhältnisse angepasste Linienführung – ermitteln. Weiterhin wurden auf „niederrangigen“ Straßentypen häufig Unfälle mit einem Aufprall auf Baum mit hohen Unfallfolgen festgestellt.

Schulz (2012) untersuchte das Blick- und Fahrverhalten von Fahrern auf Landstraßen in Abhängigkeit von den Kriterien Sichtweite, Kurvigkeit und Seitenraumbepflanzung. Bei Sichtweiten unterhalb von 200 m wurde ein Anstieg der Konzentration und Aufmerksamkeit festgestellt. Dies führt gleichzeitig beim Fahrzeugführer zur Verunsicherung, erhöhter Beanspruchung und einem potenziell gefährlichen Fahrverhalten.

Staubach (2010) analysierte die menschlichen Einflussfaktoren auf 133 Abkommensunfälle ohne eine Differenzierung nach Aufprallart. Am häufigsten traten unfallrelevante Fehler infolge verminderter „Aktivierung“, häufig aufgrund von Ermüdung aber auch durch körperliche Ausfälle (z. B. „Zuckerschok“ oder Herzinfarkt) oder nach dem Konsum von Alkohol, auf. Weitere Faktoren waren Ablenkung, Erwartungsfehler, Reizmaskierung, Verstöße und Handlungsfehler in Form übertriebener Lenk-

reaktionen. Eine Interaktion zwischen den Faktoren konnte nicht nachgewiesen werden.

Weitere häufigere Merkmale von Abkommensunfällen stehen oft im Zusammenhang mit dem Alter (junge Fahrer von 18 bis 23 Jahre) und einer „geringen“ Fahrpraxis mit einer jährlichen Kilometerleistung von bis zu 8.000 km (Staubach 2010). Das erhöhte Risiko der Fahranfänger und der jungen Fahrer, auch besonders bei Fahrnfällen im Vergleich zu „erfahrenen“ Fahrern (ab 25 Jahre) wurde auch in anderen Untersuchungen bestätigt (Langwieder 1999, Pfundt 2001). In der Lernphase sind allgemeinen Schwierigkeiten bei der Geschwindigkeitswahl, „die Unterschätzung der fahrdynamischen Gegebenheiten und die Überschätzung des eigenen Fahrkönnens“ typisch (Langwieder 1999).

Es existiert eine Vielzahl theoretischer Ansätze, welche die Interaktion von Fahrer und Umwelt sowie die subjektive Einschätzung der Verkehrssituation einbeziehen (siehe Dahmen-Zimmer & Zimmer 1997). Nach Dahmen-Zimmer & Zimmer (1997) wirkt die Straßenbepflanzung als „optische Bremse“ und beeinflusst die Geschwindigkeitswahrnehmung und Risikoeinschätzung. Das „Risiko-Geschwindigkeits-Modell“ von Taylor (1964) geht davon aus, dass sich das Fahrverhalten aus dem subjektivem Risiko und der Fahrgeschwindigkeit ergibt (nach Shinar 2007). Taylor (1964) spricht davon, dass „je stärker das wahrgenommene Risiko ist, umso mehr [...] die Fahrgeschwindigkeit reduziert [wird]“ und deshalb „das Produkt aus subjektivem Risiko und Fahrgeschwindigkeit [...] konstant gehalten“ wird. Hierbei kann es aber auch Regelausnahmen geben, „z. B. wenn man schneller fährt, um einer riskanten Situation zu entkommen.“ (zitiert nach Ewert et al. 2010) Das Risikohomöostase-Modell nach Wilde (1974) ist ein sehr umfassendes Modell zum Risikoverhalten im Straßenverkehr. Es besagt, „dass Menschen versuchen, durch ihr Verhalten die wahrgenommene Risiken und Gefahren auszugleichen.“ (Rehmer 2007) Das Modell der Risikohomöostase ist in dieser Angelegenheit aber zweideutig und sagt ein gegenteiliges Verhalten voraus. Im Falle einer Risikosituation erhöhen die Fahrer nach diesem Modell die Fahrgeschwindigkeit bis zu einem Niveau, bei welchem sich die Fahrer wieder wohl fühlen (Rehmer 2007). Das „Contagion Model of Speeding“ nach Connolly & Aberg (1993) geht nach einer empirischen Untersuchung davon aus, dass die Geschwindigkeit an die anderer Fahrzeuge angepasst wird und damit ein „Ansteckungs-

dell des zu schnellen Fahrens“, aber auch der Verlangsamung, existiert.

Bei fahrbahnnahe Objekten ist die subjektiv empfundene Geschwindigkeit hoch, bei weiter entfernten Objekten sinkt die subjektive empfundene Geschwindigkeit bei gleichbleibender objektiver Geschwindigkeit. Das wird besonders beim Ausfahren aus Alleen deutlich (Dahmen-Zimmer & Zimmer 1997). Möhler (1988) untersuchte detailliert die visuelle Wahrnehmung der Fahrer und deren Einfluss auf das Fahrverhalten. Bei deutlichen Änderungen im Straßenverlauf wurde eine Reduktion der Fixationsdauer und eine Einengung des Blickfeldes auf den Fahrbahnbereich und den straßennahen Bereich festgestellt. Die Einengung des Blickfeldes bei höherer Fahrgeschwindigkeit konnte nicht nachgewiesen werden (Möhler 1988). Richter et al. (1998) sehen die Komplexität von Straßeneigenschaften und die Veränderungsrate der Straßenkrümmung als wichtigen psychophysiologischen Faktor beim Fahren auf Landstraßen an. Falls dieser steigt, steigt auch die Schwierigkeit der Fahraufgabe (Richter et al. 1998). Zusammenhänge zwischen verkehrssicherheitsrelevanten Merkmalen und Lebensstiltypen wurden von Schulze (1999) bzw. Faktoren auf Fahrverhalten und Unfallrisiko junger Fahrer/-innen von Holte (2012) für zielgruppenspezifische Verkehrssicherheitsansprachen entwickelt. Dabei zeigte sich, dass es deutliche Gruppenunterschiede in Fahrmotiven, Alkoholkonsum, Fahrleistung, Unfallbeteiligung sowie nach Personenmerkmalen (Geschlecht, Beruf oder Bildungsgrad) gibt (Schulze 1999). Holte (2012) konnte einen signifikanten Zusammenhang zwischen berichtetem Verhalten und Unfallbeteiligung mit den Merkmalen der Einstellung, erwarteten Handlungskompetenz und Temperamentsdimensionen ermitteln.

Im Rahmen von Umfragen zeigt sich regelmäßig, dass eine sehr hohe Risikounterschätzung von Waldstrecken und Bäumen im geringen Fahrbahnabstand sowie Alleen bei den Verkehrsteilnehmern bestehen (Ellinghaus & Steinbrecher 2003, DEKRA 2013).

Weitere wahrnehmungspsychologische Aspekte (Human Factors) von Kraftfahrern und deren Einfluss auf die Gestaltung von Landstraßen werden mit dem Ziel der Berücksichtigung in den technischen Regelwerken analysiert und bewertet (Schlag et al. 2019).

## 2.7 Kraftfahrzeugbezogene Einflüsse

Die Merkmale der Fahrzeugsicherheit – insbesondere bestehend aus aktiver und passiver Fahrzeugsicherheit<sup>18</sup> – sowie die Entwicklung und Weiterentwicklung und fortlaufende Marktdurchdringung von Fahrzeugsicherheitssystemen haben einen Einfluss auf das Fahrverhalten und die Verkehrssicherheit. Weiterhin werden derzeit höchst Anstrengungen unternommen, um die Ansätze vom automatisierten Fahren umzusetzen. Jedoch konzentrieren sich diese Ansätze derzeit schwerpunktmäßig auf Autobahnen und nicht auf die Landstraßen. Untersuchungen zum Einfluss der Fahrzeugsicherheit explizit auf das Unfallgeschehen auf Landstraßen mit Baumaufprall sind vergleichsweise selten. Gail et al. (2008) untersuchten den Einfluss aktiver und passiver Fahrzeugsicherheitsmaßnahmen auf Grundlage der amtlichen Straßenverkehrsunfallstatistik der Jahre 2000 bis 2005. Es wurde gezeigt, dass Fahrdynamikregelungen (ESP) einen positiven Einfluss auf die Unfallanzahl und -schwere von Abkommensunfällen haben. Die positive Wirkung auf die Unfallschwere von passiven Maßnahmen, wie Airbags, Gurtstraffern und -kraftbegrenzern sowie einer optimierten Fahrzeugstruktur wurden eindeutig nachgewiesen (Gail et al. 2008). Frick et al. (2014) ermittelte in der Schweiz, dass neuere Fahrzeuge eine geringere Unfallrate aufweisen, aus vielfältigen Gründen wie z. B. der besseren Ausstattung mit ESP, Fahrzeugkonstruktion und Wartungszustand. Der positive Einfluss von ESP auf die Unfallohäufigkeit, auch wenn der Vorteil des ESP bei feuchten oder nassen Fahrbahnverhältnissen im Vergleich zu normalen Straßenverhältnissen eher geringer ist, wurde signifikant nachgewiesen (Frick et al. 2014). Für den Vergleich von Sicherheitsniveaus von Fahrzeugen wurde das „European New Car Assessment Programme“ (Euro NCAP) eingeführt und im Jahr 2001 die Simulation eines seitlichen Aufpralls auf einen Baum mit einem Fahrzeug mit einer vergleichsweise geringen Geschwindigkeit von 29 km/h, aufgenommen (Gail et al. 2008).

<sup>18</sup> Die Fahrzeugsicherheit wird in zunehmendem Maß integraler und gesamtheitlicher verstanden.



Abbildung 6: Arten der Kraffteinleitung (links: Baum, rechts: Schutzplanke) auf die Fahrzeugkarosserie (Ziegler et al. 2017)

Es gibt Unterschiede je nach dem Aufprallhindernis und damit der Art der Kraffteinleitung an den Fahrzeugen. Eine breite Kraffteinleitung (z. B. durch eine Schutzplanke) verteilt sich auf eine größere Fläche am Pkw und verursacht eine vergleichsweise geringere maximale Deformationstiefe und damit eine geringere Geföhrdung der Fahrzeuginsassen. Hingegen weist eine punktuelle Kraffteinleitung (z. B. durch einen Baum) ein tiefes Eindringen der Stoßenergie in die Struktur des Fahrzeuges auf (Abbildung 6). Außerdem ist der Seitenaufprall eines Pkw auf einen Baum hinsichtlich der Insassenverletzungen schwerer als der Frontaufprall, da der Raum zwischen der Außenseite und den Insassen deutlich geringer ist als beim Frontaufprall (Ziegler et al. 2017).

Berg & Ahlgrimm (2010) fassten die aktuelle Entwicklung und die Potenziale und Grenzen der fahrzeugtechnischen Systeme und der passiven Sicherheit zusammen und folgerten, dass es auch mit modernsten Fahrzeugen Unfälle mit Getöteten mit Bezug zu hohen Geschwindigkeiten bei einem Aufprall auf einen Baum geben wird. Auch in der Betrachtung von krafffahrzeugbezogenen Maßnahmen ist zu berücksichtigen, ob eine Maßnahme einen Einfluss auf das Verhalten, auf die Vermeidung des Unfalls oder lediglich auf die Verringerung der Unfallschwere hat.

## 2.8 Zusammenfassung

### 2.8.1 Unfallentstehung bis Schadensereignis

Die nachfolgende Zusammenfassung gliedert sich nach den grundsätzlichen Phasen im komplexen System der Unfallentstehung (nach Durth & Bald 1987) im Straßenverkehr.

#### I a) Wirkung der Straßenbepflanzung in der Normalsituation

Das Fahrverhalten und insbesondere die Geschwindigkeiten sind maßgebend vom räumlichen Fahrbahnband und dessen Elementen abhängig (u. a. Weise et al. 2002). Das Straßenumfeld und die Bepflanzung beeinflussen darüber hinaus die Sichtweiten, insbesondere in Kurvenbereichen, und führen zu Einengungen, Sichtweitenreduzierungen und Sichthindernissen (u. a. Schlichter 1985, Lippold & Schulz 2009). Die Straßenbepflanzung hat einen Einfluss auf das Spurverhalten und die -position. Dabei wird das Spurverhalten und die -position durch Sichtweite und -hindernisse in den Kurvenbereichen beeinflusst (u. a. Lippold & Dietze 2005, Lippold et al. 2006, Lippold & Schulz 2009).

Die Straßenbepflanzung hat einen unterschiedlichen Einfluss auf das Geschwindigkeits- und Blickverhalten, da die Bepflanzung die Wahrnehmung und Aufmerksamkeit verändern kann. Hier besteht auch ein Unterschied zwischen subjektivem Geschwindigkeitseindruck und objektiver Geschwindigkeit (Dilling 1972, Lippold & Schulz 2009). Dabei haben auch psychologische Eigenschaften, wie Kompensationsverhalten, welches zur Geschwindigkeitserhöhung führen kann einen Einfluss. Licht-Schatten Wechsel und Hell-Dunkel Anpassungen können mitwirkende Merkmale bei Abkommensunfällen sein (u. a. Becher & Baier 2003, Becher et al. 2006). Im Rahmen der Unfallanalyse sind die Geschwindigkeiten der Unfallbeteiligten vor und während der Kollision bzw. die Aufprallgeschwindigkeit auf den Baum von Interesse.

Die optische Leit- und Führungswirkung der Straßenbepflanzung, besonders vor Kurvenbereichen, mit dem Ziel eines angepassteren Fahrverhaltens und der Verringerung der Monotonie, wird in verschiedenen Studien kontrovers diskutiert. Neben einem Nachweis für einen Einfluss in Lippold & Dietze (2005) und Lippold & Schulz (2009) mit deutlichen Einschränkungen wurden in Knoflacher (1975)

keine Einflüsse festgestellt. Ein positiver Einfluss der Leitführung und -wirkung auf das Unfallgeschehen konnte jedoch bisher nicht nachgewiesen werden und ist bei bestimmten Typen der Bepflanzung (z. B. Einzelbäumen) auch nicht möglich. Weiterhin wird die Bepflanzung als mögliche Gefahr (z. B. wirkt dichte Belaubung dunkel und bedrohlich) angeführt. Für diese Wirkungen liegen wissenschaftlich fundierte Untersuchungen nicht vor. Die optische Führung ist jedoch bei größeren Abständen der Straßenbepflanzung nicht mehr gegeben (Meurer 1968 und 1968b).

### **I b) Menschliches Fehlverhalten auf Landstraßen mit Straßenbepflanzung (Normalsituation zur Fehlersituation)**

Beim Straßenverkehrsteilnehmer besteht eine Diskrepanz zwischen subjektivem Sicherheitsempfinden und objektivem Unfallgeschehen mit Straßenbepflanzungen und allgemein zum Unfallgeschehen auf Landstraßen (u. a. Holte & Rudinger 1994, DEKRA 2013). Die menschlichen Fehlhandlungen – auch charakteristisch auf Landstraßen – sind eine verminderte Aktivierung (Ermüdung, körperliche Ausfälle, Konsum von Alkohol), Ablenkung, Erwartungsfehler, Reizmaskierung, Verstöße und Handlungsfehler in Form übertriebener Lenkreaktionen (Staubach 2010). Die Fähigkeiten und Fehlhandlungen sind abhängig vom Alter, Geschlecht und der Fahrpraxis sowie sicherheitsrelevanten persönlichen Merkmalen (Schulze 1999, Staubach 2010, Holte 2012).

Die Fahrsituation wird auf Landstraßen mit Straßenbepflanzung z. B. in Verbindung mit (rutschigem) Laub und schattiger, feuchter Straßenoberfläche erschwert. Auffällig sind höhere Unfallanteile in Dämmerungs- und Nachtstunden in Unfalluntersuchungen (u. a. Otte 2000). Ebenso können die Lichtwechsel zu Fahrfehlern führen (u. a. Becher & Baier 2003, Becher et al. 2006). Kurven und besonders die Kurvenaußenseiten sind häufiger als Geraden die Unfallörtlichkeit bei einem Aufprall auf einen Baum. Letztendlich werden in der Literatur auch Konfliktobjekte, wie andere Fahrzeuge oder Wildtiere genannt, weshalb Fahrzeuge von der Fahrbahn abkommen und möglicherweise erst in einem Sekundäraufprall oder durch ein Ausweichmanöver auf einen Baum aufprallen. Laut den technischen Regelwerken soll deshalb für Wild unattraktive Bepflanzung in ausreichender Breite vorgesehen werden (FGSV 2012).

### **II) Fehler- und III) Gefahrensituation – Infrastrukturelle Defizite bei der Landstraße mit Straßenbepflanzung**

„Vor einem Unfall müssen Fehler gemacht worden sein, diese wirken sich jedoch nur in einer fehleranfälligen Umgebung aus“ (Durth & Bald 1987). Menschliches Fehlverhalten (z. B. Fahrfehler, oder Regelmissachtung) und Infrastrukturdefizite bzw. betriebliche Merkmale können einzeln oder in Kombination zur Fehlersituation führen.

Unfälle mit Baumaufprall sind überwiegend die Folge der Unfallkonstellation Fahrnfall und Abkommen von der Fahrbahn. Diese Unfallkonstellation hat deshalb eine besondere Bedeutung bei der Unfallauswertung. Fahrnfälle sind meist beeinflusst von der Größe und Abfolge der Lageplanelemente (Lippold 1997). Die Straßenbepflanzung führt zu Problemen hinsichtlich der Sicht in Kurven, in der Erkennung von Knotenpunkten und bei Abweichungen zwischen Straßenverlauf und Bepflanzung. Damit kann die Straßenbepflanzung auch als unfallbeeinflussendes Merkmal in der Phase der Unfallentstehung betrachtet werden.

Die Möglichkeiten des Ausbleibens einer Vermeidungsaktion oder einer unzureichenden Vermeidungsaktion können durch geeignete aktive Maßnahmen in den Bereichen Verhalten, Infrastruktur und Fahrzeugtechnik beeinflusst werden.

### **IV) Unfallsituation bzw. Schadensereignis**

Wenn es nach Vorliegen einer Fehler- und Gefahrensituation zur Unfallsituation bzw. zum Schadensereignis kommt, stellt sich die Frage, durch welche passiven Maßnahmen dies infrastruktur- und fahrzeugseitig hätte vermindert werden können. Weiterhin werden Abwägungen zwischen sinnvollen Hindernisabständen und dem Einsatz von Schutzeinrichtungen, welche selbst als Hindernisse zu einer höheren Unfallschwere führen, erforderlich. Dies gilt insbesondere für Bestandsstrecken, bei denen die Maßnahmenvorschläge in den weiterentwickelten technischen Regelwerken vielfach nicht einfach umgesetzt werden können.

## 2.8.2 Straßenbepflanzung und Unfallgeschehen

Die Literaturanalyse hat gezeigt, dass die Unfallfolgen bei einem Unfall mit Aufprall auf einen Baum ungleich höher sind als bei einem Unfall ohne Aufprall. Deshalb beschäftigten sich zahlreiche Untersuchungen mit verschiedenen wissenschaftlichen Analysemethoden aus den Bereichen des Verhaltens, der Verkehrs- und Fahrzeugtechnik mit dem Einfluss der unterschiedlichen Typen der Straßenbepflanzung auf Landstraßen. Schwerpunkt der Untersuchungen waren der Unfalltyp Fahrnfall mit einem Beteiligten und die Unfallarten Abkommen von der Fahrbahn. Die Tabelle 3 fasst die Zusammenhänge zwischen den Merkmalen der Straßenbepflanzung und dem Unfallgeschehen auf Grundlage der Literaturschau (insbesondere Kapitel 2.5.2) zusammen. Die Zusammenfassung zeigt, dass sich zahlreiche Untersuchungen mit dem Baum als Straßenbepflanzung befassen, es jedoch keinen differenzierten Vergleich unterschiedlicher Typen der Bepflanzung gibt.

## 2.9 Schlussfolgerungen für die Untersuchung

Die große Anzahl sowie der hohe Anteil an folgen-schweren Landstraßenunfällen im Zusammenhang mit Straßenbepflanzung und deren Einfluss auf die Unfallschwere sind vielfach nachgewiesen und es besteht ein hohes Potenzial zur Verbesserung der Verkehrssicherheit. Ein hoher Anteil dieser Unfälle sind Fahrnfälle, bei denen der Fahrer die Kontrolle über das Fahrzeug verliert (FGSV 2012b). Die Unfallanalysen stellen fest, dass sich Unfälle mit einem Aufprall auf einen Baum auf das Landstraßen-netz linienhaft, aber nicht gleichmäßig verteilen und damit die Grundlagen zur Identifizierung von unfall-auffälligen Bereichen überprüft werden sollten.

Die Bäume stellen ohne einen ausreichenden Si-cherheitsabstand und ohne geeignete verkehrstechnische und bauliche Maßnahmen zur Minimierung der Gefahren eine erhebliche Beeinträchtigung der Verkehrssicherheit dar. Entwurfstechnische Vorga-ben (z. B. Überprüfung der Radienrelationen, Ver-

Tab. 3: Zusammenhang zwischen den Merkmalen der Straßenbepflanzung und dem Unfallgeschehen auf Grundlage der Literaturauswertung

Merkmale		Erkenntnisse auf Unfallgeschehen mit einem Baumaufprall neben der Fahrbahn	Ausgewählte Literaturquellen und Einschränkungen	
Baum	Allgemein	Erhöhung der Unfallschwere und -kosten	Meurer (1968 und 1968b), Knoflacher & Gatterer (1981), Ernst (1985), Hülsen & Meewes (1997), Meewes & Eckstein (1999), Meewes (2001), Lippold & Dietze (2005), Lippold et al. (2006), Weber & Hegewald (2007), Lippold & Schulz (2009), Bösl & Spahn (2010), Heinrich et al. (2010)	
		Unfallschwere beim Aufprall nach rechts höher als nach links	Meewes (2001), Weber & Hegewald (2007)	
		Unfallanzahl bei Örtlichkeit „Kurve“ höher	Otte (2000), Steyer (2004)	
		Verringerung des Unfallgeschehens bei Erhöhung der Fahrstreifenbreite (zweistreifig)	Meurer (1968 und 1968b)	
	Typen der Bepflanzung	Einseitige Bäume: Höhere Unfallschwere	Knoflacher & Gatterer (1974), Knoflacher (1975)	
		Baumreihe auf Bankett: Erhöhung Unfallgeschehen	Maier et al. (2013), Berger (2016)	
		Allee	Erhöhung der Unfall- und Unfallkostenrate	Palm & Schmidt (1999)
			Keine Zusammenhänge	Schnüll et al. (2004)
	Waldartige Anpflanzung: Erhöhung Unfallgeschehen	Maier et al. (2013), Berger (2016)		
	Abstand Baum von der Fahrbahn	Geringer Abstand: hoher Unfallanteil	Meurer (1968 und 1968b), Bitzl (1968 und 1968b), Zegeer et al. (1987), Rustenberg (1992 und 1993), Vogt & Bared (1998), Wenk (1999), Meewes (2001), Pardillo-Mayora et al. (2010)	
		Auf „schmalen“ Straßen: Kein Einfluss auf Verletzungsschwere	Otte (2000)	
	Längsabstand der Bäume	Geringerer Abstand: Erhöhung der Unfallhäufigkeit	Bitzl (1968 und 1968b)	
Hindernisfreier Seitenraum	Erhöhung der Unfalldichte und -rate	Lippold & Schulz (2009, Einschränkung: Verzerrung der Stichprobe)		
	Verringerung der Unfallhäufigkeit	Miaou (1996b)		

meidung von Singularitäten), betriebliche Eigenschaften (z. B. Griffigkeit) und Geschwindigkeitsbeschränkungen mit begleitender Überwachung haben einen besonderen Einfluss auf die Minderung der Unfallhäufigkeit. Fahrzeug-Rückhaltesysteme und der hindernisfreie Seitenraum sind geeignete Maßnahmen zur Verminderung der schweren Folgen des Unfallgeschehens im Zusammenhang mit dem Baumaufprall. Insgesamt wird national und international dem hindernisfreien Seitenraum und der „fehlerverzeihenden“ Straße als passive Schutzmaßnahme eine große Bedeutung beigemessen. Außerdem hat die Entwicklung, Weiterentwicklung und Marktdurchdringung von Systemen der aktiven und passiven Fahrzeugtechnik das Unfallgeschehen verbessert. Als bedingt geeignet gelten die Geschwindigkeitsbeschränkung ohne begleitende Überwachung und der Abstand des Baumes zum Fahrbahnrand. Untersuchungen zeigen, dass selbst bei vergleichsweise weiten Hindernisabständen nur sehr geringe Abweichungen der Aufprallgeschwindigkeiten von den Ausgangsgeschwindigkeiten auftreten.

Die trotz der Erkenntnisse zur Verkehrs(un)sicherheit weiterhin durchgeführten Neu- bzw. Ersatzpflanzungen von Bäumen und die derzeitigen Experimente mit widerstandsfähigeren Straßenbäumen mit der Herkunft aus dem europäischen, nordamerikanischen oder asiatischen Raum offenbaren die gegensätzlichen Zielvorstellungen mit der Förderung der Pflanzung von Bäumen an Straßen und der Verkehrssicherheit in der Praxis, möglicherweise aber auch fehlendes Bewusstsein für die schweren Unfallfolgen.

Die teilweise unvollständigen, lediglich tendenziellen oder widersprüchlichen Aussagen zum Einfluss der Straßenraumgestaltung und der Straßenbepflanzung auf die Verkehrssicherheit oder auf die Erkennbarkeit und Begreifbarkeit (optische Führung) sind insbesondere auf die häufig geringen Stichprobenumfänge, Verzerrungen in der Streckenauswahl oder auf die Unschärfe der Modellwahl in den Analysemethoden zurückzuführen. Vielen der bisherigen Untersuchungen liegen monokausale Analysemethoden zugrunde. Es zeigt sich, dass ein wissenschaftlicher Nachweis auf der Grundlage von monokausalen Unfallanalysen nur unzureichend möglich ist. Im Rahmen der Sicherheitsanalyse der Straßeninfrastruktur erscheint die Anwendung von multivariaten Analyseverfahren zweckmäßig. Dabei hatten Maier et al. (2013) für das Merkmal „Wald im Seitenraum“ oder die „Baum-

reihe auf Bankett“ signifikant positive Einflüsse auf das Unfallgeschehen (Erhöhung der Unfallhäufigkeit) ermittelt. Hervorzuheben sind jedoch die Erkenntnislücken zu den Zusammenhängen der verschiedenen Typen der Straßenbepflanzung auf das Unfallgeschehen. Dabei sind die Einflüsse nicht auf die Unfallfolgen sondern auch auf die Unfallhäufigkeit und damit entwurfstechnische Merkmale, wie z. B. das räumliche Fahrbahnband zu berücksichtigen. Damit sind detaillierte streckencharakteristische und betriebliche Merkmale mit Merkmalen der Straßenbepflanzung zu verknüpfen. Die Daten der Straßenverkehrsunfallstatistik enthalten diese Daten nur zu einem geringen Teil.

Das bedeutet, dass viele mögliche Merkmale mit möglichen Einflüssen auf das Unfallgeschehen im Rahmen der Untersuchung zu berücksichtigen sind. Dabei ist zu beachten, dass die unterschiedlichen Typen der Straßenbepflanzung und deren weitere Eigenschaften zu unterscheiden und Merkmale wie z. B. der Fahrbahnzustand in der Auswertung zu berücksichtigen sind. Ein weiteres Problemfeld für netzweite Sicherheitsanalysen ist die uneinheitliche Bestandsaufnahme der Straßenbepflanzung (Baumkataster) in den Bundesländern. Außerdem wird die Bepflanzung außerhalb der Baulastträger-schaft der Straße bzw. der verwaltungsfremde Baumbestand nicht aufgenommen. Damit können die vorhandenen Baumkataster vor dem Hintergrund der Sicherheitsanalyse als unvollständig angesehen werden. Ebenso ist hervorzuheben, dass die Definitionen der Begrifflichkeit Allee und Baumreihen usw. in Regelwerken und Erlassen der Bundesländer unterschiedlich sind. Vor dem Hintergrund der fehlenden allgemeingültigen Definition der Typen der Straßenbepflanzung ist eine mögliche Erweiterung als zusätzliches Merkmal der Straßenverkehrsunfallstatistik deshalb auch fraglich.

Es muss bei der Einordnung von Erkenntnissen zur Unfallhäufigkeit auf Strecken mit und ohne Straßenbepflanzung auch auf die Art und Weise der Unfallfassung hingewiesen werden. Es könnte vermutet werden, dass die Unfallanzahl auf den Strecken unabhängig von der Häufigkeit und Typ der Bepflanzung gleich ist, jedoch das „Hellfeld“, also die amtlich registrierten Straßenverkehrsunfälle, z. B. auf Strecken mit Allees und Strecken mit einem geringen Längsabstandes der Bäume höher ist, als auf Strecken mit Einzelbäumen oder hindernisfreiem Seitenraum. Bei letzteren kann vermutet werden, dass die Fahrunfälle mit Abkommen von der Fahrbahn ohne Aufprall auf ein Hindernis wegen

geringerer Unfallfolgen seltener der Polizei gemeldet werden und damit nicht für eine Unfallanalyse zur Verfügung stehen.

Die deutlich unterschiedlichen Mindestabstände von Straßenbepflanzungen – auch im internationalen Vergleich – in den verschiedenen Regelwerken deuten auf die Schwierigkeit einer Festlegung nach objektiven Kriterien hin. Die Vorgaben in den technischen Regelwerken sind hinsichtlich der Aussagen zur Straßenbepflanzung teilweise unzutreffend und teilweise zu unpräzise (z. B. Sichtweiten). Sie sind auf den Neu- und Umbau ausgerichtet und entsprechen nicht dem aktuellen Unfallgeschehen. Der hohe Anteil der Straßenbepflanzung an Bestandsstrecken und deren in der Regel reaktive Betrachtung (unfallauffällige Bereiche) ist kritisch zu hinterfragen. Ergänzend bedarf es präventiver Verfahren auf Grundlage differenzierter Merkmale der Straßenbepflanzung und des Straßenraumes. Die pauschale Vorgabe zur Beachtung der Verkehrssicherheit in den Regelwerken des Naturschutzes und der Landschaftspflege ist wenig hilfreich und sollte vor dem Hintergrund der umfangreichen Kenntnisse differenziert ausformuliert werden.

### 3 Verfahren und Methoden der Unfalluntersuchungen im Straßenwesen

#### 3.1 Klassische Sicherheitsverfahren

Die Verfahren auf nationaler Ebene in Deutschland decken die Richtlinienvorgaben der Europäischen Union (EP & RAT EU 2008) über ein Sicherheitsmanagement für die Straßenverkehrsinfrastruktur über den Straßenlebenszyklus von Planung, Entwurf, Bau und Betrieb ab. Neben den Methoden der Bundesverkehrswegeplanung, Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen von Straßen, dem Sicherheitsaudit von Straßen, den regelmäßigen Verkehrsschauen nach StVO und den Streckenkontrollen existiert die örtliche Unfalluntersuchung als ein wesentlicher Bestandteil der Gesamtkonzeption zur Verbesserung der Verkehrssicherheit aller Verkehrsteilnehmer. Die Vorgaben zur örtlichen Unfalluntersuchung (nach StVO) sind im Merkblatt zur örtlichen Unfalluntersuchung in Unfallkommissionen (M Uko) 2012 (FGSV 2012b) dargelegt. Zur Identifikation von Unfallhäufungsstellen und -häufungslinien dienen Grenzwerte (Tabelle 4).

Tab. 4: Auszug Grenzwerte für Unfallhäufungsstelle und -häufungslinien Landstraße (FGSV 2012b)

Unfallhäufungsstellen (UHS) Landstraße – Freie Strecke		
Karte	Grenzwert	Ausdehnung
3-JK (P)	$U(SP)*5 + U(LV)*2 \geq 15$	$\leq 300$ m
Unfallhäufungslinien (UHL) Landstraße – Freie Strecke		
Karte	Grenzwert	Abstand (zwischen 2 aufeinanderfolgenden U(SP))
3-JK (SP)	$3 U(SP)/3a$	$\leq 600$ m Abstand

Für die vorliegende Untersuchung von Unfällen mit einem Aufprall auf ein Baum vertieft dies das Verfahren der ESAB 2006 (Abbildung 7, FGSV 2006), welches als Schwerpunkt eine Analyse eines Teilkollektivs des Gesamtunfallgeschehens empfiehlt und weitere Analysen zur Ableitung von Verkehrssicherheitsmaßnahmen integriert hat.

Das Verfahren der Sicherheitsanalyse von Straßennetzen zum Auffinden sicherheitskritischer Abschnitte im Netz, der Priorisierung von Ausbaumaßnahmen im Hinblick auf die Verkehrssicherheit sowie die Abschätzung der Auswirkungen auf die Sicherheit bei Netzänderungen oder Verkehrsverlagerungen sind in den Empfehlungen für die Sicherheitsanalyse von Straßennetzen (ESN) beschrieben (FGSV 2003b). Das im Entwurf befindliche Handbuch für die Bewertung der Verkehrssicherheit von Straßen (HVS) soll eine Grundlage für die Durchführung von Sicherheitsnachweisen der präventiven und reaktiven Verfahren des Sicherheitsmanagements bilden. Neuere IT-Ansätze, wie ein Verkehrssicherheitsscreening in Baden-Württemberg, kombinieren Datensätzen und damit infrastrukturelle und betriebliche Merkmale (Kathmann et al. 2014). Bei diesem EDV-System wird keine Integration von Daten aus Baumkatastern durchgeführt. Die Angaben über die Straßenbepflanzung kann über Befahrungsbilder entnommen werden.

Eine grundsätzliche und bewährte Bewertung von Straßeninfrastrukturelementen hinsichtlich der Verkehrssicherheit ist die Unfallkenngrößenberechnung (Gleichungen siehe Anhang, Anlage 2). Dabei können streckenbezogene (z. B. Unfalldichte), fahrleistungsbezogene (z. B. Unfallrate) und unfallschwerebezogene Größen (z. B. Unfallkosten) sowie fahrleistungs- u. unfallschwerebezogene Größen (z. B. Unfallkostenrate) ermittelt werden. Hinsichtlich der Darstellung der Größen, zugehörige Gleichungen und der volkswirtschaftlichen Berech-

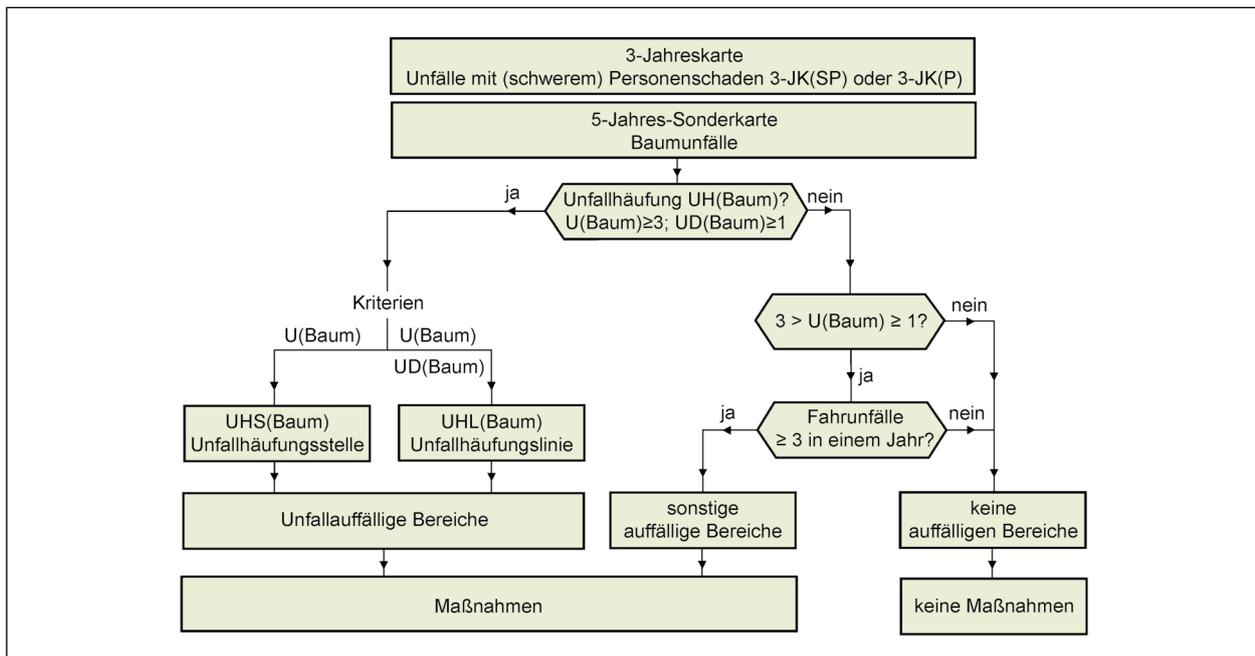


Abbildung 7: Vorgehen der ESAB zur Ermittlung der auffälligen Bereiche und dem Maßnahmenbedarf (FGSV 2006)

nungen wird auf das M Uko 2012 (FGSV 2012b) verwiesen.

### 3.2 Weitere Verfahrensansätze und Basis der Modellerstellung

Der Großteil der Sicherheitsuntersuchungen im Straßenwesen basiert auf der Nutzung der Verfahren in Kapitel 3.1. Es existieren jedoch quantitative (Unfälle sind statistisch seltene Ereignisse) und methodische Herausforderungen (z. B. Überzufälligkeit – Overdispersion) in den Verfahren. Unplausible Ergebnisse können auch aufgrund statistischer Besonderheiten in den Verfahren hervorgerufen werden. Zum Beispiel sind dies fehlende Merkmale oder Parameter in der Untersuchung, der Effekt der Regression zur Mitte (Regression to the mean-Effekt), eine Auswahlverzerrung (Bias by Selection) und/oder Effekte der Verteilung im Datensatz (Low-mean-Values/Low-sample-Values/Zero-Values) (Hauer 1980 und Hauer et al. 1986). Weiterhin setzt die Unfallrate einen linearen Zusammenhang zwischen Unfallanzahl und den Expositionsgrößen Verkehrsstärke und Länge voraus. Wenn dieser Zusammenhang fehlt, führt der Vergleich von Unfallraten mit unterschiedlichen Verkehrsstärken zu unzutreffenden Ergebnissen (Hauer 1995). Auch deshalb haben sich insbesondere im angloamerikanischen Raum zahlreiche Verfahrensansätze mit der Verwendung von Unfall(vorhersage)modellen im

Straßenwesen entwickelt. Zudem wird versucht, technische und psychologische Ansätze in einem Modell zu kombinieren. Der Begriff Modell und dessen Bildung ist nach Durth & Bald (1987) ein iteratives Verfahren und erlaubt eine Abschätzung von (auch zukünftigen) Situationen oder Handlungen. Die Autoren sprechen davon, dass Modelle eine vereinfachte Darstellung und selten verifizierbar sind und für den gleichen realen Sachverhalt mehrere Modellvorstellungen existieren. Insgesamt zeigt sich, dass der Begriff „Modell“ zahlreiche Bestimmungen im Zusammenhang mit der Verkehrssicherheit aufweist (siehe Hughes et al. 2015).

#### Einzelfallanalysen

Die situationsbezogene Einzelfallanalyse im Realverkehr wurde in den USA entwickelt und in den 70er und 80er Jahren in Deutschland intensiv untersucht und diskutiert (u. a. Erke 1977, Pfundt et al. 1986, Bachmann 2008). Obwohl ein sehr begrenzter Einsatzbereich, fehlende Zusammenhänge sowie methodische und datenschutzrechtliche Randbedingungen bei der Anwendung der Verkehrskonflikttechnik bekannt sind, werden derzeit besonders im internationalen Raum verstärkt Untersuchungen (z. B. Laureshyn et al. 2015) durchgeführt. Dabei liegt der Fokus auf dem innerstädtischen Bereich, einer detaillierten Analyse der Verkehrssituationen und auf dem Unfallgeschehen mit Beteiligung von ungeschützten Verkehrsteilnehmern.

## Modell mit interdisziplinären Ansatz

Ein kombinierter Einsatz von verkehrstechnischen und -psychologischen Methoden zur Erkennung von Gefahrenstellen und -situationen und Ableitung von Maßnahmen wurde von Allenbach et al. (1996) geprüft. Es zeigte sich, dass sowohl Psychologen (berücksichtigen den Faktor „Komplexität“ und kennen sich mit Wahrnehmung aus) als auch Verkehrsingenieure (besseres Verständnis der anlagebedingten Mängel) wichtige Erkenntnisse zur Prognose des Unfallgeschehens beizutragen haben. Die gemeinsame Beurteilung scheint exaktere Vorhersagen als separate hervorbringen. Deshalb halten die Autoren die Fortführung eines gemeinsamen Ansatzes für sinnvoll, obwohl im Vorgehen methodische Unzulänglichkeiten auftraten und keine signifikante Zunahme des Korrelationskoeffizienten festgestellt wurde.

## Risikomodelle

In weiteren Verfahren wird als Ergebnis ein (Unfall-) Risiko ermittelt. Der Begriff Risiko ist in seinem Ursprung und seiner Definition nicht eindeutig geklärt. Einerseits kann der Begriff aus dem griechischen Wort „riza“ (Wurzel) oder aus dem arabischen Wort „risc“ (Schicksal) hergeleitet werden. Andererseits könnte er von dem lateinischen Begriff „risicare“, welches „Gefahr laufen, wagen“ bedeutet, stammen (Fiege 2006). Aufgrund der verschiedenen Ursprungsansätze gibt es eine Vielzahl von Definitionsmöglichkeiten. Die numerische Definition von Risiko kann sich nach der Formel „Risiko = Eintrittswahrscheinlichkeit \* Schadensausmaß“ ergeben (DIN VDE 1987). In Hinsicht auf eine fachspezifische Anpassung werden hier die Eigenschaften nach Bald (1991) verwendet. Demnach ist Risiko eine Wahrscheinlichkeitsaussage über die Zukunft (in der Gegenwart ist noch nicht sicher, ob ein Schaden eintritt). Das Risiko ist umso größer, je häufiger der Schaden eintritt oder je größer der Schaden sein wird (Bald 1991). Bald (1991) entwickelte im Rahmen seiner Arbeit eine ablauforientierte und systembezogene, schematische Risikoanalyse. Die komplexe Ursache-Wirkungsbeziehung und deren zahlreichen Abhängigkeiten inkl. einer Berücksichtigung des menschlichen Verhaltens und der Beschreibung der Parameter durch mehrdimensionale statistische Verteilungen wurden im Rahmen der Arbeit betrachtet. Dieses Vorgehen wendeten Lippold & Mattheß (1992) bei der Analyse des Einflusses von Hindernissen auf der Fahrbahn an, jedoch ohne die Ermittlung eines quantitativen Einflusses.

Bei der Erstellung eines Risikomodells für Eisenbahnkreuzungen wurde ein Unfallvorhersagemodell entwickelt, welches eine erwartete Anzahl an Unfällen (Unfallscore) sowie einen Risikoscore an einer Eisenbahnkreuzung errechnet (Stefan et al. 2012). Der Risikoscore berechnet sich hier aus dem Produkt eines gewichteten Unfallscores, der mittleren Verletzungsrate und der mittleren relativen Unfallschwere. Im Rahmen des Projektes „Risikomodell zur Evaluierung von Straßenverkehrsunfällen mit ortsfesten Hindernissen auf Autobahnen und Schnellstraßen“ (Maurer et al. 2013) wurden Eintrittswahrscheinlichkeiten für Abkommensunfälle an potenziellen Unfallstellen (Accident Probability Score) berechnet und unter Zuhilfenahme von Simulationen ein „Riskscore“ ermittelt. Dafür wurden Verfahren zur Klassifikation von Straßen- und Streckenelementen (Clusteranalyse, Klassifikationsbäume, Generalisierte Lineare Modelle etc.) mit Ansätzen des Bayes-Verfahrens genutzt (Maurer et al. 2013). Mit der Thematik der Risikoanalysen beschäftigen sich zahlreiche Untersuchungen, wie z. B. eine Analyse von risikobezogenen Verfahren und die Anwendung auf Straßentunnel (Sistenich 2007).

## Unfallmodelle

Im amerikanischen Raum wird der Zusammenhang der unterschiedlichen Unfallschweren mit Hindernissen im Seitenraum untersucht. Holdridge et al. (2005) ermittelten auf Basis von „Nested-Logit-Modellen“, dass die Unfallschwere von Straßenmerkmalen, Fahrzeugarten und Fahrereigenschaften abhing und zeigten die besonders hohe Unfallschwere von Unfällen mit Baumaufprall. Lee & Manering (1999) untersuchten ebenfalls mit „Nested-Logit-Modellen“ die Häufigkeit von Abkommensunfällen in Abhängigkeit von der Ortsslage. Der Aufprall im Seitenraum war ebenfalls Gegenstand der Untersuchung.

Miaou (2009) entwickelte ein Unfallvorhersagemodell, bei dem nicht nur grundlegende Einflussmerkmale, wie u. a. die Fahrbahnbreite, die Krümmung und die Querneigung berücksichtigt wurden, sondern auch der Einfluss der Gestaltung des Seitenraumes über eine Skalenbewertung „Roadside Hazard Rating“ integriert wurde. Verallgemeinerte lineare Modelle für die Entwicklung von Unfallmodellen wurden u. a. von Maier et al. (2012), Maier et al. (2013), Schüller et al. (2014), Bark et al. (2015 und 2017), Berger (2016) angewendet. Maier et al. (2013), Bark et al. (2017) und Berger (2016) ermittelten auf der Grundlage von verallgemeinerten li-

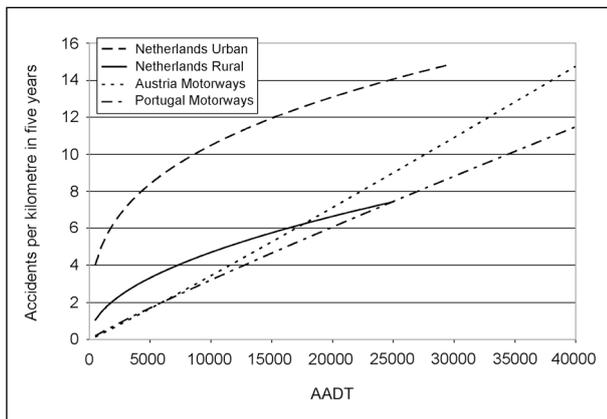


Abbildung 8: Zusammenhang zwischen DTV und Unfällen (5-Jahreszeitraum) (Matena et al. 2008)

nearen Modellen einen signifikanten Einfluss von Straßenbepflanzungstypen auf die Verkehrssicherheit. Dagegen konnten Maier et al. (2012) bei Verwendung von Unfallmodellen keinen signifikanten Einfluss von Bäumen auf die Landstraßensicherheit in Österreich nachweisen, was mit der geringen Datenqualität begründet wurde. Weitere Beispiele für eine Modellentwicklung existieren für Kreisverkehre (Maycock & Hall 1984), für Stadtstraßen (Summersgill & Layfield 1996, Greibe 2003, Aurich 2013, Schüller 2010) und für Autobahnen (Miaou & Lum 1993, Heidemann et al. 1998). Mit der Weiterentwicklung und der Anpassungsgüte von Modellen beschäftigten sich z. B. Wood (2002) und Ye et al. (2013). Schüller (2010) nutzte verallgemeinerte lineare Modelle zur Beschreibung des Geschwindigkeitsverhaltens auf Stadtstraßen für die Bestimmung relevanter Straßenmerkmale. Im Rahmen der Sicherheitsanalyse spricht man von Bewertungsmodellen, wenn eine Quantifizierung und Einbeziehung eines Kostenvergleichs vorgenommen wird. Im Rahmen der Erstellung eines Bewertungsmodell für die Verkehrssicherheit von Landstraßen wurden Zu- und Abschläge von Straßenmerkmalen für das HVS ermittelt (Maier et al. 2013).

Im Rahmen eines europäischen Projektes RiPCORD-iSEREST<sup>19</sup> wurden Anwendungen und Erkenntnisse von Unfallvorhersagemodellen für verschiedene Staaten aufgezeigt. Für die Landstraßenabschnitte wurden die abhängige Variable (An-

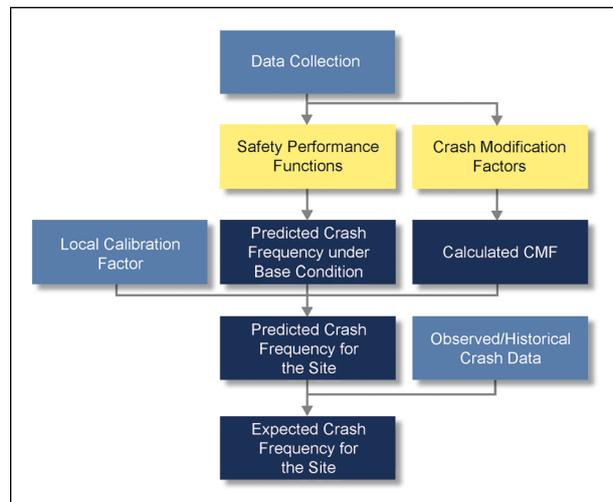


Abbildung 9: Verfahren zur Schätzung der erwarteten mittleren Unfallhäufigkeit auf zweistreifigen Landstraßen (AASHTO 2010)

zahl Unfälle) und die erklärenden Variablen Verkehrsstärke (z. B. Annual Average Daily Traffic (AADT)), Länge des Abschnitts in km, Anzahl an Ein- und Ausfahrten, Fahrbahnbreite sowie die Bankettbreite analysiert (Matena et al. 2008). Die Abbildung 8 zeigt den Vergleich von Unfallvorhersagemodellen von verschiedenen Staaten und Straßenkategorien, welche zum Vergleichszweck auf maximal drei erklärende Variablen begrenzt wurde.

Eine Erkenntnis des Projektes RiPCORD-iSEREST ist, dass die Grundform (Gleichung 1.1) einer Exponentialfunktion fast aller Unfallvorhersagemodelle wie folgt entspricht:

$$E(\lambda) = \alpha * Q^{\beta} * e^{\sum \gamma_i x_i} \quad (1.1)$$

$E(\lambda)$  erwartete Anzahl an Unfällen

$\alpha$  Konstante

$Q$  Verkehrsstärke (z. B. DTV, bei Knotenpunkten alle Zufahrten beachten)

$x_i$  Risikofaktoren/Einflussvariablen

$\gamma_i$  Koeffizienten

$\beta$  Parameter bzw. Koeffizient

Ein aussagefähiges und detailliertes Unfallvorhersagemodell benötigt eine Datengrundlage mit großem Datenumfang von hoher Detailtiefe und guter Datenqualität, welche in der Regel nicht zur Verfügung stehen. Unfallvorhersagemodelle können für gleiche Straßentypen in verschiedenen Staaten unterschiedlich sein (Matena et al. 2008).

<sup>19</sup> Road Infrastructure Safety Protection – Core-Research and Development for Road Safety in Europe – Increasing safety and reliability of secondary roads for a sustainable Surface Transport.

## Verfahren mit Bayes-Ansätzen

Das Highway Safety Manual (HSM) (AASHTO 2010) enthält ein schrittweises Verfahren (siehe Abbildung 9) zur Abschätzung der erwarteten durchschnittlichen Unfallhäufigkeit eines Straßennetzes, eines Streckenabschnittes oder einer einzelnen Örtlichkeit auf Bestandsstrecken oder bei Entwurfsvarianten in den USA.

Die Unfallhäufigkeit ergibt sich für zweistreifige Landstraßen nach Gleichung 1.2 aus der Multiplikation der Unfallhäufigkeitsfunktion (Safety Performance Function (SPF)), der Unfallmodifikationsfaktoren (Crash Modification Factors (CMF)) und dem Kalibrierungsfaktor.

$$N_{\text{predicted}} = N_{\text{SPF},x} * \prod_{i=1}^y \text{CMF}_{i,x} * C_x$$

$$N_{\text{predicted}} = N_{\text{SPF},x} * C_x (\text{CMF}_{1x} * \text{CMF}_{2x} * \text{CMF}_{3x} * \dots * \text{CMF}_{yx}) \quad (1.2)$$

$N_{\text{predicted}}$  erwartete mittlere Unfallhäufigkeit für das Bezugsjahr an Örtlichkeit x

$N_{\text{SPF},x}$  erwartete mittlere Unfallhäufigkeit auf Basis der SPF an Örtlichkeit x

$\text{CMF}_{yx}$  Modifikationsfaktoren für die Örtlichkeit x, Entwurfsmerkmale und verkehrliche Merkmale y

$C_x$  Kalibrierungsfaktor für angepasste SPF für die Örtlichkeit x

Die SPF wird auf Basis multipler Regressionsmodelle als Standardverfahren der multivariaten Statistik ermittelt und zeigt die erwartete mittlere Unfallhäufigkeit. Aufgrund der jeweiligen örtlichen Randbedingungen erfolgt eine Anpassung über die Unfallmodifikations-Faktoren gemäß der Gleichung 1.3. Die Ermittlung ist ein Mit/Ohne-Vergleich und dabei wird nur die Veränderung einer Bedingung betrachtet.

$$\text{CMF} = \frac{\text{estimated average crash frequency with condition "b"}}{\text{estimated average crash frequency with condition "a"}} \quad (1.3)$$

Anschließend erfolgt eine weitere Anpassung nach Gleichung 1.4 durch die Verwendung eines Kalibrierungsfaktors zwischen Örtlichkeiten des Regressionsmodells und der betrachteten Örtlichkeit.

$$C_r = \frac{\sum_{\text{all sites}} \text{observed crashes}}{\sum_{\text{all sites}} \text{predicted crashes}} \quad (1.4)$$

Im Rahmen des Verfahrens des HSM (AASHTO 2010) kann für bestehende Strecken mit vorhandenen Unfalldaten nach der Gleichung 1.5 eine Schätzung der erwarteten mittleren Unfallhäufigkeit erfolgen. Dieses Verhältnis von amtlich registriertem zu erwartetem Unfallgeschehen in einem Streckenabschnitt wird ermittelt.

$$N_{\text{expected}} = w * N_{\text{predicted}} + (1 - w) * N_{\text{observed}} \quad (1.5)$$

$N_{\text{expected}}$  Schätzung der erwarteten mittlere Unfallhäufigkeit

$N_{\text{predicted}}$  erwartete mittlere Unfallhäufigkeit

$N_{\text{observed}}$  beobachtete Unfallhäufigkeit

w gewichtete Anpassung der SPF Erwartung ( $w = \frac{1}{1 + k * (\sum_{\text{all study years}} N_{\text{predicted}})}$ )

k Überdispersionsparameter des zugehörigen SPF zur Schätzung  $N_{\text{predicted}}$

Im HSM-Verfahren sollen für die Ermittlung des Unfallgeschehens zahlreiche Entwurfsmerkmale, Straßenbepflanzungs- und Betriebsmerkmale, welche einen Einfluss auf das Landstraßenunfallgeschehen haben können, berücksichtigt werden. Die Prüfung von einheitlichen europäischen SPF und CMF im Rahmen des Projektes „Predicting Road Accidents – a Transferable methodology across Europe“ zeigte, dass SPM und CMF nur sehr eingeschränkt in Sicherheitsverfahren genutzt werden. Überwiegend werden die vorhandenen Straßen- und Unfalldaten für die reaktive Analyse von Unfallhäufungen genutzt (Yannis et al. 2014).

Im Rahmen der Untersuchung einer „Forschungskreuzung“ wurden bei Korrelationsanalysen Bayes'sche Netze verwendet (Junghans 2016).

Für die Grundlage der Modellerstellung auf Basis von multivariaten Analyseverfahren mit Bayes-Ansätzen im Rahmen der Arbeit werden nachfolgend die mathematischen Grundlagen erläutert sowie die Erkenntnisse aus der Erstellung von Modellen aufgezeigt.

### 3.3 Grundlagen der Bayes-Statistik

In der Wissenschaft werden die deskriptive (beschreibende einschließlich explorative) und die induktive (schließende) Statistik unterschieden. In der deskriptiven Statistik werden empirische Daten durch Tabellen und Kennzahlen wie Mittelwert und Varianz (in Grafiken) übersichtlich dargestellt und beschrieben sowie Abhängigkeitsstrukturen und Abweichungen der Einzelbefunde von einer vorhandenen Grundstruktur systematisch aufgedeckt. Die induktive Statistik (auch: Interferenzstatistik) ist die Wissenschaft und der Vorgang, aus einer Stichprobe auf (allgemeingültige) Eigenschaften der Gesamtheit bzw. das Eintreten von Ereignissen zu schließen. Sie wird in die klassische, frequentistische Statistik und die Bayes-Inferenz unterteilt (Bortz 2005, Tschirk 2014).

Die bedingte und schließende Bayes-Inferenz beruht auf dem Gesetz der totalen Wahrscheinlichkeit, dem Produktgesetz der Wahrscheinlichkeit und den A-Priori Informationen. Die A-Priori Informationen stellen bestehende, quantifizierte Erkenntnisse dar, werden in der Bayes-Inferenz als A-Priori Wahrscheinlichkeit berücksichtigt und werden im Bayes-Verfahren mit empirischen Daten (Stichproben) kombiniert. Der Ansatz der Bayes-Inferenz beruht auf dem Bayes-Theorem (auch: Bayes-Regel oder Satz von Bayes) und ist wie folgt definiert (u. a. Koch 2000, Bortz 2005, Held 2008):

$$P(B|A) = \frac{P(B) P(A|B)}{P(A)} \quad (1.6)$$

bzw. bei endlich vielen Ereignissen ( $i = 1, \dots, k$ ):

$$P(B_i|A) = \frac{P(B_i) P(A|B_i)}{\sum_{i=1}^k P(B_i) P(A|B_i)} \quad (1.7)$$

$P(B A), P(B_i A)$	Posteriori Wahrscheinlichkeiten (Ereignis B, unter der Bedingung, dass A eingetreten ist)
$P(B), P(B_i)$	A-Priori Wahrscheinlichkeiten des Ereignisses B
$P(A B), P(A B_i)$	Likelihood-Funktion, bedingte Wahrscheinlichkeiten (Ereignis A, unter der Bedingung, dass B eingetreten ist)
$P(A)$	A-Priori Wahrscheinlichkeit des Ereignisses A

Die Regelanwendung des Bayes-Theorems besagt, dass die Aussage über ein unbekanntes Phä-

nomen die Aussage, die Informationen und zusätzliches Wissen über das unbekannte Phänomen enthält. Die Likelihood-Funktion modifiziert die A-Priori Wahrscheinlichkeiten, um die Posteriori Wahrscheinlichkeit als Ergebnis zu erhalten.

#### 3.3.1 Unterschiede zu klassischen Verfahren

Die induktiven Verfahren nutzen zum Testen von Hypothesen und zum Schätzen von Parametern eine Stichprobe. Das Bayes-Verfahren kann Vorkenntnisse zum Beispiel aus anderen Untersuchungen oder Datensätzen nutzen und formuliert damit „subjektiv“ Modellannahmen. Beim Vorhandensein von geringen Vorkenntnissen und großen Datenmengen kann die Methodik zu identischen Ergebnissen wie die frequentistische Statistik führen, da der Zähler durch die Likelihood-Funktion dominiert wird. Deshalb wird teilweise in der Literatur die frequentistische Statistik als ein Teilgebiet der Bayes-Inferenz angesehen.

In der Bayes-Inferenz werden die unbekannt Parameter von Wahrscheinlichkeitsverteilungen als zufällige Variablen betrachtet, welche auch Konstanten und damit feste Eingangsgrößen repräsentieren können. Hingegen werden in der frequentistischen Statistik die unbekannt Größen als feste (exakte), deterministische Größen beschrieben und vorausgesetzt. Die Posteriori-Wahrscheinlichkeit berücksichtigt mehrdimensionale Wahrscheinlichkeitsprobleme und ist damit eine verbesserte Schätzung. Der Mittelwert der Bayes-Schätzer bietet die Möglichkeit für intuitive Interpretationen und Bewertungen. Während die frequentistische Statistik ein unintuitives Konfidenzniveau definiert, ermöglicht es die Bayes-Inferenz, ein Konfidenzniveau für die unbekannt Parameter anzugeben und über das Zutreffen der Hypothese eine Wahrscheinlichkeitsaussage zu treffen. Die frequentistische Statistik ermittelt, im Gegensatz zur Bayes-Inferenz, wie gut die Stichprobe zur Hypothese passt (Koch 2000, Tschirk 2014, Passon 2017). Der theoretische Ansatz der Konfidenzintervalle des Unfallgeschehens auf Basis der Bayes-Statistik wurde bereits in den 70er Jahren von Brilon (1973) in Deutschland erörtert, wurde jedoch nur in geringem Maße weiterverfolgt.

Im Rahmen der Bayes-Inferenz können, aufbauend auf einer Posteriori Wahrscheinlichkeitsbetrachtung, weitere Stichprobendaten systematisch in ein Modell als neue A-Priori Wahrscheinlichkeiten inte-

griert werden und damit Hypothesen an die Ergebnisse bzw. die Wahrscheinlichkeitsverteilung angepasst werden.

Ein Vorteil der Bayes-Inferenz ist es, dass auch geringe Stichprobenmengen verwendbar sind, falls nur eine kleine Stichprobe oder nur geringe ökonomische Kapazitäten zur Verfügung stehen. Falls keine oder nichtinformativen A-Priori Verteilungen – welche keinen Einfluss auf die Posteriori-Verteilung haben – vorhanden sind, ist es weiterhin möglich, eine Posteriori-Verteilung zu ermitteln, welche identisch mit der Likelihood-Funktion ist. Ein Nachteil der Nutzung von Bayes-Verfahren ist, dass es ein teils sehr rechenaufwändiges Verfahren ist, was jedoch durch die Verbesserung der Programme der elektronischen Datenverarbeitung keinen Hindergrund mehr darstellt. Eine Unvollkommenheit der Bayes-Inferenz ist das Problem der „subjektiven“ A-Priori Auswahl. Die Wahrscheinlichkeit der Hypothese geht vor den empirischen Daten in das Verfahren ein. Im Rahmen einer Modellerstellung ist es deshalb sinnvoll, die Abhängigkeit der Posteriori-Wahrscheinlichkeit von der A-Priori Wahrscheinlichkeit zu betrachten und gegebenenfalls den Bayes-Faktor, d. h. den Quotienten aus Posteriori-Chance und Priori-Chance bzw. Logarithmus der marginalen Likelihood-Funktion, zu ermitteln (Bortz 2005, Passon 2017).

### 3.3.2 Anwendung von Bayes-Ansätzen in Sicherheitsanalysen

Es existieren zahlreiche Methoden mit Bayes-Ansätzen. Die Methoden können in empirische Bayes-, hierarchische Bayes- und volle Bayes-Modelle sowie Bayes-Netze differenziert werden. Dabei werden Bayes-Ansätze in Vorher-Nachher-Vergleichen im Rahmen der Sicherheitsanalyse oft integriert (Hauer 1997).

#### I Empirische Bayes-Modelle (EB-Modelle)

Die Methode der empirischen Bayes-Modelle (EB-Modelle) geht auf Robbins (1956) zurück, ist nach Rüger (1999) eine entscheidungstheoretische

Bayes-Inferenz und befasst sich mit dem Testen von Hypothesen. Die EB-Modelle sind eine Kombination von Bayes- und Likelihood-Verfahren und können die unbekannte A-Priori Verteilung mit deren Parameter aus den Daten empirisch schätzen. Die Wahrscheinlichkeit der beobachteten Daten und die Funktionen der Parameter werden als die Likelihood bzw. die Likelihood-Funktionen aufgefasst (Rüger 1999, Held 2008).

Im Straßenwesen werden von den Bayes-Ansätzen die EB-Modelle am häufigsten verwendet. Dabei wird die theoretische Safety Performance Function (SPF) mit den vorhandenen Unfalldaten, auch von vergleichbaren anderen Abschnitten, kombiniert. Diese Ansätze werden im Highway Safety Manual (AASHTO 2010, vgl. Kapitel 3.2) und u. a. bei Hauer (1992), Hauer et al. (2002), Miaou & Lord (2003), Peltola et al. (2013) angewendet. Damit können das lokal beobachtete Unfallgeschehen und das über ein Modell ermittelte Unfallgeschehen kombiniert und örtliche Merkmale berücksichtigt werden.

Miaou et al. (2005), Lord & Miranda-Moreno (2008), Deublein (2012) und weitere<sup>20</sup> nutzen im ersten Schritt eine multivariate Poisson-Lognormal Regression (MVPLN) unter Annahme eines lognormalverteilten Fehlerterms für die Entwicklung der SPF, welche aber auch gleichzeitig als Unfallvorhersagemodell verwendet werden kann (Hauer 2001). Die Modelle stellen ein verallgemeinertes lineares gemischtes Modell (GLMM) als additives Verfahren dar. Die SPF werden teils nach Unfallkategorie differenziert. Sie kann dann als A-Priori Funktion genutzt werden. Der Vorteil dieser Regression ist die höhere Anpassungsgüte im Hinblick auf die Overdispersion (Überzufälligkeit) im Gegensatz zum negativen Binomial-Regressionen (auch Poisson-Gamma-Regression). Der Nachteil besteht im Umgang mit der Underdispersion, der Verwendung von geringen Stichprobenumfängen und geringen Streuungen in der Stichprobe (Miaou et al. 2003, Lord & Miranda-Moreno 2008, Lord & Mannering 2010). Lord & Mannering (2010) weisen einen besseren Umgang mit der Underdispersion bei negativen Binomial Regressions-Modellen nach. Derartige multivariate negative Binomial (Poisson-Gam-

<sup>20</sup> Ma (2006), Ma & Kockelmann (2006), Park & Lord (2007), Aquero-Valverde & Jovanis (2008), Ma et al. (2008), El-Basyouny & Sayed (2009), Guo et al. (2010), Tazhibi et al. (2013), Zhao et al. (2017).

ma) Regressionen finden sich in der Literatur vergleichsweise sehr häufig<sup>21</sup>.

Logistische Regressions-Modelle und Logit-Modelle nutzen logistische Verteilungsfunktionen und können in der Modellerstellung besser sich gegenseitig korrelierende Merkmale verarbeiten. Das Verfahren liefert das Ergebnis der Unfallvorhersage aufgrund der binominalen Struktur und nicht z. B. die Unfallhäufigkeit. Im Rahmen von Sicherheitsanalysen wird das Verfahren selten verwendet.<sup>22</sup> Außerdem gibt es weitere Modelle mit Bayes-Ansätzen, welche derzeit wenig Anwendung finden. Dies sind z. B. Mixed Logit-Modelle, Mixed Logit-Probit Modelle mit dem Schwerpunkt der Beschreibung der Unfallschwere (Duncan et al. 1998, Dissanayake & Lu 2002, Dissanayake & Ratnayake 2006, Milton et al. 2008, Burda et al. 2008, Park et al. 2016) sowie multivariate „zero-inflated“ Poisson (ZIP) Regressionen (u. a. Heilbron 1989, Lambert 1992, Shankar et al. 1997, Hall 2000, Lee & Mannering 2002, Qin et al. 2004, Lord et al. 2005). Dabei arbeitet die ZIP Regression mit dem Grundsatz einer Trennung des Datensatzes in (häufig vorkommende) unfallfreie und -auffällige Abschnitte und deren unabhängige Modellierung. Damit wird der Overdispersion begegnet. Die ZIP Regression verwendet für die auffälligen Abschnitte meist eine Poisson- und negative Binomialverteilung.

Die EB-Modelle werden weiterhin in Vorher-Nachher-Vergleichen bei Maßnahmenuntersuchungen sowie bei der Untersuchung von Unfallhäufungsstellen genutzt (siehe Lord et al. 2005b, Patel et al. 2007, Persaud & Lyon 2007, Elvik 2008b, Montella 2009, Yu & Abdel-Aty 2013, Sacchi & Sayed 2015). Für weitere methodische Voraussetzungen und Modellierungen sowie deren Diskussion wird auf Brüde & Larsson (1998), Vogelesang (1997) und Lord & Mannering (2010) verwiesen. Dabei zeigt sich auch, dass mit dem Einsatz der Bayes-Ansätze methodische Schwierigkeiten wie der „Regression to the mean“-Effekt nicht gelöst, jedoch präziser geschätzt werden können (Sharma & Datta 2007).

## II Hierarchische Bayes-Modelle (HB-Modelle)

Die Bezeichnung der hierarchischen Modelle oder „Multilevel Modelle“ leitet sich aus der hierarchischen Struktur der Modelle und dabei der Nutzung der Bayes-Ansätze ab. Es werden in der ersten Ebene die Likelihood definiert, in der zweiten Ebene wird das A-Priori Modell der unbekannt Parameter gebildet und in der dritten Ebene entstehen dann die (Hyper-)Prioris der Prioriparameter für die Ebene 2. Die Verwendung der Hyperparameter als ein „Hyperprior“ ist der mathematische Unterschied der HB-Modelle zu EP-Modellen (Catarino & Dünki 2008, Gelman et al. 2013, Schmid & Feilke 2013). Nach Catarino & Dünki (2008) wird ein Hyperparameter wie folgt definiert: „Falls die A-Priori Verteilung bis auf einen Parameter  $\tau$  bestimmt ist, also  $\pi(\Theta) = \pi(\Theta, \tau)$  gilt, dann nennt man  $\tau$  einen Hyperparameter“.

HB-Modelle bieten sich u. a. dafür an, mehrere Ebenen und den Bestand von allgemeinen und ausgewählten detaillierten Merkmalen vorhandener Unfalldaten zu analysieren. Damit können ein räumliches (Gesamt-)Unfallmodell für ein Straßennetz und (Teil-)Modelle für z. B. die Knotenpunkte oder die Unfallbeteiligung (Pkw, Lkw usw.) in diesem Netz separat entwickelt werden. Dabei können A-Priori Verteilungen mit objektiven und „subjektiven“ Informationen (z. B. Expertenwissen) separat betrachtet werden. Ein Nutzen ist auch, die iterative Entwicklung der Veränderungen in den Teilmodellen zu betrachten und deren Einfluss auf das Gesamtmodell sowie dessen Heterogenität zu beschreiben. Dabei kann die weitere Spezifizierung der Teilmodelle als A-Priori Information in das Gesamtmodell einfließen. Bei der Verwendung der HB-Modelle wird auch aufgrund der großen Datenmengen ein simulationsbasiertes Schätzverfahren für die Parameterverteilung wie das numerische Markov-Chain-Monte-Carlo-Verfahren (MCMC-Verfahren) verwendet. Nachteile der HB-Modelle sind aufgrund der komplexen Modellerstellung die Übertragbarkeit auf andere Datensätze und das Verständnis der Ergebnisse der Korrelationsbetrachtung (Allenby et al. 2005, Lord & Mannering 2010). HB-Modelle zeigen sich in der Anwendung insbesondere aufgrund der Trennung in Teilmodelle stabiler und genauer.

Anwendung fanden hierarchische Bayes-Modelle bei Christiansen et al. (1992) bei der Untersuchung von unfallauffälligen Stellen sowie deren Rangfolgebildung. MacNab (2003) untersuchte regionale

<sup>21</sup> U. a. in Hauer et al. (1988), Miaou & Lum (1993), Miaou (1994), Maher & Summersgill (1996), Persaud et al. (1999), Carlin & Louis (2000), Abdel-Aty & Radwan (2000), Kim et al. (2002), Lord et al. (2005), Lord & Miranda-Moreno (2008), Lord & Park (2008), Connors et al. (2013), Zhou et al. (2012), Park et al. (2016).

<sup>22</sup> Al-Ghamdi (2002), Wang et al. (2015).

Unterschiede der Unfallverletzungen aus Patientendaten von Kliniken mithilfe von HB-Modellen. Auch Boulieri et al. (2016) analysierten regionale Unterschiede mit einem zeitlichen Verlauf. Die Veröffentlichungen von Schlüter et al. (1997), Miaou et al. (2003), Geurts et al. (2006), Brijs (2007), Huang & Abdel-Aty (2010) sowie weitere Veröffentlichungen<sup>23</sup> zeigen, dass die Modelle vorwiegend für die Analyse von Unfallhäufungsstellen und Analysen getrennt nach Regionen genutzt wurden. Das methodische Vorgehen findet ebenfalls Anwendung in der gleichzeitigen Modellerstellung für die Analyse von Knotenpunkten und der angrenzenden freien Strecken. Dies wird teilweise als „Bayesian Spatial (Joint) Modeling“<sup>24</sup> bezeichnet. Die Analysen und die Bestimmung der Einflüsse wurde auf verschiedenen räumlichen Ebenen, auch im Straßennetz (z. B. in Wang et al. 2012), durchgeführt.

Die HB-Modelle sind im Vergleich zu EB-Modellen in den westlichen Ländern weniger verbreitet, werden aber im asiatischen Raum häufiger angewendet<sup>25</sup>. Letztendlich zeigt sich in der Literatur, dass das hierarchische Vorgehen in den Bayes-Ansätzen mit den HB-Modellen teilweise gleichgesetzt wird, welches eine Abgrenzung der Modelle und deren methodische Anwendungen teilweise schwierig macht.

### III Volle Bayes-Modelle (FB-Modelle)

Der volle Bayes-Ansatz (Full Bayes, FB-Modelle) stellt ein Verfahren dar, das es ermöglicht, die Unsicherheiten im Datensatz und den Modellparametern besser zu berücksichtigen. Dafür werden für unbekannte Parameter keine Punktschätzer, sondern A-Priori Verteilungen gebildet. Diese stellen damit Hyper-Priori-Verteilungen auf Parameter der A-Priori Verteilungen dar. Die Verteilungen der wahrscheinlichen Werte werden mit der vorherrschenden Unfallhäufigkeit kombiniert (Persaud et

al. 2010, Park et al. 2010). Im Verfahren können unterschiedliche Verteilungsannahmen flexibler genutzt werden. Unsicherheiten im Datensatz werden besser nachvollzogen. Damit ist möglicherweise eine geringere Stichprobengröße erforderlich. Falls alle beobachtbaren und nicht beobachtbaren Parameter in einem (Verkehrs-)System berücksichtigt werden können, liegt ein FB-Modell vor. Im Rahmen des Verfahrens werden ebenfalls üblicherweise MCMC-Verfahren verwendet (Fahrmeir et al. 2009). Die Anwendung bzw. Ansätze von FB-Modellen finden sich u. a. in Heydecker & Wu (2001), MacNab (2003 und 2004), Carriquiry & Pawlovich (2004), Pawlovich et al. (2006), Miaou & Song (2005), Qin et al. (2005), Lan et al. (2009), Park et al. (2010), Persaud et al. (2010), El-Basyouny & Sayed (2010, 2011 und 2012), Deublein (2012), Pei et al. (2012), Buddhavarapu et al. (2015), Islam & El-Basyouny (2015), Sacchi & Sayed (2015). Dabei zeigt sich, dass aufgrund der mathematischen Ansätze Schnittstellen zwischen den HB- und FB-Modellen bestehen.

### IV Bayes-Netze (BN)

Ein probabilistisches Verfahren in der Bayes-Inferenz ist die Nutzung von Bayes-Netzen (BN). BN stellen formalisiert und grafisch kausal (subjektive oder unsichere) Abhängigkeiten von Variablen als Kanten einer Situation dar. Die Erweiterung von Wahrscheinlichkeitstabellen für jede Variable (Knoten) ist das Kernstück von BN. Durch die Verwendung von Graphen lässt sich das Verfahren intuitiv mit einer kompakten Struktur und bei sehr vielen Parametern effektiv konstruieren. BN benötigen aufgrund des Ansatzes keine Verteilungsannahmen, jedoch kann aufgrund der Komplexität ein entwickeltes BN möglicherweise nicht auf andere Datensätze übertragen werden und arbeitet dabei teilweise als „Black Box“. Bei Änderungen einer Wahrscheinlichkeitsverteilung für einen Parameter kann man im BN die Änderungen der Wahrscheinlichkeitsverteilungen im gesamten BN gut darstellen. Der Ursprung von BN geht auf die Informatik mit dem Ziel der besseren Abbildung der menschlichen Denkprozesse zurück (Pearl 1985, Neapolitan 2003, Koller & Friedman 2009). Die Anwendung von BN findet sich im Bereich der Unfallforschung u. a. in Abdelwahab & Abdel-Aty (2002), Riviere et al. (2006), Xie et al. (2007), Oña et al. (2011), Deublein (2012), Gregoriades & Mouskosb (2013), Zong et al. (2013), Chen et al. (2015), Junghans et al. (2015) und Mbakwe et al. (2016).

<sup>23</sup> U. a. Tunaru (2002), Jones & Jørgensen (2003), Qin et al. (2005), Song et al. (2006), Maes & Dann (2007), Huang et al. (2008 und 2008b), Ahmed, M. et al. (2011), Xie et al. (2013), Yu & Abdel-Aty (2014), Schultz et al. (2015).

<sup>24</sup> Eksler et al. (2008), Quddus (2008), Huang et al. (2010), Zeng & Huang (2014), Banerjee et al. (2014), Loo & Anderson (2015).

<sup>25</sup> Weitere Vorteile der HB-Modelle werden z. B. in Ghosh & Rao (1994) diskutiert.

### 3.4 Zusammenfassung und Folgerungen für die Untersuchung

Neben der Bewertung von Straßeninfrastrukturelementen mit der Unfallkenngrößenberechnung und deren Vergleich haben sich in letzten Jahren neue Verfahrensansätze entwickelt. Gründe für die Entwicklung und Anwendung sind in den zunehmend rückläufigen Unfallhäufigkeiten in bestimmten Bereichen, den geringen Stichprobengrößen, der zunehmenden Berücksichtigung von methodischen und mathematischen Herausforderungen sowie der fortlaufenden Entwicklung der elektronischen Datenverarbeitung zu sehen.

Für den eigenen Verfahrensansatz (siehe Kapitel 6) lassen sich nachfolgende Bedingungen ableiten: Die Verfahren zur statistischen quantitativen Analyse zeigen im Gegensatz zu einfachen Analyseverfahren die Beziehungsstruktur von mehreren Variablen (uni- oder bivariate Analyseverfahren) auf. Multiple Regressionsanalysen sind die flexibelsten und die am häufigsten eingesetzten multivariaten Analyseverfahren. Eine multiple Regressionsanalyse ist das klassische lineare Regressionsmodell mit einer Nutzung der Poisson-Verteilung und die Verallgemeinerung davon. GLM werden aufgrund der Berücksichtigung der statistischen Bedingungen der poisson-verteilten Unfallhäufigkeit vergleichsweise oft verwendet. Im Rahmen früherer Studien wurden die Schwerpunkte der Untersuchungen auf die Erstellung von Modellen zur Beschreibung der Unfallerklärung, Unfallhäufigkeit (Unfallvorhersage) und zur Unfallschwere gelegt. Bei der Modellanwendung muss eine angemessene Datengrundlage mit großem Datenumfang von hoher Detailtiefe und guter Datenqualität vorliegen und die Unsicherheit einer Prognose beachtet werden.

Die überblicksartige Literaturanalyse der statistischen Grundlagen und der Modelldiskussion der Bayes-Inferenz hat gezeigt, dass ein Potenzial für deren Anwendung besteht. Im Rahmen der Literaturanalyse wurden verschiedene allgemeine Vorteile der Bayes-Ansätze und Eigenschaften der unterschiedlichen Modelle aufgezeigt. Bayes-Verfahren haben die allgemeinen Vorteile, dass weitere Vorkenntnisse zum Beispiel aus anderen Untersuchungen (andere Merkmale und deren Ausprägungen) genutzt und damit in ein Modell als A-Priori Wahrscheinlichkeiten integriert werden kann. Die Ergebnisse werden damit iterativ verbessert und möglicherweise die Anforderungen an den Stichprobenumfang reduziert. Damit kann die Bayes-Inferenz,

auch auf Grundlage einer vergleichsweise geringen Stichprobengröße belastbare Ergebnisse, welches im Rahmen der Modellerstellung ermittelt wird. Ebenso ist die durchgehende und differenzierte Analyse und Auswertung von Konfidenzintervallen im Rahmen des Verfahrens möglich und sinnvoll. Damit kann die Darstellung der Wahrscheinlichkeitsverteilungen und die Abweichungen vom Mittelwert näher beschrieben werden.

Der Ansatz der EB-Modelle wurde bislang im Straßenwesen am häufigsten verwendet und nach Hauser et al. (2002) und Elvik (2008) als Stand der Technik bezeichnet. Die Ergebnisse einer komplexen Modellerstellung müssen dann so vereinfacht werden, dass die Erkenntnisse in die klassischen Sicherheitsverfahren integriert werden können.

Diese neuartigen Verfahren und Ansätze werden überwiegend außerhalb von Europa angewendet, seit Jahren weiterentwickelt und sind dort in Regelwerken zur Sicherheitsbewertung integriert. Die Verfahren analysieren insbesondere den Einfluss der örtlichen und verkehrlichen Merkmale unter zeitlichen und räumlichen Begebenheiten. Die Bayes-Inferenz ist in Sicherheitsanalysen in Deutschland derzeit außer der Anwendung von Bayes-Netzen nicht anzutreffen. Dabei könnten die Ansätze, in den verschiedenen Phasen im komplexen System der Unfallentstehung (siehe Kapitel 2.8.1) berücksichtigt, aber auch bei Netz-, Maßnahmen- und Unfallbewertungen nützlich sein.

In der Verknüpfung eines lokal beobachteten Unfallgeschehens, einem ermittelten Unfallgeschehen in einem Modell und unter Berücksichtigung der örtlichen Merkmale kann der „Regression to the mean“-Effekt berücksichtigt werden. Die Bayes-Inferenz kann je nach Modell, mathematische Herausforderungen, wie z. B. die Overdispersion und Effekte der Verteilung in Datensätzen besser bewältigen sowie präziser schätzen. Je nach Bayes-Modell können Unsicherheiten im Datensatz und den Modellparametern besser berücksichtigt werden.

Auf Basis dieser Erkenntnisse und Folgerungen wurde das methodische Vorgehen der Modellerstellung in der Arbeit aus dem Kapitel 1.3 weiter differenziert (siehe Abbildung 10). Der Arbeitsschritt der deskriptiven Analyse der amtlichen Straßenverkehrsunfallstatistik dient neben der Detailanalyse (Kapitel 4) weiterhin als „Vorwissen“ über die Parameter zum A-Priori in der Bayes-Inferenz. Ebenso werden die Auswertungen der Unfalldaten zur Ein-

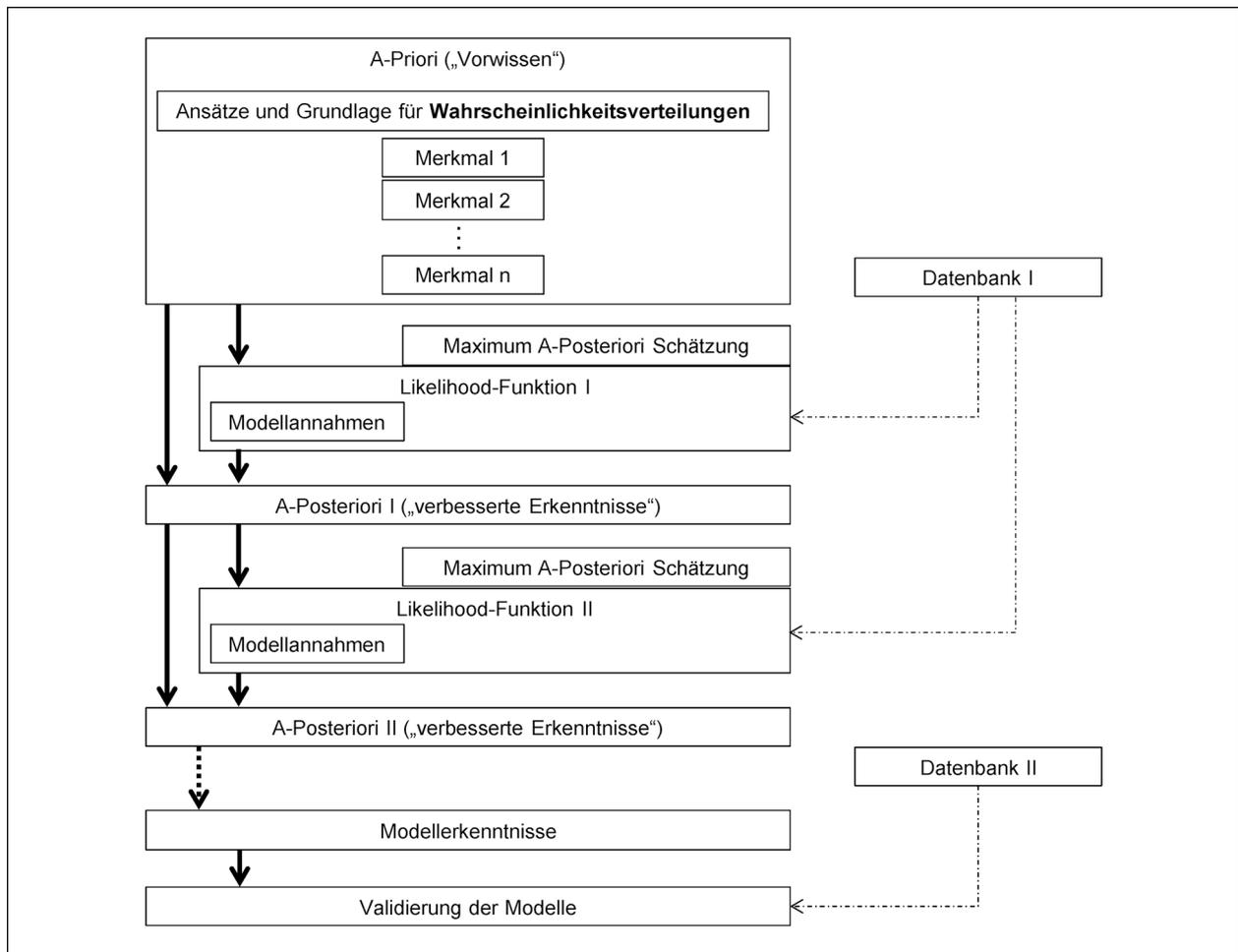


Abbildung 10: Methodisches Vorgehen der Bayes-Inferenz (EB-Modell) als Teil der Modellerstellung

ordnung und zum Vergleich der Datenbanken benötigt. Der A-Priori enthält die Ansätze und Grundlagen für Wahrscheinlichkeitsverteilungen der einzelnen Parameter als A-Priori Wahrscheinlichkeiten. Mithilfe von Stichproben werden mit einer Maximum A-Posteriori Schätzung der A-Posteriori I und mit diesem verbesserte Erkenntnisse (A-Posteriori II) und letztendlich die Ergebnisse ermittelt. In den Kapitel 5 und 6 erfolgt die Prüfung und Auswertung der Stichprobendaten zur Erstellung der Unfallvorhersagemodelle auf Basis der Bayes-Inferenz. Letztendlich wird eine Validierung der Unfallmodelle durchgeführt.

## 4 Gesamtunfallgeschehen

### 4.1 Analyseziel und Datenbasis

Zur Beurteilung des Einflusses der Hindernisse neben der Fahrbahn und dabei insbesondere die Straßenbepflanzung auf die Verkehrssicherheit auf

Landstraßen wird eine Analyse des Unfallgeschehens durchgeführt. Dabei wird insbesondere folgenden Fragen nachgegangen:

- Welchen Einfluss haben die ortsfesten Hindernisse und insbesondere die straßenbegleitende Bepflanzung im Seitenraum auf die Verkehrssicherheit auf Landstraßen? Welche Bedeutung hat dabei der hindernisfreie Seitenraum auf die Landstraßensicherheit?
- Welche Konstellationen, Abläufe und Ursachen weisen die Unfälle mit der Merkmalsausprägung „Aufprall auf Hindernis neben der Fahrbahn“ auf?
- Welche systematischen Unterschiede sind zu anderen Landstraßenunfällen festzustellen?

Diese Analyse basiert auf einer Auswertung der Einzeldaten der amtlichen Straßenverkehrsunfallstatistik (nachfolgend als Datenquelle BAST bezeichnet), die von der Polizei erhoben und der BAST von den Statistischen Landesämtern für Zwecke

der Unfallforschung gem. § 5 Absatz 3 Straßenverkehrsunfallstatistikgesetz übermittelt werden (StVUnfStatG 1990). Seit dem Jahr 1995 ist das Merkmal „Baum“ in der Straßenverkehrsunfallstatistik enthalten.

Ziel der Auswertung der amtlichen Straßenverkehrsunfallstatistik ist es, die Problematik der Baumaufpralle bei Straßenverkehrsunfällen darzustellen, einzuordnen und systematische Ursachen sowie Einzeleinflüsse von unterschiedlichen Unfallkonstellationen zu ermitteln. Damit soll ein Überblick über das Unfallgeschehen ohne Differenzierung nach Streckenabschnitten und Knotenpunkten sowie der Straßenbepflanzung dargelegt werden.

Analysiert wurden ausgewählte Merkmale auf Unfall- und Beteiligtenebene und deren Ausprägungen. Grundlage der Analysen waren die Daten der Unfälle auf Landstraßen der Unfallkategorie (UK) 1 bis 4 und 6 in den Jahren 2011 bis 2013. Dieser Jahreszeitraum wurde vor dem Hintergrund des Schwerpunktes des Unfallzeitraums des Forschungsvorhabens für die „Datenerfassung I“ (FE 89.0317/2015) ausgewählt. Das Ziel ist der Vergleich des makroskopischen Unfallgeschehens (Kapitel 4) mit dem detailliertem Unfallgeschehen auf den Netzknotenabschnitten (Kapitel 5).

Die Unfälle mit Sachschaden ohne Einfluss von Alkohol und anderen berauschenden Mitteln (UK 5) konnten im Rahmen der Analyse des Gesamtunfallgeschehens nicht berücksichtigt werden, da die Unfälle nach § 5 Absatz 3 StVUnfStatG nicht in der notwendigen Detailtiefe in die amtliche Straßenverkehrsunfallstatistik übermittelt werden.

Im Rahmen der Analyse des dreistelligen Unfalltypencodes (Kapitel 4.6.4) wird der Zeitraum 2011 bis 2016 genutzt. Zur Einordnung wurden die Einzeldaten für den Zeitraum mit den Daten vom Destatis (Statistisches Bundesamt) gegenübergestellt.

## 4.2 Allgemein

Im Zeitraum von 2011 bis 2013 wurden laut der amtlichen Unfallstatistik auf Landstraßen insgesamt 1.459.539 Straßenverkehrsunfälle polizeilich erfasst (Destatis 2012, 2013 und 2014). Die Kategorien 1 bis 3 bezeichnen Unfälle mit Personenschaden, Kategorie 4 schwerwiegende Unfälle mit Sachschaden im engeren Sinne, Kategorie 5 sonstige Sachschadensunfälle und Kategorie 6 sonstige Sachschadensunfälle unter Alkoholeinwirkung (als schwerwiegende Unfälle mit Sachschaden). Es ereigneten sich 295.937 Unfälle der Unfallkategorie 1 bis 4 und 6 (U(P,SS)), davon 225.646 Unfälle mit Personenschaden (U(P)), sowie 1.163.602 Unfälle der Kategorie 5. Insgesamt wurden in den drei betrachteten Jahren bei Landstraßenunfällen 6.526 Personen getötet, 77.620 schwer- und 241.314 leichtverletzt (vgl. Tabelle 5).

Die Betrachtung einer längeren Zeitreihe zeigt (Destatis 1996, 2014, 2019), dass eine Verringerung der Unfallschwere – gemessen an der Zahl der Getöteten (GT) pro 10.000 Landstraßenunfällen mit Personenschaden – zu verzeichnen ist. Im Zeitraum von 1995 (521 GT/10.000 U(P)) zum Jahr 2013 (265 GT/10.000 U(P)) ist ein Rückgang um 49 % und bis 2018 um 52 % (249 GT/10.000 U(P)) feststellbar. Damit ist eine deutliche Verlangsamung der Verringerung der Unfallzahlen ersichtlich. Der Rückgang der Anzahl der Schwerverletzten (SV) ist im Vergleich zu den Getöteten deutlich geringer. Für das Jahr 1995 (4.803 SV/10.000 U(P)) zum Jahr 2013 (3.431 SV/10.000 U(P)) beträgt der Rückgang „nur“ 29 %, zum Jahr 2018 (3.337 SV/10.000 U(P)) 31 %. Deshalb sollte für aussagekräftige Folgerungen eine gemeinsame Betrachtung der Anzahl der Schwerverletzten mit den Getöteten – auch vor dem Hintergrund der geringen Getötetenanzahlen – in der Sicherheitsbetrachtung ebenfalls punktuell vorgenommen werden.

Tab. 5: Unfallgeschehen auf Landstraßen 2011 bis 2013 (Datenquelle: BAST)

Jahr	U(P,SS)	Unfälle mit Personenschaden				U(SS)	Verunglückte				GT/ 10.000 U(P)	SP/ 10.000 U(P)
		Gesamt	U(GT)	U(SV)	U(LV)		Ins- gesamt	Getötete	Schwer- verletzte	Leicht- verletzte		
2011	101.019	77.549	2.237	21.570	53.742	21.476	111.835	2.441	26.808	82.586	315	3.772
2012	98.708	75.094	2.010	20.742	52.342	21.610	108.272	2.151	25.766	80.355	286	3.718
2013	96.210	73.003	1.794	20.151	51.058	21.240	105.353	1.934	25.046	78.373	265	3.696
Gesamt	295.937	225.646	6.041	62.463	157.142	64.326	325.460	6.526	77.620	241.314	289	3.729

### 4.3 Unfallhergang

Der Unfalltyp – unterteilt in sieben Typen – beschreibt den Vorgang bzw. die Situation, aus dem ein Unfall entstanden ist. Die Unfallart (10 Arten) beschreibt hingegen die Bewegungsrichtung zueinander, den ersten Zusammenstoß der Verkehrsteilnehmer auf der Fahrbahn oder die erste mechanische Einwirkung auf einen Verkehrsteilnehmer, wenn es nicht zu einem Zusammenstoß gekommen ist. Bei mehreren Unfallbeteiligten oder mehreren Kollisionen wird die erste Kollision polizeilich erfasst (FGSV 2012b, Heinrich et al. 2010).

Bei der Interpretation der Ergebnisse muss beachtet werden, dass in der amtlichen Straßenverkehrsunfallstatistik außer bei Alleinunfällen nicht klar ist, welcher Unfallbeteiligte auf das Hindernis aufgeprallt ist, da das Merkmal „Aufprall auf seitliches Hindernis“ auf der Unfallebene und nicht auf der Beteiligtenebene erfasst wird. Darüber hinaus gehen die Unfalltexte und -skizze – sofern vorhanden – der Unfallaufnahme nicht in die statistischen Daten ein.

Auf Landstraßen weisen die Unfalltypen Fahrnfall (Typ 1) mit 38 % und Unfall im Längsverkehr (Typ 6) mit 23 % die höchsten Anteile an U(P,SS) auf. Die Verteilung der Unfalltypen bei verschiedenen Unfallkategorien in der Abbildung 11 zeigt deutlich, dass

diese Unfalltypen auch den höchsten Anteil an den U(GT) (Typ 1: 46 % und Typ 6: 25 %) aufweisen. Einbiegen/Kreuzen-Unfälle (Typ 3) zwischen einem einbiegenden oder kreuzenden Wartepflichtigen und einem Vorfahrtberechtigten an Kreuzungen, Einmündungen oder Ausfahrten von Grundstücken und Parkplätzen stellen mit 18 % den drittgrößten Anteil an den U(P,SS) und 13 % an den U(GT) dar. Abbiege-Unfälle (Typ 2) haben einen Anteil von 11 % an den U(P,SS), der Sonstige Unfall (Typ 7) von 9 % an den U(P,SS). Der Überschreiten-Unfall (Typ 4) und der Unfall durch ruhenden Verkehr (Typ 5) hat nur einen geringen Anteil an den U(P,SS); der Typ 4 weist dabei schwere Unfallfolgen auf.

Die Unfallarten (Abbildung 12) „Zusammenstoß mit anderem Fahrzeug, das einbiegt oder kreuzt“ (Art 5) und „Abkommen von der Fahrbahn nach rechts“ (Art 8) weisen mit jeweils 22 % die höchsten Anteile bei den U(P,SS) auf. Die Differenzierung der Unfallarten nach den Unfallkategorien zeigt, dass die Unfallart 5 einen Anteil von 16 % an den U(GT) und 19 % an den U(SV) aufweist. Die Unfallart 8 hat einen Anteil von 22 % an den U(GT) und 25 % an den U(SV). Die Unfallart „Abkommen von der Fahrbahn nach links“ (Art 9) macht einen Anteil von 14 % an der U(P,SS) aus, jedoch jeweils einen Anteil von 16 % an den U(GT) und U(SV). Der „Zusammenstoß mit anderem Fahrzeug, das entgegenkommt“

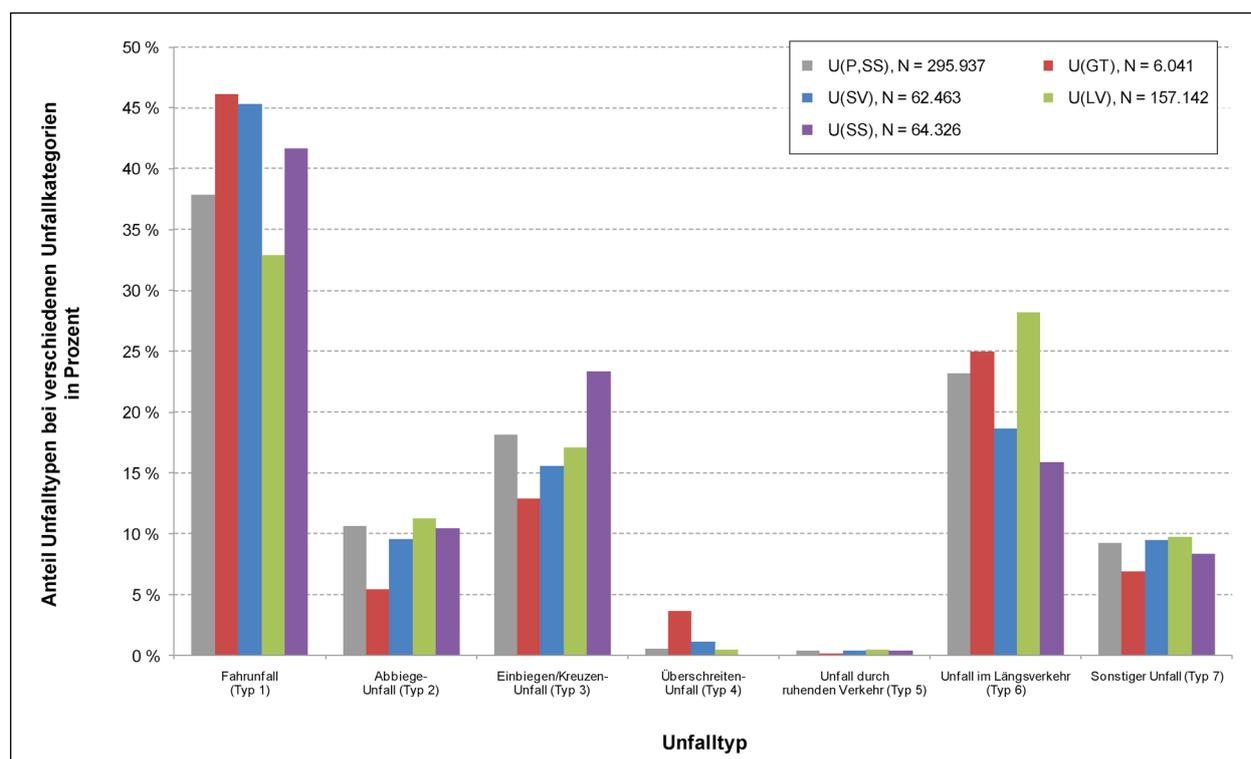


Abbildung 11: Verteilung der Unfalltypen bei verschiedenen Unfallkategorien auf Landstraßen 2011 bis 2013 (Datenquelle: BASt)

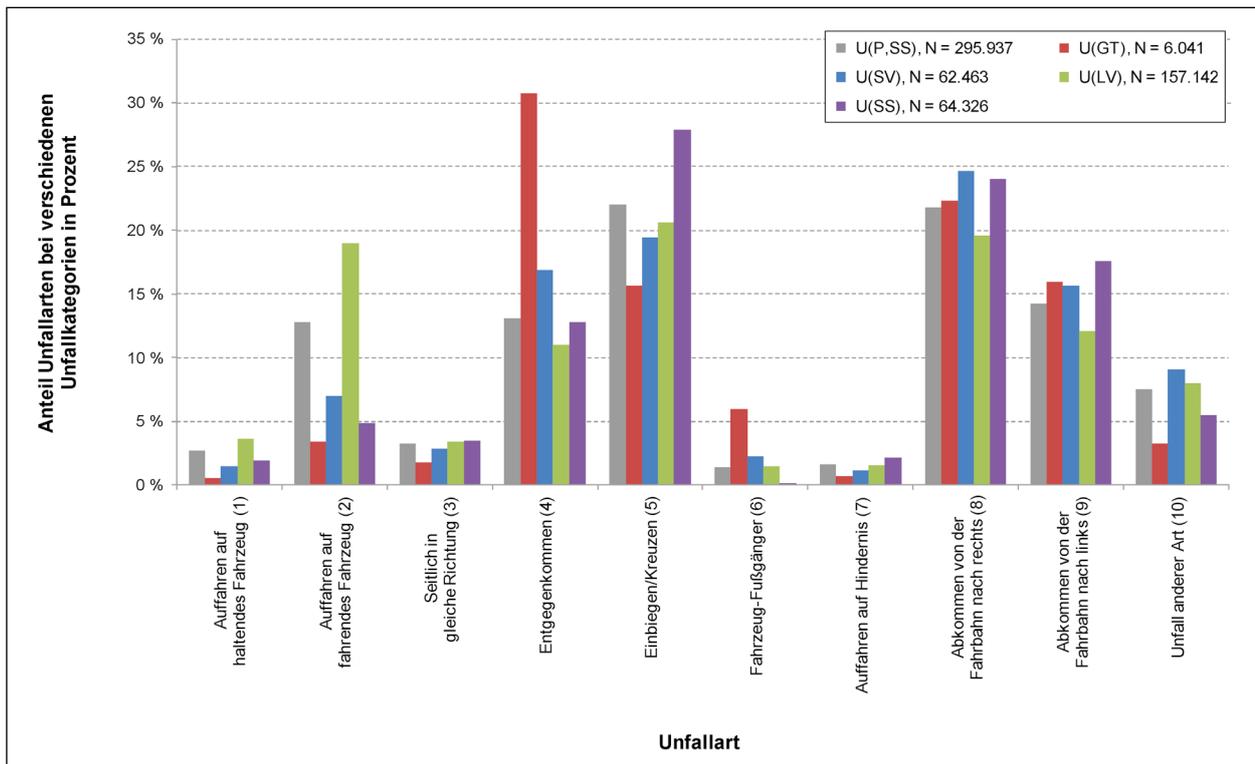


Abbildung 12: Verteilung der Unfallarten bei verschiedenen Unfallkategorien auf Landstraßen 2011 bis 2013 (Datenquelle: BAST)

(Art 4) hat lediglich einen Anteil von 13 % an den U(P,SS), jedoch einen Anteil von 31 % und damit den höchsten Anteil an den U(GT) und 17 % an den U(SV). Die Unfallart „Zusammenstoß mit anderem Fahrzeug, das vorausfährt oder wartet“ (Art 2) hat ebenfalls einen Anteil von 13 % an U(P,SS), jedoch nur einen Anteil von 3 % an den U(GT) und 7 % an den U(SV). Die Unfallart „Zusammenstoß zwischen Fahrzeug und Fußgänger“ (Art 6) spielt mit dem Anteil von 6 % an den U(GT) zwar nur eine nachgeordnete Rolle. Die im Vergleich viel geringeren Anteile an den U(SV) und den U(LV) offenbart jedoch die relativ hohe Unfallschwere dieser Unfallart.

#### 4.4 Hauptunfallszenarien auf Landstraßen

Hauptunfallszenarien bzw. das charakteristische Unfallgeschehen auf Landstraßen können auf Basis der Kombination von Unfalltypen und Unfallarten ermittelt werden und stellen damit einen guten Ansatz zur Zusammenführung dar. In der Tabelle 6 wurden strukturell ähnliche Kombinationen (in Anlehnung an FGSV 2017) zusammengefasst. Dabei nehmen die „Unfälle mit Abkommen“ den höchsten Anteil von 36 % an den U(P,SS) sowie von 40 % am Unfallgeschehen mit schwerem Personenschaden

(U(SP)) ein. Das zweithäufigste Szenario mit 26 % sind U(P,SS) an der Örtlichkeit „Knotenpunkt“, die aufgrund der geringeren Unfallschwere nur 22 % an den U(SP) ausmachen. „Unfälle mit Gegenverkehr“ haben mit 13 % einen geringeren Anteil an den U(P,SS), jedoch eine hohe Unfallschwere mit einem Anteil von 18 % an den U(SP). Weitere Szenarien mit hohem Unfallanteil oder hoher Unfallschwere sind „Unfälle mit Auffahren“ mit 12 % an den U(P,SS) und „Fußgänger-Unfälle“ mit 3 % an den U(SP). Die fünf Szenarien decken knapp 90 % des Unfallgeschehens (U(P,SS), U(SP)) ab. Unfälle durch ruhenden Verkehr haben einen minimalen Anteil von 0,4 % an den U(P,SS).

Die differenzierte Darstellung der Kombination von Unfalltypen und Unfallarten für die Anzahl der U(P,SS) sowie der Getöteten zeigt Tabelle 7. Dabei wird zusätzlich deutlich, dass sich die Hauptunfallszenarien bezogen auf die Anzahl der Getöteten auf Landstraßen durch

- Typ 1 und Art 8 (20 %),
- Typ 6 und Art 4 (19 %),
- Typ 1 und Art 9 (14 %),
- Typ 3 und Art 5 (12 %) sowie
- Typ 1 und Art 4 (10 %) beschreiben lassen.

Tab. 6: Unfalltypen und Unfallarten mit schwerem Personenschaden auf Landstraßen 2011 bis 2013 (Datenquelle: BAST) in Anlehnung an FGSV 2017

U(SP)		Unfalltyp								Gesamt	
		1	2	3	4	5	6	7			
Unfallart	1	0,2 %	0,2 %	0,1 %	0,0 %	0,3 %	0,6 %	0,2 %	1 %	Unfälle mit Auffahren	
	2	0,3 %	1,4 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	4,6 %	0,2 %	7 %		
	3	0,1 %	0,6 %	0,1 %	0,0 %	0,0 %	1,8 %	0,2 %	3 %	Unfälle mit Gegenverkehr	
	4	5,3 %	2,6 %	0,2 %	0,0 %	0,0 %	9,3 %	0,7 %	18 %		
	5	0,1 %	4,0 %	14,6 %	0,0 %	0,0 %	0,1 %	0,2 %	19 %	Fußgänger-Unfälle	
	6	0,1 %	0,1 %	0,0 %	1,3 %	0,0 %	0,7 %	0,3 %	3 %		
	7	0,2 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,8 %	1 %	Unfälle mit Abkommen	
	8	21,3 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,8 %	2,2 %	24 %		
	9	13,3 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,7 %	1,6 %	16 %		
		Gesamt	45 %	9 %	15 %	1 %	0 %	19 %	9 %	100 %	
		Unfälle an Örtlichkeit „Knotenpunkt“			Fußgänger-Unfälle	Unfälle ruhender Verkehr					

Tab. 7: Unfalltypen und Unfallarten für U(P,SS) und Getötete auf Landstraßen 2011 bis 2013 (Datenquelle: BAST) einschließlich Darstellung (Formatierung „Fett“) der hohen Anteile bezogen auf den Unfalltyp

Unfallart	Unfalltyp	Fahrerfall (1)				Abbiege-Unfall (2)				Einbiegen/Kreuzen-Unfall (3)				Überschreiten-Unfall (4)			
		U(P,SS)/3a		Getötete/3a		U(P,SS)/3a		Getötete/3a		U(P,SS)/3a		Getötete/3a		U(P,SS)/3a		Getötete/3a	
		Anzahl	Anteil	Anzahl	Anteil	Anzahl	Anteil	Anzahl	Anteil	Anzahl	Anteil	Anzahl	Anteil	Anzahl	Anteil	Anzahl	Anteil
	Auffahren auf haltendes Fahrzeug (1)	689	0 %	4	0 %	823	0 %	2	0 %	220	0 %	1	0 %	2	0 %	0	0 %
	Auffahren auf fahrendes Fahrzeug (2)	1.194	0 %	9	0 %	6.406	<b>2 %</b>	39	1 %	302	0 %	0	0 %	12	0 %	0	0 %
	Seitlich in gleiche Richtung (3)	443	0 %	3	0 %	1.707	1 %	20	0 %	317	0 %	4	0 %	0	0 %	0	0 %
	Entgegenkommen (4)	9.811	<b>3 %</b>	665	<b>10 %</b>	8.038	<b>3 %</b>	100	<b>2 %</b>	507	0 %	5	0 %	3	0 %	0	0 %
	Einbiegen/Kreuzen (5)	354	0 %	8	0 %	12.833	<b>4 %</b>	164	<b>3 %</b>	50.594	<b>17 %</b>	802	<b>12 %</b>	10	0 %	1	0 %
	Fahrer-Fußgänger (6)	199	0 %	16	0 %	186	0 %	4	0 %	23	0 %	3	0 %	1.527	1 %	218	<b>3 %</b>
	Auffahren auf Hindernis (7)	740	0 %	10	0 %	14	0 %	0	0 %	17	0 %	0	0 %	5	0 %	0	0 %
	Abkommen von der Fahrbahn nach rechts (8)	54.228	<b>18 %</b>	1.312	<b>20 %</b>	198	0 %	0	0 %	306	0 %	1	0 %	8	0 %	0	0 %
	Abkommen von der Fahrbahn nach links (9)	35.754	<b>12 %</b>	908	<b>14 %</b>	203	0 %	2	0 %	138	0 %	1	0 %	6	0 %	0	0 %
	Unfall anderer Art (10)	8.638	<b>3 %</b>	72	1 %	940	0 %	6	0 %	1.271	0 %	10	0 %	73	0 %	4	0 %
	Gesamt	112.050	38 %	3.007	46 %	31.348	11 %	337	5 %	53.695	18 %	827	13 %	1.646	1 %	223	3 %
Unfallart	Unfalltyp	Unfall durch ruhenden Verkehr (5)				Unfall im Längsverkehr (6)				Sonstiger Unfall (7)				Gesamt			
		U(P,SS)/3a		Getötete/3a		U(P,SS)/3a		Getötete/3a		U(P,SS)/3a		Getötete/3a		U(P,SS)/3a		Getötete/3a	
		Anzahl	Anteil	Anzahl	Anteil	Anzahl	Anteil	Anzahl	Anteil	Anzahl	Anteil	Anzahl	Anteil	Anzahl	Anteil	Anzahl	Anteil
	Auffahren auf haltendes Fahrzeug (1)	823	0 %	7	0 %	4.317	1 %	13	0 %	1.025	0 %	7	0 %	7.899	3 %	34	1 %
	Auffahren auf fahrendes Fahrzeug (2)	118	0 %	2	0 %	28.630	<b>10 %</b>	156	<b>2 %</b>	1.069	0 %	5	0 %	37.731	13 %	211	3 %
	Seitlich in gleiche Richtung (3)	38	0 %	0	0 %	6.535	<b>2 %</b>	76	1 %	508	0 %	8	0 %	9.548	3 %	111	2 %
	Entgegenkommen (4)	37	0 %	1	0 %	18.769	<b>6 %</b>	1.262	<b>19 %</b>	1.403	0 %	65	1 %	38.568	13 %	2.098	<b>32 %</b>
	Einbiegen/Kreuzen (5)	45	0 %	0	0 %	423	0 %	5	0 %	758	0 %	15	0 %	65.017	22 %	995	<b>15 %</b>
	Fahrer-Fußgänger (6)	13	0 %	0	0 %	1.311	0 %	89	1 %	769	0 %	37	1 %	4.028	1 %	367	6 %
	Auffahren auf Hindernis (7)	18	0 %	0	0 %	100	0 %	2	0 %	3.742	1 %	31	0 %	4.636	2 %	43	1 %
	Abkommen von der Fahrbahn nach rechts (8)	33	0 %	0	0 %	3.353	1 %	17	0 %	6.201	<b>2 %</b>	92	1 %	64.327	22 %	1.422	<b>22 %</b>
	Abkommen von der Fahrbahn nach links (9)	12	0 %	0	0 %	1.925	1 %	45	1 %	4.006	1 %	81	1 %	42.044	14 %	1.037	<b>16 %</b>
	Unfall anderer Art (10)	85	0 %	1	0 %	3.242	1 %	28	0 %	7.890	<b>3 %</b>	87	1 %	22.139	7 %	208	3 %
	Gesamt	1.222	0 %	11	0 %	68.605	23 %	1.693	26 %	27.371	9 %	428	7 %	295.937	100 %	6.526	100 %

### 4.5 Ohne und mit Aufprall auf ein Hindernis

Neben dem Unfallhergang stehen die Seitenraumgestaltung und Hindernisse neben der Fahrbahn im Seitenraum im besonderen Zusammenhang mit der Verkehrssicherheit auf Landstraßen. Bei einem Drittel aller U(P,SS) auf Landstraßen wird ein Aufprall auf ein Hindernis neben der Fahrbahn verzeichnet. Bei U(GT) stehen sogar 46 % der Unfälle im Zusammenhang mit einem Aufprall auf ein Hindernis neben der Fahrbahn. Die Unfallschwere ist bei Unfällen mit Aufprall auf ein Hindernis im Mittel deutlich höher als bei Unfällen ohne Aufprall, denn bei Unfällen mit Aufprall werden 435 Getötete (Tabelle 8) und 4.178 Schwerverletzte je 10.000 U(P) registriert. Im Vergleich dazu werden bei

Unfällen ohne Aufprall 226 Getötete sowie 3.120 Schwerverletzte je 10.000 U(P) verzeichnet.

U(P,SS) mit einem Aufprall auf ein Hindernis neben der Fahrbahn waren zu 71 % der Unfälle Fahrunfälle (22 % ohne Aufprall), zu jeweils 10 % Unfälle im Längsverkehr (29 % ohne Aufprall) und Sonstige Unfälle (9 % ohne Aufprall) sowie zu 6 % Einbiegen/Kreuzen-Unfälle (24 % ohne Aufprall) (vgl. Abbildung 13).

Die Betrachtung der Verteilung der Getöteten bei Unfällen ohne und mit Aufprall auf ein Hindernis zeigt im Vergleich zu der Verteilung der U(P,SS) folgende Besonderheit: Sowohl ohne als auch mit Aufprall sind höhere Getötetenanteile bei Längsverkehrs- und Fahrunfällen im Vergleich z. B. zu den

Tab. 8: Unfallgeschehen auf Landstraßen nach Aufprall auf Hindernis neben der Fahrbahn 2011 bis 2013 (Datenquelle: BAST)

	U(P,SS)/3a	Unfälle mit Personenschaden/3a				U(SS)/3a	Verunglückte/3a				GT/10.000 U(P)	SP/10.000 U(P)
		Gesamt	U(GT)	U(SV)	U(LV)		Ins-gesamt	Getötete	Schwer-verletzte	Leicht-verletzte		
Kein Aufprall	199.672	157.425	3.291	39.344	114.790	42.247	233.035	3.561	49.120	180.354	226	3.346
Aufprall	96.265	68.221	2.750	23.119	42.352	28.044	92.425	2.965	28.500	60.960	435	4.612
Gesamt	295.937	225.646	6.041	62.463	157.142	70.291	325.460	6.526	77.620	241.314	289	3.729

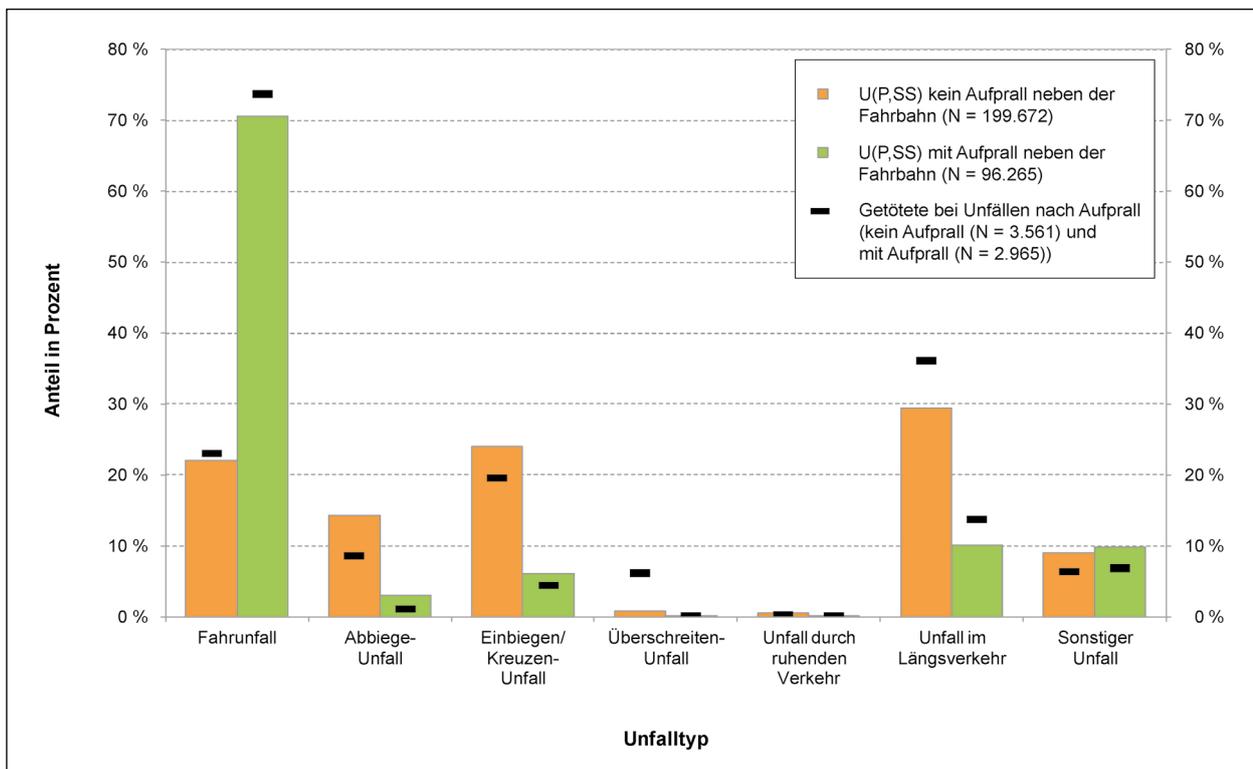


Abbildung 13: Verteilung der Unfälle und Getöteten bei Unfällen ohne und mit Aufprall auf ein Hindernis neben der Fahrbahn nach Unfalltypen auf Landstraßen 2011 bis 2013 (Datenquelle: BAST)

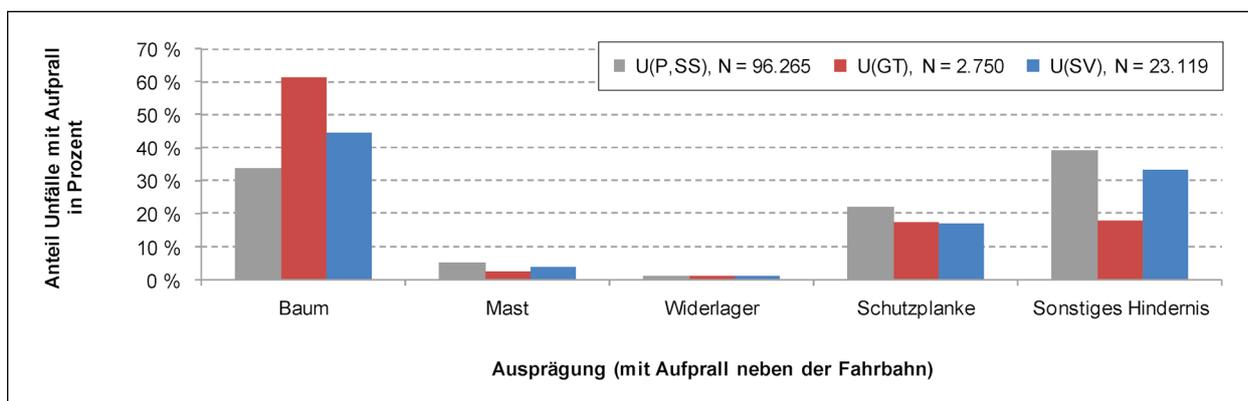


Abbildung 14: Verteilung der Unfälle mit Aufprall auf ein Hindernis neben der Fahrbahn auf Landstraßen 2011 bis 2013 nach Art des Hindernisses (Datenquelle: BAST)

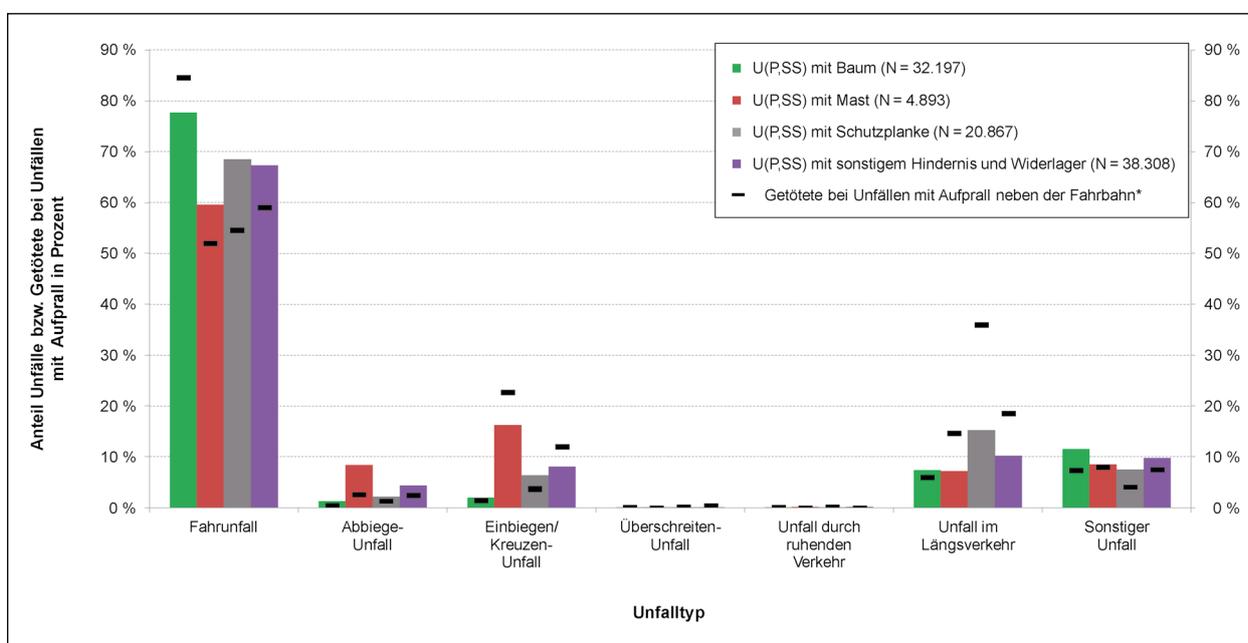


Abbildung 15: Verteilung der Unfalltypen mit Aufprall auf ein Hindernis neben der Fahrbahn 2011 bis 2013 nach Art des Hindernisses auf Landstraßen, \*N<sub>Baum</sub> = 1.816, N<sub>Mast</sub> = 75, N<sub>Schutzplanke</sub> = 515, N<sub>Sonstiges Hindernis</sub> = 534, N<sub>Widerlager</sub> = 25 (Datenquelle: BAST)

Abbiege- und Einbiegen/Kreuzen-Unfällen zu verzeichnen.

Differenziert nach der Art des Hindernisses neben der Fahrbahn ergibt sich (Abbildung 14), dass bei 39 % der Unfälle (U(P,SS)) mit Aufprall das Hindernis ein „sonstiges Hindernis“ (z. B. Zaun, Pfahl, Leitposten) war. Bei 33 % der Unfälle war es ein Baum und bei 22 % eine Schutzplanke. Hingegen war das Hindernis bei 61 % der U(GT) mit Aufprall ein Baum, bei 18 % ein sonstiges Hindernis und bei 17 % eine Schutzplanke. Auch bei den U(SV) ist das häufigste Hindernis mit 45 % ein Baum. Im Unfallgeschehen im Zusammenhang mit einem Aufprall auf ein Hindernis neben der Fahrbahn hat damit insbesondere

der Baum aufgrund der schwerwiegenden Unfallfolgen eine besondere Bedeutung.

Bei der Differenzierung der U(P,SS) und der Getöteten bei Unfällen mit Aufprall auf ein Hindernis neben der Fahrbahn nach Unfalltypen (Abbildung 15) zeigt sich, dass bei allen U(P,SS) mit einem Aufprall auf einen Baum zu 78 % ein Fahrerfall, zu 12 % ein Sonstiger Unfall und zu 7 % ein Unfall im Längsverkehr vorlag. Ein Sonstiger Unfall ist nach FGSV (2012b) ein Unfall, „der keinem anderen Unfalltyp zuzuordnen“ ist und z. B. Tier, Wild oder anderes Hindernis (z. B. Ast) auf der Fahrbahn oder plötzlich auftretender Mangel am Fahrzeug (z. B. Reifenschaden). Wiederum zeigt sich die hohe Unfall-

schwere bei der Kombination von Fahrnfällen und Baumaufprall. Dort werden 85 % der Getöteten bei Unfällen mit Baumaufprall registriert. Bei Aufprall gegen ein anderes Hindernis liegt der Anteil der Fahrnfälle bei den Getöteten niedriger als der Fahrnfallanteil. Ein im Vergleich zum Anteil an Unfällen höherer Getötetenanteil tritt bei mehreren Kombinationen von Unfalltypen und Hindernissen auf. Unfälle im Längsverkehr weisen insbesondere mit Aufprall auf eine Schutzplanke eine überdurchschnittlich hohe Unfallschwere auf. Im Rahmen einer detaillierten Analyse (Kapitel 4.6) wird dies weiter betrachtet.

Neben dem Unfallmerkmal „Aufprall neben der Fahrbahn“ ist die Unfallart „Aufprall auf ein Hindernis auf der Fahrbahn“ interessant für den Untersuchungsgegenstand. Zu den möglichen Hindernissen auf der Fahrbahn zählen Elemente, wie z. B. umgestürzte Bäume, Steine, verlorene Fracht sowie freilaufende Tiere oder Wild. 1,6 % aller U(P,SS) sind Unfälle mit einem Aufprall auf ein Hindernis auf der Fahrbahn (Unfallart 7). Dabei wurden 43 Getötete (0,7 %) und 746 Schwerverletzte (1,0 %) registriert. Bei 22 % der Unfälle mit einem Hindernis auf der Fahrbahn kommt es im Unfallablauf zu einem weiteren Aufprall neben der Fahrbahn. Die Unfälle sind differenziert nach Unfalltyp zu 81 % Sonstige Unfälle und zu 16 % Fahrnfälle.

## 4.6 Analyse von Unfallkonstellationen

Neben der Darstellung des Gesamtunfallgeschehens auf Landstraßen, deren Hauptunfallszenarien und der Auswertung hinsichtlich der übergeordneten Bedeutung der Unfälle mit Aufprall auf ein Hindernis neben der Fahrbahn im Unfallgeschehen soll in einem nächsten Schritt eine Detailanalyse der Unfälle mit Aufprall auf Bäumen erfolgen. Gleichzeitig erfolgt die Analyse der Unfälle mit anderen Hindernissen neben der Fahrbahn und deren Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit auf Landstraßen. Es werden die Fragen behandelt, welche Ursachen die Unfälle mit der Merkmalsausprägung „Hindernis neben der Fahrbahn“ aufweisen, wie diese Unfälle ablaufen und welche Unterschiede zu anderen Landstraßenunfällen festzustellen sind.

### 4.6.1 Ermittlung und Einordnung

Die Unfallkonstellationen werden auf der Basis der Merkmale Unfalltyp und -art differenziert nach Unfallschwere ermittelt. Dabei werden Unfallkonstellationen

herausgestellt, welche einen vergleichsweise großen Anteil am Unfallgeschehen aufweisen. Um systematische Unterschiede zwischen den Konstellationen festzustellen, unterscheiden sich die Ausprägungen von denen der anderen Konstellationen notwendigerweise. Innerhalb der einzelnen Konstellationen müssen gleichartige Ausprägungen auftreten. Deshalb wurden die Merkmale der Unfallbeteiligten, die Art des Hindernisses, die Art der Verkehrsteilnahme sowie die Art der Verkehrsteilnahme des Unfallgegners und Straßenklasse mit einbezogen. Die vorläufig festgestellten Ursachen der Unfälle (Einschätzung der aufnehmenden Polizeibeamten) wurden bei der Bildung der Konstellationen nicht berücksichtigt. Innerhalb der Konstellationen werden als Vergleichswerte weitere Aufprallausprägungen analysiert.

Die vier ermittelten Konstellationen (Unfälle ohne und mit Aufprall auf ein Hindernis) sind

- Fahrnfall in Verbindung mit Abkommen von der Fahrbahn nach rechts oder links (I),
- Sonstiger Unfall in Verbindung mit Abkommen von der Fahrbahn nach rechts oder links (II),
- Unfall im Längsverkehr in Verbindung mit Abkommen von der Fahrbahn nach rechts oder links (III) und
- Unfall im Längsverkehr in Verbindung mit Zusammenstoß mit einem entgegenkommenden Fahrzeug (IV).

Sie unterscheiden sich voneinander allgemein nach dem Unfallhergang. Als Referenzkonstellation wird das Gesamtunfallgeschehen U(P,SS) auf Landstraßen als Konstellation 0 verwendet.

Weitere Unfallkonstellationen mit einem Anteil von  $\geq 2\%$  an den U(P,SS) des Unfallgeschehens wurden hinsichtlich der Möglichkeit der Einbeziehung in die Konstellationen I bis IV analysiert. Dazu zählen bspw. die folgenden Konstellationen:

- „Fahrnfall in Kombination mit den Arten Entgegenkommen und Unfall anderer Art“ mit 3.240 U(P,SS) mit Hindernisaufprall,
- „Unfall im Längsverkehr in Kombination mit den Arten Zusammenstoß mit Fahrzeug, dass vorausfährt oder wartet oder seitlich in gleicher Richtung fährt“ mit knapp 2.600 U(P,SS) mit Hindernisaufprall und
- „Einbiegen/Kreuzen-Unfälle in Kombination mit einem Zusammenstoß mit Fahrzeug, dass ein-

biegt oder kreuzt“ mit knapp 1.900 U(P,SS) mit Hindernisaufprall.

Die Einbeziehung war aufgrund anderer Ausprägungen, u. a. hinsichtlich der Unfallschwere, -gegner, -ursachen und der Örtlichkeit nicht sinnvoll und hätte innerhalb der Konstellationen heterogene Ausprägungen verursacht.

Die Konstellationen I bis III weisen die Unfallarten Abkommen von der Fahrbahn nach rechts oder links und dabei die Typen Fahr Unfall, Sonstiger Unfall und Unfall im Längsverkehr auf. In der Konstellation IV sind Unfälle des Typs Unfall im Längsverkehr und der Art Entgegenkommen enthalten. Die Konstellationen I bis IV enthalten 45 % aller U(P,SS) auf Landstraßen, jedoch 54 % der U(SP) und 67 % der getöteten Verkehrsteilnehmer. Die Konstellationen I bis IV stellen insgesamt 79.417 U(P,SS) mit einem Aufprall auf ein Hindernis und 54.630 U(P,SS) ohne Aufprall auf ein Hindernis neben der Fahrbahn dar (vgl. Tabelle 9).

Die Konstellationen I bis IV stellen 27 % (N = 54.630) der U(P,SS) und 36 % (N = 15.404) der U(SP) des Gesamtunfallgeschehen auf Landstraßen ohne einen Aufprall auf ein Hindernis neben der Fahrbahn dar. Mit den Konstellationen werden 48 % (N = 1.726) der getöteten und 39 % (N = 19.005) der schwerverletzten Verkehrsteilnehmer

ohne einen Hindernisaufprall betrachtet. Andererseits beinhalten diese Konstellationen 82 % der U(P,SS) des Gesamtunfallgeschehen auf Landstraßen mit einem Aufprall auf ein Hindernis neben der Fahrbahn. Bezogen auf U(P) sind es ebenfalls 82 % (N = 56.114) und bezogen auf U(SP) 85 % (N = 21.885) aller Aufprallunfälle. Mit den Konstellationen werden 90 % (N = 2.656) der getöteten und 83 % (N = 23.554) der schwerverletzten Verkehrsteilnehmer bei Unfällen mit einem Hindernisaufprall betrachtet.

Bezogen auf die Unfälle mit Aufprall auf einen Baum sind in den Konstellationen I bis IV 92 % (N = 29.610) der U(P,SS) und 93 % (N = 11.186) der U(SP) aller Unfälle mit einem Baumaufprall enthalten. Weiterhin werden 95 % (N = 1.726) der bei einem Unfall Baumaufprall getöteten und 92 % (N = 11.608) der bei einem Unfall mit Baumaufprall schwerverletzten Verkehrsteilnehmer betrachtet. Betrachtet man nur die Unfälle mit Aufprall auf eine Schutzplanke, so enthalten die Konstellationen I bis IV 79 % (N = 16.542) aller U(P,SS) und 79 % (N = 3.506) aller U(SP) mit Schutzplanken-aufprall. Weiterhin beinhalten die Konstellationen I bis IV 86 % (N = 443) der getöteten und 77 % (N = 3.986) der schwerverletzten Verkehrsteilnehmer bei einem Unfall mit einem Schutzplanken-aufprall.

Tab. 9: Anteile der Konstellationen I bis IV ohne und mit Aufprall auf ein Hindernis am Gesamtunfallgeschehen (Konstellation 0) auf Landstraßen 2011 bis 2013 (Datenquelle: BAST)

	Konstellation 0 (Gesamt)	Unfallgeschehen ohne und mit Aufprall auf Hindernis neben der Fahrbahn					Unfallgeschehen mit Aufprall auf Hindernis neben der Fahrbahn				
		Konstellation I	Konstellation II	Konstellation III	Konstellation IV	Konstellationen I-IV	Konstellation I	Konstellation II	Konstellation III	Konstellation IV	Konstellationen I-IV
		Fahr-unfall	Sonstiger Unfall	Unfall im Längsverkehr			Fahr-unfall	Sonstiger Unfall	Unfall im Längsverkehr		
		Abkommen von der Fahrbahn nach rechts oder links			Entgegenkommen		Abkommen von der Fahrbahn nach rechts und links			Entgegenkommen	
U(P,SS)/3a	295.937	89.982	10.207	5.278	28.580	134.047	64.009	7.288	3.360	4.760	79.417
Anteil	100 %	30 %	3 %	2 %	10 %	45 %	22 %	2 %	1 %	2 %	27 %
U(P)/3a	225.646	64.852	8.307	3.450	22.370	98.979	44.454	5.773	2.060	3.827	56.114
Anteil	100 %	29 %	4 %	2 %	10 %	44 %	20 %	3 %	1 %	2 %	25 %
U(SP)/3a	68.504	23.707	2.616	972	9.994	37.289	17.322	1.948	620	1.995	21.885
Anteil	100 %	35 %	4 %	1 %	15 %	54 %	25 %	3 %	1 %	3 %	32 %
GT/3a	6.526	2.220	173	62	1.927	4.382	2.019	159	50	428	2.656
Anteil	100 %	34 %	3 %	1 %	30 %	67 %	31 %	2 %	1 %	7 %	41 %
SV/3a	77.620	24.875s	2.727	1.059	13.898	42.559	18.026	2.029	657	2.842	23.554
Anteil	100 %	32 %	4 %	1 %	18 %	55 %	23 %	3 %	1 %	4 %	30 %
GT/100 U(P)	3	3,4	2,1	1,8	8,6	4	4,5	2,8	2,4	11,2	5
SP/100 U(P)	37	41,8	34,9	32,5	70,7	47	45,1	37,9	34,3	85,4	47

Tab. 10: Anteile der Konstellationen I bis IV nach Aufprallausprägungen am Gesamtunfallgeschehen (Konstellation 0) auf Landstraßen 2011 bis 2013 (Datenquelle: BAST)

	Konstellation 0 (Gesamt)	Konstellation I				Konstellation II			
		Fahrerunfall				Sonstiger Unfall			
		Abkommen von der Fahrbahn nach rechts oder links							
		Hindernis	dabei:		Kein Aufprall	Hindernis	dabei:		Kein Aufprall
Baum	Schutzplanke		Baum	Schutzplanke					
U(P,SS)/3a	295.937	64.009	24.461	12.742	25.973	7.288	3.226	1.088	2.919
Anteil	100 %	22 %	8 %	4 %	9 %	2 %	1 %	0 %	1 %
U(SP)/3a	68.504	17.322	9.391	2.289	6.385	1.948	1.141	183	668
Anteil	100 %	25 %	14 %	3 %	9 %	3 %	2 %	0 %	1 %
GT/3a	6.526	2.019	1.509	195	201	159	118	9	14
Anteil	100 %	31 %	23 %	3 %	3 %	2 %	2 %	0 %	0 %
GT/100 U(P)	3	4,5	7,5	2,9	1	2,8	4,1	1,3	0,6
SP/100 U(P)	37	45,1	55,3	37,5	34,6	37,9	44,5	29,7	28,1
	Konstellation 0 (Gesamt)	Konstellation III				Konstellation IV			
		Unfall im Längsverkehr							
		Abkommen von der Fahrbahn nach rechts oder links				Entgegenkommen			
		Hindernis	dabei:		Kein Aufprall	Hindernis	dabei:		Kein Aufprall
Baum	Schutzplanke		Baum	Schutzplanke					
U(P,SS)/3a	295.937	3.360	1.114	724	1.918	4.760	809	1.988	23.820
Anteil	100 %	1 %	0 %	0 %	1 %	2 %	0 %	1 %	8 %
U(SP)/3a	68.504	620	311	87	352	1.995	343	947	7.999
Anteil	100 %	1 %	0 %	0 %	1 %	3 %	1 %	1 %	12 %
GT/3a	6.526	50	30	9	12	428	69	230	1.499
Anteil	100 %	1 %	0 %	0 %	0 %	7 %	1 %	4 %	23 %
GT/100 U(P)	3	2,4	3,7	2,3	0,9	11,2	10,5	13,9	8,1
SP/100 U(P)	37	34,3	43,5	28,1	29,8	85,4	83,1	97,3	67,7

Die Tabelle 10 gibt einen ausführlichen Überblick über die Konstellationen I bis IV differenziert nach den Aufprallausprägungen (Hindernis insgesamt, davon jeweils Baum, Schutzplanke, sowie kein Hindernisaufprall) im Vergleich zur Konstellation 0 (Referenzkonstellation). Zum Beispiel weist die Konstellation I (Fahrerunfall, einem Abkommen von der Fahrbahn nach rechts oder links) ein Anteil von 22 % der U(P,SS) am Gesamtunfallgeschehen mit einem Hindernisaufprall auf. Bei dieser Konstellation sind 25 % U(SP) am Gesamtunfallgeschehen und 31 % an allen Getöteten auf Landstraßen enthalten. Der Aufprall auf einem Baum in der Konstellation I weist mit 24.461 U(P,SS) einen Anteil von 8 % auf, 14 % sind es am Gesamtunfallgeschehen U(SP) und 23 % an allen Getöteten auf Landstraßen.

#### 4.6.2 Beschreibung der Konstellationen und Analyse der Unterschiede

Die Tabelle 11 enthält die Unfallkonstellationen I bis IV differenziert nach allen Aufprallausprägungen und die Anteile an der jeweiligen Konstellation.

##### Konstellation I: Fahrerunfall und Abkommen von der Fahrbahn nach rechts oder links

Die Konstellation I enthält die Unfälle mit dem Unfalltyp Fahrerunfall, ausgelöst durch den Verlust der Kontrolle über das Fahrzeug, ohne dass andere Verkehrsteilnehmer dazu beigetragen haben. Dabei kann es aufgrund von (unkontrollierten) Fahrzeugbewegungen zu einem Zusammenstoß mit anderen Verkehrsteilnehmern kommen (Definition Unfalltyp). Die erste mechanische Einwirkung ist in der Kon-

Tab. 11: Unfallkonstellation I bis IV nach Aufprallausprägungen und Anteile an der jeweiligen Konstellation auf Landstraßen 2011 bis 2013 (Datenquelle: BAST)

	Konstellation I							Konstellation II						
	Fahrerunfall							Sonstiger Unfall						
	Abkommen von der Fahrbahn nach rechts oder links													
	Kein Aufprall	Hindernis	dabei:					Kein Aufprall	Hindernis	dabei:				
Baum			Schutzplanke	Mast	Widerlager	Sonstiges Hindernis	Baum			Schutzplanke	Mast	Widerlager	Sonstiges Hindernis	
U(P,SS)/3a	25.973	64.009	24.461	12.742	2.743	561	23.502	2.919	7.288	3.226	1.088	339	72	2.563
Anteil	29 %	71 %	27 %	14 %	3 %	1 %	26 %	29 %	71 %	32 %	11 %	3 %	1 %	25 %
U(SP)/3a	6.385	17.322	9.391	2.289	493	177	4.972	668	1.948	1.141	183	48	17	559
Anteil	27 %	73 %	40 %	10 %	2 %	1 %	21 %	26 %	74 %	44 %	7 %	2 %	1 %	21 %
GT/3a	201	2.019	1.509	195	34	17	264	14	159	118	9	3	2	27
Anteil	9 %	91 %	68 %	9 %	2 %	1 %	12 %	8 %	92 %	68 %	5 %	2 %	1 %	16 %
GT/100 U(P)	1,0	4,5	7,5	2,9	2,2	4,1	1,7	0,6	2,8	4,1	-	-	-	1,4
SP/100 U(P)	34,6	45,1	55,3	37,5	36,6	52,7	35,8	28,1	37,9	44,5	29,7	24,5	35,7	32,4
	Konstellation III							Konstellation IV						
	Unfall im Längsverkehr													
	Abkommen von der Fahrbahn nach rechts oder links							Entgegenkommen						
	Kein Aufprall	Hindernis	dabei:					Kein Aufprall	Hindernis	dabei:				
Baum			Schutzplanke	Mast	Widerlager	Sonstiges Hindernis	Baum			Schutzplanke	Mast	Widerlager	Sonstiges Hindernis	
U(P,SS)/3a	1.918	3.360	1.114	724	131	30	1.361	23.820	4.760	809	1.988	110	44	1.809
Anteil	36 %	64 %	21 %	14 %	2 %	1 %	26 %	83 %	17 %	3 %	7 %	0 %	0 %	6 %
U(SP)/3a	352	620	311	87	17	7	198	7.999	1.995	343	947	34	22	649
Anteil	36 %	64 %	32 %	9 %	2 %	1 %	20 %	80 %	20 %	3 %	9 %	0 %	0 %	6 %
GT/3a	12	50	30	9	3	1	7	1.499	428	69	230	8	3	118
Anteil	19 %	81 %	48 %	15 %	5 %	2 %	11 %	78 %	22 %	4 %	12 %	0 %	0 %	6 %
GT/100 U(P)	0,9	2,4	3,7	-	-	-	-	8,1	11,2	10,5	13,9	-	-	8,4
SP/100 U(P)	29,8	34,3	43,5	28,1	25,4	42,9	28,5	67,7	85,4	83,1	97,3	63,3	81,1	74,0

stellation I durch das Abkommen von der Fahrbahn nach rechts oder nach links charakterisiert (Unfallart).

Die Konstellation I weist 89.982 U(P,SS) und damit 30 % des Landstraßenunfallgeschehens auf. 34 % der Getöteten auf Landstraßen sind bei der Konstellation I zu verzeichnen.

Die Konstellation enthält mit 64.009 Unfällen 66 % der U(P,SS) mit Aufprall auf ein Hindernis neben der Fahrbahn und dabei 68 % der Getöteten (N = 2.019). Weiterhin enthält die Konstellation I mit 76 % (N = 24.461) den überwiegenden Anteil der U(P,SS) mit Baumaufprall und mit 83 % auch der Getöteten bei Unfällen mit Baumaufprall (N = 1.509). Unfälle mit Schutzplankenaufprall sind mit 61 % (N = 12.742) aller U(P,SS) mit Schutzplankenaufprall ebenfalls meist in der Konstellation I enthalten. Der Anteil aller Getöteten bei Unfällen mit Schutzplankenaufprall ist dagegen mit 38 % (N = 195) in der Konstellation I vergleichsweise niedrig.

In der Konstellation I kommt es bei 71 % der U(P,SS) zu einem Aufprall auf ein Hindernis und bei 27 % zu einem Aufprall auf einen Baum. Bei der Betrachtung der Getöteten in der Konstellation I zeigen sich überproportional hohe Anteile. 91 % der Getöteten werden bei einem Unfall mit Aufprall auf ein Hindernis und 68 % der Getöteten bei einem Unfall mit Aufprall auf einen Baum registriert. Die Unfallschwere – gemessen an der Anzahl der Getöteten pro 100 U(P) und der Anzahl der Schwerverletzten pro 100 U(P) – ist in der Konstellation I bei Unfällen im Zusammenhang mit einem Hindernisaufprall 5 mal höher, mit einem Baumaufprall 8 mal höher und mit einem Schutzplankenaufprall 3 mal höher als ohne Aufprall.

Die Konstellation I ist mit 97 % besonders durch Alleinunfälle (ohne weitere Beteiligte) gekennzeichnet und damit ist in der Konstellation I der Unfallbeteiligte 01 im Allgemeinen auf das Hindernis aufgeprallt. Der Beteiligte 01 ist zu 81 % überdurchschnittlich häufig als Pkw-Fahrer und weiter mit

10 % als Motorrad-Fahrer<sup>26</sup> und 5 % als Fahrer eines Gkz<sup>27</sup> gekennzeichnet. Die Anteile der Pkw-Beteiligung variieren nach Art des Aufpralls. Bei einem Aufprall auf einem Baum ist zu 90 % eine Pkw-Beteiligung (6 % Gkz und 3 % Motorräder) zu registrieren. Ohne Aufprall liegt die Pkw-Beteiligung bei 71 %, wobei sich die Anteile der Motorräder auf 17 % erhöhen. Beim Schutzplankenaufprall liegen die Pkw-Anteile bei 77 % und die Anteile der Motorräder bei 16 %. Bei Unfällen mit mehreren Beteiligten (2 Beteiligte = 4 %) ist der Beteiligte 02 überwiegend ein Pkw-Fahrer (69 % bis 79 % je nach Aufprallausprägung). Unfälle mit mehr als zwei Beteiligten haben lediglich einen Anteil von unter 1 % an der Konstellation I.

Bei der Konstellation I (Fahrunfall und Abkommen von der Fahrbahn nach rechts oder links) ergibt sich die Frage, warum die Kenngröße GT/100 U(P) beim Schutzplankenaufprall um 3 mal höher (siehe Tabelle 10) als ohne Aufprall ist, jedoch die SP/100 U(P) vergleichbar sind und ob es daher systematische Unterschiede in der Unfallstruktur gibt. Die Differenzierung der Unfallschwere nach Art der Verkehrsteilnehmergruppe bei einem Schutzplankenaufprall zeigt, dass diese bei Motorrädern (124 GT) überdurchschnittlich bei 6,4 GT/100 U(P) und bei Pkw (58 GT) bei 1,4 GT/100 U(P) liegt. Dies zeigt, dass die Schutzplanke eine Maßnahme zur Verbesserung des Unfallgeschehens bei Fahrunfällen mit Abkommen für Pkw darstellt, jedoch insbesondere negative Auswirkungen auf die Gruppe der Motorräder hat und dies im Rahmen einer Maßnahmenumsetzung eine höhere Berücksichtigung finden sollte. Letztendlich sollte überprüft werden, ob eine Schutzplanke weitere negative Auswirkungen auf das weitere Unfallgeschehen auf Landstraßen aufweist. Eine Differenzierung nach den Verkehrsteilnehmergruppen ist bei der Konstellation II und III aufgrund der GT von jeweils 9 und bei Konstellation IV aufgrund der gänzlich anderen Unfallsituation nicht sinnvoll.

## Konstellation II: Sonstiger Unfall und Abkommen von der Fahrbahn nach rechts oder links

Die Konstellation II unterscheidet sich von der Konstellation I im Unfalltyp. Ein Sonstiger Unfall lässt sich keinem der Typen 1 bis 6 zuordnen und kann auf Landstraßen z. B. durch ein Hindernis, Wild auf der Fahrbahn oder einen plötzlichen Fahrzeugschaden (z. B. Bremsversagen, Reifenschäden) als Unfallursache hervorgerufen werden.

Die Konstellation II weist 10.207 U(P,SS) mit 173 Getöteten auf. Das entspricht jeweils 3 % der Unfälle sowie der Getöteten auf Landstraßen.

Unfälle mit Aufprall auf ein Hindernis im Seitenraum enthält die Konstellation 8 % der U(P,SS) (N = 7.288) und 5 % der Getöteten (N = 159) aller Unfälle mit Hindernisaufprall neben der Fahrbahn. In der Konstellation II kommt es bei 71 % der U(P,SS) zu einem Aufprall auf ein Hindernis und bei 32 % der U(P,SS) zu einem Aufprall auf einen Baum. 92 % der Getöteten in dieser Konstellation werden bei Unfällen mit Aufprall auf ein Hindernis und 68 % mit Aufprall auf einen Baum registriert.

Es finden sich mit 3.226 10 % der U(P,SS) und 6 % der Getöteten (N = 118) aller Unfälle mit Baumaufprall. Der Anteil der U(P,SS) mit Schutzplankenaufprall ist mit 5 % (N = 1.088) und 2 % der Getöteten (N = 9) aller Unfällen mit Schutzplankenaufprall sehr niedrig.

Die Unfallschwere liegt insgesamt im Gesamtdurchschnitt. Im Vergleich zur Konstellation I ist somit ein geringeres Niveau der Unfallschwere erkennbar. Gekennzeichnet ist der Sonstige Unfall mit Abkommen von der Fahrbahn nach rechts oder links durch eine sehr geringe Schwere bei Unfällen ohne Aufprall auf ein Hindernis (0,6 GT/100 U(P)) und mit einem Aufprall auf eine Schutzplanke (1,3 GT/100 U(P)). Der Vergleich der Unfallschwere nach Aufprallausprägung ist vergleichbar mit der Konstellation I, da das Risiko, getötet zu werden, im Zusammenhang mit einem Hindernisaufprall 5 mal höher, mit einem Baumaufprall 7 mal höher und mit einem Schutzplankenaufprall 2 mal höher als bei Unfällen ohne Aufprall ist.

Die Konstellation II weist mit 93 % (96 % beim Baumaufprall) ebenfalls einen hohen Anteil an Alleinunfällen auf. Damit ist wie in der Konstellation I der Unfallbeteiligte 01 im Allgemeinen auf das Hindernis aufgeprallt. Mit 80 % ist der Beteiligte 01 zu einem hohen Anteil ein Pkw-Fahrer. Zu 8 % ist Beteiligter 01 Gkz-Fahrer und zu 5 % Motorrad-Fahrer.

<sup>26</sup> Art der Verkehrsbeteiligung: Krafträder, Leichtkrafträder und Kraftrroller

<sup>27</sup> Art der Verkehrsbeteiligung: Lkw ohne Anhänger (Schlüsselnummer 41, 43), Lkw mit Anhänger (45, 48), Sattelfahrzeuge (51, 52), Zugmaschinen und Sonderfahrzeuge (53, 54, 55, 57, 58, 59)

Die Anteile der Pkw-Beteiligung variieren wie in der Konstellation I nach der Ausprägung des Aufpralls. Bei einem Unfall mit Aufprall auf einem Baum wird zu 88 % eine Pkw-Beteiligung (8 % Gkz und 2 % Motorräder) und ohne Aufprall zu 69 % eine Pkw-Beteiligung (10 % Motorräder und 8 % Gkz) festgestellt. Bei Schutzplankenaufprall sind die Pkw-Anteile ähnlich hoch (79 %, 9 % Gkz und 6 % Motorräder). Bei Unfällen mit mehreren Beteiligten (2 Beteiligte = 7 %,  $\geq 3$  Beteiligte unter 1 %) ist der Beteiligte 02 überwiegend ein Pkw-Fahrer (50 % bis 77 % je nach Aufprallausprägung).

### **Konstellation III: Unfall im Längsverkehr und Abkommen von der Fahrbahn nach rechts oder links**

Die Konstellation III weist ebenfalls ein Abkommen von der Fahrbahn auf, jedoch durch einen Konflikt zwischen Verkehrsteilnehmern ausgelöst, die sich in gleicher oder entgegengesetzter Richtung bewegten (Unfall im Längsverkehr), sofern dieser Konflikt nicht einem anderen Unfalltyp entspricht.

Die Konstellation III weist 5.278 U(P,SS) und damit 2 % des Landstraßenunfallgeschehens und 1 % (N = 62) der dabei Getöteten auf.

Bezogen auf die Unfälle mit Aufprall auf ein Hindernis neben der Fahrbahn enthält die Konstellation III mit 3.360 Unfällen 3 % der U(P,SS) sowie 3 % der Getöteten (N = 50) aller Unfälle mit Hindernisaufprall neben der Fahrbahn.

Betrachtet man nur den Unfall mit Baumaufprall umfasst die Konstellation III einen geringen Anteil von 3 % (N = 1.114) der Unfälle und 2 % der Getöteten (N = 30) aller Unfälle mit Baumaufprall. Dieselben Anteile gelten für Unfälle mit Aufprall an Schutzplanken mit U(P,SS) N = 724 und Getötete (N = 9) aller Unfälle mit Schutzplankenaufprall.

In der Konstellation III kommt es bei 64 % der U(P,SS) zu einem Aufprall auf ein Hindernis und bei 21 % der U(P,SS) zu einem Aufprall auf einen Baum. 81 % der Getöteten werden bei Unfällen mit einem Aufprall auf ein Hindernis und 48 % mit einem Aufprall auf einen Baum registriert. Die Unfallschwere (GT/100 U(P) und SP/100 U(P)) liegt insgesamt leicht unter dem Gesamtdurchschnitt. Der Vergleich der Unfallschwere nach Aufprallausprägung ergibt im Vergleich zu den Konstellationen I und II geringere Schweren. Das Risiko, getötet zu werden, im Zusammenhang mit einem Unfall mit

einem Hindernisaufprall und mit einem Schutzplankenaufprall ist 3 mal höher und mit einem Baumaufprall 4 mal höher als ohne Aufprall.

Aufgrund des Unfallhergangs ist die Anzahl der Unfallbeteiligten im Vergleich zu den Konstellationen I und II grundlegend verschieden. Die Konstellation III weist in 78 % der Fälle zwei Beteiligte aus ( $\geq 3$  Beteiligte = 1 %). In 16 % der Fälle ist nur ein Unfallbeteiligter erfasst, bei Unfällen mit Baumaufprall sind es sogar 21 %. Die Nennung von lediglich einem Beteiligten ist aufgrund des Unfalltyps, der eine Unfallauslösung durch einen Konflikt zwischen Verkehrsteilnehmern behandelt, die sich in gleicher oder entgegengesetzter Richtung bewegten, fraglich. Dabei kann es sich z. B. um Fälle handeln, in denen Begegnende oder Überholte nicht als Unfallbeteiligte registriert wurden. 63 % dieser Unfälle werden in den Bundesländern BY, BW, NI und NW registriert. Bei diesen „Alleinunfällen“ war der Beteiligte 01 zu 76 % ein Pkw-Fahrer, zu 14 % Motorrad-Fahrer und zu 6 % Gkz-Fahrer. Bei Unfällen mit Aufprall auf einen Baum waren es zu 89 % Pkw-Fahrer und jeweils zu 5 % Gkz-Fahrer und Motorrad-Fahrer. Im Unfallgeschehen mit zwei und mehr Beteiligten ist der Beteiligte 01 zu 70 % ein Pkw-Fahrer, zu 13 % Gkz-Fahrer und zu 11 % ein Sonstiger oder unbekannter Verkehrsteilnehmer und der Beteiligte 02 überwiegend ein Pkw-Fahrer (61 % bis 67 % je nach Aufprallausprägung).

### **Konstellation IV: Unfall im Längsverkehr und Zusammenstoß mit einem entgegenkommenden Fahrzeug**

In der Konstellation IV werden die Unfälle betrachtet, die die gleiche Konfliktsituation wie die Konstellation III aufweisen, wobei es aber zunächst zu einem Zusammenstoß zwischen entgegenkommenden Fahrzeugen kommt (Unfallart).

Die Konstellation IV beinhaltet mit 28.580 U(P,SS) 10 % des Landstraßenunfallgeschehens und 30 % der Getöteten (N = 1.927).

Die Konstellation IV ist besonders durch viele schwere Unfälle ohne Hindernisaufprall gekennzeichnet, da die erste Einwirkung bei dem Unfall die Kollision zweier Fahrzeuge auf der Fahrbahn beschreibt. Jedoch kann z. B. durch eine zweite Kollision mit einem Hindernis im Seitenraum eine schwerwiegendere Unfallschwere verursacht werden. Es kommt bei 4.760 Unfällen der Konstellation IV zu einem Aufprall auf ein Hindernis neben der

Fahrbahn nach der Kollision mit dem entgegenkommenden Fahrzeug. Diesem Unfallablauf entsprechen 5 % der U(P,SS) und 14 % der Getöteten (N = 428) aller Unfälle mit Hindernisaufprall neben der Fahrbahn.

Mit 3 % der U(P,SS) (N = 809) und 4 % der Getöteten (N = 69) aller Unfälle mit Baumaufprall haben diese Unfälle nur einen geringen Anteil in dieser Konstellation, jedoch eine höhere Getötetenanzahl als die Konstellation III. Der Schutzplankenaufprall ist in dieser Konstellation überproportional stark vertreten. Die Konstellation IV beinhaltet 10 % der U(P,SS) mit Aufprall an Schutzplanken (N = 1.988) und 45 % der dabei Getöteten (N = 230) aller Unfälle mit Schutzplankenaufprall.

In der Konstellation IV kommt es bei 17 % (N = 4.760) der U(P,SS) zu einem Aufprall auf ein Hindernis und bei 3 % (N = 809) der U(P,SS) zu einem Aufprall auf einen Baum. 22 % der Getöteten (N = 428) werden im Zusammenhang mit einem Aufprall auf ein Hindernis und 4 % (N = 69) mit einem Aufprall auf einen Baum registriert. Die Höhe von 8 GT/100 U(P) bzw. 68 SP/100 U(P) ohne Aufprall und 11 GT/100 U(P) bzw. 85 SP/100 U(P) bei Unfällen mit Hindernisaufprall liegen deutlich über dem Durchschnitt und sind von allen Konstellationen am höchsten. Das deutet darauf hin, dass die hohe Unfallschwere durch die Erstkollision mit einem anderen Fahrzeug mitbestimmt wird. Das Risiko, getötet zu werden, ist bei einem Unfall mit Schutzplankenaufprall mit 14 GT/100 U(P) und 98 SP/100 U(P) am höchsten. Das Risiko, getötet zu werden, ist sowohl bei einem Unfall mit Baumaufprall (1,3 mal höher) als auch bei einem Schutzplankenaufprall (2 mal höher) höher als ohne Aufprall.

Die Konstellation IV weist zu 84 % Unfälle mit zwei Beteiligten auf (3 Beteiligte = 14 %,  $\geq 4$  Beteiligte = 3 %). Der Beteiligte 01 ist zu 76 % ein Pkw-Fahrer, 10 % Gkz-Fahrer und 8 % Motorrad-Fahrer. Beim Unfall mit Baumaufprall ist der Beteiligte 01 zu 84 % ein Pkw-Fahrer, 10 % Gkz-Fahrer und 4 % Motorrad-Fahrer. Bei Unfällen ohne Aufprall im Seitenraum sind 75 % ein Pkw-Fahrer, 10 % Gkz-Fahrer und 9 % Motorrad-Fahrer. Der Beteiligte 02 ist zu 73 % überwiegend ein Pkw-Fahrer (73 % bis 77 % je nach Aufprallausprägung).

#### 4.6.3 Generelle Zusammenhänge

In den Konstellationen I bis IV wurden mit der deskriptiven Methode eines Chi-Quadrat-Tests überprüft, ob die analysierten (sachlogischen) Zusammenhänge systematisch verknüpft sind oder nur als Zufälligkeit in den Daten auftreten. Ein Chi-Quadrat-Test ist ein Verfahren für Hypothesentests in der Statistik, um damit die Unabhängigkeit von Merkmalen zu ermitteln (siehe Schendera 2008). Falls sich ein Zusammenhang zwischen Merkmalen als signifikant zeigte, wurde die Stärke durch das Zusammenhangsmaß Cramer-V ermittelt (Tabelle 12). Im Rahmen der Tests zeigten sich die Kombination Aufprall und einzelne Aufprallausprägungen und die Merkmale Unfallkategorie, Bundesland und Verkehrsteilnehmergruppe jeweils hoch signifikant (Signifikanz:  $p = 0,000$ ). Zahlreiche weitere Kombinationen der Merkmale zeigten sich ebenfalls hoch signifikant, wiesen dabei jedoch einen sehr geringen Cramer-V Wert auf, wodurch kein statistischer Effekt nachgewiesen werden konnte. Die hohe Signifikanz lässt sich auf den sehr großen Stichprobenumfang zurückführen.

Tab. 12: Ergebnisse Stärke der Zusammenhänge für Nullhypothesen

(Effekt-)Stärke der Zusammenhänge (ausgedrückt durch Cramer-V) nach Nullhypothesen						
		Konstellationen				
		0	I	II	III	IV
Aufprall/Kein Aufprall	Unfallkategorie	0,131	0,129	0,126	0,127	0,080
Baumaufprall/Kein Baumaufprall		0,129	<b>0,214</b>	<b>0,206</b>	0,138	0,031
Schutzplankenaufprall/ Kein Schutzplankenaufprall		0,110	0,179	0,176	0,110	0,081
Aufprall/Kein Aufprall	Verkehrsteilnehmergruppe	0,150	<b>0,213</b>	<b>0,250</b>	0,131	0,112
Baumaufprall/Kein Baumaufprall		0,110	0,174	0,176	0,093	0,050
Aufprall/Kein Aufprall	Bundesland	0,111	0,096	0,118	0,094	0,188
Baumaufprall/Kein Baumaufprall		0,149	<b>0,209</b>	<b>0,212</b>	0,193	0,094

### Zusammenhang Unfallkategorie und Aufprallausprägungen

Die Stärke des Zusammenhangs (ausgedrückt durch Cramer-V) von Aufprall/kein Aufprall und Unfallkategorie ergibt Werte für die Konstellation 0 von 0,131, für I von 0,129, für II von 0,126, für III von 0,127 und für IV lediglich von 0,080 und zeigt damit geringe Zusammenhänge zwischen der Unfallkategorie und einem Aufprall auf ein Hindernis. Für die Kombination von Baumaufprall/Kein Baumaufprall und Unfallkategorie zeigen sich Cramer-V Werte für die Konstellation 0 von 0,129, für I von 0,214, für II von 0,206, für III von 0,138 und für IV lediglich von 0,031. Damit sind für Fahrurfälle und Sonstige Unfälle mit Abkommen von der Fahrbahn (Konstellationen I und II) mittlere bedeutsame Zusammenhänge zwischen Baumaufprall und Unfallkategorie nachweisbar. Für die Konstellationen 0 und III ist dieser Zusammenhang nur gering und für die Konstellation IV ist nur ein sehr schwacher statistischer Effekt zwischen Baumaufprall und Unfallkategorie nachweisbar. Für die Konstellation IV ist bei der Kombination von Schutzplankenaufprall/Kein Schutzplankenaufprall und der Unfallkategorie ein Cramer-V von 0,081 und damit ein ebenfalls schwacher statistischer Effekt nachweisbar. Für diese Kombination sind hingegen mit Werten für die Konstellation 0 von 0,110, für I von 0,179, für II von 0,176 und für III von 0,110 höhere Werte festzustellen und damit mittlere bedeutsame Zusammenhänge zwischen Schutzplankenaufprall und der Unfallkategorie nachweisbar.

### Zusammenhang Verkehrsteilnehmergruppe und Aufprallausprägungen

Die Stärke des Zusammenhangs von Aufprall/Kein Aufprall und Verkehrsteilnehmergruppe ergibt Werte für die Konstellation 0 von 0,150, für I von 0,213, für II von 0,250, für III von 0,131 und für IV von 0,112. Damit sind für die Konstellationen I und II mittlere bedeutsame Zusammenhänge zwischen Aufprall und Verkehrsteilnehmergruppe nachweisbar. Für die Kombination von Baumaufprall/Kein Baumaufprall und Verkehrsteilnehmergruppe zeigen sich Cramer-V Werte für 0 von 0,110, für I von 0,174, für II von 0,176, für III von 0,093 und für IV lediglich von 0,050. Die Konstellationen I und II zeigen wie bei einem Aufprall auf ein Hindernis mittlere bedeutsame Zusammenhänge zwischen Baumaufprall und Verkehrsteilnehmergruppe.

### Zusammenhang Bundesland und Aufprallausprägungen

Die Stärke des Zusammenhangs von Aufprall/Kein Aufprall und Bundesland ergibt für die Konstellation 0 Werte von 0,111, für I von 0,096, für II von 0,118, für III von 0,094 und für IV von 0,188. Damit sind mittlere bedeutsame Zusammenhänge zwischen Aufprall und Bundesland für die Unfalltypen „Längsverkehr“ und „Entgegenkommen“ nachweisbar. Die anderen Konstellationen zeigen geringe Zusammenhänge. Für die Kombination von Baumaufprall/Kein Baumaufprall und Bundesland zeigen sich Cramer-V Werte für 0 von 0,149, für I von 0,209, für II von 0,212, für III von 0,193 und für IV von 0,094. Die Konstellationen I und II zeigen mittlere bedeutsame Zusammenhänge zwischen Baumaufprall und Bundesland.

#### 4.6.4 Analyse des dreistelligen Unfalltypencodes

Der dreistellige Unfalltyp untergliedert die einstelligen Unfalltypen (siehe FGSV 2012b, Anhang 9) und beschreibt damit detailliert die Konfliktsituation, welche zum Unfall geführt hat. Eine Auswertung des dreistelligen Unfalltypencodes für den Zeitraum von 2011 bis 2016 soll nach den Konstellationen I bis IV differenziert nach den Aufprallausprägungen darlegt werden. Dreistellige Unfalltypen sind in den Daten der amtlichen Straßenverkehrsunfallstatistik nicht für alle Bundesländer verfügbar. Eine Auswertung zur Vollständigkeit der Angaben für den Zeitraum 2011 - 2016 ergab, dass vier Bundesländer (NI, NW, RP, SL) u. a. aufgrund der 100%igen Vollständigkeit für eine detaillierte Analyse nutzbar sind. Sachsen-Anhalt wird aufgrund des hohen Anteils am Typ 199 (Sonstige Fahrurfälle) für die Jahre 2011 - 2013 nicht genutzt, da dies zu einer Verzerrung der Auswertung führen würde. Die vier Bundesländer sind aufgrund des Vergleichs der Unfallstruktur mit dem Bundesgebiet (siehe Anlage 3.1) hinsichtlich der Unfallschwere, der Anzahl der Unfallbeteiligten pro Unfall sowie der Art der Verkehrsbeteiligung von Hauptverursacher und Unfallgegner für die Unfallkonstellationen I bis IV typisch für das Landstraßenunfallgeschehen im gesamten Bundesgebiet.

Die in Abbildung 16 dargestellten elf Unfalltypen (Auswahlkriterium:  $U(P,SS) \geq 2\%$ ) ergeben zusammen 88 % der  $U(P,SS)$  und 89 % der  $U(SP)$  in den

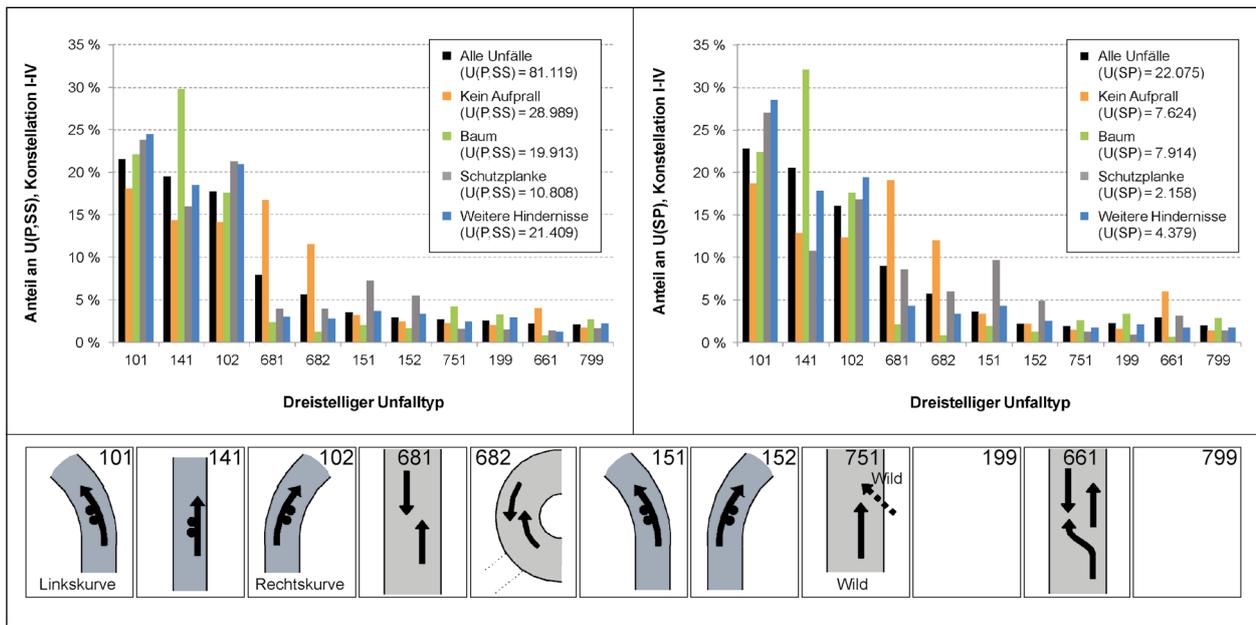


Abbildung 16: Verteilung der U(P,SS) und U(SP) auf Landstraßen für Unfallkonstellationen I bis IV nach dreistelligen Unfalltypen-code, Bundesländer: NI, NW, RP, SL (2011 - 2016) (Datenquelle: BAST, Bildquelle Unfalltypencodes: FGSV 2012b)

Konstellationen I bis IV. Bezogen auf Unfälle mit Aufprall auf einen Baum sind es 87 % der U(P,SS) sowie der U(SP) der Konstellationen I bis IV. Bezogen auf die Unfälle mit Aufprall an Schutzplanken ergeben die elf Unfalltypen 88 % der U(P,SS) und 90 % der U(SP) und bei anderen Hindernissen sind es 85 % der U(P,SS) und 87 % der U(SP). Ein Großteil der U(P,SS) mit Baumaufprall sind dem Unfalltyp 141 (auf gerade Strecke) mit 30 % an den U(P,SS) und 32 % an den U(SP) zuzuschreiben, gefolgt von Unfalltypen 101 und 102 (in Kurven) mit 22 % bzw. 18 % an den U(P,SS) und U(SP). Die weiteren abgebildeten Unfalltypencodes mit Baumaufprall weisen 2 % bis 4 % an den U(P,SS) und U(SP) auf.

Die Unfalltypen 101 und 102, 151, 152 und 682 können der Örtlichkeit „Kurve“ zugeordnet werden. Die fünf Typen ergeben zusammen 51 % der U(P,SS) und 50 % der U(SP) in den Konstellationen I bis IV. Von diesen Durchschnittswerten wird je nach Aufprallausprägung abgewichen. Der Baumaufprall zeigt einen unteren Wert von 44 %, weitere Hindernisse 55 % und die Schutzplanke den oberen Wert der U(P,SS) von 62 %. Die unterdurchschnittliche Auffälligkeit von einem Baumaufprall in einer „Kurve“ kann mit der Ausstattung mit Schutzplanken in „Kurven“ und deren oberen Wert in der „Kurve“ begründet werden.

Die Unfalltypen, welche eher der Örtlichkeit „Gerade“ zugeordnet werden können, sind 141, 681, 661

und 751. Die vier Typen ergeben zusammen 32 % der U(P,SS) und 34 % der U(SP) in den Konstellationen I bis IV. Von diesen Durchschnittswerten wird je nach Aufprallausprägung abgewichen (U(SP) mit ähnlichen Abweichungen). Der Schutzplankenaufprall zeigt einen unteren Wert von 23 %, weitere Hindernisse 25 %, 37 % jeweils der Baumaufprall und kein Aufprall der U(P,SS) (U(SP) mit ähnlichen Abweichungen). Die „übrigen“ Unfalltypen 199 und 799 ergeben zusammen 5 % der U(P,SS) und 4 % der U(SP) in den Konstellationen I bis IV. Damit zeigt sich, dass der Unfallhergang nach dem dreistelligen Unfalltypencode mit Aufprall im Seitenraum schwerpunktmäßig oft in der Örtlichkeit „Kurve“ auftritt, jedoch unabhängig von den Hindernissen im Seitenraum und der Unfallschwere (hier: U(SP)). Beim Baumaufprall wird der Umstand in der Reihenfolge „Kurve“ (44 %) gefolgt von der „Geraden“ (37 %) und „übrigen“ Typen 6 % der U(P,SS) und U(SP) für die ausgewählten Unfalltypencodes in den Konstellationen I bis IV registriert. Bei der Berücksichtigung weiterer dreistelliger Unfalltypen (19 Unfalltypen mit Auswahlkriterium:  $U(P,SS) > 0,5$ ) bleibt die Reihenfolge beim Baumaufprall nach Örtlichkeit bestehen, jedoch erhöht sich die Unfallörtlichkeit „Gerade“ auf 42 %, nach der „Kurve“ (44 %) und „übrige“ Typen 9 % der U(P,SS). Bei der Eingrenzung auf U(SP) und Baumaufprall weisen die Örtlichkeiten „Kurve“ und „Gerade“ jeweils 44 % auf.

#### 4.6.5 Straßennetz (Straßenklasse und Bundesland)

##### Straßenklasse

Alle Landstraßenunfälle U(P,SS) verteilen sich anteilmäßig mit 38 % auf Landes-, 33 % auf Bundes-, 19 % auf Kreisstraßen und 10 % auf Gemeindestraßen oder anderen Straßen (Tabelle 13). Landstraßenunfälle mit einem Aufprall auf einen Baum haben eine andere Verteilung, welches auf den Baumbestand oder die Ausstattung von Straßen zurückgeführt werden kann. Denn auf Bundesstraßen werden lediglich 22 % der U(P,SS) mit Baumaufprall und auf Kreisstraßen 26 % erfasst. Für die Getöteten zeigt sich in der Verteilung der Straßenklassen eine strukturelle Verschiebung von den Gemeindestraßen zu den Bundesstraßen. Dies gilt für die Konstellation 0 insgesamt sowie für die Konstellationen mit der Differenzierung nach Baumaufprall.

Betrachtet man die Verteilung der Straßenklassen in den Konstellationen I bis IV im Vergleich zur Konstellation 0 (Tabelle 14), so zeigt sich, dass bei U(P,SS) in den Konstellationen I und II abweichende Verteilungen vorliegen. Die Anteile der Bundesstraßen fallen und die der Kreisstraßen steigen. Bei der Betrachtung der Getöteten zeigt sich diese Verschiebung deutlich bei der Konstellation I (Fahrerfall und Abkommen). Der Vergleich beim Aufprall auf einen Baum zeigt, dass bei gleichem Unfallhergang Unterschiede nach Straßenklassen eintreten. Bei U(P,SS) zeigt sich eine Verringerung des Anteils eines Baumaufpralls bei Bundesstraßen bei den Konstellationen I und II und eine Erhöhung auf Kreisstraßen. Bei Getöteten ist die Verschiebung beim Baumaufprall in der Konstellation I nicht vorhanden. Bei Getöteten beim Baumaufprall in der Unfallkonstellation II ist eine Verschiebung von Gemeinde- auf Kreisstraßen vorhanden.

Tab. 13: Verteilung U(P,SS) und Getötete nach Straßenklasse jeweils für Unfallkonstellation und Aufprallausprägung Baum auf Landstraßen 2011 bis 2013 (Datenquelle: BAST)

U(P,SS)/3a	Konstellation 0		Konstellation I		Konstellation II		Konstellation III		Konstellation IV	
	Ins-gesamt	Aufprall auf Baum	Ins-gesamt	Aufprall auf Baum	Ins-gesamt	Aufprall auf Baum	Ins-gesamt	Aufprall auf Baum	Ins-gesamt	Aufprall auf Baum
Bundesstraßen	33 %	22 %	27 %	21 %	31 %	26 %	31 %	28 %	30 %	29 %
Landesstraßen	38 %	38 %	40 %	39 %	35 %	34 %	38 %	39 %	39 %	40 %
Kreisstraßen	19 %	26 %	23 %	27 %	23 %	27 %	20 %	21 %	20 %	21 %
Gemeinde-/andere Straßen	10 %	13 %	10 %	13 %	12 %	13 %	10 %	12 %	11 %	10 %
Gesamt	295.937	32.197	89.982	24.461	10.207	3.226	5.278	1.114	28.580	809
Getötete/3a	Konstellation 0		Konstellation I		Konstellation II		Konstellation III		Konstellation IV	
	Ins-gesamt	Aufprall auf Baum	Ins-gesamt	Aufprall auf Baum	Ins-gesamt	Aufprall auf Baum	Ins-gesamt	Aufprall auf Baum	Ins-gesamt	Aufprall auf Baum
Bundesstraßen	38 %	28 %	28 %	27 %	40 %	40 %	44 %	43 %	51 %	32 %
Landesstraßen	36 %	40 %	40 %	40 %	29 %	33 %	45 %	50 %	35 %	49 %
Kreisstraßen	18 %	25 %	25 %	26 %	21 %	23 %	8 %	7 %	12 %	16 %
Gemeinde-/andere Straßen	7 %	6 %	6 %	7 %	10 %	4 %	3 %	0 %	2 %	3 %
Gesamt	6.526	1.816	2.220	1.509	173	118	62	30	1.927	69

Tab. 14: Verteilung U(P,SS) und Getötete nach Straßenklasse auf Landstraßen 2011 bis 2013 – Veränderungen in der Straßenklassenverteilung (Datenquelle: BAST)

Differenz (*Baumaufprall in jeweiliger Konstellation mit Gesamt)										
U(P,SS)/3a	Konstellation 0		Konstellation I		Konstellation II		Konstellation III		Konstellation IV	
	Gesamt	Aufprall auf Baum	Gesamt	Aufprall auf Baum*	Gesamt	Aufprall auf Baum*	Gesamt	Aufprall auf Baum*	Gesamt	Aufprall auf Baum*
Bundesstraßen	33 %	22 %	↓ -6 %	↓ -6 %	↘ -2 %	↓ -5 %	↘ -2 %	↘ -3 %	↘ -3 %	-1 %
Landesstraßen	38 %	38 %	↗ 2 %	-1 %	↘ -3 %	-1 %	1 %	1 %	↗ 2 %	1 %
Kreisstraßen	19 %	26 %	↑ 4 %	↑ 4 %	↑ 4 %	↑ 4 %	↗ 2 %	1 %	1 %	1 %
Gemeinde-/andere Straßen	10 %	13 %	-1 %	↑ 3 %	↗ 2 %	1 %	0 %	1 %	0 %	-1 %
Gesamt	295.937	32.197	89.982	24.461	10.207	3.226	5.278	1.114	28.580	809

Tab. 14: Fortsetzung

Differenz (*Baumaufprall in jeweiliger Konstellation mit Gesamt)										
Getötete/3a	Konstellation 0		Konstellation I		Konstellation II		Konstellation III		Konstellation IV	
	Gesamt	Aufprall auf Baum	Gesamt	Aufprall auf Baum*	Gesamt	Aufprall auf Baum*	Gesamt	Aufprall auf Baum*	Gesamt	Aufprall auf Baum*
Bundesstraßen	38 %	28 %	↓ -10 %	↘ -2 %	2 %	-1 %	↗ 5 %	0 %	↑ 13 %	↓ -19 %
Landesstraßen	36 %	40 %	↗ 4 %	0 %	↓ -7 %	↑ 4 %	↑ 9 %	↓ 5 %	↘ -2 %	↑ 15 %
Kreisstraßen	18 %	25 %	↗ 6 %	1 %	2 %	2 %	↓ -10 %	-1 %	↑ -7 %	↑ 4 %
Gemeinde-/andere Straßen	7 %	6 %	-1 %	1 %	3 %	↓ -6 %	↑ -4 %	↑ -3 %	↓ -5 %	1 %
Gesamt	6.526	1.816	2.220	1.509	173	118	62	30	1.927	69

Die Konstellationen III und IV unterscheiden sich von der Konstellation 0 bei U(P,SS) nur geringfügig. Bei Getöteten in Konstellationen III und IV ergeben sich dagegen starke Verschiebungen bei den Anteilen. Die Verschiebungen der Anteile beim Baumaufrall in der Konstellation IV sind sehr hoch, jedoch ist die Zahl der Getöteten vergleichsweise gering.

Mögliche Gründe für die Unterschiede der Anteile beim Baumaufrall nach der Straßenklasse können die verkehrstechnische Ausstattung (z. B. höhere Ausstattung der Bundesstraßen mit Schutzplanken) oder eine geringere Anzahl an Bäumen an Bundesstraßen sein.

Bezogen auf die Straßenlängen nach den Straßenklassen<sup>28</sup> ergeben sich die höchsten Unfalldichten auf Bundesstraßen von 1,0 U(P,SS)/(km\*a). Die Unfalldichte beträgt auf Landesstraßen 0,6 U(P,SS)/(km\*a) und auf Kreisstraßen 0,3 U(P,SS)/(km\*a). Bei Unfällen mit einem Aufprall auf einen Baum werden auf Bundesstraßen Unfalldichten von 0,08  $U_{\text{Baum}}(\text{P,SS})/(\text{km}^*a)$ , auf Landesstraßen von 0,06  $U_{\text{Baum}}(\text{P,SS})/(\text{km}^*a)$  und auf Kreisstraßen von 0,04  $U_{\text{Baum}}(\text{P,SS})/(\text{km}^*a)$  registriert. Für Gemeindestraßen und andere Straßen kann die Unfalldichte nicht berechnet werden, da die Längenstatistik nicht nach freier Strecke und Ortsdurchfahrten differenziert.

## Bundesland

Etwa drei Viertel der knapp 32.200 U(P,SS) mit Baumaufrall in der Konstellation 0 Deutschlands

ereignen sich in den sechs Bundesländern Niedersachsen (19 %), Bayern (18 %), Nordrhein-Westfalen (12 %), Baden-Württemberg (10 %), Brandenburg (7 %) und Sachsen (6 %). Die Rangfolge ist bei U(P) und U(SP) gleich. Auch bei Betrachtung der Getöteten oder der Schwerverletzten bei Unfällen mit Baumaufrall sind die Verteilungen sowie die Konzentration auf die genannten sechs Bundesländer annähernd gleich. Es zeigt sich, dass beim Vergleich der Unfallfolgen von allen Unfällen mit Baumaufrall deutliche Unterschiede zwischen den Bundesländern auftreten. Die Anzahl der Getöteten pro 100 U(P) ist je nach Bundesland bei Baumunfällen etwa 2 bis 3 mal so hoch wie bei allen Unfällen. Es zeigt sich aber auch, dass das Niveau von allen Unfällen zwischen den Bundesländern bereits unterschiedlich ist. Die Zahl der Getöteten pro 100 U(P) liegt zwischen 2 und 5 und steigt bei Baumaufrall auf 5 bis 9 GT/100 U(P). Bei der Betrachtung der schweren Personenschäden (SP) pro 100 U(P) zeigt sich ein Bereich von 27 bis 50 SP/100 U(P) bei allen Unfällen und von 44 bis 67 SP/100 U(P) bei Baumaufrall (Tabelle 15).

Die Differenzierung des Unfallgeschehens mit Aufprall auf einen Baum für die Konstellationen I bis IV (Tabelle 16) zeigt, dass die Verteilungen nach Bundesländern in den einzelnen Konstellationen – und damit je nach Unfallhergang – schwanken. Bei den Sonstigen Unfällen mit Abkommen von der Fahrbahn (Konstellation II) haben Bayern und Niedersachsen einen höheren Anteil und Nordrhein-Westfalen einen geringeren Anteil als im Durchschnitt aller Konstellationen. Bei der Konstellation IV sind dagegen die Anteile für Baden-Württemberg höher. Für Brandenburg und Niedersachsen liegt der jeweilige Anteil von Baumunfällen in allen Konstellationen über dem Unfallanteil und zeigt den hohen Einfluss im Unfallgeschehen für die beiden Bundesländer.

<sup>28</sup> Längenstatistik der Straßen des überörtlichen Verkehrs (BMVBS 2012), ohne Bundesautobahnen, Gemeindestraßen/andere Straßen und Ortsdurchfahrten: Bundesstraßen (32 Tsd. km), Landesstraßen (65 Tsd. km), Kreisstraßen (70 Tsd. km).

Tab. 15: Unfälle und Verunglückte nach Bundesland auf Landstraßen 2011 bis 2013 für Unfallkonstellation 0 (Datenquelle: BAST)

		U(P,SS)/3a		U(P)/3a		U(SP)/3a		GT/3a		SV/3a		GT/100 U(P)		SP/100 U(P)	
		Ins-gesamt	Aufprall auf Baum	Ins-gesamt	Aufprall auf Baum	Ins-gesamt	Aufprall auf Baum								
Bundesland	BB	9.056	2.290	6.380	1.739	2.553	946	294	161	2.900	998	5	9	50	67
	BW	44.431	3.205	32.228	2.568	10.450	1.274	875	142	12.094	1.374	3	6	40	59
	BY	61.536	5.788	49.571	4.887	14.631	1.910	1.401	286	16.434	1.926	3	6	36	45
	HB	24	2	19	2	3	1	0	0	5	2	-	-	-	-
	HE	23.566	1.719	18.256	1.470	5.328	705	450	93	6.199	743	2	6	36	57
	HH	181	6	137	5	8	2	0	0	9	2	-	-	-	-
	MV	7.272	1.408	5.199	1.084	1.574	488	200	84	1.778	516	4	8	38	55
	NI	36.019	6.224	30.109	5.514	7.989	2.394	983	432	8.767	2.453	3	8	32	52
	NW	43.061	3.829	32.641	3.211	10.045	1.564	841	219	11.328	1.680	3	7	37	59
	RP	23.357	1.350	16.040	1.050	4.844	447	378	73	5.486	464	2	7	37	51
	SH	11.959	1.254	9.864	1.109	2.352	427	220	57	2.641	454	2	5	29	46
	SL	3.445	252	2.610	195	601	69	63	15	640	71	2	8	27	44
	SN	12.751	1.960	8.881	1.514	3.422	742	293	95	3.902	795	3	6	47	59
	ST	10.094	1.630	7.102	1.246	2.363	589	276	95	2.765	619	4	8	43	57
	TH	9.185	1.280	6.609	1.027	2.341	447	252	64	2.672	467	4	6	44	52
Gesamt	295.937	32.197	225.646	26.621	68.504	12.005	6.526	1.816	77.620	12.564	3	7	37	54	

Tab. 16: U(P,SS) mit Aufprallausprägung nach Bundesland auf Landstraßen 2011 bis 2013 für Unfallkonstellationen I bis IV, Anteil jeweils an Gesamt (Datenquelle: BAST)

U(P,SS)/3a	Konstellation I			Konstellation II			Konstellation III			Konstellation IV			Konstellationen I-IV					
	Insgesamt		Aufprall auf Baum	Insgesamt		Aufprall auf Baum	Insgesamt		Aufprall auf Baum	Insgesamt		Aufprall auf Baum	Aufprall auf Baum					
BB	3.718	4%	1.747	7%	353	3%	192	6%	233	4%	91	8%	767	3%	57	7%	2.087	7%
BW	11.354	13%	2.393	10%	1.215	12%	274	8%	710	13%	104	9%	5.307	19%	128	16%	2.899	10%
BY	17.113	19%	4.426	18%	2.781	27%	838	26%	986	19%	203	18%	6.834	24%	94	12%	5.561	19%
HB	5	0%	1	0%	1	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	1	0%
HE	7.711	9%	1.271	5%	760	7%	168	5%	413	8%	59	5%	2.307	8%	45	6%	1.543	5%
HH	29	0%	5	0%	2	0%	0	0%	0	0%	0	0%	3	0%	0	0%	5	0%
MV	2.865	3%	1.114	5%	284	3%	118	4%	162	3%	47	4%	639	2%	27	3%	1.306	4%
NI	10.653	12%	4.465	18%	1.595	16%	765	24%	654	12%	223	20%	2.559	9%	147	18%	5.600	19%
NW	11.300	13%	3.001	12%	890	9%	247	8%	580	11%	109	10%	3.126	11%	91	11%	3.448	12%
RP	8.409	9%	1.054	4%	553	5%	90	3%	521	10%	49	4%	2.330	8%	45	6%	1.238	4%
SH	3.496	4%	866	4%	703	7%	194	6%	258	5%	51	5%	1.070	4%	41	5%	1.152	4%
SL	1.077	1%	188	1%	156	2%	33	1%	58	1%	11	1%	263	1%	5	1%	237	1%
SN	4.774	5%	1.579	6%	302	3%	108	3%	235	4%	61	5%	1.425	5%	63	8%	1.811	6%
ST	3.845	4%	1.274	5%	263	3%	91	3%	285	5%	68	6%	778	3%	42	5%	1.475	5%
TH	3.633	4%	1.077	4%	349	3%	108	3%	183	3%	38	3%	1.172	4%	24	3%	1.247	4%
Gesamt	89.982		24.461		10.207		3.226		5.278		1.114		28.580		809		29.610	

Es zeigt sich in Tabelle 17, dass hohe Anteile von Getöteten bei einem Unfall mit Baumaufprall an allen Getöteten in den Bundesländern Brandenburg 55 %, Niedersachsen 44 %, Mecklenburg-Vorpommern 42 %, Sachsen-Anhalt 34 % und Sachsen 32 % (Bundesdurchschnitt 28 %) registriert werden. Baden-Württemberg (16 %), Rheinland-Pfalz (19 %), Bayern (20 %) und Hessen (21 %) haben dagegen vergleichsweise niedrige Anteile. Im Vergleich der Anteile der Getöteten in den Konstellationen I bis IV nach den Bundesländern, haben Niedersachsen (22 %), Bayern (14 %) und Nordrhein-Westfalen (13 %) die höchsten Anteile, gefolgt von Baden-Württemberg und Brandenburg (jeweils 9 %).

Weitere Auswertungen zur Unfallschwere nach den einzelnen Bundesländern enthält der Anhang (Anlage 3.2).

Bezogen auf die Straßenlänge für Bundes-, Landes- und Kreisstraßen<sup>29</sup> (Abbildung 17) zeigen sich bei den Unfalldichten deutliche Unterschiede zwischen den Bundesländern von einem unteren Wert

<sup>29</sup> Landesstraßen sind in BY und SN: Staatsstraßen, im SL: Landstraßen I. Ordnung; Kreisstraßen sind im SL: Landstraßen II. Ordnung; Gemeindestraßen/andere Straßen aufgrund fehlender Werte (hier: Länge) nicht berücksichtigt.

Tab. 17: Getötete mit Aufprallausprägung nach Bundesland auf Landstraßen 2011 bis 2013 für Unfallkonstellation I bis IV, Anteil jeweils an Gesamt (Datenquelle: BAST)

Getötete/3a	Konstellation I				Konstellation II				Konstellation III				Konstellation IV				Konstellationen I-IV	
	Insgesamt		Aufprall auf Baum		Insgesamt		Aufprall auf Baum		Insgesamt		Aufprall auf Baum		Insgesamt		Aufprall auf Baum		Aufprall auf Baum	
BB	152	7%	130	9%	13	8%	6	5%	3	5%	2	-	59	3%	9	13%	147	9%
BW	237	11%	121	8%	12	7%	29	25%	5	8%	0	-	322	17%	8	12%	158	9%
BY	357	16%	230	15%	49	28%	9	8%	9	15%	3	-	501	26%	8	12%	250	14%
HB	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	-	163	8%	4	6%	4	0%
HE	161	7%	83	6%	9	5%	5	4%	2	3%	1	-	0	0%	0	0%	89	5%
HH	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	-	0	0%	0	0%	0	0%
MV	86	4%	73	5%	8	5%	3	3%	3	5%	2	-	48	2%	1	1%	79	5%
NI	429	19%	349	23%	32	18%	3	3%	12	19%	9	-	181	9%	12	17%	373	22%
NW	266	12%	183	12%	9	5%	33	28%	12	19%	4	-	215	11%	13	19%	233	13%
RP	130	6%	62	4%	12	7%	0	0%	2	3%	2	-	118	6%	3	4%	67	4%
SH	65	3%	45	3%	9	5%	13	11%	0	0%	0	-	60	3%	2	3%	60	3%
SL	26	1%	13	1%	2	1%	7	6%	0	0%	0	-	17	1%	2	3%	22	1%
SN	113	5%	84	6%	11	6%	4	3%	4	6%	1	-	76	4%	1	1%	90	5%
ST	104	5%	75	5%	3	2%	3	3%	8	13%	6	-	75	4%	6	9%	90	5%
TH	94	4%	61	4%	4	2%	3	3%	2	3%	0	-	92	5%	0	0%	64	4%
Gesamt	2.220		1.509		173		118		62		30		1.927		69		1.726	

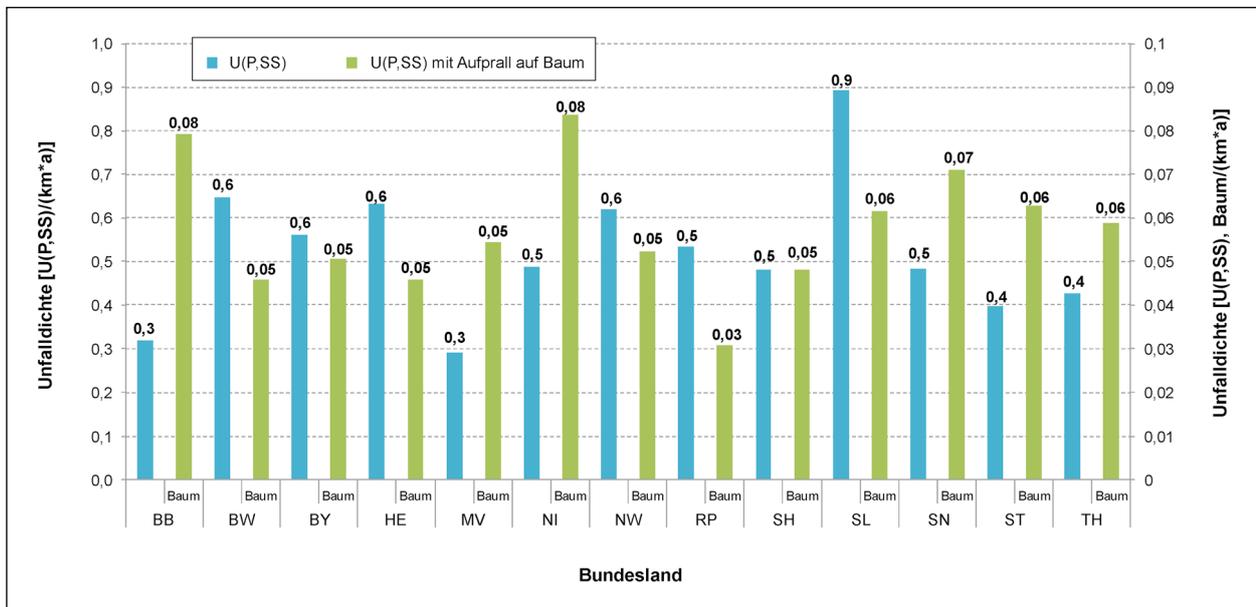


Abbildung 17: Unfalldichte nach Bundesländern (ohne Gemeindestraßen/andere Straßen) für U(P,SS) und U(P,SS) mit Baumaufprall jeweils für die Konstellation 0 (BE, HB und HH aufgrund geringer Straßenlänge nicht berücksichtigt) auf Landstraßen 2011 bis 2013 (Datenquelle: BAST)

von 0,3 U(P,SS)/(km\*a) für MV und BB und einem oberen Wert von 0,9 U(P,SS)/(km\*a) für das Saarland mit einer sehr geringen Landstraßenlänge unter den Flächenländern. Die Unfalldichte der Unfälle aus den Konstellationen I bis IV (nicht abgebildet) liegt in den einzelnen Bundesländern zwischen 0,2 bis 0,4 U(P,SS), I-IV/(km\*a) in einem vergleichbaren Bereich. Die Unfalldichten der Unfälle mit Baumaufprall schwanken in den Bundesländern im Bereich von 0,03 bis 0,08 U<sub>Baum</sub>(P,SS)/(km\*a), mit einem unteren Wert für Rheinland-Pfalz und oberen Werten für Sachsen 0,07 sowie Brandenburg und Niedersachsen (jeweils 0,08).

Die Unfalldichten bezogen auf die Straßenklasse je Bundesland (Tabelle 18) zeigen, dass im Unfallge-

schehen in Relation zur Straßenlänge auf Bundesstraßen in allen Bundesländern die höchsten Unfall-dichten aller Unfälle (Ø 0,4 U(P,SS), I-IV/(km\*a) und mit Baumaufprall (Ø 0,07 U<sub>Baum</sub>(P,SS), I-IV/(km\*a)) festzustellen sind. Die Betrachtung der Unfälle mit Baumaufprall zeigt eine heterogene Verteilung über das Straßennetz der Länder. Die Unfall-dichte mit Baumaufprall ist außer in Rheinland-Pfalz und im Saarland auf Bundesstraßen am höchsten. Unfälle mit Baumaufprall haben in Niedersachsen über alle drei Straßenklassen die höchsten Unfall-dichten.

Eine Abschätzung fahrleistungsbezogener Werte zeigt jedoch, dass die Unfallraten der Bundesstraßen (0,02 U(P,SS), I-IV, Baum/(10<sup>6</sup>Kfz\*km)) deutlich unter denen der Landes- (0,04 bis 0,05 U(P,SS),

Tab. 18: Unfalldichte auf Landstraßen 2011 bis 2013 nach Bundesland (ohne HB und HH aufgrund geringer Straßenlänge nicht berücksichtigt) und Straßenklasse (ohne Gemeindestraßen/andere Straßen) für U(P,SS) und U(P,SS) mit Baumaufprall für Konstellation I bis IV (Datenquelle: BAST)

	Unfalldichte [U(P,SS), I-IV/(km*a)]			Unfalldichte [U(P,SS), I-IV, Baumaufprall/(km*a)]		
	Bundesstraßen	Landesstraßen*	Kreisstraßen**	Bundesstraßen	Landesstraßen*	Kreisstraßen**
NW	0,3-0,4	0,2-0,3	0,1-0,2	0,05-0,1	<0,05	<0,05
BB						
MV						
SH						
ST						
NI	0,4-0,5	0,3-0,4	0,4	0,05-0,1	0,05-0,1	0,05-0,1
BW						
BY						
TH						
RP						
HE	0,3-0,4	0,4	0,4	0,05-0,1	<0,05	0,05-0,1
SN						
SL						

\* Landesstraßen sind in BY und SN: Staatsstraßen, im SL: Landstraßen I. Ordnung  
 \*\* Kreisstraßen sind im SL: Landstraßen II. Ordnung

I-IV, Baum/(10<sup>6</sup>Kfz\*km)) und der Kreisstraßen (0,03 bis 0,05 U(P,SS), I-IV, Baum/(10<sup>6</sup>Kfz\*km)) liegen<sup>30</sup>. Das bedeutet, dass die hohen Unfalldichten (auf Bundesstraßen) im Wesentlichen auf die (dort höheren) Fahrleistungen zurückzuführen sind.

#### 4.6.6 Charakteristik der Unfallstelle, zeitliche Verteilung und weitere infrastrukturelle Unfallumstände

##### Charakteristik der Unfallstelle

Die Charakteristik der Unfallstelle kann pro Unfall mit bis zu drei Angaben (jeweils zu Steigung, Gefälle, Kurve, Grundstücksein-/ausfahrten und Knotenpunktform) und damit mit Mehrfachnennungen beschrieben werden, welche häufig jedoch nur zwei Angaben enthalten (Heinrich et al. 2010). Die Auswertung der genannten Angaben 1 und 2 (Tabelle 19) ergab, dass die U(P,SS) zu 67 % eine Angabe bei der „Charakteristik 1“ und zu 11 % eine Angabe bei der „Charakteristik 2“ enthalten.

Bei den charakteristischen Merkmalen wird bei allen Unfällen am meisten eine Knotenpunktform oder eine Einfahrt (Ausprägung 1 bis 3), gefolgt von einer Kurve (Ausprägung 6) und Steigung/Gefälle (Ausprägung 4 bis 5) genannt. Diese Reihenfolge ändert sich bei der Betrachtung der U(SP) grundlegend. Bei U(SP) werden am häufigsten Kurven, dann eine Knotenpunktform/Einfahrt und dann eine Steigung/Gefälle genannt.

Bei Fahrnunfällen und Abkommen (U(P,SS), Konstellation I) ist die Nennung Kurve 3 mal häufiger als Steigung/Gefälle und 9 mal häufiger als Knotenpunktform/Einfahrt. Bei Unfällen der Konstellation I mit einem Baumaufprall ist die Nennung einer Kurve ebenfalls 3 mal häufiger als Steigung/Gefälle und 14 mal häufiger als Knotenpunktform/Einfahrt. Bei den schwersten Unfallfolgen (U(SP)) steigt die Nennung von Kurven im Vergleich zur Knotenpunktform/Einfahrt noch einmal deutlich an (13 mal häufiger und mit Baumaufprall 52 mal häufiger). Die Nennung der Charakteristik der Unfallstelle der Konstellationen II bis IV können aufgrund der vergleichbaren Angaben zusammengefasst werden. Die Nennungen der Konstellationen II bis IV sind mit dem der U(P,SS) der Konstellation I vergleichbar. Insgesamt zeigt sich seltener die Nennung von Kreuzungen, Einmündungen, Grundstücksein-/ausfahrten beim Baumaufprall und macht eine besondere Betrachtung von Merkmalen der Knoten-

<sup>30</sup> Datengrundlage der Straßenverkehrszählung 2010 (Lensing 2013) für DTV: Bundesstraßen ca. 9.440 Kfz/24 h, Abschätzung auf Landesstraßen: 3.000 - 4.000 Kfz/24 h, Kreisstraßen: 2.000 - 3.000 Kfz/24 h

Tab. 19: Knotenpunktformen und Trassierungsmerkmale bei U(P,SS), teils U(SP) nach Konstellationen 0 bis IV auf Landstraßen 2011 bis 2013 (Datenquelle: BAST)

Unfallstelle (Angabe)	Ausprägung	Konstellation 0		Konstellation I				Konstellation II-IV	
		U(P,SS)/3a	U(SP)/3a	U(P,SS)/3a		U(SP)/3a		U(P,SS)/3a	
				Insgesamt	Baum	Insgesamt	Baum	Insgesamt	Baum
ohne Angabe (1)	0	96.766	22.291	29.169	9.781	7.560	3.810	19.185	2.997
Kreuzung, Einmündung, Grundstücksein-/ausfahrt (1,2)	1-3	106.150	19.633	5.857	870	1.060	239	2.158	179
Steigung, Gefälle (1,2)	4-5	43.489	12.633	19.358	4.265	5.514	1.684	9.563	755
Kurve (1,2)	6	81.305	22.746	50.770	12.497	13.789	12.497	19.738	1.601
Verhältnis Ausprägung 1 bis 6 zu ohne Angabe 0		2	2	3	2	3	4	2	1

punktfreien Strecke wichtig. Dabei muss beachtet werden, dass eine große Anzahl an Unfällen, teilweise sogar beim Baumaufprall, häufiger keine Angaben zu Knotenpunktformen und Trassierungsmerkmalen enthält.

### Straßenzustand, Lichtverhältnisse und Geschwindigkeitsbeschränkung

Der Straßenzustand lässt in der amtlichen Statistik pro Unfall bis zu zwei Angaben (jeweils Trocken, Winterglatt usw.) zu. Die Angabe 2 enthält im Datensatz lediglich 1 % der Angaben und kann für die weiteren Analysen vernachlässigt werden.

Die Konstellationen I bis IV unterscheiden sich bei den U(P,SS) von der Konstellation 0 (Tabelle 20). Bei Konstellation I (52 %) und V (43 %) sind höhere Anteile mit den Ausprägungen Nass/Feucht/Schlüpfrigkeit und winterglatten Zuständen registriert worden. Weiterhin zeigt sich für die Konstellation III bei U(P,SS) mit Baumaufprall, dass Auffälligkeiten des Straßenzustands häufiger (38 %) genannt wurden. Bei den U(SP) in der Konstellation I zeigen sich höhere Anteile mit Auffälligkeiten „Nass/Feucht/Schlüpfrigkeit“ und „Winterglatt“ im Gegensatz zu „Trocken“, insbesondere bei Unfällen mit Baumaufprall (44 %) und in der Konstellation IV (38 %).

Die Unfälle auf Landstraßen ereignen sich zu 68 % bei Tageslicht und zu 26 % bei Dunkelheit. Die Verteilung der U(P,SS) nach Lichtverhältnissen in den Konstellationen I und II unterscheidet sich von Konstellation 0 dahingehend, dass anteilmäßig mehr Unfälle bei Dämmerung und Dunkelheit registriert wurden (Tabelle 21). Dagegen sind bei den Konstellationen III und IV höhere Anteile bei Tageslicht festzustellen. Dabei entsprechen die Anteile der Lichtverhältnisse bei den U(SP) mit Aufprall auf einen Baum den durchschnittlichen Anteilen in Konstellation 0. Hingegen zeigen sich U(SP) und U(SP) mit Baumaufprall in den Konstellationen I und II erhöhte

Anteile bei Dämmerung und Dunkelheit (36 % und 43 %). Damit kann eine Abhängigkeit zwischen den Lichtverhältnissen und dem Unfallgeschehen vermutet werden.

Eine Kombination vom genannten Straßenzustand (Angabe 1) mit den Lichtverhältnissen zeigt nach den Konstellationen deutliche Unterschiede (Tabelle 22). Bei den Konstellationen I und IV werden bei Tageslicht deutlich häufiger kritische Fahrbahnzustände (+17 % und +8 % Nass/Feucht/Schlüpfrigkeit und Winterglatt) als in Konstellation 0 mit 28 % genannt. Diese Konstellationen weisen bei Dämmerung/Dunkelheit ebenfalls höhere Anteile der auffälligen Ausprägungen auf (+9 % und +8 %). Bei den Konstellationen II und III gibt es bei Dämmerung/Dunkelheit hingegen eine Verringerung der Anteile von kritischen Fahrbahnzuständen (-12 % und -5 %). Die Differenzierung nach Aufprallausprägung Baum zeigte nur vereinzelt leichte Änderungen.

Die zulässige Höchstgeschwindigkeit auf den Strecken steht oft in Verbindung mit (reaktiven) Maßnahmen zur Verbesserung der Verkehrssicherheit auf Landstraßen. Eine Analyse der genannten Beschränkungen in Konstellation 0 zeigt, dass bei 57 % der U(P,SS) keine Angabe zur zulässigen Höchstgeschwindigkeit gemacht und deshalb der zulässigen Höchstgeschwindigkeit 100 km/h (in der Regel auf Landstraßen) zugeordnet wurde. Die Analyse (Tabelle 23) zeigt bei den Konstellationen I bis IV im Vergleich zur Konstellation 0 deutlich niedrigere Anteile von Unfällen mit einer Geschwindigkeitsbeschränkung von 60 bis 70 km/h. Dagegen sind die Anteile der Unfälle mit 100 km/h einschließlich ohne Angaben höher als in Konstellation 0. Dies kann mit deutlich höheren Unfallanteilen auf der knotenpunktfreien Strecke in den Konstellationen I bis IV begründet werden.

Anlage 3.3 enthält die Auswertungen zur zeitlichen Verteilung (Unfallmonat und Wochentag).

Tab. 20: Straßenzustand (Angabe 1) bei U(P,SS), U(SP) nach Konstellationen 0 bis IV auf Landstraßen 2011 bis 2013  
(Datenquelle: BAST)

	Konstellation 0		Konstellation I			Konstellation II		Konstellation III			Konstellation IV	
	U(P,SS)	U(SP)	U(P,SS)	U(SP)		U(P,SS)	U(SP)	U(P,SS)		U(SP)	U(P,SS)	U(SP)
				Ins- gesamt	Baum			Ins- gesamt	Baum			
Trocken	64 %	71 %	48 %	63 %	56 %	68 %	74 %	67 %	62 %	74 %	57 %	62 %
Nass/Feucht/Schlüpfrigkeit (Öl, Dung, Laub usw.)	27 %	23 %	32 %	27 %	32 %	28 %	25 %	25 %	29 %	25 %	28 %	27 %
Winterglatt	9 %	6 %	20 %	10 %	12 %	4 %	2 %	8 %	9 %	2 %	15 %	11 %

Tab. 21: Lichtverhältnisse (Angabe 1) bei U(P,SS), U(SP) nach Konstellationen 0 bis IV auf Landstraßen 2011 bis 2013  
(Datenquelle: BAST)

	Konstellation 0		Konstellation I-II			Konstellation III-IV		
	U(P,SS)	U(SP)	U(P,SS)	U(SP)		U(P,SS)	U(SP)	
				Insgesamt	Baum		Insgesamt	Baum
Tageslicht	68 %	72 %	56 %	64 %	57 %	72 %	74 %	72 %
Dämmerung/Dunkelheit	32 %	28 %	44 %	36 %	43 %	28 %	26 %	28 %

Tab. 22: Straßenzustand und Lichtverhältnisse (Angabe 1) bei U(P,SS), U(SP) nach Konstellationen 0 bis IV auf Landstraßen 2011 bis 2013 (Datenquelle: BAST)

U(P,SS)	Konstellation 0		Konstellation I		Konstellation II		Konstellation III		Konstellation IV	
	Tages- licht	Dämmerung/ Dunkelheit	Tages- licht	Dämmerung/ Dunkelheit	Tages- licht	Dämmerung/ Dunkelheit	Tages- licht	Dämmerung/ Dunkelheit	Tages- licht	Dämmerung/ Dunkelheit
Trocken	72 %	47 %	55 %	38 %	76 %	58 %	74 %	51 %	64 %	39 %
Nass/Feucht/Schlüpfrigkeit (Öl, Dung, Laub usw.)	22 %	37 %	30 %	36 %	22 %	35 %	21 %	34 %	25 %	35 %
Winterglatt	6 %	16 %	15 %	26 %	3 %	6 %	5 %	15 %	11 %	26 %

Tab. 23: Angaben zur Geschwindigkeitsbeschränkung (durch Verkehrszeichen angeordnet) bei U(P,SS), U(SP) nach Konstellationen 0 bis IV auf Landstraßen 2011 bis 2013 (Datenquelle: BAST)

Geschwindig- keitsbeschrän- kung	U(P,SS)					U(SP)				
	Konstellation 0	Konstellation I-IV				Konstellation 0	Konstellation I-IV			
		Aufprall/ Kein Aufprall		Aufprall auf Baum			Aufprall/ Kein Aufprall		Aufprall auf Baum	
			Differenz zu Konstel- lation 0		Differenz zu Konstel- lation I-IV			Differenz zu Konstel- lation 0		Differenz zu Konstel- lation I-IV
< 60 km/h	8 %	6 %	-2 %	4 %	+2 %	6 %	5 %	-1 %	4 %	-1 %
60-70 km/h	24 %	16 %	-8 %	15 %	+1 %	22 %	16 %	-6 %	15 %	-1 %
80-90 km/h	4 %	4 %	0 %	5 %	-1 %	4 %	4 %	0 %	5 %	+1 %
100 km/h*	63 %	74 %	+10 %	76 %	-2 %	68 %	75 %	+7 %	76 %	+1 %
> 100 km/h	1 %	1 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %

\* einschließlich ohne Angabe

#### 4.6.7 Unfallursachen, Verhalten und Personencharakteristik

##### „Allgemeine Unfallursachen“ und „Unfallursachen“

Die Unfallursache wird in der amtlichen Unfallstatistik nach den „allgemeinen Ursachen“ für den gesamten Unfall und Ursachen für den ersten und einen weiteren Beteiligten (Unfallursachen) differenziert. Bei den allgemeinen Unfallursachen können maximal zwei Angaben mit den Ausprägungen 70 bis 89 nach Unfallursachenverzeichnis (Verzeichnis siehe „Verkehrsunfälle – Fachserie 8 Reihe 7“ vom Destatis) genannt werden. Bei den Unfallursachen des 1. (Beteiligter 01) und einem weiteren Beteiligten können jeweils bis zu drei Angaben mit den Ausprägungen 1 bis 69 nach Unfallursachenverzeichnis genannt werden. Im Rahmen der vorhandenen Datenbank sind für die allgemeinen Unfallursachen bis zu zwei Angaben und für die beteiligtenbezogenen Unfallursachen bis zu drei Angaben beim 1. Beteiligten (Angabe 1 bis 3) enthalten. Die vorläufig festgestellten Ursachen der Unfälle sind Einschätzungen der aufnehmenden Polizeibeamten mit dem Fokus der Sanktionierung von Verkehrsdelikten oder Strafverfolgung und nicht im Sinne einer Erhebung der unfallauslösenden Merkmale im komplexen System der Unfallentstehung. Gerade bei Alleinunfällen mit Abkommen von der Fahrbahn und schweren Unfallfolgen ist die Unfallursache (z. B. „Geschwindigkeit in anderen Fällen“) für tiefergehende Unfalluntersuchungen nicht zielführend.

Bei der Konstellation 0 enthalten die Angabe 1 der allgemeinen Ursachen zu 21 % und die Angabe 2 nur zu knapp 1 % Angaben. Die Anteile von Angaben schwanken jedoch in den einzelnen Unfallkonstellationen (Tabelle 24). Zum Beispiel weisen die Konstellation I zu 30 %, die Konstellation II zu 42 %, hingegen die Konstellation III zu 15 % und die Konstellation IV zu 23 % die Angabe 1 der allgemeinen Ursache auf. Eine Auswertung der allgemeinen Ursachen (nur Angabe 1) zeigt, dass es Unterschiede nach den Unfallkonstellationen gibt. Mit einer weiteren Differenzierung nach Unfällen mit Aufprall auf

einen Baum ergeben sich jedoch nur geringe Änderungen und damit beim Vergleich der Unfallhergänge ohne und mit Baumaufprall keine unterschiedlichen allgemeinen Unfallursachen. Die Anteile bei Unfällen mit einem Baumaufprall werden angegeben, falls eine Abweichung vorhanden ist.

Die Konstellation I weist bei 23 % der U(P,SS) allgemeine Ursachen aufgrund der Straßenverhältnisse mit Glätte oder Schlüpfrigkeit der Fahrbahn (70 bis 74) auf. Diese sind hauptsächlich durch Schnee, Eis (72; 17 %, mit Baumaufprall 18 %) und Regen (73; 5 %, mit Baumaufprall 4 %) sowie sonstige Hindernisursachen (89; 4 %, mit Baumaufprall 5 %) gekennzeichnet.

Die Konstellation II weist zu 29 % (mit Baumaufprall 33 %) Hindernisse auf der Fahrbahn (85 bis 88) als Unfallursache auf. Dabei handelt es sich überwiegend um Unfälle mit Wild (86; 25 %, mit Baumaufprall 29 %). Weiterhin sind sonstige Hindernisursachen (89; 6 %) und andere Tiere (87; 3 %) enthalten. Die Konstellation III weist zu 5 % (mit Baumaufprall 7 %) sonstige Hindernisursachen (89) und zu weiteren 5 % Schnee, Eis (72; mit Baumaufprall 6 %) als allgemeine Ursache auf. Die Konstellation IV weist zu 17 % Ursachen aufgrund der Straßenverhältnisse mit Glätte oder Schlüpfrigkeit der Fahrbahn (70 bis 74) auf und ist hauptsächlich durch Schnee, Eis (72; 13 %, mit Baumaufprall 12 %), sonstige Hindernisursachen (89; 4 %, mit Baumaufprall 5 %) und Regen (73; 4 %, mit Baumaufprall 3 %) gekennzeichnet.

In Konstellation 0 sind Angaben zur Unfallursache für den Beteiligten 01 bei Ursache 1 zu 98 %, bei Ursache 2 zu 20 % (schwankt in den Konstellationen I bis IV zwischen 28 und 58 %) und bei Ursache 3 zu 2 % vorhanden (Tabelle 25). Daher werden für die weiteren Analysen lediglich die 1. und 2. Angabe der Unfallursache einbezogen.

Die Konstellation I weist einen hohen Anteil an „Geschwindigkeit in anderen Fällen“ (13; 52 %, mit Baumaufprall 50 %) und „andere Fehler beim Fahrzeugführer“ (49; 18 %, mit Baumaufprall 20 %) so-

Tab. 24: Allgemeine Ursachennennung (gruppiert) bei U(P,SS) nach Konstellationen und Aufprall auf Baum auf Landstraßen 2011 bis 2013 (Datenquelle: BASt)

U(P,SS)/3a	Konstellation 0		Konstellation I		dabei: Baum		Konstellation II		dabei: Baum		Konstellation III		dabei: Baum		Konstellation IV		dabei: Baum	
ohne Angabe	234.378	79%	62.815	70%	16.930	69%	5.943	58%	1.819	56%	4.495	85%	910	82%	21.883	77%	609	75%
70-74	31.663	11%	20.520	23%	5.547	23%	553	5%	112	3%	399	8%	94	8%	4.821	17%	135	17%
75-79	1.891	1%	842	1%	213	1%	53	1%	11	0%	22	0%	5	0%	136	0%	4	0%
80-84	5.189	2%	1.176	1%	340	1%	126	1%	35	1%	57	1%	16	1%	512	2%	19	2%
85-88	9.646	3%	915	1%	326	1%	2.968	29%	1.066	33%	20	0%	8	1%	53	0%	4	0%
89	13.170	4%	3.714	4%	1.105	5%	564	6%	183	6%	285	5%	81	7%	1.175	4%	38	5%
Gesamt	295.937		89.982		24.461		10.207		3.226		5.278		1.114		28.580		809	

Tab. 25: Unfallursachen (1 und 2, gruppiert) bei U(P,SS) nach Konstellationen und Aufprall auf Baum auf Landstraßen 2011 bis 2013 (Datenquelle: BAST)

Unfallursachen 1 beim Beteiligten 01																		
U(P,SS)/3a	Konstellation 0		Konstellation I		dabei: Baum		Konstellation II		dabei: Baum		Konstellation III		dabei: Baum		Konstellation IV		dabei: Baum	
ohne Angabe	5.218	2%	641	1%	217	1%	1.091	11%	385	12%	45	1%	11	1%	116	0%	2	0%
01-04	31.326	14%	17.338	19%	4.731	19%	3.316	32%	1.104	34%	232	4%	45	4%	2.769	10%	96	12%
10-11	22.774	8%	5.551	6%	1.549	6%	498	5%	145	4%	2.021	38%	439	39%	11.922	42%	327	40%
12-13	69.598	24%	48.916	54%	12.663	52%	901	9%	270	8%	548	10%	121	11%	7.783	27%	211	26%
16-23	15.716	5%	649	1%	163	1%	55	1%	8	0%	1.661	31%	364	33%	3.360	12%	108	13%
49	41.201	14%	16.088	18%	4.994	20%	3.614	35%	1.164	36%	432	8%	94	8%	1.869	7%	53	7%
50-55	2.077	1%	371	0%	72	0%	483	5%	113	4%	13	0%	4	0%	152	1%	3	0%
weitere	108.027	37%	428	0%	72	0%	249	2%	37	1%	326	6%	36	3%	609	2%	9	1%
Gesamt	295.937		89.982		24.461		10.207		3.226		5.278		1.114		28.580		809	
Unfallursachen 2 beim Beteiligten 01																		
U(P,SS)/3a	Konstellation 0		Konstellation I		dabei: Baum		Konstellation II		dabei: Baum		Konstellation III		dabei: Baum		Konstellation IV		dabei: Baum	
ohne Angabe	235.443	80%	62.610	70%	17.017	70%	6.876	67%	2.228	69%	4.337	82%	920	83%	20.584	72%	579	72%
01-04	3.123	1%	1.746	2%	486	2%	288	3%	83	3%	23	0%	8	1%	290	1%	7	1%
10-11	6.504	2%	2.287	3%	656	3%	528	5%	185	6%	119	2%	23	2%	2.634	9%	70	9%
12-13	17.741	6%	11.901	13%	3.187	13%	479	5%	136	4%	225	4%	36	3%	2.399	8%	76	9%
16-23	2.964	1%	420	0%	104	0%	14	0%	4	0%	305	6%	70	6%	716	3%	21	3%
49	19.838	7%	9.920	11%	2.795	11%	1.818	18%	555	17%	191	4%	45	4%	1.484	5%	45	6%
50-55	1.432	0%	670	1%	155	1%	104	1%	22	1%	13	0%	3	0%	222	1%	6	1%
weitere	8.892	0%	428	1%	61	1%	100	1%	13	1%	65	0%	9	0%	251	1%	5	1%
Gesamt	295.937		89.982		24.461		10.207		3.226		5.278		1.114		28.580		809	

wie zu 16 % „Alkoholeinwirkung“ (01) und zu 4 % „Verstoß gegen das Rechtsfahrgebot“ (11) bei der Angabe 1 auf. Die Angabe 2 ist geprägt durch „Geschwindigkeit in anderen Fällen“ (13; 13 %, mit Baumaufprall 12 %) und „andere Fehler beim Fahrzeugführer“ (49; 11 %).

In der Konstellation II konzentrieren sich die Ursachen bei der Angabe 1 im wesentlichen auf „andere Fehler beim Fahrzeugführer“ (49; 35 %, mit Baumaufprall 36 %), „Alkoholeinwirkung“ (01; 12 %, mit Baumaufprall 9 %), „sonstige körperliche und geistige Mängel“ (04; 12 %, bei Baumaufprall 15 %), „Geschwindigkeit in anderen Fällen“ (13; 9 %, mit Baumaufprall 8 %) sowie Übermüdung (03; 8 %, mit Baumaufprall 10 %) vermerkt worden. Die Angabe 2 ist geprägt durch „andere Fehler beim Fahrzeugführer“ (49; 18 %, mit Baumaufprall 17 %) und zu jeweils 4 % „Geschwindigkeit in anderen Fällen“ (13) und „Verstoß gegen das Rechtsfahrgebot“ (11).

Die Konstellation III weist einen hohen Anteil (Angabe 1) mit 35 % „Verstoß gegen das Rechtsfahrgebot“ (11; mit Baumaufprall 37 %) auf. Als weitere Ursachen werden „Überholen trotz Gegenverkehrs“ (17; 12 %, mit Baumaufprall 13 %), „Geschwindigkeit in anderen Fällen“ (13, 10 %), mit „andere Fehler beim Fahrzeugführer“ (49; 8 %) und „Überholen ohne Beachtung des nachfolgenden Verkehrs ...“ (20; 5 %, mit Baumaufprall 6 %) genannt. Die Angabe 2 zeigt mit jeweils 4 % „Geschwindigkeit in anderen Fällen“ (13; mit Baumaufprall 3 %) und „andere Fehler beim Fahrzeugführer“ (49).

Die Konstellation IV weist bei der Angabe 1 einen hohen Anteil mit 39 % „Verstoß gegen das Rechtsfahrgebot“ (11; mit Baumaufprall 38 %). Außerdem werden mit absteigender Häufigkeit die Ursachen

„Geschwindigkeit in anderen Fällen“ (13; 26 %, mit Baumaufprall 24 %), „Überholen trotz Gegenverkehrs“ (17; 10 %, mit Baumaufprall 11 %), „andere Fehler beim Fahrzeugführer“ (49; 7 %) und „Alkoholeinwirkung“ (01; 6 %) genannt. Die Angabe 2 ist mit 8 % „Verstoß gegen das Rechtsfahrgebot“ (11), 8 % „Geschwindigkeit in anderen Fällen“ (13; 9 % mit Baumaufprall) und 5 % „andere Fehler beim Fahrzeugführer“ (49; 6 % mit Baumaufprall).

Bei der Differenzierung nach Aufprall auf einen Baum ergeben sich teilweise nur sehr geringe Änderungen und damit beim Vergleich der Unfallhergänge ohne und mit Baumaufprall keine nennenswerten Unterschiede in den Unfallursachen beim Beteiligten 01. Somit sind über die Konstellationen I bis IV insgesamt – unabhängig ob mit oder ohne Baumaufprall – die Hauptunfallursachen „Geschwindigkeit in anderen Fällen“ (13), „Verstoß gegen das Rechtsfahrgebot“ (11), „Alkoholeinwirkung“ (01) und „andere Fehler beim Fahrzeugführer“ (49) beim Beteiligten 01.

Die Auftretenshäufigkeit der Unfälle mit einer „Alkoholeinwirkung“ (Beteiligter 01) variieren nach Unfallkonstellationen (Konstellation 0 = 9 %). Für die Konstellation I werden mit 17 % (mit Baumaufprall 16 %) überdurchschnittlich hohe Anteile der Ursache „Alkoholeinwirkung“ (01) ermittelt. Die Konstellation II weist für 13 % der Unfälle „Alkoholeinwirkung“ (01) auf, jedoch nur für 9 % bei Unfällen mit einem Baumaufprall. Bei der Konstellation III und IV sind mit 4 % bzw. 7 % unterdurchschnittliche Anteile der Ursache „Alkoholeinwirkung“ (01) festzustellen.

Der Anteil von Unfällen mit „Alkoholeinwirkung“ (01) im Gegensatz zu Unfällen ohne Alkoholeinwirkung

beim Beteiligten 01 ist für Sonntage und Samstage in den einzelnen Konstellationen überdurchschnittlich hoch. Weiterhin sind die Anteile der Unfälle mit „Alkoholeinwirkung“ bei Dunkelheit (Beteiligter 01) in allen Konstellationen höher als tagsüber.

Die Ursache „Alkoholeinwirkung“ wurde zusätzlich dahingehend überprüft, ob bei Unfällen mit „Alkoholeinwirkung“ der Beteiligte 01 als Hauptverursacher alkoholisiert war und/oder die weiteren Beteiligten. Dazu wurde ein Merkmal auf Basis der amtlichen Statistik gebildet, das die Alkoholeinwirkung als Unfallursache und die Blutalkoholkonzentration  $\geq 0,3$  Promille (bzw. Atemalkoholkonzentration  $\geq 0,15$  mg/l) beim Beteiligten 01 zusammenfasst. Anschließend erfolgte die Berechnung einer Richtig-Positiv-Rate. Dabei zeigten sich Unterschiede bei den Unfällen der Konstellationen I bis IV im Vergleich zu Konstellation 0 mit einer Sensitivität von 0,97. Das bedeutet, dass zu 3 % bei einem Unfall mit „Alkoholeinwirkung“ nicht der Beteiligte 01 alkoholisiert war. Bei Fahrnfällen und Sonstigen Unfällen mit Abkommen (Konstellation I und II) weist immer der Beteiligte 01 „Alkoholeinwirkung“ mit einer Sensitivität von 1 auf – unabhängig von der Aufprallausprägung. Die Sensitivität der Konstellation IV entspricht der der Konstellation 0. Bei der Konstellation III wurde eine deutlich niedrigere Sensitivität mit 0,75 festgestellt.

Anlage 3.4 enthält die Auswertungen zur Personencharakteristik.

## 4.7 Zusammenfassung

Die Analyse der amtlichen Straßenverkehrsunfallstatistik auf Landstraßen und die Bedeutung der Hindernisse neben der Fahrbahn kann wie folgt allgemein zusammengefasst werden.

### Unfallgeschehen auf Landstraßen

- Auf Landstraßen ist über einen langen Zeitraum ein Rückgang der Unfall- und Verunglücktenzahlen erkennbar, bei den Getöteten deutlicher als bei den Schwerverletzten.
- Die Hauptunfallszenarien auf Landstraßen sind „Unfälle mit Abkommen“, „Unfälle am Knotenpunkt“, „Unfälle mit Gegenverkehr“ und „Unfälle mit Auffahren“. Bei Fahrnfällen mit Abkommen von der Fahrbahn nach rechts oder nach links und bei Unfällen im Längsverkehr mit Zusam-

menstoß mit Entgegenkommendem sind Unfälle mit Getöteten auffällig häufig vertreten.

- 38 % der Landstraßenunfälle (U(P,SS)) werden auf Landes-, 33 % auf Bundes-, 19 % auf Kreisstraßen und 10 % auf Gemeindestraßen oder anderen Straßen registriert.
- Landstraßenunfälle sind über das Jahr annähernd gleichverteilt. Die Verteilung der U(SP) weist dagegen Unterschiede in der Jahresverteilung auf. Die Anteile der Monate schwanken zwischen 6 % und 11 % und dabei weisen Mai bis Oktober die höchsten Anteile (10 % - 11 %) und Januar und Februar lediglich 6 % auf. Über die Wochentage sind die U(P,SS) auf Landstraßen eher gleichverteilt.
- Bei Landstraßenunfällen sind die Hauptunfallverursacher (Beteiligte 01) ganz überwiegend männlichen Geschlechts.

### Unfall mit Aufprall auf ein Hindernis neben der Fahrbahn

- Ein Drittel der Unfälle auf Landstraßen weist einen Aufprall neben der Fahrbahn auf. Unfälle mit einem Aufprall auf ein Hindernis neben der Fahrbahn zeigen eine besonders hohe Unfallschwere. Pro 10.000 Unfälle mit Personenschaden werden 435 Personen bei Unfällen mit einem Aufprall auf ein Hindernis neben der Fahrbahn, bei Unfällen ohne Aufprall dagegen 226 Personen getötet.
- Unfälle mit Aufprall auf ein Hindernis neben der Fahrbahn sind zu 71 % der Unfälle Fahrnfälle, zu jeweils 10 % Unfälle im Längsverkehr und Sonstige Unfälle (9 % bei allen U(P,SS)) sowie zu 6 % Einbiegen/Kreuzen-Unfälle. Fahrnfälle und Unfälle im Längsverkehr weisen ebenfalls einen überdurchschnittlichen Anteil an Getöteten auf.
- Bei Unfällen mit Aufprall auf ein Hindernis neben der Fahrbahn handelt es sich bei 39 % der Unfälle um ein sonstiges Hindernis (z. B. Zaun, Pfahl), bei 33 % der Unfälle um einen Baum und bei 22 % der Unfälle um eine Schutzplanke. Der Unfall mit Aufprall auf einem Baum weist einen Anteil von 11 % an allen U(P,SS), 18 % an allen U(SP) und 28 % an allen Getöteten auf Landstraßen auf. Betrachtet man nur die schweren Unfälle mit Aufprall auf ein Hindernis, so handelt es sich bei den U(SV) zu 45 % und bei den

U(GT) sogar zu 61 % um einen Aufprall auf Baum. Dies bedeutet, dass Unfälle mit Baumaufprall überdurchschnittlich mit schweren Unfallfolgen in Verbindung stehen. Eine hohe Unfallschwere tritt bei den Kombinationen von Fahrrunfall mit Baumaufprall, Einbiegen/Kreuzen-Unfall mit Mastaufprall, Unfall im Längsverkehr mit Aufprall auf Schutzplanken, mit Mast- sowie mit sonstigem Hindernis (einschließlich Widerlager) auf.

- Unfälle U(P,SS) mit einem Aufprall auf einen Baum auf Landstraßen werden zu 38 % auf Landes-, 26 % auf Kreis- und 22 % auf Bundesstraßen registriert.

### Konstellationen I bis IV

Die Unfallkonstellationen „Fahrrunfall in Verbindung mit Abkommen von der Fahrbahn nach rechts oder links (I)“, „Sonstiger Unfall in Verbindung mit Abkommen von der Fahrbahn nach rechts oder links (II)“, „Unfall im Längsverkehr in Verbindung mit Abkommen von der Fahrbahn nach rechts oder links (III)“ und „Unfall im Längsverkehr in Verbindung mit Zusammenstoß mit einem entgegenkommenden Fahrzeug (IV)“ wurden auf der Basis der Merkmale Unfalltyp und -art, differenziert nach Unfallschwere ermittelt. Diese unterscheiden sich voneinander allgemein nach dem Unfallhergang und wurden im Rahmen der Detailanalyse der Unfälle mit Aufprall auf Bäumen im Vergleich zur Referenzkonstellation (Gesamtunfallgeschehen U(P,SS), Konstellation 0) verwendet.

Die Konstellationen I bis IV stellen insgesamt etwa 79.400 U(P,SS) mit einem Aufprall auf ein Hindernis neben der Fahrbahn dar. Damit machen diese Konstellationen jeweils 82 % der U(P,SS) sowie U(P)

und 85 % der U(SP) des Gesamtunfallgeschehen mit einem Aufprallhindernis aus. Weiterhin werden 90 % der getöteten und 83 % der schwerverletzten Verkehrsteilnehmer bei einem Unfall mit Hindernisaufprall, 95 % der getöteten und 92 % der schwerverletzten Verkehrsteilnehmer bei einem Unfall mit Baumaufprall festgestellt (vgl. Tabelle 26).

Bei den Unfällen der Konstellationen I bis IV zusammen sind – unabhängig ob ohne oder mit Baumaufprall – „Geschwindigkeit in anderen Fällen“, „Verstoß gegen das Rechtsfahrgebot“, „Alkoholeinwirkung“ und „andere Fehler beim Fahrzeugführer“ die Hauptunfallursachen beim (überwiegend männlichen) Beteiligten 01.

Die systematischen Unterschiede der Unfallkonstellationen zu anderen Landstraßenunfällen werden nachfolgend strukturiert nach Unfallkonstellationen aufgelistet.

### Konstellation I: Fahrrunfall und Abkommen von der Fahrbahn nach rechts oder links

Die Konstellation I enthält die Unfälle mit dem Unfalltyp „Fahrrunfall“, ausgelöst durch den Verlust der Kontrolle über das Fahrzeug, ohne dass andere Verkehrsteilnehmer dazu beigetragen haben. Die erste mechanische Einwirkung ist durch das Abkommen von der Fahrbahn nach rechts oder nach links charakterisiert, unabhängig davon, ob es im weiteren Verlauf zu einem Zusammenstoß mit einem weiteren Unfallbeteiligten kommt.

- Sie enthält den Großteil der U(P,SS) mit Aufprall auf ein Hindernis sowie den Großteil der Getöteten bei Unfällen mit Aufprall auf ein Hindernis neben der Fahrbahn aller vier Unfallkonstellationen. Die Anteile der U(P,SS) mit Baumaufprall

Tab. 26: Anteile der Unfallkonstellationen I bis IV am Unfallgeschehen auf Landstraßen 2011 bis 2013 (Datenquelle: BASt)

		Anzahl/ 3a	Anteil Konstellation				
			I	II	III	IV	I-IV
Gesamtunfall- geschehen	U(P,SS)	295.937	30 %	3 %	2 %	10 %	134.047
	Getötete	6.526	34 %	3 %	1 %	30 %	4.382
Unfall mit Aufprall auf ein Hindernis neben der Fahrbahn insgesamt	U(P,SS)	96.265	66 %	8 %	3 %	5 %	79.417
	Getötete	2.965	68 %	5 %	3 %	14 %	2.656
Unfall mit Aufprall auf ein Baum	U(P,SS)	32.197	76 %	10 %	3 %	3 %	29.610
	Getötete	1.816	83 %	6 %	2 %	4 %	1.726
Unfall mit Aufprall auf eine Schutzplanke	U(P,SS)	20.867	61 %	5 %	3 %	10 %	16.542
	Getötete	515	38 %	2 %	2 %	45 %	443

- sind mit 83 % der U(P,SS) und mit 87 % der Getöteten – bezogen auf die Konstellationen I bis IV – überwiegend in Konstellation I enthalten.
- Weiterhin enthält sie den überwiegenden Anteil der vier Unfallkonstellationen an den U(P,SS) mit Schutzplankenaufprall, dabei jedoch einen vergleichsweise geringen Anteil der Getöteten bei Schutzplankenaufprall.
  - Für Fahrurfälle mit Abkommen von der Fahrbahn sind mittlere bedeutsame Zusammenhänge zwischen Baumaufprall und Unfallkategorie, Aufprall und Verkehrsteilnehmergruppe sowie Baumaufprall und Bundesland nachweisbar.
  - In Konstellation I sind die Anteile der U(P,SS) und der U(GT) mit einem Aufprall auf ein Hindernis und auf einen Baum an allen U(P,SS) und U(GT) der Konstellation I überdurchschnittlich groß. Sie sind vergleichbar mit den Anteilen in Konstellation II. Die Unfallschwere (Anzahl der Getöteten pro 100 U(P)) ist im Zusammenhang mit einem Hindernisaufprall 5 mal höher, bei einem Baumaufprall 8 mal höher und bei einem Schutzplankenaufprall 3 mal höher als ohne Aufprall.
  - Die Nennung einer „Kurve“ als Charakteristik der Unfallstelle ist in Konstellation I im Vergleich zu den anderen Konstellationen deutlich häufiger. Bei Unfällen mit einem Baumaufprall sowie in Verbindung mit U(SP) ist die Charakteristik „Kurve“ noch einmal häufiger. Auch die Auswertung des dreistelligen Unfalltypen zeigt als häufigste Unfalltypen die 141, 101 und 102 und weist damit ebenfalls auf die Örtlichkeit „Kurve“, aber auch auf die „Gerade“ ohne mitwirkende Besonderheiten von Querschnitt und Längsneigung hin.
  - Die Konstellation I ist besonders durch Alleinunfälle gekennzeichnet. Der Beteiligte 01 ist überdurchschnittlich häufig als Pkw-Fahrer gekennzeichnet. Bei einem Aufprall auf einen Baum ist zu 90 % und ohne Aufprall zu 71 % eine besonders hohe Pkw-Beteiligung zu registrieren.
  - In Konstellation I sind im Vergleich zu allen anderen Konstellationen höhere Anteile an Unfällen bei den Ausprägungen Nass/Feucht/Schlüpfrigkeit und winterglatten Zuständen registriert worden. Bei U(SP) in Konstellation I zeigen sich höhere Anteile an kritischen Fahrbahnzuständen im Gegensatz zu trocken, insbesondere bei Unfällen mit Baumaufprall.
  - U(P,SS) werden häufiger im Oktober bis März registriert. Noch deutlicher zeigt sich dies bei der Ausprägung Baumaufprall.
  - Die Konstellation I weist mit knapp einem Viertel einen hohen Anteil bei der allgemeinen Unfallursachen Straßenverhältnisse mit Glätte oder Schlüpfrigkeit der Fahrbahn auf. Die meisten Nennungen beziehen sich dabei auf „Schnee, Eis“.
  - Die Anteile der Lichtverhältnisse „Dämmerung und Dunkelheit“ zeigen sich im Gegensatz zu III und IV erhöht. Die Konstellation I unterscheidet sich von anderen Konstellationen in der Verteilung zwischen Sommerhalbjahr und Winterhalbjahr. Die Unfälle der Konstellation I werden häufiger im Oktober bis März registriert. Bei der Ausprägung Baum steigt in diesem Zeitraum der Unfallanteil noch einmal an. In Konstellation I liegen die Anteile für Samstag und Sonntag deutlich höher als in Konstellation 0.
  - Die Altersgruppe der 18 bis 24-Jährigen weist in Konstellation I höhere Anteile im Vergleich zum Gesamtunfallgeschehen und den Konstellationen III bis IV auf.

### **Konstellation II: Sonstiger Unfall und Abkommen von der Fahrbahn nach rechts oder links**

Ein Unfall des Typs Sonstiger Unfall kann auf Landstraßen z. B. durch ein Hindernis oder Tier auf der Fahrbahn oder einen plötzlichen Fahrzeugschaden (z. B. Bremsversagen, Reifenschäden) hervorgerufen werden.

- Sie enthält den zweitgrößten Anteil der U(P,SS) und der Getöteten bei Unfällen mit Aufprall auf ein Hindernis und Baum.
- In Konstellation II kommt es bei 71 % der U(P,SS) zu einem Aufprall auf ein Hindernis und bei knapp der Hälfte davon zu einem Aufprall auf einen Baum. 92 % der Getöteten in dieser Konstellation werden bei einem Unfall mit Aufprall auf ein Hindernis neben der Fahrbahn, knapp zwei Drittel davon bei einem Unfall mit Aufprall auf einen Baum registriert.
- Für Sonstige Unfälle mit Abkommen von der Fahrbahn sind mittlere bedeutsame Zusammenhänge zwischen Baumaufprall und Unfallkategorie, Aufprall und Verkehrsteilnehmergruppe sowie Baumaufprall und Bundesland nachweisbar.

- Im Vergleich zur Konstellation I ist in Konstellation II ein geringeres Niveau der Unfallschwere erkennbar. Der Vergleich der Unfallschwere nach Aufprallausprägung in der Konstellation II ist aber vergleichbar mit der Konstellation I, da das Risiko, getötet zu werden, im Zusammenhang mit einem Hindernisaufprall 5 mal höher, mit einem Baumaufprall 7 mal höher und mit einem Schutzplankenaufprall 2 mal höher als bei Unfällen ohne Aufprall ist.
- Die Konstellation II weist einen hohen Anteil an Alleinunfällen auf. Damit ist wie in Konstellation I der Unfallbeteiligte 01 im Allgemeinen auf das Hindernis aufgeprallt.
- Die Altersgruppe der 18- bis 24-Jährigen weist (wie Konstellation I) höhere Anteile als der Gesamtdurchschnitt auf.

### **Konstellation III: Unfall im Längsverkehr und Abkommen von der Fahrbahn nach rechts oder links**

Die Konstellation III (mit einem insgesamt geringen Unfallanteil) beschreibt die Unfallsituation Konflikt zwischen Verkehrsteilnehmern, die sich in gleicher oder entgegengesetzter Richtung bewegten und Abkommen von der Fahrbahn.

- Die Konstellation III weist in 78 % der Fälle zwei Beteiligte aus. In 16 % der Fälle ist nur ein Unfallbeteiligter erfasst, bei Unfällen mit Baumaufprall sind es sogar 21 %.
- In Konstellation III sind im Gegensatz zu den Konstellationen I und II die Anteile der U(P,SS) und der Getöteten mit einem Aufprall auf ein Hindernis und auf einen Baum überdurchschnittlich groß.
- In Konstellation III kommt es bei 64 % der U(P,SS) zu einem Aufprall auf ein Hindernis und bei 21 % der U(P,SS) zu einem Aufprall auf einen Baum.
- Die Unfallschwere (GT/100 U(P) und SP/100 U(P)) liegt insgesamt leicht unter dem Gesamtdurchschnitt. Der Vergleich der Unfallschwere nach Aufprallausprägung ergibt im Vergleich zu den Konstellationen I und II geringere Schwere. Das Risiko, getötet zu werden, im Zusammenhang bei einem Unfall mit einem Hindernisaufprall und mit einem Schutzplankenaufprall ist 3 mal höher und mit einem Baumaufprall 4 mal höher als ohne Aufprall.

### **Konstellation IV: Unfall im Längsverkehr und Zusammenstoß mit einem entgegenkommenden Fahrzeug**

In Konstellation IV werden die Unfälle betrachtet, die die gleiche Konfliktsituation wie die Konstellation III aufweisen, wobei es aber zumindest in der Erstkollision zu einem Zusammenstoß zwischen Fahrzeugen kommt, die sich entgegenkommen. Die Konstellation IV weist zu 84 % Unfälle mit zwei Beteiligten auf. Die Konstellation IV ist besonders durch viele schwere Unfälle ohne Hindernisaufprall gekennzeichnet.

- Die Anzahl der GT/100 U(P) und SP/100 U(P) mit und ohne Hindernisaufprall liegen deutlich über dem Durchschnitt und sind von allen Konstellationen am höchsten. Das Risiko getötet zu werden, ist bei Unfall mit einem Hindernisaufprall allgemein und mit einem Baumaufprall im besonderen 1,4 mal höher und bei einem Schutzplankenaufprall 2 mal höher als ohne Aufprall. Die vergleichsweise hohe Unfallschwere wird wahrscheinlich meist durch die Erstkollision zwischen den Fahrzeugen hervorgerufen. Die Unfälle mit einem (anschließenden) Schutzplankenaufprall zeigen im Vergleich zu den anderen Konstellationen eine sehr hohe Unfallschwere.

## **4.8 Folgerungen**

Im Rahmen der Analyse konnten Zusammenhänge zwischen der Unfallsituation bzw. Schadensereignis und Aufprallausprägungen bei Landstraßenunfällen festgestellt werden. Hindernisse neben der Fahrbahn – insbesondere die Straßenbepflanzung – haben einen eindeutigen Einfluss auf schwere Unfallfolgen auf Landstraßen. Es zeigen sich in den Chi-Quadrat-Tests mittlere bedeutsame Zusammenhänge zwischen Baumaufprall und Unfallkategorie für Fahrurfälle und Sonstige Unfälle mit Abkommen von der Fahrbahn nach rechts oder links. Für die Unfallsituation bzw. Schadensereignis im System der Unfallentstehung wurde damit auf Grundlage der Analyse der hohe Einfluss der Straßenbepflanzung auf die Unfallfolgen nachgewiesen. Damit kann der Forderung nach Verbesserung der Landstraßensicherheit durch hindernisfreie Seitenräume eine hohe Bedeutung und hohes Potenzial zur Verbesserung der Verkehrssicherheit zugeschrieben werden.

Die Detailanalyse der Unfallkonstellationen zeigte Unterschiede nach Aufprallausprägung zum ge-

samten Landstraßenunfallgeschehen. Es zeigte sich, dass die Unterschiede überwiegend nicht von der Aufprallausprägung abhängen, sondern von der Unfallkonstellation und damit vom Unfallhergang. Ob die Hindernisse auch einen Einfluss auf den Unfallhergang und Unfallschwere oder die Ursachen und Konfliktsituationen haben, kann auf Basis der amtlichen Straßenverkehrsunfallstatistik nicht weiter vertieft untersucht werden, da detaillierte Straßenmerkmale und die Bepflanzungstypen darin nicht enthalten sind. Dieser Umstand wird im Rahmen der weiteren Analyse weiter verfolgt. Im Rahmen der Modellerstellung sind nicht nur die Unfälle mit Aufprall auf ein Hindernis und insbesondere auf einen Baum, sondern Unfallmodelle unabhängig vom Hindernisaufprall zu erstellen, da sich bislang der Unfallhergang als unabhängig erwiesen hat. Letztendlich zeigte sich, dass im Rahmen dieser Untersuchung bzw. in Hinblick auf die Fragestellungen der straßenbegleitenden Bepflanzung bei der Modellerstellung auch Schwerwiegende Unfälle mit Sachschaden<sup>31</sup> berücksichtigt werden können, da sich die Unfallsituation und -struktur nicht systematisch unterscheidet.

Die Konstellation „Fahrerunfall und Abkommen von der Fahrbahn nach rechts oder links“ deckt zwei Drittel der Unfälle mit der Merkmalsausprägung „Aufprall neben der Fahrbahn“ ab und stellt damit einen Schwerpunkt der weiteren Untersuchung dar. Die weitere Konstellation „Sonstiger Unfall und Abkommen von der Fahrbahn nach rechts oder links“ ist dabei zu berücksichtigen, da sich im Rahmen der Analyse gezeigt hat, dass beide Konstellationen einen hohen Anteil an Alleinunfällen aufweisen und damit bekannt ist, dass der Unfallbeteiligte 01 im Allgemeinen auf das Hindernis aufgeprallt ist. Die weiteren zwei untersuchten Konstellationen „Unfall im Längsverkehr und Abkommen von der Fahrbahn nach rechts oder links“ und „Unfall im Längsverkehr und Zusammenstoß mit einem entgegenkommenden Fahrzeug“ sind am Rande weiter zu betrachten. Jedoch ist ohne detaillierte Beschreibungen zum Unfallablauf nicht klar, welcher Unfallbeteiligte auf das Hindernis aufgeprallt ist. Aus wissenschaftlicher Sicht wäre es deshalb wünschenswert, dass das Merkmal „Aufprall auf Hindernis neben der Fahrbahn“ ein Merkmal der Beteiligtenebene in der

Straßenverkehrsunfallstatistik wird, um zukünftig ein genaueres Bild zu entwickeln, welcher Unfallbeteiligte auf das Hindernis geprallt ist.

Durch die Chi-Quadrat-Tests wurden mittlere bedeutsame Zusammenhänge zwischen Baumaufprall und Bundesland für Fahrerunfälle und Sonstige Unfälle mit Abkommen von der Fahrbahn nach rechts oder links ermittelt. Bei der Erstellung der Datengrundlage ist deshalb die Auswahl der Bundesländer zu berücksichtigen. Etwa drei Viertel des Unfallgeschehens mit Baumaufprall ereignen sich in den sechs Bundesländern Niedersachsen, Bayern, Nordrhein-Westfalen, Baden-Württemberg, Brandenburg und Sachsen. Die hohen Anteile von Getöteten bei einem Unfall mit Baumaufprall an allen Getöteten in den Ländern (Brandenburg, Niedersachsen, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen-Anhalt und Sachsen) und die Unfalldichte mit Baumaufprall differenziert nach den Straßenklassen sind im Rahmen der Streckenauswahl zu berücksichtigen.

Es wurde gezeigt, dass das Unfallgeschehen mit Aufprall auf einen Baum vermehrt auf den Strecken zwischen den Knotenpunkten (knotenpunktfreie Strecke) liegt. Dies wird im Rahmen der weiteren Untersuchung berücksichtigt. Dabei ist eine weitere Betrachtung von Merkmalen der knotenpunktfreien Strecke wichtig. Die Unfallstelle „Kurve“ wurde häufiger als bei dem Gesamtunfallgeschehen genannt. Bei der differenzierten Analyse der Konfliktsituation nach dem dreistelligen Unfalltypencode zeigte sich, dass das Unfallgeschehen mit Aufprall auf einen Baum nach „Kurven“ und „Geraden“ ähnlich verteilt ist. Aufgrund der Anteile von „Kurven“ sind Merkmale, welche einen Einfluss auf das Unfallgeschehen haben können, wie Sichtweiten und -hindernissen, verdeckter Kurvenbeginn und die Markierung detaillierter zu betrachten. Dies ist auch vor dem Hintergrund der nachgewiesenen Abhängigkeit des Unfallgeschehens von den Lichtverhältnissen interessant.

Der Straßenzustand und dabei die häufige Nennung von kritischen Fahrbahnzuständen wie nasse, feuchte, schlüpfrige oder winterglatte Fahrbahnzustände können auf Probleme der Fahrbahngriffigkeit hinweisen. Dieser Umstand wurde bereits in der Literaturrecherche gezeigt. Deshalb sind Merkmale des Fahrbahnzustands zu analysieren, wie z. B. die Merkmale der Daten der ZEB. Bei der ZEB ergibt sich jedoch das Problem, dass nicht für alle Straßen diese Daten zur Verfügung stehen.

<sup>31</sup> Beispielsweise weist die Konstellation I 18 % U(SS) an U(P,SS) auf.

Das Unfallgeschehen wurde auf Basis der amtlichen Straßenverkehrsunfallstatistik über das Netz und damit lediglich querschnittsbezogen analysiert. Fahrverhalten und besonders Geschwindigkeitsverhalten können in Abhängigkeit von den örtlichen Elementen fahrtrichtungsbezogen andere Ausprägungen aufweisen, welches im Rahmen der weiteren Untersuchung zu beachten ist. Im Rahmen der Analyse zeigte sich auch ein Einfluss der Geschwindigkeit, insbesondere aufgrund der Nennung der Unfallursachen. Deshalb sind z. B. die Geschwindigkeitsprofile der Fahrzeuge auf Landstraßen im Zusammenhang mit Lage- und Höhenplanelementen von Interesse.

Eine Abschätzung auf fahrleistungsbezogene Werte zeigte, dass die Unfallraten (Unfälle mit Baum aufprall) der Bundesstraßen deutlich unter denen der Landes- und der Kreisstraßen liegen. Deshalb sind die Verkehrsbelastungen eine wichtige Expositionsgröße in der weiteren Betrachtung.

Der Einsatz von Schutzplanken ist als reaktive Maßnahme zur Verringerung der Unfallschwere im Vergleich zum Aufprall auf einen Baum geeignet. Insgesamt zeigen sich im Durchschnitt fast ähnliche Unfallfolgen bei der Betrachtung der Unfall mit schwerem Personenschaden pro 1.000 Unfälle mit Personenschaden und schwerwiegenden Unfälle mit Sachschaden wie für Unfälle ohne Aufprall auf ein Hindernis im Seitenraum. Jedoch zeigt der Schutzplankenaufprall im Vergleich zum Unfall ohne Aufprall eine hohe Unfallschwere in Bezug auf die Kenngröße Getötete pro 100 Unfälle mit Personenschaden bei vergleichbarem Unfallablauf. Zurückzuführen ist dies darauf, dass bei Motorradfahrern Fahrunfälle mit Abkommen und Aufprall auf Schutzplanken überdurchschnittlich häufig in der Örtlichkeit „Kurve“ auftreten und dass die Getöteten bei dieser Verkehrsteilnehmergruppe überdurchschnittlich oft vertreten sind. Dies zeigt, dass die Schutzplanke eine Maßnahme zur Verbesserung des Unfallgeschehens bei Fahrunfällen mit Abkommen für Pkw darstellt, jedoch insbesondere negative Auswirkungen auf die Gruppe der Motorräder hat und dies im Rahmen einer Maßnahmenumsetzung eine höhere Berücksichtigung finden sollte. Ebenso sollten Schutzplanken in Hinblick auf den Einsatz in Kurvenbereichen optimiert werden.

Im Rahmen der deskriptiven Beschreibung des Unfallgeschehens kann die Auswertung von unfallauslösenden Merkmalen im komplexen System der Unfallentstehung lediglich überblicksartig erfolgen. Für

die differenzierte Ursachenforschung, der damit verbundenen Ermittlungen der quantitativen Wirkung der Merkmale, der Wechselwirkungen der Merkmale und statistischer Signifikanzen sind komplexe statistische Methoden notwendig.

## 5 Datenaufbereitung und Analysen

Wie in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben, ist eine Datengrundlage mit detaillierten Merkmalen für die Sicherheitsanalysen wichtig und damit ein integraler Bestandteil der Untersuchung. Quelle, Art, Umfang und Detaillierungsgrad der Merkmale sowie Qualität der Datengrundlagen haben einen bedeutsamen Einfluss auf die Auswertungen und damit auf die Transparenz und Belastbarkeit der Ergebnisse sowie auf die daraus zu entwickelnden Empfehlungen. Im Rahmen der Entwicklung der Untersuchung wurden verschiedene Messsysteme von verschiedenen Messfahrzeugen, wie z. B. das Messsystem zur Erfassung von Straßen- und Verkehrsdaten der BAST sowie Datengrundlagen aus vorherigen Untersuchungen (Schnüll et al. 2004 und Maier et al. 2013) und bestehende Datenbanken (z. B. Unfalldatenbank der Versicherer, Baumkataster der Bundesländer) hinsichtlich der Einsetzbarkeit für das geplante methodische Vorgehen und der Zielrichtung geprüft. In Kapitel 5.1 werden die final ausgewählten Datengrundlagen beschrieben.

Aufbauend auf der Abgrenzung der Untersuchung (Kapitel 1.3) und unter Nutzung der ermittelten Merkmale der Literaturanalyse (Kapitel 2) erfolgt die Auswahl von Netzknotenabschnitten (NKA) (Kapitel 5.2). NKA der Landstraßen können nach bestimmten Aspekten differenziert und unterteilt werden. Übergeordnet kann das gesamte Straßennetz, Verbindungen und Elemente unterschieden oder/und nach dem Unfallgeschehen analysiert werden. Die Teilung<sup>32</sup> der NKA nach dem Netzknoten und deren Einflussbereiche und die Teilung nach den freien Streckenabschnitten wird im Kapitel 5.4 beschrieben. Diese Teilung muss im Rahmen einer Sicherheitsbewertung auf Landstraßen vorgenommen werden.

<sup>32</sup> Wird in der Literatur auch als Einteilung, Bildung usw. bezeichnet.

Für die Gesamtstichprobe wird aufbauend auf der Unfallanalyse für das bundesweite Unfallgeschehen (Kapitel 4) insbesondere eine deskriptive Beschreibung weiterer Charakteristika des Unfallgeschehens durchgeführt. Dabei wird die Repräsentativität der Gesamtstichprobe zum bundesweiten Unfallgeschehen dargelegt. Der Schwerpunkt ist das methodische Vorgehen der Modellerstellung (Kapitel 6) und der daraus ermittelten Ergebnisse (Kapitel 6.3). Ziel der Erstellung der Modelle und deren Grundlagen ist schwerpunktmäßig die Beantwortung der folgenden Fragen:

- Gibt es besonders auffällige und/oder unauffällige Bepflanzungstypen hinsichtlich der Unfallanzahl und -schwere?
- Welche örtlichen Zusammenhänge können zwischen Entwurfs-elementen, Abkommenshäufigkeiten und der Straßenbepflanzung ermittelt werden?
- Ist dabei die Straßenbepflanzung ein unfallbegünstigender und -auslösender Parameter oder hat die Bepflanzung lediglich Einfluss auf die Unfallfolgen?

## 5.1 Datengrundlagen

Im Forschungsvorhaben „Datenerfassung I“ (FE 89.0317/2015) wurde für eine Gesamtstichprobe auf Landstraßen eine Datenbank erstellt, die eine messtechnische Aufnahme, Aufbereitung und Verknüpfung von unterschiedlichen Straßen- und Straßenzustandsdaten umfasst. Für die Auswahl der querschnittsbezogenen Netzknotenabschnitte (NKA) – definiert nach BMVI (2014) – stand eine Anzahl von 19.568 NKA mit einer Gesamtlänge von 28.670 km als Grundlage zur Verfügung. Die existierenden Befahrungsdaten<sup>33</sup> sind von den Messfahrzeugen „UNO“ des Lehrstuhls Gestaltung von Straßenverkehrsanlagen der TU Dresden und „STIER“ der Lehmann und Partner GmbH auf Bundes-/Landes-/Staats- und Kreisstraßen in den Bundesländern BB, BW, BY, RP, SN, ST und TH aufgenommen. Die Verteilung der Abschnitte (Tabelle 27) zeigt einen hohen Anteil in BY. ST hat nur einen

sehr geringen Anteil. Die weiteren Länder sind hinsichtlich der Anzahl der NKA und Länge etwa gleich verteilt.

Im Fokus des Forschungsvorhabens „Datenerfassung II“ (FE 89.0318/2015) stand die Ermittlung einer separaten, von der Länge deutlich geringeren Stichprobe (im Vergleich zur „Datenerfassung I“). Es sind aufbauend auf die Datenbank der „Datenerfassung I“ weitere Merkmale in die Datenbank II aufgenommen worden. Dabei handelte es sich insbesondere um die Aufbereitung detaillierter und zusätzlicher Unfallmerkmale zur Unfallschwere, zum Unfallablauf sowie zu den Randbedingungen auf Basis der Unfälle aus der GIDAS-Datenbank (Ziegler et al. 2017). Die kontinuierliche Unfallerhebung im Rahmen von GIDAS wird in den jeweiligen Stadtgebieten sowie der umliegenden Landkreise von Dresden und Hannover durchgeführt. Die Auswahl der Straßenverkehrsunfälle erfolgt nach einem räumlichen und zeitlichen Stichprobenverfahren. Die Unfälle müssen sich räumlich innerhalb des genannten Erhebungsgebietes auch zeitlich innerhalb der Erhebungsschicht ereignen sowie den Kriterien eines Straßenverkehrsunfalls mit Personenschaden (Unfallkategorie 1 bis 3) entsprechen. Im Rahmen von GIDAS werden eine Vielzahl von Unfall- und Beteiligtenmerkmalen aufgenommen. Hierzu zählen die Erfassung von „Umweltbedingungen“, baulichen Besonderheiten, Straßengestaltung, Fahrzeugdeformationen, Anprallstellen und Kennwerte sowie Verletzungsmuster der Unfallbeteiligten (VUFO 2012).

Die georeferenzierten Daten der Straßenverkehrsunfallstatistik der Bundesländer BB, BY, BW, NI, RP, SN, ST, TH und die Unfalldaten von GIDAS wurden im Rahmen der Forschungsvorhaben in Datenbanken integriert. Aus der Straßenverkehrsunfallstatis-

Tab. 27: Verteilung der Netzknotenabschnitte nach Bundesland (Datenerfassung I)

Bundesland	Anzahl Netzknotenabschnitte	Länge [km]
BB	1.350	3.204,4
BW	2.204	3.566,4
BY	7.022	11.828,1
RP	3.737	2.951,3
SN	3.218	3.946,1
ST	266	549,4
TH	1.771	2.624,7
Gesamt	19.568	28.670,4

<sup>33</sup> Dabei wurde die Rohdaten aus dem Projekt „Bewertungsmodell für die Verkehrssicherheit von Straßen“ der BAST zusätzlich genutzt (FE 82.334/2007, Maier et al. 2013).

tik wurden die Unfallkategorien 1 bis 6 mit dem Schwerpunkt des eingegrenzten Unfallgeschehens (Kapitel 4) in die Datenbanken integriert. Die Auswahl eines 3-jährigen Unfallzeitraums erfolgte in Abhängigkeit vom Zeitraum der messtechnischen Befahrung der NKA und betraf einen Zeitraum von 2005 bis 2016.

In der Literatur (z. B. Vieten et al. 2010, Maier et al. 2013, Berger 2016) finden sich überwiegend querschnittsbezogene Sicherheitsuntersuchungen. Bark et al. (2015) nutzen hingegen eine fahrtrichtungsbezogene Sicherheitsbewertung. Mögliche Nachteile der querschnittsbezogenen Auswertung kann die Aggregation von fahrtrichtungsgetrennten Merkmalen (z. B.  $v_{zul.}$ , Sichtweiten) sein. Der Vorteil einer fahrtrichtungsbezogenen Abschnittsteilung und -bewertung (Fahrtrichtung Unfallbeteiligter 01) stellt die Bewertung richtungsabhängiger, nicht zusammengefasster Merkmale, wie z. B. Lageplanelemente, Relationstrassierungen, Sichtweiten und Geschwindigkeiten dar. Bei einer fahrtrichtungsbezogenen Sicherheitsbewertung ist die Korrektheit des Richtungsbezugs in der Unfallaufnahme durch die Polizei notwendig. Deshalb wurden zur Überprüfung der richtungsbezogenen Aufnahme die Daten (Unfälle der amtlichen Straßenverkehrsunfallstatistik und Unfalldaten von GIDAS) für ausgewählte Unfallkollektive (19 Unfälle) in der Datenbank II verglichen. Im Ergebnis wurde in 89 % der Fälle in beiden Datenbanken der Unfall der gleichen Fahrtrichtung zugewiesen und damit wird eine fahrtrichtungsbezogene Bewertung als sinnvoll angenommen.

Der Anhang (Anlage 1.2) enthält überblicksartig die weiteren Datengrundlagen und die Schwerpunkte der Erfassung der Forschungsvorhaben „Datenerfassung I und II“. Die aufgenommenen und aufbereiteten Merkmale in den Forschungsvorhaben sind im Anhang (Anlage 1.3 und 4) aufgeführt. Ausgewählte Merkmale werden im Rahmen der Modellerstellung beschrieben. Für nicht beschriebene Merkmale wird auf die einschlägige Fachliteratur verwiesen. Die beiden Forschungsvorhaben „Datenerfassung I und II“ wurden im Rahmen von externen Forschungsvorhaben im Auftrag der BAST auf der Grundlage der vom Autor erstellten Leistungsbeschreibungen abgewickelt (siehe Anhang, Anlage 1.1) und vom Autor als Fachbetreuer begleitet.

## 5.2 Auswahl der Netzknotenabschnitte

Das Ziel der Auswahl der NKA in beiden Datenbanken war die Ermittlung von „2-streifig-ähnlichen“ einbahnigen Landstraßenabschnitten (außerorts, ohne Autobahnen) nach der Abgrenzung des Forschungsvorhabens. Dabei bieten „2-streifig-ähnliche“ Abschnitte eine zweistreifige Befahrbarkeit der Fahrtrichtungen (insgesamt im Querschnitt) der freien Außerortsstrecke auf einer einbahnigen Fahrbahn. Die Abschnitte ähneln in der Regel den Querschnitten RQ 11 und 9 der RAL 2012 (FGSV 2012), sind jedoch z. B. unabhängig von der Markierung.

Es wurden NKA mit einem Längenbereich von 1 bis 7,5 km ausgewählt. Der obere Grenzwert wurde aufgrund einer möglichen Verzerrung der Stichprobe auf einzelne lange NKA über 7,5 km (84 NKA in der Grundgesamtheit) festgelegt. Die untere Grenze wurde ausgewählt, da durch einen Abzug der Einflussbereiche der Knoten zum Teil zu kurze freie Abschnitte entstehen. In der weiteren Teilung der NKA (Kapitel 5.4) steht damit in der Regel eine ausreichende Länge eines freien Abschnitts zur Sicherheitsbewertung zur Verfügung.

Eine weitere Grundlage für die Auswahl – auf Basis der Ergebnisse des Kapitels 4 – waren die querschnittsbezogenen Unfalldichten mit dem Schwerpunkt auf Fahrurfälle (Unfalltyp 1) und Aufprall auf einen Baum neben der Fahrbahn<sup>34</sup>. Diese Selektion bei der Datensammlung wurde vor dem Hintergrund der Fokussierung der Modellerstellung auf ein spezifisches Unfallgeschehen vorgenommen. Diese Selektionsbedingung muss bei der Unfallauswertung berücksichtigt werden. Insgesamt zeigt sich, dass auf 80 % der Strecken eine Unfalldichte von 0 (Fahrurfall mit Aufprall auf einen Baum neben der Fahrbahn in drei Jahren), auf 17,5 % der Strecken eine Dichte zwischen 0 und 1 und auf knapp 3 % der Strecken eine Unfalldichte über 1 vorliegt.

Mit dem Ziel, eine möglichst heterogene Auswahl der NKA nach dem Unfallgeschehen aus der Grundgesamtheit zu ermitteln, wurde ein methodisches Vorgehen entwickelt. Hierbei ist zu beachten, dass die Daten aufgrund der poisson-verteilten Unfall-

<sup>34</sup> Unfallmerkmal: Aufprall 0 und in BY Aufprall 7 (Baum in Baumreihe oder Allee), Aufprall 8 (Baum in Baumgruppe oder Wald) oder Aufprall 9 (Büsche, Sträucher).

daten eine rechtsschiefe Verteilung aufweisen. Die Unfalldichtevertelung lässt sich u. a. durch Verteilungsquantile beschreiben. Ein Quantil ist ein bestimmter Anteil von NKA und stellt damit ein Teilkollektiv der Abschnitte mit bestimmten Unfalldichten dar. Dies bewirkt eine Unterteilung des Kollektivs in Wertebereiche der Unfalldichten mit unterschiedlicher Breite, jedoch mit gleichem Häufigkeitsanteil der NKA. In den einzelnen Bereichen steht jeweils die gleiche Anzahl an NKA zur Verfügung.

Aus jedem Wertebereich soll eine Anzahl und Länge der NKA (siehe Tabelle 28) ausgewählt werden. Dabei wurde auch der Anteil des Unfallgeschehens der Bundesländer am bundesweiten Unfallgeschehen berücksichtigt. Die Klassen 0 bis 4 stellen in der Gesamtstichprobe den „unfallunauffälligen“ Bereich (Quantil bis 0,375), die Klassen 5 und 6 den „Unfalldurchschnitt“ und die Klassen 7 bis 11 (Quantil bis 0,625) den „unfallauffälligen“ Bereich dar. Das Quantil bis 0,25 (Klasse 0 bis 3) und Quantil ab 0,75 (Klasse 8 bis 11) sollten in der Gesamtstichprobe mit zwei Drittel berücksichtigt werden, damit in der ausgewählten Datengrundlage eine höhere Streuung der Unfälle erzeugt wird. Die Verteilungsquantile weisen in Wertebereichen mit hohen Unfalldichten (über 0,78 U/(km\*a)) einen hohen Anteil an Ausreißern und Extremwerten auf. Diese Wertebereiche wurden wiederum unterteilt, um so eine nachvollziehbare Auswahl der NKA zu ermöglichen. Diese NKA sollten im Rahmen der Auswahl besonders berücksichtigt werden, da diese einen hohen infra-

strukturbezogenen Erklärungsgehalt in Hinblick auf mögliche systematische infrastrukturelle Abweichungen enthalten können.

Im Rahmen der Aufbereitung der Vermessung der Messfahrzeuge zeigte sich, dass die Kalibrierdaten bestimmter ausgewählter NKA nicht ausreichend waren. Deshalb sollten in der gleichen Unfalldichteklasse zusätzliche NKA ausgewertet werden. Dies war teilweise nicht möglich. Um letztendlich auf die angestrebte Gesamtlänge zu gelangen, wurden die fehlenden NKA angrenzenden Unfalldichteklassen zugeordnet. Für die Datenbank der „Datenerfassung I“ stand damit eine Gesamtstichprobe mit einer Länge von 2.067 km (Querschnitt) zur Verfügung. Aufgrund ungenügender Qualitäten in den Bilddaten konnten 21 km für eine Auswertung nicht verwendet werden.

Die Auswahl der NKA in dem Forschungsvorhaben „Datenerfassung II“ wurde auf Grundlage der Unfalldaten von GIDAS ermittelt. Es wurden Abschnitte ausgewählt, welche mindestens einen erfassten Unfall mit Personenschaden (Unfallkategorie 1 bis 3 und Unfalltyp 1, 6 oder 7) im Unfallzeitraum 2005 bis 2016 in NI und SN aufweisen. Weitere Kriterien der Filterung waren die Verkehrsteilnehmerbeteiligung Pkw, Lkw und/oder Kraftrad. Neben diesen „unfallauffälligen“ NKA wurde die Vorauswahl um unmittelbar angrenzende „unfallunauffällige“ NKA ergänzt, in der Erwartung, dass diese häufig u. a. vergleichbare Entwurfsmerkmale und Verkehrsbe-

Tab. 28: Längen (Querschnitt) der Gesamtstichprobe der Datenbank I, klassiert nach der Unfalldichte

Klassen-Nr.	Wertebereich Unfalldichte U(P,SS)/(km*a)	Länge Soll Datenbank I [km]	Länge Ist Datenbank I [km]
0	UD < 0,13	166,67	280,70
1	0,13 ≤ UD < 0,20	166,67	112,84
2	0,20 ≤ UD < 0,28	166,67	179,58
3	0,28 ≤ UD < 0,34	166,67	180,20
4	0,34 ≤ UD < 0,42	166,67	184,11
5	0,42 ≤ UD < 0,51	166,67	196,25
6	0,51 ≤ UD < 0,62	166,67	173,53
7	0,62 ≤ UD < 0,78	166,67	219,80
8	0,78 ≤ UD < 0,94	222,22	137,64
9	0,94 ≤ UD < 1,46	222,22	228,29
10	1,46 ≤ UD < 1,92	111,11	71,25
11	UD ≥ 1,92	111,11	102,64
Gesamt (Auswahl)			2.066,82
Gesamtstichprobe Datenbank I			2.046,47

lastungen aufweisen. Damit stand eine Vorauswahl von 120 km für die Datenbank II zur Verfügung.

Nach der Überprüfung, dass keine baulichen und/oder verkehrstechnischen Änderungen und keine Erhaltungsmaßnahmen in den Unfallzeiträumen in der Vorauswahl vorgenommen wurden, wurde eine Stichprobe von ca. 78 km (Querschnitt) ausgewählt. Bei der Abschnittsauswahl wurde berücksichtigt, dass ca. 70 % der eingegrenzten Unfälle im Erhebungsgebiet im Großraum Dresden (SN) auftreten. Anschließend erfolgte zur Erfassung der Merkmale die Befahrung mit dem Messfahrzeug „UNO“.

### 5.3 Merkmale und weitere Parameter

Eine wesentliche Grundlage für die Analyse der Datenbanken sind die Merkmale, welche einen möglichen Einfluss auf das Unfallgeschehen haben. Darüber hinaus sind Merkmale für die Unterteilung der NKA notwendig. In der Durchführung der Teilung der NKA ist zu bestimmen, ob dabei ein Merkmal für die Teilung und damit ein sogenanntes abschnittsteilendes Merkmal oder ein beschreibendes Merkmal der Abschnitte ist. Das Ziel der Teilung der NKA und damit die Verwendung von abschnittsteilenden Merkmalen ist es, Abschnitte aufzuzeigen, welche nach Maier et al. (2013) bezüglich der Merkmalausprägungen in sich annähernd gleichartig sind und sich dabei zu den benachbarten Abschnitten abgrenzen. Zur Modellerstellung sind ausreichende Abschnittslängen und Unfalhhäufigkeiten vor dem Hintergrund der „Zero-Values“ (siehe Kapitel 3.2) bedeutend, um letztendlich einen Einfluss der Merkmale bzw. deren Ausprägungen belastbar zu ermitteln.

Die Merkmale wurden im Rahmen der Forschungsvorhaben erfasst und in die jeweilige Datenbank integriert. Nach der Bereitstellung der Datenbanken durch das Forschungsvorhaben „Datenerfassung I“ werden insgesamt knapp 500 querschnitts- und fahrstreifenbezogene Merkmale und um 100 relevante fahrstreifenbezogene Unfallmerkmale sowie zahlreiche Kombinationen bzw. Ausprägungen auf deren Zusammenhang zum Unfallgeschehen überprüft. Der Anhang (Anlage 4) zeigt einen Überblick über die Merkmale.

Im Rahmen der Erstellung der Datenbanken der „Datenerfassung I und II“ wurden siedlungsstrukturelle Indikatoren zur Raum- und Stadtentwicklung des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumfor-

schung (BBSR, [www.inkar.de](http://www.inkar.de)), Daten aus den Straßendatenbanken bzw.-systemen der Bundesländer mit Berücksichtigung der Zustandsdaten aus der Zustandserfassung und -bewertung von Straßen und Daten der automatischen Zählstellen von Bundesautobahnen und -straßen integriert.

Im Rahmen der Erstellung der Datenbanken wurden weiterhin entwurfstechnische Merkmale sowie prognostizierte Geschwindigkeitsprofile berechnet. Dabei wurden die Abschnitte in Lage- und Höhenplan im Straßenentwurfsprogramm CARD/1 nachtrassiert. Dieses Vorgehen wird z. B. in Maier et al. (2013) oder Lippold et al. (2018) beschrieben. Die Merkmale der Verkehrsbelastung werden innerhalb der NKA als nahezu unverändert angesehen.

Aufgrund des Untersuchungsgegenstands sind die Merkmale der Straßenbepflanzung von besonderem Interesse. Da diese Daten nicht durch andere externe Datenbanken oder nicht in der notwendigen Detailtiefe zur Verfügung stehen, mussten zahlreiche Merkmale im Rahmen der Auswertung der Befahrungsdaten visuell erhoben werden. Die Kameras der Messfahrzeuge sind dafür besonders geeignet, da diese zur Bildvermessung kalibriert sind (siehe Bark et al. 2015 oder Lippold et al. 2018). Zur Auswertung wurden die Programme Phoros und Roadview des Lehrstuhls Gestaltung von Straßenverkehrsanlagen der TU Dresden verwendet. Aufgrund der zahlreichen Auswerter und des damit möglicherweise subjektiven Einflusses wurde ein Qualitätsmanagement mit Schulungen und regelmäßigen Kontrollen zur Einheitlichkeit der Auswertung sichergestellt (Lippold et al. 2018). Im Rahmen der manuellen Auswertung der Befahrungsdaten wurden allgemeine Merkmale des Abschnitts, wie die Umfeldnutzung, Breite des fahrbahnbegleitenden Geh-/Radwegs, Grundformen der Netzknoten sowie deren verkehrstechnische Ausstattung und Verkehrsregelung aufgenommen. Weiterhin standen die Fahrbahnmarkierung und der Seitenraum mit den Merkmalen der Böschung und Entwässerung im Fokus. Die Straßenbepflanzung wurde nach Art (Laub- oder Nadelbaum und auch Sträucher) differenziert aufgenommen. Die Lage der Bepflanzung wurde nach den Typen Einzelbaum, Baumgruppe, -reihe, Allee, Waldbereich und -mantel unterschieden. Bereits das Kapitel 2.2 zeigte die Problematik der Abgrenzung der verschiedenen Bepflanzungstypen auf. Die Untersuchung orientiert sich an der Unterteilung der Bepflanzung nach Lippold & Schulz (2009) und modifiziert diese. Einzelbäume sind punktuelle (einzeln auftretend) und

Baumgruppen punktuelle, kleinteilige flächige Bepflanzungen, eher einseitig und aufgelockert und können beispielsweise nach Abbildung 18 im Straßennetz erscheinen.



Abbildung 18: Einzelbaum (oben) und Baumgruppe (unten)  
(Bildquelle: Roadview, TU Dresden)

Alleen und Baumreihen sind linienhafte und zusammenhängende Bepflanzungen. Diese weisen überwiegend ein symmetrisches Erscheinungsbild in der Längs- und Querausdehnung, einen eher geringen Baumabstand in Längsrichtung und damit eine geringe Raumtiefe auf (Abbildung 19). Alleen sind je Fahrbahnseite i. d. R. einreihig und können einen Kronenschluss über der Fahrbahn aufweisen. Alleen sind im Bestand gleichaltrig und vom Habitus eher gleichartige Bäume, wobei hier aktuell Anpassungen in der Neuanpflanzung von Bäumen stattfinden. Baumreihen sind in der Regel einseitig bzw. wechselnd.

Waldbereiche sind in der Regel beidseitige, flächige und linienhafte Bepflanzungen mit einer hohen Raumtiefe in Querrichtung. Sonderfälle wie die Waldmäntel können einseitig auftreten, eine kurze Ausdehnung haben und wie in der Abbildung 20 aufgelockert vorliegen.

Bei der Sammlung der Merkmale der Datenbanken wurde die 1. Reihe der Bepflanzung (Bäume und Sträucher) als Einzelpunkt und damit die unmittelbare Bepflanzung an der Fahrbahn in die Datenbank aufgenommen. Bei der Aufnahme der Einzelpunkte wurde der Typ der Bepflanzung als Merkmal berücksichtigt. Dadurch ist im Allgemeinen bekannt, ob eine dahinterstehende Bepflanzung existiert. Eine Aufnahme weiterer Merkmale einer 2. Reihe der Bepflanzung ist aufgrund der unzureichenden Detailtiefe nicht systematisch möglich. Insgesamt wurden auf den 2.046 km 208.044 Bäume und 16.361 Sträucher als Einzelpunkte in dem Forschungsvorhaben „Datenerfassung I“ aufgenommen. Die Bepflanzung ist in der Gesamtstichprobe unabhängig von Grundstücksgrenzen aufgenommen. Somit ist ebenso die Bepflanzung außerhalb der Baulastträgerschaft der Straße bzw. der verwal-



Abbildung 19: Allee ohne Kronenschluss (links), Allee mit Kronenschluss (Mitte) und Baumreihe (rechts) (Bildquelle: Roadview, TU Dresden)



Abbildung 20: Waldbereich (oben) und Waldmantel (unten)  
(Bildquelle: Roadview, TU Dresden)

tungsfremde Baumbestand (Bezeichnung z. B. in den Bundesländern) enthalten. Den Einzelpunkten der Bäume wurden weitere Merkmale, wie der Stammdurchmesser und ein möglicher Schiefstand, und die Eigenschaften der Baumkrone und des Kronenschlusses aufgenommen. Darüber hinaus wurden andere Hindernisse, wie Mast (N = 7.372), Widerlager (N = 184), Schutzplanken (N = 2.501) und sonstige Hindernisse (N = 4.538) mit entsprechenden Eigenschaften aufgenommen.

Die Merkmale der Datenbank der „Datenerfassung II“ entsprechen in weiten Teilen der Datenbank der „Datenerfassung I“. Zusätzliche Merkmale sind z. B. bei einer Analyse von Sichtweiten mit Berücksichtigung des Seitenraumes vorhanden, um den Einfluss der Bäume und Sträucher auf Sichtweiten zu berücksichtigen. Aufgrund der vergleichsweise geringen Gesamtlänge der Datenbank II von ca.

78 km sind darin 8.372 Bäume, 706 Sträucher, 109 Schutzplanken und 288 weitere Einzelhindernisse enthalten.

## 5.4 Teilung der Abschnitte

### 5.4.1 Netzknotenbereich und freie Streckenabschnitte

Der NKA wird nach den Elementen Netzknoten, Einflussbereich und freier Streckenabschnitt unterteilt. Als erster Schritt wurden die Längen der Netzknotenbereiche (NKB), bestehend aus dem Knotenpunkt- und Einflussbereich in Abhängigkeit von der Übergangsart und verkehrstechnischen und -regelnden Merkmalen (Tabelle 2) in Anlehnung an Berger (2016) und Bark et al. (2015) ermittelt. Hierbei wurden die Kenngrößen für die Eliminierung der Abschnitte mit innerörtlichen Straßen und deren Einflussbereich berücksichtigt.

Die Länge eines NKB hat Einfluss auf das Fahrverhalten und das Unfallgeschehen. In der Literatur findet sich keine Sicherheitsbewertung der Einflussbereiche nach Fahrtrichtung. Steinauer et al. (2009) zeigten bei einer Bewertung des Verkehrsablaufs von Streckenabschnitten und Knotenpunkten, dass neben den verkehrstechnischen und -regelnden Merkmalen auch die Fahrtrichtung eine längenbezogene Auswirkung auf das Fahrverhalten aufweist. Deshalb wird die Thematik der fahrstreifenbezogenen Ermittlung der Kenngrößen für den NKB und für den Übergang zu den innerörtlichen Straßen als offener Forschungsbedarf für weitere Untersuchungen festgestellt.

Die Teilung nach NKB und freie Streckenabschnitte sowie unter der Beachtung der innerörtlichen Straßen und deren Einflussbereiche führte in der Datenbank I zu einer Eliminierung von 2.755 Fällen mit einer fahrrichtungsbezogenen Länge von 647 km. Eine deskriptive Unfallbetrachtung dieser Fälle zeigt eine fahrstreifenbezogene Unfalldichte von  $0,31 U_{FR}(P,SS)/(km \cdot a)$ . Eine weitere Unfallbetrachtung wird aufgrund des Untersuchungsgegenstandes und sonst notwendiger Erweiterung von Merkmalen und Unfalldaten für diese Bereiche im Rahmen dieser Datenerfassung und -auswertung nicht weiter durchgeführt. In der Datenbank II wurden 108 Fälle mit einer fahrrichtungsbezogenen Länge von 26 km ausgeschlossen, unter Nutzung der gleichen Kenngrößen wie bei der Datenbank I.

## 5.4.2 Freie Streckenabschnitte und gleichartige Abschnitte

### 5.4.2.1 Allgemein

Zur Teilung der freien Streckenabschnitte – im Allgemeinen zwischen zwei Netzknoten – auf Basis des Unfallgeschehens und/oder abschnittsteilender Merkmale und Ausprägungen finden sich in der Literatur unterschiedliche Vorgaben, was die Ergebnisse der Unfallauswertung (u. a. Maier et al. 2013) maßgebend beeinflusst. Neben den oft verwendeten statischen Teilungsmethoden wird in der Literatur eine dynamische Teilungsmethode diskutiert. Bei der dynamischen Teilungsmethode (integrale Methode) im Rahmen der Sicherheitsanalyse von Straßennetzen nach ESN von Grießbach & Viehmann (2012) wird ein in der Länge definierter Abschnitt (Integral) mit einer festgelegten Schrittfolge über ein Straßennetz verschoben und für die Abschnitte das Sicherheitspotenzial berechnet. Bei den statischen Teilungsmethoden wird das Ziel verfolgt, Abschnitte zu erhalten, welche nach Maier et al. (2013) bezüglich der Merkmalausprägungen in sich annähernd gleichartig und sich dabei zu den benachbarten gegeneinander abgrenzen, sowie ausreichende Abschnittslängen und Unfallhäufigkeiten aufweisen. Die Abschnittsteilungen sind in der Literatur vielfältig, z. B. eine Einteilung auf der Basis des prognostizierten Geschwindigkeitsprofils nach Ebersbach (2005), nach Fahrbahnbreiten (Vieten et al. 2010), zulässigen Höchstgeschwindigkeiten (u. a. Maier et al. 2013), nach Kurvigkeit und Bepflanzung in Hinblick auf die vorhandene Sichtweite sowie einem freien und blickdichten Umfeld (Schulz 2012). Zur theoretischen Bestimmung von Geschwindigkeiten existieren zahlreiche Modelle, u. a. von Fitzpatrick (2000), Bakaba (2002) und Ebersbach (2005). Die Berechnung der Prognosegeschwindigkeit von Fitzpatrick (2000) stützt sich auf die Eigenschaften des Fahrbahnbandes. Der von Bakaba (2002) entwickelte Modellansatz zur Berechnung von verhaltensangepassten Fahrgeschwindigkeiten von Pkw auf einbahnig zweistreifigen Außerortsstraßen stützt sich auf die Parameter der Straßendatenbank (maßgebende Querschnitts-, Lage- und Höhenplandaten). Zur Bestimmung der Prognosegeschwindigkeiten, welche im Rahmen der Untersuchung analysiert werden, nutzt Ebersbach (2005) den Fahrertyp, die Streckengeometrie und die Umfeldbedingungen. Vor dem Hintergrund der Schwerpunktsetzung der Unfallanalyse des Einflusses der Bepflanzung auf Abschnitten und damit fester und gleichartiger Abschnitte wer-

den hier statische Teilungsmethoden als geeigneter angesehen.

Die Mindestabschnittslänge eines Abschnitts auf freier Strecke liegt in der Literatur bei 100 m. Aufgrund des Untersuchungsgegenstands wurde die Mindestlänge eines freien Streckenabschnitts für die Untersuchung auf 500 m festgelegt. Damit soll sich eine Anpassung des Fahrverhaltens an Abschnittsmerkmale einstellen, mögliche Einflüsse der Straßenbepflanzung abgebildet werden und die Problematik der Festlegung des Unfallortes, welcher bei Fahrunfällen aufgrund der Unfallabläufe über einen längeren Bereich ausgedehnt sein kann, beachtet werden.

Es wurden alle Abschnitte (ohne NKB) in beiden Datenbanken hinsichtlich möglicher Ausschlussgründe geprüft. Dazu wurden die Bilddateien der Befahrungen in den Programmen Phoros und Roadview in jeder Fahrtrichtung ausgewertet, mit den Merkmalen in der Datenbank kombiniert und auf Auffälligkeiten überprüft. Dies bedeutete im Forschungsvorhaben „Datenerfassung I“ eine Auswertung von 3.612 Abschnitten mit einer fahrtrichtungsbezogenen Gesamtlänge von ca. 3.446 km, im Forschungsvorhaben „Datenerfassung II“ eine Auswertung von 116 Abschnitten mit einer fahrtrichtungsbezogenen Gesamtlänge von 129 km.

Die Gründe für eine Eliminierung eines freien Streckenabschnittes aus der weiteren Untersuchung sind neben einer Unterschreitung der Mindestabschnittslänge eines freien Streckenabschnitts von 500 m, einer Bebauung am Abschnitt (hier: direkte Zufahrt zur Straße und Umfeldnutzung), ein plangleicher Bahnübergang, die Ausführung der Fahrbahnoberfläche in Pflaster oder die offensichtliche Realisierung einer baulichen Maßnahme wie z. B. Deckenerneuerung im Untersuchungszeitraum. Weiterhin wurden Abschnitte mit  $v_{zul.}$  unter 60 km/h (Grenze ist der Standort des Verkehrszeichens) ausgeschlossen. Diese Grenze der  $v_{zul.}$  unterscheidet sich vom Bewertungsmodell von Maier et al. (2013) ( $v_{zul.}$  unter 70 km/h). Die Abschnitte mit einer  $v_{zul.}$  von 60 km/h sollten insbesondere vor dem Hintergrund der existierenden Vorgaben in den Einsatzkriterien für Schutzeinrichtungen der RPS 2009 (FGSV 2009) in die Modellerstellung mit einbezogen werden. In der Datenbank I wurden 309 Abschnitte aufgrund der Bebauung und 519 Abschnitte aufgrund der weiteren Ausschlussgründe nicht weiter betrachtet. Weiterhin wurden bedeutende Breitenänderungen der Fahrbahn (i. d. R.

> 0,75 m) überprüft. Große Breitenänderungen stellen überwiegend nichtklassifizierte Knotenpunkte mit Abbiegefahstreifen oder anderen baulichen Gegebenheiten dar. Geringere Breitenänderungen (ohne Netzknotenteilung) sind hauptsächlich Kurvenverbreiterungen. 178 Abschnitte wurden visuell mit einem räumlichen Einflussbereich separat erfasst, weisen eine mittlere Länge von 580 m und eine fahstreifenbezogene Unfalldichte von  $0,39 U_{FR}(P,SS)/(km \cdot a)$  auf. In der Datenbank II wurden aufgrund der bereits genannten Ausschlussgründe insgesamt 30 Abschnitte aus der weiteren Betrachtung ausgeschlossen.

Es wurden weitere abschnittsteilende Merkmale hinsichtlich des Einflusses auf die Abschnittsteilung, z. B. auf die Längenentwicklung der freien Streckenabschnitte geprüft. Dabei ist anzumerken, dass die Nutzung eines Merkmals als abschnittsteilendes und nicht als beschreibendes Merkmal des Abschnittes zu unterschiedlichen Ergebnissen der Sicherheitsuntersuchungen führen kann. Den abschnittsteilenden Merkmalen wird in der Regel ein direkter Einfluss auf das Unfallgeschehen unterstellt (Maier et al. 2013).

Wegen der möglichen Notwendigkeit einer Abschnittsteilung erfolgte auch die Überprüfung des Einflusses des Merkmals der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf das Unfallgeschehen. Die Betrachtung der Auswirkungen dieses Merkmals auf eine Abschnittsteilung erfolgte fahrtrichtungs- und querschnittsbezogen oder richtungsunabhängig. Für diese Variantenüberprüfung wurde eine Datenstichprobe in Sachsen ausgewählt. Dafür standen die U(P) aus dem Unfallzeitraum von 2010 bis 2016 der Unfalltypen 1, 6 und 7 zur Verfügung. Die Unfälle der Stichprobe verteilten sich auf 11 Unfälle auf den NKB (Gesamtlänge von 15,6 km) und 68 Unfälle auf freien Streckenabschnitten (Gesamtlänge von 89,6 km).

Es wurde die Unfallhäufigkeit (mindestens 1 Unfall) und eine gruppierte zulässige Höchstgeschwindigkeit (60 - 80 km/h und 100 km/h) als zwei diskrete Merkmale auf den Abschnitten hinsichtlich der statistischen Unabhängigkeit geprüft (Nullhypothese). Die Gruppe 60 bis 80 km/h ist mit 83 % Anteil an der Abschnittsanzahl und 87 % der Abschnittslänge durch die Abschnitte mit einer  $v_{zul.}$  von 70 km/h geprägt. Im Ergebnis wird die Nullhypothese angenommen und eine Unabhängigkeit zwischen  $v_{zul.}$  und Unfällen auf den Abschnitten bestätigt, da eine statistische Unabhängigkeit (p-Wert mit 0,216 und 0,132 über dem Signifikanzniveau von 5 %) mit dem Chi-Quadrat-Test vorliegt. Bei der Nutzung des (exakteren) Tests nach Fisher wurden die Ergebnisse bestätigt (Tabelle 29). Darüber hinaus bildete sich durch die Nutzung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit als abschnittsteilendes Merkmal eine sehr hohe Anzahl an Abschnitten mit zahlreichen kurzen Längen. Obwohl bereits ein Zeitraum von 7 Jahren betrachtet wurde führt dies zu einer Vielzahl unfallfreier Fälle „Zero-Values“, was methodische Probleme (siehe Kapitel 3.2) aufwirft. Nichtsdestotrotz zeigt sich bei der Betrachtung der Zeilenprozentwerte in Tabelle 29, dass Unfälle auf Abschnitten mit einer angeordneten geringeren  $v_{zul.}$  unter 100 km/h tendenziell öfter auftreten. Dies kann wegen der Zielrichtung der Herabsetzung der  $v_{zul.}$  insbesondere aus Verkehrssicherheitsgründen als Wirkung einer reaktiven Maßnahme begründet werden. Bereits zeigte sich bei den Unfallmodellen nach Maier et al. (2012), dass die  $v_{zul.}$  keinen signifikanten Zusammenhang zu dem Unfallgeschehen aufweist. Insgesamt wird der Einfluss der  $v_{zul.}$  daher nicht als abschnittsteilendes Merkmal genutzt, sondern der Einfluss auf das Unfallgeschehen als Abschnittsmerkmal im Rahmen der Modellerstellung untersucht.

Für weitere Merkmale wie die Kurvigkeit, Schutzplanken mit einer Länge von über 100 m, das Vor-

Tab. 29: Unabhängigkeitsprüfung zwischen  $v_{zul.}$  und Unfällen

	$v_{zul.}$			
	60 - 80 km/h	100 km/h	60 - 80 km/h	100 km/h
	Mindestabschnittslänge 250 m			
Kein U(P)/7a	8 (15 %)	46 (85 %)	20 (27 %)	54 (73 %)
$\geq 1$ U(P)/7a	10 (28 %)	26 (72 %)	16 (38 %)	26 (62 %)
Anzahl Abschnitte	18	72	36	80
	Chi <sup>2</sup> = 2,269; df = 1; p = 0,132 Fisher (2-seitig): p = 0,179		Chi <sup>2</sup> = 1,534; df = 1; p = 0,216 Fisher (2-seitig): p = 0,152	

handensein eines fahrbahnbegleitenden Geh- und Radweges, Vorhandensein von Sträuchern oder die Anzahl von Bäumen konnte in der deskriptiven Unfallauswertung kein Einfluss ermittelt werden, welcher die Nutzung als abschnittsteilendes Merkmal begründet. In der Datenbank I finden sich auf ca. 19 % der freien Streckenabschnitte ein Geh- und Radweg (vor oder hinter der Straßenbepflanzung sowie im Wechsel auf dem Abschnitt). Der Einfluss des Vorhandenseins eines fahrbahnbegleitenden Geh- und Radweges (unabhängig ob vor oder hinter dem Baum) zeigt eine tendenzielle, geringe Verbesserung auf die Unfalldichte der Gesamtstichprobe der Datenbank I (ohne Geh- und Radweg:  $0,32 U_{FR}(P,SS)/(km*a)$ , mit Geh- und Radweg:  $0,27 U_{FR}(P,SS)/(km*a)$ ), aber keinen Zusammenhang mit den Unfällen mit Baumaufprall (Fahrunfall mit Art 8 und 9) auf.

Aufgrund der Analysen der allgemeinen Merkmale für die statische Teilung der freien Streckenabschnitte und aufgrund der Fragestellung und Eingrenzung der Untersuchung wird die Betrachtung auf die Merkmale der straßenbegleitenden Straßenbepflanzung fokussiert. Nachfolgend wird die Methodik der Teilung der freien Streckenabschnitte nach der Straßenbepflanzung beschrieben.

#### 5.4.2.2 Straßenbepflanzung

Der Typ der Bepflanzung ist das maßgebende abschnittsteilende Merkmal und die Abschnitte sollen

ein vergleichsweise einheitliches „Erscheinungsbild“ aufweisen. Dabei können Seitenräume ohne Straßenbepflanzung (z. B. als Feld- und Wiesenflächen) auftreten. Dabei müssen ausreichende Abschnittslängen und weitestgehend gleichartige Ausprägungen der Merkmale eingehalten werden. Falls bei einem Bepflanzungstyp deutliche Unterschiede auftreten, wie z. B. bei einer Allee mit neugepflanzten Bäumen vs. einer darauf folgenden Allee mit sehr altem Baumbestand (breiter Stammdurchmesser) wurde eine Abschnittsteilung vorgenommen. Dabei erfolgt die Zuordnung zur Straßenbepflanzung querschnittsbezogen, da eine fahrestreifenbezogene Zuordnung der Bepflanzung nicht sinnvoll erscheint. Ebenso muss die Bepflanzung auf beiden Fahrbahnseiten berücksichtigt werden, da in den Daten der amtlichen Straßenverkehrsunfallstatistik der Baum oder die Bäume, auf welche der Aufprall erfolgte, nicht nach der Fahrbahnseite registriert werden.

Die georeferenzierten Einzeldatenpunkte der Bäume mit der Eigenschaft des Typs wurden auf den NKA mit der Stationierung in dem geografischen Informationssystem QGIS® (Open Source Geospatial Foundation Projekt) visualisiert. Anschließend wurden die Bilddaten der Abschnitte in den Programmen Phoros und Roadview betrachtet. Die Abbildung 21 zeigt ein Beispiel für eine Teilung eines NKA nach NKB und Bepflanzungstyp.

Erwartungsgemäß können die freien Streckenabschnitte nicht immer einen einzigen Typ der Stra-

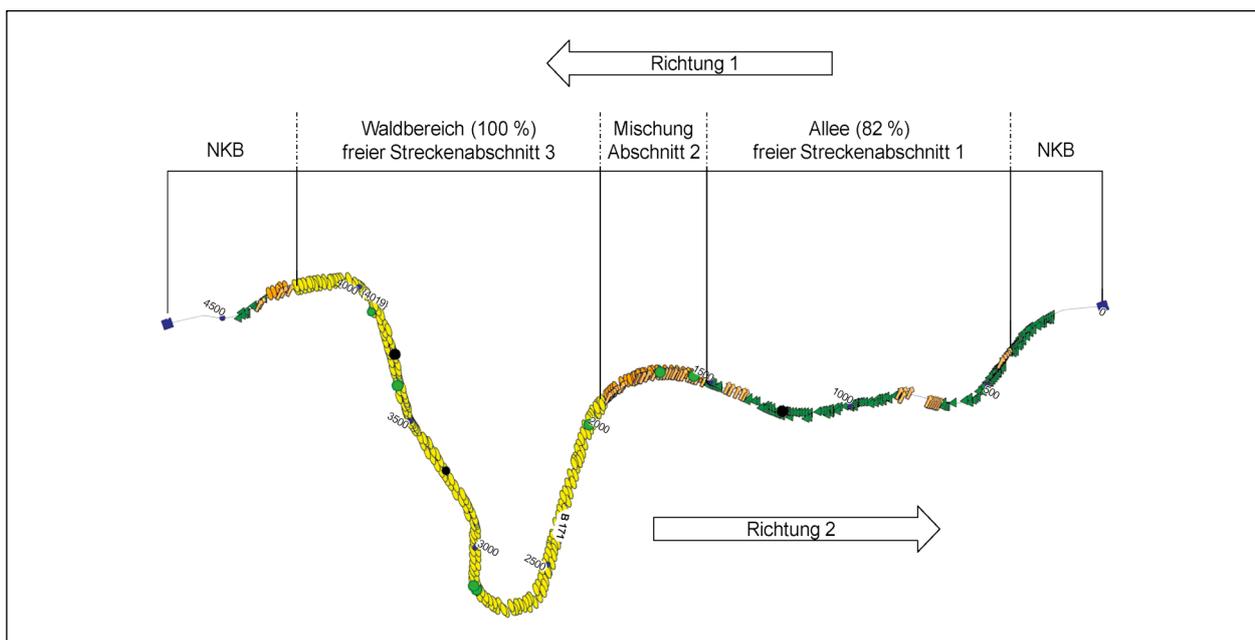


Abbildung 21: Beispiel für Teilung mit Stationierung eines NKA nach NKB, freie Streckenabschnitte sowie Bepflanzungstyp

Tab. 30: Zuordnung nach Typ der Straßenbepflanzung

Typ der Straßenbepflanzung		Differenzierung der Baumpflanzung und Wertebereiche
Einzelbäume	I	Einzelbäume $\geq 95\%$
	II	Einzelbäume $\geq 70\%$ und $< 95\%$
Baumgruppe	I	Baumgruppe $\geq 95\%$
	II	Baumgruppe $\geq 70\%$ und $< 95\%$
Baumreihe	I	Baumreihe $\geq 95\%$
	II	Baumreihe $\geq 70\%$ und $< 95\%$
Allee	I	Allee $\geq 95\%$
	II	Allee $\geq 70\%$ und $< 95\%$
Waldbereich	I	Waldbereich $\geq 95\%$
	II	Waldbereich $\geq 70\%$ und $< 95\%$
Waldmantel	I	Waldmantel $\geq 95\%$
	II	Waldmantel $\geq 70\%$ und $< 95\%$
Baumreihe und Allee		Falls keinem Typ I oder II zuordenbar und Summe von Baumreihe und Allee $\geq 70\%$
Waldbereich und -mantel		Falls keinem Typ I oder II zuordenbar und Summe von Waldbereich und Waldmantel $\geq 70\%$
Baumfreies Umfeld		Kein Baum auf Abschnitt
Mischung		Übriges

ßenbepflanzung bzw. 100 % des einen Typus auf einem freien Streckenabschnitt aufweisen. Deshalb wurde eine Zuordnung nach der Tabelle 30 entwickelt, um zwischen „reinen“ Bepflanzungsabschnitten und Mischtypen zu unterscheiden. Die Grenzen der Merkmalsausprägungen wurden so gewählt, dass annähernd gleich große Kollektivgrößen zu erwarten sind.

Die weitere Abschnittsteilung erfolgt fahrtrichtungsbezogen, insbesondere vor dem Hintergrund richtungsabhängiger Merkmale. Auf Basis dieses Vorgehens der Eliminierung von Abschnitten und der Teilung der Abschnitte stehen 2.606 fahstreifenbezogene Abschnitte mit einer Gesamtlänge von knapp 2.978 km als Gesamtstichprobe der Datenbank I zur Verfügung. Die Datenbank der Datenerfassung II enthält letztendlich 86 fahstreifenbezogene Abschnitte mit 116 km.

## 5.5 Deskriptive Analysen

### 5.5.1 Sicherheitsbewertung (Datenbank I)

#### 5.5.1.1 Allgemeine Kenngrößen

Die Unfallauswertungen beziehen sich auf die freien Streckenabschnitte zwischen den Netzknoten ohne deren Einflussbereiche der Gesamtstichprobe der Datenbank I. Betrachtet werden die Unfälle dif-

ferenziert nach der Fahrtrichtung und den differenzierten Bepflanzungstypen im Querschnitt (siehe Kapitel 5.4.2.2). Der in den Untersuchungen von Maier et al. (2013) nachgewiesene nichtlineare Zusammenhang zwischen der Unfallhäufigkeit und Expositionsdaten, wie dem DTV bleibt im Rahmen der deskriptiven Auswertung unberücksichtigt und ein linearer Einfluss wird unterstellt.

Die Tabelle 31 zeigt allgemeine Abschnittsmerkmale und Kenngrößen für die Gesamtstichprobe auf. Eine ausführlichere Tabelle mit weiteren Wertebereichen für die Merkmale enthält der Anhang (Anlage 5). Die Abschnitte weisen eine durchschnittliche Abschnittslänge von 0,71 bis 1,42 km je nach Bepflanzungstyp auf. Weitere Expositionsgrößen wie der DTV und die Fahrleistung zeigen hohe Varianzen nach den Bepflanzungstypen. Ebenso sind deutliche Unterschiede bei der Kurvigkeit zu erkennen. Die niedrigsten Kurvigkeiten finden sich bei Alleeabschnitten (I und II) und die höchsten Kurvigkeiten bei Baumgruppenabschnitten (II). Die Abschnitte mit einem Waldmantel (I und II) und die Baumgruppe (I) weisen hohe Fahrleistungen in Kombinationen mit hohen Kurvigkeiten, Singularitäten und Welligkeiten auf. Die Abschnitte mit Einzelbäumen weisen eine hohe Anzahl von 24 Bäumen/km auf. Dies wird jedoch beeinflusst von einzelnen Abschnitten, da der Median lediglich bei 6 Bäumen/km liegt. Die Abschnitte mit den Bepflanzungstypen



### 5.5.1.2 Unfallkenngrößen

Die Bewertung der Unfallkenngrößen erfolgte nach den Gleichungen in der Anlage 2. Die Gesamtstichprobe weist eine Unfalldichte aller Unfälle von  $0,28 U_{FR}(P,SS)/(km*a)$  auf den Abschnitten auf. Dieser Durchschnitt liegt auf einem vergleichbaren Niveau mit dem Gesamtunfallgeschehen von  $0,3$  bis  $0,9 U(P,SS)/(km*a)$  im Querschnitt (siehe Kapitel 4.6.5).

Die im Kapitel 4.6 betrachteten Unfallkonstellationen I bis IV weisen in der Gesamtstichprobe eine Unfalldichte von  $0,22 U_{FR}(P,SS)/(km*a)$  pro Fahrtrichtung auf. Sie liegt damit leicht über dem Wertebereich von  $0,2$  bis  $0,4 U(P,SS)/(km*a)$  für das Bundesgebiet (im Querschnitt). 78 % der Unfälle der Gesamtstichprobe sind Unfälle der vier Konstellationen und liegen deutlich über dem Bundesdurchschnitt von 45 %. Die Gesamtstichprobe ist aufgrund der Auswahl eines spezifischen Unfallgeschehens geprägt von Fahrnfällen mit Abkommen von der Fahrbahn (Typ 1, Art 8 und 9). Diese Konstellation liegt mit einem Anteil von 64 % in der Gesamtstichprobe über dem Niveau des Landstraßenunfallgeschehens (Kapitel 4.6.5). Einen geringen Anteil nehmen dementsprechend die Unfallkonstellationen II bis IV mit

einer Unfalldichte von  $0,00$  bis  $0,02 U_{FR}(P,SS)/(km*a)$  ein. 9 % der Unfälle der Gesamtstichprobe sind im Längsverkehr und Zusammenstoß mit einem entgegenkommenden Fahrzeug (Typ 6 und Art 4) geschehen. Der Anteil liegt damit im Bundesdurchschnitt ( $U(P,SS) = 10 \%$ ). 5 % sind  $U_{FR}(P,SS)$  im Längsverkehr und Abkommen von der Fahrbahn nach rechts oder links (Typ 6 und Art 8/9). Dieser Anteil liegt damit über dem Bundesdurchschnitt ( $U(P,SS) = 2 \%$ ). Der Anteil des Sonstigen Unfalls mit Abkommen von der Fahrbahn nach rechts oder links (Typ 7 und Art 8/9) liegt mit  $0,4 \%$  unter dem Bundesdurchschnitt ( $U(P,SS) = 3 \%$ ). Auch aufgrund dieser geringen Häufigkeiten werden für die Konstellationen II bis IV keine Unfallmodelle erstellt.

Die Tabelle 32 zeigt einen Überblick über die Unfälle von Typ 1 und Art 8/9 für die Gesamtstichprobe nach Abschnitten der Bepflanzungstypen. Der Anteil der  $U_{FR}(SS)$  an  $U_{FR}(P,SS)$  ist je nach Bepflanzungstyp unterschiedlich (Durchschnitt  $249 U_{FR}(SS)/1.000 U_{FR}(P,SS)$ ) und variiert von 154 für Einzelbäume (I), 157 für Baumreihen (I) zu den hohen Werten für den Waldbereich und mit 320 sowie  $364 U_{FR}(SS)/1.000 U_{FR}(P,SS)$  für das baumfreie

Tab. 32: Unfälle ( $U_{FR}$ ) und Unfallanteile für die Gesamtstichprobe nach Bepflanzungstypen (Datenbank I)

		$U_{FR}(P,SS) [U*3a]$						Ins- gesamt	Anteil $U_{FR}(P,SS)$ , Typ1, Art8/9 an Insgesamt	$\frac{U_{FR}(SS)}{1.000 U_{FR}(P,SS)}$ <sup>1)</sup>	$\frac{U_{FR}(LS)}{1.000 U_{FR}(P,SS,LS)}$
		Typ1, Art8/9									
		Gesamt	Aufprall	Baum	Schutz- planke	Weitere Hinder- nisse	Kein Aufprall				
Einzelbäume	I	26	19	12	0	7	7	42	62 %	154	395
	II	18	14	12	0	2	4	27	67 %	278	308
Baumgruppe	I	9	3	3	0	0	6	15	60 %	222	0
	II	18	18	9	1	8	0	25	72 %	167	217
Baumreihe	I	51	37	22	0	15	14	88	58 %	157	400
	II	57	43	30	3	10	14	105	54 %	263	360
Allee	I	215	196	170	9	17	19	319	67 %	223	286
	II	229	202	169	16	17	27	323	71 %	210	314
Waldbereich	I	402	324	195	53	76	70	611	66 %	276	338
	II	208	177	117	27	33	27	319	65 %	293	436
Waldmantel	I	2	1	1	0	0	1	6	33 %	0	600
	II	13	11	8	0	3	2	37	35 %	231	435
Baumreihe und Allee		63	56	41	3	12	7	92	68 %	286	411
Waldbereich und -mantel		50	38	21	3	14	12	82	61 %	320	359
Mischung		248	196	146	18	32	40	390	64 %	230	382
Baumfreies Umfeld		11	7	4	1	2	4	31	35 %	364	560
Gesamt	I	705	580	403	62	115	117	1.081	65 %	245	329
	II	543	465	345	47	73	74	836	65 %	249	372
Insgesamt		1.620	1.342	960	134	248	254	2.512	64 %	249	358

Umfeld. Das baumfreie Umfeld weist mit 35 % für die Fahrurfälle mit Abkommen einen vergleichsweise geringen Anteil am Gesamtunfallgeschehen auf den Abschnitten auf. Es stellt sich die Frage, ob die Abschnitte ein geringes Abkommenspotenzial aufweisen, welches für die Modellerstellung eine mögliche methodische Herausforderung darstellen kann. Die Betrachtung der Fahrurfälle mit Abkommen von der Fahrbahn und leichten Sachschäden (Sonstiger Unfall mit Sachschaden  $U_{FR}(LS)$ ,  $N = 905$ ) zeigt, dass Fahrurfälle mit Abkommen auf Abschnitten mit baumfreiem Umfeld ein im Vergleich mit den anderen Bepflanzungen höheren Anteil von  $560 U_{FR}(LS)/1.000 U_{FR}(P,SS,LS)$  aufweisen. Dieser höhere Anteil an leichten Sachschäden bei Fahrurfällen mit Abkommen zeigt kein geringes Abkommenspotenzial, sondern die deutlich geringere Unfallschwere bei diesen Abschnitten. Eine Berücksichtigung der  $U(LS)$  im Rahmen der Modellerstellung ist aufgrund der unzureichenden Vollständigkeit in den Bundesländern nicht möglich.

Drei Abschnitte weisen nach den Erkenntnissen aus Befahrungen ein baumfreies Umfeld auf, jedoch sind in den Unfalldaten jeweils 2  $U_{FR}(LV)$  und

$U_{FR}(SS)$  mit einem Aufprall auf einen Baum registriert. Hierfür kann es zahlreiche Gründe geben, wie z. B. der Aufprall auf einen Baumstumpf oder einen bei der Befahrung bereits entfernten Baum. Die vier Unfälle werden ohne Anpassungen in der Modellerstellung berücksichtigt.

Der durchschnittliche Fahrurfalle mit Abkommen von der Fahrbahn weist in der Datenbank I 375  $U_{FR}(SP)$  an 1.000  $U_{FR}(P,SS)$  auf (siehe Tabelle 33). Hier sind nach den Bepflanzungstypen deutliche Unterschiede von einem minimalen Wert von 91  $U_{FR}(SP)$  für das baumfreie Umfeld bis 485  $U_{FR}(SP)$  für die Allee (II) an 1.000  $U_{FR}(P,SS)$  nachweisbar. Die Abschnitte mit Baumreihen (I) mit 682 und die Allee (II) mit 556  $U_{FR}(SP)$  an 1.000  $U_{FR}(P,SS)$  zeigen eine deutliche höhere Wahrscheinlichkeit für schwere Unfallfolgen bei einem Aufprall auf einen Baum.

Die durchschnittlichen Unfallfolgen für den Aufprall an Schutzplanken und auf weitere Hindernisse liegen deutlich unter anderen Hindernisaufprallarten. Der Anteil der  $U_{FR}(SP)$  an 1.000  $U_{FR}(P,SS)$  zeigt geringere durchschnittliche Unfallfolgen mit keinem Aufprall als bei einem Baum- und Schutzplanken-

Tab. 33: Schwere Unfälle ( $U_{FR}(SP)$ ) und Unfallkosten für die Gesamtstichprobe nach Bepflanzungstypen (Datenbank I)

		$U_{FR}(SP)/1.000 U_{FR}(P,SS)^{\circ}$						Unfallkosten pro $U(P,SS)$ [Euro]	UKD <sub>FR</sub> (P,SS) [Euro*a/km]	UKR <sub>FR</sub> (P,SS) [Euro*a/10 <sup>6</sup> Kfz*km]
		Typ1, Art8/9								
		Gesamt	Aufprall	Baum	Schutzplanke	Weitere Hindernisse	Kein Aufprall	Typ1, Art8/9	Typ1, Art8/9	Typ1, Art8/9
Einzelbäume	I	308	421	500	-	-	-	94.958 €	11.314 €	7.225 €
	II	444	429	417	-	-	-	126.076 €	13.941 €	13.701 €
Baumgruppe	I	-	-	-	-	-	-	48.751 €	9.306 €	8.686 €
	II	111	111	-	-	-	-	49.084 €	22.358 €	13.311 €
Baumreihe	I	373	514	682	-	267	0	110.050 €	17.545 €	9.297 €
	II	368	326	333	-	400	500	108.453 €	14.594 €	9.147 €
Allee	I	474	474	494	-	294	474	133.386 €	27.492 €	20.620 €
	II	485	485	556	125	118	481	135.866 €	28.859 €	21.525 €
Waldbereich	I	318	330	426	208	171	229	96.723 €	18.601 €	11.122 €
	II	356	373	359	481	333	259	105.325 €	21.121 €	13.760 €
Waldmantel	I	-	-	-	-	-	-	257.168 €	14.658 €	11.919 €
	II	231	273	-	-	-	-	76.577 €	6.618 €	3.150 €
Baumreihe und Allee		413	429	488	-	83	-	118.633 €	15.423 €	12.714 €
Waldbereich und -mantel		220	263	429	-	71	83	73.534 €	13.086 €	10.246 €
Mischung		363	378	418	222	281	175	107.366 €	19.000 €	12.935 €
Baumfreies Umfeld		91	-	-	-	-	-	43.199 €	3.860 €	2.165 €
Gesamt	I	369	393	469	242	209	231	108.646 €	20.404 €	12.920 €
	II	403	406	452	319	247	392	116.669 €	21.908 €	14.866 €
Insgesamt		375	391	453	276	214	264	109.999 €	19.943 €	13.284 €

<sup>o</sup>Berechnung, falls  $U_{FR}(P,SS) \geq 10$

aufprall. Der Aufprall an Schutzplanken weist in der ausgewählten Gesamtstichprobe im Durchschnitt fast ähnliche Unfallfolgen bei der Betrachtung der  $U_{FR}(SP)/1.000 U_{FR}(P,SS)$  wie ohne Aufprall auf ein Hindernis im Seitenraum auf. Nach den Bepflanzungstypen sind dabei deutliche Varianzen erkennbar (0 bis 500  $U_{FR}(SP)/1.000 U_{FR}(P,SS)$ ). Interessant sind dabei die fast zweimal höheren Unfallfolgen zwischen Gesamt (I und II). Deshalb sind die „reinen“ Abschnitte mit Bepflanzung (Gesamt I) in der Modellerstellung separat zu betrachten.

Die Betrachtung der durchschnittlichen Kosten je Unfall in der Gesamtstichprobe, auch bei Bezug auf die Abschnittslänge sowie auf die Fahrleistung zeigen deutliche Unterschiede<sup>35</sup> nach den Bepflanzungstypen. Durch Vermeidung eines Unfalls sind durchschnittlich volkswirtschaftliche Verluste in Höhe von 110.000 Euro zu vermeiden. Bei einem Unfall auf einem Abschnitt mit einem baumfreien Umfeld ist dieser Schaden unterdurchschnittlich hoch und beträgt ca. 43.000 Euro/Unfall. Auf den Alleeabschnitten (I und II) ist er überdurchschnittlich hoch mit ca. 133.000 und 136.000 Euro/Unfall. Manche Abschnitte, wie die Baumgruppe (I), weisen ebenfalls im Vergleich geringe durchschnittliche Unfallkosten mit knapp 49.000 Euro/Unfall auf.

Die unfallschwerebezogene Kostenbewertung unter Berücksichtigung der Abschnittslänge zeigt allein für den Fahrnfall mit Abkommen von der Fahrbahn ( $U_{FR}(P,SS)$ ) mittlere Kosten von ca. 20.000 Euro/(km\*a) pro Fahrtrichtung. Hierbei weisen die Bepflanzungstypen Allee (I und II) mit über 27.000 Euro/(km\*a) die Höchstwerte auf und sind über 7 mal höher als das baumfreie Umfeld (ca. 4.000 Euro/(km\*a)). Diese Unfallkosten der Fahrnfälle mit Abkommen sind zu 71 % von Unfällen im Zusammenhang mit einem Baumaufprall geprägt (12 % ohne Aufprall, 10 % weitere Hindernisse ohne Schutzplanke und 7 % mit Schutzplankenaufprall). Abschnitte mit einem Waldbereich (ca. 19.000 bzw. 21.000 Euro), Baumreihen (ca. 17.500 bzw. 15.000 Euro) aber auch bei Einzelbäumen (ca. 11.500 bzw. 14.000 Euro) zeigen ebenfalls hohe Kostenwerte pro Jahr, Kilometer und Fahrtrichtung.

Eine Kombination der fahrleistungs- und unfallschwerebezogenen Unfallkenngrößen ( $U_{FR}(P,SS)$ ) betragen auf Abschnitten mit baumfreiem Umfeld lediglich ca. 2.000 Euro/Million Kfz\*km und auf den Alleeabschnitten (I und II) über 20.000 Euro/Million Kfz\*km pro Fahrtrichtung. Damit sind die Unfallkosten auf Alleeabschnitten 10 fach höher als ein baumfreies Umfeld. Weitere Abschnitte mit Bepflanzungstypen zeigen hohe Varianzen von ca. 3.000 Euro/Million Kfz\*km für den Waldmantel (II) bis knapp 14.000 Euro/Million Kfz\*km für den Waldbereich (II). Dies zeigt deutlich, das mögliche Verbesserungspotenzial durch einen hindernisfreien Seitenraum hinsichtlich der Landstraßensicherheit auf.

Eine Berechnung der Unfalldichten nach einer klassifizierten längsgerichteten Baumdichte<sup>36</sup> zeigt folgende Unterschiede: Die  $UD_{FR}$  liegen bei mittleren bis verdichteten Abschnitten zwischen 0,28 bis 0,31  $U_{FR}(P,SS)/(km*a)$ , bei der „weiten“ Baumdichte lediglich bei 0,22  $U_{FR}(P,SS)/(km*a)$ . Bei Unfällen mit Baumaufprall (Fahrnfall mit Art 8 und 9) werden ähnliche Tendenzen mit 0,09 bis 0,12  $U_{FR}(P,SS)/(km*a)$  der Baumdichte „mittel“ bis „sehr verdichtet“ und 0,05  $U_{FR}(P,SS)/(km*a)$  bei der „weiten“ Baumdichte.

Die Unfalldichte (Abbildung 23) der unterschiedlichen Bepflanzungsabschnitte liegt bei allen Abschnitten auf einem ähnlichen Niveau ( $UD_{FR}(P,SS) = 0,28$  pro km\*a). Die Bepflanzungstypen Einzelbaum (I und II) und der Mischtyp „Baumreihe und Allee“ liegen unter diesem Durchschnitt, weisen jedoch teilweise höhere 95%-Perzentile (Sekundärachse der nachfolgenden Diagramme) auf. Die Betrachtung der 95%-Perzentile dient der Identifikation von Extremwerten und bedeutet, dass über diesem Wert 5 % der Unfalldichten des jeweiligen Abschnitts des Bepflanzungstyps liegen. Die 95%-Perzentil-Betrachtung der  $UD_{FR}(U(P,SS))$  für den Einzelbaum (I) und Waldmantel (II) zeigt ein geringeres Niveau der Extremwerte.

Auf Basis der schweren Personenschäden für den Fahrnfall mit Abkommen von der Fahrbahn zeigt die Abbildung 24 deutlichere Unterschiede nach den Bepflanzungstypen. Die abschnittsbezogene

<sup>35</sup> Der Anhang (Anlage 2) enthält die Formeln zur Ermittlung der Unfallkenngrößen. Für die Unfallkostensätze wird auf FGSV (2017) und Lerner et al. (2012) verwiesen.

<sup>36</sup> Klasseneinteilung für die Abschnitte der Bepflanzungstypen nur mit I und II: „weit“: 0 bis 30 Bäume/km, „mittel“: 30 bis 60 Bäume/km, „verdichtet“: 60 bis 120 Bäume/km; „sehr verdichtet“: ab 120 Bäume/km.

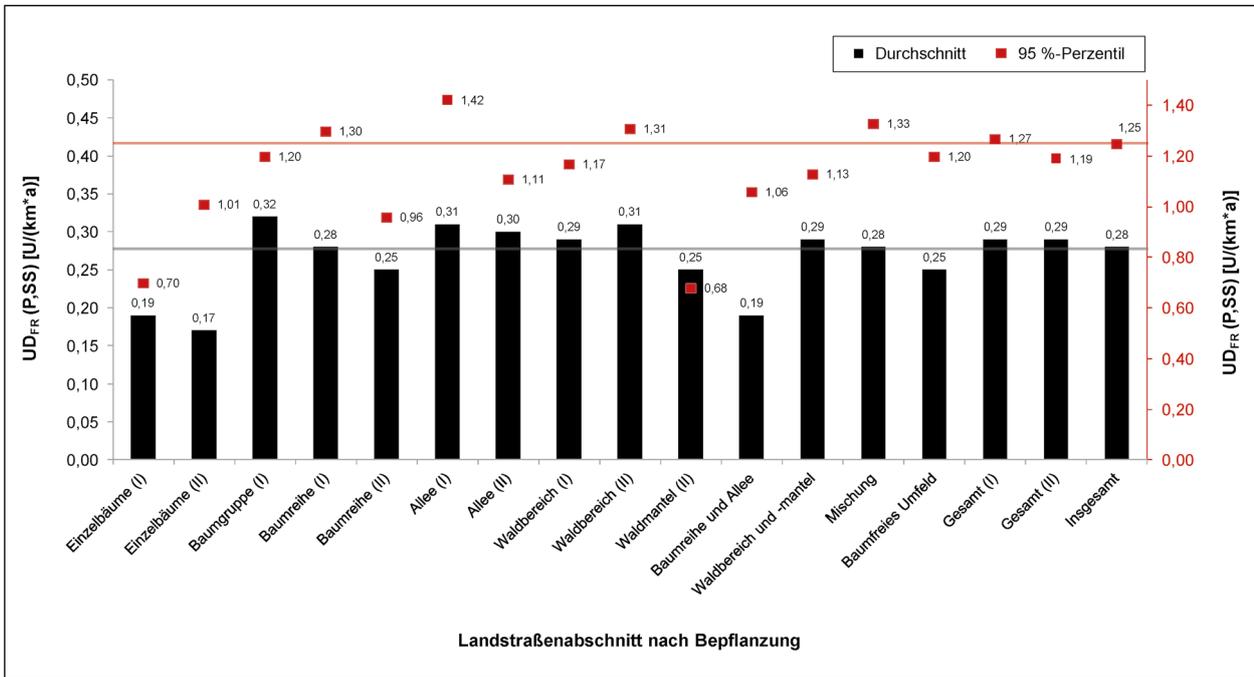


Abbildung 23:  $UD_{FR}(P,SS)$  nach Bepflanzungstypen (Datenbank I)

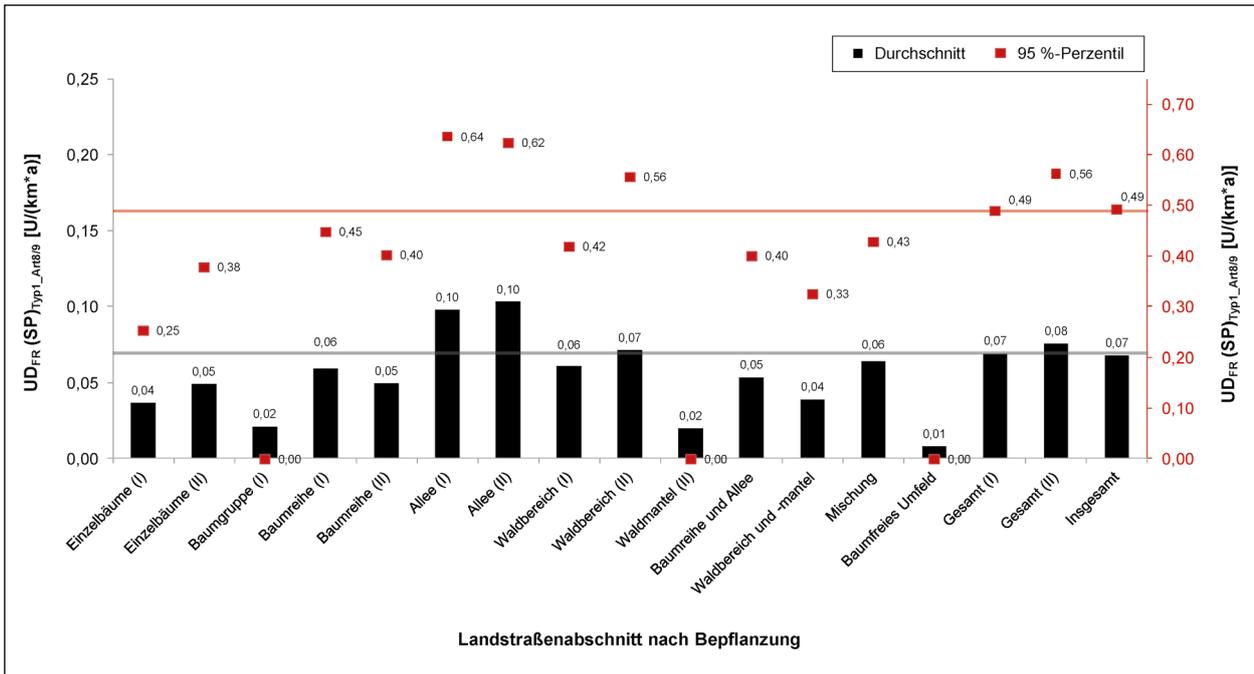


Abbildung 24:  $UD_{FR}(SP)$  der Fahrnfälle mit Abkommen von der Fahrbahn nach Bepflanzungstypen (Datenbank I)

Wahrscheinlichkeit dieser schweren Unfälle pro  $km^2 \cdot a$  ist im Durchschnitt ( $UD_{FR}(SP)_{Typ1\_Art8/9} = 0,10$ ) und bei den 95 %-Perzentilen auf Alleen (I und II) ( $UD_{FR}(SP)_{Typ1\_Art8/9} = 0,64$  bzw.  $0,62$ ) teilweise deutlicher über den anderen Bepflanzungstypen, wie der Baumgruppe (I) ( $UD_{FR}(SP)_{Typ1\_Art8/9} = 0,02$ ), der Waldmantel (II) ( $UD_{FR}(SP)_{Typ1\_Art8/9} = 0,02$ ) und

dem baumfreien Umfeld ( $UD_{FR}(SP)_{Typ1\_Art8/9} = 0,01$ ), 95 %-Perzentile alle jeweils  $UD_{FR}(SP)_{Typ1\_Art8/9} = 0,00$ .

Die differenzierte Anteilsbetrachtung der Unfalldichten (nicht dargestellt) von  $U_{FR}(SS)$  an  $U_{FR}(P,SS)$  zeigt einen Mittelwert von 16 %. Lediglich die Ab-

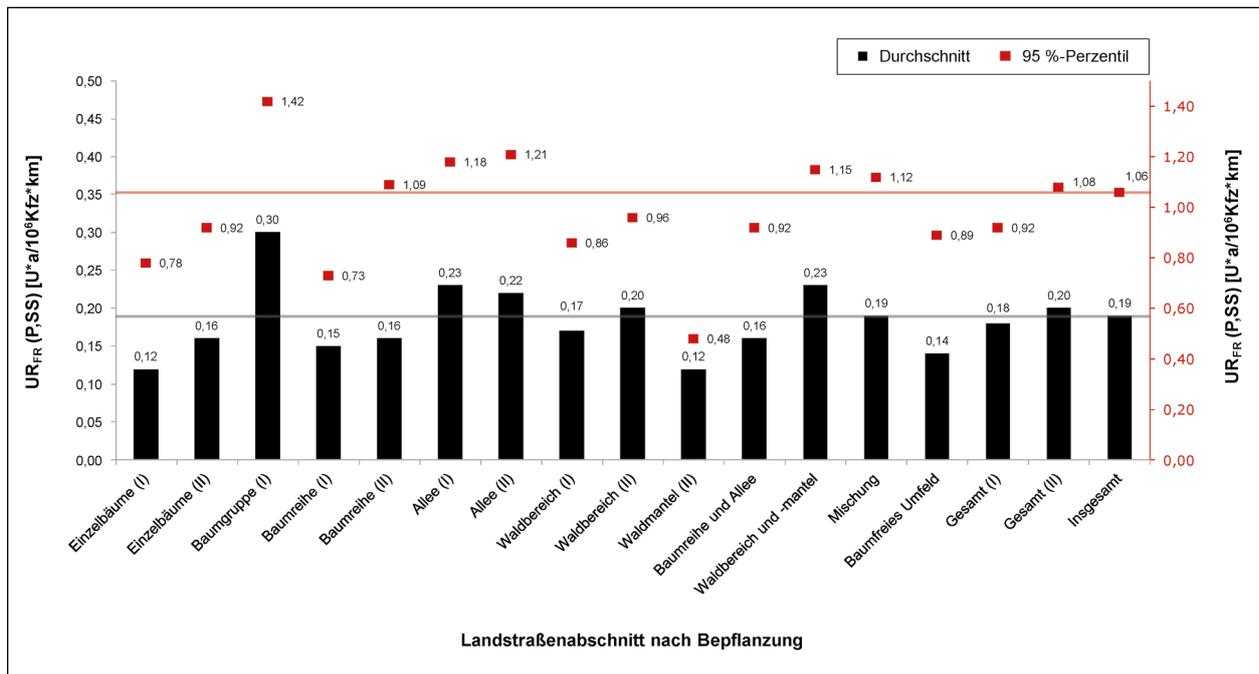


Abbildung 25:  $UR_{FR}(P,SS)$  nach Bepflanzungstypen (Datenbank I)

schnitte der Mischtypen „Baumreihe und Allee“ und „Waldbereich und -mantel“ haben leicht höhere Anteile von  $U_{FR}(SS)$  am  $U_{FR}(P,SS)$ . Hingegen haben die Abschnitte Waldmantel (II), Baumreihe (I) und Einzelbäume (I) leicht niedrige Anteile von  $U_{FR}(SS)$  an  $U_{FR}(P,SS)$ . Insgesamt lassen sich hieraus keine einheitlichen Erkenntnisse ableiten.

Die Betrachtung der Unfallraten für  $UR_{FR}(P,SS)$  zeigt deutliche Unterschiede (Abbildung 25). Die fahrleistungsbezogene Wahrscheinlichkeit ist bei der Baumgruppe (I) ( $UR_{FR}(P,SS) = 0,30$ ) am höchsten, gefolgt von mehreren Bepflanzungstypen wie die Allee (I) ( $UR_{FR}(P,SS) = 0,23$ ), „Waldbereich und -mantel“ ( $UR_{FR}(P,SS) = 0,23$ ) und Allee (II) ( $UR_{FR}(P,SS) = 0,22$ ). Interessanterweise hat die Allee trotz vergleichsweise geringer Singularitäten (siehe Tabelle 31), welche laut der Literatur (siehe Kapitel 2.5.1) einen hohen Einfluss auf die Unfallhäufigkeit von Fahrunfällen hat, diese hohe Unfallkenngröße. Geringe Unfallraten weisen das baumfreie Umfeld ( $UR_{FR}(P,SS) = 0,14$ ), Einzelbäume (I) ( $UR_{FR}(P,SS) = 0,12$ ) und der Waldmantel (II) ( $UR_{FR}(P,SS) = 0,12$ ) auf. Die Extremwerte werden bei der Baumgruppe (I) ( $UR_{FR}(P,SS) = 1,42$ ) sowie auf der Allee (I) ( $UR_{FR}(P,SS) = 1,18$ ) und Allee (II) ( $UR_{FR}(P,SS) = 1,21$ ) registriert.

Die fahrleistungsbezogene Unfallwahrscheinlichkeit für einen Fahr Unfall mit einem schweren Personenschaden (Abbildung 26) zeigt neben den deutlichen

Unterschieden in den Mittelwerten nach den Bepflanzungstypen auch deutliche Unterschiede bei der 95 %-Perzentil-Betrachtung. Hier zeigen das baumfreie Umfeld ( $UR_{FR}(SP)_{Typ1\_Art8/9} = 0,00$ ) und der Waldmantel (II) ( $UR_{FR}(SP)_{Typ1\_Art8/9} = 0,01$ ) ein sehr geringes fahrleistungsbezogenes Risiko. Hingegen zeigen die Allee (I und II) neben den sehr hohen durchschnittlichen fahrleistungsbezogenen Risiken ( $UR_{FR}(SP)_{Typ1\_Art8/9} = 0,07$  bzw.  $0,08$ ) hohe Extremwerte ( $UR_{FR}(SP)_{Typ1\_Art8/9} = 0,68$  bzw.  $0,58$ ). Die weiteren Bepflanzungstypen zeigen bei den Unfallraten ein ähnliches durchschnittliches Niveau.

Die deskriptiven Unfaalauswertungen zeigen deutlich, dass es auffällige und/oder unauffällige Bepflanzungstypen hinsichtlich der Unfallhäufigkeit und -schwere bzw. der Unfallkenngrößen auf Landstraßen gibt. Ein eher unauffälliger Bepflanzungstyp ist der Waldmantel (II) mit vergleichsweise geringen Unfallkosten (bei Fahrunfällen mit Abkommen von der Fahrbahn). Mit höheren Unfallkosten, dennoch im unteren Bereich liegenden abschnitts- und fahrleistungsbezogenen Unfallkenngrößen zeigt sich der Einzelbaum (I). Insgesamt zeigen die Abschnitte mit baumfreiem Umfeld Unfallkenngrößen im unteren Wertebereich (außer bei  $UD_{FR}(U(P,SS))$ ) und die mit Abstand geringsten Unfallkosten. Die Abschnitte mit Allee (I, II) und der Waldbereich (II) sind die auffälligsten Bepflanzungstypen. Dabei zeigt die Allee die höchsten Unfallkosten. Die Abschnitte mit

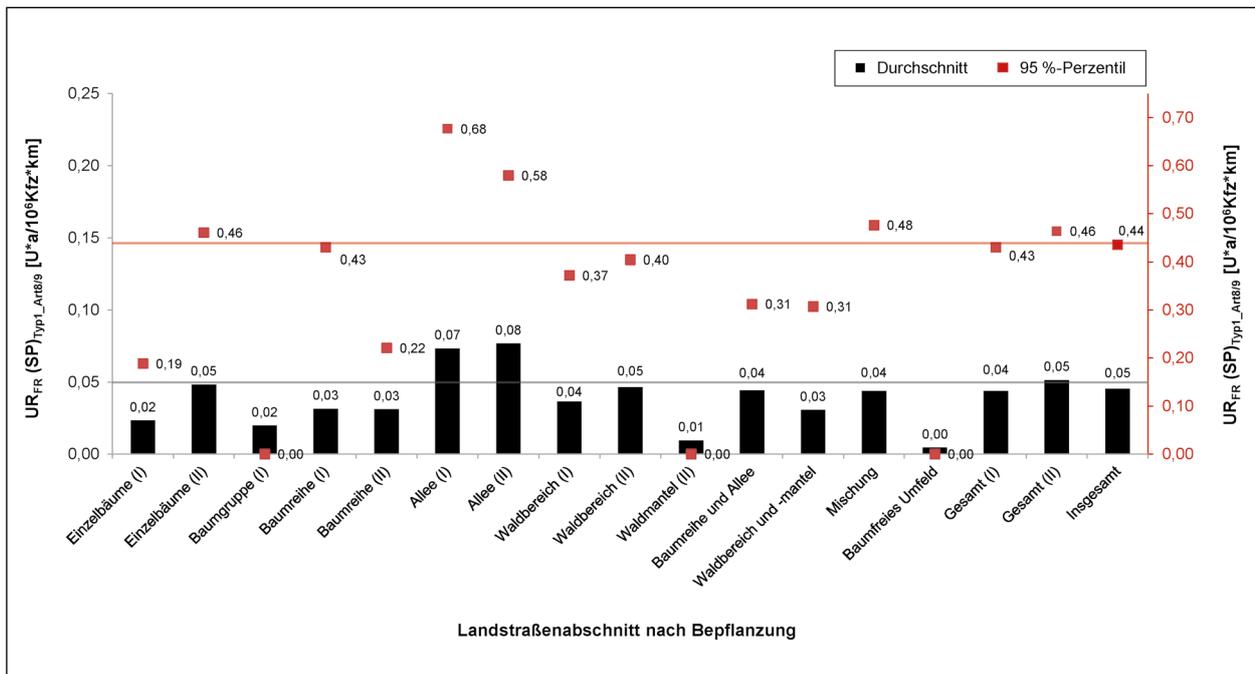


Abbildung 26:  $UR_{FR}(SP)$  der Fahrnfälle mit Abkommen von der Fahrbahn nach Bepflanzungstypen (Datenbank I)

weiteren Bepflanzungstypen zeigen bei den Unfallkenngrößen heterogene Ergebnisse, allerdings immer verbunden mit hohen Unfallkosten.

Anhand der Auswertungen konnte gezeigt werden, dass es einen deutlichen Zusammenhang zwischen der fahrleistungsbezogenen Abkommenshäufigkeit und der Straßenbepflanzung gibt. Die Gesamtunfallrate ist auf fast allen Bepflanzungstypenabschnitten über denen eines baumfreien Umfeldes. Der in der Literatur genannte positive Einfluss (z. B. der Leitwirkung) von bestimmten Bepflanzungstypen und eine mögliche angepasste Fahrweise zeigen sich nicht im Unfallgeschehen. Allerdings ist der deutliche Einfluss auf die höheren Unfallfolgen der Bepflanzungsabschnitte im Vergleich zum baumfreien Umfeld zu erkennen. Damit könnte manchen Bepflanzungstypen, wie beispielsweise Abschnitten mit Allees, ein unfallbegünstigender und -auslösender Hintergrund zugerechnet werden, welches im Rahmen der Erstellung der Unfallmodelle näher untersucht werden soll.

Für die Modellerstellung ergeben sich die Folgerungen, wie der Fokus auf die Unfalltyp und -art Kombination „Fahrnfall mit Abkommen von der Fahrbahn“ und damit ein Unfallmodell für Abkommensunfälle. Dabei ist eine Differenzierung nach den Unfallfolgen (hier für schwere Unfälle) sinnvoll. Eine Berücksichtigung von U(LS) bei der Modellerstellung ist in dieser Untersuchung aufgrund der unzureichenden Vollständigkeit in den Bundesländern

nicht zweckmäßig. Weitere Merkmale mit einem möglichen Zusammenhang auf die Abkommenshäufigkeiten werden im Rahmen der Modellerstellung ermittelt.

### 5.5.2 Unfallentstehung und Verletzungsschweren (Datenbank II)

Es stellt sich die Frage, ob neben den Erkenntnissen im Kapitel 4 weitere mesoskopische Angaben zu Unfallszenarien, -abläufen und -ursachen mithilfe der Datenbank des Forschungsvorhabens „Datenerfassung II“ aufgezeigt werden können. Dabei stand die Auswertung nach den grundsätzlichen Phasen im komplexen System der Unfallentstehung (vgl. Kapitel 2.8.1), wie das Verhalten des Fahrzeugführers in der Fehler- und Gefahrensituation sowie zusätzlicher Erkenntnisse zur Verletzungsschwere der Fahrzeuginsassen (Unfallsituation bzw. Schadensereignis) im Vordergrund. Für derartige mesoskopische Erkenntnisse können neben der verwendeten GIDAS-Datenbank, die Unfallhebungen der Automobilhersteller, die unfallanalytischen Gutachten der DEKRA oder die Unfalldatenbank der Versicherer genutzt werden<sup>37</sup>.

<sup>37</sup> Alle Datenbanken sind nicht frei verfügbar.

Im Rahmen der Datenaufbereitung standen knapp 150 Merkmale aus der GIDAS-Datenbank oder darauf aufbereiteten Merkmale für deskriptive Analysen und lineare Regressionsmodelle auf Unfallebene zur Verfügung. Der Fokus wurde auf 63 Pkw-Fahrerunfälle mit Abkommen von der Fahrbahn nach rechts und links und Aufprall auf einen oder mehrere Bäume auf den freien Streckenabschnitten als Primärstichprobe gelegt. 17 Sonstige Unfälle mit Abkommen von der Fahrbahn nach rechts und links ebenfalls auf den ausgewählten Abschnitten sind in die Analyse einbezogen<sup>38</sup>. Eine Vergleichsstichprobe mit 393 Fahrernfällen und 56 Sonstigen Unfällen wurde mit den oben genannten Eingrenzungen von Unfalltyp und -art genutzt (Tabelle 34). Die hier verwendeten Abschnitte sind nicht Teil der Gesamtstichprobe der Datenbank II.

#### 5.5.2.1 Unfallablauf und -szenarien

Die 80 Unfälle der Primärstichprobe können nach 4 typischen Szenarien (Abbildung 27) hinsichtlich der Unfallentstehung und -abläufe charakteristisch differenziert werden. Das Fahrzeug prallt mit 88 % in der Primärkollision an einen Baum und mit 44 % in der Sekundärkollision an einen Baum bzw. weiteren Baum. Dabei unterscheiden sich die Szenarien nach der Örtlichkeit „Gerade“ oder „Kurve“ sowie möglichst nach der Kinematik des Unfalles<sup>39</sup>. Weiterhin unterscheiden sich bei den Szenarien 3 und 4 („Gerade“) die Unfallursache des Abkommens und bei Szenarien 1 und 2 („Kurve“, jeweils in Links- und Rechtskurven) nach dem Abkommen (Kurvinnen- oder -außenseite). Szenario 1 weist ein übersteuerndes Fahrzeugverhalten abweichend vom gewünschten Kurs auf. Das Fahrzeugheck bricht in Richtung der Kurvenaußenseite aus, kommt in der Kurveninnenseite ab und prallt im Seitenraum an mindestens einen Baum. Häufigste Ursache ist ein zu starker Lenkeinschlag bei gleichzei-

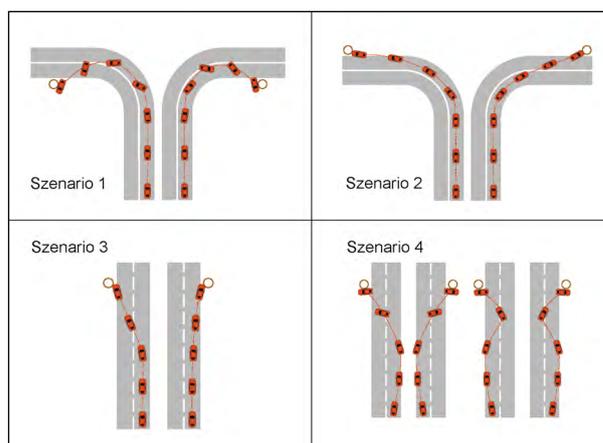


Abbildung 27 : Unfallszenarien von Fahrernfällen mit Abkommen von der Fahrbahn und Aufprall auf einen Baum (Pkw-Fahrerichtung von Süd nach Nord, Bilder aus Ziegler et al. 2017)

tig zu hoher Fahrzeuggeschwindigkeit/-beschleunigung. Ein Fahrzeugantrieb am Heck tendiert eher zum Übersteuern. Begünstigende Unfallumstände sind neben ungünstigem Fahrbahnzustand (Nässe und Glätte) die Beschaffenheit z. B. der Reifen an der Hinterachse oder eine zu geringe Hinterachslast. Das Szenario 2 wird durch ein Untersteuern des Fahrzeuges und dem Abkommen der Pkw zur Kurvenaußenseite beschrieben. Eine unzureichende Lenkreaktion, Unaufmerksamkeit oder Ablenkung in Verbindung mit der Ursache „Geschwindigkeit in anderen Fällen“ begünstigt das Untersteuern. Auf der Geraden sind beim Szenario 3 Unaufmerksamkeit oder Ablenkung, körperliche Mängel (Herzinfarkt, Schlaganfall) und beim Sonstigen Unfall zusätzlich Wildwechsel Hauptursachen und führen zum Abkommen von der Fahrbahn. Beim Szenario 4 versucht der Fahrer das Fahrzeugverhalten nach dem Abkommen – verursacht durch Unaufmerksamkeit oder Ablenkung und nicht durch ein primäres kritisches Fahrzeugmanöver oder körperliche Mängel – zu korrigieren. Dabei kommt es zu einer heftigen Lenkreaktion, kommt wiederum von der Fahrbahn ab und prallt gegen mindestens einen Baum (Ziegler et al. 2017).

Die Tabelle 34 zeigt die Verteilung der Unfälle der Stichproben nach den Szenarien. Das Szenario 2 mit einem Aufprall in der Kurvenaußenseite weist einen hohen Anteil in der Primärstichprobe auf. Weiterhin konzentriert sich der Unfalltyp 7 auf die Örtlichkeit „Gerade“. Die Unfallkategorie nach Szenarien ist tendenziell unterschiedlich. Die Szenarien 1 und 2 (Unfalltyp 1 und 7) sind mit einem Anteil von 76 % ein Unfall mit Schwerverletzten und Getöteten, die Szenarien 3 und 4 mit 63 %. Die Unfälle mit

<sup>38</sup> Weitere 12 Unfälle der Unfalltypen 1, 6 und 7 weisen einen Aufprall auf eine Schutzplanke auf. 14 Unfälle weisen eine Verkehrsbeteiligung Lkw oder motorisiertes Zweirad und/oder mit Unfalltyp 6 sowie Unfalltyp 1 mit Unfallart 10 auf.

<sup>39</sup> Merkmale „Unfallhergang“, „Unfallstelle im Straßennetz“, „Instabiler Fahrzustand vor Unfall“, „Schwimmwinkel“, „Lenken bei Sequenz“ usw. Die Einteilung nach dem Szenarien wurden von Ziegler et al. (2017) nach den Vorgaben des Autors vorgenommen, da u. a. ein Abgleich mit den Unfalltexten vorgenommen werden musste. Dies war aus datenschutzrechtlichen Angelegenheiten nicht möglich.

Tab. 34: Verteilung der Pkw-Unfälle mit Abkommen von der Fahrbahn und Aufprall auf einen Baum nach Unfallszenarien 2005 bis 2015 (Datenbank II)

Unfallszenario	Typ 1 und Art 8/9		Typ 7 und Art 8/9	
	Primärstichprobe	Vergleichsstichprobe	Primärstichprobe	Vergleichsstichprobe
1	16	393	2	56
2	27		0	
3	10		13	
4	10		2	
Summe	456		73	

Getöteten U(GT) sind mit 7 Getöteten deutlich höher als bei den Szenarien 1 und 2 (2 U(GT)).

Die Unfalltypen 1 – Fahrurfälle und 7 – Sonstiger Unfall unterscheiden sich deutlich in der Phase vor der Kollision und damit in der Fehler- und Gefahrensituation. 70 % der Typ 7-Unfälle und lediglich 29 % Typ 1-Unfälle weisen einen instabilen Fahrzustand, wie Über- und Untersteuern vor der 1. Kollision auf. Bei 20 % der Typ 1-Unfälle findet ein Überschlag des Fahrzeuges vor oder in der Folge der Kollision/Kollisionen statt. Beim Unfalltyp 7 sind es hingegen nur 10 %. Die 529 Unfälle beider Stichproben liegen mit 21 % auf Bundesstraßen und mit 39 % und 40 % auf Kreis- oder Landes-/Staatsstraßen und damit mit einem hohen Anteil im nachgeordneten Straßennetz. Das Unfallmerkmal „Niederschlag“ zum Zeitpunkt der Unfallereignisse zeigt Unterschiede. Bei den Unfällen in der „Kurve“ (Szenarien 1 und 2) zeigt sich ein Niederschlag (Regen, Schnee) mit 27 %. Bei den Szenarien 3 und 4 ist ein Niederschlag mit 20 % zu finden. Ein Kronenschluss der gegenüberliegenden Bäume über der Fahrbahn ist bei 63 % der Unfälle in der Primärstichprobe zu finden.

### 5.5.2.2 Geschwindigkeiten

Die Ausgangsgeschwindigkeit<sup>40</sup> ( $v_0$ ) der verunfallten Pkw vor jedem Unfallvorgang sind in den Primärstich- und Vergleichsstichproben mit 24 % unter 60 km/h, zwischen 60 und unter 80 km/h mit 40 %, zwischen 80 und unter 100 km/h mit 26 % sowie 9 % mindestens 100 km/h. Die  $v_{85}$ <sup>41</sup> für  $v_0$  beträgt ca. 93 km/h. Bei der  $v_0$  zeigen sich tendenzielle Un-

terschiede, je nach Unfalltyp und Szenario (Abbildung 28). Insgesamt weist der Unfalltyp 1 im Vergleich zum Unfalltyp 7 ein höheres Ausgangsniveau der  $v_0$  und Kollisionsgeschwindigkeit ( $v_K$ ) auf. Das Szenario 1 im Unfalltyp 1 ( $N = 16$ ) ist ein Sonderfall und weist tendenziell eine geringere durchschnittliche  $v_0$  auf, welches nicht auf die Örtlichkeit „Kurve“ sondern auf das übersteuernde Fahrzeugverhalten zurückzuführen ist.

Die Kollisionsgeschwindigkeit (Abbildung 28) ist in dieser Auswertung die Aufprallgeschwindigkeit an den (ersten) Baum im Unfallablauf. Die Kollisionsgeschwindigkeiten von dem Szenario 1 (Typ 1 und 7) liegen immer bei  $\leq 80$  km/h. Die weiteren Konstellationen weisen im Vergleich der Kollisionsgeschwindigkeiten einen ähnlichen Verlauf auf. Der Median liegt insgesamt bei 54 km/h, das 0,75-Quantil bei 68 km/h und das 0,90-Quantil bei 80 km/h.

Der Vergleich der  $v_0$  und der zulässigen Höchstgeschwindigkeiten ( $v_{zul.}$ ) in der Unfall-Rekonstruktion zeigt, dass bei 20 % der Unfälle eine Fahrgeschwindigkeit über der  $v_{zul.}$  vorliegt. Bei den Szenarien 1 und 2 („Kurve“,  $N = 45$ ) liegt mit 31 % die Ausgangsgeschwindigkeit über der  $v_{zul.}$ , bei den Szenarien 3 und 4 („Gerade“,  $N = 33$ ) liegt diese Überschreitung bei 15 %. Dies kann auf eine zu geringe  $v_{zul.}$  für die Kurve oder in der Unfallsituation auf eine zu geringe Erkennbarkeit der Kurven oder des Kurvenverlaufs hinweisen. Im Rahmen einer linearen Regression zeigten sich mit einem Bestimmtheitsmaß  $R^2$  von 0,0008 keine signifikanten Zusammenhänge zwischen  $v_0$  und  $v_{zul.}$ .

<sup>40</sup> Die Ausgangsgeschwindigkeiten werden im Rahmen der Unfallrekonstruktion abgeschätzt.

<sup>41</sup> Die  $v_{85}$  ist die Geschwindigkeit, welche von 85 % der Fahrzeuge nicht überschritten wird.

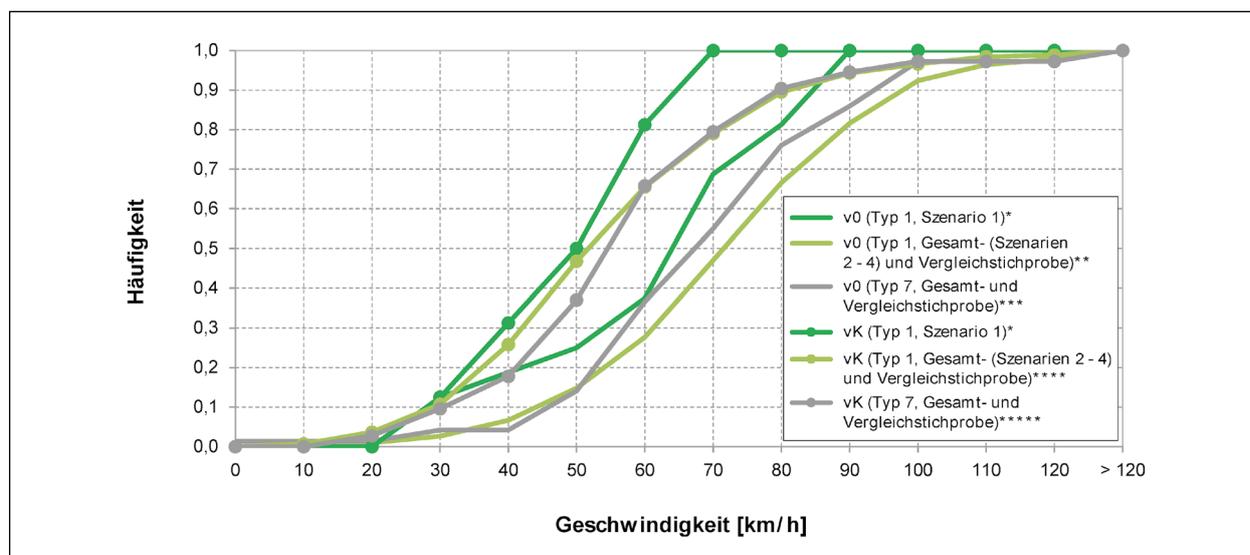


Abbildung 28: Absolute Geschwindigkeiten (Ausgangsgeschwindigkeit  $v_0$ , Kollisionsgeschwindigkeit  $v_K$ ), dargestellt als kumulierte relative Häufigkeit (Funktion der Geschwindigkeit), \*N = 16, \*\*N = 419, \*\*\*N = 71, \*\*\*\*N = 438, \*\*\*\*\*N = 73 (Datenbank II, ohne  $v_0$ ,  $v_K$  unbekannt)

Tab. 35: Unfälle nach  $v_{zul}$ , sowie Vergleich der Ausgangsgeschwindigkeit und  $v_{zul}$ . (Datenbank II)

	$v_{zul}$				
	< 60 km/h	60 oder 70 km/h	80 km/h	100 km/h	120 km/h
U(P)/11a*	18	120	23	358	2
$v_0 > v_{zul}$ . **	94 %	44 %	22 %	7 %	0 %
* ohne $v_{zul}$ , unbekannt					
** ohne $v_0$ und $v_{zul}$ , unbekannt					

### 5.5.2.3 Unfallfolgen

Die Analyse des Zusammenhanges zwischen der Kollisionsgeschwindigkeit und dem Maß an Deformationsarbeit am Fahrzeug (Energy Equivalent Speed [km/h] nach GIDAS) ergab einen signifikanten Zusammenhang ( $R^2$  von 0,511, N = 526), auch bedingt durch die Unfallrekonstruktion. Ebenso ergab sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Kollisionsgeschwindigkeit und der gemessenen maximalen Deformationstiefe am Fahrzeug mit einem  $R^2$  von 0,319 (N = 526). Die Zusammenhänge spiegeln sich bei der Betrachtung der Szenarien in Verknüpfung mit der Verletzungsschwere nach der Maximum Abbreviated Injury Scale (MAIS, maximale Verletzungsschwere AIS) wider (Definition von MAIS siehe z. B. Auerbach et al. 2009). Die Verletzungsschwere MAIS wird aus der internationalen Codierung aller Verletzungen nach dem Abbreviated Injury Scale (AIS) berechnet und bewertet u. a. die Überlebenschancen. Die Verletzungsskala des MAIS weist einen Bereich von 0 (unverletzt) bis 6 (nicht behandelbar) auf. Das Szenario

1 weist im Durchschnitt einen leicht geringeren MAIS (MAIS jeweils für Fahrer und für alle Personen im Fahrzeug) von 1,7 zu 1,8 (Szenarien 2 bis 4) auf. Der MAIS (Fahrer) liegt für alle Primärstich- und Vergleichsstichproben bei 1,7 und bei 1,8 für alle Personen im Fahrzeug. Bei 6 % der Unfälle liegt der MAIS der Mitfahrer über dem des Fahrers. In den verunfallten Pkw befinden sich zu 76,6 % nur der Fahrer, bei 14,7 % insgesamt zwei Personen und bei 8,7 % drei und mehr Personen im Fahrzeug (N = 529).

Die Primärstichprobe (Szenario 1 bis 4) zeigt für das Maß an Deformationsarbeit am Fahrzeug Mittelwerte von 36 km/h und für die gemessene maximale Deformationstiefe am Fahrzeug von 51 cm (N = 80). Hierbei zeigt das Szenario 1 unterdurchschnittliche Werte von 27 km/h und 41 cm, obwohl hier der Anteil der Unfälle mit Schwerverletzten und Getöteten besonders hoch ist. Die Szenarien 2 und 4, welche durch den Unfalltyp 1 geprägt sind, weisen eine durchschnittliche Deformationsarbeit mit 36 und 38 km/h auf. Die Deformationsarbeit ist mit

41 km/h im Szenario 3 am höchsten. Die Deformationstiefe ist bei den Szenarien 2 bis 4 hoch (55 cm bis 52 cm), welche mit den vergleichsweise hohen Kollisionsgeschwindigkeiten in Verbindung gebracht werden kann. Eine lineare Regression zeigt, dass ein signifikanter Zusammenhang zwischen den Szenarien und dem Maß an Deformationsarbeit ( $N = 80$ ) besteht, jedoch mit einem geringen  $R^2$  von 0,049 und einer sehr geringen Effektstärke. Die Regressionsbetrachtung zwischen den Szenarien und der Deformationstiefe zeigt keinen signifikanten Zusammenhang.

Erkenntnisse zu den allgemeinen schweren Unfallfolgen von Unfällen mit einem Aufprall auf einem Baum sind hinreichend bekannt und im Kapitel 4 dargelegt. Aufbauend auf den Erkenntnissen zur Unfallschwere ist eine Betrachtung der MAIS im Vergleich zu weiteren Merkmalen interessant. Im Rahmen linearer Regressionsrechnungen zeigen sich mit einem  $R^2$  von 0,067 und 0,078 signifikante Zusammenhänge zwischen den Merkmalen Kollisionsgeschwindigkeit und MAIS (Fahrer und Personen im Fahrzeug,  $N = 463$ ). Die Abbildung 29 zeigt, dass bei den Kollisionsgeschwindigkeiten bis 50 km/h der MAIS 0 (unverletzt) und MAIS 1 (gering verletzt) bei 71 % liegt, bei 29 % der Unfälle werden mindestens ernsthafte Verletzungen (MAIS 2+) registriert. Diese Geschwindigkeiten stellen 40 % der Unfälle der Primärstich- und Vergleichsstichproben dar. Hierbei liegen bei jedem zehnten Unfall bereits schwere oder bedeutende Verletzungen (MAIS 3 oder 4), jedoch selten kritische (MAIS 5) oder nicht behandelbare Verletzungen vor. 34 % der Unfälle sind in einem Bereich der Aufprallgeschwindigkei-

ten auf einen Baum von 50 bis 65 km/h. Dabei gibt es bei 12 % der Unfälle MAIS 3 oder 4 sowie 8 % MAIS 5 oder 6. Damit werden bei jedem vierten Unfall bei Kollisionsgeschwindigkeiten zwischen 50 und 65 km/h ernsthafte Verletzungen sowie bei jedem fünften Unfall mindestens ein Schwerstverletzter (MAIS 3+) registriert. Ab Kollisionsgeschwindigkeiten von 66 km/h liegt die Verteilung der MAIS auf einem vergleichbaren Niveau und das Verletzungsrisiko für schwerste Verletzungen (MAIS 3+) liegt bei durchschnittlich 38 % und für MAIS 5 oder 6 bei 10 %. Ab Kollisionsgeschwindigkeiten von über 65 km/h endet jeder zweite Unfall mit mindestens ernsthaften Verletzungen einer Person.

Für die Stichproben kann kein Zusammenhang ( $R^2$  von 0,004,  $N = 446$ ) von dem Abstand des Baumes von der Fahrbahn auf die höchste Verletzungsschwere der Personen im Fahrzeug (MAIS im Fahrzeug) ermittelt werden. Mit einer Erhöhung des Abstandes des Baumes von der Fahrbahn sinkt die Kollisionsgeschwindigkeit signifikant ( $R^2$  von 0,017,  $N = 505$ ). Mit einem Abstand von 2 m ergibt sich eine theoretische durchschnittliche Aufprallgeschwindigkeit auf einen Baum von 56 km/h, bei 4 m von 51 km/h und bei 8 m von 44 km/h. Diese Aussagen bestätigen sich bei der Betrachtung der Auswirkungen auf das Fahrzeug, hinsichtlich der Deformationsarbeit am Fahrzeug und der maximalen Deformationstiefe. Die Deformationsarbeit und die Deformationstiefe haben eine signifikante Abhängigkeit vom Abstand des Baumes von der Fahrbahn ( $R^2$  von 0,013,  $N = 505$  und  $R^2$  von 0,010,  $N = 507$ ). Das bedeutet bei einer Zunahme des Baumabstandes um einen Meter eine Verringerung der Deformationsar-

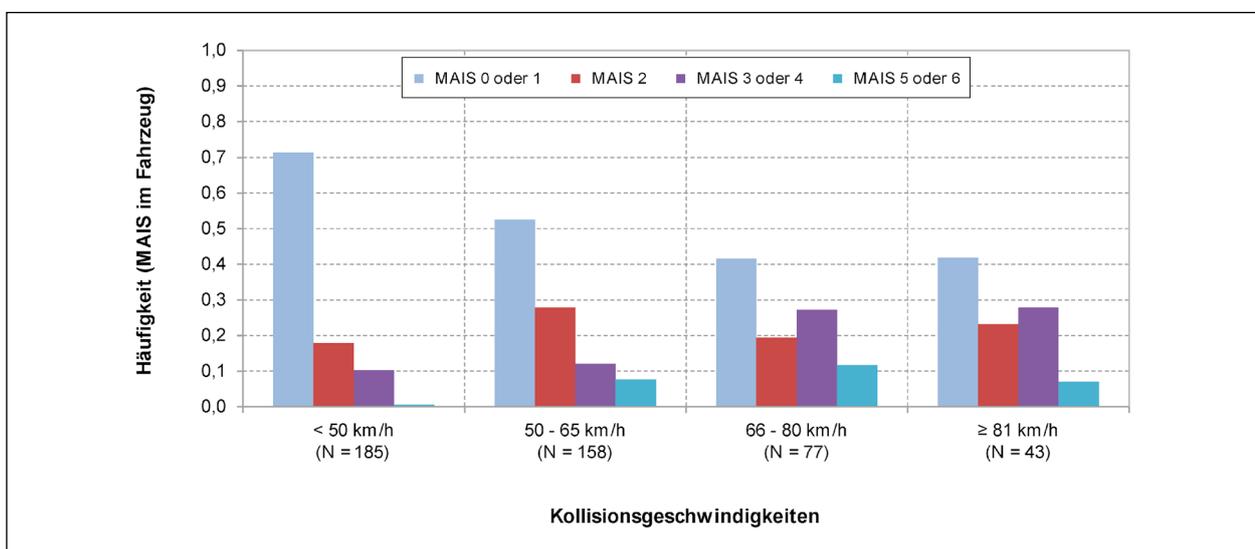


Abbildung 29: Vergleich Kollisionsgeschwindigkeiten und MAIS im Fahrzeug,  $N = 463$  (Datenbank II, ohne  $v_k$ , MAIS unbekannt)

beit um 3 % und der Deformationstiefe am Fahrzeug um 4 bis 5 %, aber kein nachweisbarer Rückgang für MAIS bei vergleichsweise hohen Kollisionsgeschwindigkeiten.

Der Durchmesser des Baumes hat einen signifikanten Einfluss auf die höchste Verletzungsschwere der Personen im Fahrzeug (MAIS im Fahrzeug) mit  $R^2$  von 0,011 ( $N = 443$ ). Bei einem Durchmesser des Baumes von 25 cm liegt der theoretische durchschnittliche MAIS im Fahrzeug bei 1,7, bei einem Durchmesser von 50 cm bei 1,9 sowie bei 100 cm bei 2,1. Der Durchmesser des Baumes hat einen signifikanten Einfluss auf die Deformationsarbeit und die Deformationstiefe am Fahrzeug ( $R^2$  von 0,020,  $N = 500$  und  $R^2$  von 0,017,  $N = 502$ ). Dieser zeigt bei einem Durchmesser des Baumes von 25 cm Deformationsarbeit von 36 km/h, bei 50 cm 40 km/h und bei 100 cm 46 km/h. Die Deformationstiefe ist bei einem Baumdurchmesser von 25 cm bei 49 cm, bei 50 cm bei 54 cm und bei 100 cm bei 64 cm.

### 5.5.3 Sichtweiten (Datenbank II)

Die Merkmale der Sichtweiten mit Berücksichtigung des Seitenraumes (Bäume und Sträucher) sind nur in der Datenbank der Datenerfassung II enthalten und können deshalb nicht im Rahmen der Modellerstellung (Kapitel 6) berücksichtigt werden. Nach den Erkenntnissen der Literaturrecherche führen Sichtweiten unter 100 m zu einem Anstieg der Unfallhäufigkeit auf Landstraßenabschnitten und unter 200 m zur Verunsicherung und erhöhter Beanspruchung sowie zu einem potenziell gefährlichen Fahrverhalten. Hierbei ist besonders die potenzielle Einschränkung einer erforderlichen Haltesichtweite durch die Bepflanzung von Interesse. Nach den RAL 2012 ist eine Berücksichtigung des Umfelds und der Straßenbepflanzung gefordert (FGSV 2012).

Die fahrtrichtungsbezogenen Sichtweiten wurden anhand der Merkmale der Achse der Fahrbahn, der Gradienten, der Fahrbahnbreite für beide Fahrrichtungen in CARD/1 berechnet und dargestellt (Ziegler et al. 2017). Aufbauend auf diesen Darstellungen ohne Berücksichtigung des Seitenraumes wurde die Straßenbepflanzung als Punktobjekte integriert und damit eine Darstellung der Sichtweiten(-bänder) mit Berücksichtigung des Seitenraumes erstellt sowie anhand der Bilddateien der Befahrungen plausibilisiert. Für die 86 freien Strecken-

abschnitte der Datenbank II standen die Sichtweitenbänder mit einem Stationsabstand von 10 m zur Verfügung.

Nach den RAL 2012 ist die erforderliche Haltesichtweite abhängig von der EKL und der Längsneigung (FGSV 2012). Da für die Abschnitte keine Einordnung nach EKL vorhanden ist, wurden in Abhängigkeit von der Fahrbahnbreite (Wertebereich von 5,3 bis 8,25 m) die erforderlichen Haltesichtweiten der EKL 3 (RQ 11) und EKL 4 (RQ 9) nach der RAL 2012 ausgewählt und in der Tabelle 36 dargestellt. Die maximale Längsneigung in der Datenbank II beträgt im Allgemeinen 6,5 %.

Der Vergleich der erforderlichen Haltesichtweite mit der vorhandenen Sichtweite verdeutlicht den erheblichen Einfluss, den die Straßenbepflanzung auf die Sichtweiten hat. Bei einer erforderlichen minimalen Sichtweite von 80 m (Fahrbahnbreite unter 6,50 m,  $N = 44$ ) sind bei der Berücksichtigung des Seitenraumes auf 61 % der Abschnitte Sichtweitendefizite vorhanden (nur 17 von 44 Abschnitte weisen eine Sichtweite von mindestens 80 m auf). Weitere 11 Abschnitte weisen jeweils einen Längenanteil von bis zu 10 % auf, auf denen die Haltesichtweite von 80 m nicht eingehalten ist. Bei einer Fahrbahnbreite über 6,50 m ( $N = 42$ ) und bei einer erforderlichen minimalen Sichtweite von 130 m weisen bei der Darstellung ohne Berücksichtigung des Seitenraumes 48 % der Abschnitte Defizite auf, bei der Darstellung mit Berücksichtigung des Seitenraumes sogar 79 % der Abschnitte.

Der mögliche Einfluss der Sichtweite auf das amtliche Unfallgeschehen auf den Abschnitten sollte durch ein GLM (verallgemeinertes lineares Modell) (Vorgehen siehe Kapitel 6.1.1) ermittelt werden. Es zeigt sich, dass die Merkmale der Darstellung ohne Berücksichtigung des Seitenraumes im Rahmen einer Modellerstellung zwar teilweise sehr hohe Effektstärken vorweisen, jedoch keine signifikanten Zusammenhänge zeigen. Die Betrachtung der Merkmale der Darstellung mit Berücksichtigung des Seitenraumes zeigt signifikante Zusammenhänge mit hohen Effektstärken. Jedoch liefern die Merkmale keine Erklärung von systematischen Streuungen im Modell. Hierbei hat die Kalibrierung im Rahmen der Modellerstellung einen Einfluss, da durch die Ausreißereliminierung die Abschnitte mit hohen Anteilen ohne erforderliche Haltesichtweite bei der Darstellung mit Berücksichtigung des Seitenraumes und hoher Unfallanzahl ausgeschlossen werden. Damit kann geschlussfolgert werden, dass bei

Tab. 36: Anteil der Einhaltung verschiedener Haltesichtweiten nach Fahrbahnbreite, jeweils ohne und mit Berücksichtigung des Seitenraumes (Datenbank II, N = 86)

	Sichtweite	Fahrbahnbreite unter 6,50 m						Fahrbahnbreite über 6,50 m						
		80 m		100 m		130 m		80 m		100 m		130 m		
		ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	
		<b>Einhaltung Haltesichtweiten [Abschnittsanteil]</b>												
<b>Haltesichtweitedefizite [Längenanteil]</b>	0,00	93 %	39 %	75 %	18 %	34 %	2 %	95 %	74 %	81 %	62 %	52 %	21 %	
	0,10	100 %	64 %	93 %	43 %	55 %	7 %	100 %	95 %	100 %	100 %	83 %	69 %	36 %
	0,20		82 %	100 %	64 %	70 %	20 %		95 %			83 %	57 %	
	0,30		84 %		80 %	98 %	20 %		98 %			64 %		
	0,40		98 %		82 %	98 %	27 %		74 %					
	0,50		93 %		36 %	79 %								
	0,60		50 %		95 %									
	0,70		64 %		100 %									
	0,80		77 %		100 %									
	0,90		86 %		100 %									
	1,00		100 %		100 %									

Abschnitten mit hohen Anteilen an Sichtweiten unter der erforderlichen Haltesichtweite – welche jedoch nur bei einer Darstellung mit Berücksichtigung des Seitenraumes ermittelt werden kann – Tendenzen für eine Erhöhung der Fahrurfälle mit Abkommen von der Fahrbahn bestehen. Dies zeigt für die Praxis die Notwendigkeit, im Entwurfsprozess und im Bestand alle Typen von Straßenbepflanzung vollständig zu berücksichtigen.

**5.5.4 Zusammenfassung**

Die Unfallauswertungen der freien Streckenabschnitte und der Einfluss der verschiedenen Bepflanzungstypen kann wie folgt zusammengefasst werden:

- Das Abkommen von der Fahrbahn bei Fahrurfällen und Sonstigen Unfällen kann nach vier typischen Szenarien hinsichtlich der Unfallentstehung und -abläufe differenziert werden. Der Unfallablauf unterscheidet sich dabei nach den Ausgangsgeschwindigkeiten und Unfallursachen des Abkommens. Es zeigen sich zahlreiche signifikante Zusammenhänge zum Unfallgeschehen, wie z. B. zwischen den jeweiligen Unfallabläufen und der Deformationstiefe am Fahrzeug sowie zwischen dem Durchmesser des Baumes und der höchsten Verletzungsschwere der Personen im Fahrzeug.

- Der Fahrurfall mit Abkommen von der Fahrbahn weist 375  $U_{FR}(SP)$  an 1.000  $U_{FR}(P,SS)$  auf, mit deutlichen Unterschieden von minimal 91  $U_{FR}(SP)$  für das baumfreie Umfeld bis maximal von 682 an 1.000  $U_{FR}(P,SS)$  für die Abschnitte mit Baumreihen I. Dies zeigt eine deutliche höhere Wahrscheinlichkeit für schwere Unfallfolgen bei einem Aufprall auf einen Baum.
- Die Betrachtung der durchschnittlichen Kosten je Unfall in der Gesamtstichprobe zeigt deutliche Unterschiede nach den Bepflanzungstypen. Bei einem Unfall auf einem Abschnitt mit einem baumfreien Umfeld ist der volkswirtschaftliche Verlust unterdurchschnittlich hoch und beträgt ca. 43.000 Euro/Unfall. Auf den Alleeabschnitten II ist er überdurchschnittlich hoch mit ca. 136.000 Euro/Unfall.
- Die unfallschwerebezogene Bewertung unter Berücksichtigung der Abschnittslänge zeigt allein für den Fahrurfall mit Abkommen von der Fahrbahn mittlere Kosten von ca. 20.000 Euro/(km\*a) pro Fahrtrichtung. Hierbei weist der Bepflanzungstyp Allee mit über 27.000 Euro/(km\*a) den Höchstwert auf und liegt mehr als 7 mal höher als die Kosten für das baumfreie Umfeld (ca. 4.000 Euro/(km\*a)). Abschnitte mit einem Waldbereich (ca. 19.000 bzw. 21.000 Euro), Baumreihen (ca. 17.500 bzw. 15.000 Euro) aber auch Einzelbäume (ca. 11.500 bzw. 14.000 Euro) zei-

gen ebenfalls hohe Kostenwerte pro Jahr, Kilometer und Fahrtrichtung.

- Eine Kombination der fahrleistungs- und unfallschwerebezogenen Unfallkenngrößen zeigt, dass auf Abschnitten mit baumfreiem Umfeld lediglich ca. 2.000 Euro/Million Kfz\*km und auf denen mit Alleeen über 20.000 Euro/Million Kfz\*km pro Fahrtrichtung verzeichnet werden und die Kosten bei Alleeen damit 10 mal so hoch sind. Dies zeigt deutlich, das mögliche Verbesserungspotenzial durch einen hindernisfreien Seitenraum hinsichtlich der Landstraßensicherheit auf.
- Bei Abschnitten mit hohen Anteilen an Sichtweiten unter der erforderlichen Haltesichtweite – welche jedoch nur bei einer Darstellung mit Berücksichtigung des Seitenraumes ermittelt werden kann – bestehen Tendenzen für eine Erhöhung der Fahrunfälle mit Abkommen von der Fahrbahn. Dies zeigt für die Praxis die Notwendigkeit, im Entwurfsprozess und im Bestand alle Typen von Straßenbepflanzung vollständig zu berücksichtigen.

## 6 Methodik und Ergebnisse der Unfallmodelle

Ziel des Verfahrens ist es, die fahrtrichtungs- und querschnittsbezogenen Einflussmerkmale auf das Unfallgeschehen darzulegen. Dabei werden auch die inneren Abhängigkeiten zwischen den Einflussmerkmalen aufgezeigt. Besonders wichtig ist es, die systematische Streuung der abhängigen Merkmale zu erklären. Die nicht erklärbare Streuung kann durch nicht (systematisch) erfassbare Merkmale zustande kommen. Bei der Interpretation der Regressionskoeffizienten und deren Vergleich sind die Skalierung der Merkmale und der Einfluss auf die Modellgleichung zu beachten. Die Einflussmerkmale sind vor dem Hintergrund der Datenverfügbarkeit für Sicherheitsanalysen in der Verkehrssicherheitsarbeit und als Grundlage für technische Regelwerke bedeutend. Es soll keine Zusammenführung der Ergebnisse der Unfall-Teilmodelle zu einem gemeinsamen Gesamtmodell hinsichtlich der Abschnittsquerschnitte oder eine Zusammenführung für Netze mit Straßenbepflanzung durchgeführt werden. Falls bei der Verkehrssicherheitsarbeit in der Praxis eine Ergänzung mit multivariaten Analy-

severfahren, wie z. B. in den USA (siehe Kapitel 3.2) stattfindet, ist die Weiterentwicklung zur Verknüpfung zu einem Gesamtmodell denkbar, wobei aufgrund der Abhängigkeiten zwischen den Merkmalen methodische Grenzen gesetzt sind. Zuletzt werden die Grenzen und der offene Forschungsbedarf im entwickelten methodischen Vorgehen der Modellerstellung dargelegt.

Im Kapitel 6.2 werden die 17 Teilmodelle auf Basis der Selektion der Merkmale vorgestellt.

### 6.1 Verfahrensablauf

Das methodische Vorgehen ist überblicksartig in der Abbildung 30 dargestellt.

Aus der umfangreichen Datengrundlage (2.606 fahrstreifenbezogene Abschnitte mit einer Gesamtlänge von knapp 2.978 km als Gesamtstichprobe der Datenerfassung I, siehe Kapitel 5.4.2) werden in den Modellen die kausalen Zusammenhänge zwischen den homogenen, unabhängigen Merkmalen der Abschnitte einschließlich der Straßenbepflanzung auf die Unfallhäufigkeit und -schwere geschätzt. Damit werden Ergebnisse für freie Streckenabschnitte ohne Netzknoten und deren Einflussbereiche ermittelt.

Die Grundlagen für die Analyse sind die Merkmale der Vorauswahl und die fahrtrichtungsbezogene Abschnittsteilung (Kapitel 5.4). Die Vorauswahl der Merkmale wurde bereits im Kapitel 5.3 dargelegt. Es stehen insgesamt knapp 500 querschnitts- und fahrstreifenbezogene Merkmale und etwa 100 fahrstreifenbezogene relevante Unfallmerkmale zur Verfügung. Die hauptsächlich deskriptiven Analysen im Kapitel 5.5.1 zeigen die Strukturen in der Datenbank I auf. Auf Grundlage der Erkenntnisse der Unfallanalysen der Datengrundlagen (Vorwissen aus den Kapiteln 4 und 5) sind die Fahrunfälle mit Abkommen von der Fahrbahn nach links und rechts ( $U_{FaAb}(P,SS)$  und  $U_{FaAb}(SP)$ ) und die Fahrunfälle mit Abkommen von der Fahrbahn nach links und rechts mit Aufprall auf einen Baum ( $U_{FaAb-Baum}(P,SS)$  und  $U_{FaAb-Baum}(SP)$ ) die fahrtrichtungsbezogenen abhängigen Merkmale.

Insgesamt werden für die Teilmodelle nach Kapitel 6.2 eine Erstellung für

- alle 2.606 Abschnitte (nachfolgend Teilmodelle aller Abschnitte) und

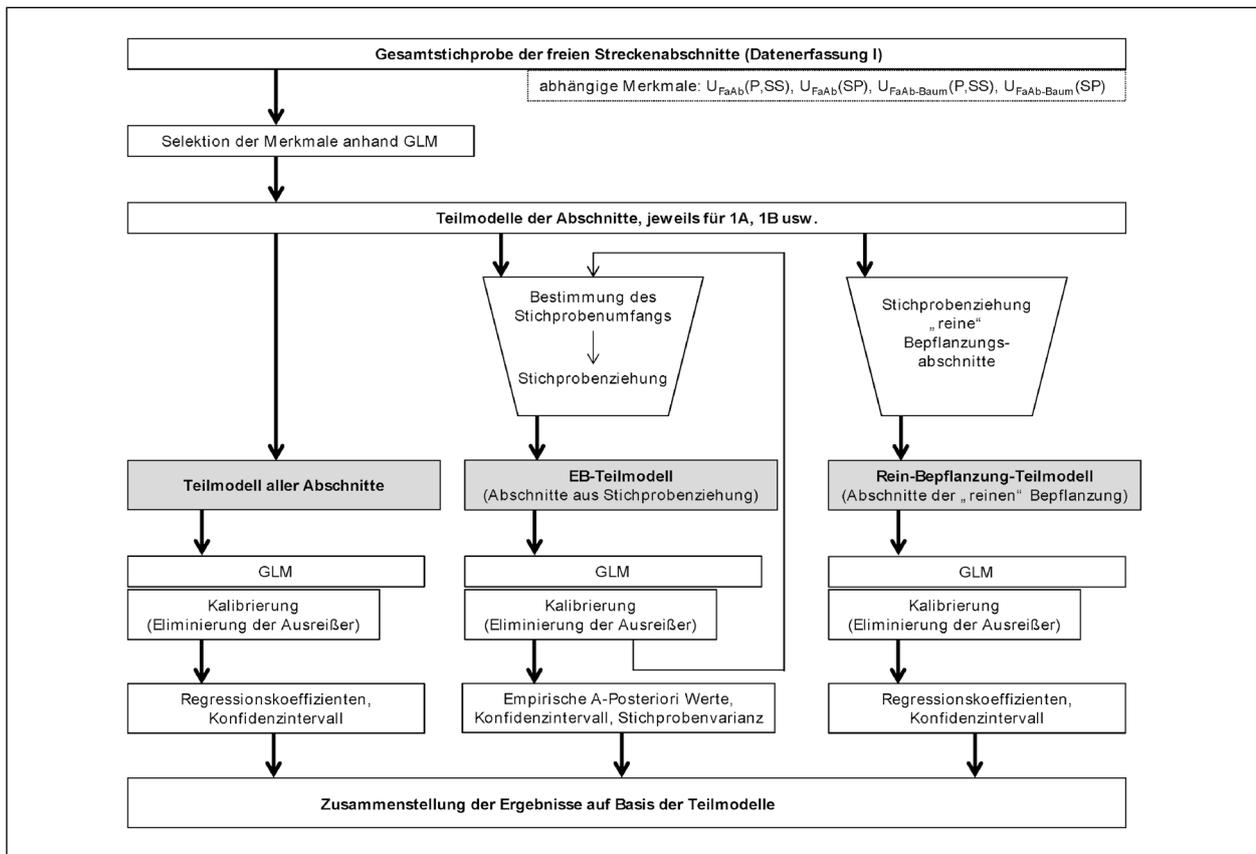


Abbildung 30: Methodisches Vorgehen zum Ablauf der Erstellung der Teilmodelle

- der 1.000 Abschnitte der Kategorie I der „reinen“ Bepflanzungsabschnitte (siehe Tabelle 30) (nachfolgend Rein-Bepflanzungs-Teilmodelle) durchgeführt.
- Für ausgewählte Abschnitte werden Teilmodelle nach dem Stichprobenverfahren (nachfolgend EB-Teilmodelle) mit dem Vorgehen im Kapitel 6.1.2 unter Nutzung eines empirischen Verfahrens erstellt.

Bei allen Teilmodellen und mit den drei unterschiedlichen Stichproben werden die Regressionskoeffizienten und die unteren und oberen Werte des 95%-Wald-Konfidenzintervalls ermittelt und untereinander verglichen.

**6.1.1 Grundmodell**

Bei der Erstellung aller Teilmodelle und zur Selektion der Merkmale wird ein multivariates Schätzverfahren – ein verallgemeinertes lineares Modell (GLM) – eingesetzt. Bei GLM können die poisson-verteilten abhängigen Merkmale (Unfallanzahl), welche mathematisch seltene Ereignisse darstellen, zur Modellerstellung genutzt werden. Das

GLM stellt den Zusammenhang bzw. den Erklärungsanteil (Schätzung basierend auf der angepassten negativen Binomialverteilung) der unabhängigen (signifikanten) Einflussmerkmale (Signifikanzniveau von 0,05) zur erwarteten Unfallanzahl jeweils im Teilmodell dar.

Die Grundmodellgleichung eines GLM lautet:

$$E(\lambda) = e^{\alpha} * l^{\beta_1} * q^{\beta_2} * e^{\sum_i^n \gamma_i x_i} \tag{1.8}$$

- $E(\lambda)$  erwartete Anzahl an Unfällen
- $\alpha$  Konstante
- $l$  Länge vom Streckenabschnitt
- $q$  Verkehrsstärke (bspw. DTV)
- $\beta_i$  Parameter bzw. Regressionskoeffizienten
- $\gamma_i$  (weitere) Regressionskoeffizienten
- $x_i$  (weitere) Einflussmerkmale

Der erste Teil der Modellgleichung 1.8 enthält  $e^{\alpha} * l^{\beta_1} * q^{\beta_2}$ . Das Ergebnis entspricht in der Regel dem Unfallgeschehen eines „optimalen“ 2-streifig-ähnlichen einbahnigen, freien Landstraßenab-

schnittes mit Straßenbepflanzung ohne Netzknotenbereich. Dabei ist das Ergebnis aus der jeweiligen Stichprobe aus der Gesamtstichprobe der Datengrundlage geschätzt. Ohne weitere erklärende Einflussmerkmale stellt dies ein erwartetes „ideales Grundunfallgeschehen“ für das selektierte Unfallgeschehen auf den Abschnitten der Datenbank I dar. In der Modellerstellung wird die Konstante  $\alpha$  in die Gleichung 1.8 eingeschlossen, damit die Regressionsgleichung nicht durch den Ursprung gezwungen wird. Ansonsten würde ein Vergleich der Teilmodelle und unterschiedlicher Stichproben untereinander nicht möglich sein. Für Landstraßenabschnitte mit weiterem Unfallgeschehen und dem geringeren Fokus auf die Merkmale der Straßenbepflanzung wird auf Modellergebnisse in Maier et al. (2013) und Berger (2016) verwiesen.

Die weiteren Komponenten  $\sum_i^n \gamma_i x_i$  im GLM stellen den positiven oder im Einzelfall negativen Effekt erklärender Merkmale zum Zielmerkmal dar. Die Effekte werden im Schätzverfahren anhand der Datengrundlage ermittelt und verbunden. Für weitere methodische Hintergründe der Teilmodellgleichung wird auf das Kapitel 3.2 verwiesen.

Bei der Erstellung des GLM für alle Teilmodelle (Teilmodelle alle Abschnitte, Rein-Bepflanzungs-Teilmodelle und EB-Teilmodelle) werden verschiedene Schritte der Kalibrierung angestrebt. Die Kalibrierung umfasst verschiedene Fälle der Eliminierung der Ausreißer. Hierbei werden die Einfluss- und Hebelwerte (z. B. Ausreißer) hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Modellergebnisse mithilfe der gängigen Kennwerte der Cook-Distanz (Cooks D) und des Hebelwertes (HW) überprüft.

Neben einem Grenzwert nach Cohen et al. 2003 mit

$$\text{Cooks D} > 1 \quad (1.9)$$

Cooks D    Cook – Distanz

existieren die Festlegungen in Hutcheson & Sofroniou (1999):

$$\text{Cooks D} = \frac{4}{n - n_p} \quad (2.0)$$

Cooks D    Cook – Distanz

n            Stichprobenumfang

$n_p$         Prädiktoren

Der Grenzwert des Hebelwertes nach Stevens (2002) lautet:

$$HW = \frac{3(n_p + 1)}{n} \quad (2.1)$$

HW        Hebelwert

n        Stichprobenumfang

$n_p$        Prädiktoren

Bei der Modellerstellung wurden damit drei Fälle als Schritte der Kalibrierung genutzt. Der

Fall (0) ohne Ausreißereliminierung,

Fall A (Cooks D > 1 (Gleichung 1.9) und

$$HW = \frac{3(n_p+1)}{n} \text{ (Gleichung 2.1)}) \text{ und}$$

Fall B (Cooks D =  $\frac{4}{n - n_p}$  (Gleichung 2.0) und

$$HW = \frac{3(n_p+1)}{n} \text{ (Gleichung 2.1)).}$$

Für Cooks D werden zwei Werte genutzt (bislang gibt es für die Sicherheitsverfahren im Straßenwesen noch keine Festlegung, welcher Cooks D genutzt werden soll) und in der Modellerstellung detailliert untersucht. Damit werden die Einflüsse der Eliminierung der Ausreißer auf die Ergebnisse der Unfallmodelle umfangreich analysiert. Letztendlich erfolgt die Darstellung der Residuen als Beurteilung der Modellgüte. Ein Residuum stellt die Abweichung des realen tatsächlichen Wertes von dem in der Modellerstellung mathematisch ermittelten Wert dar (Fahrmeier et al. 2009).

### 6.1.2 EB-Teilmodelle

Das methodische Vorgehen zur Erstellung der Teilmodelle mit den empirischen Bayes-Modellen orientiert sich an den Grundlagen der Bayes-Ansätze (EB-Modelle, siehe Kapitel 3.3.2). Die Ansätze der EB-Modelle mit dem Ziel der Vorhersage einer Unfallhäufigkeit werden nach Hauer et al. (2002) und Elvik (2008) als Stand der Technik bezeichnet. GLM werden in EB-Modellen beispielsweise von Maurer et al. (2013) oder auch GLMM von Miaou et al. (2005), Lord & Miranda-Moreno (2008), Deublein (2012) verwendet (siehe Kapitel 3.3.2).

Der in dieser Arbeit entwickelte Ablauf zur Erstellung der Teilmodelle auf Basis empirischer Modelle mit einem Ansatz der Bayes-Inferenz – mit dem Ziel der Schätzung der unfallbeeinflussenden Merkmale – leistet einen Beitrag zur Erweiterung der Verfahren und Methoden der Unfalluntersuchungen im Straßenwesen. Im Unterschied zu dem aus der

Literatur (Kapitel 3.2) bekannten multivariaten Regressionsverfahren, welches auf Basis einer Stichprobe Regressionskoeffizienten und damit einen Erwartungswert in Bezug auf die Unfallhäufigkeit ermittelt, können durch das hier verwendete methodische Vorgehen für die unabhängigen Merkmale empirische Verteilungsfunktionen und damit neben den Mittelwerten auch Erwartungsbereiche, Abweichungen und Grenzwerte ermittelt und analysiert werden. Das empirische Verfahren der Bayes-Inferenz wird in diesem methodischen Vorgehen durch die systematische und simultane Integration der Stichprobendaten in den Teilmodellen und der damit verbundenen Anpassung der Wahrscheinlichkeitsverteilungen umgesetzt. Die Erkenntnisse werden im Verfahrensablauf insgesamt iterativ verbessert.

Der detaillierte Ablauf zur Erstellung der Teilmodelle mit den empirischen Bayes-Modellen zeigt sich in der Abbildung 30. Es werden im Verfahren die A-Posteriori Verteilungen für die unabhängigen Merkmale geschätzt. Hierbei werden keine A-Priori Dichten verwendet, sondern die A-Posteriori Werte aus den Daten der Gesamtstichprobe der Datenerfassung I geschätzt. Der Schritt der Bestimmung empirischer Mittelwerte und Bewertung der Modellergebnisse in der Bayes-Inferenz ermöglicht die empirische Herleitung von mittleren Regressionskoeffizienten. Die (empirischen) A-Posteriori-Mittelwerte werden aus den Koeffizienten einer Teilmodellerstellung (auf Basis der GLM) berechnet. Ebenso erfolgt für jedes Merkmal die Ermittlung der mittleren (empirischen) unteren und oberen A-Posteriori Werte des 95 % Wald-Konfidenzintervalls (kurz: A-Posteriori Wert des Konfidenzintervalls). Neben der Berechnung der mittleren (empirischen) Signifikanz – als Maß des Zusammenhangs zwischen unabhängigen und abhängigen Merkmalen – wird für die empirischen Mittelwerte (A-Posteriori Mittelwert und A-Posteriori Werte des Konfidenzintervalls) eine empirische Stichprobenvarianz (kurz: Stichprobenvarianz) nach der folgenden Gleichung bestimmt:

$$S^2 = \frac{1}{n-1} * \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (2.2)$$

$S^2$	Stichprobenvarianz
$n$	Stichprobenumfang
$x_i$	Beobachteter Wert der Stichprobe
$\bar{x}$	Mittelwert

Die Stichprobenvarianz zeigt die Streuung der Werte der Stichprobe um die Mittelwerte an. Je höher die Maßzahl der Stichprobenvarianz ist, desto heterogener sind die Werte der Stichprobe um den Mittelwert verteilt. Bei einem direkten Vergleich von verschiedenen Stichprobenvarianzen ist zu beachten, dass bei größeren Mittelwerten im Allgemeinen auch größere Stichprobenvarianzen ermittelt werden.

Die Bestimmung des erforderlichen Stichprobenumfangs auf Basis der Gesamtstichprobe orientierte sich an der Literatur und einer Datenanalyse. Beispielsweise zeigte die Verwendung des Wertes von 80 Abschnitten nach Greibe (2003) hohe Instabilitäten in den Modellergebnissen, auch aufgrund der Fokussierung auf einen Teil des Unfallgeschehens und der Differenzierung nach Unfallschwere. Für die Berechnung einer linearen Regression entwickelte Green (1991) eine Gleichung, die den Stichprobenumfang schätzt (Schendera 2008):

$$n \geq \left( \frac{8}{f^2} \right) + (m + 1) \quad (2.3)$$

$n$  Stichprobenumfang

$f^2$  Effektstärke nach Cohen et al.(2003):  
0,01 (klein); 0,15 (mittel); 0,35 (groß)

$m$  Anzahl der Prädiktoren

Die Nutzung der Gleichung erwies sich als zweckmäßig, um das Ziel stabiler Modellergebnisse mit hoher Güte zu erreichen. Eine Modifizierung der Gleichung wurde dahingehend durchgeführt, dass ein Anpassungsfaktor in der Gleichung berücksichtigt wurde. Der Anpassungsfaktor wurde genutzt, falls eine hohe Anzahl an Abschnitten mit fehlenden Werten für einzelne Merkmale oder eine hohe Anzahl an Ausreißern vorlag und damit diese fehlenden Fälle aus der Analyse einer Stichprobe ausgeschlossen wurden. Vor dem Hintergrund, dass die Gleichung lediglich für eine lineare Regressionsgleichung entwickelt wurde und in der Untersuchung ein (komplexeres) multivariates Regressionsverfahren genutzt wird, ist ein Anpassungsfaktor sinnvoll. Der Faktor wurde aus der mittleren Anzahl der eliminierten Abschnitte (Fälle mit fehlenden Werten und Ausreißern) gebildet. Die entsprechenden Stichprobenumfänge der EB-Teilmodelle zeigt der Anhang (Anlage 6). In der Erstellung der EB-Teilmodelle zeigte sich, dass eine Stichprobenziehung mit 25 Wiederholungen jeweils „mit Zurücklegen“ stabile Ergebnisse erreicht, d. h. die Einflusskoeffi-

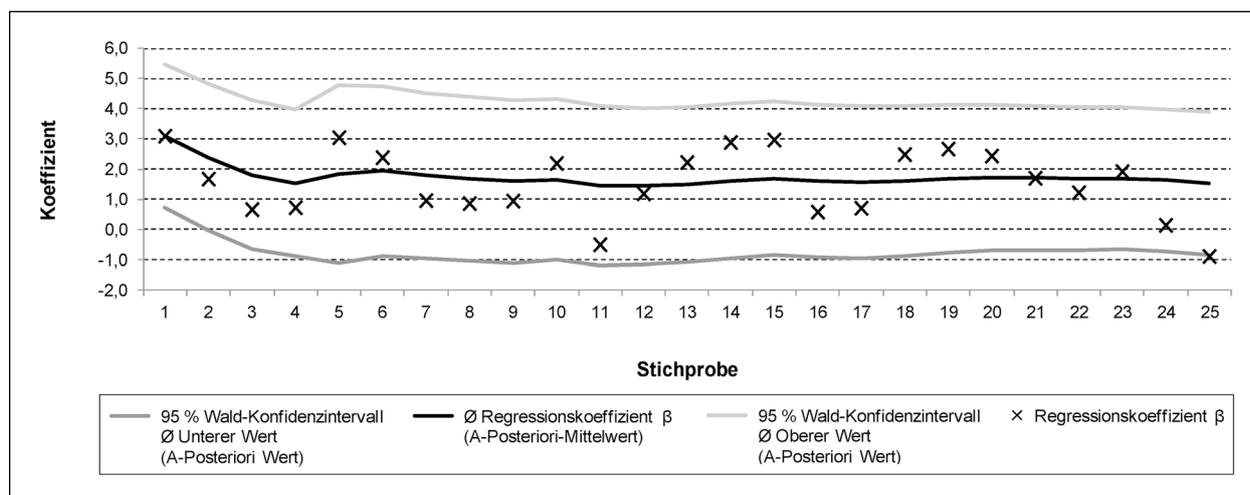


Abbildung 31: Beispiel der Entwicklung der Koeffizienten und A-Posteriori Werte für ein Merkmal nach Anzahl der Stichprobenziehungen in einem EB-Teilmodell

zienten sich verbessern (Abbildung 31). Die Zufallsauswahl dieser Stichprobenziehung erfolgte in Microsoft® Excel auf Basis gleichmäßig verteilter reeller Zufallszahlen<sup>42</sup>.

Die softwaretechnische Umsetzung der empirischen Schätzung und Bayes-Inferenz einschließlich des multivariaten Regressionsverfahrens ist in den IT-Programmen Microsoft® Excel und SPSS® Statistik Windows® (IBM® Corporation, Version 25.0) umsetzbar. Bei 12 von 17 Teilmodellen werden EB-Teilmodelle nach dem beschriebenen Verfahrensablauf erstellt.

## 6.2 Selektion der Merkmale nach Teilmodellen

Aufgrund der zahlreichen verfügbaren Merkmale ist eine Selektion der Merkmale für die weitere Konzeption der Teilmodelle bedeutend. Es sollen in der Regel Merkmale weiter betrachtet werden, welche einen signifikanten bzw. nicht zufälligen Zusammenhang (Zufallseffekt) mit den abhängigen Merkmalen und damit einen belastbaren Erklärungsanteil im Teilmodell aufweisen. Damit kann auf eine allgemeingültige Eigenschaft der Gesamtheit bzw. das Eintreten von Ereignissen geschlossen werden.

Die Merkmale wurden deshalb hinsichtlich Ihrer inneren Abhängigkeiten mithilfe der Korrelationskoeff-

zienten Kendall-Tau, Pearson oder Spearman's-Rho in Abhängigkeit vom Skalenniveau der Merkmale in den Korrelationsmatrixen, auch vor dem Hintergrund der Multikollinearität im Modell, überprüft. Beispielsweise zeigen sich zwischen Kurvigkeiten und Singularitäten, DTV und Fahrbahnbreite hohe Korrelationen (Korrelationskoeffizient  $\geq 0,50$ , z. B. nach Cohen 1992). Ebenfalls zeigten sich hohe Korrelationen bei strukturellen Merkmalen, wie z. B. Raumtypen und Siedlungsstrukturen. Insbesondere für die siedlungsstrukturellen Indikatoren wurde eine mögliche Reduzierung der Merkmale mithilfe von Faktorenanalysen durchgeführt. Dabei zeigten sich mögliche Dimensionen, welche jedoch keine sachlogischen Zusammenhänge in der Datenreduktion aufweisen. Daher wurden diese Ergebnisse der Faktorenanalysen nicht weiter genutzt.

Eine besondere Schwierigkeit für die Analysen ist die Unvollständigkeit von Merkmalen. Aufgrund der Erkenntnisse aus dem Kapitel 2 wurden die Merkmale des Zustandes der Fahrbahnoberfläche betrachtet. Bei 30 Merkmalen des Fahrbahnzustandes weisen die Abschnitte 66 % bis 38 % fehlende Werte im Datensatz auf. Diese Unvollständigkeit ist von der Straßenklasse abhängig. Weiterhin waren für alle Abschnitte die Merkmale der Linienführung (90 unterschiedliche Merkmale und Merkmalskombinationen) unzureichend ausgefüllt. Dies liegt daran, dass auf den Abschnitten nicht immer genug vollständige Elemente der Linienführung für eine Bewertung vorhanden waren. Falls bei einer Modellerstellung ein fehlender Wert für ein Merkmal auftritt, wird der Abschnitt aus der Teilmodellerstellung ausgeschlossen.

<sup>42</sup> Microsoft® Excel nutzt für die Zufallsauswahl den Mersenne-Twister (Pseudozufallszahlengenerator).

Alle vorhandenen und daraus erzeugten Merkmale der Datenbank I wurden in der Modellerstellung auf ihren Zusammenhang, den Erklärungsanteil und den Einfluss auf die Varianz des Teilmodells geprüft. Insgesamt sind 26 Merkmale und die abhängige Merkmale in der Tabelle 37 nach Merkmalsgruppen aufgelistet, welche einen negativen oder positiven Erklärungsanteil auf das Unfallgeschehen zeigen.

Für die Differenzierung des Unfallgeschehens werden 17 Teilmodelle mit unterschiedlichen Merkmalen untersucht. Der Grund für die Vielzahl an Teilmodellen ist die Darlegung der unterschiedlichen Einflüsse von Merkmalen auf das Unfallgeschehen. Aufgrund der teilweise vorhandenen hohen Korrelation der Merkmale untereinander, konnten nicht alle Merkmale in einem Teilmodell abgebildet werden. Beispielsweise zeigen die Elemente des Netzknotenabschnittes (Merkmal 7) zu Singularitäten (Merkmal 8) oder zur Kurvigkeit (Merkmal 4) Korrelationen untereinander und können damit nicht in einem Teilmodell abgebildet werden.

Sechs Teilmodelle weisen die abhängigen Merkmale  $U_{FaAb}(P,SS)$  und  $U_{FaAb}(SP)$  und 11 Teilmodelle das  $U_{FaAb-Baum}(P,SS)$  und  $U_{FaAb-Baum}(SP)$  auf. Alle Teilmodelle weisen die Merkmale der Exposition (DTV) bzw. der Länge (Abschnittslänge) auf. Die Teilmodelle wurden insbesondere aufgrund der Berücksichtigung der Korrelationen der Merkmale untereinander, der Zuordnung zu den Merkmalsgruppen und aufgrund der Modellerstellung (z. B. Erklärung der Gesamtvarianz der Teilmodelle) zusammengestellt.

Die Teilmodelle 1A und 2A bilden den Einfluss der Unfallschwere für den Fahrnunfall und Abkommen von der Fahrbahn ab und klären den Einfluss der Lageplanmerkmale und des siedlungsstrukturellen Kreistyps auf. Weitere Teilmodelle (1B, 1C, 2B, 2C, 3B, 4B) befassen sich ebenso mit dem Vergleich von Fahrnunfällen mit Abkommen von der Fahrbahn, dem Baumaufprall und u. a. dem Einfluss der Elementfolgen (z. B. Elemente des Netzknotenabschnittes mit einem brauchbaren oder zu vermeidenden Bereich im Rahmen der Bewertung der Relationstrassierung), Lageplan (z. B. Kurvigkeit) und Querschnitt (z. B. Fahrbahnbreite). Mit diesen Teilmodellen können die Fragestellungen der Untersuchung, welche Zusammenhänge zwischen Entwurfselementen und Abkommenshäufigkeiten und

deren Unfallfolgen existieren, beantwortet werden. Die Teilmodelle 3C und 4C, die differenzierte Befanzungstypen abbilden, befassen sich mit dem Zusammenhang zwischen Unfallgeschehen (Unfallhäufigkeit und -schwere) und der Straßenbepflanzung. Die Teilmodelle 3D und 4D zeigen den Einfluss einzelner Merkmale der Straßenbepflanzung, wie z. B. den Längs- oder Fahrbahnabstand auf. Ebenfalls wird in den Teilmodellen der Einfluss von passiven Schutzeinrichtungen (Schutzplanken) auf das Unfallgeschehen untersucht. Die Teilmodelle 3A und 4A (sowie 4A1 bis 4A3) zeigen den Einfluss der Merkmale Schiefstand der Bäume oder den Kronenschluss über der Fahrbahn, teilweise in Kombination mit den Lageplanmerkmalen auf.

Es werden 17 Teilmodelle jeweils für die Teilmodelle aller Abschnitte und Rein-Bepflanzungs-Teilmodelle erstellt. Für 12 Teilmodelle sind EB-Teilmodelle mit dem gesamten Verfahrensablauf der Stichprobenziehung erstellt. Aufgrund der Überschneidungen zu anderen Teilmodellen war kein weiterer Erkenntnisgewinn der fünf nicht erstellten Teilmodelle zu erwarten. Deshalb wurden aus rechentechnischen Gründen keine EB-Teilmodelle für 1C, 2C, 4A1, 4A2 und 4A3 erstellt. Die Tabelle 38 legt die Teilmodelle und deren Merkmale (Merkmalsbeschreibung siehe Tabelle 37) auf Basis der Modellbetrachtung aller Abschnitte dar.

Tab. 37: Selektierte Merkmale und Ausprägungen der Gesamtstichprobe Datenerfassung I

Merkmalsgruppe	Merkmal und Beschreibung	Wertebereich/Einheit/Kategorie	Nr.
Unfälle (abhängige Merkmale)	$U_{FaAb}(P,SS)$	0 - 14 U/3a	-
	$U_{FaAb}(SP)$	0 - 6 U/3a	
	$U_{FaAb-Baum}(P,SS)$	0 - 10 U/3a	
	$U_{FaAb-Baum}(SP)$	0 - 6 U/3a	
Exposition bzw. Länge	DTV <sup>1</sup> (Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke)	371 - 21.198 Kfz/24 h	1
	Länge <sup>1</sup> (Abschnitt)	500 - 6.853 m	2
	Länge <sup>1</sup> (Netzknotenabschnitt)	963 - 7.481 m	3
Lageplan, Elementfolgen, Höhenplan	Kurvigkeit (Abschnitt)	0 - 900 gon/km	4
	Längsneigung größer als 4 % (Abschnitt)	0 - 1 Anteil [-]	5
	Kurvenradien 200 bis 400 m (Abschnitt)	0 - 7 Anzahl/km	6
	Elemente des Netzknotenabschnittes <sup>2</sup> mit einem brauchbaren (2) oder zu vermeidenden (3) Bereich im Rahmen der Bewertung der Relationstrassierung nach RAL 2012 (FGSV 2012)	0 - 5 Anzahl/km	7
	Singularitäten auf Abschnitt nach Ebersbach 2005 (Kurvradius unter 200 m einschließlich Mindestlänge von 50 m)	0 - 1 Anteil [-]	8
	Welligkeit (Hügeligkeit) auf Abschnitt	0 - 0,35 Anteil [-]	9
Querschnitt (Abschnitt)	Fahrbahnbreite (gewichtetes arithmetisches Mittel, Definition der Fahrbahn nach RAL 2012 (FGSV 2012)/befestigte Fläche)	3,96 - 9,00 m	10
	Lokale und ausgeprägte Verringerung von der Fahrbahnbreite <sup>2</sup> (< 86 % der Fahrbahnbreite)	0 - 0,16 Anteil [-]	11
Gebietsmerkmal (Abschnitt)	Siedlungsstruktureller Kreistyp <sup>2</sup> nach BBSR	1 - kreisfreie Großstadt 2 - städtischer Kreis 3 - ländlicher Kreis mit Verdichtungsansätzen 4 - dünn besiedelter ländlicher Kreis	12
Straßenbepflanzung (Abschnitt)	Lage der Bepflanzung als Typ ...		
	... Einzelbaum	0 - 1 Anteil [-]	13
	... Baumgruppe	0 - 1 Anteil [-]	14
	... Baumreihe	0 - 1 Anteil [-]	15
	... Allee	0 - 1 Anteil [-]	16
	... Waldbereich	0 - 1 Anteil [-]	17
	... Waldmantel	0 - 1 Anteil [-]	18
	... Baumreihe und Allee	0 - 1 Anteil [-]	19
	Mittlerer Längsabstand der Bäume auf linker und rechter Fahrbahnseite <sup>2</sup>	3 - 2.291 m	20
	Minimaler Abstand der Bäume zur Fahrbahn auf linker und rechter Fahrbahnseite <sup>2</sup>	0 - 19,96 m	21
	Bäume mit großen Kronendurchmesser in Kombination mit niedrigen oder hohen Kronenschluss über der Fahrbahn	0 - 1 Anteil [-]	22
	Bäume ohne Schutzplanke	0 - 1 Anteil [-]	23
	Stammdurchmesser der Bäume > 30 cm	0 - 1 Anteil [-]	24
	Schiefstand der Bäume (von der Fahrbahn weg geneigt)	0 - 0,69 Anteil [-]	25
Bäume auf hohen Böschungen <sup>2</sup>	0 - 1 Anteil [-]	26	

<sup>1</sup> logarithmische Transformation  
<sup>2</sup> Berücksichtigung als kategoriale Modellvariable

Tab. 38: Übersicht der Teilmodelle für  $U_{FaAb}(P,SS)$ ,  $U_{FaAb}(SP)$ ,  $U_{FaAb-Baum}(P,SS)$  und  $U_{FaAb-Baum}(SP)$ , deren Bezeichnung und Merkmalsberücksichtigung

Nr. Merkmal	$U_{FaAb}(P,SS)$			$U_{FaAb}(SP)$			$U_{FaAb-Baum}(P,SS)$				$U_{FaAb-Baum}(SP)$						
	1A	1B	1C	2A	2B	2C	3A	3B	3C	3D	4A	4A1	4A2	4A3	4B	4C	4D
1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3	X			X			X				X	X	X				
4			X			X	X				X						
5			X			X											
6	X			X			X				X	X					
7		X			X			X							X		
8	X			X			X				X						
9		X			X			X							X		
10		X			X			X							X		
11										X							
12	X			X			X				X	X					
13									X							X	
14									X							X	
15									X							X	
16									X							X	
17									X							X	
18									X							X	
19							X				X	X	X	X			
20										X							X
21										X							X
22							X				X	X	X				
23										X							X
24										X							X
25							X				X	X	X	X			
26										X							X

### 6.3 Modellerkenntnisse und Diskussion

Nachfolgend werden die im Verfahrensablauf der Modellerstellung Ergebnisse nach Merkmalsgruppen zusammengefasst und diskutiert. Der Anhang (Anlage 7) zeigt die Ergebnisse aller Teilmodelle und stellt die Residuen dar. Die Zusammenhänge aller Teilmodelle alle Abschnitte, Rein-Bepflanzungs-Teilmodelle und EB-Teilmodelle sind aggregiert im Kapitel 6.3.5 dargestellt.

#### 6.3.1 Exposition

Die Exposition bezeichnet das Maß der Gefahrenaussetzung und stellt eine wichtige Größe in den Teilmodellen und zur relativen Betrachtung des Unfallgeschehens dar. Es konnten drei Expositionsmerkmale identifiziert werden, welche in den Modellen eine (signifikante) Effektstärke zum Unfallgeschehen aufweisen und teilweise einen hohen Anteil der Erklärung der systematischen Streuung im Teilmodell bewirken.

## Abschnittslänge

Die durchschnittliche Länge eines Abschnittes (Merkmal 2) liegt bei 1,1 km (Mindestlänge von 500 m). Die Länge wurde neben dem DTV in allen endgültigen Teilmodellen berücksichtigt und zeigt insgesamt stabile Ergebnisse und einen signifikanten Zusammenhang mit dem Unfallgeschehen (Unfallhäufigkeit und -schwere).

Für die EB-Teilmodelle weisen die A-Posteriori-Mittelwerte des Regressionskoeffizienten der Länge Werte von Minimum 0,611 bis Maximum 1,414 (Median: 0,868) und damit einen hohen Zusammenhang zum Unfallgeschehen auf. Der Median der mittleren unteren A-Posteriori Werte des Konfidenzintervalls liegt bei 0,538 und beim oberen A-Posteriori Wert des Konfidenzintervalls bei 1,245. Die Werte der Stichprobenvarianz aller empirischen Mittelwerte (Maximum: 0,103) und damit die Abweichungen von den A-Posteriori Werten in den EB-Teilmodellen sind gering.

Die Regressionskoeffizienten der Teilmodelle aller Abschnitte (Median: 0,879) und für die Rein-Bepflanzungs-Teilmodelle (Median: 0,866) sind im Vergleich zu den A-Posteriori Werten der EB-Teilmodelle sehr ähnlich. Die Eliminierung der Ausreißer hatte keinen bedeutenden Einfluss auf die Ergebnisse des Zusammenhanges zwischen der Länge und der Unfallanzahl (Unfallhäufigkeit und -schwere). Insgesamt führt eine steigende Abschnittslänge unabhängig von anderen Merkmalen zum positiven Anstieg der Unfallhäufigkeit und -schwere. Beispielsweise ist dieser Anstieg im Teilmodell 1A ( $U_{FaAb}(P,SS)$ ) linear oder im Teilmodell 3C ( $U_{FaAb-Baum}(P,SS)$ ) mit 0,611 nichtlinear.

## Länge Netzknotenabschnitt

Die Länge eines Netzknotenabschnittes (NKA) (Merkmal 3), in welchem der betrachtete freie Streckenabschnitt liegt, kann vor dem Hintergrund eines möglichen Einflusses auf fahrdynamische und psychologische Auswirkungen betrachtet werden. Kurze NKA werden möglicherweise mit langsameren Fahrgeschwindigkeiten befahren, längere NKA können z. B. zur Erhöhung der Monotonie (in Verbindung mit dem Umfeld) und damit zur Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit führen. Gegenteilig ist es denkbar, dass längere NKA aufgrund der gleichbleibenden Größe und Abfolge der Lageplanelemente eine geringere Abkommenswahrscheinlichkeit aufweisen. Damit ist die Länge eines NKA, welches in

der Gesamtstichprobe eine durchschnittliche Länge von 3,4 km aufweist, eher ein Stellvertretermerkmal.

Für die EB-Teilmodelle liegen die A-Posteriori-Mittelwerte der Länge eines NKA im Bereich von Minimum -0,737 und Maximum -0,428 (Median: -0,475). Alle Teilmodelle für die  $U_{FaAb}(P,SS)$  und  $U_{FaAb-Baum}(P,SS)$  zeigen für das Merkmal einen signifikanten Zusammenhang (negativen Einfluss) zur Unfallanzahl (Unfallhäufigkeit und -schwere) auf. Bei den EB-Teilmodellen mit  $U_{FaAb-Baum}(SP)$  sind die Zusammenhänge zur Unfallschwere nicht signifikant. Der Median der mittleren unteren A-Posteriori Werte des Konfidenzintervalls liegt bei -0,879 und beim oberen A-Posteriori Wert des Konfidenzintervalls bei -0,163. Die Werte der Stichprobenvarianz aller empirischen Mittelwerte sind gering (Maximum: 0,065).

Die Regressionskoeffizienten der Teilmodelle aller Abschnitte (Median: -0,465, alle Koeffizienten signifikant) und für die Rein-Bepflanzungs-Teilmodelle (Median: -0,415) sind im Vergleich zu den EB-Teilmodellen sehr ähnlich. Bei den Rein-Bepflanzungs-Teilmodellen ist eine statistische Signifikanz bei den  $U_{FaAb}(P,SS)$  und  $U_{FaAb-Baum}(P,SS)$  vorhanden, bei  $U_{FaAb}(SP)$  nur bei der Ausreißereliminierung Fall B.

Insgesamt kann mit Einschränkungen daraus geschlossen werden, dass auf längeren NKA ein Einfluss auf die Abkommenswahrscheinlichkeit existiert und somit eine Verminderung der Unfallanzahl auftritt. Einschränkungen bestehen zum einen bei der Betrachtung der Unfallfolgen, zum anderen beim Vorhandensein von Ausreißer-Abschnitten. Bei einer Betrachtung von  $U_{FaAb}(SP)$  muss eine ausreichende Anzahl an Abschnitten ohne Ausreißer vorliegen, um das Merkmal bei einer Unfallanalyse zu berücksichtigen.

## Verkehrsstärke

Der durchschnittliche DTV (Merkmal 1) beträgt in der Gesamtstichprobe 4.211 Kfz/24 h. Dieser wurde wie die anderen Expositionsmerkmale logarithmiert ( $\ln(x)$ ) in der Modellerstellung berücksichtigt und kann damit auch einfacher in einer Modellgleichung eines GLM interpretiert werden.

Für die EB-Teilmodelle weisen die A-Posteriori-Mittelwerte des Merkmals DTV ein Minimum von -0,004 und Maximum von 0,348 (Median: 0,128) auf

und damit ein verhältnismäßig geringes Erklärungspotenzial der Unfallhäufigkeit und -schwere. Der Median der mittleren unteren A-Posteriori Werte des Konfidenzintervalls liegt bei -0,100 und beim oberen A-Posteriori Wert des Konfidenzintervalls bei 0,428. Die Werte der Stichprobenvarianz aller empirischen Mittelwerte sind sehr gering (Maximum 0,039) und damit auch die Abweichungen von den A-Posteriori Werten. Lediglich sind bei den EB-Teilmodellen mit  $U_{FaAb}(P,SS)$  signifikante positive Einflüsse des Merkmals auf die Unfallhäufigkeit nachweisbar.

Die Regressionskoeffizienten der Teilmodelle aller Abschnitte (Median: 0,119) und für die Rein-Bepflanzungs-Teilmodelle (Median: 0,121) sind von der Effektstärke im Vergleich zu den EB-Teilmodellen sehr ähnlich. Dabei zeigen die Teilmodelle für  $U_{FaAb}(P,SS)$  ebenfalls signifikante Zusammenhänge zwischen DTV und Unfallhäufigkeit. Für die Teilmodelle aller Abschnitte ( $U_{FaAb}(SP)$ ) sind für einzelne Fälle signifikante Zusammenhänge des DTV mit der Unfallschwere nachweisbar, jedoch nicht grundsätzlich. Für die Rein-Bepflanzungs-Teilmodelle sind neben den  $U_{FaAb}(P,SS)$  lediglich beim Teilmodell 3A ( $U_{FaAb-Baum}(P,SS)$ ) signifikante Zusammenhänge zur Unfallhäufigkeit nachweisbar. Die Eliminierung der Ausreißer hatte keinen weiteren bedeutsamen Einfluss auf die Ergebnisse.

Insgesamt kann der DTV als Einflussmerkmal bei der Betrachtung der Unfallkonstellation  $U_{FaAb}(P,SS)$  genutzt werden. Mit steigenden DTV kommt es zu einem geringen Anstieg der Unfallhäufigkeit. Die Abbildung 32 zeigt beispielhaft für das Teilmodell 1A den Zusammenhang von steigendem DTV mit sonst gleich bleibenden anderen Einflussmerkmalen (Mittelwerte der Gesamtstichprobe) auf die Anzahl von Fahrunfällen mit Abkommen von der Fahrbahn ( $U_{FaAb}(P,SS)$ ).

Im Rahmen der gesamten Teilmodellierung für  $U_{FaAb-Baum}(P,SS)$  und SP) und damit dem Baumaufprall zeigte sich eine geringe positive Effektstärke

für den DTV bei steigendem Unfallgeschehen (Unfallhäufigkeit und -schwere). Die Signifikanz ist jedoch bei 70 von 71 Fällen der Teilmodellerstellung nicht signifikant zum Unfallgeschehen und weist dabei teils deutliche Werte größer dem Signifikanzniveau von 0,05 auf.

Die Ausprägungen des Merkmals DTV auf den Abschnitten (Anhang, Anlage 5) zeigt eine sehr breite Varianz von minimal 371 bis maximal 21.198 Kfz/24 h in der Datengrundlage der Modellerstellung. Eine weitere Betrachtung des Streuungsmaßes der Standabweichung zeigt, dass um den Mittelwert der Gesamtstichprobe eine Streuung von 1.325 zu 7.098 Kfz/24 h besteht. Die rechtsschiefe Verteilung des DTV zeigt ein 2,5%-Quantil von 938 Kfz/24 h und ein 97,5%-Quantil von 12.679 Kfz/24 h.

Bivariate Analysen von DTV und unterschiedlichen Unfallgeschehen (Unfallhäufigkeit und -schwere) in Tabelle 39 zeigen, dass bei allen Abkommensunfällen von  $U_{FaAb}(P,SS)$ , wie bereits durch die Ergebnisse der Teilmodelle dargestellt, der DTV einen erhöhenden Einfluss auf das Unfallgeschehen hat. Hingegen zeigen sich bei dem Unfallgeschehen mit Baumaufprall ( $U_{FaAb-Baum}(P,SS)$  und SP)) lediglich sehr geringe Unterschiede und es ist keine Tendenz in den Daten nachweisbar.

Das Merkmal DTV ist aufgrund des nicht signifikanten Zusammenhangs der Teilmodellbildung und der

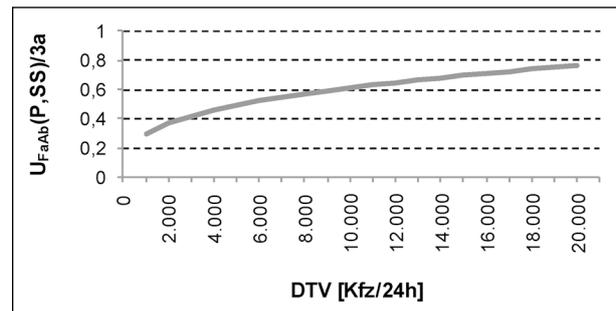


Abbildung 32: Beispielfunktion der  $U_{FaAb}(P,SS)$  über den DTV (Teilmodell 1A)

Tab. 39: Unfallgeschehen (pro Fahrtrichtung) nach Unfallselektion und Aufprallausprägung über den DTV (Datenbank I)

DTV [Kfz/24 h]	Anzahl Abschnitte	$U(P,SS)/a$	$U_{FaAb}(P,SS)/a$	$U_{FaAb}(SP)/a$	$U_{FaAb-Baum}(P,SS)/a$	$U_{FaAb-Baum}(SP)/a$
0 – 2.000	498	0,18	0,14	0,06	0,09	0,04
2.000 – 4.000	996	0,25	0,18	0,07	0,12	0,06
4.000 – 6.000	595	0,31	0,19	0,07	0,10	0,04
6.000 – 8.000	302	0,33	0,18	0,07	0,09	0,04
8.000 – 20.000	215	0,50	0,23	0,08	0,13	0,06
Gesamt	2.606	0,28	0,18	0,07	0,11	0,05

bivariaten Analyse für die Erklärung des Zusammenhangs zur Unfallhäufigkeit und -schwere von Fahrnfällen mit Abkommen von der Fahrbahn nach links und rechts und Aufprall auf einen Baum nicht geeignet. Folglich sind bei der Sicherheitsbewertung von Abschnitten mit der Straßenbepflanzung und dem selektierten Unfallgeschehen längenbezogene Unfallkenngrößen vornehmlich vor fahrleistungsbezogenen Unfallkenngrößen zu verwenden.

### 6.3.2 Lageplan, Elementfolgen und Höhenplan

#### Kurvigkeit, Längsneigung und Welligkeit

Die Merkmale des Lageplans, Elementfolgen und Höhenplan haben sich in der Literaturanalyse als maßgebende Einflussmerkmale auf das Unfallgeschehen und die fahrdynamischen Eigenschaften des Abschnittes herausgestellt. Die Kurvigkeit mit einem Mittelwert in der Datenbank von 48 gon/km (Merkmal 4) und die Welligkeit (Merkmal 9, Mittelwert: 0,04) berechnen sich aus den Trassierungsparametern und sind ein Maß für Richtungsänderungen im Lage- und im Höhenplan. Ebenso ist die Längsneigung größer als 4 % (Merkmal 5, Mittelwert: 0,04) – berechnet aus den Achsdaten und Gradientenhöhen – zu berücksichtigen. Bei diesen drei Merkmalen bestehen Korrelationen untereinander. Die Kurvigkeit und Längsneigung sind aufgrund der hohen inneren Korrelation mit  $r = 0,450$  nicht gemeinsam in einem Teilmodell aufzunehmen.

Die Kurvigkeit eines Abschnittes deckt in der Datenbank einen großen Wertebereich mit einer hohen Varianz ab. Bei den  $U_{FaAb}(P,SS)$  zeigt sich für die Teilmodelle aller Abschnitte und die Rein-Bepflanzungs-Teilmodelle ein sehr geringer signifikanter Regressionskoeffizient zwischen Kurvigkeit und Unfallhäufigkeit von jeweils 0,003 (Median). Weiterhin zeigte sich nach der Eliminierung der Ausreißer vereinzelt bei Teilmodellen aller Abschnitte und bei Rein-Bepflanzungs-Teilmodellen für  $U_{FaAb}(SP)$  ein Median des Regressionskoeffizienten von 0,001 sowie für  $U_{FaAb-Baum}(P,SS)$  ein Median des Regressionskoeffizienten von -0,003. Somit ist nur im Einzelfall ein signifikanter Zusammenhang zwischen Kurvigkeit und Unfallanzahl (Unfallhäufigkeit und -schwere) mit einem sehr geringen Effekt feststellbar.

Die Welligkeit weist in der gesamten Teilmodellerstellung anders als in der Literatur in der Regel keine signifikanten Zusammenhänge mit der Unfallanzahl

(Unfallhäufigkeit und -schwere) auf. Die Längsneigung größer als 4 % tritt lediglich bei dem Rein-Bepflanzungs-Teilmodell 1C ( $U_{FaAb}(P,SS)$ ) und Ausreißereliminierung Fall A als ein signifikantes Merkmal mit einem Regressionskoeffizient -1,375 zum Unfallhäufigkeit auf. Bei einem Teilmodell aller Abschnitte 2C ( $U_{FaAb}(SP)$ ) und Ausreißereliminierung Fall B ist eine signifikante Effektstärke von -2,204 geschätzt.

Begründet werden kann diese mathematische Ableitung bei dem Merkmal Welligkeit aufgrund der Korrelation mit dem Merkmal der Kurvigkeit sowie der geringen Varianz in der Datenbank mit einer Standardabweichung von 0,04. Die Datenbank weist jedoch einen deutlich breiteren Wertebereich als bei Maier et al. (2013) auf. Bei dem Merkmal der Längsneigung, welche in Maier et al. (2013) als nicht signifikantes Merkmal zum Unfallgeschehen abgebildet wurde, gibt es eine Korrelation mit den Elementen des Lageplans (Merkmale 6 bis 8,  $r$  zwischen 0,166 und 0,284).

#### Singularitäten und Kurvenradien von 200 bis 400 m

Singularitäten (Kurven mit einem Radius unter 200 m einschließlich Mindestlänge von 50 m), Kurvenradien von 200 bis 400 m und die Relationstrassierung stellen maßgebliche Merkmale mit einem hohen Sicherheitseinfluss auf Landstraßen dar und zeigten diesen in der Modellerstellung teilweise deutlich. Die drei Merkmale erklären einen hohen Anteil der systematischen Varianz in den Teilmodellen.

Der Einfluss der Singularität (Merkmal 8, Durchschnitt: 0,02) als mögliches Defizit des Abschnittes zeigte bei den A-Posteriori-Mittelwerten in den EB-Teilmodellen einen breiten Wertebereich von Minimum -1,891 ( $U_{FaAb}(SP)$ , Fall B der Ausreißereliminierung, nicht signifikant) und Maximum von 2,104, jedoch mit einem Median von 1,528 auf. Damit ist ein verhältnismäßig hoher Zusammenhang zur Unfallanzahl (Unfallhäufigkeit und -schwere) vorhanden. Dieser Zusammenhang ist nur bei  $U_{FaAb}(P,SS)$  und ohne Ausreißereliminierung signifikant. Der A-Posteriori-Mittelwert in den EB-Teilmodellen änderte sich nach der Eliminierung der Ausreißer und die Abbildung 33 bis Abbildung 35 zeigen die iterative Entwicklung der empirischen A-Posteriori Werte nach der Eliminierung der Ausreißer (verschiedene Kennwerte der Cooks D).

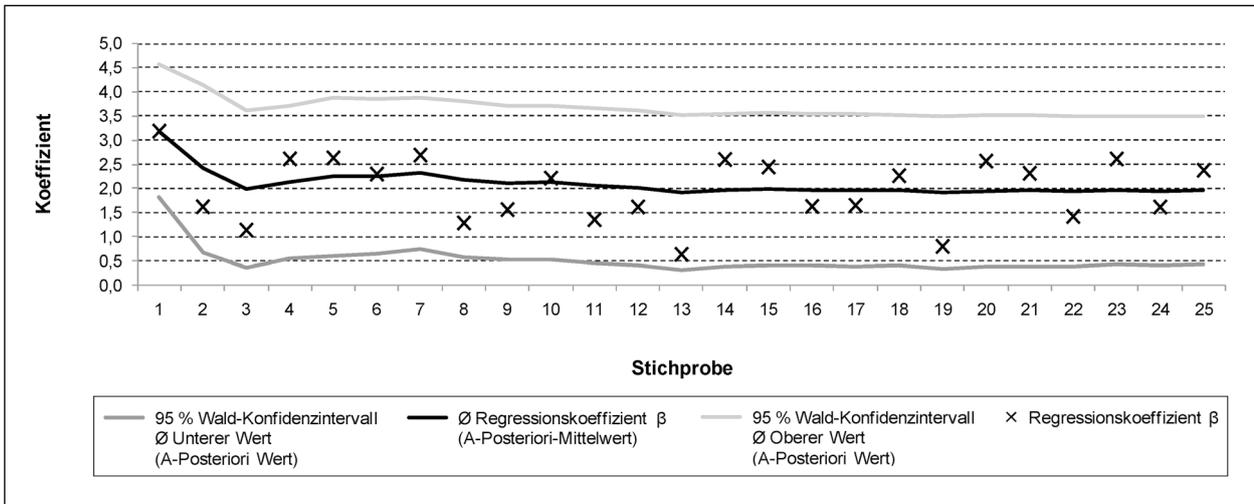


Abbildung 33: Entwicklung der Koeffizienten und A-Posteriori Werte für Singularitäten (Merkmal 8, EB-Teilmodell 1A, ohne Ausreißereliminierung)

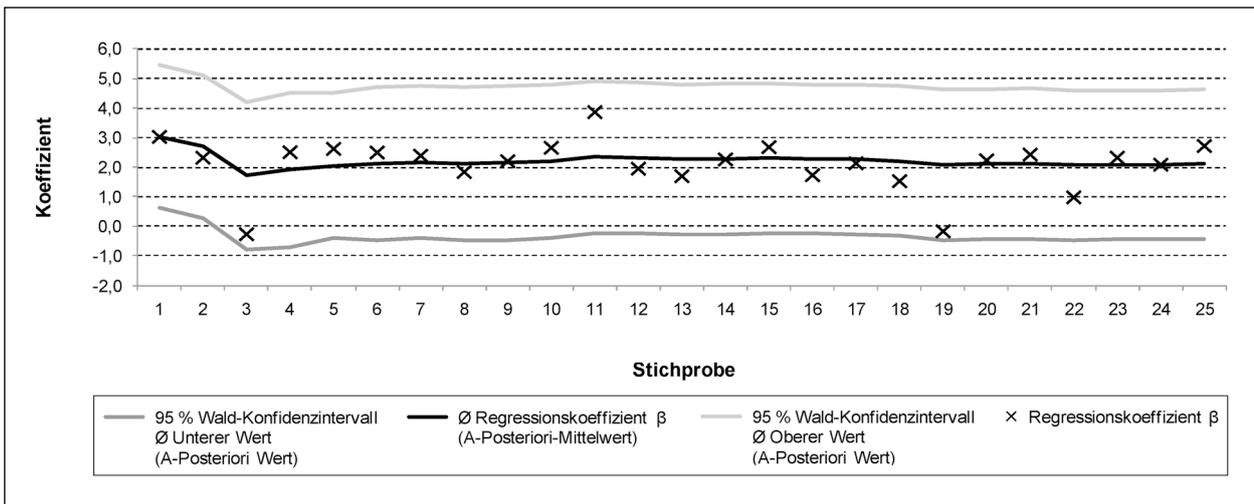


Abbildung 34: Entwicklung der Koeffizienten und A-Posteriori Werte für Singularitäten (Merkmal 8, EB-Teilmodell 1A, Ausreißereliminierung Fall A)

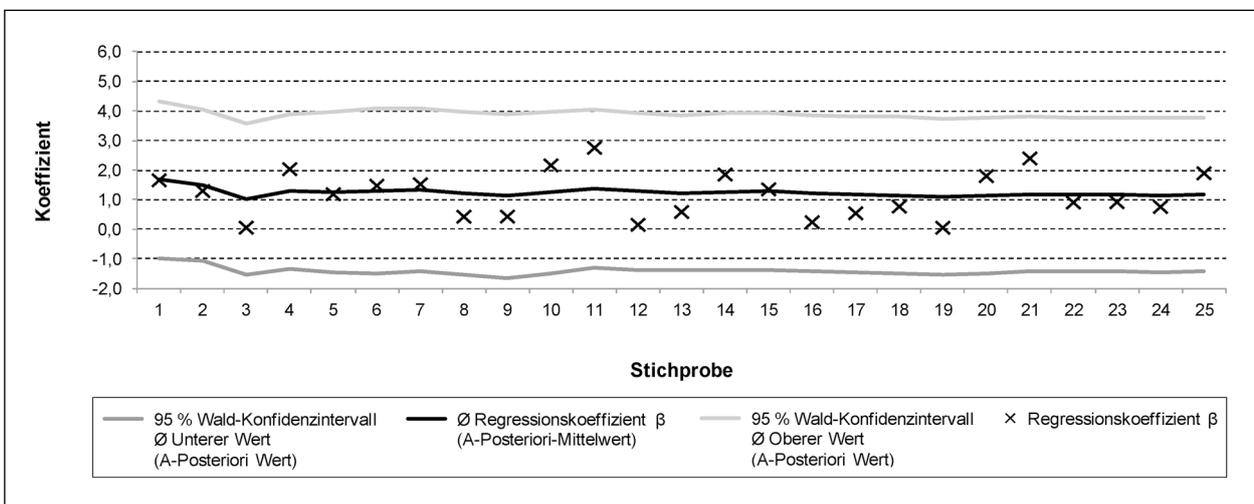


Abbildung 35: Entwicklung der Koeffizienten und A-Posteriori Werte für Singularitäten (Merkmal 8, EB-Teilmodell 1A, Ausreißereliminierung Fall B)

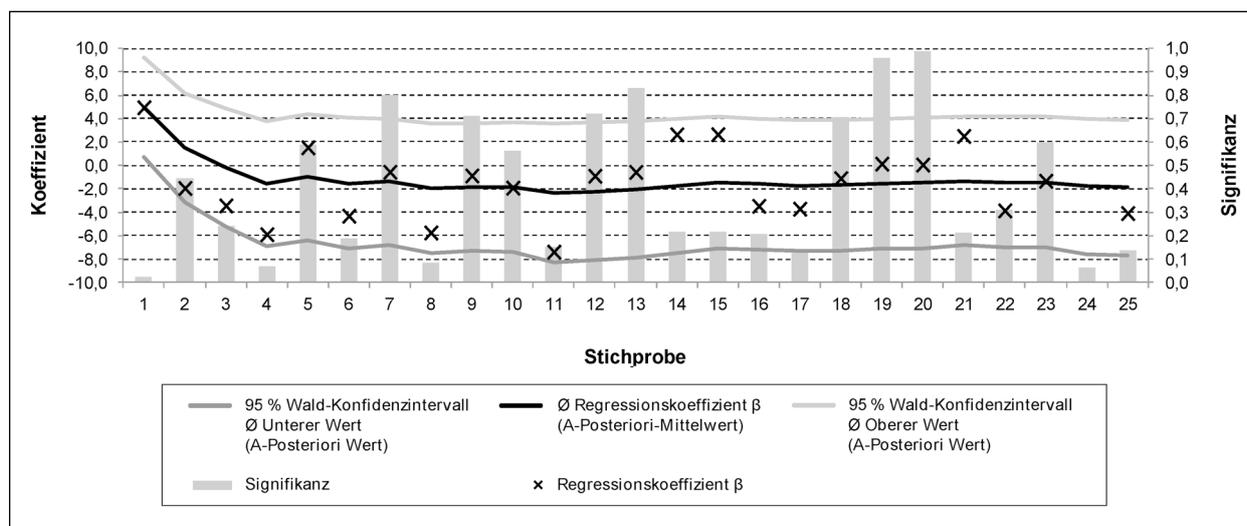


Abbildung 36: Entwicklung der Koeffizienten und A-Posteriori Werte und die zugehörige Signifikanz für Singularitäten (Merkmal 8, EB-Teilmodell 2A, Ausreißereliminierung Fall B)

Der Median der mittleren unteren A-Posteriori Werte des Konfidenzintervalls liegt bei -3,083 und beim oberen A-Posteriori Wert des Konfidenzintervalls bei 4,628 in den EB-Teilmodellen. Dabei sind die Werte der Stichprobenvarianz aller empirischen Mittelwerte sehr hoch (Maximum: 24,494), und damit die hohen Abweichungen der A-Posteriori Werte zu begründen.

Die Abbildung 36 zeigt die Entwicklung der Koeffizienten und A-Posteriori Werte einschließlich der jeweiligen Signifikanz des Merkmals 8 in einem EB-Teilmodell mit dem empirischen Verfahren der Bayes-Inferenz und zeigt die teilweise hohen Schwankungen der Koeffizienten.

Die Regressionskoeffizienten des Merkmals der Singularitäten der Teilmodelle aller Abschnitte (Median: 1,376) und für die Rein-Bepflanzungs-Teilmodelle (Median: 0,831) zeigen im Vergleich zu den EB-Teilmodellen ähnliche Ergebnisse. Es ergaben sich bei Teilmodellen aller Abschnitte ohne Ausreißereliminierung bei  $U_{FaAb}(P,SS \text{ und } SP)$  sowie bei der Ausreißereliminierung Fall A und  $U_{FaAb}(P,SS)$  und für die Rein-Bepflanzungs-Teilmodelle bei  $U_{FaAb}(P,SS)$  signifikante Zusammenhänge zur Unfallanzahl (Unfallhäufigkeit und -schwere).

Die Begründung für die unterschiedlichen und teilweise nicht sachlogischen Ergebnisse bei dem Merkmal Singularitäten liegt zum Einen in der Aus-

reißereliminierung und zum Anderen in den verwendeten Unfallkonstellationen. Die Singularität zeigt eine hohe signifikante Effektstärke im Zusammenhang mit  $U_{FaAb}(P,SS \text{ und } SP)$  bei Teilmodellen mit Ausreißern. Die Ausreißer-Abschnitte weisen einen höheren Anteil an Singularitäten in Verknüpfung mit höheren Unfallzahlen in der Datenbank auf. Dennoch ist das Merkmal Singularität nicht allein ausreichend, um die systematische Streuung der Teilmodelle mit den Ausreißern zu erklären.

Im Kapitel 5.5.1 wurde bereits dargelegt, dass je höher die Dichte an Singularitäten auf einem Abschnitt ist, sich in der Regel höhere Anteile der Länge der Schutzplanken und höhere Anteile an Bäumen mit Schutzplanken<sup>43</sup> zeigen. Dies führt bei der Modellerstellung ( $U_{FaAb-Baum}(P,SS \text{ und } SP)$ ) dazu, dass die Effektstärken der Singularitäten deutlich abnehmen. Teilweise ist in den Teilmodellen mit einem höheren Anteil an Singularitäten sogar ein negativer signifikanter Einfluss des Merkmals auf das Unfallgeschehen (Unfallhäufigkeit und -schwere) nachweisbar. Daraus kann nicht geschlossen werden, dass Singularitäten keinen Zusammenhang oder einen negativen Einfluss zum Unfallgeschehen aufweisen. Hingegen kommt es durch die in der Praxis durchgeführten passiven Schutzmaßnahmen, z. B. an (Unfallhäufungs-)Stellen von Singularitäten, logischerweise zur Verschiebung von dem Unfall mit einem Aufprall auf einen Baum auf die Aufprallausrüstung Schutzplanke.

<sup>43</sup> Das Kapitel 6.3.4 zeigt die Ergebnisse für das Merkmal 23 (Bäume ohne Schutzplanke).

Ähnliche methodische Besonderheiten mit geringen Ausprägungen treten beim Merkmal der Kurvenradien von 200 bis 400 m (Merkmal 6, Durchschnitt: 0,66) auf. Die A-Posteriori-Mittelwerte in den EB-Teilmodellen weisen mit einem Minimum von -0,085 und Maximum 0,206 (Median: 0,117) einen geringen Zusammenhang zum Unfallgeschehen (Unfallhäufigkeit und -schwere) auf. Der Median der mittleren unteren A-Posteriori Werte des Konfidenzintervalls liegt bei -0,033 und beim oberen A-Posteriori Wert des Konfidenzintervalls bei 0,252 (EB-Teilmodelle). Die Werte der Stichprobenvarianz aller empirischen Mittelwerte sind sehr gering (Maximum: 0,024) und zeigen damit stabile Ergebnisse. Die Koeffizienten des Merkmals 6 zeigen bei den EB-Teilmodellen (Ausreißereliminierungen Fall A und B) signifikante Zusammenhänge zu  $U_{FaAb}(P,SS)$  und zu  $U_{FaAb-Baum}(P,SS)$ .

Die Regressionskoeffizienten des Merkmal 6 der Teilmodelle aller Abschnitte (Median: 0,064) und für die Rein-Bepflanzungs-Teilmodelle (Median: 0,126) zeigen im Vergleich zu den EB-Teilmodelle vergleichbare Ergebnisse. Es werden überwiegend für die vergleichbaren Teilmodelle und Ausreißereliminierungen signifikante Zusammenhänge zur Unfallanzahl (Unfallhäufigkeit und -schwere) aufgedeckt. Jedoch sind bei dem Teilmodell aller Abschnitte und Rein-Bepflanzungs-Teilmodell ohne Ausreißereliminierung für  $U_{FaAb}(P,SS)$  und beim Teilmodell aller Abschnitte ohne Ausreißereliminierung für  $U_{FaAb-Baum}(P,SS)$  signifikante Zusammenhänge der Kurvenradien zur Unfallhäufigkeit vorhanden.

Das Merkmal 6 zeigt bei allen Teilmodellen  $U_{FaAb}(SP)$  und  $U_{FaAb-Baum}(SP)$  im Vergleich zu dem Merkmal der Singularitäten keinen signifikanten Zusammenhang zur Unfallschwere. Geringere Unfallfolgen treten auf Abschnitten mit Kurven mit 200 bis 400 m im Vergleich zu Singularitäten auf. In diesem Zusammenhang wirken wahrscheinlich auch die höheren Anteile an Schutzplanken – die häufig auch an Unfallhäufungsstellen eingesetzt werden – bei Radien von 200 bis 400 m (siehe Kapitel 5.5.1).

### Bewertung der Relationstrassierung

Die Relationstrassierung benachbarter Elemente des Lageplans stellt in der Literatur ein erklärendes Merkmal für die Unfallwahrscheinlichkeit auf Landstraßen dar. Die Schwierigkeiten sind die Unvollständigkeit des Merkmals in der Datenbank mit 74 % (siehe Kapitel 6.2), ein geringer Wertebereich

(Mittelwert von 1,1), geringe Standardabweichung mit 0,9 und die teilweise hohen Korrelationen mit den anderen Merkmalen des Lageplans. Das Merkmal 7 ist eine Kombination der Relationsbetrachtung (aufeinanderfolgende Radien und Radien im Anschluss an Gerade) mit einem brauchbaren oder zu vermeidenden Bereich nach den RAL 2012. Das Merkmal wurde mittels Klassenbildung in ein kategoriales Merkmal überführt.

In den EB-Teilmodellen weisen die A-Posteriori-Mittelwerte der Kategorie 3 ( $\geq 1/\text{km}$ ) des Merkmals 7 ein Minimum von 0,045 und ein Maximum von 0,611 (Median: 0,445) und damit einen mittleren Zusammenhang zur Unfallhäufigkeit und -schwere auf. Dabei sind die Zusammenhänge mit  $U_{FaAb}(P,SS)$  und  $SP$  signifikant. Der Median der mittleren unteren A-Posteriori Werte des Konfidenzintervalls liegt bei -0,004 und beim oberen A-Posteriori Wert des Konfidenzintervalls bei 0,830 (EB-Teilmodelle). Die Werte der Stichprobenvarianz aller empirischen Mittelwerte sind gering (Maximum 0,078).

Die Abbildung 37 zeigt die Entwicklung des A-Posteriori-Mittelwertes des EB-Teilmodelles einschließlich der jeweiligen Signifikanz des Regressionskoeffizienten des Merkmals 7 in dem EB-Teilmodell 2B. Bei einer mittleren Signifikanz von 0,058 zeigen sich teilweise hohe Extremwerte über dem Signifikanzniveau von 0,05. Insgesamt weisen jedoch 18 der 25 Stichprobenziehungen der Teilmodelle einen signifikanten Zusammenhang zum Unfallgeschehen auf.

Die Regressionskoeffizienten der Kategorie 3 für die Teilmodelle aller Abschnitte (Median: 0,482) und für die Rein-Bepflanzungs-Teilmodelle (Median: 0,338) sind im Vergleich zu den EB-Teilmodellen ähnlich. Für die Teilmodelle aller Abschnitte ohne und mit Ausreißereliminierung Fall A ( $U_{FaAb-Baum}(P,SS)$ ) konnten zudem positive signifikante Einflüsse des Merkmales auf die Unfallhäufigkeit ermittelt werden.

Die Kategorie 2 (0,5 bis 1/km) des Merkmals 7 zeigte für die Teilmodelle aller Abschnitte  $U_{FaAb}(P,SS)$  und  $U_{FaAb-Baum}(P,SS)$  ebenfalls einen signifikanten Zusammenhang zur Unfallhäufigkeit. Die A-Posteriori-Mittelwerte der Kategorie 2 des Merkmals im EB-Teilmodell weisen mit Werten von Minimum 0,165 und Maximum 0,329 (Median: 0,238) eine geringe Erklärung des Zusammenhangs zur Unfallhäufigkeit und -schwere auf. Der Median der mittleren unteren A-Posteriori Werte des Konfidenzinter-

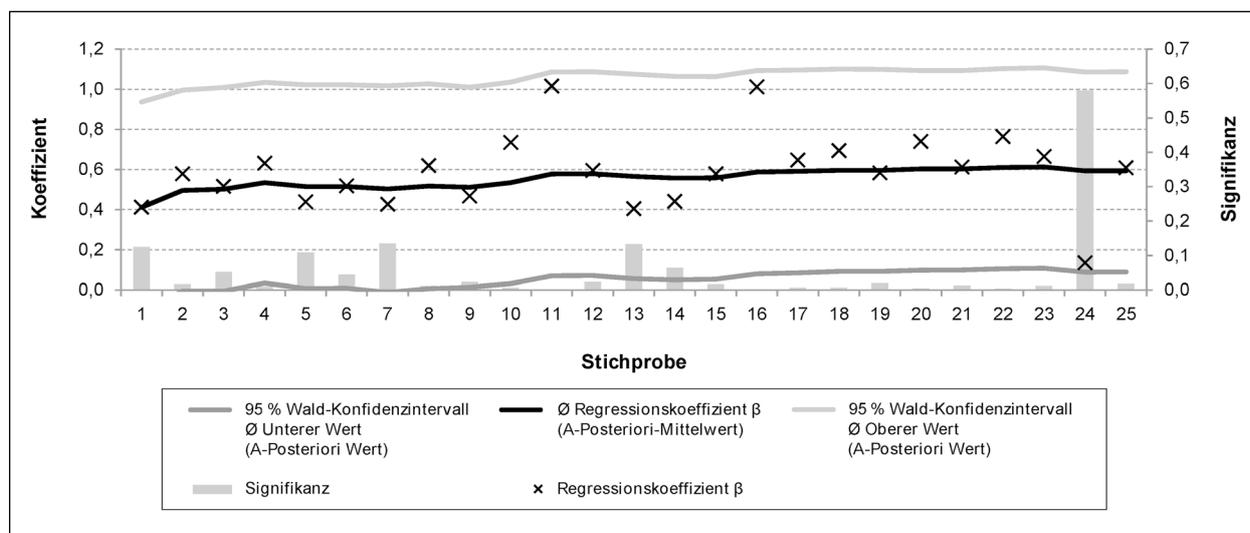


Abbildung 37: Entwicklung der Koeffizienten und A-Posteriori Werte und die zugehörige Signifikanz für Elemente mit einem brauchbaren oder mit einem zu vermeidenden Bereich im Rahmen der Bewertung der Relationstrassierung (Merkmal 7, Kategorie 3, EB-Teilmodell 2B, Ausreißereliminierung Fall A)

valls liegt bei  $-0,171$  und beim oberen A-Posteriori Wert des Konfidenzintervalls bei  $0,648$  (EB-Teilmodell). Die Werte der Stichprobenvarianz aller empirischen Mittelwerte sind gering (Maximum  $0,090$ ).

Insgesamt zeigt sich, dass die Relationstrassierungen benachbarter Elemente des Lageplans im „zu vermeidenden Bereich“ oder „brauchbaren Bereich“ nach den RAL 2012 (FGSV 2012) bereits bei einer geringen Auftretenshäufigkeit einen signifikanten erhöhenden Einfluss auf die Unfallhäufigkeit aufweisen.

### 6.3.3 Querschnitt und Gebietsmerkmal

#### Fahrbahnbreite

Das Merkmal der Fahrbahnbreite zeigt in der Literatur neben dem Einfluss auf die Fahrgeschwindigkeit einen unterschiedlichen Einfluss auf das Unfallgeschehen (insbesondere Unfallhäufigkeit). Dieser uneinheitliche Trend zeigte sich auch in der Auswertung der Fahrbahnbreite (Merkmal 10) aus den Straßeninformationsdatenbanken bzw. -systemen mit einem breiten Wertebereich von  $3,96$  bis  $9,00$  m (Mittelwert  $6,40$  m).

In EB-Teilmodellen liegt der Median der mittleren unteren A-Posteriori Werte des Konfidenzintervalls bei  $-0,239$  und beim oberen A-Posteriori Wert des Konfidenzintervalls bei  $0,299$ . Der Median des A-Posteriori-Mittelwertes liegt bei  $0,060$ . Dabei zeigen alle EB-Teilmodelle keine signifikanten Zusammenhänge zum Unfallgeschehen (Unfallhäufigkeit und -schwere) auf.

Die Regressionskoeffizienten der Fahrbahnbreite der Teilmodelle aller Abschnitte (Median:  $0,106$ ) und für die Rein-Bepflanzungs-Teilmodelle (Median:  $-0,004$ ) stützen die Ergebnisse der EB-Teilmodelle. Jedoch zeigt sich bei den Teilmodellen aller Abschnitte ( $U_{FaAb}(SP)$  und Ausreißereliminierung Fall A) und der damit einhergehenden hohen Abschnittsanzahl ein signifikanter Zusammenhang zur Unfallschwere. Hierbei zeigt der Cure-Plot der kumulierten Residuen des Teilmodells 2B (siehe Anhang, Anlage 7, Abbildung A-10) jedoch eine deutliche Überschätzung des Unfallgeschehens nah am Vertrauensbereich. Bei einer Abschnittslänge ab ca.  $2.000$  m liegen die Werte deutlich über dem Vertrauensbereich. Letztendlich zeigte sich, dass der ermittelte Erklärungsanteil der Fahrbahnbreite an dem Unfallgeschehen bei einer Eliminierung aus einem Teilmodell auf den DTV übergeht. Dies geschieht aufgrund der hohen Korrelation ( $r = 0,591$ ) der Merkmale DTV und Fahrbahnbreite.

#### Verringerung der Fahrbahnbreite

Das Merkmal 11 bildet eine lokale und ausgeprägte Verringerung von der mittleren Fahrbahnbreite des Abschnitts ab, welches jedoch nicht zur Netzknotenentteilung geführt hat. Der Hintergrund für die exemplarische Berücksichtigung in der Untersuchung und in einem Teilmodell ist die Frage, ob möglicherweise eine lokale Verringerung im Querschnitt zu einem Sicherheitsproblem geführt hat. Möglicherweise führt dies beim Fahrzeugführer zu einer Fehlehandlung aufgrund einer unterlassenen oder überhöhten Lenkreaktion.

Die Ergebnisse für das Merkmal 11 als dichotom kategorisiertes Merkmal konnten lediglich für alle Teilmodelle (Teilmodelle aller Abschnitte, Rein-Bepflanzungs-Teilmodelle und EB-Teilmodelle) ohne Ausreißereliminierung gebildet werden, da die Auftretenshäufigkeit sehr gering ist. Es zeigt sich beim Teilmodell 3D ( $U_{\text{FaAb-Baum}}(P,SS)$ ) eine geringe Tendenz für einen Zusammenhang mit der Unfallhäufigkeit. Der Regressionskoeffizient liegt in einem Bereich von 0,07 bis 0,988 über dem Signifikanzniveau von 0,05.

### Siedlungsstruktureller Kreistyp

Im Rahmen der Teilmodellerstellung konnte die Siedlungsstruktur (Merkmal 12), gebildet nach dem BBSR aus dem Bevölkerungsanteil und der Einwohnerdichte in Stadt- und Landkreisregionen, in mehreren Teilmodellen berücksichtigt werden. Es zeigt sich, dass nur für die Teilmodelle aller Abschnitte  $U_{\text{FaAb}}(SP)$  (Teilmodell 2A, Ausreißereliminierung Fall B) mit einem Regressionskoeffizienten von 0,178 ein signifikanter Zusammenhang zur Unfallschwere festzustellen ist. Damit ist bei geringer werdendem Bevölkerungsanteil bzw. geringer werdender Einwohnerdichte eine Erhöhung des Unfallgeschehens festzustellen. Dieser Umstand wurde bereits in der Literaturanalyse im Kapitel 2.3 (Mäder & Pöppel-Decker 2001 und Maier et al. 2013) gezeigt.

Warum keine signifikanten Zusammenhänge zum Unfallgeschehen (Unfallhäufigkeit und -schwere) in allen Teilmodellen, wie z. B. bei Maier et al. (2013) nachweisbar sind, ist möglicherweise zum einen auf unterschiedliche Differenzierungen der Kreistypen nach BBSR (4 Typen) und Mäder & Pöppel-Decker (2001) mit 5 Typen (verwendet von Maier et al. 2013) zurückzuführen. Zum anderen wird wahrscheinlich der fehlende Einfluss der Siedlungsstruktur auf das Unfallgeschehen in allen Teilmodellen durch die deutlich unterschiedliche Verteilung nach Kreistypen im Vergleich zu Maier et al. (2013) hervorgerufen. Die Datengrundlagen von Maier et al. (2013) weisen bei den Landkreisen vergleichbare Verteilungen auf, wohingegen in der Gesamtstichprobe der Datenbank I ein Schwerpunkt auf den Typen 3 und 4 mit 93 % liegt und damit eine geringere Varianz in der Datenbank.

### 6.3.4 Straßenbepflanzung

#### Typen der Bepflanzung: Einzelbaum, Baumgruppe/-reihe, Allee, Waldbereich/-mantel

In den Analysen (Kapitel 4 und 5.5.1) wurde der große Einfluss der Straßenbepflanzung auf das bundesweite Unfallgeschehen und in der Datenbank nach den unterschiedlichen Bepflanzungstypen dargelegt. Anhand der Auswertungen konnte gezeigt werden, dass es einen deutlichen Zusammenhang zwischen der fahrleistungsbezogenen Abkommenshäufigkeit und der Straßenbepflanzung auf den Abschnitten gibt. Die Gesamtunfallrate ist bei fast allen Bepflanzungstypen größer als bei baumfreien Umfeld. Ebenso ist ein eindeutiger Einfluss auf die höheren Unfallfolgen der Bepflanzungsabschnitte im Vergleich zum baumfreien Umfeld zu nennen. Weiterhin hatten sich in der Literaturanalyse der „Wald im Seitenraum“ und die „Baumreihe auf Bankett“ (siehe Maier et al. 2013) mit signifikant positiven Einflüssen auf das Unfallgeschehen (Erhöhung der Unfallhäufigkeit) herausgestellt.

Für weitergehende Erkenntnisse sind die Anteile des Typs der Straßenbepflanzung (Merkmale 13 bis 19) (siehe Tabelle 30) in der Teilmodellerstellung berücksichtigt. Die Ergebnisse der Zusammenhänge der Merkmale auf das Unfallgeschehen  $U_{\text{FaAb-Baum}}(P,SS)$  und  $U_{\text{FaAb-Baum}}(SP)$  sind in Tabelle 40 mit einer Darstellung besonders hoher Effektstärken (Einfärbung) auf die Unfallanzahl dargestellt. Die Ergebnisse differenzieren nach Typ der Bepflanzung, Unfallschwere, Stichprobenumfang und der Eliminierung der Ausreißer.

Das Merkmal der Einzelbäume (Merkmal 13, Abschnitte mit unterdurchschnittlicher Singularität) zeigte keine signifikanten Zusammenhänge zu  $U_{\text{FaAb-Baum}}(P,SS)$ . Jedoch ist der Zusammenhang bei  $U_{\text{FaAb-Baum}}(SP)$  und dem Merkmal 13 besonders hoch und tritt bei Abschnitten in den Rein-Bepflanzungs-Teilmodellen deutlicher hervor. Insgesamt zeigt das Merkmal eine hohe Stichprobenvarianz der empirischen Mittelwerte (EB-Teilmodelle), welche auf das Merkmal, die Auftretenswahrscheinlichkeit von Einzelbäumen und deren Aufprallwahrscheinlichkeit zurückzuführen ist.

Baumgruppen (Merkmal 14) zeigen eine sehr hohe Stichprobenvarianz der empirischen Mittelwerte (EB-Teilmodelle), bedingt durch die geringe Anzahl an Abschnitten, Abschnitts- und Durchschnittslängen. Ohne die Ausreißereliminierung und die damit

Tab. 40: Zusammenhang der Merkmale 13 bis 18 (Lage der Bepflanzung) zum  $U_{\text{FaAb-Baum}}(P,SS \text{ und } SP)$  in Teilmodellen 3C und 4C

Merkmal	Teilmodell für ...	$U_{\text{FaAb-Baum}}(P,SS)$ , Teilmodell 3C						$U_{\text{FaAb-Baum}}(SP)$ , Teilmodell 4C <sup>A</sup>		
		Regressionskoeffizient $\beta$		Konfidenzintervall*				Regressionskoeffizient $\beta$	Konfidenzintervall*	
				Unterer Wert		Oberer Wert			Unterer Wert	Oberer Wert
Einzelbaum (13)	alle Abschnitte	○						1,447	0,047	2,847
	Rein-Bepflanzung	○						2,613	0,728	4,498
Baumgruppe (14)		○						○		
Baumreihe (15)	alle Abschnitte	0,719		0,096		1,343		1,926	0,899	2,954
	Rein-Bepflanzung	0,846		-0,113		1,814		3,042	1,342	4,742
Allee (16)	alle Abschnitte	1,514 <sup>A</sup>	2,693 <sup>B</sup>	0,980 <sup>A</sup>	1,907 <sup>B</sup>	2,061 <sup>A</sup>	3,480 <sup>B</sup>	2,723	1,784	3,662
	Rein-Bepflanzung	1,679 <sup>A</sup>	3,146 <sup>B</sup>	0,866 <sup>A</sup>	1,915 <sup>B</sup>	2,492 <sup>A</sup>	4,377 <sup>B</sup>	3,419	1,857	4,981
Waldbereich (17)	alle Abschnitte	1,110 <sup>A</sup>	2,340 <sup>B</sup>	0,539 <sup>A</sup>	1,530 <sup>B</sup>	1,682 <sup>A</sup>	3,150 <sup>B</sup>	2,031	1,051	3,011
	Rein-Bepflanzung	1,209 <sup>A</sup>	2,781 <sup>B</sup>	0,363 <sup>A</sup>	1,520 <sup>B</sup>	2,056 <sup>A</sup>	4,043 <sup>B</sup>	2,835	1,238	4,431
Waldmantel (18)	alle Abschnitte	1,420 <sup>B</sup>		0,431 <sup>B</sup>		2,409 <sup>B</sup>		1,979	0,800	3,159
	Rein-Bepflanzung	○						(○)		

\* 95%-Wald-Konfidenzintervall  
○ kein signifikanter Einfluss des Merkmals auf das Unfallgeschehen  
(○) kein signifikanter Einfluss des Merkmals auf das Unfallgeschehen mit Einschränkungen bei Modellanwendung  
<sup>A</sup> Ohne Ausreißereliminierung und Fall A (Median)  
<sup>B</sup> Ausreißereliminierung Fall B

 Wert > 0,50-Quantil der Tabellenspalte  
 Wert > 0,75-Quantil der Tabellenspalte

verbundene Berücksichtigung von Abschnitten mit Ausreißern zeigt das Merkmal 14 eine Signifikanz von 0,08 und liegt leicht über dem Signifikanzniveau von 0,05. Abschnitte mit Baumgruppen sind in der Datenbank durch hohe Kurvigkeiten und Welligkeiten geprägt.

Je häufiger das Merkmal „Bäume in Gruppen“ auf einem Abschnitt auftritt, steigt wegen der Zunahme von Lücken der durchschnittliche Längsabstand von Bäumen untereinander deutlich an. Dies erklärt auch die sinkende Aufprallwahrscheinlichkeit beim Abkommen von der Fahrbahn auf einen Baum bei Zunahme dieses Merkmals. Darüber hinaus zeigt sich für dieses Merkmal 14, dass mit steigendem Anteil von Baumgruppen auf Abschnitten der minimale Baumabstand von der Fahrbahn deutlich zunimmt. Damit ist eine Tendenz für einen unfallvermindernden Einfluss auf Unfallhäufigkeit und -schwere mit Aufprall auf einen Baum in einer Baumgruppe erklärbar.

Die Baumreihe (Merkmal 15) auf Abschnitten, welche eine unterdurchschnittliche Kurvigkeit aufweisen, zeigt einen deutlichen steigenden Regressionskoeffizienten in den Teilmodellen aller Abschnitte ( $U_{\text{FaAb-Baum}}(SP)$ : 1,926) zu den Rein-Bepflan-

zungs-Teilmodellen ( $U_{\text{FaAb-Baum}}(SP)$ : 3,042). Dies liegt an der Ausreißereliminierung der Abschnitte mit besonders hoher Singularität. Bei Rein-Bepflanzungs-Teilmodellen mit Baumreihen ist die Singularität sehr gering und deshalb steigt der Effekt des Merkmals 15 noch einmal an. Das Merkmal 15 zeigte überwiegend eine geringe Stichprobenvarianz der empirischen Mittelwerte (EB-Teilmodelle). Damit ist das Merkmal ein stabiles Merkmal, welches in Einzelfällen bei Teilmodellen ( $U_{\text{FaAb-Baum}}(P,SS)$ ) leicht über dem Signifikanzniveau von 0,05 liegt.

Die Allee und der Waldbereich (Merkmale 16 bis 17) zeigen in der Teilmodellerstellung insgesamt die höchsten signifikanten Zusammenhänge zum Unfallgeschehen (Unfallhäufigkeit und -schwere) und bestätigen die Ergebnisse der Unfallauswertungen im Kapitel 5.5.1.2. Weiterhin zeigt sich bei den Merkmalen 16 und 17 ein steigender Zusammenhang mit Ausreißereliminierung nach den unterschiedlichen Ansätzen der Teilmodelle (vergleichbar mit dem Merkmal 15). Beim Waldbereich ist dies auf den hohen Anteil der Singularitäten auf den Abschnitten zurückzuführen, welche nach der Ausreißereliminierung abnehmen und bei diesen Teilmodellen eine höhere Effektstärke aufweisen. Die

Abschnitte mit Alleem, gekennzeichnet durch unterdurchschnittliche Kurvigkeit und Welligkeit auf den Abschnitten, weisen einen hohen Erklärungsanteil in den Teilmodellen auf. Der Effekt wird dadurch verstärkt, dass in Alleem weitere Merkmale auftreten (z. B. Merkmale 20 bis 22), welche einen starken unfallerhöhenden Einfluss auf das Unfallgeschehen aufweisen.

Die Merkmale Allee und Waldbereich weisen mittlere Regressionskoeffizienten bis 3,419 für  $U_{\text{FaAb-Baum}}(\text{P,SS})$  und bis 2,835 für  $U_{\text{FaAb-Baum}}(\text{SP})$  auf. Die hohe Breite der Konfidenzintervalle der Regressionskoeffizienten aller Teilmodelle ist abhängig von der Eliminierung der Ausreißer und zeigt besonders, dass die Ergebnisse der Konfidenzintervalle im Rahmen einer möglichen Anwendung der Modellergebnisse berücksichtigt werden sollten. Der Allee und dem Waldbereich ist damit ein eindeutiger und hoher Zusammenhang zur Unfallhäufigkeit und -schwere nachgewiesen.

Der Waldmantel (Merkmal 18) zeigt u. a. aufgrund der geringen Abschnittszahl bei Rein-Bepflanzungs-Teilmodellen keine signifikanten Zusammenhänge. Die hohe Singularitätenanzahl auf den Abschnitten bildet sich deutlich in der Eliminierung der Ausreißer ab. Mit einem geringen Anteil an Ausreißern steigt der signifikante Zusammenhang auf das Unfallgeschehen vom Waldmantel mit gleichzeitigem Auftreten von einem breiten Wertebereich der Konfidenzintervalle.

### Baumreihe und Allee

Das Merkmal 19 (Baumreihe und Allee) wurde aufgrund des hohen Unfalleinflusses und der in Teilen vergleichbaren Bepflanzung (linienhaft und zusammenhängend) als Kombinationsmerkmal zusätzlich untersucht. Dabei ist es aufgrund der auftretenden Korrelationen zu den Merkmalen 16 und 17 in anderen Teilmodellen berücksichtigt. Es stellte sich ausnahmslos ein signifikanter Zusammenhang zur Unfallhäufigkeit und -schwere ein.

Die A-Posteriori-Mittelwerte des Merkmals 19 weisen in den EB-Teilmodellen mit einem Median von 0,847 einen hohen Zusammenhang zum Unfallgeschehen (Unfallhäufigkeit und -schwere) auf. Der Median der mittleren unteren A-Posteriori Werte des Konfidenzintervalls liegt bei 0,307 und beim oberen A-Posteriori Wert des Konfidenzintervalls bei 1,435 (EB-Teilmodelle). Die Werte der Stichprobenvarianz der A-Posteriori-Mittelwerte sind sehr

gering (Maximum: 0,092) und bei den A-Posteriori Werten des Konfidenzintervalls deutlich höher (Maximum: 1,465). Damit ist das Merkmal hinsichtlich der Mittelwerte sehr stabil und bei den Grenzwerten des Konfidenzintervalls tritt eine höhere Abweichung auf.

Die Regressionskoeffizienten der Teilmodelle aller Abschnitte (Median: 0,773) und für die Rein-Bepflanzungs-Teilmodelle (Median: 0,688) sind im Vergleich zu den A-Posteriori Werten der EB-Teilmodelle sehr ähnlich. Die Regressionskoeffizienten aller Teilmodelle (Teilmodelle aller Abschnitte, Rein-Bepflanzungs-Teilmodelle und EB-Teilmodelle) sind bei der Ausreißereliminierung Fall B leicht höher. Damit ist das Merkmal 19 ein eindeutiges Einflussmerkmal für das Eintreten des Unfallgeschehens für  $U_{\text{FaAb-Baum}}(\text{P,SS})$  und  $U_{\text{FaAb-Baum}}(\text{SP})$ .

### Längsabstand der Bäume

Bei der Analyse im Kapitel 5.5.1.2 wurden Tendenzen für einen Zusammenhang nach den „mittleren“ bis „sehr verdichteten“ und „weiten“ Längsabständen zwischen den Bäumen und dem Unfallgeschehen festgestellt. Das Merkmal 20 (Längsabstand zwischen den Bäumen) ist in der Teilmodellerstellung als kategoriales Merkmal abgebildet und zeigte bis auf wenige Ausnahmen einen signifikanten Zusammenhang zum Unfallgeschehen (Unfallhäufigkeit und -schwere).

In der Kategorie 1 mit Längsabständen im Mittel bis 20 m sind alle Regressionskoeffizienten signifikant und die A-Posteriori-Mittelwerte (EB-Teilmodell) für  $U_{\text{FaAb-Baum}}(\text{P,SS})$  und  $U_{\text{FaAb-Baum}}(\text{SP})$  liegen zwischen 0,625 (ohne Ausreißereliminierung) bis 1,274 (Ausreißereliminierung Fall B).

Für die Kategorie 2 (Abstand zwischen 20 bis 40 m) wurden beim EB-Teilmodell geringere A-Posteriori-Mittelwerte für  $U_{\text{FaAb-Baum}}(\text{P,SS})$  und  $U_{\text{FaAb-Baum}}(\text{SP})$  zwischen 0,354 (Ausreißereliminierung Fall A) bis 0,739 (Ausreißereliminierung Fall B) ermittelt. Die Kategorie 2 des Merkmals weist lediglich bei  $U_{\text{FaAb-Baum}}(\text{P,SS})$ , Ausreißereliminierung Fall B im EB-Teilmodell einen signifikanten Zusammenhang zur Unfallhäufigkeit auf. Die Werte der Stichprobenvarianz aller empirischen Mittelwerte sind mit einem Maximum 0,289 in einem mittleren Abweichungsbereich. Die Tabelle 41 und Tabelle 42 zeigen beispielhaft die Ergebnisse der Teilmodelle  $U_{\text{FaAb-Baum}}(\text{P,SS})$  und  $U_{\text{FaAb-Baum}}(\text{SP})$  für das Merkmal 20.

Die mittleren und signifikanten Regressionskoeffizienten ( $U_{\text{FaAb-Baum}}(P,SS)$  und  $SP$ ) der Kategorie 1 und 2 für das Merkmal 20 sind bei den Teilmodellen aller Abschnitte bei 0,997 bzw. 0,505 und für die Rein-Bepflanzungs-Teilmodelle bei einem Median von 1,667 bzw. 1,011 (alle Medianwerte). Ebenso zeigt sich, dass mit steigender Ausreißereliminierung sich die Regressionskoeffizienten teilweise deutlich erhöhen. Deshalb ist der Längsabstand zwischen den Bäumen ein sehr aussagefähiges Merkmal für die Erklärung des Unfallgeschehens:

Bei steigendem Längsabstand zwischen den Bäumen zeigt sich ein hoher negativer Zusammenhang zur Unfallhäufigkeit und -schwere.

### Fahrbahnabstand der Bäume

Der Abstand der Bäume zur Fahrbahn ist eines der am häufigsten diskutierten Merkmale im Zusammenhang mit der Wirkung einer Straßenbepflanzung auf das Unfallgeschehen. In den Analysen im Kapitel 5.5.2.3 wurde ein signifikanter Zusammen-

Tab. 41: Ergebnisse für Teilmodelle  $U_{\text{FaAb-Baum}}(P,SS) - 3D$

Merkmal 20 (Kategorie = 1,00)								
		95%-Wald-Konfidenzintervall Unterer Wert		Regressionskoeffizient $\beta$		95%-Wald-Konfidenzintervall Oberer Wert		Signifikanzniveau
		Mittelwert	Stichprobenvarianz	Mittelwert	Stichprobenvarianz	Mittelwert	Stichprobenvarianz	
Ohne Ausreißereliminierung	EB-Teilmodell	0,120	0,030	0,625	0,011	1,130	0,347	*
	Teilmodell aller Abschnitte	0,394	-	0,695	-	0,996	-	****
	Rein-Bepflanzungs-Teilmodell	0,317	-	0,930	-	1,542	-	**
Ausreißereliminierung Fall A	EB-Teilmodell	0,122	0,029	0,630	0,042	1,137	0,060	*
	Teilmodell aller Abschnitte	0,401	-	0,702	-	1,003	-	****
	Rein-Bepflanzungs-Teilmodell	0,321	-	0,933	-	1,546	-	**
Ausreißereliminierung Fall B	EB-Teilmodell	0,566	0,053	1,274	0,122	1,981	0,228	**
	Teilmodell aller Abschnitte	1,007	-	1,443	-	1,880	-	****
	Rein-Bepflanzungs-Teilmodell	1,295	-	2,669	-	4,044	-	***
Merkmal 20 (Kategorie = 2,00)								
		95%-Wald-Konfidenzintervall Unterer Wert		Regressionskoeffizient $\beta$		95%-Wald-Konfidenzintervall Oberer Wert		Signifikanzniveau
		Mittelwert	Stichprobenvarianz	Mittelwert	Stichprobenvarianz	Mittelwert	Stichprobenvarianz	
Ohne Ausreißereliminierung	EB-Teilmodell	-0,211	0,081	0,359	0,289	0,929	0,674	{0,2726}
	Teilmodell aller Abschnitte	0,171	-	0,505	-	0,840	-	**
	Rein-Bepflanzungs-Teilmodell	0,096	-	0,756	-	1,416	-	*
Ausreißereliminierung Fall A	EB-Teilmodell	-0,219	0,079	0,354	0,090	0,927	0,104	{0,2893}
	Teilmodell aller Abschnitte	0,166	-	0,502	-	0,838	-	**
	Rein-Bepflanzungs-Teilmodell	0,089	-	0,752	-	1,415	-	*
Ausreißereliminierung Fall B	EB-Teilmodell	-0,019	0,180	0,739	0,253	1,497	0,355	0,1532
	Teilmodell aller Abschnitte	0,592	-	1,048	-	1,505	-	****
	Rein-Bepflanzungs-Teilmodell	0,861	-	2,259	-	3,657	-	**

Abhängige Variable:  $U_{\text{FaAb-Baum}}(P,SS)$ , Modell inkl. Konstanter Term, Offset = Zeitraum  
Regressionskoeffizient  $\beta$ : Schätzung basierend auf der angepassten negativen Binomialverteilung  
Signifikanzniveau der Koeffizienten: Wald-Test  
Maß der Güte: \* $p < ,05$ ; \*\* $p < ,01$ ; \*\*\* $p < ,001$ ; \*\*\*\* $p < ,0001$   
{0,XXXX}: Falls weniger als 50 % der Stichprobenziehungen im EB-Teilmodell ein Signifikanzniveau von  $p < ,05$  aufweisen.

Tab. 42: Ergebnisse für Teilmodelle  $U_{FaAb-Baum}(SP) - 4D$

Merkmal 20 (Kategorie = 1,00)								
		95%-Wald-Konfidenzintervall Unterer Wert		Regressionskoeffizient $\beta$		95%-Wald-Konfidenzintervall Oberer Wert		Signifikanzniveau
		Mittelwert	Stichprobenvarianz	Mittelwert	Stichprobenvarianz	Mittelwert	Stichprobenvarianz	
Ohne Ausreißereliminierung	EB-Teilmodell	0,206	0,118	1,106	0,236	2,006	0,406	*
	Teilmodell aller Abschnitte	0,525	-	1,025	-	1,525	-	****
	Rein-Bepflanzungs-Teilmodell	0,689	-	1,826	-	2,963	-	**
Ausreißereliminierung Fall A	EB-Teilmodell	0,176	0,131	1,076	0,251	1,977	0,424	0,0657
	Teilmodell aller Abschnitte	0,497	-	0,997	-	1,497	-	****
	Rein-Bepflanzungs-Teilmodell	0,533	-	1,677	-	2,820	-	**
Merkmal 20 (Kategorie = 2,00)								
		95%-Wald-Konfidenzintervall Unterer Wert		Regressionskoeffizient $\beta$		95%-Wald-Konfidenzintervall Oberer Wert		Signifikanzniveau
		Mittelwert	Stichprobenvarianz	Mittelwert	Stichprobenvarianz	Mittelwert	Stichprobenvarianz	
Ohne Ausreißereliminierung	EB-Teilmodell	-0,124	0,153	0,849	0,250	1,822	0,392	{0,2053}
	Teilmodell aller Abschnitte	0,326	-	0,865	-	1,404	-	**
	Rein-Bepflanzungs-Teilmodell	0,246	-	1,440	-	2,635	-	*
Ausreißereliminierung Fall A	EB-Teilmodell	-0,129	0,158	0,843	0,259	1,814	0,405	{0,2116}
	Teilmodell aller Abschnitte	0,315	-	0,854	-	1,393	-	**
	Rein-Bepflanzungs-Teilmodell	0,101	-	1,301	-	2,501	-	*

Abhängige Variable:  $U_{FaAb-Baum}(SP)$ , Modell inkl. Konstanter Term, Offset = Zeitraum  
 Regressionskoeffizient  $\beta$ : Schätzung basierend auf der angepassten negativen Binomialverteilung  
 Signifikanzniveau der Koeffizienten: Wald-Test  
 Maß der Güte: \* $p < ,05$ ; \*\* $p < ,01$ ; \*\*\* $p < ,001$ ; \*\*\*\* $p < ,0001$   
 {0,XXXX}: Falls weniger als 50 % der Stichprobenziehungen im EB-Teilmodell ein Signifikanzniveau von  $p < ,05$  aufweisen.

hang der Kollisionsgeschwindigkeit, der Deformationsarbeit und der Deformationstiefe des Pkws zum Abstand des Baumes von der Fahrbahn festgestellt. In der Teilmodellerstellung wurde der Abstand (Merkmal 21) mittels Klassenbildung in ein kategoriales Merkmal überführt.

Die A-Posteriori-Mittelwerte der Merkmale mit einem Abstand unter 2,00 m zur Fahrbahn (Kategorie 1) weisen in den EB-Teilmodellen Werte von Minimum 0,677 und Maximum 1,367 (Median: 0,815) und damit einen hohen signifikanten Zusammenhang zur Unfallhäufigkeit und -schwere ( $U_{FaAb-Baum}(P,SS \text{ und } SP)$ ) auf. Der Median der mittleren unteren A-Posteriori Werte des Konfidenzintervalls liegt bei 0,145 und beim oberen A-Posteriori Wert des Konfidenzintervalls bei 1,579. Die Werte der Stichprobenvarianz aller empirischen Mittelwerte sind je nach Ausreißereliminierung unterschiedlich hoch (Bereich zwischen 0,006 und 0,753). Die A-Posteriori-

ori-Mittelwerte für die Merkmalsausprägung zwischen 2,00 m und 4,00 m Abstand (Kategorie 2) weisen mit Werten von Minimum 0,354 und Maximum 0,739 (Median: 0,517) einen niedrigen und nicht signifikanten Zusammenhang für  $U_{FaAb-Baum}(P,SS \text{ und } SP)$  auf.

Die Regressionskoeffizienten der Kategorie 1 für die Teilmodelle aller Abschnitte (Median: 0,732) und für die Rein-Bepflanzungs-Teilmodelle (Median: 0,947) sind im Vergleich zu den EB-Teilmodellen ähnlich. Ebenso zeigt sich, dass mit steigender Ausreißereliminierung die Regressionskoeffizienten für die Abstände der Bäume zur Fahrbahn sich für alle Teilmodelle deutlich erhöhen. Die Regressionskoeffizienten der Kategorie 2 für die Teilmodelle aller Abschnitte (Median: 0,505) und für die Rein-Bepflanzungs-Teilmodelle (Median: 1,011) zeigen im Unterschied zu den EB-Teilmodellen signifikante Zusammenhänge für  $U_{FaAb-Baum}(P,SS)$ . Weiterhin

ist für die Rein-Bepflanzungs-Teilmodelle und  $U_{\text{FaAb-Baum}}(\text{SP})$  ein signifikanter Zusammenhang zur Unfallschwere feststellbar.

Folglich hat ein Baumabstand von unter 4,00 m zur Fahrbahn nicht nur einen hohen Einfluss auf schwere Unfälle ( $U_{\text{FaAb-Baum}}(\text{SP})$ ), sondern ebenfalls einen bedeutsamen Einfluss auf die Unfallhäufigkeit von Unfällen mit Aufprall auf Bäume ( $U_{\text{FaAb-Baum}}(\text{P,SS})$ ) insgesamt. Ein Baumabstand unter 2,00 m zum Fahrbahnrand weist, im Vergleich zur Ausprägung zwischen 2,00 m und 4,00 m, einen leicht höheren Einfluss auf die Unfallhäufigkeit und -schwere auf. Weitergehende Aussagen über Abschnitte mit einem Baumabstand zur Fahrbahn von größer 4,00 m können in der Teilmodellerstellung nicht ausgeführt werden, da keine ausreichende Fallzahl im Abstandsbereich von 4 bis 6 m (2 %) und über 6 m (1 %) vorliegt.

#### **Kronendurchmesser/-schluss der Bäume**

Ein Kronenschluss der gegenüberliegenden Bäume über der Fahrbahn wurde durch das Merkmal 22 (Mittelwert 0,09) in den Teilmodellen abgebildet. Das Merkmal zeigt sich in den EB-Teilmodellen mit dem A-Posteriori-Mittelwert von 0,561 (ohne Ausreißereliminierung) signifikant zum  $U_{\text{FaAb-Baum}}(\text{P,SS})$ . Die Teilmodelle aller Abschnitte (Median: 0,591) und die Rein-Bepflanzungs-Teilmodelle (Median: 0,730) ohne und mit Ausreißereliminierung Fall A zeigen ebenfalls einen signifikanten Zusammenhang zum  $U_{\text{FaAb-Baum}}(\text{P,SS})$ .

Das Merkmal 22 tritt eher bei den Rein-Bepflanzungs-Teilmodellen als signifikantes Einflussmerkmal auf das Unfallgeschehen (Unfallhäufigkeit und -schwere) in Erscheinung. Bei den Teilmodellen für  $U_{\text{FaAb-Baum}}(\text{SP})$  zeigen die Regressionskoeffizienten für die Teilmodelle aller Abschnitte (Median: 0,455) und für die Rein-Bepflanzungs-Teilmodelle (Median: 0,560) einen signifikanten Zusammenhang zur Unfallschwere.

Mit einem steigenden Anteil eines Kronenschluss der gegenüberliegenden Bäume über der Fahrbahn und dem gleichzeitigem Auftreten einer großen Krone ist eine Erhöhung des Unfallgeschehens (Unfallhäufigkeit und -schwere) feststellbar. Jedoch ist der Kronenschluss vielmehr ein „indirektes“ Einflussmerkmal auf das Unfallgeschehen. Der Kronenschluss kann durch den „Tunneleffekt“, wie in der Literatur nachgewiesen, psychologische Reaktionen wie Kompensationsverhalten, welches zur Ge-

schwindigkeitserhöhung führen kann, oder möglicherweise als mitwirkender Faktor durch das Auftreten von Licht-Schatten Wechsel und Hell-Dunkel Anpassungen zu Abkommensunfällen führen (u. a. Becher & Baier 2003, Becher et al. 2006). Ebenso kann angenommen werden, dass der Kronenschluss der Bäume aufgrund des gleichzeitigen Einflusses von weiteren Merkmalen (z. B. Stammdurchmesser, Fahrbahnabstand und Längsabstand der Bäume) diese Einflüsse auf das Unfallgeschehen verstärkt.

#### **Bäume ohne Schutzplanke und Bäume auf hohen Böschungen**

Bäume auf hohen Böschungen (Merkmal 26) und die Ausstattung der Bäume mit Schutzplanken (Merkmal 23) stellen pro- und reaktive Maßnahmen in der Verkehrssicherheitsarbeit dar.

Das Merkmal 26 zeigt sich in der Datenbank mit nur einer geringen Auftretenswahrscheinlichkeit. Auf 91 % aller Abschnitte befanden sich keine Bäume auf hohen Böschungen. Auch deshalb wurde der Abschnittsanteil als kategoriales Merkmal mit dichotomer Ausprägung (1: auf dem Abschnitt sind mindestens 10 % der Bäume auf hohen Böschungen) in zwei Teilmodellen berücksichtigt. Die Unfallhäufigkeit steigt beim Auftreten der Ausprägung 0 (Bäume nicht auf hohen Böschungen, Teilmodell für  $U_{\text{FaAb-Baum}}(\text{P,SS})$ ) mit einem Regressionskoeffizienten im Median von 0,433 über alle Teilmodelle (Ausreißereliminierung ohne und Fall A) bis 0,854 (Fall B) an. Hier sind überwiegend signifikante Zusammenhänge auf die Unfallhäufigkeit feststellbar. Keine signifikanten Zusammenhänge zeigen sich teilweise bei den EB-Teilmodellen für die Ausreißereliminierung (ohne und Fall A) und bei der Ausreißereliminierung Fall A für die Teilmodelle aller Abschnitte und für die Rein-Bepflanzungs-Teilmodelle. Die Ergebnisse für alle Teilmodelle des  $U_{\text{FaAb-Baum}}(\text{SP})$  zeigen, dass keine signifikanten Zusammenhänge zur Unfallschwere auftreten.

Das Merkmal 23 weist einen Mittelwert von 0,93 und damit einen sehr hohen Anteil von Bäumen ohne Schutzplanke auf. Die A-Posteriori-Mittelwerte des Regressionskoeffizienten der Bäume der Schutzplanken weisen im EB-Teilmodell Werte ein Minimum von 0,697 und Maximum von 1,690 (Median: 1,028) und damit einen hohen Zusammenhang zum Unfallgeschehen (Unfallhäufigkeit und -schwere) auf. Im EB-Teilmodell tritt eine mittlere Stichpro-

benvarianz aller empirischen Mittelwerte (Maximum: 0,468) auf.

Der Regressionskoeffizient für die Teilmodelle aller Abschnitte (Median: 1,136) ist im Vergleich zu den A-Posteriori Werten der EB-Teilmodelle sehr ähnlich. Der Regressionskoeffizient der Rein-Bepflanzungs-Teilmodelle (Median: 0,674) ist für  $U_{\text{FaAb-Baum}}(\text{P,SS})$  nicht signifikant zur Unfallhäufigkeit. Dies zeigt, dass ein Anstieg der Ausstattung von Schutzplanken auf Abschnitten, z. B. an (Unfallhäufungs-)Stellen, nicht zur Verringerung der Unfallhäufigkeit führt, jedoch zur Verringerung der Unfallschwere. Ein weiterer Grund für die geringe Aufklärung des Zusammenhangs des Merkmals 23 zu  $U_{\text{FaAb-Baum}}(\text{P,SS})$  kann auf die geringe Ausstattungsquote auf den Rein-Bepflanzungs-Teilmodellen und eine geringe Variabilität in der Datenbank zurückgeführt werden.

### Stammdurchmesser/Schiefstand der Bäume

Ein Stammdurchmesser von über 30 cm (Merkmal 24) und ein Schiefstand der Bäume von der Fahrbahn weg geneigt (Merkmal 25) sind Einflussmerkmale, welche teilweise einen hohen Zusammenhang zum Unfallgeschehen in den Teilmodellen zeigen.

Das Merkmal 24 zeigt nicht nur einen signifikanten Zusammenhang zur Unfallschwere ( $U_{\text{FaAb-Baum}}(\text{SP})$ ), sondern auch zur Unfallhäufigkeit ( $U_{\text{FaAb-Baum}}(\text{P,SS})$ ). Dabei sind in den EB-Teilmodellen die A-Posteriori-Mittelwerte (Median: 0,481) und die Regressionskoeffizienten in den Teilmodellen aller Abschnitte (Median: 0,530) und für die Rein-Bepflanzungs-Teilmodelle (Median: 0,678) auf einem ähnlichen Niveau der Mittelwerte. Mit der Kalibrierung der Teilmodelle nach der Eliminierung der Ausreißer zeigt sich ein stabiles Niveau der Ergebnisse des Merkmals.

Das Merkmal 25 zeigte für  $U_{\text{FaAb-Baum}}(\text{P,SS})$  lediglich bei dem Rein-Bepflanzungs-Teilmodell (Ausreißereliminierung ohne und Fall B) einen signifikanten Zusammenhang zur Unfallanzahl. Der Zusammenhang zum Unfallgeschehen  $U_{\text{FaAb-Baum}}(\text{P,SS})$  ist mit Medianwerten von Minimum 1,492 und Maximum 10,311 (Median: 5,911) auf einem sehr hohem Niveau. Ein geringes Niveau mit Medianwerten von Minimum -0,433 und Maximum 4,384 (Median: 2,236) zeigt sich für die Teilmodelle aller Abschnitte. Für  $U_{\text{FaAb-Baum}}(\text{SP})$  des Rein-Bepflanzungs-Teilmodelles liegen die Medianwerte von Minimum 2,424 bis Maximum 8,787 (Median von Mittelwerten:

5,650). Das Merkmal 25 hat teilweise einen sehr hohen Zusammenhang mit den Unfallgeschehen in den Teilmodellen.

### 6.3.5 Zusammenfassung der unfallbeeinflussenden Merkmale

Die in der gesamten Teilmodellerstellung ermittelten Zusammenhänge der Merkmale zum jeweiligen Unfallgeschehen (Unfallhäufigkeit und -schwere) sind in der Tabelle 43 aggregiert mit dem Hinweis auf mögliche Einschränkungen abgebildet. Die Einschränkungen sind jeweils in den Modellerkenntnissen (Kapitel 6.3 und dem zugehörigen Anhang, Anlage 7) dargestellt. Für die weitere Beschreibung der Merkmale wird u. a. auf die Tabelle 37 (Kapitel 6.2) verwiesen.

Die nachfolgende Ergebniszusammenfassung bezieht sich auf signifikante unfallbeeinflussende Merkmale unter besonderer Berücksichtigung der Bepflanzung im Seitenraum im Zusammenhang mit dem Unfallgeschehen der Fahrnfälle mit Abkommen von der Fahrbahn nach links und rechts, welche einen bedeutsamen und widerspruchsfreien Einfluss zeigten.

Insgesamt führt eine steigende Abschnittslänge unabhängig von anderen Merkmalen zum Anstieg der Unfallhäufigkeit und -schwere.

Folgende Kernaussagen können zu den Zusammenhängen der Merkmale zur Unfallhäufigkeit (Unfälle ohne und mit Aufprall auf ein Hindernis) gemacht werden:

Unfallauffällige Abschnitte oder Unfallhäufungsstellen weisen häufiger das Merkmal Singularität (Kurven mit einem Radius unter 200 m einschließlich Mindestlänge von 50 m) auf. Es hat sich gezeigt, dass die Relationstrassierungen benachbarter Elemente des Lageplans im „zu vermeidenden Bereich“ oder „brauchbaren Bereich“ nach den RAL 2012 (FGSV 2012) bereits bei einer geringen Auftretenshäufigkeit einen erhöhenden Einfluss auf die Unfallhäufigkeit aufweisen. Im Sinne der aktiven Unfallvermeidung sind derartige Trassierungen besonders zu vermeiden. Mit steigenden NKA vermindert sich die Unfallhäufigkeit (geringer Einfluss). Ein steigender DTV hat lediglich einen sehr geringen Einfluss auf die Erhöhung der Unfallhäufigkeit.

Mit steigender Anzahl der o. g. Trassierungen nimmt die Unfallschwere auf den Abschnitten mit einem sehr geringen Einfluss zu. Die Zunahme an Singu-

Tab. 43: Zusammenhang zwischen Merkmalen und Unfallgeschehen (Datenbank I)

Nr.	Merkmal	Teilmodell	U <sub>FaAb</sub>		U <sub>FaAb-Baum</sub>	
			P,SS	SP	P,SS	SP
1	DTV		+	(○)	○	
2	Länge (Abschnitt)		+			
3	Länge (Netzknotenabschnitt)		-	(-)	-	(-)
4	Kurvigkeit <sup>1</sup>		+	○	(-)	○
5	Längsneigung <sup>1</sup> größer als 4 %		○			
6	Kurvenradien <sup>1</sup> 200 bis 400 m		+	○	+	○
7	Elemente <sup>2</sup> mit einem brauchbaren oder zu vermeidenden Bereich (Bewertung der Relationstrassierung)		+		(+)	○
8	Singularitäten <sup>1</sup>		(+) )		(○)	
9	Welligkeit <sup>1</sup> (Hügeligkeit)		○			
10	Fahrbahnbreite <sup>1</sup>		○	(○)	○	
11	Lokale und erhebliche Verringerung <sup>1</sup> von der Fahrbahnbreite		○		(○)	○
12	Siedlungsstruktureller Kreistyp <sup>1</sup> nach BBSR		○	(+)	○	
13	Einzelbaum <sup>1</sup>	Nicht ermittelt			○	+
14	Baumgruppe <sup>1</sup>				○	
15	Baumreihe <sup>1</sup>				+	
16	Allee <sup>1</sup>				+	
17	Waldbereich <sup>1</sup>				+	
18	Waldmantel <sup>1</sup>				(+) )	
19	Baumreihe und Allee <sup>1</sup>				+	
20	Mittlerer Längsabstand der Bäume <sup>1</sup> auf linker und rechter Fahrbahnseite				-	
21	Minimaler Abstand der Bäume <sup>1</sup> zur Fahrbahn auf linker und rechter Fahrbahnseite				-	
22	Bäume mit großen Kronendurchmesser in Kombination mit niedrigen oder hohen Kronenschluss über der Fahrbahn <sup>1</sup>				(+) )	
23	Bäume ohne Schutzplanke				(+)	+
24	Stammdurchmesser der Bäume <sup>1</sup> > 30 cm				+	
25	Schiefstand der Bäume <sup>1</sup> (von der Fahrbahn weg geneigt)				(+) )	
26	Bäume auf hohen Böschungen <sup>1</sup>				-	○

+ positiver signifikanter Einfluss des Merkmals auf das Unfallgeschehen (Erhöhung)  
 (+) positiver signifikanter Einfluss des Merkmals auf das Unfallgeschehen mit Einschränkungen bei Modellanwendung  
 - negativer signifikanter Einfluss des Merkmals auf das Unfallgeschehen (Verringerung)  
 (-) negativer signifikanter Einfluss des Merkmals auf das Unfallgeschehen mit Einschränkungen bei Modellanwendung  
 ○ kein signifikanter Einfluss des Merkmals auf das Unfallgeschehen  
 (○) kein signifikanter Einfluss des Merkmals auf das Unfallgeschehen mit Einschränkungen bei Modellanwendung  
<sup>1</sup> Abschnitt  
<sup>2</sup> Netzknotenabschnitt

laritäten zeigt einen mittleren bis hohen Einfluss auf die Zunahme der Unfallschwere auf unfallauffälligen Abschnitten oder an Unfallhäufungsstellen.

In Bezug auf die Unfallhäufigkeit mit Aufprall auf einen Baum können folgende Kernaussagen gemacht werden:

Mit steigendem Anteil der Straßenbepflanzung Allee und Waldbereich erhöht sich (Einfluss: hoch mit extremen Ausreißern) die Unfallhäufigkeit. Die Baumreihe sowie die Kombination Baumreihe und Allee erhöhen mit einem mittleren bis sehr hohen Einfluss die Unfallhäufigkeit. Bei einem Längsabstand zwischen den Bäumen von durchschnittlich

unter 40 m zeigt sich in der Regel ein mittlerer bis sehr hoher erhöhender Einfluss auf die Unfallhäufigkeit. Der Abstand der Bäume zur Fahrbahn weist einen geringen bis hohen Einfluss auf die Erhöhung der Unfallhäufigkeit auf. Ein Baumabstand unter 2,00 m zum Fahrbahnrand, weist dabei im Vergleich zur Ausprägung zwischen 2,00 m und 4,00 m, einen leicht höheren Einfluss auf die Unfallhäufigkeit auf. Weitergehende Aussagen über Abschnitte mit einem Baumabstand zur Fahrbahn von größer 4,00 m können in der Untersuchung nicht ausgeführt werden, da keine ausreichende Fallzahl im Abstandsbereich von über 4,00 m vorliegt. Es zeigt sich ein mittlerer erhöhender Einfluss auf die Unfallhäufigkeit durch die Erhöhung der Anteile der Stammdurchmesser der Bäume von über 30 cm. Die Erhöhung der Anteile der Bäume auf hohen Böschungen vermindert die Unfallhäufigkeit (Einfluss: mittel). Mit steigenden NKA vermindert sich die Unfallhäufigkeit (Einfluss: mittel).

Für vereinzelte Baumgruppen (gekennzeichnet durch hohen durchschnittlichen Längsabstand der Baumgruppen) verbunden mit einem hohen Baumabstand zur Fahrbahn im Vergleich zu den anderen Bepflanzungstypen konnten keine Einflüsse für das selektierte Unfallgeschehen Fahrnfälle mit Abkommen von der Fahrbahn ermittelt werden. Jedoch ist das Unfallgeschehen auf diesen Abschnitten grundlegend anders geprägt.

Das Merkmal DTV zeigt keinen signifikanten Zusammenhang zur Unfallhäufigkeit und -schwere. Bei der Sicherheitsbewertung von Abschnitten mit Straßenbepflanzung sind daher vornehmlich längenbezogene Unfallkenngrößen vor fahrleistungsbezogenen Unfallkenngrößen geeignet.

In Bezug auf die Unfallschwere mit Aufprall auf einen Baum können folgende Kernaussagen gemacht werden:

Die Erhöhung der Anteile des Bepflanzungstyp Allee zeigt einen extremen Einfluss auf die Zunahme der Unfallschwere. Der Waldbereich, Baumreihe und Einzelbaum zeigt einen sehr hohen bis extremen Einfluss auf die Zunahme der Unfallschwere. Die Unfallschwere nimmt bei einem Längsabstand zwischen den Bäumen von durchschnittlich unter 40 m zu (hoher Einfluss). Die Ausstattung der Bäume mit Schutzplanken als pro- und reaktive Maßnahme in der Verkehrssicherheitsarbeit führt bei höheren Ausstattungsanteilen zu einer hohen Abnahme der Unfallschwere. Die o. g. Abstände der Bäume zur Fahrbahn und die Erhöhung des Anteils der

Stammdurchmesser der Bäume von über 30 cm weisen jeweils eine mittlere Zunahme auf die Unfallschwere auf.

Mit dem Schiefstand der Bäume von der Fahrbahn weg geneigt, insbesondere in Verbindung mit Rein-Bepflanzungs-Teilmodellen, hat sich teilweise ein signifikanter hoher bis extremer Zusammenhang mit den Unfallgeschehen gezeigt. Im Rahmen der Verkehrssicherheitsarbeit könnte das Auftreten von Schiefständen der Bäume auf unfallauffällige Abschnitte hinweisen und sollte weiter untersucht werden.

### 6.3.6 Allgemeine und methodische Aspekte

In der Ergebnisdarstellung (Kapitel 6.3.1 bis 6.3.4) der Teilmodelle wurden Erklärungsanteile der systematischen Streuung erläutert. Die Erklärung der Gesamtvarianz der Teilmodelle ist in der Tabelle 44 dargestellt. Insgesamt zeigt sich ein mittleres bis zum Teil sehr hohes (2A, 3A, 3B, 3C und 3D) Niveau der Erklärung der Gesamtvarianz der Teilmodelle mit gleichzeitiger hoher Modellgüte. Diese Teilmodelle und deren Einflussmerkmale können bei der praktischen Modellanwendung aufgrund der Erklärung der Gesamtvarianz einen hohen Beitrag leisten. Für die Differenzierung der Varianzen in der Teilmodellerstellung (Teilmodelle aller Abschnitte, Rein-Bepflanzungs-Teilmodelle und EB-Teilmodelle) wird auf den Anhang (Anlage 7) verwiesen.

Tab. 44: Erklärung der Gesamtvarianz der Teilmodelle

Teilmodell	Eliminierung der Ausreißer	Erklärte Gesamtvarianz der Teilmodelle
1A, 1B	Fall A	mittel
	Fall B	hoch
1C	Fall A und B	mittel
2A	Fall A	niedrig
	Fall B	sehr hoch
2B	Fall A	niedrig
2C	Fall A	hoch
3A, 3C, 3D	Fall A	mittel
	Fall B	sehr hoch
3B	Fall A	niedrig
	Fall B	sehr hoch
4A, 4A1, 4A2, 4A3, 4B	Fall A	niedrig
4C, 4D	Fall A	mittel

Die Ermittlung eines „optimalen“ Stichprobenumfangs (Gleichung 2.3 im Kapitel 6.1.2) und dessen Modifikation erwies sich bei der Modellerstellung als geeignet. Die Modellerstellung der EB-Teilmodelle mit dem empirischen Verfahren der Bayes-Inferenz zeigt jedoch, dass die (hohe) Anzahl der Stichprobenziehungen in vielen Teilmodellen nicht unbedingt notwendig war. Es konnten bereits mit einer geringen Anzahl an Stichprobenziehungen stabile Modellergebnisse und Zusammenhänge zwischen den Merkmalen und dem Unfallgeschehen aufgezeigt werden. Dies ist abhängig von der Selektion des Unfallgeschehens und den zu berücksichtigenden Merkmalen und der Datengrundlage der Merkmale (z. B. hinsichtlich Ausprägung und Varianz). Es zeigten sich vergleichsweise geringe Anzahlen erforderlicher Stichprobenziehungen bei den Merkmalen der Bepflanzung (z. B. Merkmal 16 und 20), eine mittlere Anzahl bei der Ausstattung der Bäume mit Schutzplanken (Merkmal 23) oder den Merkmalen 17, 10, 7 und 1. Eine hohe Anzahl an Stichprobenziehungen für stabile Modellergebnisse benötigen die Merkmale der Abschnittslänge (Merkmal 2) und Merkmal 8. Dabei zeigt sich die Tendenz, dass die Wölbung (Kurtosis) – Beschreibung der Merkmalsverteilung im Vergleich zur Normalverteilung – einen Einfluss auf die Anzahl an Stichprobenziehungen aufweist. Merkmale mit einer hohen Wölbung und damit einer sehr spitzen Verteilung, benötigen eine vergleichsweise hohe Anzahl an Stichprobenziehungen, um auf stabile Modellergebnisse zu gelangen. Dabei könnte der Grund für die hohe Anzahl an Stichprobenziehungen daran liegen, dass die Werte der Merkmale sich um den Mittelwert konzentrieren und/oder eine geringe Varianz aufweisen. Im Rahmen von weiteren Untersuchungen bzw. Datengrundlagen kann dieses mathematische Verfahren hinsichtlich der Anwendung bei Sicherheitsverfahren im Straßenwesen weiter optimiert werden.

Die Kalibrierung der Teilmodelle und der Nutzung zweier Kennwerte der Cooks D war sinnvoll, um den Einfluss der Eliminierung der Ausreißer auf die Modellergebnisse zu analysieren. Dies war jedoch mit einem hohen Aufwand bei der Modellerstellung verbunden. Bei einzelnen Teilmodellen tritt bei der Kalibrierung die mathematische Underdispersion auf. Dies bedeutet, dass die Gesamtvarianz vom Teilmodell vollständig erklärt wird. In der Modellerstellung haben sich die Kennwerte der Cooks D und deren Einfluss auf die Ausreißereliminierung der Abschnitte als besondere Herausforderung heraus-

gestellt. Der Umgang mit Ausreißern bzw. die Ausreißereliminierung bei der Kalibrierung von Unfallmodellen wird daher bei der Anwendung in Sicherheitsverfahren im Straßenwesen als offener Forschungsbedarf gesehen.

Bei der Teilmodellerstellung zeigte sich, dass die EB-Teilmodelle auf Basis der empirischen Bayes-Inferenz überwiegend ähnliche Ergebnisse wie die Teilmodelle aller Abschnitte erzielen. Damit kann mit der Anwendung der Bayes-Inferenz ein geringer Stichprobenumfang genutzt werden. Damit kann aus zeitlichen und wirtschaftlichen Gründen die Nutzung von Bayes-Inferenzen den Umfang der Datensammlung, -aufbereitung und -auswertung verringern.

#### 6.4 Validierung der Teilmodelle

Die Validierung der Unfallmodelle stellt einen integralen Teil einer Modellerstellung, insbesondere im Hinblick auf die Modellgüte und Praxistauglichkeit der Ergebnisse dar. Die Prüfung der Teilmodelle erfolgte mithilfe der Kreuzvalidierung und auf Basis einer für die Modellerstellung nicht verwendeten bzw. unabhängigen Datengrundlage. Im Rahmen der Validierung sind zwei aufeinander Schwerpunkte gesetzt. Es erfolgt zuerst eine Validierung ausgewählter Teilmodelle aller Abschnitte der Datenerfassung I. Weiterhin erfolgt die Validierung auf Basis der Ergebnisse eines EB-Teilmodelles für die empirischen A-Posteriori-Mittelwerte, deren empirische Stichprobenvarianzen und mit einer Betrachtung von Konfidenzintervallen für den empirischen A-Posteriori-Mittelwert. Für die Validierung wurden 86 fahrstreifenbezogene Abschnitte mit einer Länge von 116 km in Niedersachsen (NI) und Sachsen (SN) aus der Datenbank der Datenerfassung II genutzt. Die Abschnitte weisen im Vergleich zum Bundesdurchschnitt und der Datengrundlage I eine sehr geringe Gesamtunfalldichte von  $0,07 U_{FR}(P,SS)/(km \cdot a)$  auf. Auf den Abschnitten in NI und SN ist für die Fahrtrichtungen mit Abkommen von der Fahrbahn ein Wert der Unfalldichte von  $0,06 U_{FaAb}(P,SS)/(km \cdot a)$  pro Fahrtrichtung amtlich registriert, mit einem deutlichen Schwerpunkt von  $0,05 U_{FaAb-Baum}(P,SS)/(km \cdot a)$  mit einem Aufprall auf den Baum. Es sind dabei jedoch keine Fahrtrichtungen mit Abkommen von der Fahrbahn nach links und rechts auf den Abschnitten in NI im betrachteten Zeitraum enthalten, da in diesem Zeitraum keine solcher Unfälle amtlich registriert wurden.

Die Auswahl der Teilmodelle für die Validierung erfolgte auf Grundlage der Erklärung der Gesamtvarianz (Kapitel 6.3.6). Für die Validierung wurden fünf Teilmodelle (1A, 2A, 3A, 3C und 4C und jeweils die Eliminierung der Ausreißer – Fall B) ausgewählt, weil diese ein besonders hohes Niveau der Erklärung der Gesamtvarianz aufweisen.

Die Gleichung 2.4 zeigt als Beispiel eine Modellgleichung als Ergebnis des Teilmodelles 1A.

$$E(\lambda) = e^{-8,525} * I_{SA}^{1,152} * I_{NKA}^{-0,510} * q^{0,284} * e^{\sum_i^n (1,355 * x_1 + 0,110 * x_2 + 0,073 * x_3)} \quad (2.4)$$

- $E(\lambda)$  Vorhersage – erwartete Anzahl an  $U_{FaAb}$  (P,SS)
- $I_{SA}$  Länge freier Streckenabschnitt [m] (Merkmal 2)
- $I_{NKA}$  Länge Netzknotenabschnitt [m] (Merkmal 3)
- $q$  DTV [Kfz/24 h] (Merkmal 1, nicht signifikant)
- $x_1$  Singularitäten [-] (Merkmal 8)
- $x_2$  Kurvenradien 200 bis 400 m [-] (Merkmal 6)
- $x_3$  Siedlungsstruktureller Kreistyp [-] (Merkmal 12)

Die statistische Korrelationsanalyse (Signifikanzniveau von 0,05) zeigt, dass ein signifikanter positiver Zusammenhang zwischen der vorhergesagten und der beobachteten Unfallhäufigkeit (siehe Abbildung 38) mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,343 (Korrelation nach Pearson) besteht. Das bedeutet, je höher der Wert der Unfallvorhersage, desto höher

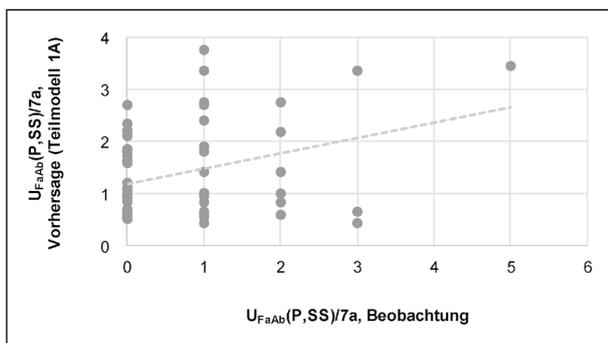


Abbildung 38: Vorhergesagte (Teilmodell 1A) und beobachtete Unfallhäufigkeit  $U_{FaAb}$ (P,SS)/7a auf Validierungsabschnitten (NI und SN, N = 86)

her ist auch der tatsächliche und beobachtete Wert (Anzahl an Unfällen) auf den Validierungsabschnitten. Detaillierter betrachtet, ist eine tendenzielle Überschätzung von Abschnitten mit der Häufigkeit von 0 Unfällen, auch aufgrund der Poisson-Verteilung von Unfalldaten, zu erkennen. Die Unfallhäufigkeit der Beobachtung von 1 zeigt eine akzeptable Differenz (Median: 0,2/25%-Quantil: -0,4/75%-Quantil: 1,0) zwischen den verglichenen Unfallhäufigkeiten. Für höhere beobachtete Unfallhäufigkeiten, welche auf den Validierungsabschnitten selten auftreten, ist eine tendenzielle Unterschätzung der Unfallvorhersage feststellbar. Die weiteren betrachteten Teilmodelle weisen einen positiven Zusammenhang zwischen den vorhergesagten und der beobachteten Unfallhäufigkeit auf.

In der Tabelle 45 wurde die Unfallvorhersage gruppiert und mit der durchschnittlichen Unfallhäufigkeit der Validierungsabschnitte verglichen. Dabei zeigt sich erneut, dass mit einer Erhöhung der Unfallvorhersage die beobachtete Unfallhäufigkeit steigt. Die Erhöhung ist jedoch je nach Teilmodell verschieden. Dies ist auch auf die geringe Varianz der Unfallhäufigkeiten auf den Validierungsabschnitten zurückzuführen.

Tab. 45: Vorhergesagtes und beobachtetes Unfallgeschehens auf Validierungsabschnitten (NI und SN, N = 86)

Teilmodell	Vorhersage Unfallhäufigkeit (Ø Unfälle/ Abschnitt*7a)	Beobachtung Unfallhäufigkeit (Ø Unfälle/ Abschnitt*7a)
1A $U_{FaAb}$ (P,SS)	0,92	0,41
	1,34	0,44
	1,63	2,29
2A $U_{FaAb}$ (SP)	0,21	0,28
	0,59	0,32
	0,81	0,50
3A $U_{FaAb}$ -Baum(P,SS)	0,41	0,41
	1,10	0,60
	2,40	2,00
3C $U_{FaAb}$ -Baum(P,SS)	0,56	0,41
	1,25	0,65
	2,28	1,50
4C $U_{FaAb}$ -Baum(SP)	0,37	0,26
	0,71	0,31
	1,04	0,75

$$E(\lambda) = e^{-7,804} * I_{SA}^{1,097} * I_{NKA}^{-0,575} * q^{0,132} * e^{\sum_i^n (1,521 * x_1 + 0,179 * x_2 + 0,146 * x_3 + 0,004 * x_4 + 0,919 * x_5 + 0,235 * x_6 + 0,066 * x_7)} \quad (2.5)$$

$E(\lambda)$  Vorhersage – erwartete Anzahl an  $U_{FaAb-Baum}$  (P, SS)

$I_{SA}$  Länge freier Streckenabschnitt [m] (Merkmal 2)

$I_{NKA}$  Länge Netzknotenabschnitt [m] (Merkmal 3)

$q$  DTV [Kfz/24 h] (Merkmal 1, nicht signifikant)

$x_1$  Singularitäten [–] (Merkmal 8)

$x_2$  Kurvenradien 200 bis 400 m [–] (Merkmal 6)

$x_3$  Siedlungsstruktureller Kreistyp [–] (Merkmal 12)

$x_4$  Kurvigkeit [gon/km] (Merkmal 4)

$x_5$  Baumreihe und Allee [–] (Merkmal 19)

$x_6$  Bäume mit großem Kronendurchmesser und Kronenschluss [–] (Merkmal 22)

$x_7$  Schiefstand der Bäume [–] (Merkmal 25)

Die Gleichung 2.5 zeigt beispielhaft eine Modellgleichung (Vorhersage) als Ergebnis des Teilmodelles 3A. Dabei sind die Einschränkungen hinsichtlich nicht signifikanter Einflussmerkmale (Kapitel 6.3.5) zu beachten.

Die Unfalldichte weist auf den Validierungsabschnitten in Sachsen pro Fahrtrichtung  $0,07 U_{FaAb-Baum}(P,SS)/(km*a)$  und  $0,04 U_{FaAb-Baum}(SP)/(km*a)$  auf. Hingegen sind die Durchschnittswerte pro Fahrtrichtung in der Datenbank I  $0,11 U_{FaAb-Baum}(P,SS)/(km*a)$  und  $0,05 U_{FaAb-Baum}(SP)/(km*a)$ . Das unterschiedliche Niveau der Datenbanken kann über einen möglichen Ausgleichsparameter berücksichtigt werden, da das Unfallgeschehen mit Abkommen von der Fahrbahn nach links und rechts auf den Validierungsabschnitten niedriger ist, als das Unfallgeschehen auf den Abschnitten, welche zur Modellerstellung genutzt wurden. Ein Ausgleichsparameter passt das Unfallgeschehen an das unterschiedliche Niveau der Datenbank an.

Die Abbildung 39 stellt die Differenz des vorhergesagten Unfallgeschehens ( $U_{FaAb-Baum}(P,SS)$ ) auf Basis des Teilmodelles 3A zum beobachteten Unfallgeschehen in SN dar. Es zeigt die Schwankung um die Differenz von 0 auf den Abschnitten mit einem beobachteten Unfallgeschehen von 1  $U_{FaAb-Baum}(P,SS)$ . Für höhere beobachtete Unfallhäufigkeiten ist eine tendenzielle Unterschätzung feststellbar.

Neben der Betrachtung der (mittleren) Regressionskoeffizienten bei Teilmodellen erfolgt im letzten Schritt der Validierung die Betrachtung von Konfi-

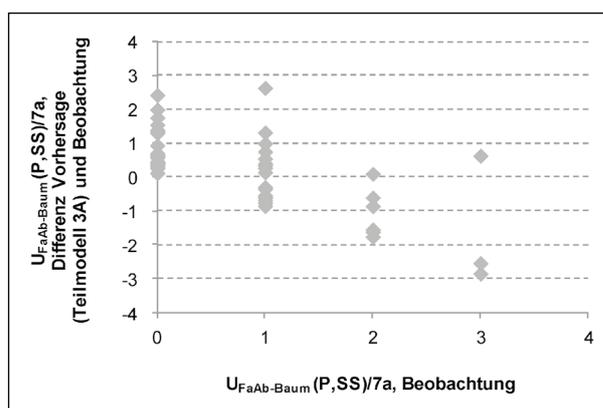


Abbildung 39: Differenz zwischen Vorhergesagtem (Teilmodell 3A) mit Ausgleichsparameter und beobachtetem Unfallgeschehens auf Validierungsabschnitten in SN (N = 64) in Abhängigkeit der Beobachtungsergebnisse

denzintervallen auf Basis eines EB-Teilmodelles für die empirischen A-Posteriori-Mittelwerte und deren empirische Stichprobenvarianzen (ohne Ausgleichsparameter). Dafür wurde exemplarisch (aufgrund des hohen Niveaus der Erklärung der Gesamtvarianz) eine Modellgleichung (Gleichung 2.6) als Ergebnis des Teilmodelles 3C unter der Beachtung der Einschränkungen im Kapitel 6.3.5 auf den Validierungsabschnitten in SN erstellt. Dabei wurden einseitige obere Konfidenzintervalle mit verschiedenen Irrtumswahrscheinlichkeiten für den A-Posteriori-Mittelwert ermittelt und hinsichtlich der Auswirkungen auf die Unfallhäufigkeit analysiert. Eine Auswertung der unteren Konfidenzintervallgrenze ist aufgrund der poisson-verteilten Unfalldaten nicht zielführend. Konfidenzintervalle mit einem definierten Konfidenzniveau stellen eine Schätzung der In-

tervallgrenzen dar, in welchem sich die Regressionskoeffizienten der Merkmale in Abhängigkeit von der Irrtumswahrscheinlichkeit bewegen. Beispielsweise liegt der Mittelwert des Regressionskoeffizienten des Merkmals 14 bei -0,131. Das obere Konfidenzintervall mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 95 % zeigt einen Wert von 0,990 und damit eine große Bandbreite (und sogar einen Vorzeichenwechsel) der Verteilung des Merkmals auf. Hingegen hat das Merkmal 16 mit einem Mittelwert des Regressionskoeffizienten von 2,743 und einem oberen Wert von 3,072 beim Konfidenzintervall eine relativ kleine Bandbreite.

Die Tabelle 46 stellt die Ergebnisse für differenzierte Quantile bzw. Irrtumswahrscheinlichkeiten und Unfallhäufigkeit des vorhergesagten (Teilmodell 3C, ohne Ausgleichsparameter) und beobachteten Unfallgeschehens auf den Validierungsabschnitten in SN dar. Es zeigt sich wiederum, dass die Unfallvorhersage anhand der Einflussmerkmale das beobachtete Unfallgeschehen auf den Validierungsabschnitten (tendenziell) prognostizieren kann, jedoch Unter- und Überschätzungen auftreten. Eine weitere Modellvalidierung sollte aufgrund des Auftretens von Unter- und Überschätzungen anhand einer Datengrundlage mit einem höheren Anteil von Abschnitten mit einem besonders hohen Unfallgeschehen bzw. Ausreißern vorgenommen werden.

Der empirische A-Posteriori-Mittelwert (Gleichung 2.6 für  $E(\lambda)$ ) bzw. der Vorhersagewert liegt um 29 % über dem beobachteten Wert von 1  $U_{\text{FaAb-Baum}}(P,SS)$  auf den Validierungsabschnitten. Mit Nutzung eines 85%-Quantils oder eines 90%-Quantils ( $E_{KI}(\lambda)$ ) für den empirischen A-Posteriori-Mittelwert der Vorhersageberechnung wird jeweils 90 % des beobachteten Unfallgeschehens für 1  $U_{\text{FaAb-Baum}}(P,SS)$  einbezogen. Bei der Betrachtung eines 90%-Quantils liegt das vorhergesagte über dem beobachteten Unfallgeschehen.

Die Validierungsabschnitte mit einem beobachteten Unfallgeschehen von 2  $U_{\text{FaAb-Baum}}(P,SS)$  und 3  $U_{\text{FaAb-Baum}}(P,SS)$  sind zu 88 % unter dem empirischen A-Posteriori-Mittelwert der Vorhersagen (Gleichung 2.6. für  $E(\lambda)$ ). Bei Nutzung eines 85%-Quantils des empirischen A-Posteriori-Mittelwertes ( $E_{KI}(\lambda)$ ) für die Vorhersageberechnung sind jeweils 33 % des beobachteten Unfallgeschehens unter den Beobachtungswerten 2 und 3  $U_{\text{FaAb-Baum}}(P,SS)$ . Erst bei der Nutzung eines 97,5%-Quantils für den empirischen A-Posteriori-Mittelwertes ( $E_{KI}(\lambda)$ ) sind alle Vorhersagewerte über dem beobachteten Unfallgeschehen.

Insgesamt zeigt sich in der Tabelle 46, dass eindeutig Abschnitte identifiziert werden können, welche ein vergleichsweise auffälliges Unfallgeschehen

$$E_{KI}(\lambda)$$

$$= e^{-11,029+b_{KI}} * l_{SA}^{0,796+b_{KI}} * q^{0,105+b_{KI}} \quad (2.6)$$

$$* e^{\sum_{i=1}^n ((0,415+b_{KI}) * x_1 + (-0,131+b_{KI}) * x_2 + (1,882+b_{KI}) * x_3 + (2,743+b_{KI}) * x_4 + (2,401+b_{KI}) * x_5 + (1,023+b_{KI}) * x_6)}$$

$E_{KI}(\lambda)$  Vorhersage – erwartete Anzahl an  $U_{\text{FaAb-Baum}}(P,SS)$  nach Konfidenzintervall

$$b_{KI} = z_{1-\alpha} * \frac{\sqrt{S^2}}{\sqrt{n-1}}; b_{KI} \text{ für } 85\%-, 90\%-, 95\% \text{ - und } 97,5\% \text{ - Quantil}$$

$z_{1-\alpha}$  inverse Verteilungsfunktion in Abhängigkeit von der Irrtumswahrscheinlichkeit

$l_{SA}$  Länge freier Streckenabschnitt [m] (Merkmal 2)

$q$  DTV [Kfz/24 h] (Merkmal 1, nicht signifikant)

$x_1$  Einzelbaum [-] (Merkmal 13)

$x_2$  Baumgruppe [-] (Merkmal 14)

$x_3$  Baumreihe [-] (Merkmal 15)

$x_4$  Allee [-] (Merkmal 16)

$x_5$  Waldbereich [-] (Merkmal 17)

$x_6$  Waldmantel [-] (Merkmal 18)

aufweisen. Dies zeigen die deutlich steigenden Mittelwerte der Ergebnisse der Berechnungen der Quantile ( $E_{KI}(\lambda)$ ). Damit werden besonders unfallauffällige Abschnitte und damit in der Summe ein hohes Verbesserungspotenzial der Verkehrssicherheit aufgezeigt.

Die Berücksichtigung von Konfidenzintervallen in der Modellgleichung von GLM und in der Vorhersageberechnung des Unfallgeschehens verbessert die Vorhersage der Unfallhäufigkeit dahingehend, dass besonders unfallauffällige Abschnitte bzw. Abschnitte mit Ausreißern ermittelt werden können.

Tab. 46: Vorhergesagtes (Teilmodell 3C) und beobachtetes Unfallgeschehens ( $U_{\text{FaAb-Baum}}(P,SS)$ ) auf Validierungsabschnitten mit der Darstellung von KI (Konfidenzintervallen) in SN (N = 64)

$U_{\text{FaAb-Baum}}(P,SS)/7a$ , Beobachtung	$U_{\text{FaAb-Baum}}(P,SS)/7a$ , Vorhersage (Teilmodell 3C)					$U_{\text{FaAb-Baum}}(P,SS)/7a$ , Beobachtung	$U_{\text{FaAb-Baum}}(P,SS)/7a$ , Vorhersage (Teilmodell 3C)				
	E( $\lambda$ )	Quantil von $E_{KI}(\lambda)$					E( $\lambda$ )	Quantil von $E_{KI}(\lambda)$			
		85 %	90 %	95 %	97,5 %			85 %	90 %	95 %	97,5 %
0	0,05	0,11	0,14	0,20	0,27	0	1,43	4,18	5,45	8,12	11,62
0	0,05	0,11	0,14	0,20	0,27	0	1,47	4,44	5,82	8,79	12,71
0	0,15	0,45	0,58	0,86	1,24	1	0,32	0,92	1,20	1,79	2,56
0	0,17	0,50	0,66	0,98	1,40	1	0,34	0,99	1,28	1,90	2,70
0	0,26	0,74	0,95	1,41	2,00	1	0,44	1,29	1,68	2,50	3,59
0	0,26	0,80	1,06	1,61	2,34	1	0,44	1,29	1,68	2,50	3,59
0	0,26	0,80	1,06	1,61	2,34	1	0,44	1,23	1,58	2,31	3,25
0	0,28	0,81	1,04	1,54	2,19	1	0,48	1,48	1,94	2,95	4,28
0	0,29	0,82	1,06	1,56	2,22	1	0,59	1,66	2,14	3,15	4,45
0	0,29	0,82	1,06	1,56	2,22	1	0,65	1,83	2,36	3,46	4,88
0	0,30	0,84	1,09	1,61	2,29	1	0,66	2,00	2,62	3,94	5,70
0	0,30	0,84	1,09	1,61	2,29	1	0,78	2,38	3,13	4,72	6,84
0	0,32	0,92	1,20	1,79	2,56	1	0,85	2,58	3,39	5,12	7,43
0	0,45	1,30	1,69	2,51	3,58	1	0,91	2,86	3,78	5,77	8,45
0	0,52	1,51	1,96	2,91	4,16	1	0,93	2,81	3,69	5,56	8,05
0	0,52	1,62	2,14	3,26	4,76	1	0,93	2,81	3,69	5,56	8,05
0	0,52	1,62	2,14	3,26	4,76	1	0,97	3,01	3,97	6,05	8,82
0	0,56	1,73	2,28	3,47	5,07	1	1,18	3,51	4,59	6,87	9,87
0	0,56	1,73	2,28	3,47	5,07	1	1,20	3,60	4,72	7,09	10,24
0	0,59	1,66	2,14	3,15	4,45	1	1,43	4,18	5,45	8,12	11,62
0	0,59	1,75	2,28	3,41	4,89	1	1,47	4,44	5,82	8,79	12,71
0	0,59	1,75	2,28	3,41	4,89	1	1,74	5,27	6,93	10,47	15,18
0	0,61	1,81	2,37	3,55	5,11	1	2,27	7,21	9,57	14,70	21,60
0	0,61	1,81	2,37	3,55	5,11	2	0,34	0,99	1,28	1,90	2,70
0	0,61	1,84	2,41	3,63	5,24	2	0,45	1,30	1,69	2,51	3,58
0	0,65	1,83	2,36	3,46	4,88	2	0,48	1,48	1,94	2,95	4,28
0	0,85	2,58	3,39	5,12	7,43	2	0,52	1,51	1,96	2,91	4,16
0	0,87	2,52	3,27	4,86	6,93	2	1,18	3,51	4,59	6,87	9,87
0	0,87	2,52	3,27	4,86	6,93	2	2,20	6,97	9,25	14,19	20,85
0	0,91	2,86	3,78	5,77	8,45	3	0,44	1,23	1,58	2,31	3,25
0	0,97	3,01	3,97	6,05	8,82	3	0,78	2,38	3,13	4,72	6,84
0	1,17	3,52	4,61	6,93	10,01	3	1,74	5,27	6,93	10,47	15,18

## 7 Zusammenfassung und Ausblick

Landstraßenunfälle in Verbindung mit der Bepflanzung im Seitenraum sind durch eine besonders hohe Unfallschwere und eine weitgehend linienhafte Verteilung des Unfallgeschehens im Straßennetz gekennzeichnet. Fahrunfälle mit Aufprall auf einen Baum neben der Fahrbahn konzentrieren sich in einer Gesamtstichprobe von knapp 29.000 km auf 20 % der Abschnittsanzahl. Den Verkehrsteilnehmern ist die Schwere von Unfällen im Zusammenhang mit Baumaufprall ungenügend bekannt. Zugleich wird die Bepflanzung je nach Bundesland und Typ der Bepflanzung als regionales Natur- und Kulturerbe, Landschaftsbestandteil sowie als wichtiger Teil des Biotopschutzes angesehen und durch Neu- und Nachpflanzungen gefördert.

Das Ziel dieser Arbeit war es, auf Basis empirischer Modelle mit einem Ansatz der Bayes-Inferenz die unfallbeeinflussenden Merkmale unter besonderer Berücksichtigung der Straßenbepflanzung im Seitenraum zu ermitteln und dabei das methodische Vorgehen für dieses empirische Bayes-Modell zu entwickeln und zu validieren. Der entwickelte Ablauf zur Erstellung der Unfallmodelle leistet einen Beitrag zur Erweiterung der Verfahren und Methoden der Sicherheitsuntersuchungen im Straßenwesen.

Vielen der bisherigen Sicherheitsuntersuchungen liegen monokausale Analysemethoden zugrunde. Es konnte gezeigt werden, dass ein wissenschaftlicher Nachweis auf der Grundlage von monokausalen Unfallanalysen nur unzureichend möglich ist. Die Erkenntnislücken bei den Zusammenhängen der verschiedenen Bepflanzungstypen sowie weiterer Merkmale der Bepflanzung mit dem Unfallgeschehen bildeten den Schwerpunkt der Untersuchung. Neben einer Grundlagendarstellung der Bayes Statistik und deren umfangreicher Bandbreite an Einsatzmöglichkeiten wurden die Möglichkeiten zur Anwendung bei Sicherheitsanalysen im Verkehrswesen aufgezeigt.

Die Auswertung der Einzeldaten der amtlichen Straßenverkehrsunfallstatistik zeigte, dass Unfälle mit einem Aufprall auf einen Baum zu nahezu vier Fünftel Fahrunfälle sind, ausgelöst durch den Verlust der Kontrolle über das Fahrzeug, ohne dass andere Verkehrsteilnehmer dazu beigetragen haben. Die Unfallschwere (Anzahl der Getöteten pro 100 Unfälle mit Personenschaden) ist im Zusammenhang mit einem Hindernisaufprall 5 mal höher, bei einem

Baumaufprall 8 mal höher und bei einem Schutzplankenaufprall 3 mal höher als ohne Aufprall. Die große Anzahl sowie der hohe Anteil an folgenreicheren Landstraßenunfällen im Zusammenhang mit der Straßenbepflanzung und deren Einfluss auf die Unfallschwere zeigen das hohe Potenzial zur Verbesserung der Verkehrssicherheit, welches durch einen hindernisfreien Seitenraum erreicht werden kann. Differenzierte Aussagen zum Unfallablauf und deren Randbedingungen wurden für Unfälle mit der Merkmalsausprägung „Aufprall auf Hindernis neben der Fahrbahn“ im Vergleich zu anderen Landstraßenunfällen getätigt.

Die Auswertung der detaillierten Daten von Straßenverkehrsunfällen (In-Depth Study – GIDAS) brachte verbesserte Erkenntnisse zur Unfallentstehung, zum weiteren Ablauf und deren Randbedingungen. Der Unfallablauf unterscheidet sich dabei nach den Ausgangsgeschwindigkeiten und Unfallursachen des Abkommens. In Kurvenbereichen treten, wie bereits bekannt, viele Fahrunfälle mit Abkommen von der Fahrbahn auf. Dies ist besonders in Hinblick auf (infrastrukturelle) Maßnahmen hervorzuheben, dass bei einem Unfallablauf durch ein übersteuerndes Fahrzeugverhalten das Fahrzeug in der Kurveninnenseite abkommt und dort auf mindestens einen Baum prallt. Es sollten die fahrzeugtechnischen Eigenschaften hinsichtlich möglicher Verbesserungen geprüft und dabei Weiterentwicklungen der passiven Sicherheit der Fahrzeuge untersucht werden. In dieser Unfallauswertung zeigten sich zahlreiche Zusammenhänge, wie z. B. zwischen den jeweiligen Unfallabläufen und der Deformationstiefe am Fahrzeug sowie zwischen dem Durchmesser des Baumes und der höchsten Verletzungsschwere der Personen im Fahrzeug.

Sichtweitendefizite (hohe Anteile an Sichtweiten unter der erforderlichen Haltesichtweite) führen tendenziell zur Erhöhung der Anzahl der Fahrunfälle mit Abkommen von der Fahrbahn. Der Einfluss der Straßenbepflanzung auf die Sichtweiten sollte deshalb im Entwurfsprozess und im Bestand berücksichtigt werden.

Auf Basis eines umfangreichen und detaillierten Datensatzes mit über 2.600 fahrstreifenbezogenen Abschnitten und knapp 3.000 km Gesamtlänge standen einbahnige, zweistreifige Landstraßen außerhalb von Netzknoten und deren möglichen Einflussbereichen im Fokus der Untersuchung. Es konnte gezeigt werden, dass es einen deutlichen Zusammenhang zwischen der fahrleistungsbezo-

genen Häufigkeit von amtlich registrierten Fahrur-fällen mit Abkommen von der Fahrbahn und der Straßenbepflanzung gibt. Die fahrleistungsbezogene Kenngröße der Gesamtunfallrate liegt auf fast allen Bepflanzungstypen über der eines baumfreien Umfeldes. Jedoch könnte vermutet werden, dass die Unfallanzahl auf den Strecken unabhängig von der Häufigkeit und Typ der Bepflanzung gleich ist, jedoch das „Hellfeld“, also die amtlich registrierten Straßenverkehrsunfälle, z. B. auf Strecken mit Alleen und Strecken mit einem geringen Längsabstandes der Bäume höher ist, als auf Strecken mit Einzelbäumen oder hindernisfreiem Seitenraum. Bei letzteren kann vermutet werden, dass die Fahrur-fälle mit Abkommen von der Fahrbahn ohne Aufprall auf ein Hindernis wegen geringerer Unfallfolgen seltener der Polizei gemeldet werden.

Die unfallschwerebezogene Kostenbewertung unter Berücksichtigung der Abschnittslänge zeigt für den Fahrurfall mit Abkommen von der Fahrbahn mittlere Kosten von ca. 20.000 Euro/(km\*a) pro Fahrtrichtung. Hierbei weist der Bepflanzungstyp Allee mit über 27.000 Euro/(km\*a) den Höchstwert auf und liegt mehr als 7 mal höher als die Kosten für das baumfreie Umfeld (ca. 4.000 Euro/(km\*a)). Abschnitte mit einem Waldbereich (ca. 19.000 bzw. 21.000 Euro), Baumreihen (ca. 17.500 bzw. 15.000 Euro) aber auch Einzelbäume (ca. 11.500 bzw. 14.000 Euro) zeigen ebenfalls hohe Kostenwerte pro Jahr, Kilometer und Fahrtrichtung. Eine Kombination der fahrleistungs- und unfallschwerebezogenen Unfallkenngrößen zeigt, dass auf Abschnitten mit baumfreiem Umfeld lediglich ca. 2.000 Euro/Million Kfz\*km und auf denen mit Alleen über 20.000 Euro/Million Kfz\*km pro Fahrtrichtung verzeichnet werden und die Unfallkosten bei Alleen damit 10 mal so hoch sind.

Die Modellergebnisse zeigen, dass bei Fahrur-fällen mit Abkommen von der Fahrbahn (Unfälle ohne und mit Aufprall auf ein Hindernis) unfallauffällige Abschnitte oder Unfallhäufungsstellen häufiger das Merkmal Singularität (Kurven mit einem Radius unter 200 m einschließlich Mindestlänge von 50 m) aufweisen. Es hat sich gezeigt, dass die Relations-trassierungen benachbarter Elemente des Lageplans im „zu vermeidenden Bereich“ oder „brauchbaren Bereich“ nach den RAL 2012 (FGSV 2012) bereits bei einer geringen Auftretenshäufigkeit einen erhöhenden Einfluss auf die Unfallhäufigkeit aufweisen. Im Sinne der aktiven Unfallvermeidung sind derartige Trassierungen besonders zu vermeiden. Die Zunahme an Singularitäten zeigt einen

mittleren bis hohen Einfluss auf die Zunahme der Unfallschwere an unfallauffälligen Abschnitten oder Unfallhäufungsstellen.

In Bezug auf die Unfallhäufigkeit mit Aufprall auf einen Baum hat sich gezeigt, dass mit steigendem Anteil der Straßenbepflanzung Allee und Waldbereich (Einfluss: hoch mit extremen Ausreißern) sich die Unfallhäufigkeit erhöht. Die Baumreihe sowie die Kombination Baumreihe und Allee erhöhen mit einem mittleren bis sehr hohen Einfluss die Unfallhäufigkeit. Bei einem Längsabstand zwischen den Bäumen von durchschnittlich unter 40 m zeigt sich in der Regel ein mittlerer bis sehr hoher erhöhender Einfluss auf die Unfallhäufigkeit. Der Abstand der Bäume zur Fahrbahn weist einen geringen bis hohen Einfluss auf die Erhöhung der Unfallhäufigkeit auf. Ein Baumabstand unter 2,00 m zur Fahrbahn, weist dabei im Vergleich zur Ausprägung zwischen 2,00 m und 4,00 m, einen leicht höheren Einfluss auf die Unfallhäufigkeit auf. Es zeigt sich ein mittlerer erhöhender Einfluss auf die Unfallhäufigkeit durch die Erhöhung der Anteile der Stammdurchmesser der Bäume von über 30 cm. Die Erhöhung der Anteile der Bäume auf hohen Böschungen vermindert die Unfallhäufigkeit. Mit steigenden NKA vermindert sich die Unfallhäufigkeit. Das Merkmal DTV zeigt keinen signifikanten Zusammenhang zur Unfallhäufigkeit und -schwere. Bei der Sicherheitsbewertung von Abschnitten mit Straßenbepflanzung sind daher vornehmlich längenbezogene Unfallkenngrößen vor fahrleistungsbezogenen Unfallkenngrößen geeignet.

Für den in der Literatur genannten positiven Einfluss (z. B. die Leitwirkung) von bestimmten Bepflanzungstypen und eine mögliche angepasste Fahrweise wurden keine Hinweise für eine mögliche Leitwirkung im Unfallgeschehen erkannt. Vielmehr ist der deutliche Einfluss der Bepflanzungsabschnitte auf schwerere Unfallfolgen im Vergleich zum baumfreien Umfeld festzustellen. Die Erhöhung der Anteile des Bepflanzungstyp Allee zeigt einen extremen Einfluss auf die Zunahme der Unfallschwere mit Aufprall auf einen Baum. Der Waldbereich, Baumreihe und Einzelbaum zeigt einen sehr hohen bis extremen Einfluss auf die Zunahme der Unfallschwere. Die Unfallschwere nimmt bei einem Längsabstand zwischen den Bäumen von durchschnittlich unter 40 m zu (hoher Einfluss). Die Ausstattung der Bäume mit Schutzplanken als pro- und reaktive Maßnahme in der Verkehrssicherheitsarbeit führt bei höheren Ausstattungsanteilen zu einer hohen Abnahme der Unfallschwere. Die o. g. Ab-

stände der Bäume zur Fahrbahn und die Erhöhung des Anteils der Stammdurchmesser der Bäume von über 30 cm weisen jeweils eine mittlere Zunahme auf die Unfallschwere auf.

Insgesamt zeigte sich, dass die Unfallvorhersage anhand der ermittelten Einflussmerkmale in den Teilmodellen das beobachtete Unfallgeschehen auf den zur Validierung der Vorhersage herangezogenen Abschnitten (Validierungsabschnitte) prognostizieren kann. Je höher die vorausgesagte Anzahl an Unfällen der Unfallvorhersage, desto höher (signifikanter Zusammenhang) ist auch die tatsächliche und beobachtete Anzahl an Unfällen auf den Validierungsabschnitten. In der Modellanwendung wurden einseitige obere Konfidenzintervalle mit verschiedenen Irrtumswahrscheinlichkeiten für die ermittelten Einflussgrößen hinsichtlich der Auswirkungen auf die Unfallanzahl betrachtet. Es konnten eindeutig Abschnitte identifiziert werden, welche ein vergleichsweise auffälliges Unfallgeschehen aufweisen. Die Berücksichtigung von Konfidenzintervallen in der Modellgleichung von verallgemeinerten linearen Modellen (GLM) und in der Vorhersageberechnung des Unfallgeschehens verbessert die Vorhersage dahingehend, dass besonders unfallauffällige Abschnitte bzw. Abschnitte mit Ausreißern ermittelt werden können.

Im Rahmen der Modellerstellung wurden insgesamt knapp 500 querschnitts- und fahrstreifenbezogene Merkmale und etwa 100 fahrstreifenbezogene relevante Unfallmerkmale auf deren Zusammenhang zum Unfallgeschehen überprüft. Die in Teilmodellerstellung ermittelten Zusammenhänge von 26 Merkmalen (Kapitel 6.3.5) zum Unfallgeschehen (Unfallhäufigkeit und -schwere) und die weiteren Ergebnisse stellen Grundlagen für die Überarbeitung der technischen Regelwerke, wie z. B. des Handbuchs für die Bewertung der Verkehrssicherheit von Straßen, des Merkblatts „Bäume an Straßen“ und für den Leitfaden bzw. die Entwicklung von Sonderlösungen zum Baum- und Objektschutz an Landstraßen dar. Methodisch konnte dargelegt werden, dass die Bayes-Inferenz eine wertvolle Basis für die Verfahren der Sicherheitsanalyse der Straßeninfrastruktur darstellt. Vor dem Hintergrund der neuen EU-Richtlinie 2019/1936 (EP & RAT EU 2019), welche präventive Verfahren der Sicherheitsbewertungen weiter stärkt, sollten diese Verfahren vermehrt genutzt werden. Es zeigte sich, dass bei der Nutzung von Bayes-Inferenz der Umfang der Datensammlung, -aufbereitung und -auswertung unter bestimmten Randbedingungen verringert werden

kann und damit zeitliche und wirtschaftliche Gründe für den Ansatz sprechen.

Weitere nachfolgende Ergebnisse und Forschungsbedarf wurden in der Untersuchung ermittelt:

- Aus wissenschaftlicher Sicht wäre es wünschenswert, dass das Merkmal „Aufprall auf Hindernis neben der Fahrbahn“ ein Merkmal der Beteiligtenebene in der Straßenverkehrsunfallstatistik wird, um zukünftig ein genaueres Bild davon zu erhalten, welcher Unfallbeteiligte auf das Hindernis geprallt ist.
- In den Unfallanalysen konnte festgestellt werden, dass sich Unfälle mit einem Aufprall auf einen Baum auf das Landstraßennetz linienhaft, aber nicht gleichmäßig verteilen. Deshalb sollten die Grundlagen, das Verfahren und die Anwendung zur Identifikation auffälliger Bereiche mit Unfällen mit einem Aufprall auf einen Baum überprüft werden. Ziel sollte es sein, den 1. Verfahrensweg der ESAB anhand verschiedener Grenzwertkriterien zu verbessern.
- Außerhalb der Fragestellung der Untersuchung wurde festgestellt, dass die fahrstreifenbezogenen Ermittlungen der Kenngrößen für den Einflussbereich eines Netzknotens und für den Übergang zu den innerörtlichen Straßen näher analysiert werden sollten.
- Aus wissenschaftlicher Sicht sind für Sicherheitsuntersuchungen und -bewertungen in der Praxis Kataster der Straßenbepflanzung sehr vorteilhaft. Hierbei ist es notwendig, die Kataster nach einheitlichen Definitionen für die Typen der Straßenbepflanzung zu erstellen und unabhängig von der Grundstücksgrenze bzw. Baulastträgerschaft aufzunehmen.
- Die Ermittlung eines optimalen Stichprobenumfangs erwies sich bei der Erstellung der Unfallmodelle auf Basis der Bayes-Inferenz geeignet. Im Rahmen von weiteren Untersuchungen bzw. Datengrundlagen kann dieses mathematische Verfahren hinsichtlich der Anwendung bei Sicherheitsverfahren im Straßenwesen weiter optimiert werden.
- In der Modellerstellung haben sich die Kennwerte der Cook-Distanz und deren Einfluss auf die Ausreißereliminierung der Abschnitte als besondere Herausforderung herausgestellt. Der Umgang mit Ausreißern bzw. die Ausreißereliminierung bei der Kalibrierung von Unfallmodellen

wird daher bei der Anwendung in Sicherheitsverfahren im Straßenwesen als offener Forschungsbedarf gesehen.

- Unfälle mit Aufprall auf einen Baum auf Autobahnen und Innerortsstraßen sollten hinsichtlich des Unfallablaufs und der Örtlichkeit näher untersucht werden, da diese auch dort einen Teil der schwersten Unfälle darstellen.
- Unfälle mit einem Aufprall auf einen Baum sind weiterhin eine besondere Herausforderung in der Verkehrssicherheitsarbeit in Deutschland. Deshalb sollte diese Thematik im Verkehrssicherheitsprogramm der Bundesregierung für den Zeitraum 2021 bis 2030 und den Programmen der Bundesländer berücksichtigt werden.

## Literatur

- Aarts, L.; Schagen, I. van (2006): Driving speed and the risk of road crashes. *Accident Analysis and Prevention*, Volume 38, Issue 2, pp. 215-224
- AASHTO (2010): Highway Safety Manual. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington D. C.
- Abdel-Aty, M. A.; Radwan, A. E. (2000): Modeling traffic accident occurrence and involvement. *Accident Analysis and Prevention*, Volume 32, Issue 5, pp. 633-642
- Abdelwahab, H. T.; Abdel-Aty, M. A. (2002): Artificial neural networks and logit models for traffic safety analysis of toll plazas. *Transportation Research Record*, No. 1784, pp. 115-125
- ADAC (1997): Baum und Straße. Verkehrstechnik Fachgespräche 4, Erfahrungen und Empfehlungen aus der kommunalen Praxis, München
- Aguero-Valverde, J.; Jovanis, P. P. (2008): Analysis of road Crash Frequency with Spatial Models. *Transportation Research Record*, No. 2061, pp. 55-63
- Ahmed, M.; Helai, H.; Abdel-Aty, M. A.; Guevara, B. (2011): Exploring a Bayesian hierarchical approach for developing safety performance functions for a mountainous freeway. *Accident Analysis and Prevention*, Volume 43, Issue 4, pp. 1581-1589
- Al-Ghamdi, A. S. (2002): Using logistic regression to estimate the influence of accident factors on accident severity. *Accident Analysis and Prevention*, Volume 34, Issue 6, pp. 729-741
- Al-Kassar, B.; Hoffmann, G.; Zmeck, D. (1981): Der Einfluß der Streckenmerkmale auf die Momentangeschwindigkeit freifahrender Pkw. *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik*, Heft 323, Bundesministerium für Verkehr, Bonn
- Allenbach, R.; Hubacher, M.; Huber, C.A.; Siegrist, S. (1996): Verkehrstechnische und -psychologische Sicherheitsanalyse von Strassenabschnitten. *bfu Report 31*, Schweizerische Beratungsstelle für Unfallverhütung, Bern
- Allenby, G. M.; Rossi, P. E.; McGulloch, R. E. (2005): Hierarchical Bayes Models: A Practitioners Guide. Social Science Research Network ([www.papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=655541](http://www.papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=655541), letzter Zugriff: 04.06.2018)
- Andree, R. (1981): Der Einfluss verkehrsregelnder Maßnahmen auf die Fahrunfälle auf Landstraßen. Fachbereich Wasser und Verkehr der Technischen Hochschule Darmstadt, Dissertationsschrift
- Anhäuser, G. (1997): Konzept „Verkehrssicherheitsgrün“. u. a. Beitrag zum Kolloquium Verkehrssicherheit von Straßen, Institut für Straßen- und Eisenbahnwesen der Universität Karlsruhe, Karlsruhe
- Antonson, H.; Mårdh, S.; Wiklund, M.; Blomqvist, G. (2009): Effect of surrounding landscape on driving behaviour: A driving simulator study. *Journal of Environmental Psychology*, Volume 29, Issue 4, pp. 493-502
- Auerbach, K.; Otte, D; Jansch, M.; Lefering, R. (2009): Medizinische Folgen von Straßenverkehrsunfällen: Drei Datenquellen, drei Methoden, drei unterschiedliche Ergebnisse?. F1100.4309001, Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach
- Aurich, A. (2013): Modelle zur Beschreibung der Verkehrssicherheit innerörtlicher Hauptverkehrsstraßennetze unter besonderer Berücksichtigung der Umfeldnutzung. Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“, Institut für Verkehrsplanung und Straßenverkehr, Technische Universität Dresden, Dissertationsschrift

- Bachmann, C. (2008): Methoden der Verkehrssicherheitsforschung im Straßenwesen – Anwendungen und Erkenntnisse. Institut für Verkehrswirtschaft, Straßenwesen und Städtebau, Heft 39, Universität Hannover
- Bakaba, J. E. (2002): Ableitung vereinfachter Modellansätze zur Geschwindigkeitsprognose auf Außerortsstraßen auf der Grundlage der verfügbaren Variablen aus der Straßendatenbank. Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“, Technische Universität Dresden, Dissertationschrift
- Balck, H.; Schüller, H.; Balmberger, M. (2017): Verfahren zur Zusammenführung von Informationen unterschiedlicher Netzanalysesysteme. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 298, Bergisch Gladbach
- Bald, S. (1991): Grundlagen für die Anwendung von Risikoanalysen im Straßenwesen. Technische Hochschule Darmstadt, Dissertationschrift
- Banerjee, S.; Carlin, B. P.; Gelfand A. E. (2014): Hierarchical Modeling and Analysis for Spatial Data. Monographs on Statistics & Applied Probability, 2. Edition, Chapman and Hall/CRC Press, Boca Raton/London/New York
- Bark, A.; Beaulieu, C. C.; Lippold, C.; Heine, A.; Vettters, A.; Zösch, J. (2015): Empfehlungen zur Vermeidung von Zusammenstößen mit dem Gegenverkehr auf Landstraßen. Schlussbericht zum FE 03.475/2011 (unveröffentlicht), Gießen, Dresden
- Bark, A.; Krähling, D.; Kutschera, R.; Baier, M. M.; Baier, R.; Klemps-Kohnen, A.; Schuckließ, L.; Maier, R.; Berger, R. (2017): Bewertung der Sicherheitsbelange der Straßeninfrastruktur. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 283, Bergisch Gladbach
- Bartelt, B.; Regniet, G.; Schmidt, G. (1992): Geschwindigkeit und Unfallgeschehen auf Landstraßen. Bericht zum Forschungsprojekt 2.8928, Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach
- BASSt (2017): Leitfaden für Sonderlösungen zum Baum- und Objektschutz an Landstraßen. 19.12.2017 ([www.bast.de/BASSt\\_2017/DE/Publikationen/Regelwerke/Verkehrstechnik/V4-Baum-Objektschutz.html](http://www.bast.de/BASSt_2017/DE/Publikationen/Regelwerke/Verkehrstechnik/V4-Baum-Objektschutz.html), letzter Zugriff: 08.02.2020), Bergisch Gladbach
- Bäumler, H. (2017): Die Aufklärung suizidaler Ereignisse am Beispiel eines Alleinunfalles. Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, Ausgabe 05, S. 168-176, München
- Becher, T.; Baier, M. M. (2003): Einfluss der Straßenraumgestaltung auf Fahrverhalten und Unfallgeschehen in Baumallen. Aachener Mitteilungen Straßenwesen, Erd- und Tunnelbau, Perspektiven für das Straßenwesen, S. 71-92, Aachen
- Becher, T.; Baier, M. M.; Steinauer, B.; Scheuchenspflug, R.; Krüger, H.-P. (2006): Berücksichtigung psychologischer Aspekte beim Entwurf von Landstraßen – Grundlagenstudie. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 148, Bergisch Gladbach
- Bella, F. (2013): Driver perception of roadside configurations on two-lane rural roads: Effects on speed and lateral placement. Accident Analyses and Prevention, Volume 50, Issue 0, pp. 251-262
- Berg, A.; Ahlgrimm, J. (2010): Baumunfälle – Nach wie vor Handlungs- und Forschungsbedarf. Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik 48, S. 118-126, München
- Berger, R. (2016): Modelle zur Bewertung der Verkehrssicherheit von Landstraßen. Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“, Institut für Verkehrsplanung und Straßenverkehr, Technische Universität Dresden, Dissertationsschrift
- Bitzl, F. (1968): Verkehrsunfälle im Zusammenhang mit dem Baumbestand an Straßen. Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 69, Bonn
- Bitzl, F. (1968b): Verkehrsunfälle im Zusammenhang mit dem Baumbestand an Straßen. Deutscher Rat für Landespflege, Landschaftspflege an Verkehrsstraßen, Heft 9, S. 9-12, Bonn
- BMV (1972): Richtlinien für abweisende Schutzeinrichtungen an Bundesfernstraßen. ARS Nr. 20/1972, StB 4/3 – 38.60.65/10 – 4052 Vms 72, Bundesminister für Verkehr, Bonn
- BMV (1987): Hinweise zur Berücksichtigung des Naturschutzes und der Landschaftspflege beim Bundesfernstraßenbau (HNL-StB). Bundesminister für Verkehr, Bonn

- BMV (1994): Merkblatt für Baumpflegearbeiten an Straßen. Bundesminister für Verkehr, Bonn
- BMVBS (2006): Empfehlungen zum Schutz vor Unfällen mit Aufprall auf Bäume (ESAB). ARS Nr. 15/2006 vom 18.09.2006, S 11/7123.10/9-506413, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn
- BMVBS (2010): Richtlinien für passiven Schutz an Straßen durch Fahrzeug-Rückhaltesysteme (RPS) und Einsatzfreigabeverfahren für Fahrzeug-Rückhaltesysteme. ARS Nr. 28/2010 vom 20.12.2010, StB 11/7123.11/2-02-1312656, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn
- BMVBS (2011): Richtlinien für die landschaftspflegerische Begleitplanung im Straßenbau (RLBP). Ausgabe 2011, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn
- BMVBS (2012): Längenstatistik der Straßen des überörtlichen Verkehrs. Stand: 01.01.2012, Ausgabe: Mai 2012, BMVS/StB 10, Bonn
- BMVBW (1992): Merkblatt Alleen (MA-StB 92), Bundesminister für Verkehr, Verkehrsblatt-Verlag, Dortmund
- BMVBW (1999): Hinweise zur Berücksichtigung des Naturschutzes und der Landschaftspflege beim Bundesfernstraßenbau (HNL-S). Bundesministerium für Verkehr, Bau und Wohnungswesen, Bonn
- BMVBW (2000): Grundsätze für die Aufstellung von Verkehrsschildern an Bundesfernstraßen. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Wohnungswesen, Bonn
- BMVBW (2004): Leistungsheft für den Straßenbetriebsdienst auf Bundesfernstraßen. Version 1.1, Bonn
- BMVI (2014): ASB Anweisung Straßeninformationbank – Segment: Begriffsbestimmungen. Version 2.03, Stand: 20.02.2014, Fachgruppe „ASB“ der Dienstbesprechung „Koordinierung der B/L-Fachinformationssysteme im Straßenwesen – ITKo“
- BMVI (2015): Runder Tisch „Alleen“ am 08.09.2015 – Tischvorlage. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (unveröffentlicht), Bonn
- BMVI (2015b): Alleenbestand an Straßen überörtlichen Verkehrs ohne BAB, Abfrage bzgl. Alleenbestand, Aktualisierung zur Bund/Länder-Dienstbesprechung über verkehrstechnische Angelegenheiten am 24./25.03.2015 in Dresden (unveröffentlicht), Bonn
- BMVI (2019): Längenstatistik der Straßen des überörtlichen Verkehrs. Stand: 01.01.2019, Ausgabe: August 2019, BMVS/StB 10, Bonn
- BNatSchG (2009): Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz). Bundesnaturschutzgesetz vom 29. Juli 2009 (Bundesgesetzblatt I S. 2542), das zuletzt durch Artikel 8 des Gesetzes vom 13. Mai 2019 (Bundesgesetzblatt I S. 706) geändert worden ist.
- Bortz, J. (2005): Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler. 6. Auflage, Springer Medizin Verlag, Heidelberg
- Bösl, B.; Spahn, V. (2010): Präventiver Schutz vor schweren Unfallfolgen auf Landstraßen. Straßenverkehrstechnik, Heft 2, S. 79-86, Bonn
- Boulieri A.; Liverani, S.; de Hoogh, K.; Blangiardo, M. (2016): A space-time multivariate Bayesian model to analyse road traffic accidents by severity. *Journal of the Royal Statistical Society: Series A*, Volume 180, Issue 1, pp. 119-139
- Bracke, D.; Reznik, G.; Mölleken, H.; Berteilt, W.; Schmidt, E. (2010): Einfluss von Straßenrandbegrünung auf die PM10-Belastung. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 204, Bergisch Gladbach
- Breloer, H. (1996): Verkehrssicherungspflicht bei Bäumen: aus rechtlicher und fachlicher Sicht. 5. Auflage, Bäume & Recht Band 2, Bernard Thalacker Verlag, Braunschweig
- Brijs, T.; Karlis, D.; Van Den Bossche, F.; Wets, G. (2007): Bayesian model for ranking hazardous road sites. *Journal of the Royal Statistical Society: Series A*, Volume 170, Issue 4, pp. 1001-1017
- Brilon, W. (1973): Konfidenzintervalle von Unfallzahlen. *Accident Analysis and Prevention*, Pergamon Press, Volume 5, Issue 4, pp. 321-341
- Brüde, U.; Larsson, J. (1988): The use of prediction models for eliminating effects due to regression-

- to-the-mean in road accident data. *Accident Analysis and Prevention*, Pergamon Press, Volume 20, Issue 4, pp. 299-310
- BT (2010): Drucksache 17/2533 Alleenschutz. Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Dr. Anton Hofreiter, Cornelia Behm, Undine Kurth (Quedlinburg), weiterer Abgeordneter und der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN, Bundesanzeiger, Köln
- BT (2013): Drucksache 17/13677 Allelen und einseitige Baumreihen an Bundesstraßen. Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Cornelia Behm, Dr. Anton Hofreiter, Daniela Wagner, weiterer Abgeordneter und der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN, Bundesanzeiger, Köln
- BT (2019): Gesetz über die Feststellung des Bundeshaushaltsplans für das Haushaltsjahr 2020 (Haushaltsgesetz 2020). *Bundesgesetzblatt I*, S. 2890 vom 21.12.2019
- Buck, M. (1991): Geschwindigkeitsverhalten auf einbahnigen Außerortsstraßen in Abhängigkeit von baulichen, betrieblichen und verkehrlichen Randbedingungen. *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik*, Heft 621, Bundesministerium für Verkehr, Bonn
- Buddhavarapua, P.; Smit, A. F.; Prozzi, J. A. (2015): A fully Bayesian before-after analysis of permeable friction course (PFC) pavement wet weather safety. *Accident Analysis and Prevention*, Volume 80, Issue 0, pp. 89-96
- Burda, M.; Harding, M.; Hausman, J. (2008): A Bayesian Mixed Logit-Probit Model for Multinomial Choice. *Journal of Econometrics*, 147(2), pp. 232-246
- Buss, E. (1997): Verkehrssicherheitsprogramm Brandenburg – Straßenbauliche Maßnahmen. *Schriftenreihe der Bundesanstalt für Straßenwesen*, Heft V 48, Bergisch Gladbach
- Butterwegge, P. (2002): Unfallhäufungen auf Landstraßen, Einfluss von Oberflächennässe – paarweiser Vergleich. *Mitteilungen des Instituts für Straßenverkehr*, Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft, Köln
- Cantilli, E. J.; Lee, B. (1970): Treatment of Roadside Hazards – Decision and Design. *Highway Research Board Special Report 107*, pp. 101-108, Washington D.C.
- Carlin, B. P.; Louis, T. A. (2000): *Bayes and Empirical Bayes Methods for Data Analysis*. 2. Edition, Chapman and Hall/CRC Press
- Carriquiry, A.; Pawlovich, M. (2004): *From empirical Bayes to full Bayes: Methods for Analyzing Traffic Safety Data*. Iowa State University, Ames
- Catarino, B.; Dünki, R. (2008): Hierarchischer und Empirischer Bayes. Seminar über Statistik FS2008: Bayesian Statistics, Seminar vom 28.04.2008, ETH Zürich ([www.stat.ethz.ch/education/semesters/FS\\_2008/seminar/7.pdf](http://www.stat.ethz.ch/education/semesters/FS_2008/seminar/7.pdf), letzter Zugriff: 04.06.2017)
- Chen, C.; Zhang, G.; Tarefder, R.; Ma, J.; Wie, H.; Guan, H. (2015): A multinomial logit model-Bayesian network hybrid approach for driver injury severity analyses in rear-end crashes. *Accident Analysis and Prevention*, Volume 80, Issue 0, pp. 76-88
- Christiansen, C. L.; Morris, C. N.; Pendleton, O. J. (1992): A Hierarchical Poisson Model with Beta Adjustments for Traffic Accident Analysis. *Technical Report 103*, The University of Texas at Austin, Center for Statistical Sciences, Austin
- Clark, D. E.; Cushing, B. M. (2004): Rural and urban traffic fatalities, vehicle miles, and population density. *Accident Analysis and Prevention*, Volume 36, Issue 6, pp. 967-972
- Cohen, J. (1992): A Power Primer. *Psychological Bulletin*, Volume 112, Issue 1, pp. 155-159
- Cohen, J.; Cohen, P.; West, S. G.; Aiken, L. S. (2003): *Applied Multiple Regression/Correlation Analysis for the Behavioral Sciences*. 3. Edition, Lawrence Erlbaum Associates Publishers, Mahwah, New Jersey, London
- Connolly, T.; Aberg, L. (1993): Some contagion models of speeding. *Accident Analysis and Prevention*, Volume 25, Issue 1, pp. 57-66
- Connors, R. D.; Maher, M.; Wood, A.; Mountain, L.; Ropkins, K. (2013): Methodology for fitting and updating predictive accident models with trend. *Accident Analysis and Prevention*, Volume 56, Issue 0, pp. 82-94
- Dahmen-Zimmer, K.; Zimmer, A. (1997): *Situationsbezogene Sicherheitskenngrößen im Stra-*

- ßenverkehr. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft M 78, Bergisch Gladbach
- Deiss, F.; Litzka, J.; Mitsch, J. (1978): Grundlagen für die Bepflanzung des Straßenbereiches aus verkehrstechnischer Sicht. Straßenforschung, Heft 88, Wien
- DEKRA (2013): Verkehrssicherheitsreport 2013 Landstraßen, Strategien zur Unfallvermeidung auf den Straßen Europas. Stuttgart
- Destatis (1996): Verkehr Verkehrsunfälle 1995, Fachserie 8 Reihe 7. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden
- Destatis (2012): Verkehr Verkehrsunfälle 2011, Fachserie 8 Reihe 7. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden
- Destatis (2013): Verkehr Verkehrsunfälle 2012, Fachserie 8 Reihe 7. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden
- Destatis (2014): Verkehr Verkehrsunfälle 2013, Fachserie 8 Reihe 7. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden
- Destatis (2020): Verkehr Verkehrsunfälle 2019, Fachserie 8 Reihe 7. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden
- Deublein, M. (2013): Roadway Accident Risk Prediction Based on Bayesian Probabilistic Networks. ETH Zürich, Dissertationsschrift
- Dilling, J. (1972): Fahrverhalten auf kurvigen Strecken. Universität Karlsruhe, Dissertationsschrift
- Dilling, J. (1973): Fahrverhalten von Kraftfahrzeugen auf kurvigen Strecken. Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 151, Bundesminister für Verkehr, Bonn
- DIN VDE (1987): DIN VDE 31000-2 VDE 3100:1987-12, Allgemeine Leitsätze für das sicherheitsgerechte Gestalten technischer Erzeugnisse. Begriffe der Sicherheitstechnik, Grundbegriffe (Norm zurückgezogen)
- Dissanayake, S.; Lu, J. J. (2002): Factors Influential in Making an Injury Severity Difference to Older Drivers Involved in Highway Crashes. Accident Analysis and Prevention, Volume 34, Issue 5, pp. 609-618
- Dissanayake, S.; Ratnayake, I. (2006): Identification of Factors Leading to High Severity of Crashes in Rural Areas Using Ordered Probit Modeling. Journal of the Transportation Research Forum, Volume 45, No. 2, pp. 87-101
- Dixon, K.; Zhu, H.; Ogle, J.; Brooks, J.; Hein, C.; Aklluir, P.; Crisler, M. (2008): Determining Effective Roadway Design Treatments for Transitioning From Rural Areas to Urban Areas on State Highways. Oregon State University, Oregon Department of Transportation, Oregon
- Duncan, C. S.; Khattak, A. J.; Council, F. M. (1998): Applying the Ordered Probit Model to Injury Severity in Truck Passenger Car Rear End Collisions. Transportation Research Record, No. 1635, National Research Council, pp. 63-71, Washington, D. C.
- Dupré, G.; Bisson, O. (2006): Roadside Infrastructure for Safer European Roads (RISER). D05: Summary of European Design Guidelines for Roadside Infrastructure, Chalmers University of Technology
- Düring, I.; Bösinger, R.; Lohmeyer, A. (2005): PM10-Emissionen an Außerortsstraßen – mit Zusatzuntersuchung zum Vergleich der PM10-Konzentrationen aus Messungen an der A1 Hamburg und Ausbreitungsberechnungen. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 125, Bergisch Gladbach
- Durth, W. (1974): Ein Beitrag zur Erweiterung des Modells für Fahrer, Fahrzeug und Straße in der Straßenplanung. Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 163, Bundesminister für Verkehr, Bonn
- Durth, W.; Bald, S. (1987): Risikoanalysen im Straßenwesen. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 531, Bundesministerium für Verkehr, Bonn
- Ebersbach, D. (2005): Entwurfstechnische Grundlagen für ein Fahrerassistenzsystem zur Unterstützung des Fahrers bei der Wahl seiner Geschwindigkeit. Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“, Technische Universität Dresden, Dissertationsschrift
- Eckstein, K.; Meewes, V. (2002): Sicherheit von Landstraßenknotenpunkten. Mitteilungen des Instituts für Straßenverkehr, Mitteilung Nr. 40,

- Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft, Köln
- Eid, V.; Ellinghaus, D.; Funck, P.; Koch, H.; Manssen, G.; Meewes, V.; Neumann, K.; Peters, J. (2005): Schutz von Mensch und Baum. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V., Verkehrstechnisches Institut der Deutschen Versicherer, Berlin
- Eksler, V.; Lassare, S.; Thomas, I. (2008): The regional analysis of road mortality in Europe: A Bayesian ecological regression model. *Public Health*, Volume 122, Issue 9, pp. 826-837
- El-Basyouny, K.; Sayed, T. (2009): Collision prediction models using multivariate Poisson-lognormal regression. *Accident Analysis and Prevention*, Volume 41, Issue 4, pp. 820-828
- El-Basyouny, K.; Sayed, T. (2010): Full Bayes approach to before-and-after safety evaluation with matched comparisons. *Transportation Research Record, Journal of the Transportation Research Board*, No. 2148, pp. 1-8
- El-Basyouny, K.; Sayed, T. (2011): A full Bayes multivariate intervention model with random parameters among matched pairs for before-after safety evaluation. *Accident Analysis and Prevention*, Volume 43, Issue 1, pp. 87-94
- El-Basyouny, K.; Sayed, T. (2012): Measuring safety treatment effects using full Bayes non-linear safety performance intervention functions. *Accident Analysis and Prevention*, Volume 45, Issue 0, pp. 152-163
- Ellinghaus, D.; Steinbrecher, J. (2003): Fahren auf Landstraßen – Traum oder Albtraum? Untersuchung zum Fahrverhalten und Fahrvergnügen von Pkw-Fahrern auf Landstraßen. 28. Uniroyal Verkehrsuntersuchung; Köln/Hannover
- Elvik, R. (2008): The predictive validity of empirical Bayes estimates of road safety. *Accident Analysis and Prevention*, Volume 40, Issue 6, pp. 1964-1969
- Elvik, R. (2008b): Comparative Analysis of Techniques for Identifying Locations of Hazardous Roads. *Transportation Research Record, Journal of the Transportation Research Board*, No.2083, pp. 72-75
- Elvik, R.; Christensen, P.; Amundsen, A. (2004): Speed and road accidents – An evaluation of the Power Model. TOI Report No. 740/2004, Institute of Transport Economics, Oslo
- EP & RAT EU (2008): Richtlinie 2008/96/EG vom 19. November 2008 über ein Sicherheitsmanagement für die Straßenverkehrsinfrastruktur. Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union, Amtsblatt der Europäischen Union, L 319/59
- EP & RAT EU (2019): Richtlinie 2019/1936 vom 23. Oktober 2019 über ein Sicherheitsmanagement für die Straßenverkehrsinfrastruktur. Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union, Amtsblatt der Europäischen Union, L 305
- Erke, H. (1977): Die Verkehrs-Konflikt-Technik als Methode zur Beurteilung von Verkehrsqualität. *Unfallforschung und Verkehrssicherheit, Unfall- und Sicherheitsforschung Straßenverkehr der Bundesanstalt für Straßenwesen*, Heft 14, S. 155-164, Köln
- Ernst, R. (1985): Der Unfall neben der Straße – Unfälle mit Abkommen von der Fahrbahn unter besonderer Berücksichtigung gefährlicher Hindernisse. *Straßenverkehrstechnik*, Heft 6, S. 198-201, Bonn
- Ewert, U.; Eberling, P. (2009): Sicherheit auf Außerortsstraßen. Beratungsstelle für Unfallverhütung, Report Nr. 61, Bern
- Ewert, U.; Scaramuzza, G.; Niemann, S.; Walter, E. (2010): Der Faktor Geschwindigkeit im motorisierten Straßenverkehr. Beratungsstelle für Unfallverhütung, Sicherheitsdossier Nr. 06, Bern
- Fahrmeir, L.; Kneib, T.; Lang, S. (2009): *Regression – Modelle, Methoden und Anwendungen*. 2. Auflage, Springer-Verlag, Heidelberg/Dordrecht/London/New York.
- FGS (1956): Richtlinien für die Anlagen von Landstraßen, I. Teil: Querschnittsgestaltung (RAL-Q). Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen e. V., Bielefeld
- FGS (1963): Richtlinien für die Anlagen von Landstraßen (RAL-L), II. Teil: Linienführung. Kirschbaum-Verlag, Bad Godesberg
- FGS (1973): Richtlinien für die Anlagen von Landstraßen (RAL), Teil II: Linienführung. Abschnitt 1: Elemente der Linienführung (RAL-L-1), Bonn

- FGS (1974): Richtlinien für die Anlagen von Landstraßen, Teil I: Querschnitte (RAL-Q). Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen e. V., Bonn
- FGSV (1982): Richtlinien für die Anlagen von Straßen, 1. Teil: Querschnitte (RAS-Q). Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V., Bonn
- FGSV (1983): Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil: Landschaftsgestaltung, Abschnitt 3: Lebendverbau (RAS-LG 3). Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V., Köln
- FGSV (1988): Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil Linienführung. Abschnitt 1: Elemente der Linienführung (RAS-L-1), Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V., Köln
- FGSV (1989): Richtlinien für passiven Schutzeinrichtungen (RPS). Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V., Köln
- FGSV (1993): Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil: Landschaftspflege, Abschnitt 2: Landschaftspflegerische Ausführung (RAS-LP 2). Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V., Köln
- FGSV (1995): Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil: Linienführung (RAS-L). Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V., Köln
- FGSV (1996): Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil: Querschnitte (RAS-Q). Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V., Köln
- FGSV (1999): Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil: Landschaftspflege, Abschnitt 4: Schutz von Bäumen, Vegetationsbeständen und Tieren bei Baumaßnahmen (RAS-LP 4). Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V., Köln
- FGSV (2003): Empfehlungen für die Einbindung von Straßen in die Landschaft (ESLa). Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V., Köln
- FGSV (2003b): Empfehlungen für die Sicherheitsanalyse von Straßennetzen (ESN). Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V., Köln
- FGSV (2006): Empfehlungen zum Schutz vor Unfällen mit Aufprall auf Bäume (ESAB). Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V., Köln
- FGSV (2007): Merkblatt zur Verbesserung der Verkehrssicherheit auf Motorradstrecken (MVMot). Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V., Köln
- FGSV (2008): Richtlinien für integrierte Netzgestaltung (RIN). Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V., Köln
- FGSV (2009): Richtlinien für passiven Schutz an Straßen durch Fahrzeug-Rückhaltesysteme (RPS). Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V., Köln
- FGSV (2012): Richtlinien für die Anlage von Landstraßen (RAL). Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V., Köln
- FGSV (2012b): Merkblatt zur Örtlichen Unfalluntersuchung in Unfallkommissionen (M Uko). Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V., Köln
- FGSV (2013): Empfehlungen für die landschaftspflegerische Ausführung im Straßenbau (ELA). Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V., Köln
- FGSV (2017): Hinweise zu Unfallkostensätzen (H Uks). Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V., Köln
- FGSV (2019): Merkblatt für den Straßenbetriebsdienst. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V., Köln
- Fiege, S. (2006): Risikomanagement- und Überwachungssystem nach KonTraG – Prozess, Instrumente, Träger. Deutscher Universitäts-Verlag, Dissertationsschrift, Wiesbaden
- Fitzpatrick, K.; Elefteriadou, L.; Harwood, D. W.; Collins, J. M.; McFadden, J.; Anderson, I. B.; Krammes, R. A.; Irizarry, N.; Parma, K. D.; Bauer, K. M.; Pasetti, K. (2000): Speed Prediction for Two-Lane Rural Highways. Publication No. 99-171, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Georgetown Pike

- FLL (2010): Richtlinien für Regelkontrollen zur Überprüfung der Verkehrssicherheit von Bäumen – Baumkontrollrichtlinien. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V., Bonn
- FLL (2013): Richtlinien für eingehende Untersuchungen zur Überprüfung der Verkehrssicherheit von Bäumen – Baumuntersuchungsrichtlinien. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V., Bonn
- Frick, R.; Wüthrich, P.; Notter, B.; Eichholzer, T. (2014): Einflüsse von Fahrzeugeigenschaften auf das Straßenunfallgeschehen. Forschungspaket VeSPA, Teilprojekt 3, Forschungsprojekt SVI 2012/004 Bundesamt für Straßen, Bern
- Gail, J.; Pöppel-Decker, M.; Lorig, M.; Eggers, A.; Lerner, M.; Ellmers, U. (2008): Einfluss verbesserter Fahrzeugsicherheit bei Pkw auf die Entwicklung von Landstraßenunfällen. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft F 70, Bergisch Gladbach
- Gelman, A.; Carlin, J. B.; Stern, H. S.; Dunson, D. B.; Vehtari, A.; Rubin, D. B. (2013): Bayesian Data Analysis. 3. Edition, Texts in Statistical Science, Chapman and Hall/CRC Press, Boca Raton/London/New York
- Geurts, K.; Wets, G.; Brijs, T.; Vanhoof, K.; Karlis, D. (2006): Ranking and selecting dangerous crash locations: Correcting for the number of passengers and Bayesian ranking plots. *Journal of Safety Research*, Volume 37, Issue 1, pp. 83-91
- Ghosh, M.; Rao, J. N. K. (1994): Small Area Estimation: An Appraisal. *Statistical Science*, Volume 9, No. 1, pp. 55-93
- Green, S. B. (1991): How Many Subjects Does It Take To Do A Regression Analysis. *Multivariate Behavioral Research*, 26, pp. 499-510
- Gregoriades, A.; Mouskos, K. C. (2013): Black spots identification through a Bayesian Networks quantification of accident risk index. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Volume 28, pp. 28-43
- Greibe, P. (2003): Accident prediction models for urban roads. *Accident Analysis and Prevention*, Volume 35, Issue 2, pp. 273-285
- Grißbach, A.; Viehmann, I. (2012): Sicherheitsanalyse von Straßennetzen nach ESN -fachliche Untersuchung der Integralen Methode. Erläuterungsbericht (unveröffentlicht), Weimar
- Gumz, S.; Niehoff, N. (2011): Baumunfälle in Brandenburg – Analyse der Baumunfälle mit Getöten 2008 bis 2010. Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft des Landes Brandenburg, Berlin
- Guo, F.; Wang, X.; Abdelaty, M. A. (2010): Modeling signalized intersection safety with corridor level spatial correlations. *Accident Analysis and Prevention*, Volume 42, Issue 1, pp. 84-92
- Hall, D. B. (2000): Zero-Inflated Poisson and Binomial Regression with Random Effects, A Case Study. *Biometrics*, Volume 56, Issue 4, pp. 1030-1039
- Hänsel, S.; Gratzki, A.; Deutschländer, T.; Heinrich, H.; Herrmann, C.; Klose, M.; Nilson, E.; Ork, J.; Walter, A. (2017): Verkehr und Infrastruktur an Klimawandel und extreme Wetterereignisse anpassen. Feinkonzept des Themenfeldes 1 im BMVI-Expertenetzwerk Wissen – Können – Handeln, Berlin
- Hauer, E. (1980): Selection for treatment as an source of bias in before-after studies. *Traffic Engineering and Control*, Volume 21, Issue 8/9, pp. 419-421
- Hauer, E. (1992): Empirical Bayes approach to the estimation of „unsafety“: the multivariate regression method. *Accident Analysis and Prevention*, Volume 24, Issue 5, pp. 457-477
- Hauer, E. (1995): On exposure and accident rate. *Traffic Engineering and Control*, Volume 36, Issue 3, pp. 134-138, London
- Hauer, E. (1997): Observational before – after studies in road safety: Estimating the effect of highway and traffic engineering measures on road safety. Pergamon Verlag, Oxford, Tarrytown
- Hauer, E. (2001): Overdispersion in modelling accidents on road sections and in Empirical Bayes estimation. *Accident Analysis and Prevention*, Volume 33, Issue 6, pp. 799-808
- Hauer, E.; Harwood, D. W.; Council, F. M.; Griffith, M. S. (2002): Estimating Safety by the Empirical

- Bayes Method: A Tutorial. Transportation Research Board, No. 1784, Washington, D.C.
- Hauer, E.; Ng, J. C. N.; Lovell, J. (1988): Estimation of Safety at Signalized Intersections. Transportation Research Record, No. 1185, pp. 48-61
- Hauer, E.; Persaud B. N.; Lovell, J. (1986): New directions for learning about safety effectiveness. Federal Highway Administration and National Highway Traffic Safety Administration, Report FHWA/RD 86 015, Washington, D.C.
- Hegewald, A.; Weber, R. (2008): Unfälle auf schmalen Landstraßenquerschnitten. Straßenverkehrstechnik, Heft 11, S. 679-683, Bonn
- Heidemann, D.; Bäumer, M., Hamacher, R.; Hautzinger, H. (1998): Standstreifen und Verkehrssicherheit auf BAB. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen V 55, Bergisch Gladbach
- Heilbron, D. (1989): Generalized linear models for altered zero probabilities and overdispersion in count data. Technical Report, Department of Epidemiology and Biostatistics, University of California, San Francisco
- Heilmann, W. (2008): Baumunfälle in Mecklenburg-Vorpommern. Straßenverkehrstechnik, Heft 1, S. 14-19, Bonn
- Heinrich, S.; Pöppel-Decker, M.; Schönebeck, S.; Ulitzsch, M. (2010): Unfallgeschehen auf Landstraßen – Eine Auswertung der amtlichen Straßenverkehrsunfallstatistik. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft M 209, Carl Schünemann Verlag, Bergisch Gladbach
- Held, L. (2008): Methoden der statistischen Inferenz: Likelihood und Bayes. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg
- Heuel, S.; Straumann, R.; Schüller, H.; Keller, U. (2014): Einflüsse des Wetters auf das Straßenunfallgeschehen. Forschungsbericht zum Forschungsprojekt VeSPA – Teilprojekt 4, Bundesamt für Strassen
- Heydecker, B. G. & Wu, J. (2001): Identification of sites for road accident remedial work by Bayesian statistical methods: an example of uncertain inference. Advances in Engineering Software, Volume 32, Issues 10-11, pp. 859-869
- Holdridge, J. M.; Shankar, V. N.; Ulfarsson, G. F. (2005): The crash severity impacts of fixed roadside objects. Journal of Safety Research, Volume 36, Issue 2, pp. 139-147
- Holte, H. (2012): Einflussfaktoren auf das Fahrverhalten und das Unfallrisiko junger Fahrerinnen und Fahrer. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft M 229, Bergisch Gladbach
- Holte, H.; Rudinger, G. (1994): Kenngrößen subjektiver Sicherheitsbewertung. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft M 33, Bergisch Gladbach
- Hönes, E.-R. (2007): Über den Schutz historischer Alleen. Straßenverkehrstechnik, Heft 5, S. 227-241, Bonn
- Huang, H.; Abdel-Aty, M. A. (2010): Multilevel data and Bayesian analysis in traffic safety. Accident Analysis and Prevention, Volume 42, Issue 6, pp. 1556-1565
- Huang, H.; Abdel-Aty, M. A.; Darwiche, A. L. (2010): County-Level Crash Risk Analysis in Florida, Bayesian Spatial Modeling. Transportation Research Record, Journal of the Transportation Research Board, No. 2148, pp. 27-37, Washington D.C.
- Huang, H.; Chin, H. C.; Haque, M. M. (2008): Bayesian hierarchical analysis on crash prediction models. 87<sup>th</sup> Annual Meeting Compendium of Papers, Transportation Research Board, National Academy of Sciences, pp. 1-22, Washington D.C.
- Huang, H.; Chin, H. C.; Haque, M. M. (2008b): Severity of driver injury and vehicle damage in traffic crashes at intersections: A Bayesian hierarchical analysis. Accident Analysis and Prevention, Volume 40, Issue 1, pp. 45-54
- Hughes, B. P.; Newstead, S.; Anund, A.; Shu, C. C.; Falkmer, T. (2015): A review of models relevant to road safety. Accident Analysis and Prevention, Volume 74, Issue 0, pp. 250-270
- Hülßen, H.; Meewes, V. (1997): Unfälle mit Hindernissen am Fahrbahnrand – Maßnahmen, Wirkungen, Sicherheitspotenziale, Empfehlungen. Informationen des Institutes für Straßenverkehr des Gesamtverbandes der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V., Köln

- Hutcheson, G.; Sofroniou, N. (1999): *The Multivariate Social Scientist Introductory Statistics Using Generalized Linear Models*. Sage Publications Ltd., London
- HVS (2018): *Handbuch für die Bewertung der Verkehrssicherheit von Straßen (HVS) – Aktualisierung. Entwurf der Tabellen zum FE 89.0311/2016, Zuschlagsfaktoren für Abweichungen vom richtliniengerechten Ausbau bei Strecken und Knotenpunkten von Autobahnen und Landstraßen (unveröffentlicht)*, Aachen, Rösrath
- Islam, M.T.; El-Basyouny, K. (2015): Full Bayesian evaluation of the safety effects of reducing the posted speed limit in urban residential area. *Accident Analysis and Prevention*, Volume 80, Issue 0, pp. 18-25
- Jähig, T. (2012): *Wirksamkeit von Maßnahmen zur Verbesserung der Verkehrssicherheit auf einbahnigen Landstraßen*. Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“, Technische Universität Dresden, Dissertationsschrift
- Jones, A. P.; Jørgensen S. H. (2003): The use of multilevel models for the prediction of road accident outcomes. *Accident Analysis and Prevention*, Volume 35, Issue 1, pp. 59-69
- Junghans, M. (2016): *Erfassung von Verkehrsteilnehmern und ihren Interaktionen – Eine Möglichkeit für die zukünftige Risiko- und Gefahrenerkennung in Verkehrsräumen?*. Konferenzpapier, Verkehrsplanerisches und Verkehrsökologisches Kolloquium an der TU Dresden
- Junghans, M.; Kozempel, K.; Saul, H. (2015): Chances for the evaluation of the traffic safety risk at intersections by novel methods. *Transport Rossijskoj Federacii*, 56 (1), pp. 56-63
- Kämpfe, B.; Schlag, B.; Weller, G. (2005): *Streckencharakteristik und Fahrfehler*. *Straßenverkehrstechnik*, Heft 11, S. 564-571, Bonn
- Kamplade, J. (1995): *Anforderungen an die Griffigkeit von Fahrbahnoberflächen – Griffigkeit und Verkehrssicherheit*. *Straße und Autobahn*, Heft 3, S. 149-158, Bonn
- Kathmann, T.; Ziegler, H.; Pozybill, M. (2014): *Einführung eines Verkehrssicherheitsscreenings – Sicherheit auf baden-württembergischen Straßen*. *Straßenverkehrstechnik*, Heft 2, S. 765-775, Bonn
- Kim, H.; Sun, D.; Tsutakawa, R. K. (2002): Lognormal vs. Gamma: Extra Variations. *Biometrical Journal*, Volume 44, Issue3, pp. 305-323
- Knoflacher, H. (1975): *Bäume am Straßenrand – Ergebnisse von Untersuchungen an den österreichischen Bundesstraßen*. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit* 21, Heft 2, S. 129-30, Bonn
- Knoflacher, H.; Gatterer, G. (1974): *Bäume am Straßenrand*. Kuratorium für Verkehrssicherheit, Verkehrstechnischer Informationsdienst, Folge 1/74, Wien
- Knoflacher, H.; Gatterer, G. (1981): *Der Einfluss seitlicher Hindernisse auf die Verkehrssicherheit*. Kuratorium für Verkehrssicherheit, Kleine Fachbuchreihe Band 17, Wien
- Koch, K.-R. (2000): *Einführung in die Bayes-Statistik*. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg/New York
- Koller, D.; Friedman, N. (2009): *Probabilistic Graphical Models: Principles and Techniques*. The MIT Press, Cambridge/London
- Köppel, G.; Bock, H. (1979): *Fahrgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Kurvigkeit*. *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik* Heft 269, Bundesministerium für Verkehr, Bonn
- Kühn, W.; Lippold, C.; Zimmermann, M.; Leithoff, I.; Ebersbach, D.; Schulz, R. (2007): *Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten der Visualisierung in der Straßenplanung*. Forschungsprojekt FE 02.257/2005, Leipzig/Dresden/Karlsruhe
- La Torre, F. (2012): *Forgiving Roadside Design Guide*. Conference of European Directors of Roads, Road ERA-Net ([www.cedr.fr/home/fileadmin/user\\_upload/Publications/2013/T10\\_Forgiving\\_roadside.pdf](http://www.cedr.fr/home/fileadmin/user_upload/Publications/2013/T10_Forgiving_roadside.pdf), letzter Zugriff: 04.06.2018)
- Lambert, D. (1992): Zero-inflated Poisson regression, with an application to defects in manufacturing. *American Statistical Association, Technometrics*, Volume 34, Number 1, pp. 1-14
- Lan, B.; Persaud, B.; Lyon, C.; Bhim, R., (2009): Validation of a Full Bayes methodology for observational before-after road safety studies and application to evaluation of rural signal conversions. *Accident Analysis and Prevention*, Volume 41, Issue 3, pp. 574-580

- Langwieder, K. (1999): Unfallumstände bei Pkw-Kollisionen junger Fahrer – Erkenntnisse der Unfallforschung in Zusammenarbeit mit der Polizei. Nr. 9902, Polizei-Führungsakademie, München/Münster
- Lank, C.; Steinauer, B. (2009): Entwicklung besonderer Fahrbahnbeläge zur Beeinflussung der Geschwindigkeitswahl. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 190, Bergisch Gladbach
- Laureshyn, A.; Varhelyi, A.; Svensson, Å. (2015): In-Depth understanding of accident causation for Vulnerable road users. Deliverable 1.1 – Project Plan, Projekt Nr. 635895, HORIZON 2020 – the Framework Programme for Research and Innovation, Lund Universität, Schweden
- LBV (2001): Untersuchung der Unfälle bei Nässe in Abhängigkeit von der Griffigkeit auf Bundesstraßen. Landesamt für Bauen, Verkehr und Straßenwesen (unveröffentlicht), Dahlwitz-Hoppegarten
- Lee, J.; Mannering, F. L. (1999): Analysis of Roadside Accident Frequency and Severity and Roadside Safety Management. Washington State Department of Transportation, Seattle
- Lee, J.; Mannering, F. L. (2002): Impact of roadside features on the frequency and severity of run-off-roadway accidents: an empirical analysis. Accident Analysis and Prevention, Volume 34, Issue 2, pp. 149-161
- Lehmann, I. (2008): Alleen in Deutschland – ein Ausblick. Fachtagung „Entwicklung von Alleen als prägende Landschaftselemente“, Studien und Tagungsberichte des Landesumweltamtes Brandenburg, Band 56, S. 16-23, Potsdam
- Lensing, N. (2013): Straßenverkehrszählung 2010: Ergebnisse. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 233, Bergisch Gladbach
- Lerner, M.; Kranz, T.; Schepers, A. (2012): Bewertung der Straßenverkehrsunfälle, Entwicklung der Unfallkosten in Deutschland 2005 bis 2010 – Unfallkostensätze 2010. Zeitschrift für Verkehrssicherheit, S. 188-191
- Leutner, R. (1974): Fahrraum und Fahrverhalten. Veröffentlichungen des Institutes für Straßenbau und Eisenbahnwesen der Universität Karlsruhe, Heft 12, Karlsruhe
- Leutzbach, W.; Zoellmer, J. (1989): Zusammenhang zwischen der Verkehrssicherheit und den Elementen des Straßenentwurfs. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 545, Bonn
- Lipphard, D. (1994): Geschwindigkeiten in den neuen Bundesländern – Verhaltensänderungen 1991 bis 1993 Neue Fahrbahn, Ausstattung, Umfeld. Zeitschrift für Verkehrssicherheit 40, Heft 4, S. 151-154, Bonn
- Lipphard, D.; Meewes, V. (1994): Geschwindigkeiten in den neuen Bundesländern – Verhaltensänderungen 1991 bis 1993 Neue Fahrbahn, Ausstattung, Umfeld. Mitteilung Nr. 35 der Beratungsstelle für Schadenverhütung des HUK-Verbandes, Köln
- Lippold, C. (1997): Weiterentwicklung ausgewählter Entwurfsgrundlagen von Landstraßen. Technische Hochschule Darmstadt, Dissertationschrift
- Lippold, C.; Dietze, M. (2005): Einfluss der Straßenbepflanzung und Straßenraumgestaltung auf das Verhalten der Verkehrsteilnehmer und auf die Sicherheit im Straßenverkehr an Außerortsstraßen, Schlussbericht zum FE 02.217/2002 (unveröffentlicht), Dresden
- Lippold, C.; Dietze, M.; Krüger, H.-P.; Scheuchpflug, R. (2006): Einfluss der Straßenbepflanzung und Seitenraumgestaltung auf das Verhalten der Verkehrsteilnehmer und auf die Sicherheit im Straßenverkehr. Straße und Autobahn, Heft 11, S. 670-677, Bonn
- Lippold, C.; Heine, A.; Kotsch, S.; Martin, J. (2018): Landstraßenunfälle mit und ohne Aufprall im Seitenraum – Einflussgrößen der Verkehrsinfrastruktur – Datenerfassung. Schlussbericht zum FE 89.0317/2015 (unveröffentlicht), Dresden
- Lippold, C.; Mattheß, V. (1992): Anwendung von Risikoanalysen. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 689, Bundesminister für Verkehr, Bonn
- Lippold, C.; Schulz, R. (2009): Einfluss der Straßenseitenraumbepflanzung auf Fahrverhalten und Verkehrssicherheit. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 1018, Bun-

- desministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn
- Lippold, C.; Weise, G.; Jährig, T. (2012): Verbesserung der Verkehrssicherheit auf einbahnig zweistreifigen Außerortsstraßen (AOSI). Schriftenreihe der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 216, Bergisch Gladbach
- Loo, B. P. Y.; Anderson, T. K. (2015): Spatial Analysis Methods of Road Traffic Collisions. Chapman and Hall/CRC Press, Boca Raton/London/New York
- Lord, D.; Manar, A.; Vizioli, A. (2005b): Modeling crash-flow-density and crash-flow-v/c ratio for rural and urban freeway segments. *Accident Analysis and Prevention*, Volume 37, Issue 1, pp. 185-199
- Lord, D.; Mannering, F. L. (2010): The Statistical Analysis of Crash-Frequency Data: A Review and Assessment of Methodological Alternatives. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Volume 44, Issue 5, pp. 291-305
- Lord, D.; Miranda-Moreno, L.F. (2008): Effects of low sample mean values and small sample size on the estimation of the fixed dispersion parameter of Poisson-gamma models for modeling motor vehicle crashes: A Bayesian perspective. *Safety Science* 46(5), pp. 751-770
- Lord, D.; Park, P. Y.-J. (2008): Investigating the effects of the fixed and varying dispersion parameters of Poisson-gamma models on empirical Bayes estimates. *Accident Analysis and Prevention*, Volume 40, Issue 4, pp. 1441-1457
- Lord, D.; Washington S. P.; Ivan, J. N. (2005): Poisson, Poisson-gamma and zero-inflated regression models of motor vehicle crashes: balancing statistical fit and theory. *Accident Analysis and Prevention*, Volume 37, Issue 1, pp. 35-46
- Ma, J. (2006): Bayesian Multivariate Poisson-lognormal Regression for Crash Prediction on Rural Two-lane Highways. The University of Texas at Austin, Ph.D.
- Ma, J.; Kockelman, K. M. (2006): Bayesian Multivariate Poisson Regression for Models of Injury Count, by Severity. *Statistical Methods and Crash Prediction Modeling*. *Transportation Research Record*, No. 1950, pp. 24-34
- Ma, J.; Kockelman, K. M.; Damien, P. (2008): A multivariate Poisson lognormal regression model for prediction of crash counts by severity, using Bayesian methods. *Accident Analysis and Prevention*, Volume 40, Issue 3, pp. 964-975
- MacNab, Y. C. (2003): A Bayesian hierarchical model for accident and injury surveillance. *Accident Analysis and Prevention*, Volume 35, Issue 1, pp. 91-102
- MacNab, Y. C. (2004): Bayesian spatial and ecological models for small-area accident and injury analysis. *Accident Analysis and Prevention*, Volume 36, Issue 6, pp. 1019-1028
- Mäder, H.; Pöppel-Decker, M. (2001): Regionalstruktur nächtlicher Freizeitunfälle junger Fahrer in den Jahren 1997 und 1998. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft M 129, Bergisch Gladbach
- Maes, M. A.; Dann, M. (2007): Hierarchical Bayes methods for systems with spatially varying condition states. *Canadian Journal of Civil Engineering*, Volume 34, Number 10, pp. 1289-1298
- Maher M. J.; Summersgill, I. (1996): A comprehensive methodology for the fitting predictive accident models. *Accident Analysis and Prevention* Volume 28, Issue 3, pp. 281-296
- Maier, R. (1993): Verkehrssicherheit Mecklenburg-Vorpommern, Workshop „Ausserortssicherheit/Alleen“ – Dokumentation. Begleitende Sicherheitsausstattung bei Fahrbahndeckenerneuerung, Beratungsstelle für Schadenverhütung des HUK-Verbandes, Schwerin
- Maier, R.; Berger, R.; Pohle, M. (2012): Forschungsprojekt Entwicklung von Risikomodelle – Risikomodelle für Landstraßen, Risikomodelle für Gemeinden. Abschlussbericht (unveröffentlicht), Dresden
- Maier, R.; Berger, R.; Schimpf, M.; Lippold, C. (2014): Entwicklung von Handlungsempfehlungen zur Anwendung der RPS 2009. *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik*, Heft 1111, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Bonn
- Maier, R.; Berger, R.; Schüller, H.; Heine, A. (2013): Bewertungsmodell für die Verkehrssicherheit von Straßen. Schriftenreihe der Bun-

- desanstalt für Straßenwesen, Heft V 226, Bergisch Gladbach
- Maier, R.; Meewes, V.; Neumann, V. (1999): Baumspiegel und überwachtes Tempo 80 in Alleen. Informationen des Instituts für Straßenverkehr, Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V., Köln
- Manssen (2001): Der Schutz von Leben und körperlicher Unversehrtheit im Straßenverkehr im Hinblick auf Baumunfälle. Neue Zeitschrift für Verkehrsrecht, Heft 4, S. 149-153, Dortmund
- Manssen (2005): Der Schutz vor Baumunfällen als Gegenstand des Verfassungs- und Amtshaftungsrechts. Schutz von Mensch und Baum, Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V., Verkehrstechnisches Institut der Deutschen Versicherer, Berlin
- Matena, S.; Louwerse, W.; Schermers, G.; Vaneerdewegh P.; Pokorny, P.; Gaitanidou L.; Elvik. R.; Cardoso, J. (2008): Road Design and Environment – Best Practice on Self-explaining and Forgiving Roads. Schlussbericht zum RIPCORD-ISEREST-Projekt ([www.ripcord.bast.de](http://www.ripcord.bast.de), letzter Zugriff: 24.10.2013)
- Maurer, P.; Stefan, C; Stütz, R.; Tomasch, E.; Luttenberger, P.; Klein, C.; Pistotnig, T. (2013): Risikomodell zur Analyse von Unfällen mit ortsfesten Hindernissen auf Autobahnen und Schnellstraßen. Wien
- Maycook, G.; Hall, R. D. (1984): Accidents at 4-arm roundabouts. Transport Research Laboratory, Laboratory report LR1120, Crowthorne
- Mbakwe, A. C.; Saka, A. A. Choi, K.; Lee, Y-J. (2016): Alternative method of highway traffic safety analysis for developing countries using delphi technique and Bayesian network. Accident Analysis and Prevention, Volume 93, Issue 1, pp. 91-102
- Meewes, V. (1993): Mobile und ortsfeste Geschwindigkeitsüberwachung – Auswirkung auf Verhalten und Verkehrssicherheit. Mitteilung Nr. 34 der Beratungsstelle für Schadenverhütung des HUK-Verbandes, Köln
- Meewes, V. (2001): Abstand von Bäumen zum Fahrbahnrand – Teil 1: Aufprallgeschwindigkeiten, Unfälle und Unfallfolgen von Baumunfällen. Mitteilung Nr. 39 des Institutes für Straßenverkehr des Gesamtverbandes der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V., Köln
- Meewes, V.; Eckstein, K. (1999): Baumunfälle – Maßnahmen, Entwicklung 1995/1998, Empfehlungen. Informationen des Institutes für Straßenverkehr des Gesamtverbandes der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V., Köln
- Meewes, V.; Gerz, U. (1975): Zur Beschreibung des Verkehrsablaufes auf Straßen mit und ohne Richtungstrennung. Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen Nr. 2529, Opladen
- Meurer, F. K. (1968): Straße und Baum, Straßenbau und Straßenverkehrstechnik. Heft 69, Bonn
- Meurer, F. K. (1968b): Straße und Baum – Kurzauszug aus einem Untersuchungsbericht. Deutscher Rat für Landespflege, Landschaftspflege an Verkehrsstraßen, Heft 9, S. 13-14, Bonn
- Miaou, S.-P. (1994): The relationship between truck accidents and geometric design of road sections: Poisson versus negative binomial regressions. Accident Analysis and Prevention, Volume 26, Issue 4, pp. 471-482
- Miaou, S.-P. (1996): Estimating Vehicle Roadside Encroachment Frequency Using Accident Prediction Models. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge
- Miaou, S.-P. (1996b): Measuring the Goodness-of-Fit of Accident Prediction Models. FHWA-RD-96-040, Final Report, HS-042 462, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Oak Ridge
- Miaou, S.-P. (2009): Estimating Roadside Encroachment Rates With the Combined Strengths of Accident-And Encroachment-Based Approaches. Publication No. FHWA-RD-01-124, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C.
- Miaou, S.-P.; Bligh, R. P.; Lord, D. (2005): Developing median barrier installation guidelines: a benefit/cost analysis using Texas data. Transportation Research Record, No. 1904, pp. 3-19
- Miaou, S.-P.; Lord, D. (2003): Modeling traffic crash-flow relationships for intersections: Dispersion parameter, functional form, and

- Bayes versus empirical Bayes methods. *Transportation Research Record*, No. 1840, pp. 31-40
- Miaou, S.-P.; Lum, H. (1993): Modeling vehicle accidents and highway geometric design relationships. *Accident Analysis and Prevention*, Volume 25, Issue 6, pp. 689-709
- Miaou, S.-P.; Song, J. J. (2005): Bayesian ranking of sites for engineering safety improvements: Decision parameter, treatability concept, statistical criterion, and spatial dependence. *Accident Analysis and Prevention*, Volume 37, Issue 4, pp. 699-720
- Miaou, S.-P.; Song, J. J.; Mallick, B. K. (2003): Roadway traffic crash mapping: a space-time modeling approach. *Journal of Transportation and Statistics*, Volume 6, Issue 1, pp. 33-57
- MIL (2004): Hinweise zur Verkehrslenkung und optischen Orientierung durch Bepflanzung (HVO, 2002). Überarbeitung 2014, Ministerium für Stadtentwicklung, Wohnen und Verkehr Brandenburg
- MIL (2007): Konzeption zur Entwicklung von Alleean Bundes- und Landesstraßen in Brandenburg. ([www.mil.brandenburg.de/media\\_fast/4055/Alleekonzeption.pdf](http://www.mil.brandenburg.de/media_fast/4055/Alleekonzeption.pdf), letzter Zugriff: 08.02.2020)
- Milton, J. C.; Shankar, V.; Mannering, F. L. (2008): Highway accident severities and the mixed logit model: An exploratory empirical analysis. *Accident Analysis and Prevention*, Volume 40, Issue 1, pp. 260-266
- Ministerium für Verkehrswesen (1977): Anlagen des Straßenverkehrs, Hauptabmessungen von Landstraßen. Querschnittsgestaltung, Deutsche Demokratische Republik
- MKULNV (2015): Hinweise zur nachhaltigen und verkehrsgerechten Sicherung und Entwicklung von Alleean Bundesstraßen- und Landesstraßen in Nordrhein-Westfalen. Erlass AZ III-2 – 43.00.00.17, Düsseldorf
- Möhler, W. (1988): Untersuchung der visuellen Wahrnehmung des Straßenraumes und dessen Einfluss auf das Fahrverhalten. Mitteilung Nr. 25, Lehrstuhl und Institut Straßenwesen, Erd- und Tunnelbau, Aachen
- Montella, A. (2009): Safety Evaluation of Curve Delineation Improvements Empirical Bayes Observational Before-and-After Study. *Transportation Research Record*, No. 2103, pp. 69-79
- MSWV; MLUR (2000): Nachhaltige und verkehrsgerechte Sicherung der Alleean in Brandenburg. Gemeinsamer Runderlass Ministerium für Stadtentwicklung, Wohnen und Verkehr des Landes Brandenburg (MSWV), Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg (MLUR), Amtsblatt für Brandenburg, Potsdam
- MVM; MLA (2015): Schutz, Pflege und Neuanpflanzung von Alleean und einseitigen Baumreihen in Mecklenburg-Vorpommern (Alleenerlass – AIErI M-V). Gemeinsamer Erlass des Ministeriums für Energie, Infrastruktur und Landesentwicklung und des Ministeriums für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz, Schwerin
- NatSchG-BW (2015): Gesetz des Landes Baden-Württemberg zum Schutz der Natur und zur Pflege der Landschaft (Naturschutzgesetz). Neufassung vom 23.06.2015, Inkrafttreten der Neufassung am 14.07.2015
- Naumann, H. (1977): Entwicklung eines Programmsystems zur Herstellung von computererzeugten Perspektivfilmen. Veröffentlichung des Institutes für Straßen- und Eisenbahnwesen 17, Universität Karlsruhe
- Nds. MW (2018): Baumunfälle in Niedersachsen, Modellprojekt zur Erhöhung der Verkehrssicherheit. Zusammenfassung und Bewertung, 12.06.2018, Niedersächsisches Ministerium für Wirtschaft, Arbeit, Verkehr und Digitalisierung ([www.mw.niedersachsen.de/download/132397/Abschlussbericht\\_Kurzfassung.pdf](http://www.mw.niedersachsen.de/download/132397/Abschlussbericht_Kurzfassung.pdf), letzter Zugriff: 25.01.2020)
- Neapolitan, R. (2003): *Learning Bayesian Networks*. Pearson Education, Prentice-Hall, Inc., River, NJ, United States
- Neuman, T. R.; Pfefer, R.; Slack, K. L.; Hardy, K. K.; Council, F.; McGee, H.; Prothe, L.; Eccles, K. (2003b): Guidance for Implementation of the AASHTO Strategic Highway Safety Plan – Volume 6: A Guide for Addressing Run-Off-Road Collisions. NCHRP Report 500,

- Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Neuman, T. R.; Pfefer, R.; Slack, K. L.; Hardy, K. K.; Lacy, K.; Zegeer, C. (2003): Guidance for Implementation of the AASHTO Strategic Highway Safety Plan – Volume 3: A Guide for Addressing Collisions with Trees in Hazardous Locations. NCHRP Report 500, Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Nilsson, G. (2004): Safety Dimensions and the Power Model to Describe the Effect of Speed on Safety. Institute of Technology, Doctoral Thesis, Lund
- Noland R. B.; Quddus M. A. (2004): A spatially disaggregate analysis of road casualties in England. *Accident Analysis and Prevention*, Volume 36, Issue 6, pp. 973-984
- Oña, J.; Mujalli, R. O.; Calvo, F. J. (2011): Analysis of traffic accident injury severity on Spanish rural highways using Bayesian networks. *Accident Analysis and Prevention*, Volume 43, Issue 1, pp. 402-411
- Otte, D. (2000): Charakteristika von Unfällen auf Landstraßen. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft M 122, Bergisch Gladbach
- Palm, I.; Schmidt, G. (1999): Querschnittsbreiten einbahniger Außerortsstraßen und Verkehrssicherheit und Sonderuntersuchung zum Querschnittstyp b2+1. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 64, Bergisch Gladbach
- Pardillo-Mayora, J. M.; Dominguez-Lira, C. A.; Jurado-Pina, R. (2010): Empirical calibration of a roadside hazardousness index for Spanish two-lane rural roads. *Accident Analysis and Prevention*, Volume 42, Issue 6, pp. 2018-2023
- Park J.; Abdel-Aty, M. A.; Lee, J. (2016): Use of empirical and full Bayes before–after approaches to estimate the safety effects of roadside barriers with different crash conditions. *Journal of Safety Research*, Volume 58, pp. 31-40
- Park, E. S.; Lord, D. (2007): Multivariate Poisson-Lognormal Models for Jointly Modeling Crash Frequency by Severity. *Transportation Research Record*, No. 2019, pp. 1-6
- Park, E. S.; Park, J.; Lomax, T. J. (2010): A fully Bayesian multivariate approach to before-after safety evaluation. *Accident Analysis and Prevention*, Volume 42, Issue 4, pp. 1118-1127
- Passon, O. (2017): Bayes'sche Statistik für Fußgänger. ([www.psiquadrat.de/downloads/bayes.pdf](http://www.psiquadrat.de/downloads/bayes.pdf), letzter Zugriff: 20.08.2017)
- Patel, R. B.; Council, F. M.; Griffith, M. S. (2007): Estimating Safety Benefits of Shoulder Rumble Strips on Two-Lane Rural Highways in Minnesota: Empirical Bayes Observational Before-and-After Study. *Transportation Research Record*, Journal of the Transportation Research Board, No. 2019, pp. 205-211
- Pawlovich, M.; Li, W.; Carriquiry, A.; Welch, T. (2006): Iowa's Experience with Road Diet Measures: Use of Bayesian Approach to Assess Impacts on Crash Frequencies and Crash Rates. *Transportation Research Record*, Journal of the Transportation Research Board, No. 1953, pp. 163-171
- Pearl, J. (1985): Bayesian networks: A model of self activated memory for evidential reasoning. University of California
- Pei, X.; Wong, S. C.; Asce, M.; Li, Y. C.; Sze, N. N. (2012): Full Bayesian Method for the Development of Speed Models: Applications of GPS Probe Data. *Journal of Transportation Engineering*, Volume 138, Issue 10, pp. 1188-1195
- Peltola, H.; Rajamäki, R.; Luoma, J. (2013): A tool for safety evaluations of road improvements. *Accident Analysis and Prevention*, Volume 60, Issue 0, pp. 277-288
- Persaud, B.; Lan, B.; Lyon, C.; Bhim, R. (2010): Comparison of empirical Bayes and full Bayes approaches for before–after road safety evaluations. *Accident Analysis and Prevention*, Volume 42, Issue 1, pp. 38-43
- Persaud, B.; Lyon, C. (2007): Empirical Bayes Before–After Safety Studies: Lessons Learned from Two Decades of Experience and Future Directions. *Accident Analysis and Prevention*, Volume 39, Issue 3, pp. 546-555
- Persaud, B.; Lyon, C.; Nguyen, T. (1999): Empirical Bayes Procedure for Ranking Sites for Safety Investigation by Potenzial for Safety

- Improvement. *Transportation Research Record*, No. 1665, pp. 7-12
- Petermann, I.; Weller, G.; Schlag, B. (2007): Beitrag des visuellen Eindrucks zur Erklärung des Unfallgeschehens in Landstraßenkurven. *Straßenverkehrstechnik*, Heft 8, S. 401-408, Bonn
- Peters, J. (2005): Baumpflanzung als Staatsaufgabe: Entwicklungsgeschichte der Alleen in Brandenburg, Schutz von Mensch und Baum. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V., Verkehrstechnisches Institut der Deutschen Versicherer, Berlin
- Pfundt, K. (2001): Unfälle auf Landstraßen – bauliche Verbesserungen oder Verbesserung junger Fahrer? *Zeitschrift für Verkehrssicherheit* 47, Heft 1, S. 15-20, Bonn
- Pfundt, K.; Meewes, V.; Maier, R. (1986): Einige Bemerkungen zur Verkehrskonflikttechnik. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit* 32, Heft 1, S. 39-46, Bonn
- Polzin, W.-P. (2007): Alleen-Entwicklung im Straßenrecht? : Möglichkeiten und Grenzen einer Alternative zum Naturschutz. *Archiv für Forstwesen und Landschaftsökologie*, 41 (3), S. 123-135, Berlin
- Pöppel-Decker, M. (2002): Regionalstruktur nächtlicher Freizeitunfälle junger Fahrer in den Jahren 1997 und 1998. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit* 48, Heft 1, S. 29-31, Bonn
- Praxenthaler, H. (2006): Alleenrausch und Baum-aufprall. *Straßenverkehrstechnik*, Heft 5, S. 237-247, Bonn
- Qin, X.; Ivan, J. N.; Ravishanker, N. (2004): Selecting exposure measures in crash rate prediction for two-lane highway segments. *Accident Analysis and Prevention*, Volume 36, Issue 2, pp. 183-191
- Qin, X.; Ivan, J. N.; Ravishanker, N.; Liu, J. (2005): Hierarchical Bayesian Estimation of Safety Performance Functions for Two-Lane Highways Using Markov Chain Monte Carlo Modeling. *Journal of Transportation Engineering*, 131, pp. 345-351
- Quddus, M. A (2008): Modelling area-wide count outcomes with spatial correlation and heterogeneity: An analysis of London crash data. *Accident Analysis and Prevention*, Volume 40, Issue 4, pp. 1486-1497
- Reck, H.; Kaule, G. (1993): Straßen und Lebensräume, Ermittlung und Beurteilung straßenbedingter Auswirkungen auf Pflanzen, Tiere und Lebensräume. *Forschung, Straßenbau und Straßenverkehrstechnik*, Heft 654, Bundesminister für Verkehr, Bonn
- Rehmer, S. (2007): Längsschnittliche Aspekte wiederholter Risikoentscheidungen: Konzeption und Validierung eines Erhebungsszenarios sowie eine vergleichende Untersuchung mit querschnittlichen und mehrebenenanalytischen Auswertungsmethoden @ DB Thüringen. *Dissertationsschrift*
- Reker, K.; Zwieliich, F.; Flach, J. (1997): Wirkung von Baumspiegeln in Alleen – Ergebnisse einer Sonderauswertung. AP 94 432/U3, Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach
- Richter, P.; Wagner, T.; Heger, R.; Weise, G. (1998): Psychophysiological analysis of mental load during driving on rural roads – a quasi-experimental field study. *Ergonomics* Volume 41, Issue 5, pp. 593-609
- Riviere, C.; Lauret, P.; Ramsamy, J. F. M.; Page, Y. (2006): A Bayesian neural network approach to estimating the energy equivalent speed. *Accident Analysis and Prevention*, Volume 38, Issue 2, pp. 248-259
- Robbins, H. (1956): An empirical Bayes approach to statistics. *An Empirical Bayes Approach to Statistics. Proceedings of the Third Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*, Volume 1: Contributions to the Theory of Statistics, University of California Press, pp. 157-163, Berkeley
- Rohloff, M. (1999): Verbesserung der Verkehrssicherheit auf Landstraßen. *Straße und Autobahn*, Heft 2, S. 81-84, Bonn
- Rübenach, S. P. (2007): Todesursache Suizid. *Statistisches Bundesamt, Wirtschaft und Statistik*, Ausgabe 10, Wiesbaden
- Rudinger, G.; Holte, H. (1994): Die subjektive Sicherheitsbewertung von Baumalleen mit Varianten der Straßenausstattung. *Straßenverkehrstechnik*, Heft 5, S. 291-294, Bonn

- Rüger, B. (1999): Testtheorie und Schätztheorie. Band 1: Grundlagen, Oldenbourg Verlag, München/Wien
- Rumpf, K. (1991): Straßenbepflanzung und Verkehr. Tiefbau, Ingenieurbau, Straßenbau, Heft 33, S. 431-442, Gütersloh
- Rusteberg, H. W. (1992): Der Straßenbaum in Verkehrsunfallgeschehen – Eine Untersuchung für den Regierungsbezirk Lüneburg. Polizei Verkehr Technik, Heft 9, S. 257-260, Bonn
- Rusteberg, H. W. (1993): Der Straßenbaum in Verkehrsunfallgeschehen. Presseinformation der Pressestelle des Regierungsbezirk Lüneburg, Lüneburg
- Sacchi, E.; Sayed, T. (2015): Investigating the accuracy of Bayesian techniques for before–after safety studies: The case of a “no treatment” evaluation. *Accident Analysis and Prevention*, Volume 78, Issue 0, pp. 138-145
- Schendera, Christian F. G. (2008): Regressionsanalyse mit SPSS. Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, München
- Schlag, B.; Anke, J.; Lippold, C.; Zösch, J. (2019): Wahrnehmungspsychologische Aspekte (Human Factors) von Kraftfahrern und deren Einfluss auf die Gestaltung von Landstraßen. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 317, Bergisch Gladbach
- Schlag, B; Heger, R. (2002): Empfehlungen zur Berücksichtigung physiologischer und psychologischer Fähigkeiten und Grenzen der Kraftfahrer bei der Straßenplanung in Brandenburg. 1. Stufe: Systematisierung und Evaluation vorhandener Erkenntnisse, Dresden
- Schlichter, H. G. (1985): Räumliche Linienführung von Verkehrswegen. Veröffentlichungen des Institutes für Straßenbau und Eisenbahnwesen der Universität Karlsruhe, Heft 30, Karlsruhe
- Schlüter, P. J.; Deely, J. J.; Nicholson, A. J. (1997): Ranking and selecting motor vehicle accident sites by using a hierarchical Bayesian model. *Journal of the Royal Statistical Society: Series D (The Statistician)*, Volume 46, Issue 3, pp. 293-316
- Schmid, V.; Feilke, M. (2013): Einführung in die Bayes-Statistik. Skript zur Vorlesung im Sommersemester 2013. Institut für Statistik, LMU München ([www.bioimg.statistik.uni-muenchen.de/studium\\_lehre/vergangene-semester/index.html](http://www.bioimg.statistik.uni-muenchen.de/studium_lehre/vergangene-semester/index.html), letzter Zugriff: 06.08.2016)
- Schmidt, G. (1996): Ergebnisse von Geschwindigkeits- und Unfalluntersuchungen auf zweistreifigen Landstraßen. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit* 42, Heft 4, S. 161-169, Bonn
- Schneider, W. (2011): Haftungsfragen im Zusammenhang mit der Verkehrssicherheit von Bäumen: Rechtsgrundlagen, Rechtsprechung, Fallbeispiele. Abschrift aus Seminarband, FLL-Verkehrssicherheitstage, Berlin
- Schnüll, R.; Handke, N.; Seitz, K. (1997): Sicherheitswirksamkeit ausgewählter Straßenbaumaßnahmen im Lande Brandenburg. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft S 16, Bergisch Gladbach
- Schnüll, R.; Mennicken, C.; Irzik, M. (2004): Verbesserung der Verkehrssicherheit für Bundesstraßen mit Alleen. 2. Schlussbericht zum FE 82.104/1997 (unveröffentlicht), Hannover
- Schüller, H. (2010): Modelle zur Beschreibung des Geschwindigkeitsverhaltens auf Stadtstraßen und dessen Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit auf Grundlage der Straßengestaltung. Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“, Institut für Verkehrsplanung und Straßenverkehr, Technische Universität Dresden, Dissertationsschrift
- Schüller, H.; Balmberger, M.; Straumann, R.; Ulmer, M. (2014): Einflüsse von Situation und Infrastruktur auf das Straßenunfallgeschehen: Phase 1. Forschungspaket VeSPA, Teilprojekt 2, Forschungsprojekt SVI 2012/003, Bundesamt für Straßen, Bern
- Schultz, G. G.; Farnsworth, J. S.; Saito, M. (2015): Hot Spot Identification and Analysis Methodology for Roadway Safety. 94<sup>th</sup> Annual Meeting Compendium of Papers, Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington D.C.
- Schulz, R. (2012): Blickverhalten und Orientierung von Kraftfahrern auf Landstraßen. Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“, Technische Universität Dresden, Dissertationsschrift
- Schulze, H. (1999): Lebensstil, Freizeitstil und Verkehrsverhalten 18- bis 34-jähriger Verkehrsteil-

- nehmer. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft M 103, Bergisch Gladbach
- Schulze, K.-H.; Dames, J.; Lange, H. (1975): Untersuchungen über die Verkehrssicherheit bei Nässe, Griffigkeitsmessungen bei hohen Geschwindigkeiten. Forschungsbericht Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 189, Bundesminister für Verkehr, Bonn
- Shankar, V.; Milton, J.; Mannering, F. L. (1997): Modeling Accident Frequencies as Zero-Altered Probability Processes: An Empirical Inquiry. *Accident Analysis and Prevention*, Volume 29, Issue 6, pp. 829-837
- Sharma, S.L.; Datta, T.K. (2007): Investigation of Regression-to-Mean Effect in Traffic Safety Evaluation Methodologies. *Transportation Research Record, Journal of the Transportation Research Board*, No. 2019, pp. 32-39
- Shinar, D. (2007): *Traffic safety and human behavior*. Elsevier, Amsterdam, London
- Sistenich, C. (2007): Quantitative Risikoanalysen für Straßentunnel. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft B 58, Bergisch Gladbach
- Smidt, S. (2008): Wirkungen von Luftschadstoffen auf Pflanzen unter der besonderen Berücksichtigung von Waldbäumen. BFW-Dokumentation, Schriftenreihe des Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft, Band Nr. 8, Wien
- Song, J. J.; Ghosh, A.; Miaou, S.; Mallick, B. (2006): Bayesian multivariate spatial models for roadway traffic crash mapping. *Journal of Multivariate Analysis*, Volume 97, Issue 1, pp. 246-273
- Spacek, P. (1999): Spurverhalten und Unfallgeschehen in Kurven. *Straßenverkehrstechnik*, Heft 2, S. 68-75, Bonn
- Spahn, V. (2015): Unfälle mit Abkommen von der Fahrbahn in Bayern (Stand 2007/2008). Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern, für Bau und Verkehr, Zentralstelle für Verkehrssicherheit der Straßenbauverwaltung, Bonn
- Spahn, V. (2015b): Unfallanalyse für Schutzplanken mit Unterfahrschutz. *Straßenverkehrstechnik*, S. 530-535, Bonn
- Stadt, H.; Grosshans, D. (2003): Untersuchung der Fahrbahngriffigkeit in Alleen. Ministerium für Stadtentwicklung, Wohnen und Verkehr des Landes Brandenburg, Potsdam
- Staubach, M. (2010): Identifikation menschlicher Einflüsse auf Verkehrsunfälle als Grundlage zur Beurteilung von Fahrerassistenzsystem-Potenzialen. Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“, Technische Universität Dresden, Dissertationsschrift
- Stefan, C.; Stuetz, R.; Machata, K. (2012): Erstellung eines Risikomodells für Eisenbahnkreuzungen für die ÖBB Infrastruktur AG. *Straßenverkehrstechnik*, Heft 10, S. 617-624, Bonn
- Steinauer, B.; Schuckließ, W.; Becher, T. (2009): Übergreifende Bewertung der Verkehrsqualität von Strecken und Knotenpunkten auf Landstraßen. *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik*, Heft 1004, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn
- Steinauer, B.; Sluis, S. van der; Platen, C.; Mayer, G. (2002): Griffigkeit von Fahrbahnoberflächen. *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik*, Heft 841, Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bonn
- Stevens, J. (2002): *Applied Multivariate Statistics for the Social Sciences*. 4. Edition, Lawrence Erlbaum Associates Publishers, Mahwah, New Jersey, London
- Steyer, R. (2004): Beitrag zur Erhöhung der Fahr-sicherheit in Kurvenbereichen zweistreifiger Außerortsstraßen. Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“, Technische Universität Dresden, Dissertationsschrift
- StVO (2013): *Straßenverkehrs-Ordnung*. Bundesgesetzblatt Teil I (Nr. 12 vom 12.03.2013)
- StVUnfStatG (1990): *Straßenverkehrsunfallstatistikgesetz*. Bundesgesetzblatt (Nr. 28 vom 15.06.1990), das zuletzt durch Artikel 497 der Verordnung vom 31. August 2015 (Bundesgesetzblatt I S. 1474) geändert worden ist.
- Summersgill, I.; Layfield, R. E. (1996): Non Junction accidents on urban single carriageway roads. Transport Research Laboratory, TRL Report 183, Crowthorne
- SWOV (2012): The relation between speed and crashes. Fact sheet, The Netherlands, Leidschendam

- Taylor, M. C.; Baruya, A.; Kennedy, J. V. (2002): The relationship between speed and accidents on rural single-carriageway roads. Transport Research Laboratory, TRL Report 511, Crowthorne
- Taylor, M. C.; Lynam, D. A.; Baruya, A. (2000): The effects of drivers' speed on the frequency of road accidents. Transport Research Laboratory, TRL Report 421, Crowthorne
- Tazhibi, M.; Kazemi, I.; Momenyan, S.; Haghshenas, H. (2013): Multivariate poisson-lognormal model for modeling related factors in crash frequency by severity. *International Journal of Environmental Health Engineering*, pp. 2-30
- Thédic, J. (1959): Une enquête sur la sécurité routière et les plantations d'alignement. *Revue Générale des Routes et des Aérodrômes* Nr. 335 (Deutscher Literaturauszug), Straße und Autobahn, Heft 2, Bonn
- Thoma, J. (1993): Geschwindigkeitsverhalten und Risiken bei verschiedenen Straßenzuständen, Wochentagen und Tageszeiten. Beratungsstelle für Unfallverhütung, Report Nr. 20, Bern
- Thomas, M. (1999): Zur Geschichte der Straßenbegrünung. *Archiv für die Geschichte des Straßen- und Verkehrswesens*, Heft 14, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Kirschbaum-Verlag, Bonn
- Trapp, K.-H. (1974): Untersuchungen über den Verkehrsablauf auf Landstraßen. *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik* Heft 113, Bundesministerium für Verkehr, Bonn
- Tschirk, W. (2014): Statistik: Klassisch oder Bayes, Zwei Wege im Vergleich. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg
- Tunaru, R. (2002): Hierarchical Bayesian Models for Multiple Count Data. *Austrian Journal of Statistics*, Volume 31, Number 2&3, pp. 221-229
- Underwood, G.; Chapman, P.; Brocklehurst, N.; Underwood, J.; Crundall, D. (2003): Visual attention while driving: sequences of eye fixations made by experienced and novice drivers. *Ergonomics* Volume 46, Issue 6, pp. 629-646
- Vieten, M.; Dohmen, R.; Dürhager, U.; Legge, K. (2010): Quantifizierung der Sicherheitswirkungen verschiedener Bau-, Gestaltungs- und Betriebsformen auf Landstraßen. *Schriftenreihe der Bundesanstalt für Straßenwesen*, Heft V 201, Bergisch Gladbach
- Vogeleang, R. A. W. (1997): Empirical Bayes Methods in Road Safety Research. Report 0-97-13, SWOV Institute for Road Safety Research, Leidschendam
- Vogt, A.; Bared, J. (1998): Accident models for two-lane rural roads: segments and intersections. Federal Highway Administration, Report No. FHWA-RD-98-133, Washington D.C.
- Vollpracht, H.-J. (2000): „Low-Cost-Measures“ gegen Baum-Unfälle in Brandenburg. *Straßenverkehrstechnik*, Heft 12, S. 626-629, Bonn
- VUFO (2012): Verkehrsunfallforschung. ([www.verkehrsunfallforschung.de](http://www.verkehrsunfallforschung.de), letzter Zugriff: 30.10.2013)
- Wang, L.; Shi, Q.; Abdel-Aty, M. A. (2015): Predicting Crashes on Expressway Ramps with Real-Time Traffic and Weather Data. *Journal of the Transportation Research Board*, Issue 2514, pp. 32-38
- Wang, X.; Jin, Y.; Abdel-Aty, M. A.; Tremont, P. J.; Cehn, X. (2012): Macrolevel Model Development for Safety Assessment of Road Network Structures. *Transportation Research Record, Journal of the Transportation Research Board*, Issue 2280, pp. 100-109
- Weber, R. (2012): Das Handbuch für die Bewertung der Verkehrssicherheit von Straßen – Stand der begleitenden Projekte. ADAC Veranstaltung „Sichere Landstraßen in Deutschland“, Kurzfassung, Hannover
- Weber, R.; Hegewald, A. (2007): Unfälle auf schmalen Landstraßenquerschnitten. Schlussbericht zum BAST-Projekt F1100.06612 (unveröffentlicht), Bergisch Gladbach
- Weise, G.; Dietze, M.; Ebersbach, D.; Kuczora, V. (2002): Entwicklung eines praktikablen Verfahrens zur Beurteilung der räumlichen Linienführung von Außerortsstraßen. *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik* Heft 849, Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bonn
- Weller, G. (2010): The Psychology of Driving on Rural Roads – Development and Testing of a Model. VS-Verlag, Wiesbaden

- Wenk, S. (1999): Der Einfluss von Baumabstand, Fahrbahnbreite und Alleentyp bei Baumunfällen in Brandenburg. Zeitschrift für Verkehrssicherheit 45, Heft 2, S. 63-68, Bonn
- Wilde, G. J. S. (1974): Wirkung und Nutzen von Verkehrssicherheitskampagnen. Ergebnisse und Forderungen – ein Überblick. Zeitschrift für Verkehrssicherheit 20, S. 227-238, Bonn
- Wilke, K. (2003): Klassifizierung von Strecken unter Berücksichtigung der Trassierung und der Seitenraumbepflanzung. Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“, Technische Universität Dresden, Diplomarbeit
- Wirtz, H. (2007): Zustandserfassung von Alleebäumen nach Straßenbaumaßnahmen. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 158, Bergisch Gladbach
- Wood, G. R. (2002): Generalized linear accident models and goodness of fit testing. Accident Analysis and Prevention, Volume 34, Issue 4, pp. 417-427
- Xie, K.; Wang, X.; Huang, H.; Chen, X. (2013): Corridor-level signalized intersection safety analysis in Shanghai, China using Bayesian hierarchical models. Accident Analysis and Prevention, Volume 50, Issue 0, pp. 25-33
- Xie, Y.; Lord, D.; Zhang, Y. (2007): Predicting motor vehicle collisions using Bayesian neural networks: an empirical analysis. Accident Analysis and Prevention, Volume 39, Issue 5, pp. 922-933
- Yannis, G.; Dragomanovits, A.; Laiou, A.; Richter, T.; Ruhl, S.; La Torre, F.; Fanfani, F.; Graham, D.; Karathodorou, N.; Li, H. (2014): PRACT Predicting Road Accidents – a Transferable methodology across Europe, Overview of existing Accident Prediction Models and Data Sources. Deliverable D1, CEDR Transnational Road Research Programme
- Ye, Z.; Zhang, Y.; Lord, D. (2013): Goodness-of-fit testing for accident models with low means. Accident Analysis and Prevention, Volume 61, pp. 78-86
- Yu, R.; Abdel-Aty, M. A. (2013): Multi-level Bayesian analyses for single- and multi-vehicle free-way crashes. Accident Analysis and Prevention, Volume 58, pp. 97-105
- Yu, R.; Abdel-Aty, M. A. (2014): Using hierarchical Bayesian binary probit models to analyze crash injury severity on high speed facilities with real-time traffic data. Accident Analysis and Prevention, Volume 62, Issue 0, pp. 161-167
- Zegeer, C.; Hummer, J.; Reinfurt, D.; Herf, L.; Hunter, W. (1987): Safety Effects of Cross Section Design for Two-Lane Roads. Volumes I and II, Report No. FHWA-RD-87-008, Federal Highway Administration, Washington D.C.
- Zegeer, C.; Stewart, R.; Council, F. M.; Reinfurt, D. W.; Hamilton, E. (1992): Safety Effects of Geometric Improvements on Horizontal Curves. Transportation Research Record, No. 1356, pp. 11-19
- Zeng, Q.; Huang, H. (2014): Bayesian spatial joint modeling of traffic crashes on an urban road network. Accident Analysis and Prevention, Volume 67, Issue 0, pp. 105-112
- Zhao, M.; Liu, C.; Li, W.; Sharma, A. (2017): Multivariate Poisson-Lognormal Model for Analysis of Crashes on Urban Signalized Intersections Approach. Journal of Transportation Safety & Security, Volume 9, Issue 3, pp. 251-265
- Zhou, M.; Li, L.; Dunson, D.; Carin, L. (2012): Lognormal and Gamma Mixed Negative Binomial Regression. 29th International Conference on Machine Learning, Edinburgh, Scotland, UK
- Ziegler, J.; Liers, H.; Heine, A.; Martin, J.; Kotsch, S. (2017): Baum-/Schutzplankenaufprall – Unfalldatenanalyse. Schlussbericht zum FE 89.0318/2016 (unveröffentlicht), Dresden
- Zierke, B. (2010): Sichere Gestaltung von Landstraßen durch definierte Straßentypen. Fakultät V – Verkehrs und Maschinensysteme, Technische Universität Berlin, Dissertationsschrift
- Zong, F.; Xu, H.; Zhang, H. (2013): Prediction for Traffic Accident Severity: Comparing the Bayesian Network and Regression Models. Mathematical Problems in Engineering, pp. 1-9
- Zwielich, F.; Reker, K.; Flach, J. (2001): Fahrerverhaltensbeobachtungen auf Landstraßen am Beispiel von Baumalleen. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft M 124, Bergisch Gladbach

## Abbildungen

- Abbildung 1: Übersicht über die methodische Vorgehensweise in der Untersuchung
- Abbildung 2: Maßnahmenfindung für auffällige Bereiche (Eid et al. 2005)
- Abbildung 3: Theoretische Ermittlung der Aufprallgeschwindigkeit bei Abkommen von der Fahrbahn (Gerade, ebenes Gelände) (Meewes 2001)
- Abbildung 4: Box-Whisker-Plot für Spannweite der Kollisionsgeschwindigkeit und Unfallschwere (Matena et al. 2008)
- Abbildung 5: Leiteffekt von straßenbegleitenden Elementen (Bild oben) und Leiteffekt von Bäumen (Bild unten) (Naumann 1977)
- Abbildung 6: Arten der Krafteinleitung (links: Baum, rechts: Schutzplanke) auf die Fahrzeugkarosserie (Ziegler et al. 2017)
- Abbildung 7: Vorgehen der ESAB zur Ermittlung der auffälligen Bereiche und dem Maßnahmenbedarf (FGSV 2006)
- Abbildung 8: Zusammenhang zwischen DTV und Unfällen (5-Jahreszeitraum) (Matena et al. 2008)
- Abbildung 9: Verfahren zur Schätzung der erwarteten mittleren Unfallhäufigkeit auf zweistreifigen Landstraßen (AASH-TO 2010)
- Abbildung 10: Methodisches Vorgehen der Bayes-Inferenz (EB-Modell) als Teil der Modellerstellung
- Abbildung 11: Verteilung der Unfalltypen bei verschiedenen Unfallkategorien auf Landstraßen 2011 bis 2013 (Datenquelle: BASt)
- Abbildung 12: Verteilung der Unfallarten bei verschiedenen Unfallkategorien auf Landstraßen 2011 bis 2013 (Datenquelle: BASt)
- Abbildung 13: Verteilung der Unfälle und Getöteten bei Unfällen ohne und mit Aufprall auf ein Hindernis neben der Fahrbahn nach Unfalltypen auf Landstraßen 2011 bis 2013 (Datenquelle: BASt)
- Abbildung 14: Verteilung der Unfälle mit Aufprall auf ein Hindernis neben der Fahrbahn auf Landstraßen 2011 bis 2013 nach Art des Hindernisses (Datenquelle: BASt)
- Abbildung 15: Verteilung der Unfalltypen mit Aufprall auf ein Hindernis neben der Fahrbahn 2011 bis 2013 nach Art des Hindernisses auf Landstraßen,  $*N_{\text{Baum}} = 1.816$ ,  $N_{\text{Mast}} = 75$ ,  $N_{\text{Schutzplanke}} = 515$ ,  $N_{\text{Sonstiges Hindernis}} = 534$ ,  $N_{\text{Widerlager}} = 25$  (Datenquelle: BASt)
- Abbildung 16: Verteilung der U(P,SS) und U(SP) auf Landstraßen für Unfallkonstellationen I bis IV nach dreistelligen Unfalltypencode, Bundesländer: NI, NW, RP, SL (2011 – 2016) (Datenquelle: BASt, Bildquelle Unfalltypencodes: FGSV 2012b)
- Abbildung 17: Unfalldichte nach Bundesländern (ohne Gemeindestraßen/andere Straßen) für U(P,SS) und U(P,SS) mit Baumaufprall jeweils für die Konstellation 0 (BE, HB und HH aufgrund geringer Straßenlänge nicht berücksichtigt) auf Landstraßen 2011 bis 2013 (Datenquelle: BASt)
- Abbildung 18: Einzelbaum (links) und Baumgruppe (rechts) (Bildquelle: Roadview, TU Dresden)
- Abbildung 19: Allee ohne Kronenschluss (links), Allee mit Kronenschluss (Mitte) und Baumreihe (rechts) (Bildquelle: Roadview, TU Dresden)
- Abbildung 20: Waldbereich (links) und Waldmantel (rechts) (Bildquelle: Roadview, TU Dresden)
- Abbildung 21: Beispiel für Teilung mit Stationierung eines NKA nach NKB, freie Streckenabschnitte sowie Bepflanzungstyp
- Abbildung 22: Verknüpfung der Singularität/Radien 200 – 400 m mit Schutzplanken (Datenbank I)

- Abbildung 23:  $UD_{FR}(P,SS)$  nach Bepflanzungstypen (Datenbank I)
- Abbildung 24:  $UD_{FR}(SP)$  der Fahrurfälle mit Abkommen von der Fahrbahn nach Bepflanzungstypen (Datenbank I)
- Abbildung 25:  $UR_{FR}(P,SS)$  nach Bepflanzungstypen (Datenbank I)
- Abbildung 26:  $UR_{FR}(SP)$  der Fahrurfälle mit Abkommen von der Fahrbahn nach Bepflanzungstypen (Datenbank I)
- Abbildung 27: Unfallszenarien von Fahrurfällen mit Abkommen von der Fahrbahn und Aufprall auf einen Baum (Pkw-Fahrtrichtung von Süd nach Nord, Bilder aus Ziegler et al. 2017)
- Abbildung 28: Absolute Geschwindigkeiten (Ausgangsgeschwindigkeit  $v_0$ , Kollisionsgeschwindigkeit  $v_K$ ), dargestellt als kumulierte relative Häufigkeit (Funktion der Geschwindigkeit), \*N = 16, \*\*N = 419, \*\*\*N = 71, \*\*\*\*N = 438, \*\*\*\*\*N = 73 (Datenbank II, ohne  $v_0$ ,  $v_K$  unbekannt)
- Abbildung 29: Vergleich Kollisionsgeschwindigkeiten und MAIS im Fahrzeug, N = 463 (Datenbank II, ohne  $v_K$ , MAIS unbekannt)
- Abbildung 30: Methodisches Vorgehen zum Ablauf der Erstellung der Teilmodelle
- Abbildung 31: Beispiel der Entwicklung der Koeffizienten und A-Posteriori Werte für ein Merkmal nach Anzahl der Stichprobenziehungen in einem EB-Teilmodell
- Abbildung 32: Beispielfunktion der  $U_{FaAb}(P,SS)$  über den DTV (Teilmodell 1A)
- Abbildung 33: Entwicklung der Koeffizienten und A-Posteriori Werte für Singularitäten (Merkmal 8, EB-Teilmodell 1A, ohne Ausreißerelementierung)
- Abbildung 34: Entwicklung der Koeffizienten und A-Posteriori Werte für Singularitäten (Merkmal 8, EB-Teilmodell 1A, Ausreißerelementierung Fall A)
- Abbildung 35: Entwicklung der Koeffizienten und A-Posteriori Werte für Singularitäten (Merkmal 8, EB-Teilmodell 1A, Ausreißerelementierung Fall B)
- Abbildung 36: Entwicklung der Koeffizienten und A-Posteriori Werte und die zugehörige Signifikanz für Singularitäten (Merkmal 8, EB-Teilmodell 2A, Ausreißerelementierung Fall B)
- Abbildung 37: Entwicklung der Koeffizienten und A-Posteriori Werte und die zugehörige Signifikanz für Elemente mit einem brauchbaren oder mit einem zu vermeidenden Bereich im Rahmen der Bewertung der Relationstrassierung (Merkmal 7, Kategorie 3, EB-Teilmodell 2B, Ausreißerelementierung Fall A)
- Abbildung 38: Vorhergesagte (Teilmodell 1A) und beobachtete Unfallhäufigkeit  $U_{FaAb}(P,SS)/7a$  auf Validierungsabschnitten (NI und SN, N = 86)
- Abbildung 39: Differenz zwischen Vorhergesagtem (Teilmodell 3A) mit Ausgleichsparameter und beobachtetem Unfallgeschehens auf Validierungsabschnitten in SN (N = 64) in Abhängigkeit der Beobachtungsergebnisse

## Tabellen

- Tab. 1: Maßgebende Einflussmerkmale auf die Straßenverkehrssicherheit von Streckenabschnitten (modifiziert nach Berger 2016 und HVS 2018 (Entwurf))
- Tab. 2: Kenngrößen der NKB und Innerortsbereich in Anlehnung an Berger 2016 und Bark et al. 2015
- Tab. 3: Zusammenhang zwischen den Merkmalen der Straßenbepflanzung und dem Unfallgeschehen auf Grundlage der Literaturauswertung
- Tab. 4: Auszug Grenzwerte für Unfallhäufungsstelle und -häufungslinien Landstraße (FGSV 2012b)

- Tab. 5: Unfallgeschehen auf Landstraßen 2011 bis 2013 (Datenquelle: BASt) Anteil jeweils an Gesamt (Datenquelle: BASt)
- Tab. 6: Unfalltypen und Unfallarten mit schwerem Personenschaden auf Landstraßen 2011 bis 2013 (Datenquelle: BASt) in Anlehnung an FGSV 2017
- Tab. 7: Unfalltypen und Unfallarten für U(P,SS) und Getötete auf Landstraßen 2011 bis 2013 (Datenquelle: BASt) einschließlich Darstellung (Formatierung „Fett“) der hohen Anteile bezogen auf den Unfalltyp
- Tab. 8: Unfallgeschehen auf Landstraßen nach Aufprall auf Hindernis neben der Fahrbahn 2011 bis 2013 (Datenquelle: BASt)
- Tab. 9: Anteile der Konstellationen I bis IV ohne und mit Aufprall auf ein Hindernis am Gesamtunfallgeschehen (Konstellation 0) auf Landstraßen 2011 bis 2013 (Datenquelle: BASt)
- Tab. 10: Anteile der Konstellationen I bis IV nach Aufprallausprägungen am Gesamtunfallgeschehen (Konstellation 0) auf Landstraßen 2011 bis 2013 (Datenquelle: BASt)
- Tab. 11: Unfallkonstellation I bis IV nach Aufprallausprägungen und Anteile an der jeweiligen Konstellation auf Landstraßen 2011 bis 2013 (Datenquelle: BASt)
- Tab. 12: Ergebnisse Stärke der Zusammenhänge für Nullhypothesen
- Tab. 13: Verteilung U(P,SS) und Getötete nach Straßenklasse jeweils für Unfallkonstellation und Aufprallausprägung Baum auf Landstraßen 2011 bis 2013 (Datenquelle: BASt)
- Tab. 14: Verteilung U(P,SS) und Getötete nach Straßenklasse auf Landstraßen 2011 bis 2013 – Veränderungen in der Straßenklassenverteilung (Datenquelle: BASt)
- Tab. 15: Unfälle und Verunglückte nach Bundesland auf Landstraßen 2011 bis 2013 für Unfallkonstellation 0 (Datenquelle: BASt)
- Tab. 16: U(P,SS) mit Aufprallausprägung nach Bundesland auf Landstraßen 2011 bis 2013 für Unfallkonstellationen I bis IV, Anteil jeweils an Gesamt (Datenquelle: BASt)
- Tab. 17: Getötete mit Aufprallausprägung nach Bundesland auf Landstraßen 2011 bis 2013 für Unfallkonstellation I bis IV, Anteil jeweils an Gesamt (Datenquelle: BASt)
- Tab. 18: Unfalldichte auf Landstraßen 2011 bis 2013 nach Bundesland (ohne HB und HH aufgrund geringer Straßenlänge nicht berücksichtigt) und Straßenklasse (ohne Gemeindestraßen/andere Straßen) für U(P,SS) und U(P,SS) mit Baumaufprall für Konstellation I bis IV (Datenquelle: BASt)
- Tab. 19: Knotenpunktformen und Trassierungsmerkmale bei U(P,SS), teils U(SP) nach Konstellationen 0 bis IV auf Landstraßen 2011 bis 2013 (Datenquelle: BASt)
- Tab. 20: Straßenzustand (Angabe 1) bei U(P,SS), U(SP) nach Konstellationen 0 bis IV auf Landstraßen 2011 bis 2013 (Datenquelle: BASt)
- Tab. 21: Lichtverhältnisse (Angabe 1) bei U(P,SS), U(SP) nach Konstellationen 0 bis IV auf Landstraßen 2011 bis 2013 (Datenquelle: BASt)
- Tab. 22: Straßenzustand und Lichtverhältnisse (Angabe 1) bei U(P,SS), U(SP) nach Konstellationen 0 bis IV auf Landstraßen 2011 bis 2013 (Datenquelle: BASt)
- Tab. 24: Allgemeine Ursachennennung (gruppiert) bei U(P,SS) nach Konstellationen und Aufprall auf Baum auf Landstraßen 2011 bis 2013 (Datenquelle: BASt)
- Tab. 25: Unfallursachen (1 und 2, gruppiert) bei U(P,SS) nach Konstellationen und Aufprall auf Baum auf Landstraßen 2011 bis 2013 (Datenquelle: BASt)
- Tab. 26: Anteile der Unfallkonstellationen I bis IV am Unfallgeschehen auf Landstraßen 2011 bis 2013 (Datenquelle: BASt)
- Tab. 27: Verteilung der Netzknotenabschnitte nach Bundesland (Datenerfassung I)
- Tab. 28: Längen (Querschnitt) der Gesamtstichprobe der Datenbank I, klassiert nach der Unfalldichte

- Tab. 29: Unabhängigkeitsprüfung zwischen  $v_{zul.}$  und Unfällen
- Tab. 30: Zuordnung nach Typ der Straßenbepflanzung
- Tab. 31: Zusammensetzung der Gesamtstichprobe (Datenbank I) nach Bepflanzungstypen
- Tab. 32: Unfälle ( $U_{FR}$ ) und Unfallanteile für die Gesamtstichprobe nach Bepflanzungstypen (Datenbank I)
- Tab. 33: Schwere Unfälle ( $U_{FR}(SP)$ ) und Unfallkosten für die Gesamtstichprobe nach Bepflanzungstypen (Datenbank I)
- Tab. 34: Verteilung der Pkw-Unfälle mit Abkommen von der Fahrbahn und Aufprall auf einen Baum nach Unfallszenarien 2005 bis 2015 (Datenbank II)
- Tab. 35: Unfälle nach  $v_{zul.}$  sowie Vergleich der Ausgangsgeschwindigkeit und  $v_{zul.}$  (Datenbank II)
- Tab. 36: Anteil der Einhaltung verschiedener Haltesichtweiten nach Fahrbahnbreite, jeweils ohne und mit Berücksichtigung des Seitenraumes (Datenbank II, N = 86)
- Tab. 37: Selektierte Merkmale und Ausprägungen der Gesamtstichprobe Datenerfassung I
- Tab. 38: Übersicht der Teilmodelle für  $U_{FaAb}(P,SS)$ ,  $U_{FaAb}(SP)$ ,  $U_{FaAb-Baum}(P,SS)$  und  $U_{FaAb-Baum}(SP)$ , deren Bezeichnung und Merkmalsberücksichtigung
- Tab. 39: Unfallgeschehen (pro Fahrtrichtung) nach Unfallselektion und Aufprallausprägung über den DTV (Datenbank I)
- Tab. 40: Zusammenhang der Merkmale 13 bis 18 (Lage der Bepflanzung) zum  $U_{FaAb-Baum}(P,SS)$  und  $SP$  in Teilmodellen 3C und 4C
- Tab. 41: Ergebnisse für Teilmodelle  $U_{FaAb-Baum}(P,SS)$  – 3D
- Tab. 42: Ergebnisse für Teilmodelle  $U_{FaAb-Baum}(SP)$  – 4D
- Tab. 43: Zusammenhang zwischen Merkmalen und Unfallgeschehen (Datenbank I)
- Tab. 44: Erklärung der Gesamtvarianz der Teilmodelle
- Tab. 45: Vorhergesagtes und beobachtetes Unfallgeschehens auf Validierungsabschnitten (NI und SN, N = 86)
- Tab. 46: Vorhergesagtes (Teilmodell 3C) und beobachtetes Unfallgeschehens ( $U_{FaAb-Baum}(P,SS)$ ) auf Validierungsabschnitten mit der Darstellung von KI (Konfidenzintervallen) in SN (N = 64)

## Schriftenreihe

### Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

#### Unterreihe „Verkehrstechnik“

#### 2018

**V 300: Untersuchungen zur Optimierung von Schadstoff-rückhalt und Standfestigkeit von Banketten**

Werkenthin, Kluge, Wessolek

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

**V 301: Sicherheitsbewertung von Arbeitsstellen mit Gegenverkehrstrennung**

Kemper, Sümmermann, Baier, Klemps-Kohnen

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

**V 302: Entwicklung einer Fahrstreifenreduktionsbeeinflussungsanlage für Baustellen auf BAB**

Heinrich, Maier, Papageorgiou, Papamichail, Schober, Stamatakis

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

**V 303: Psychologische Wirkungen von Arbeitsstellenlängen, -staffelung und -gestaltung auf die Verkehrsteilnehmer**

Scotti, Kemper, Oeser, Haberstroh, Welter,

Jeschke, Skottke € 19,50

**V 304: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2015**

Fitschen, Nordmann € 31,00

Die Ergebnisdateien können als kostenpflichtiger Download unter: [www.schuenemann-verlag.de](http://www.schuenemann-verlag.de) heruntergeladen werden. € 15,00

**V 305: Pilotversuche zur Behandlung der Abwässer von PWC-Anlagen**

Hartmann, Londong € 16,00

**V 306: Anpassung des bestehenden Straßennetzes an das Entwurfskonzept der standardisierten Straßen – Pilotprojekt zur Anwendung des M EKLBest**

Lippold, Wittig

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

**V 307: Evaluation des Sicherheitsaudits von Straßen in der Planung**

Baier, Baier, Klemps-Kohnen, Bark, Beaulieu, Theis € 17,50

**V 308: Überarbeitung und Aktualisierung des Merkblattes für die Ausstattung von Verkehrsrechner- und Unterzentralen (MARZ 1999)**

Gerstenberger, Hösch, Listl, Schwietering

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

**V 309: Photokatalytische Oberflächen zur Minderung von Stickoxidbelastungen an Straßen – TiO<sub>2</sub>-Pilotstudie Lärmschutzwand**

Baum, Lipke, Löffler, Metzger, Sauer € 16,50

**V 310: Umweltfreundlicher Straßenbelag – photokatalytischer Stickstoffdioxidabbau unter Nutzung der Nanotechnologie**

Wang, Oeser, Steinauer

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

**V 311: Feldversuch mit Lang-Lkw**

Irzik, Kranz, Bühne, Glaeser, Limbeck, Gail, Bartolomaeus, Wolf,

Sistenich, Kaundinya, Jungfeld, Ellmers, Kübler, Holte, Kaschner

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

**V 312: Sicherheitswirkung, Dauerhaftigkeit und Lärmemission von eingefrästen Rüttelstreifen**

Hegewald, Vesper, Irzik, Krautscheid, Sander, Lorenzen, Löffler, Ripke, Bommert

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

#### 2019

**V 313: Tausalzverdünnung und -rückhalt bei verschiedenen Entwässerungsmethoden – Modellberechnungen**

Braun, Klute, Reuter, Rubbert € 18,50

**V 314: Übergreifende verkehrstechnische Bewertung von Autobahnstrecken und -knotenpunkten**

Hartmann, Vortisch, Vieten, Chatzipanagiotidou, Haug, Spangler € 18,50

**V 315: Telematisch gesteuertes Kompaktparken für das Lkw-Parkraummanagement auf Rastanlagen an BAB – Anforderungen und Praxiserprobung**

Kappich, Westermann, Holst € 15,50

**V 316: Akustische Wirksamkeit alter Lärmschutzwände**

Lindner, Hartmann, Schulze, Hübelt € 18,50

**V 317: Wahrnehmungspsychologische Aspekte (Human Factors) und deren Einfluss auf die Gestaltung von Landstraßen**

Schlag, Anke, Lippold, Wittig, Walther € 22,00

**V 318: Unfallkommissionsarbeit – Unterstützung durch einen webbasierten Maßnahmenkatalog zur Beseitigung von Unfallhäufungen**

Wolf, Berger, Bärwolff € 15,50

**V 319: Vermeidung von abflussschwachen Zonen in Verdichtungsbereichen – Vergleich und Bewertung von baulichen Lösungen**

Lippold, Vettters, Ressel, Alber

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

**V 320: Einsatzbereiche und Entwurfs Elemente von Rad-schnellverbindungen**

Malik, Lange, Andriess, Gwiasda, Erler, Stein, Thiemann-Linden € 18,00

**V 322: Automatisch gesteuerte Streustoffausbringung durch Nutzung neuer mobiler Sensoren**

Hausmann € 18,00

**V 323: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2016**

Fitschen, Nordmann € 31,50

Die Ergebnisdateien können als kostenpflichtiger Download unter: [www.schuenemann-verlag.de](http://www.schuenemann-verlag.de) heruntergeladen werden. € 15,00

#### 2020

**V 321: Dynamisches umweltsensitives Verkehrsmanagement**

Diegmann, Wurstthorn, Breitenbach, Düring, Schönharting, Kraus, Klemm, Voigt, Kohlen, Löhner € 20,00

**V 324: Konzept zur Bewertung des Verkehrsablaufs an Knotenpunkten mit und ohne LSA**

Vortisch, Buck, Leyn, Baier, Schuckließ, Schimpf, Schmotz

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

**V 325: Entwurfsparameter von Hochleistungsstraßen innerhalb bebauter Gebiete**

D. Schmitt, J. Gerlach, M. Schwedler, F. Huber, H. Sander

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

**V 326: Straßenverkehrszählung 2015 – Methodik der manuellen Zählungen**

Schmidt, Frenken, Mahmoudi € 15,50

**V 327: Straßenverkehrszählung 2015 – Ergebnisse**

Frenken, Mahmoudi € 16,50

**V 328: Anprallprüfungen an Fahrzeug-Rückhaltesystemen und Entwicklung von Nachrüstlösungen**

Meisel, Balzer-Hebborn, Eilmers, Jungfeld, Klostermeier, Kübler, Schmitz, Schwedhelm, Yu  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

**V 329: Streckenbezogene Glättevorhersage**  
Schedler, Gutbrod, Müller, Schröder € 24,50

**V 330: Führung des Radverkehrs an Landstraßen**  
Baier, Leu, Rittershaus  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

**V 331: Leitfaden für die Streckenfreigabe für den Einsatz von Lang-Lkw**  
Lippold, Schemmel, Förg, Süßmann € 17,00

**V 332: Räumliche Linienführung von Autobahnen**  
Lippold, Zösch  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

**V 333: Passive Schallschutzmaßnahmen – Akustische Wirksamkeit**  
Hänisch, Heidebrunn € 17,00

**V 334: Akustische Wirksamkeit von Lärmschutzwandaufsätzen**  
Lindner, Kluth, Ruhnau, Schulze € 17,00

**V 335: Ermittlung aktualisierter Grundlagen für Beschleunigungsvergütungen in Bauverträgen**  
Geistefeldt, Hohmann, von der Heiden, Finkbeiner € 16,00

**V 336: Vergleich der Detektoren für die Verkehrserfassung an signalisierten Knotenpunkten**  
Ungureanu, Ilić, Radon, Rothe, Reichert, Schober, Stamatakis, Heinrich € 18,50

**V 337: Bridge-WIM Pilotversuch – Begleitung und Auswertung**  
Kathmann, Scotti, Kucera € 18,50

## 2021

**V 338: Streckenbeeinflussungsanlagen – Entwurf eines regelungstechnischen Modells zur verbesserten Harmonisierung des Verkehrsablaufs**  
Schwietering, Schwietering, Maier, Hakenberg, Pyta, Abel  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

**V 339: Aktualisierung der Datenbank MARLIS**  
Schneider, Turhan, Pelzer  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

**V 340: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2017**  
Fitschen, Nordmann € 31,00

**V 341: Lebenszykluskostenbewertung von Schutzeinrichtungen**  
Eckert, Hendrich, Horlacher, Kathmann, Scotti, von Heel  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

**V 342: Entwicklung eines aktuellen, echtzeit-verfügbaren Key Performance Indicator (KPI) Systems für das deutsche Autobahnnetz**  
Peter, Janko, Schick, Waßmuth, Friedrich, Bawidamann € 21,00

**V 343: Kreisverkehre an Landstraßen Auswirkungen der Erkennbarkeit und der Zufahrtsgestaltung auf die Verkehrssicherheit**  
Schmotz, Schröter, Schemmel, Lippold, Schulze € 21,50

**V 344: Verkehrsträgerübergreifende Lärmkumulation in komplexen Situationen**  
Popp, Eggers, Heidebrunn, Cortes € 21,00

**V 345: Aufbau einer Datenbank zur Berechnung exemplarischer Lärmsituationen mit Geräuschemissionsdaten der Straße und meteorologischen Daten**

Liepert, Skowronek, Eberlei, Crijenkovic, Müller, Schady, Elsen  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

**V 346: Zusammenhang reduzierter Geräuschgrenzwerte mit den in-use Geräuschemissionen bei unterschiedlichen Verkehrssituationen**  
Müller, Huth, Liepert € 15,00

**V 347: Chancen in der Verkehrsbeeinflussung durch Fahrzeug-Infrastruktur-Kommunikation**  
Schwietering, Löbbeling, Spangler, Gabloner, Busch, Roszak, Dobmeier, Neumann  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

**V 348: Einsatz und Verkehrssicherheit von Fußgängerüberwegen**  
Bohle, Busek, Schröder € 18,50

**V 349: Straßenbepflanzung und Verkehrssicherheit – Ermittlung unfallbeeinflussender Merkmale auf Basis empirischer Modelle unter besonderer Berücksichtigung der Bepflanzung im Seitenraum an Landstraßen**  
Schreck-von Below € 22,00

Fachverlag NW in der Carl Ed. Schünemann KG  
Zweite Schlachtpforte 7 · 28195 Bremen  
Tel. +(0)421/3 69 03-53 · Fax +(0)421/3 69 03-48

Alternativ können Sie alle lieferbaren Titel auch auf unserer Website finden und bestellen.

[www.schuenemann-verlag.de](http://www.schuenemann-verlag.de)

Alle Berichte, die nur in digitaler Form erscheinen, können wir auf Wunsch als »Book on Demand« für Sie herstellen.